

Bachelorarbeit 2009
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

**Welche Vor- und Nachteile bietet exzentrisches
Krafttraining bezüglich Kraft- und
Muskelmassezunahme bei gesunden Menschen?**

David Zolliker

Matrikelnummer 01-923-499

Püntstrasse 19

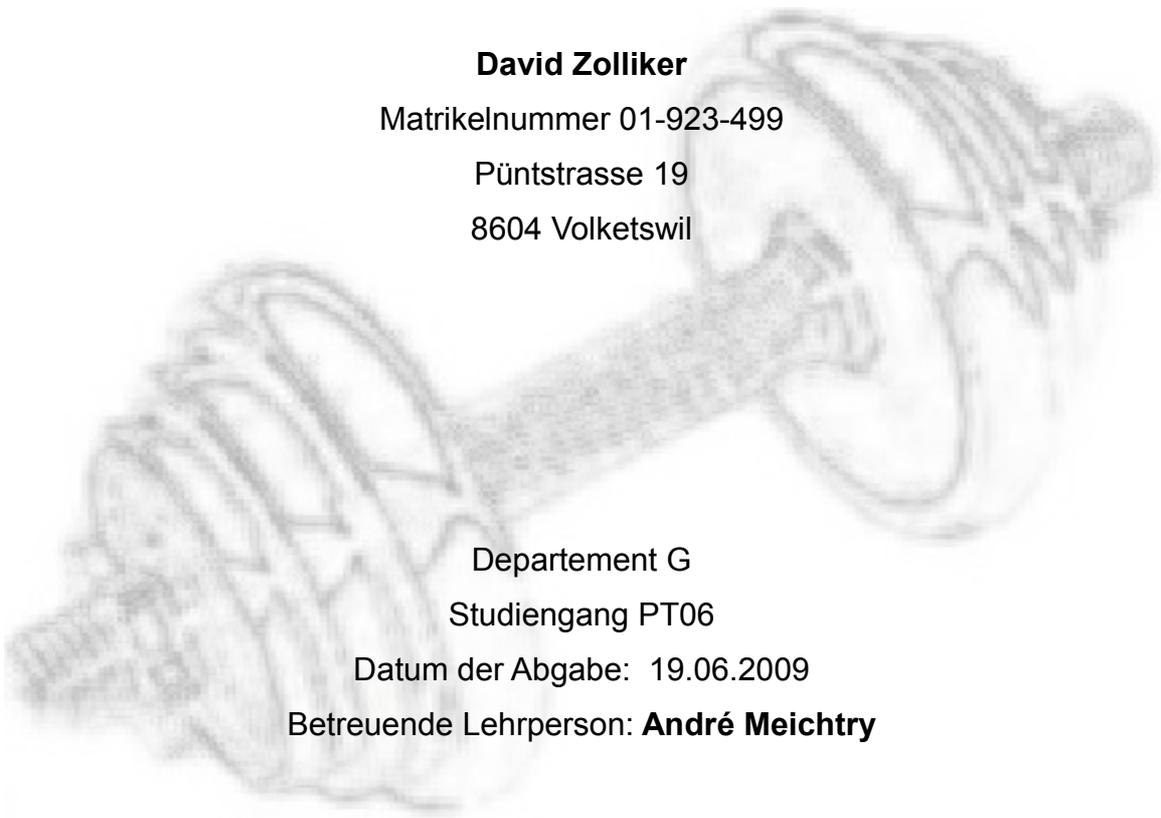
8604 Volketswil

Departement G

Studiengang PT06

Datum der Abgabe: 19.06.2009

Betreuende Lehrperson: **André Meichtry**



Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	1
1. Einleitung.....	2
1.1 Einführung.....	2
1.2 Methodik.....	4
1.2.1 Suchstrategie und Auswahlkriterien.....	4
1.2.2 Beurteilung der Studienqualität.....	7
1.2.3 Review von Roig et al. (2008).....	8
2. Theoretischer Hintergrund.....	9
2.1 Aufbau der Skelettmuskulatur.....	9
2.2 Kontraktionsformen.....	9
2.3 Kraft-Längen-Relation.....	11
2.4 Kraft-Geschwindigkeits-Relation.....	12
2.5 Muskuläre Hypertrophie.....	13
2.6 Trainingsprinzipien.....	13
2.6.1 Trainingswirksame Reize.....	13
2.6.2 Das Prinzip der Superkompensation.....	14
2.6.3 Trainingsmethoden zur Steigerung der Kraft und Muskelmasse.....	16
3. Vorgehen und Ergebnisse der ausgewählten Studien.....	17
3.1 Interventionsdesigns der ausgewählten Studien.....	17
3.2 Kraftmessung und Ergebnisse bezüglich der Kraftwerte.....	23
3.2.1 Theorie zur isokinetischen Kraftmessung.....	23
3.2.2 Kraftmessung und Ergebnisse der ausgewählten Studien.....	24
3.3 Messungen und Ergebnisse bezüglich Muskelhypertrophie.....	28
4. Diskussion und Beurteilung der Ergebnisse.....	30
4.1 Fazit und Ausblick.....	36
5. Danksagung.....	38
6. Literaturverzeichnis.....	39
7. Abbildungsverzeichnis.....	40
Eigenständigkeitserklärung.....	41

Abstract

Das Ziel dieses Literaturreviews war es, Vor- und Nachteile von exzentrischem Training bei gesunden Menschen gegenüber konzentrischem Training bezüglich den Outcomes Kraftsteigerung und Muskelhypertrophie zu bestimmen. Mittels Literatursuche konnten fünf randomisierte, kontrollierte Studien und eine klinische Kontrollstudie gefunden werden, die den Einschlusskriterien entsprachen sowie ein systematischer Review, der die gleiche Fragestellung untersucht hatte. Die Studien wurden auf ihre Qualität und ihr Design hin untersucht und die Ergebnisse verglichen. Die Mehrheit der Studien konnte keine signifikanten Zwischengruppeneffekte aufzeigen. Insgesamt konnte bei den untersuchten Studien dennoch eine Tendenz zu grösserer Hypertrophie und grösserer spezifischer Kraftsteigerung nach exzentrischem Training festgestellt werden. Das Fehlen verbreiteter, standardisierter Trainingsroutinen erschwert die Interpretation der Ergebnisse. Viele Faktoren, die sich auf die untersuchten Outcomes auswirken, sind in ihrer Bedeutung und Wirkungsweise noch nicht vollständig verstanden.

1. Einleitung

1.1 Einführung

Was ist Kraft? Wer *hat* Kraft? Der Gewichtheber, der schwere Hanteln hochheben kann natürlich. Der Kugelstosser, der die rund sieben Kilogramm schwere Eisenkugel am weitesten wegstossen kann ebenso. Der Kumpel, der einem in der Kneipe beim Armdrücken schlägt leider auch. Was haben diese drei mit Kraft assoziierten Leistungen gemein? Sie alle beschreiben konzentrische Kraftentwicklung, d.h., die beteiligten Muskeln leisten Arbeit, während sie sich verkürzen. So wird die auf die Hantel wirkende Schwerkraft überwunden, die Eisenkugel wird gegen ihre Trägheit beschleunigt und die Armkraft des schwächeren Kontrahenten wird übertroffen.

Das Gleichsetzen von Kraft mit konzentrischer Muskelkraft begegnet einem im Alltag häufig. Dabei wird vergessen, dass auch viele Arbeiten mit bremsender Muskelaktivität verbunden sind. Dies wird exzentrische Muskelarbeit genannt. Das Abstellen der Einkaufstaschen, das Hinabsteigen von Treppenstufen, oder das Auffangen eines Balls. Bei diesen Tätigkeiten ist die äussere Kraft, die auf den Muskel einwirkt grösser als diejenige, die der Muskel selbst erzeugt. Der Muskel wird gedehnt, während er bremsende Arbeit leistet. Der Mensch kann exzentrisch bis zu 40% mehr Kraft entwickeln als konzentrisch (Hegner, 2007) und verbraucht dabei zudem weniger metabolische Energie (Lindstedt, LaStoya und Reich, 2001). Enoka (1996) vermutet, dass sich auch die Ansteuerung der Muskeln durch das Nervensystem bei einer exzentrischen Kontraktion sich grundlegend von anderen Kontraktionsformen unterscheidet.

Fassen wir also zusammen: Ein Muskel arbeitet keinesfalls immer genau gleich und exzentrische Arbeit scheint einige Besonderheiten aufzuweisen. Wenn diese einzigartigen Merkmale in der physiotherapeutischen Praxis gezielt eingesetzt werden könnten, könnte das den Therapieerfolg verbessern.

Tatsächlich wurden in den letzten Jahren viele Studien über exzentrisches Training als Therapie bei entzündlichen Sehnenveränderungen, insbesondere der Patellar- und Achillessehne veröffentlicht. Dadurch erlangte diese Trainingsform Popularität. Doch was für Wirkungen hat sie auf gesunde Menschen, die Krafttraining als Sport betreiben? In Trainingslehrbüchern wird zuweilen die sogenannte "Bodybuilder-Methode" erwähnt, bei

der das Absenken des Gewichtes deutlich langsamer erfolgt als das Anheben. Eine Methode mit betontem, exzentrischen Anteil also. Im Breitensport Krafttraining tauchen nach den Erfahrungen des Autors diese Begriffe jedoch gar nicht erst auf. Es werden Trainingspläne für verschiedene Muskelgruppen erstellt und die individuellen Gewichte festgelegt. Verschiedene Arbeitsweisen der Muskulatur werden aber in der Regel nicht berücksichtigt.

Aktuell wird jedoch gerade von einem Gerätehersteller eine Gerätelinie beworben, die mit einstellbarem, exzentrischem Widerstand arbeitet. Diese Gerätelinie kommt auch in grossen Fitnessketten zum Einsatz. Ist dies als Modeerscheinung zu sehen oder tatsächlich der Weg zu einem neuartigen, effizienteren Training?

Diese Literaturstudie soll einen Beitrag zu Klärung der Frage leisten, ob und welche Vor- und Nachteile exzentrisches Krafttraining bei gesunden Menschen in Bezug auf Kraftgewinn und Zunahme an Muskelmasse mit sich bringt. Dadurch, dass Studien mit gesunden Probanden untersucht werden, kann eine allgemeinere Hypothese aufgestellt werden, als wenn nur der Effekt auf Betroffene einer bestimmten Krankheit untersucht würde. Daraus gewonnene Erkenntnisse können in der physiotherapeutischen Praxis Einfluss auf das Training mit verschiedenen Patientengruppen haben. Kraftverlust und muskuläre Atrophie – also der Rückgang der Muskelmasse – stellen ein häufiges Problem dar. Wenn Extremitäten oder einzelne Gelenke z.B. nach einer Operation zeitweise ruhiggestellt werden müssen, spricht man von einer Immobilisation. Dies führt zu einer rasch einsetzenden Atrophie und damit einhergehendem Kraftverlust von bis zu 50% innerhalb eines einzigen Monats (Scharf, 1992; zit. nach Spring, Dvořák, Dvořák, Schneider, Tritschler und Villiger, 2005, S.44).

Tomasits und Haber (2005) machen die gesundheitsrelevante Bedeutung der Muskelkraft unter anderem in der verbesserten Gelenkssicherung und Stabilität aus, aber auch in optimierten Dämpfungseigenschaften beim Gehen und damit verminderter ossärer und ligamentärer Belastung. Bei älteren Menschen führt die Erhaltung der Muskelkraft zu einer besseren Bewältigung alltäglicher Lasten und damit zum Erhalt der Unabhängigkeit. Ausserdem stellt ein gutes Kraftniveau eine wichtige Komponente in der Prophylaxe von Stürzen dar.

1.2 Methodik

Um zu klären, welche Vor- und Nachteile exzentrisches Training gesunden Menschen bezüglich Kraftaufbau und Muskelhypertrophie bietet, sollte ein Literaturreview erstellt werden, der fünf bis zehn Studien zur Thematik untersucht. Dabei soll die Qualität der Studien beurteilt werden und ihre Durchführung und Ergebnisse verglichen und kritisch diskutiert werden. Die Ergebnisse werden am Schluss zusammengefasst, Implikationen für die Praxis abgeleitet und noch offene Fragen aufgezeigt.

1.2.1 Suchstrategie und Auswahlkriterien

Für die Suche wurden die Datenbanken PubMed, PEDro und die Cochrane Library verwendet. Es wurden Studien berücksichtigt, die in englischer oder deutscher Sprache verfasst sind. Als MeSH-Begriffe wurden „Muscle Strength“ und „Exercise“ benutzt. Diese wurden durch die Schlüsselwörter „excentric“ und „eccentric“ für die gewünschte untersuchte Kontraktionsform ergänzt. Als Alternativen zu „exercise“ wurden „exertion“ und „training“ als Suchbegriffe für Studien, die als Intervention Krafttraining gewählt haben, benutzt. Um Studien zu finden, die die erwünschten Outcomes messen, wurden diese Suchwörter kombiniert mit „strength“, „muscle strength“, „muscle mass“, „hypertrophy“, „CSA“ und „cross sectional area“. Neben direkten Suchtreffern wurden auch in den Treffern referenzierte Studien berücksichtigt. Bei allen so gefundenen Studien wurde das Abstract daraufhin untersucht, ob sie folgenden Punkten entsprachen:

- Die Studien müssen quantitativer Natur sein.
- Studiendesign ist RCT (randomisierte, kontrollierte Studie) oder CCT (klinische Kontrollstudie).
- Die Studien untersuchen den Trainingseffekt verschiedener Kontraktionsformen vergleichend. Eine der untersuchten Kontraktionsformen ist die exzentrische.
- Die Studien messen als Outcome Kraft und / oder Muskelhypertrophie.
- Bei den Teilnehmern der Studie handelt es sich um gesunde Personen.
- Die Teilnehmer wurden nicht aus einer bestimmten Sportart rekrutiert.

- Die Studien sind mehrheitlich aktuell, d.h. innerhalb der letzten 5 Jahre publiziert worden.
- Die Studien sind nicht älter als 15 Jahre.
- Die Studien sind über die Datenbanken der ZHAW oder der Zentralbibliothek des Kantons Zürich als Volltext zugänglich.

Die Studien, die nach der Sichtung des Abstracts und des Volltextes letztendlich ausgewählt wurden und die Suchanfragen, die zu ihnen geführt haben, sind in Tabelle 1 aufgelistet. Eine weitere Suchanfrage in der PEDro-Datenbank wurde mit den Keywords „eccentric hypertrophy“ (2 Treffer) und „eccentric cross sectional area“ (4 Treffer) durchgeführt, führte aber zu keinen relevanten Studien. In der Cochrane Library wurde nach “eccentric” im Titel der Studie und “strength AND exercise” bzw. “strength AND exertion” im Abstract gesucht (51, bzw. 4 Treffer). Es konnte in dieser Datenbank keine Studie gefunden werden, die den festgelegten Kriterien entsprach.

Ergänzend wurden weitere Studien aus der Literatursuche in obengenannten Datenbanken sowie Fachbücher aus der ZHAW Bibliothek Departement Gesundheit, der Stadtbibliothek Winterthur und aus dem persönlichen Besitz des Autors verwendet.

Tabelle 1 - Datenbank-Suche

Datenbank	Mesh-Terms	Keywords	Logische Verknüpfung	Treffer	Anzahl Studien nach Abstract-Screening	Studien
PubMed	Muscle Strength Exercise	eccentric	AND	40	3	Blazevich, A. J. , Cannavan, D., Coleman, D. R. & Horne, S. (2007) Nickols-Richardson, S. M. , Miller, L. E., Wootten, D. F., Ramp, W. K. & Herbert, W. G. (2007) Norrbrand, L. , Fluckey, J. D., Pozzo, M. & Tesch, P. A. (2007)
PubMed		eccentric muscle strength exercise hypertrophy	AND	26	1	Farthing, J. P. & Chilibeck, P. D. (2003)
PubMed		eccentric "muscle strength" exercise hypertrophy	AND	13	1	Higbie, E. J. , Cureton, K. J., Warren III, G. L. & Prior, B. M. (1996)
PubMed		eccentric "muscle strength" exercise healthy	AND	38	1	Roig, M. , O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B. & Reid, D. W. (2008)
PEDro	Auswahlmöglichkeit "Therapy": strength training Suchfeld "Abstract & Title": eccentric strength		AND	44	1	Brock Symons, T. , Vandervoort, A. A., Rice, C. L., Overend, T. J. & Marsh, G. D. (2005)

1.2.2 Beurteilung der Studienqualität

Zur Beurteilung der Studien wurde das *Critical Review Form* für quantitative Studien von Law, Stewart, Pollock, Letts, Bosch und Westmorland (1998) in leicht gekürzter Form verwendet (Tabelle 2). Die Kriterien 1, 2, 3, 4, 6 und 8 wurden gewertet. Die dunkler eingefärbten Felder stellen eine Einschränkung der Studienqualität dar. Brock Symons et al. (2005), Higbie et al. (1996) und Nickols-Richardson et al. (2007) und schnitten hier mit nur zwei Einschränkung gut ab, Blazeovich et al. (2007) und Farthing et al. (2003) mit drei und Norrbrand et al. (2007) mit vier Einschränkungen etwas schlechter.

Tabelle 2 – Beurteilungskriterien, modifiziert nach Law et al. (1998)

Studie	Blazeovich et al. (2007)	Brock Symons et al. (2005)	Farthing et al. (2003)	Higbie et al. (1996)	Nickols-Richardson et al. (2007)	Norrbrand et al. (2007)
Design	RCT	RCT	RCT	RCT	RCT	CCT
Stichprobengrösse	33	37	36	60	70	15
Stichprobengrösse begründet	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Stichprobe detailliert beschrieben	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein
Intervention detailliert beschrieben	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
Vermeidung von Kontamination	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Validität der Messungen behandelt	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja (MRI)
Reliabilität der Messungen behandelt	Ja (MRI, Ultraschall)	Nein	Ja	Ja	Ja (DXA)	Ja (MRI)
Signifikanz-Niveau	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Signifikanz der Ergebnisse angegeben	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Anzahl Dropouts	3	7	4	6	k.A.	k.A.
Klinische Bedeutung der Ergebnisse angegeben	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Eine Verblindung von Teilnehmern, Therapeuten oder Untersuchern fand in keiner Studie statt. Aus praktischen Gründen ist eine Verblindung der Teilnehmer und Therapeuten nicht möglich. Zur (fehlenden) Verblindung der Untersucher werden in den Studien keine Angaben gemacht, mit Ausnahme von Brock Symons et al. (2005). Diese Autoren gaben an, dass sie aus Personalmangel nicht alle Untersucher verblinden konnten.

1.2.3 Review von Roig et al. (2008)

Roig et al. (2008) veröffentlichten im November 2008 online einen Review zur gleichen Fragestellung wie diese Arbeit. Zu dem Zeitpunkt, als dieser Review gefunden wurde, war die Literatursuche zu der hier vorliegenden Arbeit bereits abgeschlossen. Während sich die Fragestellungen praktisch zu 100% überschneiden, gab es bei der Auswahl der Studien und der weiteren Methodik einige Unterschiede: Roig et al. (2008) schlossen Studien aus, deren Probanden über 65 Jahre alt waren und verlangten, dass das Training mit nur einer, isoliert angewendeten Kontraktionsart erfolgte. In der hier vorliegenden Arbeit wurden auch Studien, die ältere, gesunde Menschen untersuchten zugelassen (Farthing et al., 2003) und Studien die ein Training aus konzentrischer Phase mit anschließender, exzentrischer Überlastungsphase verwendeten (vergleiche Norrbrand et al., 2007). Roig et al. (2008) forderten zudem eine trainingsfreie „Auswaschphase“ (*washout*) von mehr als einem Monat für die Probanden zwischen zwei Trainingsphasen mit verschiedenen Kontraktionsformen oder dem Training der kontralateralen Gliedmassen. So wollten sie einen potentiellen Crossover-Effekt ausschliessen, also eine Beeinflussung der kontralateralen, nicht trainierten Gliedmasse durch das Training der ipsilateralen Extremität. Unter den 20 von ihnen schliesslich untersuchten Studien befinden sich nur RCT's. Darunter auch vier der in dieser Arbeit verwendeten Studien. Roig et al. (2008) bewerteten die Studien nach der PEDro-Score. Die hier ebenfalls verwendeten Studien bewerteten sie mit fünf Punkten (Blazevich et al., 2007; Farthing et al., 2003; Higbie et al., 1996), was einer moderaten Qualität entspricht, respektive mit sieben Punkten (Nickols-Richardson et al., 2007), was als hohe Qualität eingestuft wird. Sie führten daraufhin eine Metaanalyse der Ergebnisse durch. Die hier vorliegende Arbeit wird sich hingegen stärker der kritischen Betrachtung der Studien widmen und die Ergebnisse direkt vergleichen und auf ihre Konsistenz hin überprüfen.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Aufbau der Skelettmuskulatur

Um die Kontraktionsformen zu verstehen, ist es wichtig, den Aufbau und die Funktionsweise der Muskulatur zu kennen. Im Folgenden ist der Aufbau und die Funktion der Skelettmuskulatur beschrieben. Die glatte Muskulatur, die Gefässe und Hohlorgane wie z.B. den Darm oder den Magen auskleidet sowie die Herzmuskulatur, wird nicht behandelt.

Nach Cabri (2003) besteht ein Skelettmuskel aus sogenannten Muskelfasern. Eine Muskelfaser ist nichts anderes, als eine einzige, langgestreckte, zylindrische Muskelzelle. Im Falle der vorderen Oberschenkelmuskulatur kann sie eine Länge von bis zu 30 Zentimetern erreichen. Die Zellflüssigkeit der Muskelzelle, das sogenannte Sarkoplasma, ist grösstenteils mit Myofibrillen gefüllt. Das sind faserartige Elemente, die parallel von einem Ende der Muskelzelle zum anderen verlaufen. Die Myofibrillen sind wiederum aus kleineren Elementen aufgebaut, nämlich aus aneinandergereihten Sarkomeren. Das Sarkomer ist ein komplexes Gebilde aus verschiedenen Proteinfilamenten. Aus Gründen der Verständlichkeit werden an dieser Stelle nur die wichtigsten erwähnt.

Die dickeren Myosinfilamente liegen eingebettet zwischen dünneren, parallel liegenden Aktinfilamenten. Gemäss der Gleitfilament-Theorie verlängert oder verkürzt sich ein Muskel, indem diese beiden Filamenttypen aus- bzw. ineinander gleiten (siehe Abbildung 1, Abschnitt 2.3). Diese Gleitbewegung verbraucht Energie in Form des energiereichen Moleküls ATP.

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Kontraktionsformen erklärt und wichtige Faktoren, die sich auf die Kraftentwicklung auswirken, erläutert.

2.2 Kontraktionsformen

Die Art und Weise, wie ein Muskel Arbeit leisten kann, ist vielfältig. Um klarere Begrifflichkeiten zu schaffen, wurde die Art der Kontraktion nach Spannungs- und Längenänderung des Muskels sowie nach Bewegungsgeschwindigkeit unterteilt (Spring et al., 2005).

Isometrische Kontraktion:

Die Länge des Muskels bleibt konstant. Es findet keine Bewegung statt, die Bewegungsgeschwindigkeit ist also Null. Die Muskelspannung ist variabel.

Isotonische Kontraktion:

Die Muskelspannung ist konstant, Länge und Bewegungsgeschwindigkeit sind variabel.

Isokinetische Kontraktion:

Die Bewegungsgeschwindigkeit ist konstant. Dies wird in der Regel durch ein spezielles, computergesteuertes Trainings- und Messgerät erreicht und findet bei Alltagsbewegungen nicht statt. Spannung und Länge der Muskulatur variieren.

Auxotonische Kontraktion:

Sowohl Länge und Spannungszustand der Muskulatur, als auch die Bewegungsgeschwindigkeit ändern sich während der Bewegungsausführung.

Tabelle 3 - Kontraktionsformen

Kontraktionsform	Spannung	Länge	Bewegungsgeschw.
isometrisch	variabel	konstant	keine Bewegung
isotonisch	konstant	variabel	variabel
isokinetisch	variabel	variabel	konstant
auxotonisch	variabel	variabel	variabel

Bei allen Kontraktionsformen, ausser der isometrischen, kommen noch zwei zusätzliche Modalitäten dazu. Die Muskellänge kann sich dabei nämlich entweder verkleinern oder vergrössern. Nimmt die Länge zu, d.h. Ursprung und Ansatz des Muskels entfernen sich voneinander, spricht man von einer **exzentrischen Kontraktion**. Im umgekehrten Fall, d.h. wenn der Muskel sich verkürzt und Ursprung und Ansatz sich annähern, spricht man von einer **konzentrischen Kontraktion** (Hohmann, Lames und Letzelter, 2007).

Dabei gibt es entscheidende Unterschiede zwischen einem Muskel, der exzentrisch kontrahiert, dessen Aktin- und Myosinfilamente also während der Kraftentwicklung auseinandergleiten und einem konzentrisch arbeitenden Muskel, dessen Aktin- und Myosinfilamente sich bei der Kontraktion ineinanderschieben. Nach Hegner (2007) kann ein menschlicher Skelettmuskel exzentrisch bis zu 40% mehr Kraft entwickeln, als konzentrisch. Ausserdem verbraucht die gleiche Menge an exzentrisch ausgeführter Muskelarbeit weniger metabolische Energie als wenn sie konzentrisch ausgeführt würde (Lindstedt et al., 2001). Abbott, Bigland und Ritchie (1952; zit. nach Lindstedt et al., 2001, S. 256) konnten das in einem eleganten Experiment zeigen. Sie verbanden zwei Fahrradergometer mit einer einzigen Antriebskette so, dass zwei Personen sich darauf Rücken an Rücken setzen konnten. Damit konnten sie zeigen, dass eine deutlich schwächere Person die Vorwärtsbewegung der Pedale, die durch ihr stärkeres Gegenüber ausgeübt wurde, problemlos bremsend kontrollieren konnte.

2.3 Kraft-Längen-Relation

Die Kraft, die ein Muskel entwickeln kann, hängt vom Grad der Überlappung der Aktin-Myosin-Verbindung ab und damit von der Länge des Muskels. In der Ruhelänge des Sarkomers überlappen sich Aktin- und Myosinfilamente optimal. Das ermöglicht eine maximale Interaktion beider Filamenttypen und damit maximale Krafterzeugung. Wird das Sarkomer aus dieser Ruhelänge (2.0 - 2.5 μm) verlängert, kommt weniger Überlappung und damit auch eine verringerte Kraftentwicklung zustande. Auch eine Verkürzung des Sarkomers verschlechtert das Kraftpotential. Es kommt dann zu einem Übereinanderschieben der Aktinfilamente und in der Folge kommen Aktinanteile mit Myosin in Kontakt, die funktionell falsch ausgerichtet sind (Cabri, 2003).

Das Verhältnis von Sarkomerlänge und potentieller Kraftentwicklung lässt sich auch als Diagramm darstellen.

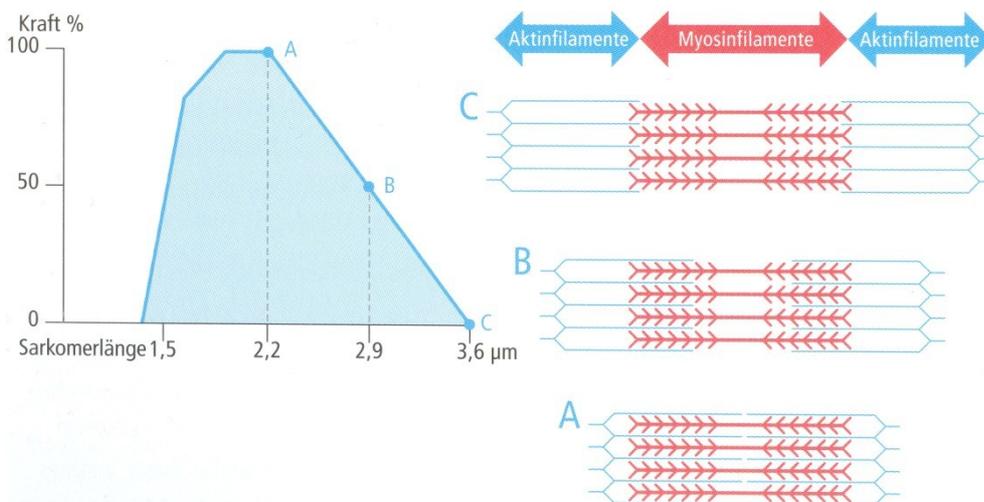


Abbildung 1: Kraft-Längen-Relation (aus Hegner, 2007, S. 63)

2.4 Kraft-Geschwindigkeits-Relation

Neben der Sarkomerlänge hängt die Kraftentwicklung während einer Bewegung auch von der Bewegungsgeschwindigkeit ab. Standardmässig setzt man die isometrische Maximalkraft (Bewegungsgeschwindigkeit = 0) als 100% fest. Erhöht man nun die Geschwindigkeit, kommt man in den konzentrischen Bereich und die maximal produzierbare Kraft nimmt zunehmend ab. Dafür werden zwei Phänomene verantwortlich gemacht. Erstens nimmt durch die Geschwindigkeit die Kontaktzeit zwischen Aktin und Myosin ab. Zweitens werden bei hohen Geschwindigkeiten hauptsächlich spezielle Muskelfasern (Typ II) angesprochen, während bei langsamerem Tempo mehrere Fasertypen gleichzeitig rekrutiert werden (Typ I und Typ II).

Exzentrische Bewegungsausführung wird als negative Bewegungsgeschwindigkeit definiert. Hier kommt es zu einer Kraftentwicklung, die die isometrische Maximalkraft übertrifft und demzufolge über 100% liegt. Dies kommt dadurch zustande, dass mit der Verlängerung des Muskels zunehmend passive, elastische Komponenten des Muskels Energie freisetzen, ähnlich einem gedehnten Gummiband, das eine der Dehnung entgegengerichtete Kraft erzeugt. Ausserdem erzeugt die Längenzunahme des Muskels einen Dehnreflex, der die Kontraktion verstärkt (Spring et al., 2005).

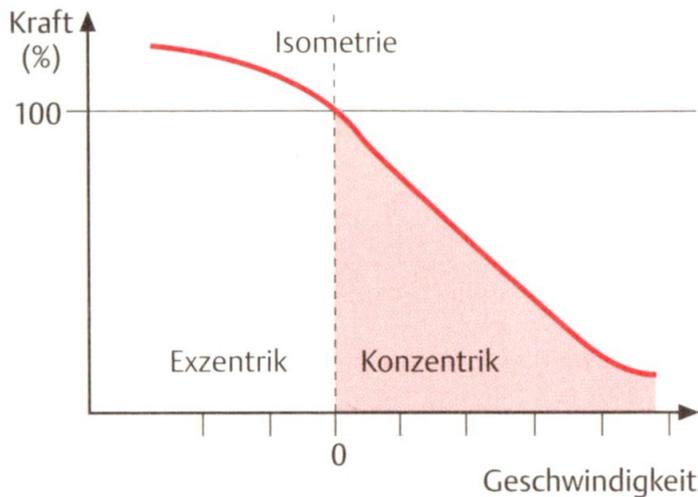


Abbildung 2: Kraft-Geschwindigkeits-Relation (aus Spring et al., 2005, S. 41)

2.5 Muskuläre Hypertrophie

Eine langfristige Anpassung der Muskelkraft an das Krafttraining geschieht im Normalfall durch muskuläre Hypertrophie. Gemeint ist damit die Grössenzunahme der Muskulatur. Diese geschieht, indem in jeder einzelnen Muskelzelle zusätzliche Myofibrillen gebildet werden, die in der Folge das Volumen der ganzen Zelle ansteigen lassen (Tomasits et al., 2005). Durch die zusätzlichen Myofibrillen kann insgesamt mehr Myosin mit Aktin interagieren und das Ergebnis ist, dass der Muskel eine höhere Maximalkraft entwickeln kann (Güllich et. al, 1999; zit. nach Haas, 2001, S. 113).

2.6 Trainingsprinzipien

Weil exzentrisch grössere Kraft produziert werden kann als konzentrisch und so eine Überbelastung (engl. *Overload*) des Muskels erreicht werden kann, ist exzentrisches Training nach Lindstedt et al (2001) speziell zum Kraftaufbau geeignet. In diesem Abschnitt werden grundlegende Prinzipien des Kraft- und Hypertrophie-Trainings erläutert und die Trainingsprogramme der ausgewählten Studien vorgestellt.

2.6.1 Trainingswirksame Reize

Nach Neumann (1993; zit. nach Haas, 2001, S. 85) befindet sich der Körper in Ruhe in einem Homöostase genannten Gleichgewichtszustand. Dieser Gleichgewichtszustand betrifft sowohl das innere Milieu des Körpers (z.B. Temperatur, pH-Wert, osmotischer

Druck, etc.) als auch die Auf- und Abbauraten verschiedener Strukturen, unter anderem der Muskeln. Krafttraining durchbricht diesen Gleichgewichtszustand und veranlasst den Körper dazu, sich der stärkeren Belastung anzupassen. Um eine stabile Anpassung auszulösen, sind gewisse Regeln zu beachten. Damit ein Belastungsreiz trainingswirksam ist, muss er deutlich über der normalen Alltagsbelastung liegen. Die notwendige Intensität des Reizes ist ebenfalls abhängig von der individuellen Leistungsfähigkeit und dem Trainingszustand des Trainierenden.

Mit der erfolgenden Adaptation des Organismus' verliert ein ehemals trainingswirksamer Reiz seine Wirkung allmählich. Um die Trainingswirksamkeit aufrecht zu erhalten, muss die Belastung meist wöchentlich progressiv gesteigert werden. Von Bedeutung ist weiterhin die Kontinuität des Trainings, da ansonsten die Adaptationsgewinne schnell auf das Vortrainingsniveau zurückgehen (Haas, 2001).

2.6.2 Das Prinzip der Superkompensation

Jakowlew (1977; zit. nach Hohmann et al., 2007, S. 163) beschrieb die Superkompensation als überschüssige Adaptationsreaktion. Direkt im Anschluss an den Trainingsreiz setzt eine Erholungsphase ein, bevor ein Leistungsniveau erreicht wird, das über dem ursprünglichen liegt (Hohmann et al., 2007). Die Superkompensationseffekte bilden sich jedoch nach kurzer Zeit zurück, wenn nicht regelmässig neue Trainingsreize gesetzt werden. Erfolgt die Reizsetzung jedoch regelmässig, so summieren sich die Trainingseffekte und die Leistungsfähigkeit kann längerfristig gesteigert werden (Hegner, 2007).

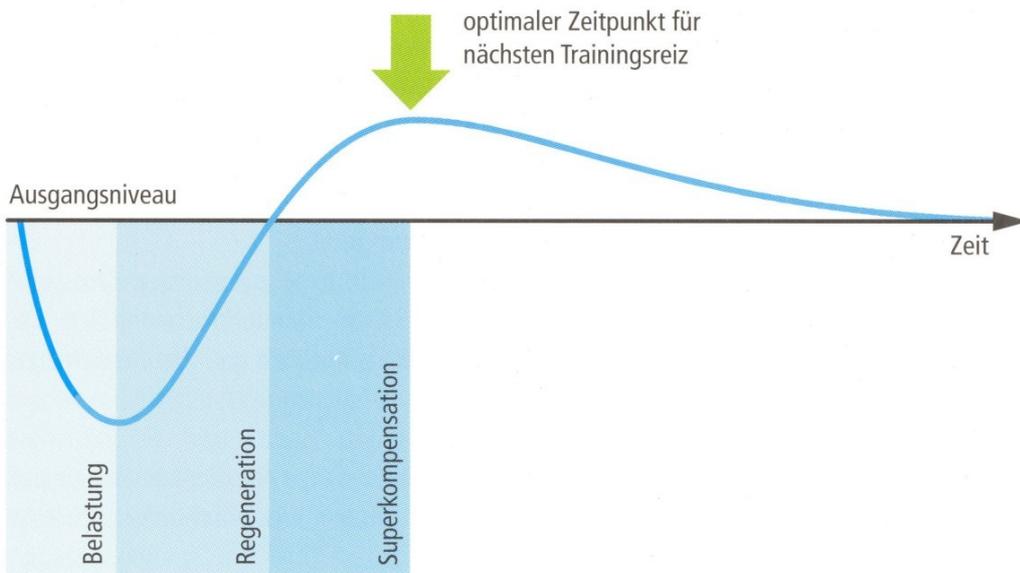


Abbildung 3: Superkompensation (aus Hegner, 2007, S. 94)

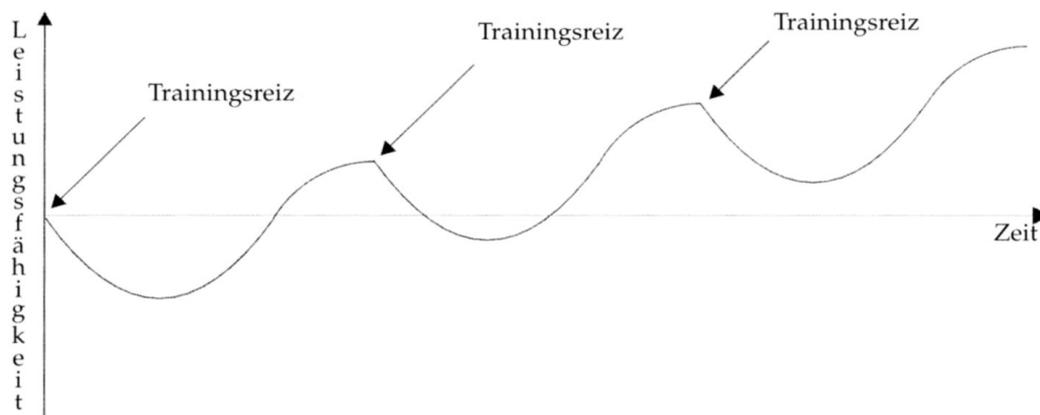


Abbildung 4: Summation von Trainingsreizen (aus Bredenkamp und Hamm, 2006, S. 110)

2.6.3 Trainingsmethoden zur Steigerung der Kraft und Muskelmasse

Basierend auf den eben erläuterten Prinzipien werden zur Steigerung der Kraft und zur Muskelhypertrophie bestimmte Trainingsmethoden empfohlen. Nach Güllich und Schmidtbleicher (1999; zit. nach Haas, 2001, S.117) ist für diese Ziele insbesondere die Methode der submaximalen Kontraktionen bis zur Erschöpfung geeignet. Sie schlagen folgende Reizkonfiguration vor:

Reizintensität 60-85% der Maximalkraft.

100% würden dem Trainingswiderstand entsprechen, den der Trainierende gerade für eine einzige Übungsausführung konzentrisch (1 Wiederholung) bewältigen kann.

Serien pro Trainingseinheit 5-6.

Eine Serie oder ein Satz (gleichbedeutend) beinhaltet eine bestimmte Anzahl Wiederholungen und ist durch eine Serienpause von der nächsten Serie getrennt.

Serienpause 2-3 Minuten.

Wiederholungen pro Serie 6-20.

Kontraktionsgeschwindigkeit langsam bis zügig.

Haas (2001) gibt für diese Trainingsmethoden zudem ein Optimum von drei Trainingseinheiten (TE) pro Woche an und jeweils 48 Stunden Regenerationszeit zwischen den TE. Weiter postuliert er eine Sättigung der Adaptationen nach 10 bis 12 Wochen.

Tomasits et al. (2005) setzen die minimale Reizintensität für Kraftsteigerung durch Hypertrophie bei Untrainierten bei 40% der Maximalkraft fest und für Trainierte je nach Trainingszustand zwischen 50% und 80%. Sie weisen weiter darauf hin, dass die Erschöpfung zwischen der zehnten und der fünfzehnten Wiederholung eintreten sollte. Wird die Erschöpfung bereits bei weniger als sechs Wiederholung erreicht, so wird diesen Autoren zufolge, aufgrund der kurzen Belastungsdauer, keine Hypertrophie ausgelöst.

3. Vorgehen und Ergebnisse der ausgewählten Studien

3.1 Interventionsdesigns der ausgewählten Studien

In diesem Abschnitt wird beschrieben, was für ein Design die Autoren der ausgewählten Studien für die Intervention, also das Widerstandstraining, verwendet haben. Die wichtigsten Trainingsparameter sind zur Übersicht in Tabelle 4 zusammengefasst.

Trainierte Bewegung

Mit einer Ausnahme wurde in allen verwendeten Studien die Knieextension und damit der Musculus quadriceps femoris trainiert. Farthing et al. (2003) liessen ihre Probanden die Ellbogenflexion trainieren, Nickols-Richardson et al. (2007) zusätzlich zur Knieextension auch noch Knieflexion, Ellbogenflexion und Ellbogenextension.

Trainingsgeräte

Wiederum mit einer Ausnahme wurden als Trainingsgeräte Dynamometer verwendet, deren Funktionsweise im Abschnitt 3.2.1 erläutert wird. Blazeovich et al. (2007), Brock Symons et al. (2005), Farthing et al. (2003) und Nickols-Richardson et al. (2007) benutzten ein Gerät des Typs Biodex System 3. Higbie et al. (1996) ein Dynamometer des Typs Kin-Com. Norrbrand et al. (2007) benutzten zwei verschiedene Geräte. Zum einen eine Maschine, bei der über einen Hebelarm und ein Seilzugsystem ein variables Gewicht in Form von Gewichtsplatten gegen die Schwerkraft angehoben wird. Zum anderen eine Konstruktion, bei der der Hebelarm über einen Zugriemen ein Schwungrad bewegt.

Trainingsdauer

Die gewählte Trainingsdauer variiert zwischen fünf und 21 Wochen (siehe Tabelle 4). Farthing et al. (2003) benutzen ein Design mit zwei achtwöchigen Trainingsphasen, wobei in der ersten Phase jeweils nur mit einer Kontraktionsform trainiert wurde und in der zweiten dann mit einer anderen. Die beiden Trainingsphasen waren dabei durch ein trainingsfreies Intervall von fünf Wochen getrennt.

Trainingshäufigkeit

Norrbrand et al. (2007) planten in Woche 1, 3 und 5 jeweils zwei TE, in Woche 2 und 4 drei TE ein. In allen anderen Studien wurden drei TE pro Woche festgelegt.

Regenerationszeit

Farthing et al. (2003), Higbie et al. (1996) und Norrbrand et al. (2007) machen keine Angaben über die gewährte Regenerationszeit. Blazevich et al. (2007), Brock Symons et al. (2005) und Nickols-Richardson et al. (2007) verfügten mindestens einen Ruhetag zwischen zwei TE. Dies bedeutet, dass mindestens 24 Stunden zwischen zwei TE gelegen haben. Falls die TE jeweils zur gleichen Tageszeit durchgeführt wurden, wären es sogar 48 Stunden, jedoch fehlen hier wiederum genauere Angaben.

Anzahl Sätze und Satzpausen

Pro TE wurden zwischen 1 und 6 Sätze trainiert. Während in drei der Studien die Satzzahl konstant gehalten wurde, wurde sie in den anderen drei Studien über den Verlauf der Trainingsdauer variiert (siehe Abschnitt *Progression*, S. 20). Die Satzpausen lagen zwischen einer und drei Minuten (siehe Tabelle 4).

Anzahl Wiederholungen und Wiederholungspausen

Die Wiederholungszahl lag in den ausgewählten Studien zwischen 6 und 10. Brock Symons et al. (2005) veranschlagten als einzige eine Wiederholungspause (fünf Sekunden). Die anderen Trainingsdesigns sahen entweder keine Wiederholungspause vor oder machen keine Angaben dazu.

Tabelle 4 – Trainingsparameter

Studie	Gerät	Bewegung	Trainingsdauer	Trainingshäufigkeit	Satzzahl	Satzpause	Wdh. pro Satz	Wdh. Pause	Regenerationszeit	Bewegungsgeschwindigkeit
Blazevich et al. (2007)	Dynamometer (Biodex System 3)	Knieextension	10 Wochen	3x / Woche	4 bis 6	1 min.	6	0 sec.	mind. 24h	30°/s
Brock Symons et al. (2005)	Dynamometer (Biodex System 3)	Knieextension	12 Wochen	3x / Woche	3	2 min.	10	5 sec.	mind. 24h	k.A.
Farthing et al. (2003)	Dynamometer (Biodex System 3)	Ellbogen-flexion	8 Wochen	3x / Woche	2 bis 6	1 min.	8	k. A.	k. A.	30°/s oder 180°/s
Higbie et al. (1996)	Dynamometer (Biodex System 3)	Knieextension	10 Wochen	3x / Woche	3	3 min.	10	0 sec.	k. A.	60°/s
Nickols-Richardson et al. (2007)	Dynamometer (Biodex System 3)	Knieextension, Knieflexion, Ellbogenext. Ellbogenflexion	21 Wochen	3x / Woche	1 bis 5	1 min.	6	k. A.	mind. 24h	60°/s
Norrbrand et al. (2007)	Schwungrad-Maschine / Seilzugmaschine	Knieextension	5 Wochen	2-3x / Woche	4	2 min.	7	k. A.	k. A.	-

Progression

Blazevich et al. (2007) liessen zur Vermeidung von starkem Muskelkater in den ersten drei TE mit 50%, 70%, respektive 90% der im Pretest erreichten Maximalkraft trainieren.

Zusätzlich steigerten sie die Satzzahl von vier Sätzen in den ersten drei Wochen, auf fünf Sätze in den Wochen 4 bis 7 und schliesslich auf sechs Sätze in Woche 8 bis 10.

Nickols-Richardson et al. (2007) steigerten die Satzzahl von einem Satz in Woche 1 pro Woche um einen weiteren Satz, bis in Woche 5 die maximale Satzzahl von fünf Sätzen erreicht war, die dann für den Rest der Trainingsdauer beibehalten wurde.

Farthing et al. (2003) erhöhten die Satzzahl während der ersten 14 TE von zwei auf sechs Sätze. Dies wurde beibehalten, bis in den letzten zwei TE wieder auf drei Sätze reduziert wurde, weil sich die Autoren durch diese Reduktion höhere Kraftwerte im Posttest versprachen.

Norrbrand et al. (2007) erhöhten bei der Maschine mit Seilzugsystem die Gewichte jeweils in der darauffolgenden TE, wenn der Proband sieben Wiederholungen in guter Ausführung absolvieren konnte.

Anweisung und Motivation der Probanden

Bei den Studien, die ein Dynamometer als Trainingsgerät verwendet hatten, konnte auch eine Progression über den maximalen Effort der Probanden stattfinden. Da diese Maschine nur die Bewegungsgeschwindigkeit vorgibt, liegt es am Probanden, wie viel Kraft er gegen den Widerstand des Gerätes aufbringt. Die Anweisungen und Motivationshilfen, die den Patienten gegeben wurden, um eine maximale, willkürliche Kontraktion zu erzielen, werden nun beschrieben.

In der Studie von Blazevich et al. (2007) bekamen die Probanden die Anweisung, ihr Knie so schnell und kräftig wie möglich zu strecken (konzentrisches Training), bzw. die Abwärtsbewegung des Dynamometers zu stoppen (exzentrisches Training). Die Untersucher feuerten die Probanden bei jeder Wiederholung lautstark verbal an. Die Probanden bekamen zudem nach jedem Trainingssatz ein Feedback über die erreichten Kraftwerte und konnten diese mit den ihnen ebenfalls bekannten persönlichen Bestleistungen vergleichen.

Brock Symons et al. (2005) markierten für die Probanden auf dem zum Dynamometer gehörenden Computerbildschirm das höchste bisher von ihnen erreichte Drehmoment. Sie forderten die Testsubjekte auf, diese Markierung zu erreichen oder zu übertreffen. Die Markierung wurde nach jeder neuen Spitzenleistung angepasst. Higbie et al. (1996) gingen gleich vor, wobei die Markierung jeweils nur einmal pro Woche angepasst wurde. Bei Farthing et al. (2003) und Nickols-Richardson et al. (2007) finden sich keine Angaben dazu, wie die Patienten zu einer maximalen, willkürlichen Kontraktion angewiesen oder motiviert wurden. Norrbrand et al. (2007) machen für das Training mit der Schwungradmaschine ebenfalls keine diesbezüglichen Angaben.

Ausgangsstellung der Probanden

Bei dem von den meisten Studien verwendeten Modell eines Dynamometers sitzt der Proband auf einem Stuhl und die zu trainierende Extremität wird an einem Hebelarm fixiert. In der Folge wird der Hebelarm um ein festes Drehzentrum mit voreingestellter Geschwindigkeit gegen den Widerstand des Trainierenden bewegt. Die Position der Probanden, ihre Fixierung mittels Gurten sowie die Position des Hebelarms wurden unterschiedlich gehandhabt und auch unterschiedlich detailliert beschrieben. In der Regel wurden jedoch eine Position mit rund 90° Hüftflexion verwendet und mindestens 2 Gurte zur Fixierung der Brust und Taille der Subjekte.

Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsausmass

Blazevich et al. (2007) stellten die Bewegungsgeschwindigkeit auf 30°/s ein und wählten ein Bewegungsausmass von 10° Knieextension bis 100° Knieflexion.

Keine Angaben fanden sich bei Brock Symons et al. (2005). Die isokinetischen Messungen geschahen bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von 90°/s, aber es geht nicht eindeutig aus der Studie hervor, ob auch das Training mit dieser Geschwindigkeit erfolgte.

Farthing et al. (2003) verwendeten in ihrem Design zwei Geschwindigkeiten, nämlich 30°/s und 180°/s. Trainiert wurde das Bewegungsausmass zwischen 20° und 120° Ellbogenflexion.

Higbie et al. (1996) setzten die Geschwindigkeit auf 60°/s fest und liessen den Umfang von 90° Knieflexion bis zur vollen Streckung des Knies trainieren.

Nickols-Richardson et al. (2007) benutzen ebenfalls eine Einstellung von 60°/s. Zum Bewegungsumfang konnte keine Angabe gefunden werden.

Norrbrand et al. (2007) geben ein Bewegungsausmass von 10°-90° Knieflexion für das Training an der Schwungradmaschine an und eine Phasendauer von je 1.5 Sekunden für die exzentrische und konzentrische Phase der Bewegung. Angaben zum Bewegungsausmass beim Training an der Seilzugmaschine fehlen. Die konzentrische Phase dauerte hier eine Sekunde, die exzentrische zwei Sekunden.

Eine Angabe dazu, wie die Gelenkstellung gemessen wurde, fehlt bei den meisten Studien oder ist uneindeutig.

3.2 Kraftmessung und Ergebnisse bezüglich der Kraftwerte

3.2.1 Theorie zur isokinetischen Kraftmessung

Bei einer isokinetischen Bewegung bleibt die Bewegungsgeschwindigkeit konstant und zwar für jeden Gelenkwinkel und während der gesamten Bewegungsamplitude. Um dies zu gewährleisten, werden hauptsächlich elektrische bzw. elektromagnetische Apparate verwendet, die den Widerstand computergesteuert regulieren und automatisch die eingestellte Winkelgeschwindigkeit einhalten. Die Validität dieser Methode ist vor allem zur Bestimmung des maximalen Drehmoments in ausreichendem Masse gegeben. Die Reliabilität hängt von einer Vielzahl Faktoren und damit massgeblich von der sorgfältigen Planung und Durchführung der einzelnen Studien ab. Für die Messung des maximalen Drehmoments am Kniegelenk zeigt sich eine ausreichende bis gute Reproduzierbarkeit (Banzer, Pfeifer und Vogt, 2004).

Um nun Informationen darüber zu erhalten, wie viel Kraft von der Versuchsperson für die isokinetische Bewegung aufgewendet wird, misst man das Drehmoment. Diese physikalische Grösse ist nach Kuchling (2004) definiert als „Das Produkt aus einer Kraft und dem senkrechten Abstand ihrer Wirkungslinie vom Drehpunkt“. Der genannte Abstand entspricht der Länge des Hebelarmes. Daraus ergibt sich folgende Formel als Vektorprodukt:

$$\text{Drehmoment } (M) = \text{Kraft } (F) \times \text{Hebelarm } (r)$$

Drehmomente werden in der Masseinheit Newtonmeter (Nm) angegeben und können über den gesamten Bewegungsumfang gemessen werden. Ebenfalls kann die Maximalkraft, also das maximale Drehmoment bei einer vorgegebenen Winkelgeschwindigkeit gemessen werden (Spring et al., 2005).

3.2.2 Kraftmessung und Ergebnisse der ausgewählten Studien

Wo nicht anders erwähnt, wurde zur Kraftmessung das gleiche Gerät und Setup verwendet wie für das Training. Veränderungen zwischen der pre- und der post-Messung innerhalb einer Gruppe werden als Delta (Δ), gefolgt von dem abgekürzten Gruppennamen (ECC: exzentrisch trainierte Gruppe, CON: konzentrisch trainierte Gruppe, ISO: isometrisch trainierte Gruppe, CG: Kontrollgruppe), angegeben.

Blazevich et al. (2007) verwendeten zur Kraftmessung die gleiche Bewegungsgeschwindigkeit wie beim Training, nämlich $30^\circ/\text{s}$. Getestet wurde vor Trainingsbeginn (Woche 0), nach fünf Wochen Training, nach Abschluss des Trainings (Woche 10) und drei Monate nach Beendigung des Trainings. Gemessen wurden drei aufeinanderfolgende maximale Kontraktionen der einen Kontraktionsform, dann erfolgte eine zweiminütige Pause und im Anschluss folgten drei maximale Kontraktionen der anderen Kontraktionsform.

Während sich die Kraftwerte der Kontrollgruppe nicht änderten [konzentrische Kraftsteigerung: $\Delta_{CG} = +0.1 \pm 2.3 \text{ Nm}$ ($0.5 \pm 1.8\%$); exzentrische Kraftsteigerung: $\Delta_{CG} = +7.5 \pm 5.5 \text{ Nm}$ ($3.0 \pm 3.2\%$)], zeigten sowohl die konzentrisch trainierte Gruppe (CON-Gruppe), als auch die exzentrisch trainierte Gruppe (ECC-Gruppe) einen signifikanten Kraftzuwachs. Dieser Kraftzuwachs betraf beide getesteten Kontraktionsformen [konzentrische Kraftsteigerung: $\Delta_{CON} = +24.1 \pm 4.2\%$; $\Delta_{ECC} = +16.4 \pm 5.1 \%$; exzentrische Kraftsteigerung: $\Delta_{CON} = +35.9 \pm 12.7\%$; $\Delta_{ECC} = +38.9 \pm 14.2 \%$]. Die CON-Gruppe konnte sich in konzentrischer Kraft signifikant stärker steigern als die ECC-Gruppe. Bezüglich exzentrischer Kraft war kein Zwischengruppeneffekt festzustellen. Drei Monate nach Abschluss des Trainings war ein signifikanter Verlust an exzentrischer Kraft messbar [$11.4 \pm 2.3\%$], aber nur ein nicht signifikanter an konzentrischer Kraft [$5.6 \pm 2.7\%$]. Die Werte beider Kraftmodalitäten lagen jedoch immer noch signifikant über denjenigen vor Trainingsbeginn [$\Delta_{CON} = +13.8 \pm 3.5\%$; $\Delta_{ECC} = +17.7 \pm 7.1 \%$]. Es gab keine signifikanten Zwischengruppeneffekte, die diesen Krafrückgang betrafen.

Brock Symons et al. (2005) massen die isokinetische Maximalkraft bei 90°/s und die isometrische Maximalkraft. Die Messungen fanden in Woche 0 und Woche 12 statt. Es wurden zuerst drei submaximale Kontraktionen mit 50-65% der Maximalkraft durchgeführt. Danach wurden fünf maximale Kontraktionen durchgeführt und gemessen. Zwischen den einzelnen Kontraktionen lagen jeweils fünf Sekunden Pause für die isokinetischen Tests und 15 Sekunden Pause bei der Testung der isometrischen Kraft. Zwischen den Tests wurde zwei Minuten pausiert. Die Testreihenfolge war für alle Probanden: konzentrisch → isometrisch → exzentrisch.

Es gab keine Baseline-Unterschiede bezüglich Alter, Grösse, Gewicht und allen gemessenen Kraftarten. Nach den 12 Wochen Training konnten alle Gruppen signifikante Kraftgewinne in isometrischer, isokinetisch-konzentrischer und isokinetisch-exzentrischer Maximalkraft verzeichnen [konzentrische Kraftsteigerung: $\Delta_{\text{CON}} = + 22.1\%$, $\Delta_{\text{ECC}} = + 10.0\%$, $\Delta_{\text{ISO}} = + 15.1\%$; exzentrische Kraftsteigerung: $\Delta_{\text{CON}} = + 17.9\%$, $\Delta_{\text{ECC}} = + 26.0\%$, $\Delta_{\text{ISO}} = + 16.5\%$; isometrische Kraftsteigerung: $\Delta_{\text{CON}} = + 17.3\%$, $\Delta_{\text{ECC}} = + 25.5\%$, $\Delta_{\text{ISO}} = + 27.7\%$]. Signifikante Zwischengruppeneffekte konnten nicht festgestellt werden. Es zeichnete sich jedoch ein nicht signifikanter Trend ab, dass der Kraftzuwachs jeweils in derjenigen Kontraktionsart am grössten war, mit der auch trainiert worden war.

Farthing et al. (2003) hatten in ihrer Studie vier Messzeitpunkte. Es wurde jeweils vor und nach der achtwöchigen Phase 1 und vor und nach der ebenfalls achtwöchigen Phase 2 gemessen. Die beiden Phasen waren durch fünf trainingsfreie Wochen getrennt. Es wurden nacheinander vier Modalitäten (exzentrisch-langsam, exzentrisch-schnell, konzentrisch-langsam, konzentrisch-schnell) in zufälliger Reihenfolge getestet. Für jede Modalität wurden drei maximale Kontraktionen, getrennt von jeweils einer Minute Pause, ausgeführt. Der höchste Kraftwert dieser drei Versuche wurde als Ergebnis genommen.

Es gab keine Baseline-Unterschiede bezüglich Alter, Gewicht, Trainingszeit im vergangenen Jahr, Kraft und Muskeldicke, jedoch wies die Gruppe, die mit 30°/s Bewegungsgeschwindigkeit trainiert hatte, eine signifikant grössere Körpergrösse auf.

Exzentrische Kraft steigerte sich bei der exzentrisch-schnell trainierten Gruppe (ECCFAS) signifikant stärker als bei allen übrigen Gruppen. Die beiden langsam trainierten Gruppen (ECCSLO, CONSLO) steigerten sich gegenüber den Kontrollgruppen ebenfalls signifikant

in dieser Kontraktionsform. Die konzentrisch-schnell trainierte Gruppe (CONFAS) zeigte keinen signifikanten Unterschied in exzentrischer Kraft im Vergleich zu den Kontrollgruppen.

Auch die konzentrische Kraft steigerte sich bei der ECCFAS-Gruppe am stärksten und zwar signifikant mehr, als bei allen anderen Gruppen ausser der ECCSLO-Gruppe. Die Steigerung der ECCSLO-Gruppe war wiederum signifikant grösser als bei beiden konzentrisch trainierten Gruppen und beiden Kontrollgruppen. Von den konzentrisch trainierten Gruppen war kein signifikanter Unterschied zu den Kontrollgruppen festzustellen.

Higbie et al. (1996) massen die Kraftwerte vor und nach dem Training bei 60°/s. Auf drei submaximale Aufwärmwiederholungen folgten drei maximale Kontraktionen mit 25 Sekunden Wiederholungspause. Die konzentrische Kraft wurde immer vor der exzentrischen getestet. Für die Ergebnisse wurden die Mittelwerte des Drehmoments zwischen 0° und 70° Knieflexion verwendet.

Die exzentrische Kraft steigerte sich für beide Trainingsgruppen signifikant mehr als für die Kontrolle (CG). Die Steigerung der ECC-Gruppe war dabei signifikant grösser als die der CON-Gruppe [Durchschnittliche Änderung: $\Delta_{\text{CON}} = + 12.5 \text{ Nm (12.8\%)}$, $\Delta_{\text{ECC}} = + 34.0 \text{ Nm (36.2\%)}$, $\Delta_{\text{CG}} = - 1.8 \text{ Nm (-1.7\%)}$].

Die konzentrische Kraft konnte nur in der CON-Gruppe signifikant gegenüber der Kontrolle gesteigert werden, nicht aber in der ECC-Gruppe. Der Zuwachs an mittlerem Drehmoment war in der CON-Gruppe signifikant höher als in der ECC-Gruppe [Durchschnittliche Änderung: $\Delta_{\text{CON}} = + 14.4 \text{ Nm (18.4\%)}$, $\Delta_{\text{ECC}} = + 5.4 \text{ Nm (6.8\%)}$, $\Delta_{\text{CG}} = + 3.8 \text{ Nm (4.7\%)}$].

Die Steigerung von exzentrischer Kraft durch exzentrisches Training ist damit signifikant grösser, als die Steigerung konzentrischer Kraft durch konzentrisches Training.

Nickols-Richardson et al. (2007) massen exzentrische und konzentrische Kraft an verschiedenen Tagen. Die Kraftdaten für Ellbogenflexion und Ellbogenextension wurden aufsummiert als Ergebnis verwendet, ebenso die Daten von Knieflexion und Knieextension. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Baseline bezüglich Alter, Grösse, Gewicht,

fettfreier Weichteilmasse, prozentualem Körperfettanteil und der exzentrischen und konzentrischen Kraft von Armen und Beinen zwischen den Gruppen.

Der Vergleich der Kraftwerte von Pre- und Post-Messung ergab signifikante Zuwächse gegenüber der Kontrolle in der exzentrischen und konzentrischen Muskelkraft der Beine der CON- und der ECC-Gruppe. Die nicht-trainierten Beine zeigten ebenfalls signifikante Steigerungen zur Baseline, allerdings jeweils nur in der Kraftart, mit der die Gruppe trainiert hatte. Die Kraftzunahme der nicht-trainierten Beine war signifikant kleiner als die der trainierten.

Für die Arme ergab der Vergleich der Kraftwerte von Pre- und Post-Messung signifikante Zuwächse gegenüber den Kontrollen in der exzentrischen und konzentrischen Muskelkraft der ECC-Gruppe. Die CON-Gruppe erzielte nur in konzentrischer Kraft signifikante Verbesserungen. Die exzentrische Kraft steigerte sich in der ECC-Gruppe signifikant stärker als in der CON-Gruppe und den beiden Kontrollgruppen. Die nicht-trainierten Arme der ECC-Gruppe erzielten ebenfalls signifikante Steigerungen von Woche 0 bis 20, während die nicht-trainierten Arme der CON-Gruppe keine solche Änderung zeigten.

Norrbrand et al. (2007) benutzen zum Messen der auf das Schwungrad übertragenen Kraft eine Messzelle, die den Zug auf den Zugriemen mass. Mit dieser Vorrichtung wurde die maximale isometrische Kraft bei 60° und 90° Knieflexion beider Trainingsgruppen in Woche 0 und nach Abschluss des Trainings in Woche 5 gemessen. Die Probanden hielten sich dabei an zwei Handgriffen fest und führten mindestens zwei maximale, isometrische Kontraktionen von 2-3 Sekunden Dauer aus. Zwischen den Kontraktionen lag eine Pause von einer Minute. Die Reihenfolge, in der beide Beine getestet wurden, war randomisiert. Die isometrische Maximalkraft änderte sich bei der Gruppe, die mit der Seilzugmaschine (WS) trainiert hatte, weder bei 90° noch bei 120° signifikant im Vergleich zur Kontrolle. Bei der Gruppe, die mit der Schwungradmaschine trainiert hatte (FW), zeigte sich bei 90° ein signifikanter Unterschied zur Kontrolle [$\Delta_{FW} = + 11.6\%$]. Bei 120° zeigte sich kein solcher Unterschied. Die Messungen der exzentrisch und konzentrisch geleisteten Arbeit und Kraft erfolgten mit unterschiedlichen Methoden und ergaben deshalb keine aussagekräftigen Ergebnisse (vergleiche Abschnitt 4.0)

3.3 Messungen und Ergebnisse bezüglich Muskelhypertrophie

Sofern nicht angegeben, fanden die Messungen zur Feststellung von Muskelhypertrophie zu den gleichen Zeitpunkten statt, wie die Kraftmessungen. Gemäss Roig et al. (2008) gilt die Messung mittels *Magnet Resonance Imaging* (MRI) als eine der reliabelsten. Die Validität dieser Methode wurde von Alkner und Tesch (2004; zit. nach Blazevich et al., 2007, S. 275) bestätigt.

Blazevich et al. (2007) liessen ihre Studienteilnehmer mittels Magnet Resonance Imaging (MRI) scannen um Grössenveränderungen des Quadriceps-Muskels zu messen. Dabei wurde der Oberschenkel von der Oberkante der Patella bis zum Trochanter major in 16mm Intervallen abgebildet. Für jedes dieser Schnittbilder wurde mit Hilfe eines Computerprogrammes die Querschnittsfläche (CSA) der vier einzelnen Muskelanteile des M. quadriceps errechnet. Um das Gesamtvolumen des M. quadriceps zu erhalten, wurden für jeden Abschnitt die vier Querschnittsflächen aufsummiert und mit der Schnittdicke multipliziert. Die Testsubjekte wurden in Rückenlage und mit vollständig extendierten Beinen vermessen. Nach zehn Wochen Training zeigte sich eine signifikante Zunahme des Quadriceps-Volumens um 10.2%. Dabei gab es keine Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen.

Farthing et al. (2003) massen die Muskeldicke mit Hilfe von Ultraschall. Für die Reliabilität dieser Methode ermittelten sie Test-Retest-Korrelationskoeffizienten zwischen 0.95 und 0.98. Zur Validität finden sich keine Angaben. Für die Messung markierten sie zuerst einen Punkt an der Aussenseite des Oberarms, der 2/3 der Strecke zwischen Acromion und Olecranon lag. Nun wurde auf dieser Höhe der höchste Punkt des M. biceps brachialis angezeichnet. Dieser Punkt wurde als Messstelle genommen sowie je ein Punkt 6 cm weiter in Richtung Schulter, bzw. Richtung Ellenbeuge. Die Messungen fanden einen Tag vor der ersten Kraftmessung und 5-7 Tage nach der letzten TE statt. Die Arme wurden jeweils flach, mit supiniertem Unterarm abgelegt und mit Hautmarkierungen versehen, die eine Reproduktion der genauen Lage ermöglichten. Die Dickenzunahme der Muskulatur war, für die drei Messpunkte zusammengenommen, in der ECCFAS-Gruppe

signifikant grösser als in beiden konzentrisch trainierten Gruppen und beiden Kontrollgruppen [Mittelwert (Standardfehler des Mittelwertes): ECCFAS +13.0% (2.5), CONSLO +5.3% (1.5), CONFAS +2.6% (0.7); Kontrollgruppen -0.8% (1.8) und -1.2% (1.6)]. Die ECCSLO-Gruppe erreichte signifikant grössere Zunahmen [ECCSLO +7.8 [1.3]] als die Kontrollgruppen. Die beiden konzentrisch trainierten Gruppen erreichten im Bezug zu den Kontrollgruppen keine signifikanten Werte.

Higbie et al. (1996) verwendeten MRI Bilder die bei 20, 30, 40, 50, 60, 70 und 80% der Femurlänge gemacht wurden. Aus den Bildern wurde computergestützt die Querschnittsfläche des Quadriceps-Muskels berechnet. In der Kontrollgruppe ergab sich keine Vergrösserung des totalen Muskelquerschnitts [Prozentuale Querschnittsänderung: CG -0.9%]. Die beiden Trainingsgruppen zeigten eine zur Kontrollgruppe signifikante Vergrösserung der Querschnittsfläche [CSA_{CON} +5.0%, CSA_{ECC} +6.6%]. Die Zuwächse der ECC-Gruppe waren dabei signifikant grösser als die der CON-Gruppe.

Nickols-Richardson et al. (2007) benutzen Dual-Röntgen-Absorptiometrie um die fettfreie Masse (FFM) von Armen und Beinen ihrer Probanden zu bestimmen. Im Vergleich zur Ausgangsmessung nahm die FFM in der konzentrisch trainierten Gruppe sowohl beim trainierten als auch beim untrainierten Bein signifikant zu. Bei der exzentrisch trainierten Gruppe (ECC) nahm das trainierte Bein signifikant gegenüber der Ausgangsmessung und dem untrainierten Bein (ECG) zu [$FFMB_{ECC}$ +2.7%, $FFMB_{ECG}$ +0.9%]. Die FFM der Arme war in der ECC- und der CON-Gruppe signifikant angestiegen, allerdings war dieser Zuwachs nur in der ECC-Gruppe signifikant grösser als in der zugehörigen Kontrollgruppe (ECG) [$FFMA_{CON}$ +3.8%, $FFMA_{ECC}$ +5.2%, $FFMA_{ECG}$ +0.9%].

Norrbrand et al. (2007) vermessen sie ihre beiden Trainingsgruppen mit zwei verschiedene MRI-Gerättetypen. Die Probanden mussten vor dem Scannen eine Stunde auf dem Rücken liegen. Das Bein wurde mit einer Eigenkonstruktion fixiert und so markiert, dass die Messposition für alle Messungen gleich war. Pro Messung wurden 50 Schnittbilder im Abstand von 10mm aufgenommen. Beide Trainingsgruppen zeigten eine signifikante Volumenzunahme des M. quadriceps von Woche 0 zu Woche 5. Es trat jedoch

kein signifikanter Zwischengruppeneffekt auf [Prozentuale Volumenzunahme: $\Delta_{FW} = + 6.2\%$, $\Delta_{WS} = + 3.0\%$].

4. Diskussion und Beurteilung der Ergebnisse

Blazevich et al. (2007) wählten für ihre Studie das Design eines RCT. Die Zuteilung zur Kontrollgruppe erfolgte dabei jedoch nicht randomisiert und nach nicht näher bestimmten Kriterien. Aus den übrigen Teilnehmern wurden, entsprechend ihrem Geschlecht und den in der Baseline-Messung ermittelten Kraftwerten, Paare gebildet. Die Paare wurden anschliessend zufällig auf die ECC- oder CON-Gruppe verteilt. Eine Tabelle, die Aufschlüsse über die Homogenität der Gruppen bezüglich physischer Parameter gibt, konnte nicht gefunden werden. Die Stichprobengrösse wurde nicht näher begründet. Auch fehlen Angaben über die Art und Weise wie die Probanden rekrutiert wurden. Damit ist letztlich nicht klar, welche Population die Stichprobe abbilden soll und dies erschwert in der Folge das Einordnen der Ergebnisse. Als Ausschlusskriterium wurde unter anderem festgelegt, dass sich die Probanden nicht mehr als vier mal pro Woche stark belastenden sportlichen Tätigkeiten aussetzen durften. Dies lässt durchaus die Teilnahme von passionierten Hobbysportlern zu und könnte die Trainingseffekte aufgrund des bestehenden Kraft- und Hypertrophie-Niveaus geschmälert haben. Die Trainingsparameter waren grundsätzlich günstig gewählt (vergleiche Abschnitt 2.6.3), wobei die Satzpause mit einer Minute eher kurz ausfiel. Die Steigerungen in Kraft und Muskelmasse fielen auch durchaus deutlich aus. Aufgrund technischer Probleme fehlen jedoch die MRI-Bilder der Kontrollgruppe von Woche 10. Die Ergebnisse, die die Hypertrophie betreffen, konnten also nicht mit der Kontrollgruppe verglichen werden. Dass sich die exzentrische Kraft stärker vergrösserte als die konzentrische, ist laut den Autoren ein häufig festgestelltes Ergebnis. Dass sich beim konzentrischen Training eine Spezifität, also eine signifikant stärkere Kraftzunahme in der trainierten Kontraktionsform zeigt, beim exzentrischen Training jedoch nicht, ist laut den Autoren ein neuartiges Ergebnis. Die Autoren konnten weiterhin zeigen, dass eine gewisse Zunahme an Kraft und Muskelmasse auch noch drei Monate nach Beendigung des Trainings bestehen bleibt.

Brock Symons et al. (2005) rekrutierten für ihre RCT-Studie 37 Freiwillige die mindestens 65 Jahre alt waren. Die Autoren räumen ein, dass ihre Stichprobe gesunder älterer Menschen relativ homogen war und die Ergebnisse deshalb nur sehr begrenzt auf die Population älterer Menschen generalisierbar sind. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese der Autoren, dass exzentrisches Training grössere Kraftgewinne auslöst, nicht. Es kamen keine signifikanten Zwischengruppeneffekte bezüglich der Maximalkraft zustande. Die Autoren vermuten, dass die Kombination eines traditionellen Krafttrainings mit einer Phase exzentrischen Overloads bessere Kraftsteigerung erzielen könnte, als das isolierte Training mit einer einzigen Kontraktionsform. Möglicherweise verzerrte das Testprozedere die Ergebnisse zu Ungunsten des exzentrischen Trainings. Es wurde nämlich stets zuerst die konzentrische, dann die isometrische und zuletzt die exzentrische Kraft getestet. Zum Zeitpunkt der Messung der exzentrischen Maximalkraft hatten die Probanden bereits je drei submaximale und fünf maximale konzentrische und isometrische Kontraktionen absolviert. Obwohl zwischen den einzelnen Krafttests eine Pause von zwei Minuten lag, ist eine Vorer müdung durch die vorangegangenen Tests wahrscheinlich. Im Gegensatz zu Blazevich et al. (2007) fand sich ausserdem ein Trend zur Spezifität für alle getesteten Kontraktionsformen.

Farthing et al. (2003) stellten die Hypothese auf, dass schnelle exzentrische Kontraktionen am wirkungsvollsten für den Aufbau von Kraft und Muskulatur sein sollten, weil sie die höchste Krafterzeugung aufweisen (vergleiche Abschnitt 2.4). Die Ergebnisse scheinen diese Hypothese zu bestätigen. Tatsächlich erzielte die Gruppe, die exzentrisch und mit hoher Bewegungsgeschwindigkeit trainiert hatte signifikant höhere Steigerung an Kraft und Muskelmasse als die anderen Gruppen. Die Grösse der Effekte war mit rund 15 bis 20% Kraftzunahme und ca. 12% Volumenzunahme durchaus relevant. Die Autoren deuten dies als Hinweis darauf, dass die Krafterzeugung während der Kontraktion tatsächlich ein wichtiger Faktor für Muskelhypertrophie ist. Als weitere Schlussfolgerung erwähnen die Autoren, dass exzentrisches Training unabhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit effizienter bezüglich der gemessenen Outcomes ist. Sie bleiben eine Erklärung dafür schuldig, warum konzentrisches Training keine signifikanten Steigerungen gegenüber den Kontrollgruppen auslösen konnte. Ein Bias aufgrund der Erwartungshaltung der nicht verblindeten Untersucher ist durchaus möglich, denn es gab

keine Angaben dazu, ob und wie die Probanden im Training zu maximalem Effort motiviert wurden. Unbewusste Beeinflussung durch die Supervisoren kann damit nicht ausgeschlossen werden. Die Aussagekraft der Studie wird weiter dadurch geschwächt, dass die Teilnehmer der Kontrollgruppe nicht randomisiert zugeteilt wurden und die Kontrollgruppe weniger als ein Drittel aller Probanden umfasste.

Higbie et al. (1996) fanden eine Spezifität der Kontraktionsform bei der exzentrisch trainierten Gruppe. Diese hatte ihre exzentrische Kraft signifikant verbessern können, aber nicht die konzentrische. Die Kraftsteigerungen der konzentrisch trainierten Gruppe waren dagegen generalisierbarer. Obwohl sich die ECC-Gruppe in konzentrischer Kraft nicht signifikant steigern konnte, übertraf sie die CON-Gruppe, was die Hypertrophie anbelangte, signifikant. Allerdings ist dieser Effekt relativ klein (vergleiche Abschnitt 3.3). Auch die spezifische Kraft wurde in der ECC-Gruppe stärker erhöht. Die Autoren ziehen daraus den Schluss, dass exzentrisches Training ein überlegener Stimulus für Kraft- und Massesteigerung darstellt. Im Gegensatz zu Farthing et al. (2003) sehen sie den Grund dafür jedoch nicht in der grösseren Kraftentwicklung des Gesamtmuskels. Vielmehr argumentieren sie, dass bei gleicher Krafterzeugung im exzentrischen Modus jede aktive Muskelfaser mehr Kraft entwickelt, als im konzentrischen Modus. Dies kommt zustande, weil exzentrisch weniger funktionelle Einheiten des Muskels (*Motor Units*) aktiv sind. Die stärkere Belastung und Dehnung der einzelnen Fasern führt zu einer Schädigung derselben und dies könnte nach O'Hagan, Sale, MacDougall und Garner (1995; zit. nach Higbie et al., 1996, S. 2178) das Signal für eine verstärkte Hypertrophie sein.

Nickols-Richardson et al. (2007) gingen in ihrer Forschungshypothese davon aus, dass exzentrisches Training konzentrischem bezüglich Kraft- und Muskelmasse-Aufbau überlegen ist. Dies konnte durch die Ergebnisse nicht bestätigt werden. Es zeichnen sich keine klaren Unterschiede zwischen den beiden Trainingsformen bezüglich dieser Outcomes ab. Die Kraftsteigerung bewegen sich in einem ähnlichen Rahmen wie bei Farthing et al. (2003) und Higbie et al. (1996), nämlich bei rund 12 – 29%. Zu bemerken ist dabei jedoch, dass Nickols-Richardson et al. (2007) mit Abstand die längste Trainingsdauer veranschlagt haben. Die Hypertrophie fiel gering aus und lag in der Regel

unter 5% Zunahme zum Ausgangswert. Ein Grund dafür könnte die fehlende Belastungs-Progression sein. Die Satzzahl wurde nur während der ersten 5 Wochen gesteigert und stagnierte danach. Es geht nicht aus der Studie hervor, wie die Trainierenden zu maximalem Effort beim Training motiviert wurden. Eine freiwillige Steigerung der aufgewendeten Kraft würde nach Woche 5 als einziger Faktor einer Progression wirken. Die Autoren verwendeten den selben Dynamometer-Typ, wie vier andere der untersuchten Studien. Allerdings finden sich keinerlei Angaben zur Positionierung und Fixierung der Probanden auf dem Gerät. Dies ist jedoch nach Banzer et al. (2004) ein entscheidender Punkt, der die Messungen beeinträchtigen kann. Auch die Reproduzierbarkeit der Studie ist dadurch nicht gewährleistet. Die Entscheidung, immer die dominante Extremität der Probanden zu trainieren und die nicht dominante als Kontrolle zu verwenden, könnte als systematischer Fehler gewirkt haben, der die Effekte zwischen Kontroll- und Trainingsgruppe verkleinerte. Auf die gleiche Weise wirkten möglicherweise Crossover-Effekte, also Adaptationen der nicht trainierten Extremität, die durch die trainierte Extremität ausgelöst werden.

Norrbrand et al. (2007) wollten die Effekte von hohen Belastungen während der exzentrischen Phase einer Bewegung genauer untersuchen. Sie verwendeten dazu eine Schwungradmaschine. Das Schwungrad wird während der konzentrischen Phase beschleunigt und muss dann exzentrisch stark abgebremst werden. Die dabei aufbrachten, kurzzeitigen, hohen exzentrischen Kräfte sollten nach der Hypothese der Autoren zu einer verstärkten Anpassung in Form von Hypertrophie führen, im Vergleich zu einer herkömmlichen Maschine, die mit einem Seilzug und Gewichtsplatten funktioniert. Die Ergebnisse brachten jedoch keine signifikanten Zwischengruppeneffekte zu Tage, was die Hypertrophie betraf. Die relative Zunahme des Muskelvolumens betrug 3% (WS-Gruppe), respektive 6.2% (FW-Gruppe). Die Autoren schätzen die Zunahme der FW-Gruppe im Vergleich zu anderen Studien für 5 Wochen Training als hoch ein. Die Kraftmessungen haben die Autoren aufgrund der verschiedenen Methoden nicht verglichen und können deshalb keine Aussage über Zwischengruppeneffekte machen. Auch die Ergebnisse, die die Hypertrophie betreffend, sind mit Vorsicht zu geniessen. Die Aussagekraft der Studie ist eingeschränkt, da die Stichprobengrösse mit N=15 relativ klein war. Auch war eine Trainingsgruppe ausschliesslich aus den Teilnehmern einer anderen,

früheren Studie zusammengesetzt und es ist damit unklar, wie der Rekrutierungsprozess war. Die Teilnehmer wurden nicht randomisiert zugeteilt. Fünf Wochen Trainingsdauer genügten wohl auch nicht, um die Adaptation in Form von Hypertrophie voll auszuschöpfen (vergleiche Abschnitt 2.6.3). Zudem erfolgte in der FW-Gruppe keine Progression, da die Masse des Schwungrades nicht verändert wurde.

Roig et al. (2008) kommen in ihrem Review zum Schluss, dass exzentrisches Training scheinbar zu stärkerer Hypertrophie führt und exzentrische sowie totale Kraft effektiver vergrößert, als konzentrisches Training. Totale Kraft entspricht dabei dem Mittelwert der konzentrischen, isometrischen und exzentrischen Kraft. Dies beruht laut den Autoren möglicherweise auf den grösseren Kräften, die exzentrisch entwickelt werden können. Sie weisen jedoch darauf hin, dass diese Adaptationen hochgradig spezifisch bezüglich der Kontraktionsform und der Kontraktionsgeschwindigkeit sind.

Tabelle 5 – Zusammenfassung der Ergebnisse

Studie	Kraftsteigerung	Hypertrophie	Spezifität
Blazevich et al. (2007)	Kein Zwischengruppeneffekt für exzentrische Kraft. Konz. Kraft durch konz. Training stärker gesteigert.	Kein Zwischengruppeneffekt. ~10% Volumenzunahme pre-post.	Spezifität bei konzentrischem Training festgestellt.
Brock Symons et al. (2005)	Keine Zwischengruppeneffekte.	Nicht untersucht.	Spezifität bei isom., konz. und exz. Training festgestellt.
Farthing et al. (2003)	Schnelles, exzentrisches Training löst am effektivsten Hypertrophie und Kraftsteigerungen aus. Exzentrisch-isokinetisches Training ist für diese Outcomes allgemein effektiver als konzentrisch-isokinetisches Training.		
Higbie et al. (1996)	Exz. Training steigert exz. Kraft stärker als konz. Training konz. Kraft.	Stärkere Hypertrophie durch exz. Training (+6.6%) als durch konz. Training (5.0%), aber kleiner Hypertrophie-Effekt.	Stärkere Spezifität bei exz. Training.
Nickols-Richardson et al. (2007)	Kein klarer Zwischengruppeneffekt. Kraftsteigerungen ~12-29%.	Kein Zwischengruppeneffekt. ~5% Volumenzunahme pre-post.	
Norrbrand et al. (2007)	Keine Aussage möglich aufgrund des Studiendesigns.	Kein Zwischengruppeneffekt. ~3-6% Volumenzunahme pre-post.	Spezifität bei konzentrischem Training festgestellt.
Roig et al. (2008)	Exz. Training erhöht exz. und totale Kraft stärker als konz. Training.	Exz. Training scheint mehr Hypertrophie auszulösen als konz. Training.	Die Adaptationen durch exz. Training sind stark spezifisch in Bezug auf Kontraktionsform und Kontraktionsgeschwindigkeit.

4.1 Fazit und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, Erkenntnisse über die Vor- und Nachteile exzentrischen Trainings für gesunde Menschen zusammenzutragen. Nach den im Abschnitt 1.2.1 beschriebenen Kriterien und Vorgehensweisen wurden sechs Studien und ein systematischer Review ausgewählt und analysiert.

Die Ergebnisse zeichnen kein eindeutiges Bild. Vier Studien konnten grundsätzlich keine Zwischengruppeneffekte feststellen und damit keine klare Aussage zu Vor- oder Nachteilen von exzentrischem Training machen. Zwei der Studien und der systematische Review stimmen darin überein, dass exzentrisches Training stärkere Hypertrophie auslöst und zumindest die spezifische Kraft stärker erhöht, als konzentrisches Training. Dagegen fand keine der untersuchten Studien eine grössere Hypertrophie bei konzentrischem Training. Blazeovich et al. (2007) berichtet jedoch von einer grösseren, spezifischen Kraftsteigerung nach konzentrischem Training. Trotzdem kann man bei den sechs untersuchten Studien insgesamt von einem leichten Trend in Richtung stärkerer Hypertrophie und stärkerer spezifischer Kraftsteigerung nach exzentrischem Training sprechen. Roig et al. (2008), die für ihren Review 20 Studien untersucht hatten, kommen zum selben Ergebnis. Sie sehen einen mässigen Trend zu verstärkter Hypertrophie nach exzentrischem Training, den sie auf höhere Trainingsintensitäten im Vergleich zu konzentrischem Training zurückführen. Für die Kraftsteigerung zeigte sich ein deutlicheres Resultat, wonach exzentrisches Training die spezifische Kraft stärker steigert, als konzentrisches Training. Die ebenfalls aufgetretene, stärkere Steigerung der Totalkraft durch exzentrisches Training könnte laut den Autoren zu einem grossen Anteil auf die Zuwächse an exzentrischer Kraft zurückzuführen sein.

Die vielfältigen Faktoren, die an Adaptationsprozessen nach Widerstandstraining beteiligt sind, dürften hauptverantwortlich dafür sein, dass keine eindeutigen Aussagen gemacht werden können. Tomasits et al. (2005) weisen darauf hin, dass gerade in den ersten Wochen nach Beginn eines Widerstandstrainings Kraftsteigerungen vor allem durch effizientere Aktivierung der Muskulatur durch das zentrale Nervensystem erfolgen und nicht durch Hypertrophie. Enoka (1996) berichtet von uniken neuralen Aktivierungsmustern bei exzentrischen Kontraktionen. Möglicherweise liegt auch die Ursache der Spezifität der Kraftentwicklung in der unterschiedlichen neuralen Aktivität, die mit den verschiedenen

Kontraktionsformen assoziiert ist. Weitere Studien zur Erforschung dieser Thematik könnten das Verständnis von Ursache und Wirkung verschiedener Kontraktionsarten verbessern.

Auch die Gestaltung der Trainingsvariablen bietet viel Spielraum und damit eine Vielfalt von Faktoren, die das Ergebnis beeinflussen können. Will man den Einfluss eines Faktors wie z.B. der Kontraktionsform überprüfen, müssten für eine klare Aussage alle anderen Faktoren möglichst konstant gehalten werden. Die Trainingsdauer, Intensität, Bewegungsgeschwindigkeit, das Bewegungsausmass, die Positionierung und Fixierung der Probanden und nicht zuletzt die Messmethoden variieren stark. Eine gewisse Standardisierung der Trainingsprotokolle wäre hier wünschenswert und weitere experimentelle Studien, die den Einfluss einzelner Faktoren und deren Zusammenwirken untersuchen, sind sicher notwendig.

Was in den hier untersuchten Studien ebenfalls keine Beachtung fand, ist die Ernährung der Probanden. Hier könnten grosse, unbeachtete Unterschiede vorhanden sein, die nicht erfasst werden. Beispielsweise sehen Tomasits et al. (2005) in der Proteinzufuhr einen Faktor, der die Hypertrophie deutlich beeinflusst.

Abschliessend können für die Praxis des Krafttrainings aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse folgende Empfehlungen gegeben werden: Das Ausnutzen der höheren Kraftentwicklung bei exzentrischen Kontraktionen könnte die Hypertrophie begünstigen. Dazu muss die Intensität aber auch entsprechend höher sein, als bei konzentrischem Training. Für Kraftsteigerungen in exzentrischen Aktivitäten ist exzentrisches Training vorzuziehen. Inwiefern sich diese Kraftgewinne auf komplexere, funktionelle Aktivitäten mit verschiedenen Kontraktionsformen und Bewegungsgeschwindigkeiten übertragen lassen, ist unklar. Aufgrund der Spezifität scheint es sinnvoll, das Krafttraining vielfältig zu gestalten und alle benötigten Kontraktionsformen sowie verschiedene Bewegungsgeschwindigkeiten zu trainieren.

5. Danksagung

Ich möchte Herrn André Meichtry für die Betreuung danken, Frau Yvonne Fehr für das Korrekturlesen und der Klasse PT06A für diverse Informationen, Ratschläge und Hilfestellungen.

6. Literaturverzeichnis

- Banzer, W., Pfeifer, K. & Vogt, L. (2004). *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin*. Berlin: Springer Verlag.
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Coleman, D. R. & Horne, S. (2007). Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol*, 103, 1565-1575.
- Bredenkamp, A. & Hamm, M. (2006). *Trainieren im Sportstudio*. Rödinghausen: Fitness Contur Verlag.
- Brock Symons, T., Vandervoort, A. A., Rice, C. L., Overend, T. J. & Marsh, G. D. (2005). Effects of maximal isometric and isokinetic resistance training on strength and functional mobility in older adults. *J Gerontol*, 60A, 777-781.
- Cabri, J. (2003). Kontraktile Elemente der quergestreiften Muskulatur. In F. Van den Berg (Hrsg.), *Angewandte Physiologie. 1 Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen* (S. 182-214). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Enoka, R. (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*, 81, 2339-2346.
- Farthing, J. P. & Chilibeck, P. D. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *Eur J Appl Physiol*, 89, 578-586.
- Haas, H. (2001). Trainingstherapie. In F. Van den Berg (Hrsg.), *Angewandte Physiologie. 3 Therapie, Training, Tests* (S. 84-127). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Hegner, J. (2007). *Training fundiert erklärt. Handbuch der Trainingslehre*. Herzogenbuchsee: Ingold Verlag.
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren III, G. L. & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol*, 81, 2173-2181.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert Verlag GmbH.
- Kuchling, H. (2004). *Taschenbuch der Physik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Law, M., Stewart, D., Pollock, N., Letts, L. Bosch, J., & Westmorland, M. (1998). *Critical Review Form – Quantitative Studies* [On-Line]. Available: www.srs-mcmaster.ca/Portals/20/pdf/ebp/quantreview_form1.doc (15.1.2009).

- Lindstedt, S., LaStoya, P. & Reich, T. (2001). When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci*, 16, 256-561.
- Nickols-Richardson, S. M., Miller, L. E., Wootten, D. F., Ramp, W. K. & Herbert, W. G. (2007). Concentric and eccentric isokinetic resistance training similarly increases muscular strength, fat-free soft tissue mass, and specific bone mineral measurements in young women. *Osteoporos Int*, 18, 789-796.
- Norrbrand, L., Fluckey, J. D., Pozzo, M. & Tesch, P. A. (2007). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*, 102, 271-281.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B. & Reid, D. W. (2008). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med* (doi:10.1136/bjism.2008.051417).
- Spring, H., Dvořák, J., Dvořák, V., Schneider, W., Tritschler, T. & Villiger, B. (2005). *Theorie und Praxis der Trainingstherapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Tomasits, J. & Haber, P. (2005). *Leistungsphysiologie. Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur*. 2. Auflage. Wien: Springer-Verlag.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kraft-Längen-Relation (aus Hegner, 2007, S. 63).....	12
Abbildung 2: Kraft-Geschwindigkeits-Relation (aus Spring et al., 2005, S. 41).....	13
Abbildung 3: Superkompensation (aus Hegner, 2007, S. 94).....	15
Abbildung 4: Summation von Trainingsreizen (aus Bredenkamp und Hamm, 2006, S. 110)...	15

Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe.

Ort, Datum _____

Unterschrift _____

David Zolliker