

Michael Fröhlich¹, Lutz Links¹ & Andrea Pieter²

¹ Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes

² Deutsche Hochschule für Prävention und Gesundheitsmanagement in Saarbrücken

Effekte des Krafttrainings – eine metaanalytische Betrachtung

Zusammenfassung

Krafttraining hat zahlreiche positive Effekte auf Fitness, Gesundheit und sportliche Leistungsfähigkeit. Im Sinne des Evidenced Based Trainings herrscht ein wissenschaftliches Desiderat bzgl. der Effektivität verschiedener Belastungsmerkmale und Trainingsmethoden. Mittels Metaanalyse konnten anhand von 45 Primärstudien mit insgesamt 1712 Probanden 203 Effektstärken im Pre-Post-Design bzgl. der Veränderung der Maximalkraft berechnet werden. In Abhängigkeit von individuellen Voraussetzungen wie Trainingsstatus, Geschlecht und Probandenalter sowie von trainingsmethodischen Variablen wie Studienlänge, Gesamttrainingshäufigkeit, Belastungsnormativa usw. resultierten unterschiedliche Effektstärken. Generell lässt sich konstatieren, dass untrainierte höhere Effektstärken aufweisen als trainierte Personen und zu Beginn eines entsprechenden Trainings die höchsten Effekte erzielt werden. Weiterhin zeigt sich, dass eine höhere Trainingshäufigkeit, ein höheres Trainingsvolumen sowie die Verwendung von Periodisierungsmassnahmen grössere Effektstärken bedingen und eine mittlere Pausendauer in Bezug auf die Kraftsteigerung als optimal anzusehen ist. Zukünftige Studien sollten diese Erkenntnisse bei der Interpretation von Effektstärken im Bereich Krafttrainingsinterventionen berücksichtigen.

Abstract

Strength training has numerous positive effects on fitness, health, and physical performance. In terms of Evidenced Based Training, however, there is a scientific lack of facts regarding the efficiency of different physical criteria and training methodology. By means of a meta-analysis including 45 primary studies and a total number of 1712 participants, 203 effect sizes in pre-post design were identified regarding the variation of maximum strength. The effect sizes found differed depending on individual preconditions, such as training status, gender, age, and methodological variables like duration of study, total training frequency, training parameters, etc. In general, untrained subjects produced higher effect sizes than their trained counterparts with the highest effects being achieved in the very beginning of the physical training examinations. Furthermore, there were greater effects when it came to enhanced training frequencies, training volumes, as well as periodization strategies. In addition, moderate interserial rest periods were highlighted to be the most effective strategy in the development and progression of strength. In the future, these findings should be considered in the interpretation of effect sizes of strength training, especially regarding the variation of strength.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 60 (1), 14–20, 2012

Einleitung

Die Verbesserung der motorischen Grundeigenschaft Kraft sowie die damit einhergehenden vielfältigen positiven Auswirkungen stehen seit Jahren im Mittelpunkt des Forschungsinteresses von Trainingswissenschaft und Sportmedizin (Toigo, 2006a, 2006b). Bedingt wird diese Entwicklung dadurch, dass einerseits die Ausbildung der Kraftfähigkeiten eine immer wichtigere Rolle im Hinblick auf allgemeine Fitness, Rehabilitation und Prävention von muskulären Verletzungen und Schädigungen, koronaren Herzkrankheiten, metabolischem Syndrom, Adipositas usw. einnimmt (ASCM, 2002, 2009) und andererseits Krafttraining ein elementarer Bestandteil eines zielorientierten Trainings in nahezu allen Sportarten und Disziplinen darstellt (Kraemer und Häkkinen, 2002).

Betrachtet man die Trainierbarkeit verschiedener Kraftfähigkeiten, so werden kurzzeitige Leistungszuwächse von 40–120% nach 4–8 Trainingseinheiten für möglich gehalten. Diese hohen anfänglichen Kraftsteigerungsprozesse beruhen jedoch primär auf neuromuskulären Anpassungen sowie auf Lern-, Gewöhnungs- und Messeffekten (Fröhlich und Marschall, 2001; Rutherford und Jones, 1986). Während zu Beginn eines Krafttrainings hauptsächlich die neuronalen Adaptationen ausschlaggebend sind, nimmt der Einfluss des Muskelquerschnitts mit zunehmender Trainings-

dauer stetig zu. Darauf aufbauend wird das Hauptaugenmerk der verschiedenen Trainingskonzeptionen u.a. auf die Muskelquerschnittszunahme gelegt. Bei genauerer Betrachtung dieser Trainingskonzeptionen wird jedoch deutlich, dass eine Vielzahl der Trainingsempfehlungen weitaus weniger wissenschaftlich fundiert ist, als gemeinhin postuliert wird. Problematisch ist weiterhin, dass die Empfehlungen bzgl. der Belastungskomponenten nur sehr unzureichend weitere mögliche Einflussfaktoren berücksichtigen (ACSM, 2002) und somit die Angaben der Trainingskonfigurationen mit Vorsicht zu interpretieren sind. Laut Toigo (2006a, b) ist sowohl die Frage nach der individuellen Variationsbreite der Trainingsanpassung als auch nach dem Zusammenhang zwischen Belastungsnormativa und adaptativen Reaktionen noch ungeklärt, da entsprechende Empfehlungen eher theoretisch begründet als empirisch verifiziert sind. Fröhlich et al. (2007) fordern daher im Sinne des Evidence Based Trainings exaktere Handlungsempfehlungen, die in Form von Wenn-Dann-Aussagen in allen Anwendungsbereichen entsprechenden Überforderungen vorbeugen und möglichst effiziente Adaptationsmechanismen aktivieren können. Da in diesem Bereich noch ein erhebliches Forschungsdesiderat auszumachen ist, war es Zielstellung der metaanalytischen Betrachtung zu eruieren, welche mittleren Krafttrainingseffekte mit welcher Trainingsmethode in Abhängigkeit vom aktuellen Ausgangsniveau und in verschiedenen Zeiträumen zu erzielen sind.

Methoden

Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte in multipler Weise über Internetdatenbanken und Recherchesysteme wie PUBMED, MEDPILOT und MEDLINE. Ausserdem über die virtuelle Fachbibliothek Sportwissenschaft (VIFA-SPORT) mit den Recherchesystemen SPONET, SPOWIS, SPORTIF, sowie über die Suchmaschinen SPOLIT, SPOFOR, SPOMEDIA des Bundesinstituts für Sportwissenschaft. Darüber hinaus wurde die Durchsicht einschlägiger Zeitschriften, die Auswertung der Literaturverzeichnisse bereits vorliegender Primärstudien bzw. Übersichtsarbeiten (Schneeballsystem) in die Recherche einbezogen. Die verwendeten Deskriptoren waren: Hypertrophietraining, Muskelaufbautraining, Aufbautraining, Bodybuilding, Hypertrophie, Muskelhypertrophie, Kraftzuwachs, Muskelwachstum, Kraftentwicklung, hypertrophy, muscle hypertrophy bzw. muscular hypertrophy in Verbindung mit und ohne Krafttraining oder strength training.

Selektionskriterien

Die Aufnahme der Primärstudien in die Metaanalyse erfolgte anhand folgender Selektionskriterien: (a) mindestens 10 physisch und psychisch gesunde Versuchspersonen in einem Altersbereich von 18 bis 60 Jahren ohne Substitution von Gebrauchs- oder Nahrungsergänzungsmitteln, (b) kontrolliertes, randomisiertes Pre- und Posttest-Design mit Kontrollgruppe (RCT), (c) Treatmentdauer zwischen 8 und 26 Wochen, (d) Angabe und Beschreibung der verwendeten Trainingsmethoden, (e) Operationalisierung der Trainingseffektivität über die dynamische (Einerwiederholungsmaximum, 1-RM) oder die isometrische (MVC) Maximalkraft, (f) Angabe der statistischen Kennwerte zur Berechnung der Effektstärke, (g) Publikationszeitraum von 1980 bis 2010 (Deadline 31.12.2010) sowie Publikation in englischer oder deutscher Sprache.

Kodierung und Bewertung

Die Kodierung wurde in Anlehnung an Rustenbach (2003) nach einem a priori festgelegten, allerdings offenen Kodierschema vorgenommen (Peterson et al., 2004; Rhea et al., 2003). Das Kodierschema beinhaltete (a) die Beschreibung der Primärstudie (Autoren, Titel, Erscheinungsjahr, Sprache, Art der Publikation, Studienart, Name der Zeitschrift, Impact Factor, Review, Studiendesign), (b) die Probandenbeschreibung (Probandenzahl, Durchschnittsalter, Geschlecht, Trainingsstatus, anthropometrische Daten), (c) Testmethodik (Muskelarbeitsweise im Test, Anzahl und Art der Testübung(en), Testübungsauswahl), (d) Interventions- bzw. Treatmentbeschreibung (Studiendauer, Muskelarbeitsweise im Training, Anzahl und Art der Trainingsübungen, Belastungsnormativa [Trainingshäufigkeit, Intensität, Serienzah, Wiederholungszahl, Pausenintervall, Bewegungsgeschwindigkeit, Periodisierung]) und (e) methodische Merkmale der Primärstudien (statistische Prüfgrösse, statistisches Prüfverfahren, Bewertung der Methodik, Bewertung der Ergebnisse).

Statistik und Effektstärke-Berechnung

Die Berechnung der Effektstärke erfolgte durch d (Cohen, 1969) bzw. g von Hedge anhand der gepoolten Standardabweichung (Fröhlich und Pieter, 2009). Da den Selektionskriterien entsprechend alle Studiendesigns sowohl Experimental- und Kontrollgruppe, als auch Vor- und Nachtest aufweisen, wurde darüber hinaus zusätzlich die kontrollierte Effektstärke (d_{kon}) berechnet: $d_{kon} = d_{post} - d_{prä}$. Durch diese Vorgehensweise werden eventuell vor dem Treatment bestehende Gruppenunterschiede berücksichtigt, sodass der entscheidende Effekt, die Interaktion zwischen Bedingungen und Zeitpunkten, abgebildet werden kann. Darüber hinaus wurde die kontrollierte Effektstärke (d_{kon}) an der Studiendauer relativiert, um zeitliche Interaktionseffekte auszuschliessen: $d_{rel} = d_{kon} / \text{Studiendauer in Wochen} * 10$. Die Deskription

erfolgte über Mittelwerte, Standardabweichungen, Häufigkeiten, Prozentangaben und Konfidenzintervalle. Die inferenzstatistische Prüfung wurde mittels Varianzanalysen durchgeführt, wobei die Voraussetzungsprüfungen mit Hilfe des Levene-Tests (Varianzhomogenität) sowie dem Kolmogorov-Smirnov-Test (Normalverteilung) geprüft wurden. Die Post-hoc Einzelvergleiche wurden über Scheffé-Tests abgesichert und die Varianzklärung wurde über das partielle Eta² (η^2) vorgenommen. Das Signifikanzniveau betrug $p < 0.05$.

Primärstudienbefunde

Aufgrund der Selektionskriterien verblieben 45 Primärstudien anhand derer 203 Effektstärken (Maximalkraftveränderung im Treatment) berechnet werden konnten. Bei 93.3% der Primärstudien handelte es sich um englischsprachige Zeitschriftenartikel (weiterhin 2 Dissertationen und 3 deutschsprachige Beiträge). 95.6% ($N = 43$) der Primärstudien wurden begutachtet, wobei der mittlere Impact Faktor bei 2.1 ± 0.9 lag. Die Gesamtteilnehmerzahl in den 45 Primärstudien betrug 1712 Versuchspersonen (durchschnittliche Probandenzahl pro Studie 38.0 ± 22.4 , Min = 10, Max = 114, Median = 30). Das mittlere Alter lag bei 26.9 ± 7.9 Jahren (Min = 18.6, Max = 55.3, Median = 24.7). Lediglich eine Primärstudie (2.2%) macht keine Angabe zum Probandengeschlecht, sodass festzustellen ist, dass die Primärstudien zu 46.7% nur männliche ($N = 21$), zu 13.3% nur weibliche ($N = 6$) und in 37.8% ($N = 17$) Personen beiderlei Geschlechts aufnahmen. In 66.7% der Primärstudien ($N = 30$) wurden untrainierte und in 24.4% ($N = 11$) trainierte Versuchspersonen untersucht. Eine Publikation (2.2%) nahm sowohl trainierte als auch untrainierte Personen auf, wohingegen 3 Veröffentlichungen (6.7%) keine Angaben zum Trainingsstatus machen. In 75.5% der Primärstudien ($N = 34$) wurde 1-RM und in 39.9% ($N = 18$) MVC bestimmt. Die Anzahl an Testübungen betrug im Mittel pro Primärstudie 2.20 ± 2.05 Geräte bzw. Übungen (Min = 1, Max = 12, Median = 2.0). Die am häufigsten verwendeten Testübungen für die unteren Extremitäten waren die Beinstreckung (17.2%), die Beinpresse (15.3%) und die Kniebeuge (9.4%). Im Bereich des Oberkörpers kam vor allem das Bankdrücken (17.2%), der Bizepscurl (7.9%) und der Latissimus pull down (5.4%) zur Anwendung.

Interventions- bzw. Treatmentbeschreibung

Das Krafttraining wurde durchschnittlich an 5.00 ± 5.27 Geräten bzw. Übungen durchgeführt (Min = 1, Max = 30, Median = 4.0). Die maximale Anzahl an Trainingsübungen von 30 ist aufgrund eines Split-Programms zu erklären, bei dem zwei verschiedene Trainingsgruppen an unterschiedlichen Tagen verschiedenartige Trainingsprotokolle zu absolvieren hatten. In allen Studien werden Angaben zu den Belastungsnormativa des Trainings (Selektionskriterien) gemacht. Darüber hinaus wurden in 68.9% der Primärstudien ($N = 31$) Angaben über die Verwendung eines progressiven Trainingsprotokolls und in 44.4% der Primärstudien ($N = 20$) Angaben zu Periodisierungsmassnahmen berichtet. Es konnte eine mittlere Studiendauer (Trainingsintervention = Zeitpunkt zwischen Pretest und Posttest) von 12.5 ± 4.64 Wochen (Min = 8, Max = 26, Median = 12) in den Einzelstudien festgestellt werden, wobei 28.1% der Studien eine Studiendauer von weniger als 12 Wochen, 36.4% von genau 12 Wochen und 35.5% von mehr als 12 Wochen hatten. Die mittlere Gesamttrainingshäufigkeit betrug 36.25 ± 18.20 Trainingseinheiten (Min = 6, Max = 96, Median = 32), sodass durchschnittlich 2.62 ± 0.60 Trainingseinheiten pro Woche absolviert wurden. Die Trainingsinterventionen konnten anhand der Belastungsintensität sowie der Wiederholungszahlen den drei Bereichen Maximalkraft- bzw. intramuskuläres Koordinationstraining ($> 85\%$ 1-RM bzw. < 6 Wdh.), Hypertrophietraining ($60\text{--}85\%$ 1-RM bzw. $6\text{--}12$ Wdh.) und Kraftausdauertraining ($30\text{--}60\%$ 1-RM bzw. > 12 Wdh.) zugeordnet werden (Güllich und Schmidtbleicher, 1999).

Methodische Merkmale der Primärstudien

Die Bewertung der Methodik der Primärstudien wurde anhand der PEDro-Skala des Centre for Evidence-Based Physiotherapy (CEBP, 1999) vorgenommen (Spezifizierung der Ein- und Ausschlusskriterien, Randomisierung der Probanden, Erhebung des Outcomes, Compliance, statistischer Vergleich usw.). Für jede mit Ja beantwortete Kategorie wurde ein Punkt vergeben. Der über alle Kategorien hinweg resultierende Summenwert stellte schliesslich das Richtmass für die Bewertung der Primärstudienqualität dar: Primärstudien mit 0–3 Punkten wurden als gering (0), mit 4–5 Punkten als moderat (1) und mit 6–7 Punkten als hoch (2) eingestuft. Die Beurteilung der Ergebnisqualität wie geschätzte Effektgrösse, Angabe von Konfidenzintervallen, Subgruppenanalyse, statistische Adjustierung, Verblindung usw. orientierte sich an den CONSORT Statements (2010) zur Qualitätsverbesserung von Darstellungen randomisierter Studien im Paralleldesign. Die Vorgehensweise glich derjenigen der Bewertung der Methodik, sodass die Ergebnisbeurteilung, bezogen auf die Detailliertheit der Ergebnisdarstellung, ähnlich der Methodikklassifizierung, in 0 = gering, 1 = moderat und 2 = hoch eingestuft wurde. 91.1% der Primärstudien (N = 41) konnten bezüglich der methodischen Qualität als hoch bewertet werden (8.9%, N = 4 als moderat). Auch die Ergebnisqualität war in 82.2% der Primärstudien als hoch (N = 37) einzuschätzen bzw. wurde in 17.8% (N = 8) der Studien als moderat beurteilt.

Die Resultate werden als Mittelwerte ± Standardabweichungen dargestellt.

Resultate

Einfluss von Studiendauer und Trainingshäufigkeit

Bei den Variablen Studiendauer (F = 13.36; df = 2, 200; p < 0.001; $\eta^2 = 0.12$) und Gesamttrainingshäufigkeit (F = 19.50; df = 2, 200; p < 0.001; $\eta^2 = 0.16$) konnten signifikante Haupteffekte festgestellt werden (Tab. 1).

Einfluss von Personenmerkmalen

Zwischen trainierten und untrainierten Personen (F = 6.28; df = 1, 188; p < 0.05; $\eta^2 = 0.03$) sowie zwischen älteren (älter als 25 Jahre) und jüngeren Personen (bis 25 Jahre) (F = 13.97; df = 1, 200; p < 0.001; $\eta^2 = 0.07$) zeigten sich signifikante Haupteffekte (Tab. 2). Die Alterskategorisierung erfolgte anhand des Medians. Bezüglich des Geschlechts der Probanden wurden global betrachtet keine Unterschiede festgestellt (F = 1.14; df = 1, 139; p > 0.05; $\eta^2 = 0.01$). Unter Berücksichtigung des Trainingszustandes zeigten sich bei Untrainierten Effektstärken von 1.50 ± 0.81 bei männlichen (N = 68; CI = 1.32–1.69) und von 1.19 ± 0.69 bei weiblichen Probanden (N = 49; CI = 0.97–1.40), sodass im Gruppenvergleich hier ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern auftrat (F = 4.84; df = 1, 115; p < 0.05; $\eta^2 = 0.04$).

Einfluss von Intervention bzw. Treatment

Die Anzahl an Trainingseinheiten pro Woche (Tab. 2) zeigte einen signifikanten Effekt dahingehend, dass eine höhere Trainingshäufigkeit zu grösseren Kraftsteigerungen führt (F = 11.19; df = 1, 201;

Merkmal	Effektmass	Faktorstufen	ES	Sig.
Studiendauer	d _(kon)	< 12 Wochen	0.91 ± 0.73	p < 0.001
		= 12 Wochen	1.38 ± 0.98	
		> 12 Wochen	1.90 ± 1.40	
Gesamttrainingshäufigkeit	d _(kon)	< 25 TE	0.96 ± 0.71	p < 0.001
		25–36 TE	1.32 ± 0.96	
		> 36 TE	2.15 ± 1.48	

Tabelle 1: Effektstärken (ES) in Abhängigkeit von der Studiendauer sowie der Gesamttrainingshäufigkeit

Merkmal	Effektmass	Faktorstufen	ES	Sig.
Probanden-trainingsstatus	d _(rel)	trainiert	0.67 ± 0.75	p < 0.05
		untrainiert	1.11 ± 0.79	
Probanden-alter	d _(rel)	≤ 25.0	1.26 ± 0.87	p < 0.001
		> 25.0	0.86 ± 0.63	
Probanden-geschlecht	d _(rel)	männlich	1.30 ± 0.84	n.s.
		weiblich	1.16 ± 0.67	
Trainingseinheiten pro Woche	d _(rel)	1–2 TE	0.82 ± 0.58	p < 0.001
		3–4 TE	1.19 ± 0.84	
Trainings-periodisierung	d _(rel)	Periodisierung	1.13 ± 0.83	n.s.
		k. Periodisierung	1.02 ± 0.74	
Serienzahl	d _(rel)	< 3 Serien	0.79 ± 0.69	p < 0.01
		= 3 Serien	1.14 ± 0.70	
		> 3 Serien	1.20 ± 0.99	
Pausenintervalle	d _(rel)	< 1 min	0.50 ± 0.23	p < 0.01
		1–2 min	1.40 ± 0.93	
		2–3 min	0.91 ± 0.64	
		> 3 min	1.05 ± 1.03	

Tabelle 2: Effektstärken (ES) in Abhängigkeit von Personen- und Treatmentmerkmalen

p < 0.001; $\eta^2 = 0.05$). Unter Berücksichtigung des Trainingszustandes wurde bei Untrainierten eine Effektstärke von 0.83 ± 0.54 bei geringerer (N = 66; CI = 0.64–1.01) und von 1.13 ± 0.87 bei höherer Trainingshäufigkeit (N = 102; CI = 1.15–1.45) festgestellt, sodass im Gruppenvergleich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen 1–2 bzw. 3–4 Trainingseinheiten pro Woche festgestellt wurde (F = 15.74; df = 1, 166; p < 0.001; $\eta^2 = 0.09$). Die Art der Trainingsmethode (intramuskuläres Koordinations-training, Hypertrophietraining und Kraftausdauertraining) wirkte sich generell betrachtet nicht signifikant differenzierend auf die Verbesserung der Maximalkraft aus (F = 1.04; df = 2, 176; p > 0.05; $\eta^2 = 0.01$), wobei die Effektstärken des intramuskulären Koordinationstrainings 1.23 ± 0.80 (N = 26; CI = 0.93–1.53) über denen des Hypertrophietrainings 1.01 ± 0.77 (N = 101; CI = 0.86–1.16) und denen des Kraftausdauertrainings 0.97 ± 0.79 (N = 52; CI = 0.75–1.18) lagen.

Einfluss von Trainingsperiodisierung

Bei der Variablen Trainingsperiodisierung (Tab. 2) zeigten sich Effektstärken von 1.13 ± 0.83 bei periodisiertem (N = 68; CI = 0.94–1.31) und von 1.02 ± 0.74 bei nicht periodisiertem Trainingsprotokoll (N = 135; CI = 0.89–1.15). Im Gruppenvergleich wurde global kein signifikanter Unterschied zwischen periodisierten und nicht periodisierten Trainingsprotokollen festgestellt (F = 0.95; df = 1, 201; p > 0.05; $\eta^2 = 0.01$). Unter Berücksichtigung des Trainingszustandes zeigten sich bei Untrainierten Effektstärken von 1.37 ± 0.79 bei periodisiertem (N = 51; CI = 1.16–1.59) und von 1.00 ± 0.76 bei nicht periodisiertem Trainingsprotokoll (N = 117; CI = 0.86–1.14), sodass im Gruppenvergleich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen periodisierten und nicht periodisierten Trainingsprotokollen festgestellt wurde (F = 8.31; df = 1, 166; p < 0.01; $\eta^2 = 0.05$).

Einfluss von Serienanzahl

Die Serienanzahl (Tab. 2) zeigte einen signifikanten Einfluss auf die Maximalkraftsteigerung (F = 5.33; df = 2, 198; p < 0.01; $\eta^2 = 0.05$). Der post-hoc-Vergleich ergab ein signifikantes Ergebnis bei den Vergleichen zwischen < 3 Serien und 3 Serien (p < 0.05) sowie zwischen < 3 Serien und > 3 Serien (p < 0.05). Unter Berücksichtigung des Trainingszustandes zeigten sich bei Untrainierten Effektstärken von 0.78 ± 0.65 bei < 3 Serien (N = 60; CI = 0.59–0.97), von 1.19 ± 0.73 bei 3 Serien (N = 89; CI = 1.03–1.34) und von 1.81 ± 0.98 bei > 3 Serien (N = 17; CI = 1.46–2.16), sodass im Gruppenvergleich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen den Serienzahlen auftrat (F = 14.34; df = 2, 163; p < 0.001; $\eta^2 = 0.15$).

Diskussion

Studiendauer als auch Gesamttrainingshäufigkeit haben einen signifikanten Einfluss auf die Veränderung der Maximalkraft. Insbesondere bei Primärstudien mit Anfängern bzw. Untrainierten kommen diese zeitlichen Effekte zum Tragen und sind entsprechend bei der Interpretation solcher Studien im Sinne der Effektivitäts- und Effizienzabschätzung zu berücksichtigen (Fröhlich und Pieter, 2009). Da zu Beginn eines Trainingsprozesses noch sehr grosse Adaptationsreserven vorhanden sind, ist der Leistungszuwachs bei Untrainierten und Krafttrainingsbeginnern zunächst sehr hoch. Im weiteren Trainingsverlauf wird der Leistungszuwachs zwar mehr oder weniger kontinuierlich fortgesetzt, die Leistungsverbesserungen pro Zeitintervall werden jedoch im Sinne eines langfristigen bzw. langjährigen Leistungsaufbaus mit zunehmender individueller Leistungsfähigkeit immer geringer. Das bedeutet, es findet eine Abflachung der Adaptationskurve mit steigendem Leistungsniveau statt. So erzielen Untrainierte im Allgemeinen signifikant höhere Effektstärken als Trainierte (Fröhlich et al., 2007, 2010; Fröhlich und Schmidbleicher, 2008; Peterson et al., 2004; Rhea et al., 2003), was, wie bereits beschrieben, vornehmlich durch neuronale Anpassungsprozesse auf intra- und interindividueller Koordinationsebene sowie durch Lern-, Gewöhnungs- und Messeffekte zu Beginn eines Trainingsprozesses zu erklären ist. Des Weiteren kann man davon ausgehen, dass bei Untrainierten die höheren Effektstärken unabhängig von der verwendeten Trainingsmethode erzielt werden. Das ACSM (2009) weist darauf hin, dass Untrainierte in den ersten 6 Monaten eine durchschnittliche Leistungssteigerung von 25–30% erreichen, wobei sich nach 3–6 Monaten bereits die ersten Lernplateaus ergeben.

Die Effektstärke als dimensionsloses Mass für die Effektivität einer Intervention war hoch signifikant grösser bei Primärstudien mit jüngeren (≤ 25.0 Jahre) im Vergleich zu Primärstudien mit älteren Probanden (> 25 Jahre). Rein muskelphysiologisch betrachtet, lässt sich dieser Aspekt weit weniger erklären, als durch selektive Stichprobeneffekte auf Primärstudienebene. So könnte die geringere Effektstärke bei älteren Primärstudienteilnehmern durch ein höheres Ausgangsniveau sowie durch eine längere Trainingsdauer als auch durch die generellen Unterschiede bzgl. der Bedeutung der Kraftkomponente im Jugend- und Erwachsenentraining interpretiert werden. Die gefundenen, jedoch nicht signifikanten Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Primärstudienteilnehmern dürften ebenfalls auf Selektionseffekte zurückzuführen sein (z.B. geringeres Ausgangsniveau, geringerer Trainingszustand, selektive Stichprobe bei Studien mit Frauen oder Mädchen, vgl. hierzu Fröhlich und Schmidbleicher, 2008). So ist beispielsweise hinlänglich bekannt, dass die absolute als auch die relative Kraft von Frauen je nach Muskelgruppe, Messverfahren und Muskellarbeitsweise nur ca. 50–75% derjenigen von Männern entspricht, man kann jedoch davon ausgehen, dass Männer und Frauen etwa in gleichen Massen von einer Krafttrainingsintervention profitieren (Faigenbaum, 2000; Staron et al., 1990).

In der Literatur werden die Angaben zur Trainingshäufigkeit pro Woche im Allgemeinen anhand von Plausibilitätsüberlegungen (z.B. Regenerationszeiten verschiedener Subsysteme) bzw. aufgrund von impliziten ökonomischen Aspekten wie Aufwand-Nutzen-Relationen (z.B. Auslastung eines Fitnessstudios anhand der Mitgliederzahlen) angegeben. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass 3–4 Trainingseinheiten 1–2 Trainingseinheiten pro Woche überlegen sind (Fröhlich et al., 2007; Fröhlich und Schmidbleicher, 2008). Während eine Trainingseinheit pro Woche auf morphologischer Systemebene lediglich leistungserhaltend wirkt (Graves et al., 1988), lässt sich konstatieren, dass zwei Trainingseinheiten im Präventions- und Gesundheitssports bzw. 3–4 Trainingseinheiten pro Woche im ambitionierten Breitensport und Leistungssport angemessen sind (McLester et al., 2000). Studien von Braith et al. (1989), Carroll et al. (1998) sowie von Faigenbaum und Pollock (1999) konnten zeigen, dass bei Untrainierten zwei Trainingseinheiten pro Woche schon ca. 80–90% der Kraftverbesserungen höherer Trainingshäufigkeiten erreichen. Das ACSM (2009) führt in seinem Position Stand aus, dass Un-

trainierte 2–3 Trainingseinheiten in Form eines Ganzkörpertrainings und Fortgeschrittene 3–4 Trainingseinheiten, entweder drei Trainingseinheiten als Ganzkörpertraining oder vier Trainingseinheiten als Split-Training absolvieren sollten (Candow und Burke, 2007; McLester et al., 2000; Rhea et al., 2003). Tendenziell kann man sagen, dass im Bereich des Kraftausdauertrainings und des IK-Trainings vornehmlich drei Trainingseinheiten zu präferieren sind, da entweder eine geringere Trainingsintensität (Kraftausdauertraining) oder eine geringere Belastungsdauer (intramuskuläres Koordinationstraining) einen geringeren Protein-Turnover bedingen, während im Hypertrophietraining aufgrund der gleichzeitig hohen Trainingsintensität und Reizdauer (Time under Tension) zwei Trainingseinheiten ausreichend sein sollten, um einen hohen Protein-Turnover zu generieren.

Zur Initiierung neuer adaptiver Belastungsreize sollte neben der Trainingshäufigkeit auch die Übungsauswahl, die Muskelgruppe, die Belastungsintensität, das Volumen, die Serienpause sowie die Ausführungsgeschwindigkeit usw. systematisch berücksichtigt werden (Toigo und Boutellier, 2006; Toigo, 2006a, b). Studien, welche diese systematische Variation im Sinne einer langfristigen Periodisierung berücksichtigt haben, zeigen in der Regel – speziell bei bereits Trainierten – deutlich höhere Kraftverbesserungen als Trainingsinterventionen ohne Periodisierung. Dies trifft sowohl für Männer als auch für Frauen sowie für verschiedene Altersbereiche zu (Kraemer und Fleck, 2007). Allerdings wird angemerkt, dass zur weiteren Kraftentwicklung eine Periodisierung erst dann erforderlich wird, wenn ein bestimmter Leistungsstand erreicht wurde (Fleck, 1999). So konnte in zahlreichen Untersuchungen der Nachweis erbracht werden, dass speziell für Krafttrainingsfortgeschrittene und leistungsambitionierte Sportler Periodisierungsstrategien als zusätzlicher Stimulus dienen, wobei es zwischen wellenförmigen und linearen Periodisierungsmodellen keine Unterschiede bzgl. der Effektivität zu geben scheint (Fröhlich et al., 2009; Rhea et al., 2003).

Mit der Variablen Serienzahls wurde der Einfluss des Trainingsvolumens auf die Effektivität des Trainings untersucht. Bei Krafttrainingsanfängern bzw. Untrainierten führen sowohl geringvolumige Einsatztrainingseinheiten als auch hochvolumige Mehrsatztrainingseinheiten zu entsprechenden Kraftsteigerungen (Fröhlich, 2006; Hass et al., 2000), wobei die höhervolumigen Trainingseinheiten (\geq drei Serien) zu grösseren Leistungsverbesserungen führen. Je höher das individuelle Leistungsniveau ansteigt, desto grösser wird der Unterschied zwischen Einsatz- und Mehrsatztrainingsinterventionen (Fröhlich et al., 2010). Rhea et al. (2002, 2003) geben für Trainierte 3–4 Sätze und für Untrainierte 1–3 Sätze als optimale Satzanzahl an, wobei zu beachten ist, dass durch ein Mehrsatztraining zusätzlich noch koordinative Aspekte geschult werden. Da morphologische Adaptationen im Sinne einer Muskelhypertrophie einerseits von hohen Lasten und den damit verbundenen hohen muskulären Spannungen abhängig sind und andererseits eine energetische Ausschöpfung, speziell der Kreatinphosphatspeicher sowie der anaeroben Glykolyse bedingen (u.a. höherer metabolischer Stress, Testosteron- und Somatotropinanstieg; Craig und Kang, 1994; Mulligan et al., 1996), führen Mehrsatztrainingsmethoden zu höheren Muskelquerschnittszunahmen als Einsatztrainingsmethoden ohne zusätzliche Verwendung von Intensitätstechniken.

Das ACSM (2009) verweist darauf, dass die Pausendauer einerseits sowohl die metabolische, die hormonelle als auch die kardiovaskuläre Reaktion auf ein Krafttraining beeinflusst und andererseits die Ausführung weiterer Serien sowie die verschiedenen Trainingsadaptationen mitdeterminiert (Robinson et al., 1995). Dabei variiert die Pausenlänge u.a. basierend auf der Zielsetzung der auszuführenden Kraftübung, der eingesetzten Muskelgruppe und der jeweiligen Trainingsmethode. Pausenintervalle können dabei grundsätzlich in drei Kategorien eingeteilt werden: kurze (≤ 1 min), mittlere (1–3 min) und lange (≥ 3 min). Jede dieser Pausenkategorien hat einen bestimmten Effekt auf die Kraftfähigkeit und die Anhäufung von Metaboliten, hormonellen Reaktionen, kardiovaskulären Auslenkungen sowie neuronalen Reaktionen, was sich wiederum auf den Muskelaufbau auswirkt (Willardson,

2006). Allgemein lassen sich verschiedene Pausenintervalle benennen, die den unterschiedlichen Trainingsmethoden zugeordnet werden können und die die dazugehörigen erwünschten Adaptationen unterstützen und begünstigen. Um Schnellkraftverbesserungen zu erzielen, sind etwa 5–8 min Pausenzeit zwischen den Sätzen und Übungen erforderlich, während zur Maximalkraftverbesserung nur 3–5 min notwendig sind (Larson und Potteiger, 1997; Smilios et al., 2003). Im Hypertrophietraining werden Pausenzeiten von 1–2 (3) min veranschlagt, der Kraftausdauerbereich arbeitet normalerweise mit Erholungsphasen von 30–60 sec (Smilios et al., 2003). Die ATP- und Kreatinphosphat-Resynthese sollte grundsätzlich nach 3–5 min vollständig abgeschlossen sein (Harris et al., 1976). Die Pausengestaltung bedingt jedoch nicht nur die Menge des wiederhergestellten ATP und Kreatinphosphats (Kraemer et al., 2002), sondern auch die Blutlaktatkonzentration (Kraemer et al., 1987, 1990). Grundsätzlich sollten bei den Hauptübungen, die vornehmlich der Maximalkraftverbesserung dienen, Pausenzeiten von mindestens 2–3 min verwendet werden (Ratamess et al., 2007; Robinson et al., 1995; Willardson und Burkett, 2005). Bei Neben- bzw. Begleitübungen sollten Pausenintervalle von 1–2 min ausreichend sein (Kraemer, 1997; Willardson und Burkett, 2005).

Methodenkritik

Metaanalysen unterliegen bestimmten inhaltlichen und methodischen Limitierungen. Validitätsmindernde Faktoren sind einerseits im Bereich der Suchstrategien (z.B. report bias) und Auswahlkriterien (z.B. language bias) auszumachen und betreffen andererseits die Exklusion von Primärstudien, welche beispielsweise keine Effektivitätsberechnung zulassen. Bezüglich der Interraterreliabilität muss angemerkt werden, dass keine statistischen Prozeduren zur Sicherung derselben eingesetzt, sondern lediglich ein Konsens zweier Beurteilungen getroffen wurde. Weiterhin muss angemerkt werden, dass die Operationalisierung der Effektivität des Treatments allein über die Veränderung der Maximalkraft durchgeführt wurde. Treatmenteffekte in Bezug auf andere Merkmale wie Muskelquerschnittszunahme, Steigerung der Kraftausdauer, Verbesserung der Schnellkraft etc. sind somit nicht zulässig. Weiterhin ist zu erwähnen, dass die Effektivitätsmasse nur Durchschnittswerte darstellen. Somit sind individuelle Empfehlungen, prognostizierte Entwicklungsverläufe und Rückschlüsse unzulässig. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Variable Probandentrainingsstatus in den Kategorien trainiert und untrainiert eine nicht trennscharfe Dimension darstellt und durch die Angaben in den Primärstudien vorgenommen wurde.

Schlussfolgerung

In Abhängigkeit von den jeweiligen individuellen Voraussetzungen führten verschiedene Krafttrainingsmethoden zu unterschiedlichen Kraftsteigerungen, welche sich mittels des dimensionslosen Masses der Effektstärke beschreiben lassen. Die Effektstärke gibt somit einen ersten Anhaltspunkt zur Effektivität und Effizienz von Krafttrainingsinterventionen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die allgemeinen an Cohen (1969) orientierten Effektstärken im Bereich der trainingswissenschaftlichen Forschung zu modifizieren sind, da diese im Allgemeinen höher ausfallen (Fröhlich und Pieter, 2009). Darüber hinaus sollte die Dauer der Trainingsphase, das aktuelle Ausgangsniveau, die Serienanzahl, die intraserielle Pausendauer, die Verwendung von Periodisierungsmaßnahmen usw. Berücksichtigung finden.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. phil. Michael Fröhlich, Universität des Saarlandes, Sportwissenschaftliches Institut, Campus B 8.1, D-66123 Saarbrücken; Tel. +49 (0)681-302-4911, Fax +49 (0)681-302-4915, Mail: m.froehlich@mx.uni-saarland.de

Literaturverzeichnis

- *Abe T., de Hoyos D.V., Pollock M.L., Garzarella L. (2000): Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81: 174–180.
- *Alegre L.M., Jiménez F., Gonzalo-Orden J.M., Martín-Acero R., Aguado X. (2006): Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *J. Sports Sci.* 24: 501–508.
- ACSM (2002): Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 364–380.
- ACSM (2009): Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 687–708.
- *Bell G.J., Syrotuik D., Martin T.P., Burnham R., Quinney H.A. (2000): Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81: 418–427.
- *Bemben D.A., Feters N.L., Bemben M.G., Nabavi N., Koh E.T. (2000): Musculoskeletal responses to high- and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 1949–1957.
- *Ben-Sira D., Ayalon A., Tavi M. (1995): The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *J. Strength Cond. Res.* 9: 143–148.
- *Braith R.W., Graves J.E., Pollock M.L., Leggett S.L., Carpenter D.M., Colvin A.B. (1989): Comparison of 2 vs. 3 days/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *Int. J. Sports Med.* 10: 450–454.
- *Brown R.D., Harrison J.M. (1986): The effects of strength training program on the strength and self-concept of two female age groups. *Res. Q. Exerc. Sport* 57: 315–320.
- Candow D.G., Burke D.G. (2007): Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *J. Strength Cond. Res.* 21: 204–207.
- *Carpenter D.M., Graves J.E., Pollock M.L., Leggett S.H., Foster D., Holmes B., Fulton M.N. (1991): Effect of 12 and 20 weeks of resistance training on lumbar extension torque production. *Phys. Ther.* 71: 580–588.
- *Carroll T.J., Abernethy P.J., Logan P.A., Barber M., McEnery M.T. (1998): Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur. J. Appl. Physiol.* 78: 270–275.
- CEBP (1999): Pedro-Skala. Zugriff am 22.10.2010 unter http://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_german.pdf
- *Chilibeck P.D., Syrotuik D.G., Bell G.J. (1999): The effect of strength training on estimates of mitochondrial density and distribution throughout muscle fibres. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80: 604–609.
- Cohen J. (1969): *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic Press, New York, London.
- CONSORT Statement (2010): Zugriff am 25. Oktober 2010 unter <http://www.consort-statement.org/consort-statement/overview0/>
- *Cormie P., McCaulley G.O., McBride J.M. (2007): Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Phys. Fit. Perform.* 39: 996–1003.
- *Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U. (2010): Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42: 1582–1598.
- Craig B.W., Kang H.-Y. (1994): Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: total work versus power. *J. Strength Cond. Res.* 8: 270–275.
- *deMichele P.L., Pollock M.L., Graves J.E., Foster D.N., Carpenter D., Garzarella L., Brechue W., Fulton M. (1997): Isometric torso rotation strength: effect of training frequency on its development. *Arch. Phys. Med. Rehab.* 78: 64–69.
- Faigenbaum A. (2000): Age- and sex-related differences and their implications for resistance exercise. In: *Essentials of strength training and conditioning*, T.R. Baechle und R.W. Earle (eds.), Human Kinetics, Champaign, IL., pp. 169–186.
- *Fatouros I.G., Athanasios Z., Jamurtas D., Leontini K., Aggelousis T.N., Kostopoulos N., Buckenmeyer P. (2000): Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J. Strength Cond. Res.* 14: 470–476.
- Feigenbaum M.S., Pollock M.L. (1999): Prescription of resistance training for health and disease. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 38–45.
- Fleck S.J. (1999): Periodized strength training: a critical review. *J. Strength Cond. Res.* 13: 82–89.
- Fröhlich M. (2006): Zur Effizienz des Einsatz- vs. Mehrsatz-Trainings. Eine metaanalytische Betrachtung. *Sportwissenschaft* 36: 269–291.

- Fröhlich M., Emrich E., Schmidtbleicher D. (2010): Outcome effects of single-set versus multiple-set training – an advanced replication study. *Res. Sports Med.* 18: 157–175.
- Fröhlich M., Marschall F. (2001): Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der isometrischen und konzentrischen Maximalkraft. In: *Muskel-Ermüdung: Forschungsansätze in der Trainingswissenschaft*, H.-A. Thorhauer, K. Carl und U. Türk-Noack (Hrs.), Sport und Buch Strauss, Köln, S. 119–125.
- Fröhlich M., Müller T., Schmidtbleicher D., Emrich E. (2009): Outcome-Effekte verschiedener Periodisierungsmodelle im Krafttraining. *Dtsch. Ztschr. Sportmed.* 60: 307–314.
- Fröhlich M., Pieter A. (2009): Cohen's Effektstärken als Mass der Bewertung von praktischer Relevanz – Implikationen für die Praxis. *Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraumatol.* 57: 140–143.
- Fröhlich M., Schmidtbleicher D. (2008): Trainingshäufigkeit im Krafttraining – ein metaanalytischer Zugang. *Dtsch. Ztschr. Sportmed.* 59: 4–12.
- Fröhlich M., Schmidtbleicher D., Emrich E. (2007): Vergleich zwischen zwei und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche – ein metaanalytischer Zugang. *Spect. Sportwiss.* 19: 6–21.
- *Gettman L.R., Ward P., Hagan R.D. (1982): A comparison of combined running and weight training with circuit weight training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 229–234.
- *Graves J.E., Pollock M.L., Leggett S.H., Braith R.W., Carpenter D.M., Bishop L.E. (1988): Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int. J. Sports Med.* 9: 316–319.
- *Greiwing A. (2006): Zum Einfluss verschiedener Krafttrainingsmethoden auf Maximalkraft und Kraftausdauer sowie auf die Muskeldicke des M. quadriceps femoris. Dissertation im Fachbereich G (Pädagogik, Psychologie, Sportwissenschaft) der Bildungswissenschaften, Bergische Universität Wuppertal.
- Güllich A., Schmidtbleicher D. (1999): Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Dtsch. Ztschr. Sportmed.* 50: 223–234.
- *Häkkinen K., Komi P.V. (1982): Alterations of mechanical characteristics of human skeletal muscle during strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50: 161–172.
- *Häkkinen K., Komi P.V. (1983): Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15: 455–460.
- Harris R.C., Edwards R.H., Hultman E., Nordesjö L.O., Nylinde B., Sahlin K. (1976): The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Arch.* 367: 137–142.
- *Hartmann H., Bob A., Wirth K., Schmidtbleicher D. (2008): Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Leistungssport* 3: 17–22.
- Hass C.J., Garzarella L., De Hoyos D., Pollock M.L. (2000): Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 235–242.
- *Hennessy L.C., Watson A.W.S. (1994): The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J. Strength Cond. Res.* 8: 12–19.
- *Hermassi S., Chelly M.S., Fathloun M., Shephard R.J. (2010): The effect of heavy- vs. moderate-load training on the development of strength, power, and throwing ball velocity in male handball players. *J. Strength Cond. Res.* 24: 2408–2418.
- *Hoff J., Almasbakk B. (1995): The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in females team-handball players. *J. Strength Cond. Res.* 9: 255–258.
- *Hoff J., Gran A., Helgerud J. (2002): Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 12: 288–295.
- *Hortobagyi T., Katch F. (1990): Role of concentric force in limiting improvement in muscular strength. *J. Appl. Physiol.* 68: 650–658.
- *Housh D.J., Housh T.J., Weir J.P., Weir L.L., Evetovich T.K., Donlin P.E. (1998): Effects of unilateral eccentric-only dynamic constant external resistance training on quadriceps femoris cross-sectional area. *J. Strength Cond. Res.* 12: 192–198.
- *Humburg H. (2005): 1-Satz- vs. 3-Satz-Training: Die Auswirkungen des Krafttrainingsvolumens auf Maximalkraft, Kraftausdauer, Muskeldicke und neuronale Faktoren. Dissertation im Fachbereich Sportwissenschaft, Universität Hamburg.
- *Karavirta L., Häkkinen A., Sillanpää E., García-López D., Kauhanen A., Haapasaari A., Alen M., Pakarinen A., Kraemer W.J., Izquierdo M., Gorostiaga E., Häkkinen K. (2009): Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 21: 402–411.
- *Kirk E.P., Washburn R.A., Bailey B.W., LeCheminant J.D., Donnelly J.E. (2007): Six months of supervised high-intensity low-volume resistance training improves strength independent of changes in muscle mass in young overweight men. *J. Strength Cond. Res.* 21: 151–156.
- Kraemer W.J. (1997): The physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J. Strength Cond. Res.* 11: 131–142.
- Kraemer W.J., Fleck S.J. (2007): Optimizing strength training – designing nonlinear periodization workouts. *Human Kinetics, Champaign, IL.*
- Kraemer W.J., Häkkinen K. (2002): *Handbook of sports medicine and science. Strength training for sport.* Blackwell Science, Oxford.
- Kraemer W.J., Marchitelli L., Gordon S.E., Harman E., Dziados J.E., Mello R., Frykman P., Mccurry D., Fleck S.J. (1990): Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J. Appl. Physiol.* 69: 1442–1450.
- Kraemer W.J., Noble B.J., Clark M.J., Culver B.W. (1987): Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.* 8: 247–252.
- Kraemer W.J., Ratamess N.A., French D.N. (2002): Resistance training for health and performance. *Cur. Sports Med. Rep.* 1: 165–171.
- Larson G.D., Potteiger J.A. (1997): A comparison of three different rest intervals between multiple squat bouts. *J. Strength Cond. Res.* 11: 115–118.
- *Lyttle A.D., Wilson G.J., Ostrowski K.J. (1996): Enhancing performance: maximal power vs. combined weights and plyometrics training. *J. Strength Cond. Res.* 10: 173–179.
- *Marx J.O., Ratamess N.A., Nindl B.C., Gotshalk L.A., Volek J.S., Dohi K., Bush J.A., Gómez A.L., Mazzetti S.A., Fleck S.J., Häkkinen K., Newton R.U., Kraemer W.J. (2001): Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33: 635–643.
- *McBride J.M., Blaaik J.B., Triplett-Mc Bride T. (2003): Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. *Eur. J. Appl. Physiol.* 90: 626–632.
- *McBride J.M., Triplett-Mc Bride T., Davie A., Newton R.U. (2002): The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J. Strength Cond. Res.* 16: 75–82.
- *McGinley C., Jensen R.L., Byrne C.A., Shafat A. (2007): Early-phase strength gains during traditional resistance training compared with an upper-body air-resistance training device. *J. Strength Cond. Res.* 21: 621–627.
- McLester J.R., Bishop J.P., Guillems M.E. (2000): Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *J. Strength Cond. Res.* 14: 273–281.
- Mulligan S., Fleck S.J., Gordon S.E., Koziris L.P., Triplett-McBride T.N., Kraemer W.J. (1996): Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *J. Strength Cond. Res.* 10: 256–262.
- Peterson M.D., Rhea M.R., Alvar B.A. (2004): Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J. Strength Cond. Res.* 18: 377–382.
- *Pierce K., Roznek R., Stone M.H. (1993): Effects of high volume weight training on lactate, heart rate, and perceived exertion. *J. Strength Cond. Res.* 7: 211–215.
- *Pollock M.L., Graves J.E., Bammann M.M., Leggett S.H., Carpenter D.M., Carr C., Cirulli J., Matkožich J., Fulton M. (1993): Frequency and volume of resistance training. effect on cervical extension strength. *Arch. Phys. Med. Rehab.* 74: 1080–1086.
- *Pollock M.L., Leggett S.H., Graves J.E., Jones A., Fulton M., Cirulli J. (1989): Effect of resistance training on lumbar extension strength. *Am. J. Sports Med.* 17: 624–629.
- *Potter T.G., Alexander C.M., Seynnes O.R. (2009): Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur. J. Appl. Physiol.* 105: 939–944.
- Ratamess N.A., Falvo M.J., Mangine G.T., Hoffman J.R., Faigenbaum A.D., Kang J. (2007): The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 100: 1–17.
- Rhea M.R., Alvar B.A., Ball S.D., Burkett L.N. (2002): Three sets of weight training superior to 1 set with equal intensity for eliciting strength. *J. Strength Cond. Res.* 16: 525–529.
- Rhea M.R., Alvar B.A., Burkett L.N., Ball S.D. (2003): A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 456–464.
- Robinson J.M., Stone M.H., Johnson R.L., Penland C.M., Warren B.J., Lewis D.R. (1995): Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J. Strength Cond. Res.* 9: 216–221.

- Rustenbach S.J. (2003): Metaanalyse. Eine anwendungsorientierte Einführung. Verlag Hans Huber, Göttingen.
- Rutherford O.M., Jones D.A. (1986): The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55: 100–105.
- *Schroeder E.T., Hawkins S.A., Jaque S.V. (2004): Musculoskeletal adaptations to 16 weeks of eccentric progressive resistance training in young women. *J. Strength Cond. Res.* 18: 227–235.
- *Shaw B., Shaw I., Brown G.A.S. (2009): Comparison of resistance and concurrent resistance and endurance training regimes in the development of strength. *J. Strength Cond. Res.* 23: 2507–2514.
- *Simão R., Spinetti J., de Salles B.F., Oliveira L.F., Matta T., Miranda F., Fernandez L., Simao R. (2010): Influence of exercise order on maximum strength and muscle thickness in untrained men. *J. Sports Sci. Med.* 9: 1–7.
- Smilios I., Piliandis T., Karamouzis M., Tokmakidis S.P. (2003): Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 644–654.
- *Spinetti J., Freitas Salles B., Rhea M.R., Lavigne D., Matta T. (2010): Influence of exercise order on maximum strength and muscle volume in nonlinear periodized resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 24: 2962–2969.
- *Starkey D.B., Pollock M.L., Ishida Y., Welsch M.A., Brechue W.F., Graves J.E., Feigenbaum M.S. (1996): Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 1311–1320.
- Staron R.S., Malicky E.S., Leonardi M.J., Falkel J.E., Hagerman F.C., Dudley G.A. (1990): Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance trained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60: 71–79.
- *Taylor M.K., Hodgdon J.A., Griswold L., Miller A., Roberts D.E., Escamilla R.F. (2006): Cervical resistance training: effects on isometric and dynamic strength. *Aviat. Space Env. Med.* 77: 1131–1135.
- Toigo M. (2006a): Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptationen. Teil 1: Einleitung und Längenadaptation. *Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraumatol.* 54: 101–107.
- Toigo M. (2006b): Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptationen. Teil 2: Adaptation von Querschnitt und Fasertypusmodulen. *Schweiz. Ztschr. Sportmed. Sporttraumatol.* 54: 121–132.
- Toigo M., Boutellier U. (2006): New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97: 643–663.
- *Weiss L.W., Clark F.C., Howard D.G. (1988): Effects of heavy-resistance triceps surae muscle training on strength and muscularity of men and women. *Phys. Ther.* 68: 208–213.
- Willardson J.M. (2006): A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J. Strength Cond. Res.* 20: 978–984.
- Willardson J.M., Burkett L.N. (2005): A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J. Strength Cond. Res.* 19: 23–26.
- * in Analyse einbezogene Studie