

Aus der Ambulanz für Sporttraumatologie und Gesundheitsberatung

der Deutschen Sporthochschule Köln

Geschäftsführender Leiter: PD Dr. Dr. Thorsten Schiffer

Angewandtes Hypertrophietraining – Überprüfung traditioneller und neuer Ansätze

Von der Deutschen Sporthochschule Köln

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Sportwissenschaft

angenommene Dissertation

vorgelegt von

Simon Gavanda

aus

Waiblingen

Köln (2021)

Erste/r Gutachter/in: PD Dr. Dr. Thorsten Schiffer
Zweite/r Gutachter /in: Prof. Dr. Stephan Geisler
Vorsitzender des Promotionsausschusses: Univ.-Prof. Dr. Mario Thevis
Datum der Disputation: 15.01.2021

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

Hierdurch versichere ich:

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

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

Datum, Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zuallererst bei PD Dr. Dr. Thorsten Schiffer bedanken, ohne Dich wäre diese Promotion nicht möglich gewesen. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Stephan Geisler für die Begutachtung meiner Dissertation als Zweitgutachter. Deine Initiative brachte mich überhaupt auf die Idee das Promotionsstudium zu beginnen. Weiterhin hattest Du immer ein offenes Ohr für mich und die zahllosen Gespräche lieferten mir immer neue Inspiration für weitere Forschungsvorhaben.

Ein besonderer Dank gilt Hans Merz, da ich ohne Dich wahrscheinlich nie den Schritt gewagt hätte nach Köln zu ziehen, um mein Bachelorstudium aufzunehmen und so die spannende Reise bis zur Promotion überhaupt zu beginnen.

Außerdem gilt mein Dank allen Freunden und Kollegen, die mich im Laufe der Jahre auf meinem Weg unterstützt und ermutigt haben. Ein großes Dankeschön gilt dabei Eduard Isenmann für die gegenseitige Unterstützung, Ermutigungen und die vielen interessanten Gespräche, Julia Eyre für das Lektorieren meiner Artikel und die Nachhilfe bei der englischer Interpunktion sowie ganz besonders Oliver Quittmann, der mir jederzeit selbstlos alle meine Statistikfragen beantwortete.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Thomas Hosang und Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Michael Behringer. Eure akribische Arbeitsweise und Motivation nahm ich mir stets zum Vorbild.

Weiterhin möchte ich mich bei allen beteiligten Helfern und Probanden bedanken, dass sie ihre Zeit für meine Projekte geopfert und trotz nicht unerheblicher Schikanen meine Trainingsinterventionen bis zum Ende durchgehalten haben.

Zu guter Letzt gilt mein größter Dank meiner Familie und meiner Frau Theresa. Ohne Euch wäre ich nicht da, wo ich heute bin.

Publikationen der Dissertation

Gavanda, S., Geisler, S., Quittmann, J. O. & Schiffer, T. (2018). The Effect of Block Versus Daily Undulating Periodization on Strength and Performance in Adolescent Football Players. *International journal of sports physiology and performance*, 14 (6), 814-821.

Gavanda, S., Geisler, S., Quittmann, J. O., Bauhaus, H. & Schiffer, T. (2020). Three Weeks of Detraining Does Not Decrease Muscle Thickness, Strength or Sport Performance in Adolescent Athletes. *International Journal of Exercise Science*, 13(6), 633-644.

Gavanda, S., Isenmann, E., Schlöder, Y., Roth, R., Freiwald, J., Schiffer, T., Geisler, S. & Behringer, M. (2020). Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial. *PLoS ONE* 15(6): e0235377.

Zusammenfassung der Dissertation

Einleitung: In vielen Sportarten gilt die Maximalkraft als wichtige Grundlage der Leistungsfähigkeit. Eine Grundlage der Maximalkraft stellt die Muskelmasse dar. Es scheint folglich notwendig durch Krafttraining die Muskelmasse von Athleten zu steigern. Wie ein möglichst effektives Muskelaufbautraining (Hypertrophietraining) gestaltet werden sollte, ist jedoch bis heute nicht vollständig geklärt. Viele in der Praxis verwendete Methoden basieren auf anekdotischer Evidenz statt auf empirischen Belegen. Aus diesem Grund wurden in dieser Arbeit anhand von drei Studien verschiedene Ansätze des Hypertrophietrainings überprüft. Die Methoden und wichtigsten Ergebnisse dieser Studien sollen nachfolgend kurz dargestellt werden.

Methoden: Im Rahmen der ersten Studie absolvierten jugendliche American Footballspieler ein 12-wöchiges Krafttraining, mit drei Ganzkörpertrainingseinheiten pro Woche, nach der Blockperiodisierung (BLOCK) oder der Daily Undulating Periodization (DUP). Ziel war es, die Effektivität des jeweiligen Periodisierungsmodells zur Steigerung der Muskelmasse und der sportlichen Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Die zweite Studie befasste sich mit den Auswirkungen einer dreiwöchigen Detraining Periode (DTR) auf anthropometrische Größen und der Leistung bei sportmotorischen Tests. Weiterhin absolvierten hoch trainierte männliche Probanden in einer dritten Studie ein sechswöchiges niedrig-intensives Wadentraining ohne (NoBFR) oder mit Blutflussrestriktion. Vor und nach der Intervention wurde das 1-RM Wadenheben, das Wadenvolumen, die Muskeldicke des M. gastrocnemius sowie die Beinsteifigkeit bestimmt.

Ergebnisse: Am Ende der ersten Intervention zeigten beide Periodisierungsgruppen signifikante Steigerungen der Muskelmasse und -dicke sowie der sportlichen Leistungsfähigkeit ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Im Anschluss an die DTR stieg die Fettmasse signifikant und die fett-freie Masse war verringert. Alle anderen Messgrößen waren nach der DTR unverändert. Das BFR als auch das NoBFR Training führte zu signifikanten Zunahmen des 1-RM und der Muskeldicke ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Das Wadenvolumen und die Beinsteifigkeit blieben in beiden Gruppen unverändert.

Fazit: Bei jugendlichen American Footballspielern scheint die Struktur der Periodisierung keinen Einfluss auf die Anpassungen des Muskelwachstums zu haben. Ebenso zeigt eine DTR von drei Wochen keine negativen Effekte. Beide Ergebnisse liefern neue Erkenntnisse, die hilfreich bei der Erstellung von Trainingsplänen sowie bei der Planung von trainingsfreien Zeiten sein können. Das derzeit häufig untersuchte BFR Training zeigt in Bezug auf das Muskelwachstum der unteren Extremitäten keine höheren Effekte als ein konventionelles niedrig-intensives Krafttraining.

Summary of the doctoral thesis

Introduction: In many sports, strength is considered an important basis for performance. One factor affecting strength is muscle mass. Therefore, it may be necessary to increase muscle mass in athletes through resistance training. However, the most effective strategy to gain muscle mass has not yet been clearly identified. Many methods used in practice are based on anecdotal evidence rather than empirical data. For this reason, different approaches to hypertrophy training were examined in this thesis based on three studies. The methods and most important results of these studies are summarized in the following.

Methods: In the first study, adolescent American football players completed a 12-week resistance training program with three total-body training sessions per week using either Block Periodization (BLOCK) or Daily Undulating Periodization (DUP). The aim was to investigate the effects of the different periodization strategies on muscle mass and athletic performance. The second study assessed the impact of a three-week detraining period (DTR) on anthropometric measures and sport performance. In a third study, highly trained male subjects completed a six-week low-intensity calf resistance training intervention either without (noBFR) or with blood flow restriction (BFR). Before and after the intervention, 1-RM calf raise, calf volume, muscle thickness of the gastrocnemius, and leg stiffness were recorded.

Results: At the end of the first intervention, both periodization groups showed significantly higher muscle mass and thickness, as well as athletic performance without differences between groups. Following DTR, fat mass increased significantly, and fat-free mass was reduced. All other measures were unchanged after DTR. Both BFR and NoBFR training resulted in significant increases in 1-RM and muscle thickness without differences between groups. Calf volume and leg stiffness remained unchanged in both conditions.

Conclusions: In adolescent American football players, the structure of periodization does not appear to have any effect on muscle growth. Furthermore, a three weeks DTR does not result in negative effects. Both results provide new insights that can be helpful when creating training programs as well as for planning training-free periods. The currently frequently investigated BFR training does not show higher effects on muscle growth of the lower extremities than conventional low-intensity resistance training.

Abkürzungsverzeichnis

1-RM	Einerwiederholungsmaximum
BFR	Blood Flow Restriction
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BLOCK	Blockperiodisierung
CMJ	Countermovement Jump
DUP	Daily Undulating Periodization
DTR	Detraining
FFM	Fettfreie Masse
FM	Fettmasse
LP	Lineares Modell der Periodisierung
MRT	Magnetresonanztomographie
MVC	Maximum Voluntary Contraction
NP	Nicht-periodisiertes Training
ROM	Range of Motion
TUT	Time Under Tension
WUP	Weekly Undulating Periodization

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Wissenschaftlicher Hintergrund	2
2.1.	Hypertrophie der Skelettmuskulatur	2
2.2.	Krafttraining	3
2.2.1.	Trainingsintensität und Wiederholungszahl	4
2.2.2.	Belastungsumfang (Satzzahl).....	5
2.2.3.	Satzpause	5
2.2.4.	Trainingshäufigkeit (Trainingsfrequenz)	6
2.2.5.	Dauer der Trainingsperiode	7
2.2.6.	Kontraktionsart	7
2.2.7.	Dauer einer Wiederholung	8
2.2.8.	Grad der muskulären Ermüdung	8
2.2.9.	Bewegungsumfang	9
2.2.10.	Blood Flow Restriction Training	11
2.2.11.	Weitere Intensivierungstechniken.....	11
2.3.	Periodisierung im Krafttraining	12
2.3.1.	Das traditionelle Modell der Periodisierung	13
2.3.2.	Undulierende Periodisierung	15
2.3.3.	Blockperiodisierung.....	17
2.3.4.	Zum Forschungsstand der Periodisierung bei jungen Erwachsenen.....	20
2.3.5.	Zum Forschungsstand der Periodisierung bei Kindern und Jugendlichen.....	33
2.4.	Detraining.....	35
2.4.1.	Zum Forschungsstand des Detrainings bei jungen Erwachsenen	35
2.4.2.	Zum Forschungsstand des Detrainings bei Kindern und Jugendlichen	36
2.5.	Zum Forschungsstand des Blood Flow Restriction Trainings.....	37
3.	Fragestellungen	39
4.	Artikel (Kurzzusammenfassungen/Abstracts)	40
4.1.	The Effect of Block Versus Daily Undulating Periodization on Strength and Performance in Adolescent Football Players	40

4.2. Three Weeks of Detraining Does Not Decrease Muscle Thickness, Strength or Sport Performance in Adolescent Athletes.....	42
4.3. Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial	44
5. Diskussion.....	46
6. Fazit und Ausblick	54
7. Literatur.....	58
8. Anhang.....	86
8.1. Vollständige Liste der Publikationen und Kongressbeiträge	86
8.1.1. Peer-Review-Publikationen	86
8.1.2. Präsentationen und publizierte Abstracts	86

1. Einleitung

In vielen Sportarten gilt die Maximalkraft als wichtige Grundlage der Leistungsfähigkeit. So besteht ein teils starker Zusammenhang der Maximalkraft mit der Kraftbildungsrate [1, 2], der muskulären Leistung [3, 4], als auch sportlicher Fertigkeiten wie Springen [5, 6], Sprinten [5, 7] und Richtungswechseln [8, 9].

Eine Grundlage der Maximalkraft stellt u.a. die Skelettmuskelmasse dar [10–12]. Dies lässt sich eindrücklich bei Sportarten erkennen, bei denen die Relativkraft (Maximalkraft/Körpergewicht) keine Rolle spielt bzw. ein höheres Körpergewicht sogar von Vorteil sein kann (Bsp. Kontakt- und Kollisionssportarten). So steigen die absoluten Bestleistungen des olympischen Zweikampfs in den höheren Gewichtsklassen [13], als auch die Maximal- und Schnellkraft bei American Football Spielern mit höherem Körpergewicht [14]. In der Trainingspraxis scheint es folglich notwendig durch Krafttraining die Muskelmasse und damit die Leistungsfähigkeit von Athleten zu steigern.

Ein weiterer positiver Aspekt des Krafttrainings stellt die Verletzungsprävention dar. Eine Meta-Analyse von Lauersen et al. [15] konnte zeigen, dass verschiedene Krafttrainingsprogramme in der Lage sind Sportverletzungen auf weniger als ein Drittel zu reduzieren und die Prävalenz von Überlastungsschäden zu halbieren. Aus diesen Gründen empfehlen einige Autoren, insbesondere für Athletinnen und Athleten von Kontakt- und Kollisionssportarten [16], Krafttraining bereits im Kinder und Jugendalter zu beginnen [17–21].

Wie ein möglichst effektives Krafttraining gestaltet werden sollte, ist jedoch bis heute noch nicht vollständig geklärt. Nicht zuletzt, da es scheinbar endlose Kombinationsmöglichkeiten bei der Gestaltung von Trainingsreizen gibt [22]. Zudem basieren viele in der Praxis verwendete Methoden auf anekdotischer Evidenz, statt auf empirischen Belegen. Selbst die Empfehlungen führender Organisationen, wie des American College of Sport Medicine, standen aus diesem Grund bereits in der Kritik [23].

Die folgenden Kapitel sollen sich deshalb im Speziellen mit den Mechanismen des Muskelaufbaus und den Methoden des Muskelaufbautrainings, samt der dazugehörigen Trainingsempfehlungen, anhand der aktuellen Literatur befassen und Forschungslücken aufzeigen. Hieraus ergeben sich die leitenden Fragestellungen der vorliegenden Arbeit. Anschließend folgt ein Überblick der durchgeführten Studien sowie die Darstellung und Diskussion der gewonnen Ergebnisse. Letztlich werden zukünftige Arbeitsabsichten formuliert.

2. Wissenschaftlicher Hintergrund

2.1. Hypertrophie der Skelettmuskulatur

Skelettmuskelhypertrophie ist die Zunahme der Muskelquerschnittsfläche aufgrund der Zunahme des myofibrillären Volumens einzelner Muskelfasern [22, 24]. Dies ist grundsätzlich das Ergebnis kumulativer Perioden einer positiven Proteinbilanz, d.h. die Muskelproteinbiosynthese übersteigt den Muskelproteinabbau. Die Muskelproteinbiosynthese kann durch zweierlei Stimuli ausgelöst werden. Zum einen durch die Aufnahme von Aminosäuren [25, 26] und zum anderen durch wiederholte Trainingsbelastungen, zum Beispiel in Form eines Krafttrainings [27–29]. Folgende Hypertrophie auslösenden Mechanismen werden derzeit in der Literatur in Bezug auf Krafttraining diskutiert [30, 31]:

1. Mechanische Spannung

Mechanotransduktion ist die Fähigkeit einer Muskelzelle einen mechanischen Reiz in eine intrazelluläre biochemische Reaktion umzuwandeln [32]. Die Mechanorezeptoren G-Proteingekoppelter Rezeptor (GPCR), der Dystrophin-Glycoprotein-Komplex (DAG) und das Alpha 7 Beta 1-Integrin ($\alpha 7\beta 1$) spielen dabei eine zentrale Rolle [33]. Sie zeigen sich sowohl empfindlich für das Ausmaß als auch für die zeitlichen Aspekte einer Belastung [33] und aktivieren verschiedene Signalwege, welche in Muskelproteinaufbau resultieren können. Beispielsweise den Phosphoinositid-3-Kinase (PI3K)/Proteinkinase B (Akt)-Signalweg [34] oder die Mitogen-aktivierten Proteinkinase-Kinasen-Signalwege (MAPK) [35].

2. Metabolischer Stress

Metabolischer Stress ist eine durch körperliche Anstrengung verursachte Akkumulation von Metaboliten, insbesondere Laktat, anorganisches Phosphat und positiv geladene Wasserstoffionen (H^+) [36, 37]. Besonders hoch fällt dieser bei einem Training aus, das stark von der anaeroben Glykolyse abhängt. Bislang ist ungeklärt, über welche Mechanismen der metabolische Stress zu Hypertrophie führt. Es wird spekuliert, dass Laktat zu einem Anstieg von Myogenin (Transkriptionsfaktor welcher die Differenzierung von Satellitenzellen reguliert) und Follistatin (Inhibitor von Myostatin) sowie einer Senkung von Myostatin (negativer Regulator des Muskelwachstums) führt [38]. Laktat wirkt außerdem *in vitro* direkt auf Muskelzellen ein, indem es die „mechanistic Target of Rapamycin“- (=Ziel von Rapamycin [mTOR]) und p70S6k-Phosphorylierung erhöht [39, 40]. Weiterhin trägt die Anhäufung von Metaboliten zur Ermüdung des trainierten Muskels bei [41]. Dies hat eine stärkere Faserrekrutierung, eine erhöhte systemische Hormonproduktion (insulin-like growth factor [IGF]-1, Testosteron und Wachstumshormone [GH]), eine Veränderungen der lokalen Myokine (z.B. Interleukin-6), eine erhöhte Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) sowie Zellschwellung zur Folge [42, 43]. All diese Prozesse können in einer Aktivierung anaboler Signalwege resultieren, u.a. mTOR und MAPK [44]. An dieser Stelle muss jedoch festgehalten werden, dass akute Hormonveränderungen wahrscheinlich eine geringere Rolle bei der

Skelettmuskelhypertrophie spielen als in den letzten Jahrzehnten angenommen [45, 46]. Die genauen Mechanismen akuter Veränderungen anaboler Hormone in Folge eines Krafttrainings und ihr Einfluss auf die Muskulatur sind jedoch längst noch nicht abschließend geklärt [47]. Nicht zuletzt auf Grund der komplexen Interaktion verschiedener Hormone, als auch der Anzahl- und Empfindlichkeit der spezifischen Rezeptoren [47].

3. Muskelzellschädigungen

Muskelzellschädigungen treten als direkte Folge hoher mechanischer Belastungen oder durch die Aktivierung kalziumempfindlicher abbauender Signalwegen und verschiedener Entzündungsreaktionen, nach einer ungewohnten körperlichen Belastung, auf [48, 49]. Die anschließende Muskelproteinbiosynthese wird häufig mit Hypertrophie in Verbindung gebracht [50]. In wie fern Muskelzellschädigungen im langfristigen Trainingsprozess notwendig sind wird jedoch in Frage gestellt [51]. Damas et al. [51] argumentieren beispielsweise, dass die anfängliche Erhöhung der Muskelproteinbiosynthese nach Aufnahme eines Krafttrainings wahrscheinlich primär auf Reparatur- und Umbauvorgänge zurückzuführen sei und diese nicht mit einer langfristigen Muskelhypertrophie korreliert.

Es bleibt zu klären, wie ein Krafttraining, basierend auf dem zuvor beschriebenen voneinander abhängigen und teilweise überlappenden zellulären Mechanismen [44], in der Praxis gestaltet werden muss, um den Muskelzuwachs eines Trainierenden zu maximieren [52].

Die Empfehlungen für die Trainingsgestaltung im Muskelaufbautraining sollen nachfolgend aus wissenschaftlicher Sicht dargestellt werden.

2.2. Krafttraining

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt (s. Kapitel 2.1), stellt Krafttraining einen sehr potenten Stimulus für die Skelettmuskulatur dar [27–29]. Neben neuronalen Anpassungen konnten durch Krafttraining ein ganze Reihe morphologischer Veränderungen festgestellt werden [53]. Unter anderen eine Zunahme des Querschnitts des Gesamtmuskels [28, 54, 55], wie auch einzelner Muskelfasern [55–57], eine Veränderung der Muskelfaserzusammensetzung (Muskelfasershift) [58, 59] und der Muskelarchitektur (Faserlänge und Fiederungswinkel) [27, 60] sowie Anpassungen des Bindegewebes, insbesondere der Sehnen [61].

Die Art und das Ausmaß der jeweiligen Anpassung hängen maßgeblich von der Zusammensetzung der Trainingsreize ab [22]. Nach Toigo und Kollegen [22, 62] zählen hierzu die klassischen Faktoren Trainingswiderstand, Wiederholungsanzahl, Satzzahl, Satzpause, Trainingshäufigkeit und Dauer der Trainingsperiode. Weiterhin auch die zeitliche Verteilung der Kontraktionsart der jeweiligen Wiederholung, die Dauer einer Wiederholung, die Pause zwischen den Wiederholungen, die Gesamtzeit unter Spannung (Time Under Tension [TUT]), der Grad der muskulären Ermüdung, die

Bewegungsamplitude und die Übungsausführung. In den letzten Jahrzehnten wurden zu den hier genannten Trainingsdeterminanten eine große Anzahl Studien durchgeführt, so dass sich heute annähernd zu allen Faktoren Meta-Analysen finden lassen. Dies ermöglicht evidenzbasierte Empfehlungen der höchsten Stufe für die Gestaltung eines möglichst effektiven Krafttrainings [63].

Nachfolgend sollen diese Empfehlungen für das Krafttraining kurz zusammengefasst werden.

2.2.1. Trainingsintensität und Wiederholungszahl

Die Trainingsintensität bezieht sich beim Krafttraining üblicherweise auf die Größe des verwendeten Widerstands. Beim Hanteltraining ist folglich die Intensität einer Übung gleich der verwendeten Hantellast. Die Wiederholungszahl, die in einer Übung höchstens durchgeführt werden kann, steht in einem entgegengesetzten Verhältnis zur Intensität. Je höher die Trainingsintensität, desto geringer fällt die Anzahl der möglichen Wiederholungen aus [64]. Daher werden hier die Faktoren Trainingsintensität und Wiederholungszahl gemeinsam betrachtet.

Bezogen auf die Maximalkraft scheinen hohe Intensität mit wenigen Wiederholungen (> 60% des Einerwiederholungsmaximums [1-RM]) bessere Erfolge zu erzielen, als niedrige Intensitäten (< 60% 1-RM) [65]. Gemäß des Prinzips der spezifischen Anpassung, auch als „SAID principle“ (specific adaptation to imposed demands) bezeichnet [64], ist dies wenig verwunderlich. Ist das Trainingsziel hohe Lasten bewältigen zu können, ist die spezifischste und damit effektivste Trainingsform, um die gewünschten Adaptionen zu erzielen, die Verwendung hoher Lasten im Training.

Um die Muskelhypertrophie zu maximieren, wurde in der Vergangenheit vor allem empfohlen mit mittleren bis hohen Intensitäten zu trainieren und damit moderate bis hohe mechanische Spannung auf den Muskel zu applizieren [66]. Wenn man jedoch den Zuwachs an Muskelquerschnitt vergleicht, so scheinen sowohl hohe, moderate als auch niedrige Intensitäten zu vergleichbaren Ergebnissen zu führen, wenn das Training bis zum willkürlichen konzentrischen Muskelversagen durchgeführt wird [65, 67–71]. Werden die Trainingssätze mit niedriger Intensität jedoch nicht bis zum Muskelversagen durchgeführt, scheint das intensive Krafttraining für den Muskelaufbau wirksamer zu sein [72].

Wie bereits beschrieben haben metabolische Stimuli, als auch mechanische Spannungen, das Potential Skelettmuskelhypertrophie auszulösen [73]. Der metabolische Stress fällt beim Training mit hoher Wiederholungszahl und niedrigeren Intensitäten bis zum Muskelversagen in der Regel höher aus [74]. Dafür ist beim Krafttraining mit höheren Intensitäten und weniger Wiederholung der Stimulus der mechanischen Spannung auf die Muskulatur größer. So könnte physiologisch argumentiert werden, warum beide Methoden zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

2.2.2. Belastungsumfang (Satzzahl)

In der Literatur lassen sich viele Möglichkeiten finden den Belastungsumfang im Krafttraining zu definieren [64]. Eine Variante wird als Lastvolumen bezeichnet und bezieht sich auf die gesamte Last, die in einer Trainingseinheit bewältigt wurde [64]. Das Lastvolumen wird berechnet durch die Multiplikation aller Übungen, Sätze, Wiederholungen und der verwendeten Last. Der Belastungsumfang soll jedoch für diese Arbeit vereinfacht als Summe aller Trainingssätze für einen Muskel, im Zeitraum von einer Woche, definiert werden.

Eine Meta-Analyse von Ralston und Kollegen [75] zeigt eine abgestufte Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Belastungsumfang und dem resultierenden Kraftzuwachs. Die Autoren empfehlen für einen optimalen Kraftzuwachs die Verwendung von fünf bis neun Sätzen, pro Woche, für Anfänger. Für fortgeschrittene Sportler könnte jedoch auch ein Krafttraining mit mehr als zehn Sätzen je Muskel und Woche sinnvoll sein [75]. Die optimale Satzzahl zur Steigerung der Maximalkraft, insbesondere bei Trainierten, scheint jedoch noch nicht abschließend geklärt [75].

In Bezug auf den Muskelzuwachs sind bereits vier und weniger Sätze pro Woche und Muskel wirksam [76]. Jedoch lassen sich die Zuwächse mit mindestens zehn wöchentlichen Sätzen pro Muskelgruppe maximieren [76]. Auch Krieger empfiehlt sowohl für trainierte, als auch untrainierte Personen höhere Satzzahlen für maximale Hypertrophie [77]. Der derzeitige Forschungsstand ist jedoch nicht ausreichend, um die Obergrenzen der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Belastungsumfang und dem Muskelzuwachs zu bestimmen.

2.2.3. Satzpause

Die Zeit, die der Erholung zwischen Sätzen und Übungen gewidmet ist, wird als Satzpause bezeichnet [64]. Die Satzpause gilt als Faktor, der häufig in der Trainingspraxis vernachlässigt wird [78]. Sie ist in ihrer Bedeutung den anderen Trainingsvariablen jedoch mindestens ebenbürtig [79], da die Satzpause die muskuläre Ermüdung und damit die Trainingsdauer direkt beeinflusst [78, 79].

In ihrem Review schreiben de Salles et al. [78], dass für ein Training, mit dem Ziel der Maximalkraftsteigerung, Satzpausen von 3 – 5 Minuten optimal sind. Wahrscheinlich, weil die verhältnismäßig lange Pause höhere Trainingsintensitäten zulässt [78, 80].

Die Länge der optimalen Satzpause in Bezug auf den Muskelaufbau wird in der Literatur noch immer kontrovers diskutiert. So werden beispielsweise noch heute Empfehlungen für Pausendauern ausgesprochen, die primär auf akuten Hormonantworten basieren [81]. Wie bereits in vorherigen Kapiteln erwähnt (s. Kapitel 2.1), ist dies jedoch kaum noch haltbar, da akute hormonelle Veränderungen nicht immer mit muskulärer Hypertrophie einhergehen [45]. Zusätzlich liegen noch immer nicht ausreichend viele Studien, mit angemessenen Methoden, zu diesem Thema vor.

Basierend auf den wenigen neueren Studien ergeben sich aus heutiger Sicht jedoch zwei alternative Betrachtungsweisen in Bezug auf den Muskelaufbau. So können zum einen kurze Satzpausen von 20 – 60 Sekunden empfohlen werden, da die Ermüdung zwischen den Sätzen größer und damit der metabolische Stress höher ausfällt, verglichen mit längeren Satzpausen [79, 82]. Ein Nachteil kurzer Pausen stellt jedoch die Reduktion des gesamten Trainingsumfangs dar, welcher sich aus der Tatsache ergibt, dass auf Grund der unvollständigen Pausen in aufeinanderfolgenden Sätzen weniger Wiederholungen absolviert werden können [78, 82]. Im Gegensatz dazu fällt der metabolische Stress bei längeren Satzpausen (> 60 Sekunden) zwar immer geringer aus, doch dafür kann mit einem höheren Gesamtumfang oder mit höheren Intensitäten, bei gleichem Umfang, trainiert werden [79, 82].

Beide Pausenstrategien scheinen, was den Muskelaufbau betrifft, zu vergleichbaren Ergebnissen zu führen [79]. Theoretisch erklärt werden kann dies dadurch, dass kurze Satzpausen scheinbar den Mechanismus des metabolischen Stresses akzentuieren, wohingegen längere Pausen Skelettmuskelwachstum, durch höhere mechanische Spannungen und größere Spannungsdauern, auslösen. Die Wahl der Pausenlänge kann folglich nach Präferenz des Trainierenden erfolgen oder systematisch genutzt werden, um unterschiedliche Hypertrophie auslösenden Mechanismen zu akzentuieren.

2.2.4. Trainingshäufigkeit (Trainingsfrequenz)

Die Trainingshäufigkeit oder -frequenz kann entweder als Zahl der Trainingseinheiten pro Zeiteinheit [64] oder die Trainingseinheiten pro Muskelgruppe in einer Woche definiert werden [83]. Die als zweite genannte Definition soll nachfolgend für diese Arbeit verwendet werden.

Trainingsprogramme mit einer höheren Trainingsfrequenz scheinen die Maximalkraft besser zu steigern als eine geringere Trainingshäufigkeit [84]. Diese Effekte scheinen jedoch in erster Linie durch den wöchentlichen Belastungsumfang bedingt zu sein [84]. Vergleicht man den Einfluss der Trainingsfrequenz auf den Kraftgewinn, bei gleichem Belastungsumfang, hat diese wahrscheinlich keinen Effekt [85].

Die derzeitigen theoretischen Überlegungen [86] als auch Erkenntnisse aus Meta-Analysen [83, 87] deuten darauf hin, dass eine Trainingshäufigkeit von mehr als zwei Mal wöchentlich wahrscheinlich bessere Hypertrophieeffekte auslösen als eine geringere Frequenz. Dies jedoch ebenfalls nur bei nicht volumen-gematchten Studien. Vergleicht man Studien mit gleichem Belastungsumfang, hat die Trainingsfrequenz vermutlich kaum noch einen Einfluss [87].

Basierend auf dem derzeitigen Forschungsstand gestaltet sich eine klare wissenschaftliche Empfehlung zur optimalen Trainingshäufigkeit im Krafttraining bislang schwierig. Für Leistungssportler bietet es sich wahrscheinlich dennoch an, den wöchentlichen Belastungsumfang auf mehrere Tage zu verteilen,

um Ermüdungserscheinungen zwischen dem Krafttraining und dem sportartspezifischen Training zu reduzieren [86].

2.2.5. Dauer der Trainingsperiode

Betrachtet man die Dauer einer Krafttrainingsintervention so zeichnet sich ein intuitiv vermutetes, recht eindeutiges Bild. Je länger die Probanden trainierten, desto höher fielen die Kraftzuwächse aus [88].

Gleiches wurde auch für Hypertrophie Effekte anhand mathematischer Modelle postuliert [89]. Ein messbarer Zuwachs des Muskelquerschnitts konnte bei Krafttrainingsstudien, anhand verschiedener Techniken, bereits nach sieben bis acht Wochen festgestellt werden [48, 53].

Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass Untrainierte in kürzerer Zeit in der Regel größere Steigerungen erfahren als Fortgeschrittene, was sowohl die Kraft als auch den Muskelquerschnitt betrifft [75, 88–90]. Daher sollte die Dauer der Trainingsperiode der Art des Krafttrainings und dem Trainingszustand der Trainierenden angemessen gestaltet sein. Evidenzbasierte Angaben zur optimalen oder maximalen Länge einer Trainingsperiode lassen sich, auf Grund der Komplexität relevanter Faktoren, wie beispielsweise dem Trainingsalter und der Krafttrainingsmethode etc., bislang jedoch keine treffen.

2.2.6. Kontraktionsart

Die Kontraktionsart meint die Art der Kraftproduktion der menschlichen Skelettmuskeln. Es werden die konzentrische, die exzentrische und die isometrische Kraftproduktion unterschieden [91, 92].

Vergleicht man die Kraftsteigerung nach einem rein konzentrischen Training mit einem ausschließlich exzentrischen, bei gleicher relativer Intensität, so scheinen beide Trainingsformen gleich effektiv zu sein [93]. Exzentrisches Training lässt jedoch die Verwendung höherer Lasten zu [94, 95]. In Folge dessen führt, wenn man die absolute Trainingslast zwischen den Modalitäten nicht angleicht, ein exzentrisches Krafttraining zu höheren Kraftsteigerungen [93]. Selbst isometrisches Krafttraining kann zu erheblichen Kraftsteigerungen führen, wenngleich diese Anpassungen primär winkelspezifisch erfolgen [96].

Es wurde von Schoenfeld postuliert, dass exzentrisches Krafttraining zu höheren Hypertrophieeffekten führt, da hier höhere Muskelschädigungen als beim konzentrischen Training erzeugt werden [50]. Wie jedoch bereits eingangs erwähnt (s. Kapitel 2.1), wurde die Notwendigkeit der Muskelzellschädigung für den Muskelaufbau kürzlich in Frage gestellt [51]. Dies spiegelt sich ebenfalls in der später von Schoenfeld und Kollegen durchgeführten Meta-Analyse wieder, welche keine Überlegenheit des rein exzentrischen Krafttrainings auf den Muskelzuwachs zeigte [97].

Aus trainingspraktischer Sicht wird die Frage nach der Kontraktionsart im Allgemeinen hinfällig, da wenn keine speziellen Methoden oder Gerätschaften, sondern Hantelübungen zum Einsatz kommen, jede Wiederholung in der Regel unter gleicher Last sowohl eine konzentrische, als auch eine exzentrische Phase besitzt.

2.2.7. Dauer einer Wiederholung

Die Dauer einer Wiederholung entspricht der Summe der konzentrischen, isometrischen und exzentrischen Phase einer Wiederholung und kann auch als Tempo oder Kadenz der Übungsausführung bezeichnet werden. Multipliziert mit der Wiederholungszahl ergibt sich hieraus die Gesamtzeit unter Spannung, welche in der englischsprachigen Literatur als TUT beschrieben wird.

Kraftsteigerungen scheinen bei schnellen (Konzentrik und Exzentrik ≤ 1 Sekunde), moderaten (Konzentrik und Exzentrik 1 – 2 Sekunden), als auch langsamen Bewegungsgeschwindigkeiten (Konzentrik und Exzentrik = 2 Sekunden) möglich, ohne dass eine Überlegenheit einer der Varianten besteht [98]. Bezogen auf das Muskelwachstum deuten die Ergebnisse einer Meta-Analyse darauf hin, dass ein Training mit Wiederholungsdauern zwischen 0,5 und 8,0 s zu vergleichbaren Ergebnissen führt [99]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Hackett et al. [100] in ihrem Übersichtsartikel. So zeigte sich keine klare Überlegenheit, weder einer moderat-langsamem noch einer schnellen Übungsausführung, in Bezug auf die Hypertrophie. Unklar ist bislang jedoch, wie sich die Wiederholungsdauer auf die jeweiligen Bewegungsabschnitte verteilen sollte (Konzentrik, Isometrik, Exzentrik).

Weiterhin besteht bei konstanter Trainingslast zwischen der Dauer einer Wiederholung und der maximal möglichen Wiederholungszahl ein antiproportionaler Zusammenhang [101]. Ebenso beeinflusst der verwendete Widerstand und der Grad der muskulären Erschöpfung das maximal mögliche Tempo einer Wiederholung [102, 103].

In der Trainingsplanung muss folglich das Zusammenspiel aus Intensität, Wiederholungszahl, Kadenz und der angestrebte Grad der muskulären Ermüdung Beachtung finden. Eine finale Trainingsempfehlung lässt sich nach der aktuellen Literatur nicht geben.

2.2.8. Grad der muskulären Ermüdung

Um das Ende eines Trainingssatzes, als Folge muskulärer Ermüdung, zu definieren, gibt es mehrere Möglichkeiten. Steele et al. [104] unterscheiden folgende Endpunkte:

1. „Non-Repetition Maximum“
Submaximale Trainingssätze mit vordefinierter Wiederholungszahl.
2. „Self-determined Repetition Maximum“

Sätze, bei denen der/die Trainierende beschließt, dass die nächste Wiederholung nicht mehr absolviert werden kann, ohne diese jedoch zu versuchen.

3. „Repetition Maximum“

Trainingssätze bei denen der/die Trainierende abbricht, da die folgende Wiederholung definitiv nicht mehr zu schaffen wäre.

4. „Momentary Failure“

Sätze, bei denen die letzte Wiederholung zwar versucht, aber nicht mehr geschafft wird.

5. „Momentary Failure Plus Advanced Techniques“

Momentary Failure in Kombination mit fortgeschrittenen Techniken wie Reduktionssätzen oder erzwungene Wiederholungen.

Bezogen auf Kraftgewinne scheint der Einfluss gering, ob ein Satz bis zum Punkt des „Momentary Failure“ durchgeführt wird oder nicht [105]. Auch eine Meta-Analyse von Davies und Kollegen [106] zeigt keinen bedeutsamen Unterschied zwischen „Momentary Failure“ und „Non-Repetition Maximum“ Training in Bezug auf die Maximalkraft.

Krafttrainingsstudien, die den Einfluss muskulärer Ermüdung auf die Skelettmuskelhypertrophie untersuchen gibt es bislang keine. Auf Grund der im Kapitel 2.1 beschriebenen Mechanismen scheint es zumindest in der Theorie plausibel für maximale Hypertrophie mindestens bis zum „Momentary Failure“ zu trainieren, wenn in erster Linie die Signalwege durch metabolischen Stress bei höheren Wiederholungszahlen ausgelöst werden sollen [47].

2.2.9. Bewegungsumfang

Der Bewegungsumfang (engl. Range of Motion [ROM]) kann definiert werden als das Ausmaß einer Bewegung um ein Gelenk, in Abhängigkeit von der Art des Gelenks sowie der Ebene oder Achse, in der die Bewegung stattfindet [107]. Die aktive oder auch funktionelle ROM kann außerdem näher beschrieben werden als der Bewegungsumfang eines Gelenks, deren endgradigen Punkte unter dem Aufwand maximaler konzentrischer Kontraktion zu erreichen sind [108]. In Bezug darauf kann die partielle ROM als eine bestimmte ROM innerhalb des maximalen funktionellen ROM definiert werden [107].

Die ROM ist ein Faktor, der in der Trainingsplanung häufig wenig Beachtung findet und selten bewusst manipuliert wird, obwohl dieser erheblichen Einfluss auf die Anpassungen der Skelettmuskulatur haben kann [109]. Bezogen auf ein Krafttraining bedeutet die Manipulation der ROM, dass Übungen entweder in ihrer maximalen ROM oder bewusst nur mit einer partiellen ROM trainiert werden können [64].

Da Kraftanpassungen ROM-spezifisch, d.h. vor allem im Bereich des trainierten ROM spezifische Kraftsteigerungen stattfinden [110, 111], mag es im Sport naheliegend erscheinen nur in der von der Sportart verlangten ROM zu trainieren [64, 112]. Auf diese Weise soll ein möglichst hoher Übertrag

des Krafttrainings in die sportliche Zielbewegung realisiert werden. Ob diese Schlussfolgerung korrekt ist oder ob andere Krafttrainingsformen mit vollem Bewegungsumfang sich ebenso eignen, um die sportartspezifische Leistung zu verbessern, ist seit Jahren Gegenstand des sportwissenschaftlichen Diskurses [113]. Am Beispiel Sprint und Sprung konnten sowohl Trainingsprogramme mit partieller Kniebeuge [114, 115] als auch mit voller ROM die Leistungsfähigkeit steigern [116, 117]. Auch wenn bekannt ist, dass Kraftanpassungen immer ROM-spezifisch stattfinden, kann man nach heutigem Wissenstand noch immer keine klare Empfehlung für oder wider eines Trainings mit partiellem Bewegungsumfang, zur Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit, ableiten.

In Bezug auf den Muskelaufbau zeigen neuere Forschungsergebnisse, dass Krafttraining mit partieller ROM, als auch voller ROM teilweise zu vergleichbaren Hypertrophie Anpassungen führt [107, 111]. An dieser Stelle muss jedoch erwähnt werden, dass in Bezug auf die obere Extremität und den Rumpf aktuell kaum Studien vorliegen. Daher fußen die folgenden Schlussfolgerungen primär auf Studien der unteren Extremität. Die vergleichbaren Ergebnisse des partiellen ROM, als auch des Trainings mit voller ROM können aus zweierlei Perspektive erklärt werden.

Für ein Hypertrophietraining mit partieller ROM spricht, dass wenn ausschließlich in mechanisch günstigen Gelenkwinkeln trainiert wird, höhere Widerstände bei einer Übung überwunden werden können verglichen mit einer Übungsausführung über die volle ROM [111]. Somit wirken bei Übungen mit partiellem Bewegungsumfang höhere mechanische Spannungen und damit eventuell stärkere Reize auf den Muskel [116, 118]. Gegen ein Training mit partieller ROM spräche, dass dies die maximale Gelenkbeweglichkeit eventuell negativ beeinflussen könnte [119].

Auf der anderen Seite steht ein Muskel bei Übungen mit voller ROM zwar unter geringerer Spannung, dafür ist er dieser jedoch länger ausgesetzt [107]. Erklärt werden, kann dies unter der vereinfachten physikalischen Annahme, Arbeit sei das Produkt aus der generierten Kraft und dem zurückgelegten Weg und damit sei der Muskel gezwungen mehr externe mechanische Arbeit zu verrichten [92].

Weiterhin zeigen Elektromyografie Studien, dass die während einer Übung beteiligten Synergisten oder sogar unterschiedliche Anteile einzelner Agonisten, in Abhängigkeit der Gelenkstellung, unterschiedlich aktiv sind [120, 121]. Dies erklärt möglicherweise die Variabilität der intermuskulären Hypertrophie [122], als auch die nicht-uniformen Anpassungen eines einzelnen Muskels in Bezug zur Übungsausführung [123–125].

Daher lässt sich festhalten, dass im Trainingsprozess keine finale Wahl zugunsten der einen oder der anderen Methode getroffen werden muss, sondern in manchen Kontexten eine Kombination aus Übungen mit partieller, als auch maximaler ROM nützlich sein könnte [111]. Begründet dadurch, dass im Leistungssport spezifische Kraftanpassungen innerhalb einer ROM vorteilhaft sein können, als auch die Möglichkeit besteht, dass Trainierende eventuell durch den gezielten Einsatz partieller Übungsausführung, bestimmte Anteile einer Muskulatur verstärkt ausprägen können [111]. Dies wäre

beispielsweise besonders für körperästhetisch-motivierte Trainierende wie Bodybuilder relevant, die u.a. visuell nach ihrer relativen Muskelgröße und der Symmetrie ihrer Muskulatur beurteilt werden.

2.2.10. Blood Flow Restriction Training

In den letzten Jahren stieg die Zahl der Studien, die nachweisen, dass ein Krafttraining mit relativ geringer Intensität ($< 40\%$ 1-RM) zu einer Zunahme der Skelettmuskelmasse führt, wenn während des Trainings der venöse Blutfluss unterbunden und der arterielle Zustrom reduziert wird [126, 127]. Diese Krafttrainingsmethode wird als „Occlusion Training“, „KAATSU Training“ oder „Blood Flow Restriction“ Training (BFR) bezeichnet. Zur Reduzierung des Blutflusses können für diese spezielle Art des Krafttrainings verschiedene Arten von elastischen Bändern, Manschetten oder Blutsperrern genutzt werden, welche möglichst proximal an den Extremitäten angelegt werden [128, 129].

Zu den physiologischen Folgen eines BFR Trainings zählen vor allem eine lokale Hypoxie und eine hohe Akkumulation verschiedener Metaboliten in der trainierten Muskulatur [130]. Dies hat eine verstärkte Muskelzellschwellung, eine hohe Hormonausschüttung, eine rasche periphere Ermüdung und damit eine frühe Typ-II Muskelfaser Aktivierung, trotz der geringen Trainingsintensität, zur Folge [130–133]. So werden besonders Hypertrophie Mechanismen, die weniger mit mechanischer Spannung, sondern vielmehr mit metabolischem Stress in Verbindung gebracht werden, aktiviert [134, 135]. Weiterhin wurden erhebliche Kraftsteigerungen durch ein niedrig-intensives BFR Training ($< 50\%$ 1-RM) erzielt, die zum Teil vergleichbar waren mit den Effekten eines konventionellen Trainings mit höheren Intensitäten ($> 65\%$ 1-RM) [126, 127, 136].

Der Vorteil des BFR Trainings gegenüber einem konventionellen Krafttraining mit niedrigen Intensitäten bis zur maximalen Erschöpfung (vgl. Kapitel 2.2.8) besteht darin, dass der Punkt des momentanen Muskelversagens auf Grund der oben beschriebenen Mechanismen deutlich früher erreicht wird [137, 138] und so als zeitsparendere Variante betrachtet werden kann. Das BFR Training kann folglich als wertvolle Ergänzung sowohl im Maximalkraft- als auch im Hypertrophietraining angesehen werden. Wie BFR Training in den langfristigen Trainingsprozess integriert werden muss bleibt jedoch bislang offen.

2.2.11. Weitere Intensivierungstechniken

Neben BFR Training werden in der Praxis weitere Intensivierungstechniken (beispielsweise Exzentrik akzentuierte Wiederholungen, Cluster-Sätze, Verbund- und Supersätze, Reduktionssätze, Sätze mit Vorer müdung etc.) genutzt, um Leistungsplateaus oder die Monotonie des Trainings zu durchbrechen [104, 139]. Auf deren Wirkungsweise und Effektivität soll an dieser Stelle jedoch nicht eingegangen werden, da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Erwähnt werden soll jedoch, dass bislang

nicht zu allen, meist durch die Praxis entstandenen, Methoden wissenschaftliche Belege der Effektivität vorliegen und noch erheblicher Forschungsbedarf auf diesem Gebiet besteht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich, wie in diesem Kapitel dargelegt Trainierenden nahezu endlose Kombinationsmöglichkeiten bieten, um ein effektives Kraft- und Muskelaufbautraining zu gestalten. Allein die Manipulation der akuten Trainingsvariablen (Intensität, Wiederholungs- und Satzzahl, Pausenlänge, Kontraktionsart, Kadenz und ROM) wie auch die Wahl verschiedener Techniken, beispielsweise BFR Training, lässt viel Spielraum in der Trainingsplanung. Die Übungsauswahl, Übungsreihenfolge und die Trainingsfrequenz sind dabei noch gänzlich außer Acht gelassen. Wichtig für eine Zunahme der Skelettmuskelmasse scheint zu sein, dass langfristig sich wiederholende progressive Trainingsreize, welche mindestens einen der drei Hypertrophie auslösenden Mechanismen aktivieren, gesetzt werden (vgl. Kapitel 2.1).

2.3. Periodisierung im Krafttraining

Die dargestellte Manipulation der Trainingsvariablen ist ein Hauptaspekt der Periodisierung im (Kraft)training [64, 112, 140–143]. Aus diesem Grund soll nachfolgend ein Überblick über die gängigsten Periodisierungsmodelle im Sport und deren Anwendung im Krafttraining beschrieben werden.

Ein Ziel der Periodisierung ist die kurzfristige (Wochen bis Monate) und langfristige (Jahre) Optimierung der Trainingsanpassungen, um zu einem vordefinierten Zeitpunkt eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit zu erreichen [144–146]. Weiterhin soll periodisiertes Training durch geplante Variationen der akuten Trainingsvariablen (Intensität, Wiederholungszahl, Belastungsumfang etc.) Trainingsplateaus vermeiden und langfristige Leistungssteigerungen gewährleisten [144–146]. Der Grund für die Notwendigkeit von Variation im Training liegt darin, dass gleichbleibende Trainingsbelastungen zu Übertraining oder zu Stagnation führen können [147, 148]. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Periodisierung ist die angemessene Integration zyklisch wiederkehrender Erholungsphasen [147–149]. Aus diesen Anforderungen an die Trainingsplanung ergaben sich in der Praxis eine ganze Reihe verschiedener Periodisierungsstrategien und -modelle [141–143, 146, 150–153].

Im Folgenden wird ein Überblick über die gängigsten Periodisierungsmodelle gegeben. Da in der Literatur die Beschreibung der Merkmale einzelner Modelle und die Definition der dazugehörigen Begrifflichkeiten keinesfalls einheitlich sind wird versucht diese zu vereinheitlichen [154].

2.3.1. Das traditionelle Modell der Periodisierung

Das traditionelle Modell wird häufig auch als lineares Modell der Periodisierung (LP) bezeichnet [141]. Dies fand seinen Ursprung vermutlich bereits in der griechischen Antike (Schurakowskij (1940) und Petrov (1938) zitiert in Pedemonte [155]) und wurde über Jahrhunderte in der Trainingspraxis, vor allem in Europa, stetig weiterentwickelt [155, 156]. Das erste Mal systematisch beschrieben wurde es jedoch vom russischen Sportwissenschaftler Matwejew im Jahr 1965 [150]. Daher gilt dieser als Ur-Vater der modernen Periodisierung [141].

Das Training wird bei diesem Modell in drei Perioden unterteilt, die Vorbereitungs-, Wettkampf- und Übergansperiode [150]. Die wichtigsten Merkmale der einzelnen Perioden sind die nahezu lineare Zunahme der Trainingsintensität, bei gleichzeitiger Abnahme der Trainingsumfänge von der Vorbereitungsperiode, über die Wettkampfperiode bis hin zum Saisonhöhepunkt [142, 156]. Ziel ist es die sportliche Form, insbesondere der Kondition, durch immer spezifischere Inhalte herauszubilden, ehe diese in Wettkämpfen realisiert wird [150]. Gefolgt wird die Wettkampfperiode von der Übergangsperiode, welche primär der Erholung nach dem Saisonhöhepunkt dient und gekennzeichnet ist durch eher niedrige Belastungsumfänge und -intensitäten, ehe sich der Ablauf der einzelnen Perioden wiederholt [142].

Bevor Dicks Artikel "Periodization: An Approach to the Training Year" [157] erschien, waren in Nordamerika ganzjährige, mehrphasige Trainingsprogramme nahezu unbekannt [149, 158]. Sportwissenschaftler favorisierten im Krafttraining vor allem Trainingsprogramme mit sehr geringer Variation, bestehend aus drei Sätzen mit je sechs Wiederholungen [159]. Erst in den 1980er Jahren wurde Matwejew's Konzept aufgegriffen und von Stone und Kollegen [160] für (Schnell-)Kraftsportarten modifiziert, da sie die Auffassung vertraten, dass mehr Variation im Training von Vorteil sei [149, 160, 161]. Hieraus resultierten vier Trainingsphasen mit dem modelltypischen linearen Verlauf von Umfang und Intensität, welche auch heute noch sehr verbreitet sind [64] (s. Abbildung 1).

1. Hypertrophie Phase: „high volume-low intensity“
2. "Basic-Strength" Phase: „moderate Volume-high intensity“
3. "Strength-Power" Phase: „low volume-very high intensity“
4. "Active Rest": „very low volume-very low intensity“

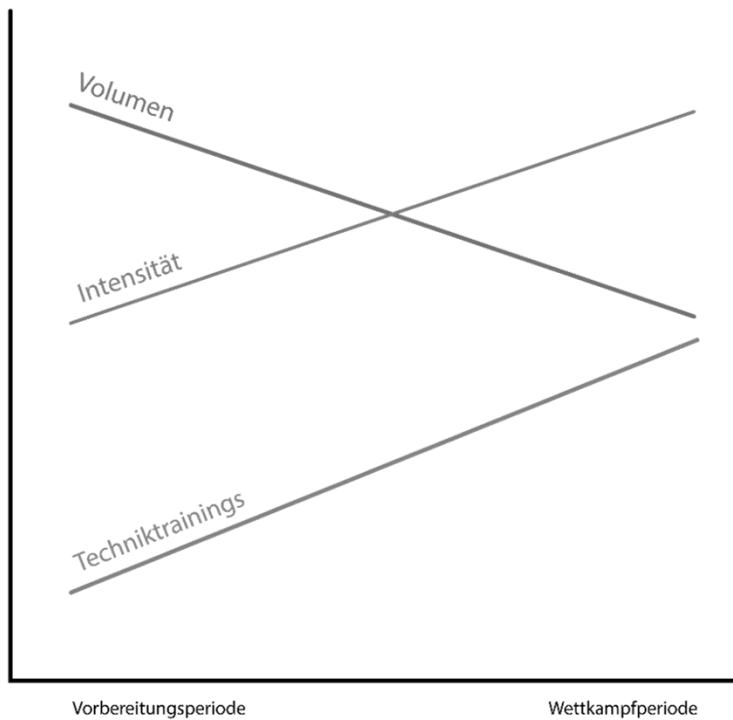


Abbildung 1: Der schematische Verlauf des abnehmenden Belastungsumfanges (Volumen) bei zunehmender Intensität beim linearen Modell von der Vorbereitungs- bis zur Wettkampfperiode. Zusätzlich stellt die unterste Linie die zunehmende Bedeutung des Techniktrainings dar (modifiziert nach Turner [143]).

Kritik an Matwejew's LP wurde bereits früh laut. So schreibt Tschiene [162], dass eine weitere Steigerung des Trainingsumfangs, wie es das LP besonders in der Vorbereitungsperiode verlangt, im Hochleistungssport kaum noch möglich sei. Weiterhin führt er an, dass umfangsorientierte Belastungen mit geringer Intensität einen negativen Einfluss auf die sportliche Technik haben könnten und Sportler nur dann Höchstleistungen erreichen würden, wenn wettkampfspezifische Belastungen mit hohen Intensitäten das Training dominieren [162]. Hieraus würden sich deutlich kürzere Trainingszyklen ergeben mit der Notwendigkeit häufigerer Abwechslung von Belastung und Erholung. Auch Verkhoshansky [153] ist der Meinung, dass beim LP über zu lange Zeiträume sportartunspezifisch und mit zu hohen Umfängen trainiert wird. Die wäre besonders in dem Sinne problematisch, wenn die gleichzeitige umfangsorientierte Entwicklung verschiedener konditioneller Fähigkeiten, zum Beispiel der Grundlagenausdauer und der Hypertrophie, zu konkurrierenden Trainingsanpassungen führt [156, 163]. Weiterhin scheint die LP zum einen für Sportarten mit Ligabetrieb und zum anderen für Sportarten mit mehr als drei Saisonhöhepunkten ungeeignet, da die Vorbereitungsperiode(n) immer kürzer werden würden [156, 163].

Auf Grund der beschriebenen Kritik am LP im Allgemeinen, als auch an der modifizierten Variante von Stone und Kollegen [160], entwickelten sich unabhängig voneinander in Deutschland und Nordamerika ähnliche Alternativen zum LP. Diese werden in der Literatur als Pendeltraining, nicht-lineare oder wellenförmige bzw. undulierende Periodisierung bezeichnet. Sie folgen einem ähnlichen Grundgedanken und sollen nachfolgend zusammenfassend beschrieben werden [143, 164–166].

2.3.2. Undulierende Periodisierung

In Bezug auf das Krafttraining gingen deutsche Sportwissenschaftler bereits in den 70er Jahren davon aus, dass die Verwendung einer einzigen Krafttrainingsmethode über einen längeren Zeitraum, wie es beim LP üblich ist, zu ungünstigen physiologischen und psychologischen Anpassungen führt [165]. Daher empfahl Tschiene [165] einen „sprunghaften“ Wechsel der Belastung zur Ausbildung der Schnellkraft, was durch den Wechsel von „Trainingseinheiten mit hoher, mittlerer und geringer Intensität“ realisiert werden sollte. Damit beschreibt Tschiene 16 Jahre vor Poliquin [164], welcher in der englischsprachigen Literatur zumeist als Begründer der nicht-linearen, bzw. undulierenden Periodisierung angeführt wird [167–169], eine Trainingsform mit „Wechselrhythmen“, welche in der Trainingspraxis von Werfern in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung Verwendung fanden. Bei dieser Art des Krafttrainings, welche Tschiene als „Pendeltraining“ bezeichnet [165], folgt eine Variation des Krafttrainings, insbesondere der Intensität und des Umfangs, nach ein bis zwei Trainingseinheiten oder auch in einem wöchentlichen Rhythmus (s. Abbildung 2) [165].

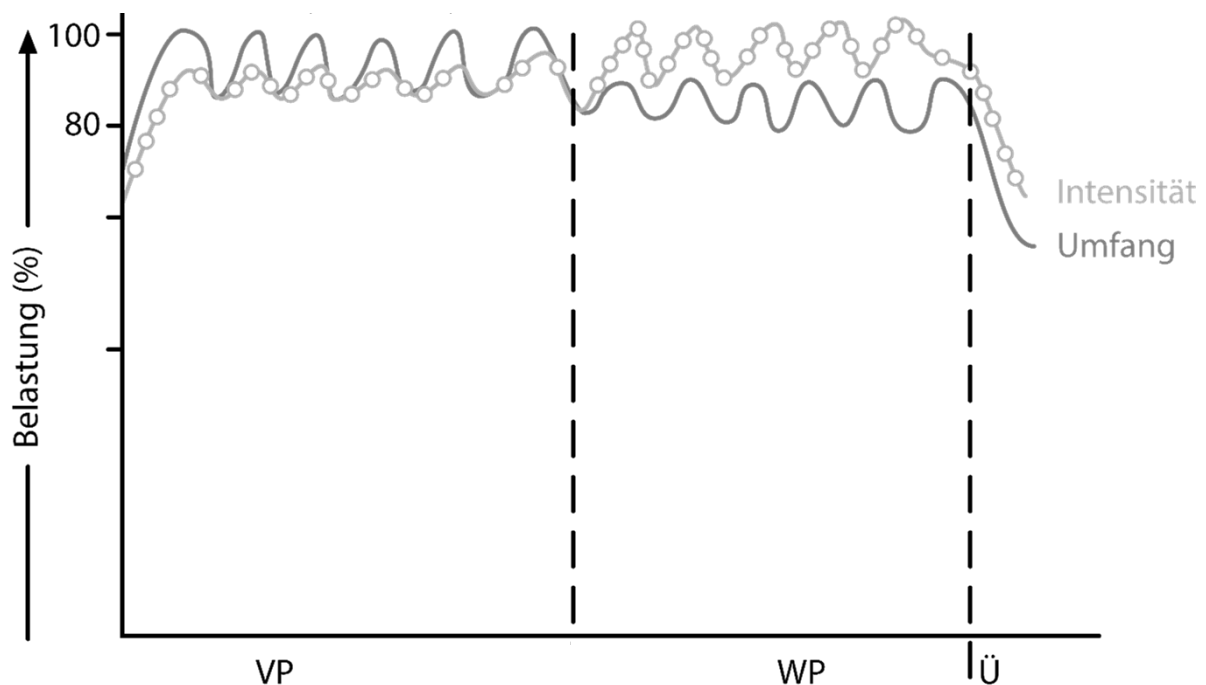


Abbildung 2: Das Strukturschema im Hochleistungstraining mit dem Verlauf der Belastungsintensität und des -umfangs in Abhängigkeit der Periode (VP = Vorbereitungsperiode; WP = Wettkampfperiode; Ü = Übergangsperiode) (modifiziert nach Tschiene aus Starischka & Tschiene [170]).

Auf Englisch wird bei dieser Trainingsform, entsprechend der Häufigkeit der Variation, von der „Daily Undulating Periodization“ (DUP) oder „Weekly Undulating Periodization“ (WUP) gesprochen [144, 171]. Abbildung 3 zeigt zwei mögliche Varianten der DUP mit ausgeprägter Variation von Belastungsumfang und Intensität.

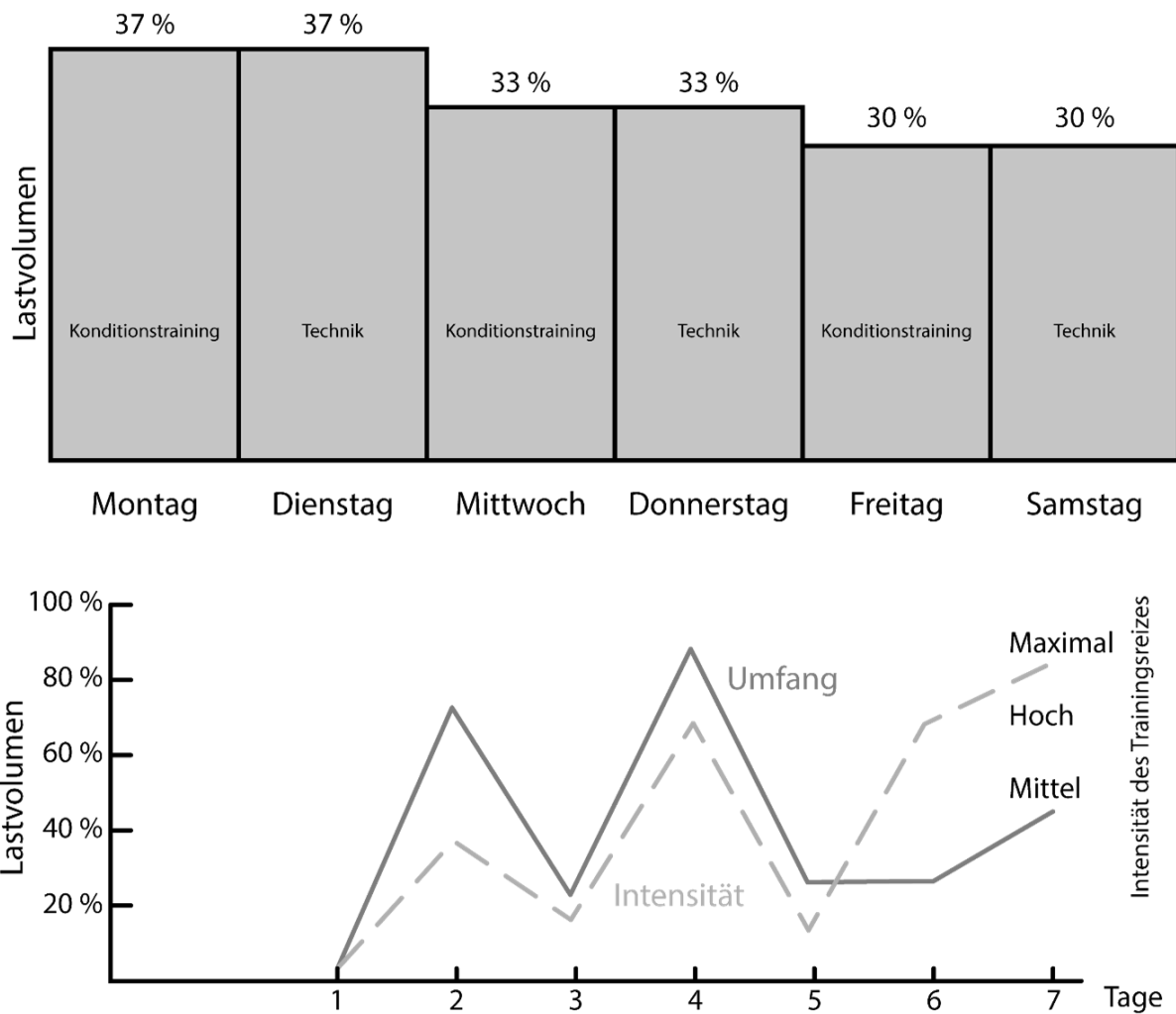


Abbildung 3: Zwei Beispiele einer wellenförmigen Belastungsstruktur in der englischsprachigen Literatur (modifiziert nach Pedemonte [172]).

Als Argumente für das undulierende Periodisierungsmodell werden negative Anpassungseffekte als Folge der Trainingsmonotonie genannt, aber auch dass trainierte Sportler gegenüber Untrainierten mehr Variation der Trainingsbelastungen brauchen, um adäquate Anpassungen zu provozieren [146, 165]. Diese Meinung wird auch von Poliquin vertreten [164]. Er empfiehlt deshalb einen wechselnden Einsatz von Hypertrophie- und IK-Phasen von je zwei Wochen Dauer und ansteigender Intensität, da sich der Körper sehr schnell an Trainingsreize anpasst. Andere sehen den Vorteil der undulierenden Periodisierung darin, dass diese mehr Flexibilität bei der Trainingsplanung für Sportarten mit einer langen Saison bietet, da die einzelnen Krafttrainingseinheiten getauscht werden können, um sich dem Teamtraining anzupassen [149, 173]. Es wird weiter postuliert, die undulierenden Modelle eignen sich besonders dann, wenn während langer Wettkampfperioden verschiedene Komponenten der Kondition gleichzeitig entwickelt, bzw. erhalten werden müssen [143, 174]. Außerdem sind Haff [149] und Kraemer et al. [175] der Meinung, dass bei Trainingseinheiten mit niedriger bis mittlerer Intensität höherschwellige motorische Einheiten geschont werden und so auf die Trainingswoche gesehen mehr

Zeit zur Regeneration bekommen. Dies wäre jedoch nur der Fall, wenn innerhalb der Trainingseinheiten mit niedriger bis mittlerer Intensität nicht bis zum Punkt des konzentrischen Muskelversagens trainiert wird, wie es im Muskelaufbau häufig praktiziert wird [154].

Kritiker sehen jedoch gerade in den häufigen und ausgeprägten Wechseln der Trainingsreize und die damit einhergehende parallele Entwicklung mehrerer Fähigkeiten die größte Schwäche der undulierenden Periodisierung [152, 156, 163]. Es wird beispielsweise argumentiert, dass Trainingsziele besser in isolierten, konzentrierten Trainingsblöcken statt komplex gemischten trainiert werden sollten [176, 177]. Diese sehr entgegengesetzte Auffassung des Trainings, welche als Blockperiodisierung (BLOCK) bezeichnet wird, steht heute in der Trainingspraxis den weit verbreiteten undulierenden Modellen gegenüber. Die Merkmale der BLOCK sollen nachfolgend beschrieben werden.

2.3.3. Blockperiodisierung

Die BLOCK basiert vor allem auf Überlegungen der Sportwissenschaftler Bondartschuk und Verkhoshansky [178, 179]. Diese wurden insbesondere von Issurin bis heute weiterentwickelt [152, 176, 180]. Sie wird auch als „Blocktraining“ [181] oder „Blockstruktur des Trainings“ bezeichnet [152].

Bei der BLOCK wird ein Trainingsabschnitt von mehreren Monaten in spezielle Blöcke von mehreren Wochen Dauer unterteilt [163]. Die einzelnen Blöcke verfolgen dabei nur ein bis zwei Haupttrainingsziele, welche mit konzentrierten Belastungen verfolgt werden [152, 156, 182]. Die Grundlage hierfür ist die Annahme, dass verschiedene Aspekte auf Grund negativer Wechselwirkungen (Interferenz) besser getrennt statt gemischt trainiert werden sollten [163, 176, 177, 180, 182].

Weiterhin sollen die einzelnen Blöcke so angeordnet werden, dass diese logisch aufeinander aufbauen. Als Argument für dieses Vorgehen wird das Phänomen der sogenannten „Resteffekte“ bzw. „Residualeffekte“ angeführt [152, 163, 183]. Dieses beschreibt, dass nach Beendigung eines konzentrierten Trainingsblocks die jeweiligen Anpassungen für eine gewisse Zeit erhalten bleiben, obwohl diese im Training nicht mehr explizit verfolgt werden [152, 180]. Issurin [184] nennt beispielsweise für die Dauer der Residualeffekte bezogen auf die Maximalkraft 30 ± 5 und die Kraftausdauer 15 ± 5 Tage. Die Länge eines Blocks richtet sich folglich primär nach der Zeit der Resteffekte, da bei zu langen Blöcken die Gefahr besteht, dass sich nicht trainierte Aspekte zurückbilden [156, 163, 180, 181] (s. Abbildung 4).

Ferner spielt der Trainingsstatus des Sportlers bzw. der Sportlerin und die Art des vorangegangenen Trainings für die Dauer des Blocks eine wichtige Rolle [185]. Die Schwierigkeit besteht ergo darin, die Reihenfolge und Länge der Blöcke so zu wählen, dass am Ende des Trainingsabschnitts die bestmögliche Kombination aus Residual- und Trainingseffekten, „ein zeitliches Zusammentreffen der Höchstniveaus aller leistungsbestimmenden konditionellen Fähigkeiten“ [182] ermöglichen [180]. Issurin & Shkliar [152] führen folgende Arten von Blöcken an:

1. Der anreichernde Block (Akkumulation)

Dauer: 2 – 6 Wochen

Ziel: Ausbildung der Basisfähigkeiten, der konditionellen und technischen Grundkomponenten
(umfangsbetont)

2. Der umsetzende Block (Transmutation)

Dauer: 2 – 4 Wochen

Ziel: Zunehmend spezifische Inhalte
(intensitätsbetont)

3. Der Ausnutzungsblock (Realisierung)

Dauer: 8 – 15 Tage

Ziel: Hohes Niveau der Schnellkraft, hohe Wettkampfspezifik
(Erholung, Tapering und Peaking Strategien)

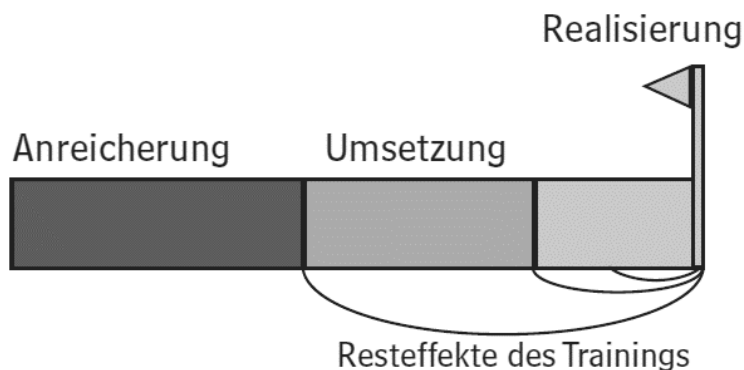


Abbildung 4: Drei aufeinander aufbauende Blöcke (Akkumulation, Transmutation, Realisierung) und deren Resteffekte, welche zu einem vorbestimmten Zeitpunkt (Wettkampf) zusammentreffen sollen (modifiziert nach Issurin [152]).

Beim Krafttraining für schnellkraftbetonte Sportarten könnte zum Beispiel die Reihenfolge Kraftausdauer- und Hypertrophieblock (umfangsbetont), Block zur Steigerung der intramuskulären Koordination und anschließend Schnell- und Reaktivkraftblock (intensitätsbetont), gefolgt von einer Taperingphase¹, gewählt werden [166, 187–189], da die Schnellkraft in hohem Maße von der Maximalkraft [190] und diese wiederum zum Teil von der Muskelmasse abhängt [191]. Im Muskelaufbautraining könnten dem gegenüber die Schnell- und Reaktivkraftblöcke vernachlässigt oder sogar komplett weggelassen werden. Diese Abfolge kann sich während eines Wettkampffjahres mehrfach mit unterschiedlicher Länge der einzelnen Blöcke wiederholen (s. Abbildung 5).

¹ Tapering beschreibt die geplante Reduzierung der Trainingsbelastung in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung, um sich von der Ermüdung des Trainings zu erholen und so eine optimale Leistungsfähigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt zu ermöglichen [186].

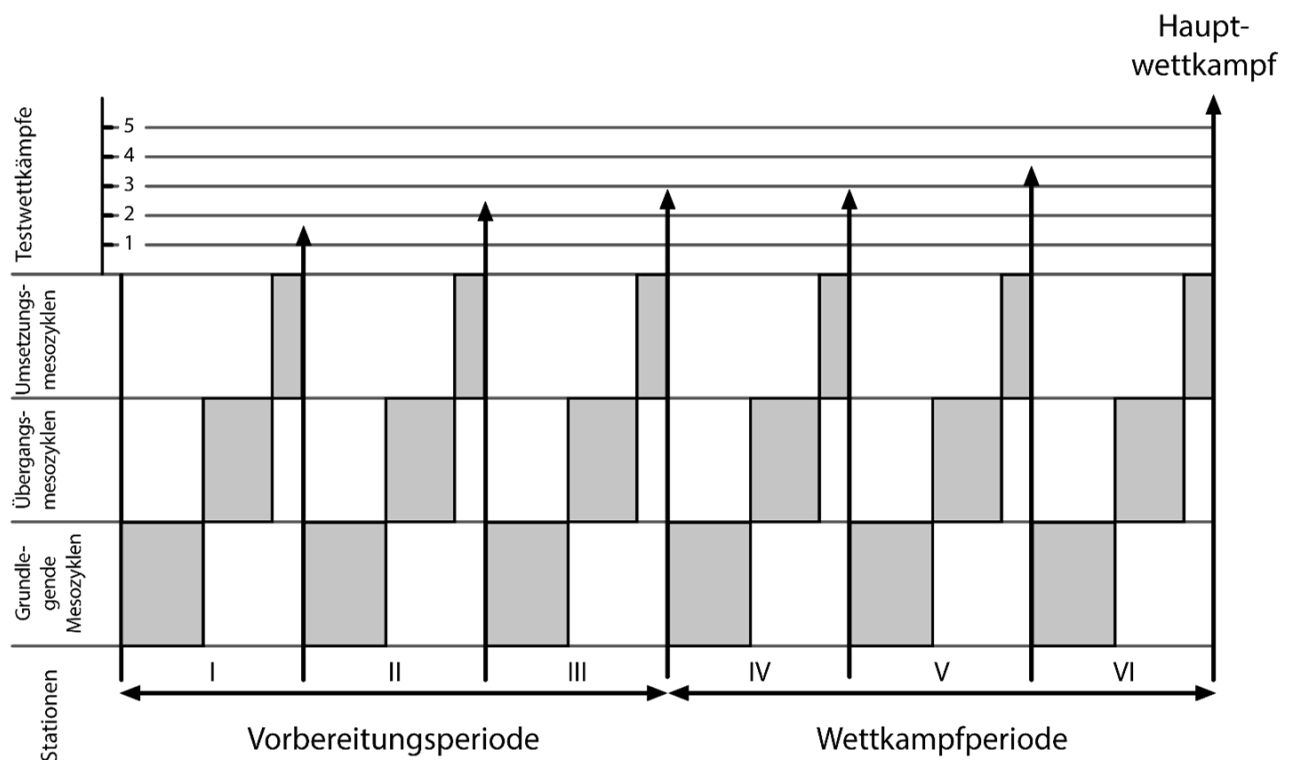


Abbildung 5: Ein sich wiederholendes, aufeinander aufbauendes Blocktraining zur Wettkampfvorbereitung nach Issurin [156]. Die grundlegenden Mesozyklen (Akkumulation) können umfangsorientiertes und die Übergangsmesozyklen (Transmutation) intensitätsbetontes Krafttraining beinhalten. Der Umsetzungsmesozyklus (Realisierung) Tapering und Peaking Strategien (modifiziert nach Krüger [181]).

Dabei wird nicht in jeder Trainingseinheit einer Woche das Hauptziel des jeweiligen Blocks verfolgt, sondern nur in wenigen sogenannten „Schlüsseleinheiten“ [180]. Diese bestehen in der Regel aus einem dominanten (60 – 70 % der Trainingszeit) und einem kompatiblen Inhalt sowie „einem der Wiederherstellung dienenden Inhalt“ [156, 180, 182]. Dies führt, ähnlich zu den undulierenden Modellen, zu einer Belastungsvariation auf wöchentlicher Ebene [182].

Auch der BLOCK werden einige Limitationen zugewiesen. So schreibt Issurin selbst, dass sich die BLOCK nur für einfache Sportarten eignet, die nur wenige konditionelle Aspekte ausprägen müssen [176]. Platonov zu Folge birgt BLOCK außerdem die Gefahr, dass konzentrierte Belastungen in Blöcken zu einer „funktionellen Erschöpfung des dominierenden Systems (Überadaptation)“ und zu einem „Absinken der strukturellen und funktionellen Reserve anderer Systeme (Deadaptation)“ führen könnten [185]. Dies könnte zu fehlenden Leistungssteigerungen, Übertrainingssymptomen und Überlastungsschäden führen [181]. Was die häufig angeführten „kompatiblen Inhalte“ innerhalb der Schlüsseleinheiten eines Blocks betrifft, fehlen außerdem grundsätzlich empirische Belege, welche die Aussagen stützen könnten [152, 180, 182, 192]. Nach Kiely [192] fehlt es außerdem an Daten über Anpassungszeiträume und Resteffekte, welche die Basis der BLOCK bilden in Abhängigkeit der Art des Trainings und Faktoren wie Trainingsalter und genetischer Prädispositionen.

Was die vorgestellten Varianten der Periodisierung angeht lässt sich zusammenfassend an dieser Stelle festhalten, dass es sich lediglich um Modelle handelt. In der Trainingspraxis lassen sich diese kaum in isolierter Reinform finden. Auch undulierende Modelle besitzen häufig einen linearen Anstieg der Intensität bei gleichzeitiger Abnahme der Trainingsumfänge im Makrozyklusverlauf [141, 148]. Weiterhin lassen sich wie bereits erwähnt auch in der BLOCK Fluktuationen der Intensität und des Umfangs auf Mikrozyklusebene finden [180, 193], was tendenziell eher ein Merkmal der DUP wäre. Außerdem schreibt Issurin [176], dass Blöcke optimalerweise zwei bis vier Wochen dauern sollten. Ginge man von einem zweiwöchigen Wechsel aus, verlöre sich eine wichtige Abgrenzung der BLOCK gegenüber der WUP.

Seit den 1960ern bis heute wird die Debatte über die Überlegenheit eines Periodisierungsmodells gegenüber eines anderen oder gar einem nicht-periodisiertem Krafttraining (NP), vor allem theoriebasiert geführt [194]. Die Zahl der Studien, welche die Effektivität der verschiedenen Periodisierungsmodelle untersuchen, ist bis dato jedoch überschaubar. Nachfolgend soll ein Überblick des momentanen Forschungsstandes in Bezug auf Krafttrainingsstudien mit jungen Männern gegeben werden.

2.3.4. Zum Forschungsstand der Periodisierung bei jungen Erwachsenen

Bevor ein Vergleich der verschiedenen Modelle vorgenommen werden kann, ist es notwendig zu definieren, anhand welcher Kriterien ein Training einem bestimmten Modell zugeordnet wird, da die internationale Periodisierungsterminologie keinesfalls einheitlich ist [154]. Von einem NP wurde ausgegangen, wenn der verwendete Wiederholungsbereich über die Dauer der Intervention identisch blieb. Wurde bei einer Trainingsintervention sukzessiv der Umfang reduziert und die Intensität gesteigert, so wurde das Krafttraining der LP zugewiesen. BLOCK wurde angenommen, wenn ein Wiederholungsbereich über mindestens vier Wochen konstant gehalten und zwischen den Blöcken die Intensität deutlich erhöht wurde. Von undulierender Periodisierung wurde ausgegangen, wenn tägliche (DUP) oder zweiwöchentliche (WUP) sprunghafte Veränderungen des Umfangs und der Intensität vorgenommen wurden. Hieraus ergab sich teilweise eine andere Zuweisung, als von den Autoren der jeweiligen Studie beabsichtigt.

2.3.4.1. Nicht-periodisiertes Krafttraining versus lineare Periodisierung

Stowers und Kollegen [195] verglichen NP Krafttraining mit LP bei einer Trainingshäufigkeit von drei Einheiten pro Woche. Als Probanden dienten junge untrainierte Männer im College Alter. Die NP Gruppen trainierten entweder mit einem oder drei Sätzen zu je 10 Wiederholungen bis zur Ausbelastung. Die LP Gruppe trainierte anfangs mit zehn und gegen Ende der siebenwöchigen Intervention mit drei Wiederholungen je Satz. Die Körpermasse der Probanden veränderte sich als Folge der Intervention

nicht signifikant. Der Kraftzuwachs beim Bankdrücken war zwischen allen Gruppen vergleichbar. Lediglich beim 1-RM der Kniebeuge und bei der Sprungkraft war die LP überlegen.

Baker et al. [196] dienten junge Männer mit mindestens einem halben Jahr Krafttrainingserfahrung als Probanden. Die NP Gruppe trainierte über einen Zeitraum von 12 Wochen mit 6 – 8 Wiederholungen, wohingegen die LP Gruppe den Umfang je Satz von zehn auf drei reduzierte. Die Trainingsfrequenz betrug drei Einheiten pro Woche und war in beiden Gruppen identisch. Die Körpermasse und die Fettmasse (FM) (Calipometrie) blieb unverändert, wohingegen die fettfreie Masse (FFM) zunahm. Das 1-RM der Übungen Kniebeugen und Bankdrücken, als auch die Sprungkraft verbesserte sich in beiden Trainingsgruppen gleichermaßen.

Die Trainingsintervention von Schiotz und Kollegen [197] dauerte zehn Wochen Dauer, mit einer Trainingshäufigkeit von vier Mal pro Woche in einem 2er-Split (Oberkörper-Unterkörper). Die Probanden im College Alter trainierten in den Grundübungen mit sechs Wiederholungen. Die LP Gruppe begann mit zehn Wiederholungen und reduzierte über den Verlauf der Studie die Wiederholungszahl je Satz auf drei. Auch hier wurde keine Veränderung der Körpermasse oder der Körperzusammensetzung (Calipometrie) festgestellt. Alle weiteren Tests (u.a. 1-RM Kniebeugen und Bankdrücken, Kraftausdauertest Sit-Ups und Liegestütze) verbesserten sich zwar, doch ohne Unterschied zwischen den Gruppen.

Monteiro et al. [198] untersuchten ebenfalls junge Männer im College Alter mit mindestens zwei Jahren Trainingserfahrung über einen Trainingszeitraum von 12 Wochen. Das Krafttraining fand vier Mal pro Woche in einem 2er-Split (Oberkörper-Unterkörper) statt. Die NP Gruppe trainierte mit drei Sätzen mit je acht bis zehn Wiederholungen. Die LP Gruppe absolvierte ebenfalls drei Sätzen, jedoch zu Beginn der Intervention mit 12 – 15 Wiederholungen und gegen Ende mit 4 – 5 Wiederholungen. Das 1-RM der Übung Bankdrücken, die Körpermasse als auch die FM (Calipometrie) zeigten keine Veränderung durch das Krafttraining. Lediglich beim 1-RM der Übung Beinpresse zeigte sich einer Überlegenheit der LP.

Die von Ahmadizad et al. [199] durchgeführte Trainingsintervention mit übergewichtigen untrainierten jungen Männern ($23,4 \pm 0,6$ Jahre) dauerte sechs Wochen und beinhaltete drei Trainingseinheiten pro Woche. Die NP Gruppe trainierte in den ersten beiden Wochen der Intervention mit einem Satz á 10 Wiederholungen, gefolgt von vier Wochen mit zwei Sätzen und 12 Wiederholungen mit konstanter Trainingslast von 70 % 1-RM. Die Probanden der LP Gruppe trainierten über den gesamten Zeitraum mit zwei Sätzen, bei denen jede Woche die Wiederholungszahl um zwei reduziert wurde, beginnend bei 18 Wiederholungen. Die FM reduzierte sich in beiden Trainingsgruppen vergleichbar (Bioelektrische Impedanzanalyse [BIA]). Die Maximalkraftsteigerungen in den Übungen Beinpresse und Bankdrücken fiel in der LP Gruppe signifikant höher aus.

Loturco und Kollegen [200] dienten Erwachsene trainierte Leistungsfußballer als Probanden. Während der Trainingsintervention von sechs Wochen Dauer und drei Krafttrainingseinheiten pro Woche führten die Spieler in der NP Gruppe ein Sprungkrafttraining mit Zusatzlasten durch, während die LP Gruppe der typischen LP angelehnt an Stone et al. [160] folgten. Am Ende der Intervention zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Interventionsgruppen (1-RM Kniebeugen, Sprungkraft, Sprint- und Richtungswechseltests).

Die Studienlage zum Vergleich zwischen NP und der LP ist nicht eindeutig. Zum Teil zeigte sich eine Überlegenheit der LP, insbesondere in Bezug auf Kraftsteigerungen der Beine, jedoch konnte eine vergleichbare Anzahl an Studien keine Überlegenheit der LP gegenüber NP feststellen.

2.3.4.2. Nicht-periodisiertes Krafttraining versus Blockperiodisierung

In einer frühen Studie von O'Bryant und Kollegen [201] wurde eine NP Training mit einer BLOCK von elf Wochen Dauer verglichen. Als Probanden dienten junge untrainierte Männer im Alter von $19,1 \pm 0,2$ Jahren. Trainiert wurde in beiden Gruppen drei Mal pro Woche. Die NP Gruppe trainierte über den gesamten Zeitraum mit drei Sätzen zu je sechs Wiederholungen. In der BLOCK Gruppe reduzierte sich der Umfang in drei Blöcken von fünf Sätzen á zehn Wiederholungen, auf drei Sätze á fünf Wiederholungen zu drei Sätze á zwei Wiederholungen. Die Körpermasse blieb in beiden Gruppen unverändert. In der BLOCK Gruppe konnte jedoch eine höhere Steigerung des 1-RM in der Übung Kniebeugen nachgewiesen werden.

Willoughby et al. [202] untersuchten die Unterschiede eines 16-wöchigen BLOCK in Vergleich zu zwei NP Gruppen und einer Kontrollgruppe (trainierte Männer, $20,3 \pm 1,87$ Jahre). Die erste NP Gruppe trainierte mit fünf Sätze á 10 Wiederholungen bei einer konstanten Last von 78,9 % 1-RM und die zweite NP Gruppe mit sechs Sätzen zu je acht Wiederholungen mit 83,3 % des initialen 1-RM. Die BLOCK Gruppe variierte das Krafttraining alle vier Wochen (Wochen 1 – 4: 5 x 10, 83,3 % 1-RM; Wochen 5 – 8: 4 x 8, 83,3 % 1-RM; Wochen 9 – 12: 3 x 6 Wiederholungen, 87,6 % 1-RM; Wochen 13 – 16: 3 x 4, 92,4 % 1-RM). Die Kontrollgruppe absolvierte kein Krafttraining. Die BLOCK war in Bezug auf die 1-RM Steigerungen in der Kniebeuge und beim Bankdrücken den NP Gruppen ohne Progression überlegen.

Die Arbeitsgruppe um Stone und Kollegen [203] führte eine zwölfwöchige Intervention mit 21 jungen trainierten Männern im College Alter durch. Die NP Gruppe (n = 5) trainierte mit fünf Sätzen und einem 6-RM, während die BLOCK Gruppe alle vier Wochen die Intensität erhöhte und den Umfang reduzierte (Hauptübungen Wochen 1 – 4: 5 x 10; Wochen 5 – 8: 5 x 5; Wochen 9 – 12: 3 x 3). Am Ende blieb die Körpermasse in beiden Gruppen unverändert. Die BLOCK Protokoll war jedoch bezogen auf die Maximalkraftsteigerungen überlegen (1-RM Kniebeugen).

Bei einer Studie von Hoffman und Kollegen [204] wurden 51 College Footballspieler 15 Wochen während deren Vorbereitungsperiode trainiert. Die NP Gruppe trainierte in einem 2er-Split vier Mal wöchentlich mit gleichbleibenden Wiederholungs- und Satzanzahlen, welche jedoch je nach Übung unterschiedlich waren (3 – 5 Sätze á 3 – 8 Wiederholungen). Die BLOCK Gruppe absolvierte drei Blöcke mit unterschiedlichen Belastungsumfängen (1. Block: 4 Wochen, 3 – 4 Sätze á 9 – 12 Wiederholungen; 2. Block: 6 Wochen, 3 – 4 Sätze á 3 – 8 Wiederholungen; 3. Block: 4 Wochen, 3 – 5 Sätze á 1 – 5 Wiederholungen). In beiden Gruppen blieb die Körpermasse unverändert. Maximal- und Sprungkraftverbesserungen waren in beiden Gruppen vergleichbar (1-RM Kniebeugen und Bankdrücken, vertikale Sprungkraft). Lediglich in Bezug auf die Schnellkraft des Oberkörpers (Medizinballweitwurf) gab es den Unterschied, dass diese nur in der BLOCK Gruppe am Ende der Intervention verbessert war.

Souza et al. [205] führten eine sechswöchige Studie mit sportlich aktiven aber krafttrainingsunerfahrenen Männern durch. Die NP Gruppe (n = 9) absolvierte über den gesamten Zeitraum der Studie drei Sätze Kniebeuge und zwei Sätze am Beinstrecker mit je acht Wiederholungen. Im Gegensatz dazu trainierte die BLOCK Gruppe (n = 9) vier Wochen mit 12, gefolgt von zwei Wochen mit acht Wiederholungen und vergleichbarer Satzanzahl. Die NP Gruppe zeigte nach der Trainingsintervention eine signifikant höhere 1-RM der Übung Kniebeugen. Der Muskelzuwachs, gemessen mit einem Magnetresonanztomographen (MRT), fiel in beiden Gruppen vergleichbar aus.

Die gleiche Arbeitsgruppe [206] führte eine weitere Studie, dieses Mal über 12 Wochen, mit untrainierten männlichen Sportstudenten im Alter von 19 – 33 Jahren durch. Die NP Gruppe (n = 8) und die BLOCK Gruppe (n = 9) trainierten wie in der vorangegangenen Studie bereits beschrieben [205] mit dem Unterschied, dass die Intervention doppelt so lang war. In der BLOCK Gruppe ergab sich daraus, dass der zweite Block zwei Wochen länger durchgeführt und von einem weiteren vierwöchigen Block mit vier Wiederholungen gefolgt wurde. Sowohl der Muskelzuwachs (MRT), als auch das 1-RM in der Kniebeuge verbesserte sich in beiden Gruppen, ohne signifikante Unterschiede.

Auch beim Vergleich eines NP mit einem Blocktraining zeigen sich sehr gemischte Ergebnisse. Bezogen auf Maximalkraftsteigerungen und Muskelzuwachs scheint es keine eindeutigen Hinweise auf Unterschiede zwischen BLOCK und einem NP Trainingsregimen zu geben. Lediglich eine Studie [204] konnte eine Überlegenheit der BLOCK in Bezug auf Schnellkraftanpassungen zeigen.

2.3.4.3. Nicht-periodisiertes Krafttraining versus Weekly Undulating Periodization

Die bereits erwähnte Studie von Baker et al. [196] (s. Kapitel 2.3.4.1) verglich nicht nur NP und LP, sondern es gab auch eine weitere WUP Trainingsgruppe (n = 5). Diese trainierte im zweiwöchigen Wechsel drei bis fünf Sätze mit 10, 6 – 8, 8 – 10, 4 – 6, 6 – 8 und 3 – 6 Wiederholungen. Nach der zwölfwöchigen Intervention konnte keine Veränderung der FM (Calipometrie). Dafür stieg das 1-RM

der Übungen Kniebeugen und Bankdrücken, die Sprungkraft, als auch die FFM der Probanden, jedoch ohne Unterschiede zur NP Gruppe.

Auch bei Stone und Kollegen [203] (s. Kapitel 2.3.4.2) gab es eine weitere Interventionsgruppe. Diese trainierte über einen Zeitraum von 12 Wochen und wechselte jede zweite Woche den Belastungsumfang und die Intensität. Für die Hauptübungen wurde folgendes Trainingsprogramm verwendet (Sätze x Wiederholungen): 5 x 10; 3 x 5; 3 x 3; 3 x 5; 5 x 5; 3 x 5; 3 x 3; 3 x 3/1. Die Körpermasse der Probanden war bei der Ausgangsmessung unverändert. Verglichen mit NP führte WUP jedoch zu höheren Maximalkraftsteigerungen in der Übung Kniebeugen.

Fink et al. [207] führten eine achtwöchige Studie mit jungen krafttrainingsunerfahrenen Turnern durch. Hierbei wurde der linke Arm der Probanden drei Mal wöchentlich unilateral bis zum konzentrischen Muskelversagen trainiert, während der rechte als Kontrolle diente. Die zwei NP Gruppen trainierten entweder mit 30 % oder mit 80 % des 1-RM, während die WUP Gruppe alle zwei Wochen zwischen 30 % und 80 % 1-RM wechselte. Gemessen wurde die Muskeldicke per MRT, die isometrische Maximalkraft (Maximum Voluntary Contraction = MVC) sowie die Kraftanstiegsrate (Rate of Force Development = RFD). Das MVC und die RFD war nur in der NP Gruppe, welche mit 80 % 1-RM trainierte am Ende Studie signifikant erhöht. Beim Muskelzuwachs zeigten sich signifikante Zeiteffekte, jedoch keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

Zusammenfassend zeigt sich auch beim Vergleich von NP zur WUP ein sehr kontroverses Bild. In Bezug auf Kraftanpassungen konnten Studien eine Überlegenheit der WUP [203], eine Überlegenheit des NP [207], als auch vergleichbare Resultate nachweisen [196]. Anhand der sehr unterschiedlichen Trainingsprotokolle lässt sich zudem aktuell keine Tendenz zugunsten eines NP oder der WUP erkennen.

2.3.4.4. Nicht-periodisiertes Krafttraining versus Daily Undulating Periodization

Hoffman und Kollegen [208] untersuchten die Effekte eine zwölfwöchigen NP (3 Sätze á 3 – 8 Wiederholungen in Abhängigkeit der jeweiligen Übung) im Vergleich zu DUP (Tag 1: 3 Sätze á 4 – 10 Wiederholungen; Tag 2: 3 Sätze á 2 – 4 Wiederholungen. Ebenfalls in Abhängigkeit der Übung). Durchgeführt wurde die Studie mit jungen männlichen College Footballspielern. Die Maximalkraft in der Übung Kniebeugen (1-RM) veränderte sich lediglich in der NP Gruppe. Die anderen Tests, 1-RM Bankdrücken und Körpermasse, zeigten keine signifikante Veränderung. An dieser Stelle sollte jedoch erwähnt werden, dass die Trainingshäufigkeit mit zwei Einheiten pro Woche relativ gering gewählt wurde, was darauf zurückzuführen ist, dass die Intervention während der Footballsaison durchgeführt wurde.

In der bereits erwähnt Arbeit von Monteiro et al. [198] (s. Kapitel 2.3.4.1) mit jungen Männern im College Alter wurde weiterhin der Vergleich von NP zu DUP angestellt. Die DUP Gruppe trainierte während des zwölfwöchigen Untersuchungszeitraums im täglichen Wechsel 3 x 12 – 15, 3 x 8 – 10 und 4 x 4 – 5, während die NP Gruppe konstant mit 3 Sätzen und 8 – 10 Wiederholungen trainierte. Am Ende des Interventionszeitraums zeigten sich in beiden Gruppen keine Veränderungen der Körpermasse oder der FM (Calipometrie). In Bezug auf die Maximalkraft (1-RM Kniebeugen und Bankdrücken) zeigte die DUP Gruppe höhere Steigerungen als die NP Gruppe.

Auch Hoffman und Kollegen [204] (s. Kapitel 2.3.4.2) verglichen NP mit DUP über einen Zeitraum von 15 Wochen mit College Footballspielern. Die DUP Gruppe trainierte entweder mit 1 – 2, 3 – 5, 5 – 6 oder 9 – 12 Wiederholungen. Die NP Gruppe absolvierte demgegenüber 15 Wochen lang drei bis vier Sätze mit 6 – 8 Wiederholungen. Beide Gruppen zeigten keine Veränderungen der Körpermasse nach Beendigung der Intervention. Die Maximalkraft, 1-RM Bankdrücken und Kniebeugen sowie die Sprungkraft zeigten vergleichbare Verbesserungen.

Die Arbeit von Amhmadizad et al. [199] (s. Kapitel 2.3.4.1) mit jungen untrainierten übergewichtigen Männern ($23,4 \pm 0,6$ Jahre) zeigte höhere Steigerungen der Maximalkraft (1-RM Beinpresse und Bankdrücken) in der NP Gruppe verglichen mit DUP. Die NP Gruppe trainierte konstant mit zwei Sätzen und 12 Wiederholungen. Die DUP Gruppe hingegen mit zwei Sätzen und 16, 12 und acht Wiederholungen im täglichen Wechsel.

Die bereits beschriebene Studie von Souza et al. [205] (s. Kapitel 2.3.4.2) beinhaltete eine weitere Trainingsgruppe, um einen Vergleich zwischen NP und DUP, bezogen auf den Kraft- und Muskelzuwachs, anzustellen. Die DUP Gruppe absolvierte am ersten Tag der ersten vier Wochen zwei bis drei Sätze mit 12 Wiederholungen und in der zweiten Trainingseinheit der Woche drei Sätze mit je 8 Wiederholungen. In der fünften und sechsten Trainingswoche wurde am ersten Tag mit zwei bis drei Sätzen á zehn Wiederholungen und am zweiten Trainingstag zwei bis vier Sätze mit jeweils sechs Wiederholungen trainiert. Es konnte am Ende der Intervention weder im 1-RM Kniebeugen noch im Muskelzuwachs (MRT) ein signifikanter Unterschied zwischen der NP und der DUP Gruppe gefunden werden.

Schoenfeld und Kollegen [209] untersuchten die Effekte eines achtwöchigen NP Trainings im Vergleich zu DUP Krafttraining mit trainierten jungen Männern ($23,3 \pm 2,9$ Jahre). Das Training fand drei Mal wöchentlich statt und umfasste sieben Übungen, welche bis zum konzentrischen Muskelversagen durchgeführt wurde. Die NP Gruppe absolvierte drei Sätze mit zehn Wiederholungen, während die DUP Gruppe ebenfalls mit drei Sätzen im täglichen Wechsel mit drei, zehn und 25 Wiederholungen trainierte. Am Ende der Trainingsperiode zeigten sich vergleichbare Anpassungen der Muskeldicke (Ultraschall Armbeuger, Armstrecker und M. vastus lateralis), der Maximalkraft (1-RM Bankdrücken und Kniebeugen), sowie der Kraftausdauer (maximale Wiederholungszahl beim Bankdrücken mit 50 % des 1-RM) in beiden Gruppen ohne signifikante Unterschiede.

In der ebenfalls bereits beschriebenen zwölfwöchigen Studie von Souza et al. [206] mit untrainierten männlichen Sportstudenten im Alter von 19 bis 33 Jahren (s. Kapitel 2.3.4.2) zeigten sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen NP (2 – 3 Sätze á 8 Wiederholungen) und der DUP Gruppe (2 – 4 Sätze á 4 – 12 Wiederholungen). Beide Trainingsprogramme führten zu einer ähnlichen Veränderung des Muskelquerschnitts (MRT) sowie der Maximalkraft (1-RM Kniebeugen).

Beim Vergleich von NP und DUP lassen sich zusammenfassend vergleichbare bzw. teilweise überlegene Anpassungen zu Gunsten der DUP finden. Lediglich die Studie von Hoffman und Kollegen [208] zeigt in einem Leistungstest eine Überlegenheit des NP. Da dieses jedoch während der Footballsaison durchgeführt wurde, sollte dieses Ergebnis nicht überinterpretiert werden.

2.3.4.5. Lineare Periodisierung versus Blockperiodisierung

Ein neuere Studie von Bartolomei und Kollegen [210] verglich die Effektivität der LP und der BLOCK. Hierbei trainierten 24 junge, krafttrainingserfahrene, männliche Probanden vier Mal wöchentlich über einen Zeitraum von 15 Wochen. Die LP Gruppe absolvierte drei fünfwöchige Trainingszyklen mit linear zunehmender Intensität (je fünf Sätze á 8 – 10, 5 – 6,3 – 4 Wiederholungen, gefolgt von einer Woche schnellkraftorientierten Trainings mit 50 – 60 % 1-RM und einer gesenkten Woche), während die BLOCK Gruppe jeweils drei Mal fünf wöchige Blöcke in einem bestimmten Trainingsbereich trainierte. Der erste Block bestand aus Training mit hohen Umfängen (6 – 10-RM) und geringer Intensität (Anreicherung), der zweite aus Training mit hoher Intensität und geringen Umfängen (1 – 6-RM; Umsetzung) und der dritte Realisierungsblock aus schnellkraftorientiertem Training (50 – 65 % 1-RM). Am Ende der Intervention konnte in beiden Interventionsgruppen keine signifikante Veränderung der Maximal- (isometrische Kniebeuge, 1-RM Bankdrücken) und Schnellkraft (Squat und Countermovement Jump [CMJ]), sowie der Körperzusammensetzung (Calipometrie) festgestellt werden.

Da zum Vergleich der LP gegenüber der BLOCK nur eine Studie ohne signifikante Veränderungen vorliegt, lässt sich keine Aussage zur Effektivität der Modelle treffen. Erwähnenswert ist an diese Stelle, dass es sich in der beschriebenen Studie ausschließlich um Probanden mit mindestens dreijähriger Krafttrainingserfahrung handelte, was die Abwesenheit von signifikanten Veränderungen in diesem relativ kurzen Interventionszeitraum erklären könnte.

2.3.4.6. Lineare Periodisierung versus Weekly Undulating Periodization

Die neunwöchige Studie von Buford et al. [211] wurde mit Männern und Frauen im College Alter durchgeführt, mit dem Ziel die Effektivität von LP und WUP zu vergleichen. Trainiert wurde drei Mal wöchentlich an nicht aufeinanderfolgenden Tagen mit drei Sätzen je Übung. In der LP Gruppe wurde

sukzessive über die Dauer der Intervention in den Hauptübungen die Wiederholungszahl von acht, auf sechs, auf vier Wiederholungen reduziert, bei gleichzeitiger Intensitätssteigerung. Die WUP Gruppe demgegenüber trainierte in den Wochen 1, 4 und 7 mit achten, in den Wochen 2, 5 und 8 mit sechs und in den Wochen 3, 6 und 9 mit vier Wiederholungen. In allen Parametern zeigten beide Interventionsgruppen vergleichbare Veränderungen. Verbesserungen des 1-RM in der Beinpresse und beim Bankdrücken, Reduktion der FM bestimmt anhand der Calipometrie, sowie Steigerungen des Brust- und Oberschenkelumfangs.

Apel und Kollegen [212] nutzen ebenfalls Probanden im College Alter ($n = 42$). Alle Teilnehmer hatten mindestens ein halbes Jahr Krafttrainingserfahrung. Diese trainierten über 12 Wochen mit drei bis vier Trainingseinheiten pro Woche. Die LP Gruppe trainierte zu Beginn mit zehn bis 12 Wiederholungen und zum Ende der Studie mit vier bis zehn Wiederholungen. Die Intensität nahm dabei wöchentlich linear zu. Die WUP Gruppe wechselte wöchentlich die Intensität und damit wellenförmig den Belastungsumfang. Nach der Intervention konnte keine signifikante Änderung der Körpermasse und der Körperzusammensetzung festgestellt werden (BIA). Zur Verbesserung des 10-RM der Kniebeugen und des Bankdrückens zeigte die TP Gruppe höhere Steigerungen als die WUP Gruppe.

Trotz der überschaubaren Studienlage lässt sich festhalten, dass die LP mindestens gleich effektiv, wenn nicht sogar der WUP, in Bezug auf Verbesserungen der Kraft, überlegen ist.

2.3.4.7. Lineare Periodisierung versus Daily Undulating Periodization

In der in Kapitel 2.3.4.6 bereits beschriebenen Studie von Buford et al. [211] gab es neben der LP und der WUP Gruppe auch eine DUP Gruppe, welche Montags mit acht, mittwochs mit sechs und freitags mit vier Wiederholungen trainierte. Zusätzlich wurden Übungen für die Rumpfmuskulatur durchgeführt. Die Anpassungen der DUP Gruppe waren vergleichbar und nicht signifikant unterschiedlich verglichen mit der LP Gruppe. Es konnte eine Maximalkraftsteigerung (1-RM Beinpresse und Bankdrücken), eine Vergrößerung der Umfänge (Brust und Oberschenkel), als auch eine Reduktion der FM festgestellt werden (Calipometrie).

Peterson und Kollegen [174] führten eine neunwöchige Intervention mit sportlichen jungen Feuerwehrmännern durch ($n = 14$; $21,9 \pm 1,8$ Jahre). Die DUP Gruppe variierte täglich zwischen Trainingseinheiten mit den Zielen muskulärer Hypertrophie und Kraftausdauer, Steigerung der Maximalkraft sowie der Schnellkraft bzw. Schnellkraftleistung. Die LP Gruppe hingegen absolvierte drei Mesozyklen in klassischer Abfolge von Kraftausdauer und Hypertrophie, zu Maximalkrafttraining, hin zu Schnellkraft bzw. Schnellkraftleistung. Die DUP Gruppe zeigte überlegene Anpassungen der Kraftausdauer, der Maximalkraft (1-RM Kniebeugen und Bankdrücken), der muskulären Leistung (Peak Power Output bei 30 und 60 % 1-RM) sowie der vertikalen Sprungkraft.

Die bereits mehrfach beschriebene Studie von Monteiro et al. [198] (s. Kapitel 2.3.4.1 und 2.3.4.4) untersuchte ebenfalls die Unterschiede zwischen der LP und der DUP. Die LP Gruppe reduzierte über den Verlauf der zwölfwöchigen Studie den Belastungsumfang je Satz linear von 12 bis 15 Wiederholungen auf Sätze mit vier bis fünf Wiederholungen. Die DUP Gruppe hingegen wechselte täglich den Belastungsumfang, als auch die Intensität. Die Reihenfolge war dabei 12 – 15 Wiederholungen, acht bis zehn Wiederholungen und vier bis fünf Wiederholungen je Satz. In beiden Interventionsgruppen konnte keine Veränderung der Körpermasse oder der FM festgestellt werden (Calipometrie). Die Maximalkraftsteigerungen (1-RM) fielen jedoch in der DUP Gruppe bei den Übungen Beinpresse und Bankdrücken höher aus als in der LP Gruppe.

In der Arbeit von Ahmadizad und Kollegen [199] mit übergewichtigen untrainierten jungen Männern (s. Kapitel 2.3.4.1 und 2.3.4.4) gab es eine weitere Interventionsgruppe die drei Mal wöchentlich nach der DUP trainierte. Am ersten Tag absolvierten die Probanden zwei Sätze á 16 Wiederholungen, am zweiten zwei Sätze á 12 und in der dritten Trainingseinheit ebenfalls zwei Sätze, jedoch mit acht Wiederholungen. Alle Tests zeigten am Ende der Studie vergleichbare Veränderungen (BIA, 1-RM Bankdrücken), abgesehen vom 1-RM der Übung Beinpresse. Hier war die DUP der LP überlegen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch eine Studie von Painter et al. [213]. Die 26 weiblichen und männlichen Leichtathleten, die die Studie erfolgreich beendeten, waren zwischen 18 bis 22 Jahren alt. Sie trainierten über einen Zeitraum von zehn Wochen und absolvierten drei Krafttrainingseinheiten wöchentlich. In der LP Gruppe nahm die Intensität über Zeit der Studie zu, während der Belastungsumfang reduziert wurde. Die DUP Gruppe hingegen variierte täglich zwischen Kraftausdauer- (3 x 8 – 12), Maximalkraft- (3 x 5 – 7) und von den Autoren als „Power“ deklarierten Trainingseinheiten (3 x 3 – 5). Am Ende der Intervention hatten beide Interventionsgruppen an Körpermasse zugenommen und zeigten höhere Kraftwerte (1-RM Kniebeugen und „isometric midhigh pulls“) ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Zusammenfassend lässt die vorhandene Studienlage in Bezug auf Maximalkraftsteigerungen eine Tendenz zu Gunsten der DUP erkennen. Drei der fünf beschriebenen Studien konnten eine Überlegenheit der DUP gegenüber der LP nachweisen, während Buford et al. [211] und Painter et al. [213] vergleichbare Ergebnisse zwischen den Modellen fanden.

2.3.4.8. Weekly Undulating Periodization versus Blockperiodisierung

In der frühen bereits beschriebenen Studie von Stone und Kollegen [203] (s. Kapitel 2.3.4.2 und 2.3.4.3) wurde weiterhin der Vergleich zwischen einer WUP und einer BLOCK Interventionsgruppe angestellt. Nach der zwölfwöchigen Intervention zeigte keine der Gruppen eine Veränderung der Körpermasse. In beiden Gruppen ließ sich eine Steigerung der Maximalkraft erkennen (1-RM Kniebeugen), jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die bereits zuvor beschriebene Studie von Souza et al. [205] (s. Kapitel 2.3.4.2 und 2.3.4.4) verglich neben WUP und BLOCK zu NP auch die Effektivität zwischen WUP und BLOCK. Am Ende der sechswöchigen Intervention konnte keine signifikante Kraftsteigerung in der BLOCK, jedoch in der WUP Gruppe, festgestellt werden (1-RM Kniebeugen). Dem gegenüber war die Zunahme des Muskelquerschnitts (MRT) in beiden Gruppen vergleichbar.

Die beiden beschriebenen Arbeiten lässt sich mit Vorsicht eine leichte Tendenz zur Überlegenheit der WUP gegenüber der BLOCK erkennen.

2.3.4.9. Weekly Undulating Periodization versus Daily Undulating Periodization

Buford et al. [211] verglichen primär die wellenförmigen Periodisierungsmodelle mit der LP (s. Kapitel 2.3.4.6 und 2.3.4.7), jedoch konnte am Ende der neunwöchigen Intervention ebenfalls ein Vergleich zwischen der WUP und der DUP Gruppe angestellt werden. Es zeigten zwar Veränderungen in beiden Interventionsgruppen, jedoch keine signifikanten Unterschiede der DUP gegenüber der WUP in keinem der untersuchten Faktoren (1-RM Beinpresse und Bankdrücken, FM, Brust- und Oberschenkelumfang).

In der achtwöchigen Studie von Franchini und Kollegen [214] wurden Judoka im Alter von 18 – 35 Jahren drei Mal wöchentlich trainiert. Die WUP Gruppe absolvierte in der ersten und zweiten Woche vier Sätze mit 3 – 5-RM, in den Wochen drei bis fünf Schnellkrafttraining (vier Sätze á 6 – 8 Wiederholungen mit 80 % 1-RM) und in den letzten drei Wochen 15 – 20-RM. In der DUP Gruppe hingegen wurden die beschriebenen Trainingsbereiche täglich variiert. Die Abfolge der jeweiligen Trainingstage wurde ebenfalls von Woche zu Woche verändert. Am Ende der Intervention konnte keine signifikante Veränderung der Körpermasse, der Oberarm- (hängend) und Oberschenkelumfänge, der Kraftausdauer (maximale Wiederholungszahl mit 70 % 1-RM der Übungen Rudern, Bankdrücken und Kniebeugen) sowie der Sprungkraft (Standweitsprung) festgestellt werden. Die FM (Calipometrie) war in beiden Gruppen vergleichbar reduziert und es konnten ähnliche Zunahmen des Oberarm- (angespannt) und Unterarmumfangs sowie der isometrischen Griffkraft, des 1-RM Kniebeugen, Langhantel Rudern und Bankdrücken dokumentiert werden.

Ullrich und Kollegen [215] untersuchten die Effekte eines sechswöchigen speziellen Sprungkrafttrainings mit der WUP oder der DUP anhand junger ($24,3 \pm 2,6$ Jahre) männlicher und weiblicher Spisportler ($n = 22$). Die WUP Gruppe trainierte drei Mal je zwei Wochen lang mit drei Einheiten wöchentlich CMJs, zunächst ohne, dann mit 15 % der Körpermasse Zusatzlast und anschließend mit 30 % der Körpermasse Zusatzlast in Form von Gewichtswesten (6 Sätze á 3 – 7 Sprünge). Die DUP Gruppe dagegen wechselte täglich zwischen 0 %, 15 % oder 30 % Zusatzlast in variierender Reihenfolge über den gesamten Zeitraum der Studie. Die Körpermasse, der Oberschenkelumfang, verschiedenste Parameter der Muskelarchitektur des Oberschenkels (Muskeldicke, Fiederungswinkel, Faserlänge), die Muskelaktivität, als auch die isometrische

Maximalkraft der Beinextensoren und die Sprunganalyse mit Zusatzlasten (0 %, 15 %, 30 % der Körpermasse) zeigten vergleichbare Veränderungen der Interventionsgruppen ohne signifikante Unterschiede.

Anhand der aktuellen Studienlage lässt sich festhalten, dass DUP, als auch WUP Krafttraining zu vergleichbaren Anpassungen führt, zumindest in den kurzen verwendeten Interventionsdauern von sechs bis neun Wochen. Es stellt sich die Frage, ob die beiden wellenförmigen Modelle eventuell zu ähnlich sind, um nennenswerte Unterschiede zu bewirken.

2.3.4.10. Daily Undulating Periodization versus Blockperiodisierung

An der zwölfwöchigen Studie von Rhea und Kollegen [216] nahmen 20 krafttrainingserfahrene (> 2 Jahre) junge Männer im Alter von $21 \pm 2,3$ Jahren teil. Die BLOCK Gruppe trainierte jeweils vier Wochen mit 3 x 8-RM, danach mit 3 x 6-RM, sowie 3 x 4-RM. Die DUP Gruppe dagegen trainierte am ersten Tag der Woche mit 3 x 8-RM, am zweiten mit 3 x 6-RM, sowie am dritten Tag mit 3 x 4-RM über den gesamten Interventionszeitraum. Nach Abschluss der Studie zeigten beide Gruppen keine Veränderungen der Körperzusammensetzung (Ganzkörperplethysmographie) oder des Brust- und Oberschenkelumfangs. In Bezug auf die Maximalkraft zeigten beide Gruppen jedoch signifikante Steigerungen (1-RM Beinpresse und Bankdrücken), wobei DUP zu höheren Kraftsteigerungen führte als BLOCK.

An einer weiteren Studie von Rhea et al. [217] nahmen 60 Männer und Frauen im College Alter mit mindestens einem Jahr Krafttrainingserfahrung teil. Die Interventionsgruppen trainierten zweimal wöchentlich über einen Zeitraum von 15 Wochen. Die DUP Gruppe absolvierte täglich wechselnde Trainingseinheiten (Woche 1 Tag 1: 3 x 25-RM; Woche 1 Tag 2: 3 x 20-RM; Woche 2 Tag 1: 3 x 15-RM usw.), wohingegen die BLOCK Gruppe in den Trainingswochen 1 bis 5 mit 3 x 25-RM, in den Wochen 6 bis 10 mit 3 Sätzen mit 20-RM und in den Wochen 11 bis 15 mit 3 x 15-RM trainierte. Die Kraftausdauer (Beinstrecker mit 50 % des Körpergewichts der Probanden) und die Maximalkraft (1-RM Beinstrecker) verbesserte sich in beiden Gruppen ohne signifikante Unterschiede zwischen DUP und BLOCK.

An der Intervention von Hartmann und Kollegen [166] nahmen 40 Sportstudenten im Alter von $23,98 \pm 3,14$ Jahren teil. Die Intervention dauerte 14 Wochen und trainiert wurde mit einer wöchentlichen Frequenz von drei Trainingseinheiten. Die BLOCK Gruppe absolvierte einen zehnwöchigen hypertrophieorientierten Block mit fünf Sätzen á 8 – 12 Wiederholungen gefolgt von einem vierwöchigen Block mit dem Schwerpunkt der Verbesserung der intramuskulären Koordination (5 Sätze á 3 – 5 Wiederholungen). Die DUP Gruppe trainierte in drei unterschiedlichen Wiederholungsbereichen, welche sich in jeder Trainingseinheit abwechselten. Montags 5 Sätze mit 3 – 5 Wiederholungen, mittwochs 5 Sätze mit 8 – 12 Wiederholungen und freitags 5 Sätze mit 20 – 25 Wiederholungen. Beide

Interventionsgruppen zeigten vergleichbare Anpassungen der Schnellkraft, der isometrischen Maximalkraft als auch des 1-RM in der Übung Bankdrücken, ohne signifikante Unterschiede zwischen DUP und BLOCK.

In einer weiteren Studie von Hartmann et al. [168] wurden ebenfalls männliche Sportstudenten untersucht (n = 40). Diese trainierten drei Mal wöchentlich über einen Zeitraum von 14 Wochen. Die BLOCK Gruppe absolvierte dabei in den ersten zehn Wochen zunächst eine Phase hypertrophieorientierten Trainings mit fünf Sätzen á 8 bis 12 Wiederholungen. Gefolgt wurde diese von einer „Strength-power“ Phase mit ebenfalls fünf Sätzen, jedoch mit nur 3 bis 5 Wiederholungen. Die DUP Gruppe hingegen absolvierte immer montags eine „Strength-power“ Trainingseinheit (5 Sätze mit 3 – 5 Wiederholungen), mittwochs ein hypertrophieorientiertes Training (5 Sätze mit 8 – 12 Wiederholungen) und freitags eine Trainingseinheit mit Kraftausdauerfokus (5 Sätze mit 20 – 25 Wiederholungen). Bei den Ausgangsuntersuchungen zeigten die BLOCK, als auch die DUP Gruppe vergleichbare Steigerungen des 1-RM im Bankdrücken, des MVC, der maximale Kraftbildungsrate, als auch der maximalen Geschwindigkeit beim konzentrischen „Bench throw“ (Smith Maschine mit einer Last von 16,9 kg).

In der bereits beschriebenen Studie von Hoffman und Kollegen [204] (s. Kapitel 2.3.4.2 und 2.3.4.4) wurde neben dem Vergleich eines NP gegenüber BLOCK und DUP ebenfalls der Vergleich zwischen den bereits im Detail dargestellten BLOCK und DUP Trainingsgruppen angestellt. Am Ende der fünfzehnwöchigen Intervention zeigten beide Gruppen keine signifikante Veränderung der Körpermasse, der vertikalen Sprungkraft oder der Sprungleistung. Die Maximalkraft (1-RM Bankdrücken und Kniebeugen) war als Folge des Krafttrainings in beiden Gruppen höher als vor der Intervention, jedoch ohne Unterschiede zwischen den Periodisierungsmodellen. Eine signifikante Verbesserung der Schnellkraft der oberen Extremität (Medizinballweitwurf) konnte allerdings nur in der BLOCK Gruppe gefunden werden.

Miranda et al. [218] verglichen die Effekte eines BLOCK und eines DUP Krafttrainings über einen Zeitraum von 12 Wochen. Als Probanden dienten zwanzig sportliche junge Männer. In der BLOCK Gruppe wurde in den ersten vier Wochen mit drei Sätzen á 8 – 10 Wiederholungen, in den Wochen fünf bis acht mit drei Sätzen á 6 – 8 Wiederholungen und in den letzten vier Wochen mit drei Sätzen á 4 – 6 Wiederholungen trainiert. Die volumen-gematchte DUP Gruppe wechselte täglich zwischen drei Sätzen mit 8 – 10, 6 – 8 und 3 x 4 – 6. Nach Beendigung der Intervention zeigten beide Trainingsgruppen höhere 1-RM als auch 8-RM Werte bei der Beinpresse und beim Bankdrücken ohne nennenswerte Unterschiede.

Die neuere, bereits beschriebene zwölfwöchige Studie (s. Kapitel 2.3.4.2) von Souza et al. [206] untersuchte weiterhin die Effekte eines BLOCK gegenüber einer DUP mit untrainierten männlichen Sportstudenten im Alter von 19 – 33 Jahren. Beide Interventionsgruppen zeigten am Ende der Studie

vergleichbare Vergrößerungen des Muskelquerschnitts (MRT), als auch der Maximalkraft (1-RM Kniebeugen) ohne signifikante Gruppenunterschiede.

Anhand der vergleichsweise umfangreichen Literatur lässt sich schlussfolgern, dass mit wenigen Ausnahmen [204, 216] DUP als auch BLOCK zu vergleichbaren Anpassungen ohne nennenswerte Unterschiede führt. Es mangelt jedoch an Studien mit eindeutigen Hypertrophieschwerpunkt.

2.3.4.11. Weekly Undulating und Daily Undulating Periodization in Kombination versus Blockperiodisierung

Die Studie von Simão et al. [219] verglich die Effekte eines kombinierten WUP und DUP Krafttrainings mit einem Training nach der BLOCK. Die BLOCK Gruppe trainierte jeweils vier Wochen Kraftausdauer (2 x 12 – 15 Wiederholungen), Hypertrophie (3 x 8 – 10 Wiederholungen) und Maximalkraft (4 x 3 – 5 Wiederholungen). Im Gegensatz dazu absolvierte die kombinierte Gruppe in den ersten sechs Wochen der Studie jeweils zwei Wochen Kraftausdauer, Hypertrophie und Maximalkraft mit den bereits beschriebenen Satz- und Wiederholungszahlen. In den Wochen sieben bis zwölf wurden hingegen diese Trainingsbereiche innerhalb einer Woche täglich abgewechselt. Die jungen Navy Soldaten zeigten am Ende der Intervention in beiden Gruppen vergleichbare 1-RM Zuwächse im Trizepsdrücken, Latziehen und Bizepscurl. Beim 1-RM Bankdrücken, als auch für den Muskelzuwachs (Ultraschallmessungen am M. biceps brachii und M. triceps brachii) war das wellenförmige Training der BLOCK überlegen.

Beim Zusammentragen der Literatur ergibt sich das Problem, dass die Diskussion um die Theorie der Periodisierung bereits sehr weit fortgeschritten ist, es aber nur bedingt empirisch gesicherte Befunde in der Literatur existieren. Anhand der dargestellten Evidenz lässt sich kaum ein eindeutiges Bild zeichnen. Entgegen der anekdotischen Belege einer Überlegenheit des periodisierten Krafttrainings im Allgemeinen gegenüber eines NP lässt sich dies bislang für kurze Trainingszeiträume nicht bestätigen. Lediglich das undulierende Krafttraining scheint bei jungen Erwachsenen in manchen Aspekten zu vergleichbaren bzw. höheren Ergebnissen zu führen. Hervorzuheben sind jedoch die vergleichsweise kurzen Interventionsdauern (< 16 Wochen) und die Verwendung meist untrainierter bis maximal moderat trainierter Probanden, was einen Übertrag in den Leistungssport erschwert. Darüber hinaus handelt es sich bei den Trainingsprogrammen meist um Interventionen zur Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft ohne die Verwendung direkter Methoden zur Bestimmung der Muskelhypertrophie [145, 220].

Es fehlen folglich (Langzeit-)Studien mit moderat und hoch trainierten Leistungssportlern. Außerdem besteht Bedarf an Trainingsstudien mit eindeutigen Hypertrophie Schwerpunkt. Hierbei sollten statt indirekter Messmethoden der Muskelmasse, wie die BIA oder Umfangsmessungen, unbedingt direkte Methoden zur Bestimmung des Muskelvolumens oder Muskeldicke, wie beispielweise Ultraschall oder

MRT, vermehrt zum Einsatz kommen. Weiterhin stellt sich die Frage nach der Effektivität periodisierten Krafttrainings im Nachwuchs-, bzw. im Kinder- und Jugendtraining. Daher soll nachfolgend hierzu ebenfalls ein kurzer Überblick gegeben werden.

2.3.5. Zum Forschungsstand der Periodisierung bei Kindern und Jugendlichen

Im Allgemeinen lassen sich kaum Studien finden, die unterschiedliche Periodisierungsmodelle mit Probanden unter 18 Jahren untersuchen. Anhand der im vorherigen Kapitel (s. Kapitel 2.3.4) definierten Kriterien sollen an dieser Stelle die wenigen Quellen vorgestellt werden.

2.3.5.1. Nicht-periodisiertes Krafttraining versus Daily Undulating Periodization

Moraes et al. [221] untersuchten die Unterschiede eines NP und einem Krafttraining mit DUP über 12 Wochen anhand von untrainierten männlichen Probanden im Alter von 14 – 18 Jahren. Die NP Gruppe (n = 14) absolvierte drei Mal wöchentlich Trainingseinheiten mit 3 Sätzen á 10 bis 12 Wiederholungen je Übung. Die DUP Gruppe (n = 14) hingegen wechselte von Trainingseinheit zu Trainingseinheit zwischen 3 Sätzen á 18 bis 20, 8 bis 10, 13 bis 15, 3 bis 5 und 10 bis 12 ab. Am Ende der Intervention zeigten beide Interventionsgruppen keine Veränderung der Sprungkraft. Die Maximalkraft (1-RM geführtes Bankdrücken und Beinpresse) war in beiden Gruppen erhöht, jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen NP und DUP.

Eine sehr aktuelle Studie von Schumann et al. [222] nutzte jugendliche krafttrainingserfahrene Schwimmerinnen und Schwimmer als Probanden (n = 16). Diese absolvierten zusätzlich zu ihrem Wassertraining entweder ein NP oder ein DUP Krafttraining. Das Krafttraining wurde entweder zwei Mal wöchentlich (Mittelstreckler) oder drei Mal wöchentlich (Sprinter) über einen Zeitraum von neun Wochen durchgeführt. Die NP Gruppe trainierte mit zwei bis vier Sätzen und 6 bis 15 Wiederholungen, wohingegen die DUP Gruppe zwischen zwei bis vier Sätzen mit 3 bis 15 Wiederholungen und einer Schnellkrafttrainingseinheit mit 10 m Sprints, verschiedenen Medizinballwürfen und Sprüngen zusätzlich zu klassischen Kraftübungen abwechselte. Nach Beendigung der Intervention konnte keine Veränderung der Schwimm- und Startleistung der Probanden festgestellt werden. In Bezug auf Maximal- (1-RM Kniebeugen und Bankdrücken) und Schnellkraftsteigerungen (CMJ) war jedoch das DUP dem NP überlegen.

2.3.5.2. Daily Undulating Periodization versus Blockperiodisierung

Es konnte lediglich eine Studie mit Jugendlichen gefunden werden, welche die DUP mit der BLOCK verglich. Foschini et al. [223] untersuchten postpubertäre untrainierte männliche und weibliche Übergewichtige mit einem durchschnittlichen Alter von $16,50 \pm 1,74$ Jahren über einen Zeitraum von

14 Wochen. Beide Gruppen absolvierten drei Mal wöchentlich ein Ganzkörperkrafttraining mit drei Sätzen je Übung. Die BLOCK Gruppe sechs Wochen lang 15 – 20, vier Wochen lang 10 – 12 und weitere vier Wochen 6 – 8 Wiederholungen. Die DUP Gruppe trainierte zur Eingewöhnung anfänglich zwei Wochen zwar ebenfalls mit 15 – 20 Wiederholungen, ab Woche drei jedoch mit täglich wechselnden Wiederholungsbereichen. Am ersten Trainingstag der Woche mit 15 – 20, am zweiten mit 10 – 12 und am dritten Tag mit 6 – 8 Wiederholungen. Da eine spezielle Ernährungsintervention vorgenommen wurde, soll auf die Parameter der Körpermasse und -zusammensetzung nicht näher eingegangen werden. Nach der Trainingsintervention zeigten beide Gruppen eine verbesserte Kraftausdauerleistung (15-RM Bankdrücken und Beinpresse), jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen den beiden Periodisierungsmodellen.

2.3.5.3. Daily Undulating Periodization versus Weekly Undulating Periodization

Ullrich und Kollegen [215] führten eine Cross-Over Studie mit zwei je vierwöchigen Interventionen mit drei Einheiten pro Woche durch. Als Probanden dienten fünf Jungen und sechs Mädchen im Alter von 14 bis 16 Jahren mit durchschnittlich $2,7 \pm 1,1$ Jahren Krafttrainingserfahrung. Die Autoren beschreiben die eine Trainingsintervention zwar als traditionelle Periodisierung, jedoch gleicht diese auf Grund der kurzen Interventionsdauer von nur vier Wochen bzw. 12 Trainingseinheit eher einer WUP. Die durch den Autor nachfolgend als WUP bezeichnete Gruppe absolvierte je vier Trainingseinheiten sogenannte „strength sessions“ (80 – 90 % 1-RM), gefolgt von vier „power sessions“ (65 – 75 % 1-RM) und vier „velocity sessions“ (50 – 60 % 1-RM). Die DUP Gruppe trainierte mit identischen Trainingsbereichen, jedoch wurden diese in täglichem Wechsel und randomisierter Reihenfolge absolviert. Gemessen wurden u.a. die Körpermasse, die Muskeldicke des M. vastus lateralis, diverse Maße der Muskelarchitektur wie beispielsweise die Muskeldicke und die Faszikellänge, die „Maximum Voluntary Contractive Capacity“ der Kniestrecke und -beuger, als auch das 1-RM der Übungen Kniebeugen, Stoßen, Reißen, Beinbeuger, Bankdrücken und -ziehen und Latziehen. Beide Trainingsmodelle führten zu vergleichbaren Veränderungen der gemessenen Faktoren ohne nennenswerte signifikante Unterschiede.

Vergleichbar mit der Studienlage zur Periodisierung des Krafttraining bei jungen Erwachsenen zeigt die sehr überschaubare Literatur bei Kindern, bzw. Jugendlichen ein ähnliches uneinheitliches Bild. Hinzu kommt, dass meist Jungen und Mädchen zusammen untersucht und primär maximal- und schnellkraftorientierte Trainingsprogramme verwendet wurden. Der Muskelzuwachs als Folge verschiedener periodisierter Krafttrainingsprogramme wurde lediglich in einer Kurzzeitstudie untersucht [215]. Weiterhin fehlen Studien, welche mit gesunden männlichen Leistungssportlern durchgeführt wurden. Es ist folglich bislang unklar, ob periodisiertes Krafttraining im Kindes- und Jugendalter einem NP überlegen ist und falls ja, welches Modell der Periodisierung am effektivsten ist.

Daher besteht erheblicher Forschungsbedarf im Bereich der Krafttrainingsperiodisierung im Muskelaufbautraining bei Kindern und Jugendlichen allgemein sowie im Nachwuchsleistungssport.

Häufig kommt es zudem im Trainingsprozess zu geplanten (beispielsweise am Ende der Saison, in der so genannten Übergangsperiode), als auch ungeplanten Trainingsunterbrechungen (beispielsweise als Folge von Krankheiten, Verletzungen oder durch Schulferien). In diesen Phasen wird entweder weniger oder überhaupt nicht mehr trainiert. Dies wird in der sportwissenschaftlichen Literatur als Detraining (DTR) bezeichnet [112]. Die Effekte des DTR nach Krafttraining auf verschiedene Parameter sollen im folgenden Kapitel dargestellt werden.

2.4. Detraining

Es ist seit längerem bekannt, dass während Phasen reduzierten oder gar unterbrochenen (Kraft-) Trainings, sich Anpassungen nach einer gewissen Zeit zurückbilden können. Dieser Prozess wird als Deadaptation oder DTR bezeichnet [112]. Der zeitliche Verlauf hängt dabei von mehreren Faktoren ab. Unter anderem zu nennen sind die Art des vorangegangenen Trainings, die Dauer der vorherigen Trainingsperiode, als auch das (Trainings-)Alter der Trainierenden [224].

Im kommenden Abschnitt soll die Studienlage zum Thema DTR nach Krafttrainingsinterventionen mit jungen erwachsenen Männern dargestellt werden.

2.4.1. Zum Forschungsstand des Detrainings bei jungen Erwachsenen

Die Literatur, die die Auswirkungen von DTR bei erwachsenen Männern nach Krafttraining auf die Körperzusammensetzung, Muskelmasse, Kraft und Leistung untersucht, ist sehr heterogen. Daten aus früheren Untersuchungen haben gezeigt, dass kurzzeitiges DTR (≤ 8 Wochen) zu einer Zunahme der FM führt [225]. Gleiches wurde auch bei längeren DTR Phasen beobachtet (12 Wochen DTR) [226]. Auf der anderen Seite zeigten andere keine signifikante Veränderung der FM nach kurzzeitigem DTR [227–230]. In einer Studie von Häkkinen und Kollegen [231] war die FM sogar nach drei Monaten DTR weiterhin unverändert.

Die Muskelmasse bzw. der Muskelquerschnitt war nach kurzen DTR Phasen von weniger als acht Wochen teilweise verringert [225, 227, 230, 232–236], jedoch waren die Hypertrophie Effekte im Gegensatz dazu teilweise selbst nach mehreren Wochen im Anschluss an eine Krafttrainingsintervention noch unverändert [229, 237].

Was die Maximalkraft betrifft so haben Studien nach DTR eine Verringerung der MVC an verschiedenen Geräten [238–241], des 1-RM in der Kniebeuge [225, 226, 228, 230] und des 1-RM der Übung Bankdrücken festgestellt [228]. Andere Autoren hingegen berichten, dass das MVC [234, 235,

242, 243], als auch das 1-RM verschiedener Übungen durch kurzzeitiges DTR nicht verändert war [227, 229, 230, 237, 244, 245]

Die Sprungkraft wurde in einigen Studien als Maß der Schnellkraft erhoben. Zum Teil war diese nach kurzzeitigem DTR [228], als auch durch dreimonatiges DTR im Anschluss an eine Krafttrainingsintervention reduziert [226]. Andere Autoren hingegen konnten dem Gegenüber keinen Rückgang der Sprungkraft feststellen [225, 227, 229, 246].

Wie bereits erwähnt hängt das Ausmaß der Deadaptation durch Trainingspausen von mehreren Faktoren ab. Unter anderen sei die Dauer der DTR Periode und das Alter der Sportler zu nennen [156, 224]. Daher ist ein direkter Vergleich der erwähnten Studien schwierig. Zum einen wurden teilweise sehr unterschiedliche Trainingsinterventionen und zum anderen DTR Perioden unterschiedlicher Dauer verwendet, um den Einfluss einer Trainingspause zu erforschen. Es sind folglich mehr Studien zu den Auswirkungen des DTR unterschiedlicher Länge nach beispielsweise einem hypertrophieorientierten periodisierten Krafttraining mit jungen Erwachsenen notwendig.

Da das Alter einen erheblichen Einfluss auf den Erhalt, bzw. den Rückgang der Muskelmasse, der Kraft, als auch der sportlichen Leistungsfähigkeit nach DTR Perioden hat, soll im kommenden Kapitel ein Überblick des Forschungsstandes zum Thema DTR im Kindes- und Jugendalter gegeben werden.

2.4.2. Zum Forschungsstand des Detrainings bei Kindern und Jugendlichen

Auch die Ergebnisse zu den Auswirkungen von DTR bei jungen Probanden erweisen sich als gemischt. Was Veränderungen anthropometrischer Merkmale nach DTR betrifft, fanden Studien einen Verlust der FFM und einen Anstieg der FM nach vier bis sechs [247], bzw. zwölf [248] und 16 Wochen DTR [249]. Dem gegenüber steht eine Studie von Santos und Kollegen [250], welche zeigte, dass die FM selbst nach zwölf Wochen DTR unverändert blieb. Weitere Untersuchungen zeigen einen Rückgang der Muskelmasse bei jugendlichen Fußballspielern, welche am Ende der Saison vier bis acht Wochen pausierten [251]. Im Gegensatz dazu fanden Fathi und Kollegen nach vier Monaten Trainingspause bei 14 Jährigen Volleyballspielern keine signifikante Veränderung des Oberschenkelvolumens [249].

Weiterhin zeigten Studien mit Mädchen und Jungen im Alter von sieben bis 13 Jahren, dass bereits vier Wochen DTR nach einer Krafttrainingsintervention zu einer Abnahme der Maximalkraft führt [252, 253]. Gleiches wurde ebenfalls bei einer längeren DTR Periode von drei Monaten festgestellt [248]. Im Kontrast dazu stellte eine Studie von Meylan et al. nach acht Wochen DTR keinen signifikanten Rückgang der Maximalkraft fest [254].

Häufiger untersucht wurde der Einfluss des DTR bei Kindern und Jugendlichen auf die Schnellkraft. Es konnte gezeigt werden, dass nach einer Krafttrainingsperiode die Steigerungen der Schnellkraft der oberen [250], als auch der unteren Extremität nach DTR von bis zu 16 Wochen Dauer erhalten blieben

[250, 252, 254, 255]. Auf der anderen Seite existieren Studien mit Kindern und Jugendlichen die einen Rückgang der Schnellkraft nach acht Wochen [255], zwölf [248] und 16 Wochen DTR zeigen [249].

Ob sich die Sprintleistung nach DTR verändert wurde ebenfalls untersucht. Die 20 m [250], als auch die 35 m Sprintzeit war durch DTR nicht beeinflusst [251], wohingegen bei Ingle et al. [248] nach zwölf Wochen DTR eine signifikante Verschlechterung der 40 m Sprintleistung festgestellt wurde.

Wie auch bei Erwachsenen erweist sich die überschaubare Studienlage als sehr heterogen. Teilweise wurden verschiedene Faktoren der sportlichen Leistung negativ beeinflusst, während andere erhalten blieben. Auch hier scheint die Dauer, als auch die Form des vorangegangenen Krafttrainings eine Rolle zu spielen. Darüber hinaus wurde bislang in keiner der beschriebenen Studie eine direkte Messmethode der Muskeldicke, wie beispielsweise Ultraschallmessungen, verwendet, um den Einfluss des DTR nach einer Krafttrainingsintervention zu untersuchen.

Außerdem gibt es nach dem Kenntnisstand des Autors bislang keine Studie, welche bei Kindern und Jugendlichen den Einfluss verschiedener Periodisierungsmodelle auf die nachfolgende DTR Periode untersucht. Wie bereits im Kapitel 2.3 beschrieben spielen jedoch gerade bei der BLOCK die zeitlich verzögert auftretenden Residualeffekte eine wichtige Rolle, da sich die Dauer eines Blocks, als auch die Zahl der nachfolgenden Blöcke anderer Trainingsziele an den Erhaltungszeiten verschiedener struktureller und konditioneller Aspekte orientieren [156]. Daher sind hierzu weitere Forschungsarbeiten notwendig.

2.5. Zum Forschungsstand des Blood Flow Restriction Trainings

Wie schon im Kapitel 2.2.10 erwähnt ist BFR Training eine potenzielle Alternative bzw. Ergänzung zum klassischen Hypertrophietraining. Die Effektivität dieser Methode wurde bereits in vielen Studien für die obere Extremität [138, 256–272], wie auch für Oberschenkelmuskulatur nachgewiesen [135, 273–302]. Zusammenfassend konnten Meta-Analysen eine Steigerung der Maximalkraft [303], wie auch der Muskelmasse [127] durch verschiedene Interventionen, variierender Interventionsdauer und unter Verwendung unterschiedlicher BFR Techniken zeigen. Diese Anpassungen fielen mindestens vergleichbar, teilweise sogar höher aus als bei konventionellen Krafttraining ohne BFR.

In manchen Situationen des sportlichen Trainings ist es angebracht gezieltes Muskelaufbau für die Wadenmuskulatur durchzuführen, da diese zusätzlich zur Gesäß- und den Oberschenkelmuskeln maßgeblich an der Lauf- und Sprintbewegung beteiligt ist. Die Wadenmuskeln entwickeln dabei den größten Teil der Kraft, welche einen Athleten nach oben und vorne beschleunigt. In einer kürzlich publizierten Studie stellten Möck et al. [304] mittlere bis starke Korrelationen zwischen dem 1-RM im stehenden Wadenheben und der Sprintleistung (30 m) von Sportstudenten fest.

Aus der bisher verfügbaren Literatur geht jedoch hervor, dass die Wadenmuskulatur im Allgemeinen schwer trainierbar zu sein scheint. Frühere Studien haben geringe bis keine Verbesserung der Wadenmuskulatur in Bezug auf Hypertrophie und Kraftzuwachs zeigen können [305]. Eine Meta-Analyse zeigte, dass die Effektgröße für Hypertrophie der Wade über diverse Studien und Trainingsmethoden hinweg gering ausfiel [306].

Nachdem lange Zeit angenommen wurde, dass primär Typ II Muskelfasern durch Krafttraining hypertrophieren [53], wird in der aktuellen Literatur von faserspezifischen Anpassungen in Abhängigkeit der Art des Krafttrainings (Intensität, Grad der Ausbelastung) gesprochen [307]. Es wird angenommen, dass Krafttraining mit hohen Intensitäten ($> 80\%$ 1-RM) zu einer stärkeren Hypertrophie der Typ II Muskelfasern führt [308, 309], wohingegen ein niedrig-intensives Krafttraining ($< 50\%$ 1-RM) bis zum willkürlichen Muskelversagen vor allem in Hypertrophieeffekten der Typ I Fasern resultiert [309–311].

Da die Wadenmuskulatur im Vergleich zu anderen Muskeln einen höheren Anteil an Fasern des Typ I aufweist [312, 313], wäre es folglich denkbar, dass ein Krafttraining mit niedrigen Intensitäten bis zum Muskelversagen besonders effektiv ist, um den Querschnitt des Gesamtmuskels zu steigern. Hierzu fehlt es jedoch an Studien. Weiter stellt sich die Frage, ob sich die Effektivität eines niedrig-intensiven Wadentrainings durch gleichzeitige BFR Applikation weiter steigern lässt. Hierzu lassen sich jedoch keine praxisrelevanten Trainingsstudien finden [314].

Zusammenfassend lassen sich, aus dem in diesem Kapitel beschriebenen wissenschaftlichen Hintergrund, verschiedene Forschungslücken identifizieren und spezifische Fragestellungen ableiten. Diese sollen nachfolgend vorgestellt werden.

3. Fragestellungen

Wie bereits im Kapitel 2.3 beschrieben mangelt es an Periodisierungsstudien mit eindeutigem Hypertrophieschwerpunkt und direkter Messverfahren der Muskeldicke. Weiterhin gibt es erheblichen Forschungsbedarf zum Thema Krafttrainingsperiodisierung im Kindes- und Jugendalter. Daher soll folgende Frage durch eine Trainingsintervention beantwortet werden:

- 1. Welches der gängigsten Periodisierungsmodelle (Blocktraining oder Daily Undulating Periodization) eignet sich im Jugendtraining besser für den Muskelaufbau und die Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit? Hierfür wurde eine Studie geplant (s. Originalartikel 1) [315].**

Auf Grund der sehr geringen Datenlage zum Thema DTR nach einem hypertrophieorientierten Krafttraining mit Jugendlichen soll zum ersten Mal überhaupt (vgl. Kapitel 2.4) untersucht werden, ob das verwendete Periodisierungsmodell einen Einfluss auf das Ausmaß der Deadaptation hat. Auch hierfür sollen unter anderem direkte Messverfahren der Muskeldicke zum Einsatz kommen.

- 2. Wie hoch ist der Rückgang der Muskulatur und der sportlichen Leistungsfähigkeit nach der jeweiligen Periodisierung (Blocktraining oder Daily Undulating Periodization)? Gibt es Unterschiede der DTR Effekte in Abhängigkeit des verwendeten Periodisierungsmodells? (Originalartikel 2) [316].**

Wie in Kapitel 2.5 dargelegt, soll weiterhin untersucht werden inwieweit sich das BFR Training im Vergleich zu einem konventionellen Krafttraining eignet, um die Maximalkraft und die Muskeldicke der Wadenmuskulatur zu verbessern.

- 3. Eignet sich das BFR Krafttraining besonders für einen Kraft- und Muskelzuwachs der Wadenmuskulatur? (Originalartikel 3) [317].**

4. Artikel (Kurzzusammenfassungen/Abstracts)

4.1. The Effect of Block Versus Daily Undulating Periodization on Strength and Performance in Adolescent Football Players

Simon Gavanda¹, Stephan Geisler¹, Oliver Jan Quittmann² & Thorsten Schiffer³

¹IST-Hochschule für Management, Fachbereich Fitness & Gesundheit, Düsseldorf

²Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft, Köln

³Deutsche Sporthochschule Köln, Ambulanz für Sporttraumatologie und Gesundheitsberatung, Köln

Veröffentlicht in:

International Journal of Sports Physiology and Performance (2018)

Akzeptiert am 22. November 2018

Abstract:

Purpose:

Muscle mass, strength, and power are important factors for performance. To improve these characteristics, periodized resistance training is used. However, there is no consensus regarding the most effective periodization model. Therefore, the purpose of this study was to compare the effects of block (BLOCK) vs daily undulating periodization (DUP) on body composition, hypertrophy, strength, performance, and power in adolescent American football players.

Methods:

A total of 47 subjects participated in this study (mean [SD] age = 17 [0.8] y, strength training experience = 0.93 [0.99] y). Premeasurements and postmeasurements consisted of body mass (BM); fat mass; relative fat mass; fat-free mass (FFM); muscle mass (MM); muscle thickness of the vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), and triceps brachii (TB); 1-repetition-maximum back squat (BS) and bench press (BP); countermovement jump (CMJ); estimated peak power (W_{peak}) from vertical jump performance; medicine-ball put (MBP); and 40-yd sprint. Subjects were randomly assigned in either the BLOCK or DUP group prior to the 12-wk intervention period consisting of 3 full-body sessions per week.

Results:

Both groups displayed significantly higher BM ($P < .001$), FFM ($P < .001$), MM ($P < .001$), RF ($P < .001$), VL ($P < .001$), TB ($P < .001$), BS ($P < .001$), BP ($P < .001$), CMJ ($P < .001$), W_{peak} ($P < .001$), and MBP ($P < .001$) and significantly lower sprint times ($P < .001$) after 12 weeks of resistance training, with no difference between groups.

Conclusions:

Resistance training was effective to increase muscle mass, strength, power, and performance in adolescent athletes. BLOCK and DUP affect anthropometric measures and physical performance equally.

4.2. Three Weeks of Detraining Does Not Decrease Muscle Thickness, Strength or Sport Performance in Adolescent Athletes.

Simon Gavanda¹, Stephan Geisler¹, Jan Oliver Quittmann², Helen Bauhaus³ & Thorsten Schiffer⁴

¹IST-Hochschule für Management, Fachbereich Fitness & Gesundheit, Düsseldorf

²Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft, Köln

³Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Biochemie, Köln

⁴Deutsche Sporthochschule Köln, Ambulanz für Sporttraumatologie und Gesundheitsberatung, Köln

Veröffentlicht in:

International Journal of Exercise Science (2020)

Akzeptiert am 17.02.2020

Abstract:

Purpose:

The purpose of this study was to examine the effects of detraining following a block (BLOCK) or daily undulating periodized (DUP) resistance training (RT) on hypertrophy, strength, and athletic performance in adolescent athletes.

Methods:

Twenty-one males (age = 16 ± 0.7 years; range 15 – 18 years) were randomly assigned to one of two 12-week intervention groups (three full-body RT sessions per week): BLOCK (n = 9); DUP (n = 12). Subsequently a three-week detraining period was applied. Body mass, fat mass (FM), fat-free mass (FFM), muscle mass, muscle thickness (rectus femoris, vastus lateralis and triceps brachii), one-repetition maximum squat and bench press, countermovement jump (CMJ), peak power calculated from CMJ (P_{peak}), medicine ball put distance, and 36.58m sprint were recorded before and after RT as well as after detraining.

Results:

BLOCK and DUP were equally effective for improvements of athletic performance in young athletes. Both groups displayed significantly ($p \leq 0.05$) higher values of all measures after RT except FM, which was unchanged. Only FM increased ($p = 0.010$; ES = 0.14) and FFM decreased ($p = 0.018$; ES = - 0.18) after detraining. All other measurements were unaffected by the complete cessation of training. Values were still elevated compared to pre-training. Linear regression showed a strong correlation between the percentage change by resistance training and the decrease during detraining for CMJ ($R^2 = 0.472$) and MBP ($R^2 = 0.629$).

Conclusion:

BLOCK and DUP RT seem to be equally effective in adolescent athletes for increasing strength, muscle mass, and sport performance. In addition, three weeks of detraining did not affect muscle thickness, strength, or sport performance in adolescent athletes independent of previous resistance training periodization model used.

4.3. Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial

Simon Gavanda¹, Eduard Isenmann^{1,2}, Yvonne Schlöder¹, Roland Roth², Jürgen Freiwald³, Thorsten Schiffer⁴, Stephan Geisler¹ & Michael Behringer⁵

¹IST-Hochschule für Management, Fachbereich Fitness & Gesundheit, Düsseldorf

²Deutsche Sporthochschule Köln, Abteilung Molekulare und zelluläre Sportmedizin, Köln

³Bergische Universität Wuppertal, Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Wuppertal

⁴Deutsche Sporthochschule Köln, Ambulanz für Sporttraumatologie und Gesundheitsberatung, Köln

⁵Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Sportwissenschaften, Abteilungen Sportmedizin und Leistungsphysiologie, Frankfurt

Veröffentlicht in:

PLoS ONE (2020)

Akzeptiert am 12.06.2020

Abstract:

Purpose:

The purpose of this study was to investigate whether a six-week, twice weekly resistance training (4 sets at 30 % 1-RM until failure) with practical blood flow restriction (BFR) using 7 cm wide cuffs with a twist lock placed below the patella is superior to training without BFR (NoBFR) concerning muscle mass and strength gains in calf muscles.

Method:

A two-group (BFR n = 12, mean age 27.33 (7.0) years, training experience 7.3 (7.0) years; NoBFR n = 9, mean age 28.9 (7.4) years, training experience 7.1 (6.6) years) randomized matched pair design based on initial 1-RM was used to assess the effects on structural and functional adaptations in healthy males (Perometer calf volume [CV], gastrocnemius muscle thickness using ultrasound [MT], 7-maximal hopping test for leg stiffness [LS], 1-RM smith machine calf raise [1-RM], and visual analogue scale as a measure of pain intensity [VAS]).

Results:

The mean number of repetitions completed per training session across the intervention period was higher in the NoBFR group compared to the BFR group (70 (16) vs. 52 (9), $p = 0.002$). VAS measured during the first session increased similarly in both groups from first to fourth set ($p < 0.001$). No group effects or time \times group interactions were found for CV, MT, LS, and 1-RM. However, there were significant time effects for MT (BFR + 0.07 cm; NoBFR + 0.04; $p = 0.008$), and 1-RM (BFR + 40 kg; NoBFR + 34 kg; $p < 0.001$).

Conclusions:

LS and CV remained unchanged through training. VAS in both groups were similar, and BFR and NoBFR were equally effective for increasing 1-RM and MT in trained males. However, BFR was more time efficient, due to lesser repetition per training session.

5. Diskussion

Da die Skelettmuskelmasse als eine Grundlage der Maximalkraft gesehen werden kann [1, 2] und diese wiederum eine Basis sportlicher Leistungsfähigkeit darstellt [190], hat das Hypertrophietraining in der langfristigen Trainingsplanung von Leistungssportlern in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Zum Teil fehlt es jedoch an empirischen Belegen, welche die in der Praxis eingesetzten Methoden überprüfen [23]. Daher sollten anhand dieser Dissertation traditionelle und auch neuere Ansätze des Muskelaufbautrainings auf ihre Effektivität zur Leistungssteigerung untersucht werden. Darüber hinaus wurde der Einfluss einer dreiwöchigen Trainingsunterbrechung nach einem Hypertrophietraining auf die Körperzusammensetzung und die sportliche Leistungsfähigkeit untersucht.

Der Schwerpunkt vorangegangener Krafttrainingsstudien lag häufig auf der Steigerung der Maximal- bzw. Schnellkraft bei jungen, meist untrainierten Erwachsenen [168, 196, 197, 200, 201, 203, 208, 210, 211, 213–216, 218]. Der Muskelaufbau wurde dabei meist als Nebenphänomen betrachtet und kaum berücksichtigt. Die Interventionen waren daher nach heutigem Stand des Wissens zumeist nicht optimal für das Ziel der Skelettmuskelhypertrophie gestaltet. Zudem wurden häufig keine direkten Methoden der Muskeldickenmessung verwendet [195–199, 210–212, 214, 216]. Deshalb leisten die in dieser Arbeit vorgestellten Studien einen relevanten Beitrag zum Stand der Forschung.

In Bezug auf die Frage nach dem effektivsten Periodisierungsmodell im Hypertrophietraining, als auch die Effekte an eine daran anschließende DTR Periode ist die Datenlage ebenfalls wenig aussagekräftig und im Speziellen für das Training Jugendlicher nicht vorhanden. Daher war es bislang nicht möglich eine klare Empfehlung für das Kinder- und Jugendtraining zu geben, trotz der klaren Stellungnahme verschiedener Organisationen für ein Krafttraining in jungen Jahren [318, 319].

Gleiches gilt für das Training der Muskeln des Unterschenkels, welche einen wichtigen Beitrag bei sportlichen Aktivitäten wie Springen und Sprinten leisten [304]. Es wird angenommen, dass die Wadenmuskulatur durch konventionelles Krafttraining schlechter trainierbar sei als andere Muskelgruppen [305]. Daher ist es notwendig neuere Krafttrainingsmethoden auf ihre Wirksamkeit beim Training der Wadenmuskulatur zu überprüfen.

Nachfolgend sollen die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse der drei präsentierten Untersuchungen in Bezug auf das Muskelaufbautraining zur Leistungssteigerung zusammengefasst werden:

Artikel 1 (Periodisierung)

- Sowohl die BLOCK als auch die DUP ist effektiv, um die Muskelmasse, die Maximalkraft, als auch die sportliche Leistungsfähigkeit Jugendlicher zu steigern.
- Signifikante Unterschiede zwischen den Periodisierungsmodellen mit Hypertrophieschwerpunkt konnten nicht beobachtet werden.

Artikel 2 (Detraining)

- Ein dreiwöchiges DTR im Anschluss an hypertrophieorientiertes Krafttraining führte zu keiner signifikanten Verringerung der Muskeldicke, der Maximalkraft und der sportlichen Leistungsfähigkeit bei jugendlichen Sportlern unabhängig des davor verwendeten Periodisierungsmodells.

Artikel 3 (BFR Training)

- BFR als auch konventionelles niedrig-intensives Krafttraining ist gleichermaßen effektiv um die Muskelmasse, als auch die Maximalkraft der Wadenmuskulatur zu erhöhen. Signifikante Unterschiede zwischen den Trainingsformen konnten keine gefunden werden.
- BFR Training scheint auf Grund des geringeren Wiederholungsvolumen eine zeitsparende Alternative zum konventionellen Training zu sein.

Im Folgenden werden die in Kapitel 3 aufgestellten Forschungsfragen in Bezug auf die dargestellten Ergebnisse der Publikationen und anhand des aktuellen Forschungsstandes diskutiert. Darüber hinaus sollen Limitationen der Methodik aufgezeigt werden.

1. Welches der gängigsten Periodisierungsmodelle (Blocktraining oder Daily Undulating Periodization) eignet sich im Jugendtraining besser für den Muskelaufbau und die Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit?

Anhand der ersten Publikation konnte verdeutlicht werden, dass sich sowohl die BLOCK als auch die DUP eignen, um die Muskelmasse, die Maximal- und Schnellkraft, wie auch die sportliche Leistungsfähigkeit Jugendlicher zu erhöhen.

Nach der zwölfwöchigen Intervention war die **Körpermasse**, die **FFM** und auch die **Muskelmasse** in beiden Gruppen signifikant höher als beim Eingangstest. Übereinstimmend mit anderen Studien [196, 212] nahm die Körpermasse in einem ähnlichen Ausmaß zu, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. In anderen Periodisierungsstudien konnten jedoch keine dieser anthropometrischen Veränderungen nachgewiesen werden [167, 198, 203, 204, 210–214, 216]. Zum Teil könnte dies dadurch begründet sein, dass in den meisten der genannten Studien das Training nicht auf Hypertrophie, sondern primär auf eine Steigerung der Maximal- und/oder Schnellkraft ausgelegt war. Die in Kapitel 2.1 dargelegten notwendigen Stimuli für Hypertrophie wurden daher vermutlich nicht ausreichend appliziert, um messbare Veränderungen feststellen zu können.

Weiterhin könnten die abweichenden Ergebnisse durch unterschiedliche Messverfahren der Körperzusammensetzung erklärt werden, da beispielsweise Techniken wie die Calipometrie [196–198, 210, 211, 214], die BIA [199, 212] oder die Ganzkörperplethysmographie [216] zum Einsatz kamen und kaum untereinander vergleichbar sind [320]. Eine Reduktion der FM konnte in der vorliegenden Studie (Artikel 1) nur in der DUP Gruppe beobachtet werden. Es muss an dieser Stelle jedoch erwähnt werden,

dass die Ernährung der Probanden nicht überwacht wurde und daher dieses Ergebnis mit Vorsicht zu interpretieren ist.

Die signifikante Zunahme der **Muskeldicke** an den drei per Ultraschall gemessenen Stellen (M. rectus femoris, M. vastus lateralis, M. trizeps brachii) war vergleichbar oder etwas höher verglichen mit anderen Studien mit jungen Erwachsenen [126]. Jedoch gab es, wie in anderen Studien auch [205–207, 209], keine signifikanten Unterschiede zwischen den Periodisierungsmodellen. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Interventionszeiträume von sechs bis 12 Wochen vergleichsweise kurz waren und mögliche Unterschiede eventuell erst nach längeren Zeiträumen detektiert werden könnten. Lediglich eine Studie konnte keine Veränderung des Muskelquerschnitts feststellen [219]. Hier wurde jedoch mit Sätzen von drei bis 15 Wiederholungen trainiert, was aus den in Kapitel 2.2 beschriebenen Gesichtspunkten nach heutigem Stand des Wissens eventuell für Hypertrophieeffekte nicht optimal zu sein scheint. Da Hypertrophie ungleichmäßig entlang eines Muskels auftritt [124], wäre es außerdem denkbar, dass ein Muskelzuwachs zwar vorhanden, am ausgewählten Messpunkt per Ultraschall, jedoch methodisch nicht festzustellen war.

In Bezug auf die **Kraftsteigerung** wurden vergleichbare Ergebnisse in beiden Interventionsgruppen sowohl bei dem 1-RM Kniebeugen als auch beim 1-RM Bankdrücken gefunden. Dies stimmt mit den Befunden vorangegangener Periodisierungsstudien überein [166, 168, 203, 204, 211, 213, 214, 217, 218]. Bestätigt wird dieses Ergebnis durch eine von Harries et al. durchgeführten Meta-Analyse [140], die ebenfalls daraufhin deutet, dass es bislang nicht genügend Beweise für ein überlegenes Periodisierungsmodell zur Steigerung der Kraft gibt. Lediglich Rhea und Kollegen [216] konnten eine Überlegenheit der DUP feststellen. Hier muss jedoch erwähnt werden, dass in der genannten Studie die DUP Gruppe zu Beginn der Intervention im Mittel deutlich geringere Ausgangswerte als die BLOCK Gruppe des 1-RM im Bankdrücken (83 versus 67 kg) als auch der Kniebeuge (267 versus 230 kg) zeigte. Dies könnte die berichtete Überlegenheit der DUP gegenüber der BLOCK zur Kraftsteigerung erklären, da von einem geringeren Starttrainingszustand der Probanden in der DUP Gruppe auszugehen ist und im vorgegebenen Trainingszeitraum höhere Steigerungen erwartet werden können [88].

Auch die Schnellkraft (vertikale Sprungkraft, Medizinballweitwurf) war im Anschluss an die Krafttrainingsintervention signifikant erhöht. Dies steht im Einklang mit anderen Studien, die zeigten, dass eine Steigerung der Maximalkraft durch Krafttraining zu einer Verbesserung der Schnellkraft führt [188, 321, 322]. Das verwendete Periodisierungsmodell scheint dabei, wie bereits früher von Hartmann und Kollegen beobachtet [166], keinen entscheidenden Einfluss zu besitzen, da keine Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen gefunden werden konnten.

Weiterhin zeigten beide Gruppen ähnliche signifikante Verbesserungen der Sprintleistung durch Krafttraining, vergleichbar mit vorherigen Arbeiten [323, 324]. Dies passt zu den Ergebnissen einer Meta-Analyse von Seitz und Kollegen [325], welche zeigen konnte, dass sich eine Steigerung der Kraftfähigkeiten der unteren Extremität positiv auf die Sprintleistung auswirkt. An diese Stelle sei jedoch

erwähnt, dass alle Probanden der vorliegenden Studie aktive American Footballspieler waren und begleitend zum Krafttraining der Studie das normale Teamtraining zusätzlich absolvierten. Dies beinhaltete spezifisches Techniktraining und zum Teil plyometrische Übungen. Daher kann die Verbesserung der Sprintleistung wahrscheinlich nicht allein auf das Krafttraining der Studie zurückgeführt werden [326].

Es bleibt zu erwähnen, dass in der wissenschaftlichen Literatur häufig für ein bestimmtes Periodisierungsmodell, unter Abwesenheit signifikanter Ergebnisse auf Basis von relativen Änderungen oder Effektgrößen, argumentiert wird [216, 217]. Dieses Vorgehen ist anzuzweifeln, da Signifikanztests und Effektgrößen erst in Kombination aussagekräftig sind [327]. Die vorliegende Arbeit, als auch eine neuere Meta-Analyse von Harries et al. zur Effektivität verschiedener Periodisierungsmodelle [140] zeigen dem gegenüber keine klare Überlegenheit eines bestimmten Periodisierungsmodells. Dies könnte der Tatsache geschuldet sein, dass die beschriebenen Periodisierungsmodelle, abgesehen von unterschiedlicher Nomenklatur, untereinander zum Teil erhebliche Ähnlichkeiten aufweisen und Unterschiede zwischen den Varianten in der Trainingspraxis kaum vorhanden sind. Jedes Modell zeigt gewisse Charakteristika des jeweils anderen. So besitzt die LP als auch die BLOCK bezogen auf eine Trainingswoche wellenförmige Fluktuationen der Intensität und des Umfangs [156], wenngleich weniger ausgeprägt als bei der DUP. Darüber hinaus können auch die WUP und die DUP, bezogen auf eine Vorbereitungsperiode, von allgemeinen zu spezifischen Inhalten fortschreiten, was im Kern ein Merkmal der LP entspricht.

Da beide Periodisierungsmodelle zu vergleichbaren Ergebnissen führen, lautet ein Zwischenfazit, dass entsprechend der individuellen Trainingsvorerfahrung ein Wechsel des Periodisierungsmodells einen neuen Trainingsstimulus darstellt und damit zu höheren Anpassungen führen könnte. Dies bleibt aber zunächst eine Vermutung. Dennoch scheint Variation, statt der Einfluss des Periodisierungsmodells an sich, der Schlüssel für langfristig effektive Trainingsprogramme zu sein [194, 328–330]. Aus diesem Grund sollten Trainer erwägen, regelmäßig das angewandte Periodisierungsmodell zu ändern, statt sich zu Gunsten eines ausschließlichen Modells zu entscheiden.

2. Wie hoch ist der Rückgang der Muskulatur und der sportlichen Leistungsfähigkeit nach der jeweiligen Periodisierung (Blocktraining oder Daily Undulating Periodization)? Gibt es Unterschiede der DTR Effekte in Abhängigkeit des verwendeten Periodisierungsmodells?

Die zweite Studie konnte zeigen, dass die positiven Anpassungen (Muskelmasse- und -dicke, Maximal- und Schnellkraft, Sprintfähigkeit) in Folge eines hypertrophieorientierten Krafttrainings auch nach einer dreiwöchigen DTR Periode erhalten werden konnten. Lediglich die FM der Probanden stieg,

wohingegen die signifikant FFM abnahm. Das verwendete Periodisierungsmodell hatte dabei keinen Einfluss.

Im Anschluss an die DTR Phase war die **Körpermasse** der Probanden unverändert, jedoch stieg die **FM**. Diese Zunahme an FM wurde bereits früheren DTR Studien mit Erwachsenen [225, 226], als auch Kindern und Jugendlichen beobachtet [247]. Dieses Ergebnis betont die Notwendigkeit die Energieaufnahme in Phasen reduzierten Trainings anzupassen, um eine Zunahme an FM zu vermeiden. Andere Studien stellten dem gegenüber keine Zunahme der FM fest [227–230, 250]. Es soll jedoch nochmals erwähnt werden, dass auch in dieser Studie die Ernährung der Probanden nicht kontrolliert wurde und sich die Methoden zur Bestimmung der FM zwischen den Studien unterscheiden, was die Interpretation der vorliegenden Ergebnisse erschwert.

Die durch das vorangegangene Krafttraining hinzugewonnene **Muskelmasse** (BIA) war im Anschluss an das DTR ebenfalls unverändert. Dies stimmt mit den Ergebnisse von Fathi et al. mit Jugendlichen (14,6 ± 0,6 Jahre) [249], als auch mit denen von Kraemer et al. [229], Ivey et al. [331] und Ogasawara et al. [237] mit Erwachsenen überein. Im Gegensatz dazu fanden Häkkinen und Kollegen [225] sowie Hortobágyi et al. [227] eine Abnahme der Muskelmasse. Weiterhin zeigte die **FFM** der Probanden einen signifikanten Rückgang mit trivialer Effektstärke. Der Erhalt der Muskelmasse bzw. Verlust der FFM sollte aus zweierlei Hinsicht jedoch mit Vorsicht interpretiert werden. Zum einen konnte in der vorliegenden Studie kein signifikanter Rückgang des per Ultraschall bestimmten Muskelquerschnitts an allen gemessenen Stellen festgestellt werden und zum anderen besitzt die BIA als indirekte Methode zur Messung der Muskel- bzw. FFM nur begrenzte Aussagekraft. Weiterhin ist die BIA trotz standardisierter Anwendung anfällig für Messfehler durch externe Einflussfaktoren wie beispielsweise den Hydratationszustand der Probanden [320].

Die **Muskeldicke** war, wie bereits beschrieben, nach der dreiwöchigen DTR unverändert. Weder der Querschnitt des M. vastus lateralis, des M. rectus femoris, noch des M. trizeps brachii war signifikant unterschiedlich verglichen mit dem Ausgangstest nach der Krafttrainingsintervention. Dies ist eine neue Erkenntnis, da der Erhalt der Muskeldicke nach DTR bestimmt durch Ultraschallmessungen bei Jugendlichen bislang noch nicht dokumentiert wurde. Bei Erwachsenen konnten lediglich Ogasawara und Kollegen [237] einen Erhalt der Hypertrophie nach einer dreiwöchigen DTR nachweisen. Andere Studien mit Erwachsenen hingegen zeigten meist einen Verlust des Muskelquerschnitts [233–235]. Jedoch betrug die Länge der DTR Perioden hier mehr als vier Wochen. Die Dauer der DTR Periode scheint folglich, analog zu Kraftverlusten [224], erheblichen Einfluss auf das Ausmaß der Muskelatrophie zu haben. Der genaue zeitliche Verlauf, bzw. die Dosis-Wirkungs-Beziehung ist jedoch noch unbekannt.

In Bezug auf die **Maximalkraft** konnte gezeigt werden, dass DTR nicht zu einer Reduzierung des 1-RM führte. Dies wurde in verschiedenen Studien mit Erwachsenen [227, 229, 230, 237, 244, 245], als auch mit 11 bis 15 jährigen Jungen nachgewiesen [254]. Andere Autoren berichteten von Rückgängen

der Maximalkraft bei Erwachsenen nach DTR Perioden unterschiedlicher Länge [225, 226, 228, 230], als auch bei Kindern [252, 253]. Es muss jedoch beachtet werden, dass der zeitliche Verlauf als auch das Ausmaß der DTR Effekte von Faktoren wie der Dauer und der Art des vorangegangenen Krafttrainings, als auch der Dauer der DTR Phase abhängen [112]. Dies könnte teilweise die widersprüchlichen Ergebnisse erklären, da stellenweise kürzere Interventionen [252, 253] oder längere DTR Perioden als in der vorliegenden Studie (Artikel 2) verwendet wurden [225, 228, 231, 248, 253].

Die **Schnellkraft** und auch die **Sprintleistung** war in der vorliegenden Arbeit ebenfalls von DTR nicht negativ beeinflusst. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen Studien sowohl mit Kindern [252, 253, 255] als auch mit Jugendlichen [250, 254]. Man könnte vermuten, dass die täglichen körperlichen Aktivitäten, wie beispielsweise intensives, körperliches Spielen, ausreichen, um die Leistungsfähigkeit nach einem Krafttraining bei Kindern und Jugendlichen zu erhalten. Darüber hinaus wurde in einer Meta-Analyse von Bosquet et al. gezeigt [224], dass negative DTR Effekte bei Erwachsenen mit steigendem Alter höher ausfallen. Dies könnte ebenfalls als Erklärung dienen, warum die Schnellkraft, als auch die Sprintleistung der Jugendlichen, im Gegensatz zu Erwachsenen, nach einer dreiwöchigen DTR Periode erhalten blieben. Die zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen der Deadaptation, welche dieses Phänomen erklären könnten, sind jedoch noch nicht abschließend geklärt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Rückgang der Muskelmasse, der Maximal- und Schnellkraft als auch der sportlichen Leistungsfähigkeit bei Jugendlichen durch kurzzeitige Trainingsunterbrechungen nach intensiven Krafttrainingsperioden nicht zu erwarten ist.

3. Eignet sich das BFR Krafttraining besonders für einen Kraft- und Muskelzuwachs der Wadenmuskulatur?

In der dritten Studie dieser Dissertation konnte gezeigt werden, dass sowohl ein niedrig-intensives BFR als auch ein niedrig-intensives konventionelles Krafttraining bei trainierten Probanden zu vergleichbaren Ergebnissen führt.

Das **1-RM** im geführten Wadenheben war nach der sechswöchigen Trainingsintervention in beiden Gruppen signifikant erhöht, ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Entgegen der in Kapitel 2.5 beschriebenen schlechten Trainierbarkeit [306] zeigte die Wadenmuskulatur ähnliche Kraftsteigerungen wie andere Muskelgruppen [332, 333]. Das Ausmaß des Kraftzuwachses war dabei sogar höher als in vergleichbaren Trainingsstudien anderer Muskelgruppen mit längeren Interventionsdauern [136, 286, 334]. Lediglich Studien, die im Gegensatz zur hier beschriebenen Studie (Artikel 3) nicht bis zum konzentrischen Muskelversagen, trainierten erreichten vergleichbare Kraftsteigerungen [332, 333]. Die gemessenen Kraftsteigerungen ist weiterhin bemerkenswert, da es sich um bereits sehr trainierte Probanden handelte, bei denen Kraftsteigerungen im Vergleich zu untrainierten in der Regel geringer ausfallen [335].

Auch die **Muskeldicke** der Wadenmuskulatur konnte durch die sechswöchige Intervention mit zwei Trainingseinheiten wöchentlich gesteigert werden. Der Zuwachs fiel dabei etwas geringer aus als in anderen BFR Studien des Oberschenkels [279, 290, 334], jedoch waren hier die Trainingsinterventionen deutlich länger und es wurden andere Trainingsintensitäten verwendet. Weiterhin wurde nicht in allen Studien bis zum konzentrischen Muskelversagen trainiert. Aus den genannten Gründen ist es schwierig die vorliegenden Ergebnisse in Bezug zu anderen BFR Studien oder konventionellen Trainingsinterventionen zu setzen. Bemerkenswert ist jedoch die Tatsache, dass bereits nach nur sechs Wochen ein Muskelwachstum bei beiden Trainingsvarianten festgestellt werden konnte.

Neben der Muskeldicke der Wadenmuskulatur wurde das **Unterschenkelvolumen** mit einem Perometer gemessen. Das Volumen war in beiden Gruppen am Ende der Intervention nicht signifikant verändert. Dies ist insofern überraschend, als dass die Muskeldicke signifikant zunahm und somit das Wadenvolumen ebenfalls höher ausfallen müsste. Es wäre jedoch auch denkbar, dass die Veränderung des Unterschenkelvolumens kleiner als der übliche Messfehler des Geräts war [336] und somit nicht festgestellt werden konnte. Darüber hinaus wurde das Perometer, soweit dem Autor bekannt, noch nie zur Bestimmung von Hypertrophie Effekten eingesetzt, sondern dient üblicherweise primär der Diagnostik von Ödemen. Daher sind weitere Studien zur Beurteilung der Eignung des Perometers für die Messung des Muskelwachstums der Extremitäten wünschenswert, da die Messung nur wenige Sekunden dauert und eine wertvolle Ergänzung zu bestehenden Methoden, wie z.B. Ultraschall, darstellen könnte.

Um indirekt auf **Anpassungen der Achillessehne** schließen zu können [337, 338] absolvierten die Probanden einen 7er Hopptest, welcher als üblicherweise als Feldtest zur reliablen Beurteilung der Qualität des Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) verwendet wird [339, 340]. In beiden Interventionsgruppen konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Dies entspricht den Ergebnissen einer früheren Untersuchung, die zeigen konnte, dass ein niedrig-intensives BFR Training nicht zu Anpassungen der Sehnen führt [279]. Daher scheint niedrig-intensives BFR Training als alleinige Methode möglicherweise für Sportler nicht optimal, da eine überproportionale Zunahme der Maximalkraft ohne Anpassungen der mechanischen Eigenschaften der Sehnen als Risikofaktor für Tendinopathien gilt [341]. Dem gegenüber steht eine jüngere Publikation von Centner et al. [342], die vergleichbare Zunahmen der Achillessehnensteifigkeit nach BFR Training mit niedriger Intensität (20 – 35% 1-RM) im Vergleich zu konventionellem Training mit höheren Intensitäten (70 – 85% 1-RM) feststellen konnten. Die Intervention von Centner und Kollegen erstreckte sich über einen Zeitraum von 14 Wochen, wohingegen die vorliegende Studie lediglich sechs Wochen dauerte. Dies könnte die Diskrepanz der beiden Ergebnisse erklären, da angenommen wird, dass Interventionen mit mindestens 12 Wochen Dauer notwendig sind, um Sehnenanpassungen zu erreichen [343]. Es sind folglich weitere Studien zu Anpassungen der Sehne nach BFR Training notwendig, um Empfehlungen für Sportler treffen zu können.

Im Durchschnitt absolvierten die Probanden in der BFR Gruppe in Summe weniger Wiederholungen innerhalb einer Trainingseinheit als die Kontrollgruppe (70 ± 16 versus 52 ± 9). Dies steht im Einklang mit früheren Studien, die ebenfalls unter BFR Bedingungen ein geringeres Trainingsvolumen im Vergleich zu konventionellem niedrigintensiven Krafttraining nachwiesen [137, 138]. Aus diesem Grund gilt BFR Training als zeitsparende Methode verglichen mit konventionellen niedrig-intensiven Krafttraining.

Erwähnenswert ist, dass es den Probanden erlaubt war, im Anschluss an das Wadentraining ihrer gewohnten Trainingsroutine nachzugehen. Dies könnte die Anpassung der Wadenmuskulatur zusätzlich zur Intervention beeinflusst haben. Es wäre denkbar, dass die aus dem anschließenden Training resultierende systemische Freisetzung von Hormonen und Wachstumsfaktoren zu einem zusätzlichen Muskelwachstum führte [344]. Jedoch hat, wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt, der akute Anstieg systemischer Hormone bestenfalls geringe Auswirkungen auf die Hypertrophie [45, 46]. Weiterhin hätten die durch ein komplettes Trainingsverbot auftretenden DTR Effekte wahrscheinlich zu stärkeren Verzerrungen der Ergebnisse geführt als das Beibehalten der gewohnten Trainingsroutine. Darüber hinaus wäre ein isoliertes Wadentraining weit von der gängigen Praxis im Muskelaufbau entfernt.

Es muss auch hier erwähnt werden, dass die Ernährung der Probanden nicht kontrolliert wurde, sondern lediglich dazu aufgefordert wurde, die normalen Ernährungsgewohnheiten beizubehalten. Daher ist es möglich, dass die Ernährung in gewissem Maße die Ergebnisse beeinflusst haben könnte.

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass sich sowohl niedrig-intensives BFR Training als auch konventionelles Krafttraining mit niedrigen Intensitäten selbst bei sehr trainierten Sportlern eignet, um die Maximalkraft und den Muskelquerschnitt der Wadenmuskulatur in nur sechs Wochen zu erhöhen. Das BFR Training hat dabei jedoch den Vorteil, dass dies mit weniger Zeitaufwand erreicht werden kann.

6. Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass verschiedene Trainingsmethoden gleichermaßen effektiv zur Steigerung der Muskelmasse, Kraft und sportlichen Leistungsfähigkeit eingesetzt werden können, vor allem bei jugendlichen Athleten. Weder ein spezielles Periodisierungsmodell noch das BFR Training zeigten überlegene Effekte. Diese Erkenntnisse ergänzen den aktuellen Wissenstand in Bezug auf evidenzbasierte Trainingsempfehlungen, im Speziellen für das Krafttraining im Jugendbereich. Die regelmäßige Variation der in Kapitel 2.2 beschriebenen Trainingsvariablen und Methoden ist langfristig gesehen wahrscheinlich der Schlüssel für ein wirksames Hypertrophietraining. In welcher Struktur oder zeitlicher Abfolge dies geschehen muss bleibt weiterhin unbekannt.

Darüber hinaus zeigt diese Arbeit, dass der Rückgang der durch Krafttraining ausgelösten Anpassungen nach einer DTR Periode geringer ausfällt als von vielen Athletinnen und Athleten sowie Trainerinnen und Trainern häufig befürchtet. Die zugrundeliegenden Mechanismen, als auch der genaue zeitliche Verlauf der Deadaptation verlangen jedoch weitere Forschungsarbeit.

Obgleich die vorliegende Arbeit einige neue Erkenntnisse über das angewandte Hypertrophietraining dokumentiert, wirft diese zugleich weitere Fragen auf, die in künftigen Forschungsvorhaben untersucht werden sollten.

Zunächst bleibt es unklar, welche Kombination der Trainingsvariablen (Intensität, Belastungsumfang, Pause etc.) kurzfristig, als auch längerfristig (Periodisierung) den Muskelaufbau maximieren [47]. Dies gilt für konventionelles Krafttraining als auch für neue Methoden wie das BFR Training. Aus diesem Grund sind weitere Studien, welche verschiedene Krafttrainingsvarianten (hoch-intensives versus niedrig-intensives BFR, als auch konventionelles Krafttraining) miteinander vergleichen notwendig.

Des Weiteren ist bislang ungeklärt, welche Reihenfolge bei der undulierenden Periodisierung (DUP und WUP) am effektivsten ist, um die Kraftfähigkeiten zu verbessern oder das Muskelwachstum zu maximieren [154, 175]. Es existiert bislang lediglich eine Studie, die dieser Fragestellung nachgegangen ist [345]. Eine klare Empfehlung lässt sich auf Grund der niedrigen Probandenzahl daraus jedoch nicht ableiten. Statt einer fest vorgegebenen Reihenfolge besteht außerdem die Möglichkeit die Reihenfolge der Trainingseinheiten innerhalb einer Woche nach der subjektiven oder objektiven Leistungsbereitschaft der Athleten festzulegen. Diese innovative Variante der DUP wird als flexible DUP bezeichnet [144, 173, 175, 346]. Bisher existieren erst wenige Studien die sich mit der flexiblen DUP befassen, jedoch zeigen diese teilweise vielversprechende Ergebnisse [173, 346].

In Bezug auf die BLOCK ist bis heute unbekannt, welche Konstellation bzw. Länge der Blöcke beim Krafttraining optimal wäre um die gewünschten Anpassungen zu erzielen, da entgegen der Meinung mancher Experten [156] Anpassungen kaum vorhersagbar sind [147, 194, 347]. Außerdem fiel auf, dass die internationale Terminologie bezüglich der Periodisierung keinesfalls einheitlich ist. Eine Standardisierung wäre daher in Zukunft wünschenswert [154, 348].

Lässt man die beschriebenen Faktoren außer Acht so mangelt es allgemein an Studien, die verschiedene Periodisierungsmodelle untereinander vergleichen. Zum Vergleich der LP und der BLOCK findet man beispielsweise nur eine [210], bzw. gegenüber der WUP lediglich zwei Studien [211, 212]. Ähnlich schwach ist die Evidenz zum Vergleich der WUP gegenüber der BLOCK [203, 205]. Daher sind weitere Studien zur Periodisierung im Krafttraining notwendig. Dabei sollte jedoch auf eine angemessene Progression in den Interventionsgruppen geachtet werden, da in manchen Studien der Trainingswiderstand über die gesamte Dauer der Studie unverändert blieb [199, 202]. Zusätzlich sollten die Interventionsgruppen über den Verlauf der Studie insgesamt einen vergleichbaren Belastungsumfang absolvieren. Speziell frühere Studien haben dies zum Teil nicht beachtet, was die heterogene Studienlage partiell erklären könnte [160, 202, 335]. Ferner sollten Periodisierungsstudien neben der Steigerung der Maximal- und Schnellkraft ebenfalls den Muskelaufbau berücksichtigen, da dieser in vorangegangenen Periodisierungsstudien wenig Beachtung fand [145].

Zukünftige Studien sollten außerdem längere Interventionsdauern in Erwägung ziehen [154], da ein Großteil der bislang durchgeführten Arbeiten nur Trainingsperioden von lediglich sechs bis 16 Wochen beinhalteten [140, 335, 348, 349]. Für so kurze Zeiträume stellt sich die Frage, ob ein periodisiertes Krafttraining überhaupt notwendig ist [350, 351] und diese Ergebnisse überhaupt auf ein Wettkampfsjahr oder gar eine sportliche Karriere übertragbar sind. Es ist jedoch schwierig, Trainer und Athleten zur Teilnahme an dieser Art, potenziell den Trainingsbetrieb störender, Forschung zu motivieren [335].

Darüber hinaus fehlen Studien mit männlichen und weiblichen Jugendlichen, Frauen jeden Alters und vor allem trainierten Probanden [140, 335, 349, 351], da die meisten Periodisierungsstudien mit eher untrainierten Sportstudenten durchgeführt wurden [335]. Es ist jedoch bekannt, dass Untrainierte im Allgemeinen einfacher Fortschritte erzielen als Trainierte und hier die Periodisierung eine untergeordnete Rolle spielt [88]. Daher werden im Gegensatz zu Trainingsanfängern gerade für Hochtrainierte fortgeschrittenere Periodisierungsstrategien empfohlen [143]. Die Ergebnisse der vorliegenden Periodisierungsstudien mit Untrainierten lassen sich folglich nur bedingt auf Leistungssportler übertragen.

Ferner basieren die im Kapitel 2.3 beschriebenen Periodisierungsmodelle mehr auf zeitlichen Verläufen der Anpassung [147] und zu einem großen Teil auf Theorien und Meinungen von Autoren und Praktikern [146, 194, 335], statt auf den zugrundeliegenden zellulären Mechanismen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Periodisierungsmodelle unter dem Einfluss des jeweiligen Sportsystems, der Sportart, des Klimas, des Wettkampfkalenders als auch der derzeitigen sportphysiologischen Kenntnisse entstanden [147, 149, 155, 156, 181, 194]. Was bislang fehlt sind Modelle basierend auf neueren Erkenntnissen der Signaltransduktionstheorie [352]. Daher wäre der nächste logische Schritt bestehenden Modelle mit neueren Erkenntnissen physiologischer Anpassungsmechanismen abzugleichen und gegebenenfalls anzupassen.

Ungeachtet des Periodisierungsmodells scheint eine regelmäßige Variation im Muskelaufbautraining grundsätzlich effektiver als Trainingsprogramme mit gleichbleibenden Trainingsbereichen [329, 330]. Daher kann argumentiert werden, dass eine Bandbreite verschiedener Trainingsintensitäten in ein hypertrophieorientiertes Trainingsprogramm integriert werden sollte [353]. Hieraus ergäbe sich eine wiederkehrende Abfolge von Trainingseinheiten, die beispielsweise mechanische Spannung oder metabolischen Stress priorisieren [139]. Wie diese Abfolge gestaltet werden müsste sollte Gegenstand zukünftiger Forschung sein. Denkbar wären hierbei Studien, die analog zum Ausdauertraining [354], polarisiertes Krafttraining, also hoch-intensive (Spannung) und niedrig-intensive Trainingseinheiten (metabolischer Stress) im Wechsel gegenüber klassischen Trainingsprogrammen im klassischen Muskelaufbaubereich mit mittleren Intensitäten vergleichen.

Im Übrigen wird aktuell diskutiert, ob im Muskelaufbautraining das Absolvieren der Sätze bis zum konzentrischen Muskelversagen in jedem Satz, wie es in den hier angeführten Studien durchgeführt wurde, auf Dauer notwendig sei [105, 355]. Willardson und Kollegen [355] postulieren beispielsweise, dass Krafttraining bis zur Ausbelastung eine höhere Verletzungswahrscheinlichkeit mit sich brächte, jedoch ohne Evidenz für diese Aussage anzuführen. Weiterhin wird von den genannten Autoren empfohlen das Krafttraining bis zur Ausbelastung nur wenige Male in der Woche oder periodisiert einzusetzen [355]. Hierfür fehlt es jedoch bislang an Evidenz.

Zu klären ist außerdem die Frage, wie man neuere Krafttrainingsmethoden wie das BFR Training in den langfristigen Trainingsprozess integriert. Denkbar wäre der Einsatz als konzentrierter Block (vgl. BLOCK) oder die Integration einzelner BFR Trainingseinheiten im Verlauf einer Woche (vgl. DUP). In Bezug auf das BFR Training allgemein besteht weiterhin erheblicher Forschungsbedarf was verschiedene Muskelgruppen und diverse Zielgruppen anbelangt. Es fehlen beispielsweise Daten von krafterfahrenen Athleten, als auch Kindern und Jugendlichen. Weiterhin muss im Speziellen für das BFR Training der Wadenmuskulatur geklärt werden, welche Trainingsintensität sich am besten zum Muskelaufbau eignet. Optimalerweise geschieht dies anhand von Studien mit möglichst langer Dauer.

Darüber hinaus besteht noch erheblicher Forschungsbedarf im Bereich des DTR. Zum einen fehlt es an physiologischer Grundlagenforschung zu den Mechanismen sowie an Studien bezüglich des zeitlichen Verlaufs der Deadaptation im Anschluss an verschiedene Krafttrainingsregime. Besonders wären weitere Studien mit Kindern und Jugendlichen wünschenswert.

Da die Ernährung erheblichen Einfluss auf den Muskelaufbau und die FM hat [356] sollte diese in künftigen Krafttrainingsinterventionen mit dem Ziel des Muskelaufbaus und weiterführender DTR Studien mehr Berücksichtigung finden. Mögliche Veränderungen der Körperzusammensetzung sollten dabei anhand möglichst valider Methoden, wie beispielsweise der Dual Energy X-Ray Absorptiometry oder der Ganzkörperplethysmographie, statt per BIA festgestellt werden.

Künftige Studien sollten außerdem ausschließlich direkte Messverfahren des Muskelzuwachses, wie MRT oder Ultraschall nutzen, um verschiedene Trainingsmethoden und Periodisierungsmodelle zu vergleichen oder DTR Effekte zu untersuchen [140, 349, 351].

Ein stetig wachsendes Wissen um Methoden des Muskelaufbautrainings mag schließlich nutzen, diese weiterzuentwickeln und effektive Trainingsempfehlungen für Breiten- als auch Leistungssportler auszusprechen.

7. Literatur

1. Andersen LL, Aagaard P (2006) Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol* 96(1):46–52. doi:10.1007/s00421-005-0070-z
2. Häkkinen K, Komi PV, Alén M (1985) Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 125(4):587–600. doi:10.1111/j.1748-1716.1985.tb07759.x
3. Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B (2003) Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 17(1):140–147. doi:10.1519/1533-4287(2003)017<0140:pamsrd>2.0.co;2
4. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU (2010) Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc* 42(8):1566–1581. doi:10.1249/MSS.0b013e3181cf818d
5. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J (2004) Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38(3):285–288. doi:10.1136/bjism.2002.002071
6. Sheppard JM, Cronin JB, Gabbett TJ, McGuigan MR, Etxebarria N, Newton RU (2008) Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *J Strength Cond Res* 22(3):758–765. doi:10.1519/JSC.0b013e31816a8440
7. Cronin JB, Hansen KT (2005) Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res* 19(2):349–357. doi:10.1519/14323.1
8. Spiteri T, Newton RU, Binetti M, Hart NH, Sheppard JM, Nimphius S (2015) Mechanical Determinants of Faster Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *J Strength Cond Res* 29(8):2205–2214. doi:10.1519/JSC.0000000000000876
9. Young WB, Miller IR, Talpey SW (2015) Physical qualities predict change-of-direction speed but not defensive agility in Australian rules football. *J Strength Cond Res* 29(1):206–212. doi:10.1519/JSC.0000000000000614
10. Zamparo P, Minetti AE, Di Prampero PE (2002) Interplay among the changes of muscle strength, cross-sectional area and maximal explosive power. Theory and facts. *Eur J Appl Physiol* 88(3):193–202. doi:10.1007/s00421-002-0691-4
11. Herman JR, Rana SR, Chleboun GS, Gilders RM, Hageman FC, Hikida RS, Kushnick MR, Ragg KE, Staron RS, Toma K (2010) Correlation Between Muscle Fiber Cross-Sectional Area And Strength Gain Using Three Different Resistance-Training Programs In College-Aged Women. *J Strength Cond Res* 24:1. doi:10.1097/01.JSC.0000367128.04768.0a
12. Jones EJ, Bishop PA, Woods AK, Green JM (2008) Cross-sectional area and muscular strength. A brief review. *Sports Med* 38(12):987–994. doi:10.2165/00007256-200838120-00003

13. Huebner M, Perperoglou A (2019) Performance Development From Youth to Senior and Age of Peak Performance in Olympic Weightlifting. *Front Physiol* 10:1121. doi:10.3389/fphys.2019.01121
14. Miller TA, White ED, Kinley KA, Congleton JJ, Clark MJ (2002) The effects of training history, player position, and body composition on exercise performance in collegiate football players. *J Strength Cond Res* 16(1):44–49
15. Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB (2014) The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries. A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med* 48(11):871–877. doi:10.1136/bjsports-2013-092538
16. Edwards T, Spiteri T, Piggott B, Haff GG, Joyce C (2018) A Narrative Review of the Physical Demands and Injury Incidence in American Football: Application of Current Knowledge and Practices in Workload Management. *Sports Med* 48(1):45–55. doi:10.1007/s40279-017-0783-2
17. Collins H, Booth JN, Duncan A, Fawkner S (2019) The effect of resistance training interventions on fundamental movement skills in youth. A meta-analysis. *Sports Med Open* 5(1):17. doi:10.1186/s40798-019-0188-x
18. Myers AM, Beam NW, Fakhoury JD (2017) Resistance training for children and adolescents. *Transl Pediatr* 6(3):137–143. doi:10.21037/tp.2017.04.01
19. Behm DG, Young JD, Whitten JHD, Reid JC, Quigley PJ, Low J, Li Y, Lima CD, Hodgson DD, Chaouachi A, Prieske O, Granacher U (2017) Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol* 8:423. doi:10.3389/fphys.2017.00423
20. Granacher U, Lesinski M, Büsch D, Muehlbauer T, Prieske O, Puta C, Gollhofer A, Behm DG (2016) Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance. A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Front Physiol* 7:164. doi:10.3389/fphys.2016.00164
21. Faigenbaum AD, Lloyd RS, MacDonald J, Myer GD (2016) Citius, Altius, Fortius. Beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *Br J Sports Med* 50(1):3–7. doi:10.1136/bjsports-2015-094621
22. Toigo M, Boutellier U (2006) New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol* 97(6):643–663. doi:10.1007/s00421-006-0238-1
23. Carpinelli RN (2009) Challenging the American College of Sports Medicine 2009 Position Stand on Resistance Training. *Medicina Sportiva* 13(2):131–137. doi:10.2478/v10036-009-0020-7
24. Lüthi JM, Howald H, Claassen H, Rösler K, Vock P, Hoppeler H (1986) Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *Int J Sports Med* 7(3):123–127. doi:10.1055/s-2008-1025748

25. Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR (1997) An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol* 273(1 Pt 1):E122-9.
doi:10.1152/ajpendo.1997.273.1.E122
26. Phillips SM, Parise G, Roy BD, Tipton KD, Wolfe RR, Tarnopolsky MA (2002) Resistance-training-induced adaptations in skeletal muscle protein turnover in the fed state. *Can J Physiol Pharmacol* 80(11):1045–1053. doi:10.1139/y02-134
27. Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Simonsen EB (2001) A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training. Changes in muscle architecture. *J Physiol (Lond)* 534(Pt. 2):613–623. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x
28. Seynnes OR, Boer M de, Narici MV (2007) Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol* 102(1):368–373.
doi:10.1152/jappphysiol.00789.2006
29. McCall GE, Byrnes WC, Dickinson A, Pattany PM, Fleck SJ (1996) Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol* 81(5):2004–2012. doi:10.1152/jappl.1996.81.5.2004
30. Schoenfeld BJ (2010) The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24(10):2857–2872. doi:10.1519/JSC.0b013e3181e840f3
31. Wackerhage H, Schoenfeld BJ, Hamilton DL, Lehti M, Hulmi JJ (2019) Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *J Appl Physiol* 126(1):30–43.
doi:10.1152/jappphysiol.00685.2018
32. Ingber DE (2006) Cellular mechanotransduction. Putting all the pieces together again. *FASEB J* 20(7):811–827. doi:10.1096/fj.05-5424rev
33. Olsen LA, Nicoll JX, Fry AC (2019) The skeletal muscle fiber. A mechanically sensitive cell. *Eur J Appl Physiol* 119(2):333–349. doi:10.1007/s00421-018-04061-x
34. Hemmings BA, Restuccia DF (2012) PI3K-PKB/Akt pathway. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 4(9):a011189. doi:10.1101/cshperspect.a011189
35. Martineau LC, Gardiner PF (2001) Insight into skeletal muscle mechanotransduction. MAPK activation is quantitatively related to tension. *J Appl Physiol* 91(2):693–702.
doi:10.1152/jappl.2001.91.2.693
36. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P (1986) Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55(4):362–366. doi:10.1007/bf00422734
37. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, Takada S, Takahashi T, Omokawa M, Kinugawa S, Tsutsui H (2009) Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol* 106(4):1119–1124.
doi:10.1152/jappphysiol.90368.2008

38. Oishi Y, Tsukamoto H, Yokokawa T, Hirotsu K, Shimazu M, Uchida K, Tomi H, Higashida K, Iwanaka N, Hashimoto T (2015) Mixed lactate and caffeine compound increases satellite cell activity and anabolic signals for muscle hypertrophy. *J Appl Physiol* 118(6):742–749. doi:10.1152/jappphysiol.00054.2014
39. Gundermann DM, Walker DK, Reidy PT, Borack MS, Dickinson JM, Volpi E, Rasmussen BB (2014) Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 306(10):E1198-204. doi:10.1152/ajpendo.00600.2013
40. Popov DV, Lysenko EA, Bachinin AV, Miller TF, Kurochkina NS, Kravchenko IV, Furalyov VA, Vinogradova OL (2015) Influence of resistance exercise intensity and metabolic stress on anabolic signaling and expression of myogenic genes in skeletal muscle. *Muscle Nerve* 51(3):434–442. doi:10.1002/mus.24314
41. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H (2008) Skeletal muscle fatigue. Cellular mechanisms. *Physiol Rev* 88(1):287–332. doi:10.1152/physrev.00015.2007
42. Schoenfeld BJ (2013) Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med* 43(3):179–194. doi:10.1007/s40279-013-0017-1
43. Dankel SJ, Mattocks KT, Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, Loenneke JP (2017) Do metabolites that are produced during resistance exercise enhance muscle hypertrophy? *Eur J Appl Physiol* 117(11):2125–2135. doi:10.1007/s00421-017-3690-1
44. Tidball JG (2005) Mechanical signal transduction in skeletal muscle growth and adaptation. *J Appl Physiol* 98(5):1900–1908. doi:10.1152/jappphysiol.01178.2004
45. West DWD, Phillips SM (2012) Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *Eur J Appl Physiol* 112(7):2693–2702. doi:10.1007/s00421-011-2246-z
46. Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Grant EJ, Correia CE, Phillips SM (2006) Hypertrophy with unilateral resistance exercise occurs without increases in endogenous anabolic hormone concentration. *Eur J Appl Physiol* 98(6):546–555. doi:10.1007/s00421-006-0300-z
47. Gonzalez AM, Hoffman JR, Stout JR, Fukuda DH, Willoughby DS (2016) Intramuscular Anabolic Signaling and Endocrine Response Following Resistance Exercise. Implications for Muscle Hypertrophy. *Sports Med* 46(5):671–685. doi:10.1007/s40279-015-0450-4
48. Damas F, Phillips SM, Libardi CA, Vechin FC, Lixandrão ME, Jannig PR, Costa LAR, Bacurau AV, Snijders T, Parise G, Tricoli V, Roschel H, Ugrinowitsch C (2016) Resistance training-induced changes in integrated myofibrillar protein synthesis are related to hypertrophy only after attenuation of muscle damage. *J Physiol (Lond)* 594(18):5209–5222. doi:10.1113/JP272472
49. Gibala MJ, Interisano SA, Tarnopolsky MA, Roy BD, MacDonald JR, Yarasheski KE, MacDougall JD (2000) Myofibrillar disruption following acute concentric and eccentric resistance exercise in strength-trained men. *Can J Physiol Pharmacol* 78(8):656–661. doi:10.1139/y00-036

50. Schoenfeld BJ (2012) Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res* 26(5):1441–1453. doi:10.1519/JSC.0b013e31824f207e
51. Damas F, Libardi CA, Ugrinowitsch C (2018) The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training. The role of muscle damage and muscle protein synthesis. *Eur J Appl Physiol* 118(3):485–500. doi:10.1007/s00421-017-3792-9
52. Adams GR, Bamman MM (2012) Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Compr Physiol* 2(4):2829–2870. doi:10.1002/cphy.c110066
53. Folland JP, Williams AG (2007) The adaptations to strength training. Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 37(2):145–168. doi:10.2165/00007256-200737020-00004
54. Ogasawara R, Yasuda T, Ishii N, Abe T (2013) Comparison of muscle hypertrophy following 6-month of continuous and periodic strength training. *Eur J Appl Physiol* 113(4):975–985. doi:10.1007/s00421-012-2511-9
55. Roberts MD, Haun CT, Vann CG, Osburn SC, Young KC (2020) Sarcoplasmic Hypertrophy in Skeletal Muscle: A Scientific "Unicorn" or Resistance Training Adaptation? *Front Physiol* 11:816. doi:10.3389/fphys.2020.00816
56. Andersen JL, Aagaard P (2000) Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve* 23(7):1095–1104. doi:10.1002/1097-4598(200007)23:7<1095::aid-mus13>3.0.co;2-o
57. Lamas L, Aoki MS, Ugrinowitsch C, Campos GER, Regazzini M, Moriscot AS, Tricoli V (2010) Expression of genes related to muscle plasticity after strength and power training regimens. *Scand J Med Sci Sports* 20(2):216–225. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00905.x
58. Liu Y, Schlumberger A, Wirth K, Schmidtbleicher D, Steinacker JM (2003) Different effects on human skeletal myosin heavy chain isoform expression. Strength vs. combination training. *J Appl Physiol* 94(6):2282–2288. doi:10.1152/jappphysiol.00830.2002
59. Andersen JL, Klitgaard H, Bangsbo J, Saltin B (1994) Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of soccer players. Effects of strength-training. *Acta Physiol Scand* 150(1):21–26. doi:10.1111/j.1748-1716.1994.tb09655.x
60. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR (2009) Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur J Appl Physiol* 105(6):939–944. doi:10.1007/s00421-008-0980-7
61. Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A (2019) Functional adaptation of connective tissue by training. *Dtsch Z Sportmed* 2019(4):105–110. doi:10.5960/dzsm.2019.366
62. Toigo M (2006) Trainingsrelevante Determinanten der molekularen und zellulären Skelettmuskeladaptation. Teil 1: Einleitung und Längenadaptation. Haupt
63. Burns PB, Rohrich RJ, Chung KC (2011) The levels of evidence and their role in evidence-based medicine. *Plast Reconstr Surg* 128(1):305–310. doi:10.1097/PRS.0b013e318219c171

64. Haff GG, Triplett NT (Hrsg) (2016) Essentials of strength training and conditioning, 4. Aufl. Human Kinetics, Champaign, IL, Windsor, ON, Leeds
65. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn DI, Krieger JW (2017) Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training. A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31(12):3508–3523. doi:10.1519/JSC.0000000000002200
66. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I-M, Nieman DC, Swain DP (2011) American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults. Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 43(7):1334–1359. doi:10.1249/MSS.0b013e318213febf
67. Schoenfeld BJ, Wilson JM, Lowery RP, Krieger JW (2016) Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training. A meta-analysis. *Eur J Sport Sci* 16(1):1–10. doi:10.1080/17461391.2014.989922
68. Burd NA, West DWD, Staples AW, Atherton PJ, Baker JM, Moore DR, Holwerda AM, Parise G, Rennie MJ, Baker SK, Phillips SM (2010) Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PLoS ONE* 5(8):e12033. doi:10.1371/journal.pone.0012033
69. Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DWD, Burd NA, Breen L, Baker SK, Phillips SM (2012) Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* 113(1):71–77. doi:10.1152/jappphysiol.00307.2012
70. Ogasawara R, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T (2013) Low-Load Bench Press Training to Fatigue Results in Muscle Hypertrophy Similar to High-Load Bench Press Training. *IJCM* 04(02):114–121. doi:10.4236/ijcm.2013.42022
71. Schoenfeld BJ, Peterson MD, Ogborn DI, Contreras B, Sonmez GT (2015) Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res* 29(10):2954–2963. doi:10.1519/JSC.0000000000000958
72. Holm L, Reitelseder S, Pedersen TG, Doessing S, Petersen SG, Flyvbjerg A, Andersen JL, Aagaard P, Kjaer M (2008) Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *J Appl Physiol* 105(5):1454–1461. doi:10.1152/jappphysiol.90538.2008
73. Ozaki H, Abe T, Mikesky AE, Sakamoto A, Machida S, Naito H (2015) Physiological stimuli necessary for muscle hypertrophy. *JPFMS* 4(1):43–51. doi:10.7600/jpfsm.4.43
74. Ozaki H, Loenneke JP, Buckner SL, Abe T (2016) Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities. Contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Med Hypotheses* 88:22–26. doi:10.1016/j.mehy.2015.12.026
75. Ralston GW, Kilgore L, Wyatt FB, Baker JS (2017) The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain. A Meta-Analysis. *Sports Med* 47(12):2585–2601. doi:10.1007/s40279-017-0762-7

76. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW (2017) Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass. A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci* 35(11):1073–1082. doi:10.1080/02640414.2016.1210197
77. Krieger JW (2010) Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy. A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24(4):1150–1159. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d4d436
78. Salles BF de, Simão R, Miranda F, Novaes JdS, Lemos A, Willardson JM (2009) Rest interval between sets in strength training. *Sports Med* 39(9):765–777. doi:10.2165/11315230-000000000-00000
79. Grgic J, Lazinica B, Mikulic P, Krieger JW, Schoenfeld BJ (2017) The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy. A systematic review. *Eur J Sport Sci* 17(8):983–993. doi:10.1080/17461391.2017.1340524
80. Grgic J, Schoenfeld BJ, Skrepnik M, Davies TB, Mikulic P (2018) Effects of Rest Interval Duration in Resistance Training on Measures of Muscular Strength. A Systematic Review. *Sports Med* 48(1):137–151. doi:10.1007/s40279-017-0788-x
81. ACSM (2009) American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41(3):687–708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670
82. Henselmans M, Schoenfeld BJ (2014) The effect of inter-set rest intervals on resistance exercise-induced muscle hypertrophy. *Sports Med* 44(12):1635–1643. doi:10.1007/s40279-014-0228-0
83. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW (2016) Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 46(11):1689–1697. doi:10.1007/s40279-016-0543-8
84. Grgic J, Schoenfeld BJ, Davies TB, Lazinica B, Krieger JW, Pedisic Z (2018) Effect of Resistance Training Frequency on Gains in Muscular Strength. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 48(5):1207–1220. doi:10.1007/s40279-018-0872-x
85. Ralston GW, Kilgore L, Wyatt FB, Buchan D, Baker JS (2018) Weekly Training Frequency Effects on Strength Gain. A Meta-Analysis. *Sports Med Open* 4(1):36. doi:10.1186/s40798-018-0149-9
86. Dankel SJ, Mattocks KT, Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, Counts BR, Laurentino GC, Loenneke JP (2017) Frequency. The Overlooked Resistance Training Variable for Inducing Muscle Hypertrophy? *Sports Med* 47(5):799–805. doi:10.1007/s40279-016-0640-8
87. Schoenfeld BJ, Grgic J, Krieger JW (2019) How many times per week should a muscle be trained to maximize muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis of studies examining the effects of resistance training frequency. *J Sports Sci* 37(11):1286–1295. doi:10.1080/02640414.2018.1555906

88. Williams TD, Toluoso DV, Fedewa MV, Esco MR (2017) Comparison of Periodized and Non-Periodized Resistance Training on Maximal Strength. A Meta-Analysis. *Sports Med* 47(10):2083–2100. doi:10.1007/s40279-017-0734-y
89. Torres M, Trexler ET, Smith-Ryan AE, Reynolds A (2018) A mathematical model of the effects of resistance exercise-induced muscle hypertrophy on body composition. *Eur J Appl Physiol* 118(2):449–460. doi:10.1007/s00421-017-3787-6
90. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD (2003) A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35(3):456–464. doi:10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4
91. Hollmann W, Strüder HK (2009) *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin ; mit 91 Tabellen*, 5. Aufl. Schattauer, Stuttgart, New York, NY
92. Toigo M (2019) *MuskelRevolution. Konzepte und Rezepte zum Muskel- und Kraftaufbau*, 2. Aufl. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
93. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD (2009) 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* 43(8):556–568. doi:10.1136/bjism.2008.051417
94. Crenshaw AG, Karlsson S, Styf J, Bäcklund T, Fridén J (1995) Knee extension torque and intramuscular pressure of the vastus lateralis muscle during eccentric and concentric activities. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70(1):13–19. doi:10.1007/bf00601803
95. Westing SH, Seger JY (1989) Eccentric and concentric torque-velocity characteristics, torque output comparisons, and gravity effect torque corrections for the quadriceps and hamstring muscles in females. *Int J Sports Med* 10(3):175–180. doi:10.1055/s-2007-1024896
96. Lum D, Barbosa TM (2019) Brief Review: Effects of Isometric Strength Training on Strength and Dynamic Performance. *Int J Sports Med* 40(6):363–375. doi:10.1055/a-0863-4539
97. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Vigotsky AD, Franchi MV, Krieger JW (2017) Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31(9):2599–2608. doi:10.1519/JSC.0000000000001983
98. Davies TB, Kuang K, Orr R, Halaki M, Hackett DA (2017) Effect of Movement Velocity During Resistance Training on Dynamic Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 47(8):1603–1617. doi:10.1007/s40279-017-0676-4
99. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW (2015) Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy. A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 45(4):577–585. doi:10.1007/s40279-015-0304-0
100. Hackett DA, Davies TB, Orr R, Kuang K, Halaki M (2018) Effect of movement velocity during resistance training on muscle-specific hypertrophy. A systematic review. *Eur J Sport Sci* 18(4):473–482. doi:10.1080/17461391.2018.1434563

101. LaChance P, Hortobágyi T (1994) Influence of Cadence on Muscular Performance During Push-up and Pull-up Exercise. *J Strength Cond Res* 8(2):1064–8011
102. Kawamori N, Haff GG (2004) The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 18(3):675–684. doi:10.1519/1533-4287(2004)18<675:TOTLFT>2.0.CO;2
103. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Sanchis-Moysi J, Dorado C, Mora-Custodio R, Yáñez-García JM, Morales-Alamo D, Pérez-Suárez I, Calbet JAL, González-Badillo JJ (2017) Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports* 27(7):724–735. doi:10.1111/sms.12678
104. Steele J, Fisher J, Giessing J, Gentil P (2017) Clarity in reporting terminology and definitions of set endpoints in resistance training. *Muscle Nerve* 56(3):368–374. doi:10.1002/mus.25557
105. Nóbrega SR, Libardi CA (2016) Is Resistance Training to Muscular Failure Necessary? *Front Physiol* 7:10. doi:10.3389/fphys.2016.00010
106. Davies TB, Orr R, Halaki M, Hackett DA (2016) Effect of Training Leading to Repetition Failure on Muscular Strength. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 46(4):487–502. doi:10.1007/s40279-015-0451-3
107. Newmire DE, Willoughby DS (2018) Partial Compared with Full Range of Motion Resistance Training for Muscle Hypertrophy: A Brief Review and an Identification of Potential Mechanisms. *J Strength Cond Res* 32(9):2652–2664. doi:10.1519/JSC.0000000000002723
108. Clarkson HM, Gilewich GB (1992) Musculoskeletal assessment. Joint range of motion and manual muscle strength, 5. Aufl. Williams & Wilkins, Baltimore, Md.
109. Fisher J, Steele J, Bruce-Low S, Smith D (2011) Evidence-Based Resistance Training Recommendations. *Medicina Sportiva* 15(3):147–162. doi:10.2478/v10036-011-0025-x
110. Kitai TA, Sale DG (1989) Specificity of joint angle in isometric training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 58(7):744–748. doi:10.1007/bf00637386
111. Schoenfeld BJ, Grgic J (2020) Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Med* 8:2050312120901559. doi:10.1177/2050312120901559
112. Kraemer WJ, Häkkinen K (Hrsg) (2006) Strength training for sport. Handbook of sports medicine and science. Blackwell Science, Oxford
113. Pallarés JG, Cava AM, Courel-Ibáñez J, González-Badillo JJ, Morán-Navarro R (2020) Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *Eur J Sport Sci* 20(1):115–124. doi:10.1080/17461391.2019.1612952
114. Rhea MR, Kenn JG, Peterson MD, Massey D, Simão R, Marín PJ, Favero M, Cardozo D, Krein D (2016) Joint-Angle Specific Strength Adaptations Influence Improvements in Power in Highly Trained Athletes. *Human Movement* 17(1). doi:10.1515/humo-2016-0006

115. Young WB, Benton D, Pryor J (2001) Resistance Training for Short Sprints and Maximum-speed Sprints. *Strength and Conditioning Journal* 23(2):7. doi:10.1519/00126548-200104000-00001
116. Bloomquist K, Langberg H, Karlsen S, Madsgaard S, Boesen M, Raastad T (2013) Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *Eur J Appl Physiol* 113(8):2133–2142. doi:10.1007/s00421-013-2642-7
117. Hartmann H, Wirth K, Klusemann M, Dalic J, Matuschek C, Schmidtbleicher D (2012) Influence of squatting depth on jumping performance. *J Strength Cond Res* 26(12):3243–3261. doi:10.1519/JSC.0b013e31824ede62
118. Drinkwater EJ, Moore NR, Bird SP (2012) Effects of changing from full range of motion to partial range of motion on squat kinetics. *J Strength Cond Res* 26(4):890–896. doi:10.1519/JSC.0b013e318248ad2e
119. Fleck SJ, Kraemer WJ (1988) Resistance Training: Basic Principles (Part 1 of 4). *Phys Sportsmed* 16(3):160–171. doi:10.1080/00913847.1988.11709461
120. Signorile JF, Lew KM, Stoutenberg M, Pluchino A, Lewis JE, Gao J (2014) Range of motion and leg rotation affect electromyography activation levels of the superficial quadriceps muscles during leg extension. *J Strength Cond Res* 28(9):2536–2545. doi:10.1519/JSC.0000000000000582
121. Brown JM, Solomon C, Paton M (1993) Further evidence of functional differentiation within biceps brachii. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 33(5):301–309
122. Matta TT, Simão R, Salles BF de, Spinetti J, Oliveira LF (2011) Strength training's chronic effects on muscle architecture parameters of different arm sites. *J Strength Cond Res* 25(6):1711–1717. doi:10.1519/JSC.0b013e3181dba162
123. Drummond MDM, Szmuchowski LA, Goulart KNO, Couto BP (2016) Effect of strength training on regional hypertrophy of the elbow flexor muscles. *Muscle Nerve* 54(4):750–755. doi:10.1002/mus.25088
124. Wakahara T, Fukutani A, Kawakami Y, Yanai T (2013) Nonuniform muscle hypertrophy: its relation to muscle activation in training session. *Med Sci Sports Exerc* 45(11):2158–2165. doi:10.1249/MSS.0b013e3182995349
125. Matta TT, Nascimento FX, Trajano GS, Simão R, Willardson JM, Oliveira LF (2017) Selective hypertrophy of the quadriceps musculature after 14 weeks of isokinetic and conventional resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging* 37(2):137–142. doi:10.1111/cpf.12277
126. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, Libardi CA, Roschel H (2018) Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 48(2):361–378. doi:10.1007/s40279-017-0795-y
127. Slysz J, Stultz J, Burr JF (2016) The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport* 19(8):669–675. doi:10.1016/j.jsams.2015.09.005

128. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Mattocks KT, Abe T, Bemben MG (2013) Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. *Front Physiol* 4:249. doi:10.3389/fphys.2013.00249
129. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA (2013) Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res* 27(11):3068–3075. doi:10.1519/JSC.0b013e31828a1ffa
130. Pearson SJ, Hussain SR (2015) A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med* 45(2):187–200. doi:10.1007/s40279-014-0264-9
131. Yasuda T, Abe T, Brechue WF, Iida H, Takano H, Meguro K, Kurano M, Fujita S, Nakajima T (2010) Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metab Clin Exp* 59(10):1510–1519. doi:10.1016/j.metabol.2010.01.016
132. Sugaya M, Yasuda T, Suga T, Okita K, Abe T (2011) Change in intramuscular inorganic phosphate during multiple sets of blood flow-restricted low-intensity exercise. *Clin Physiol Funct Imaging* 31(5):411–413. doi:10.1111/j.1475-097X.2011.01033.x
133. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ (2015) Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med* 45(3):313–325. doi:10.1007/s40279-014-0288-1
134. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, Bemben MG (2012) The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses* 78(1):151–154. doi:10.1016/j.mehy.2011.10.014
135. Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, Nygaard T, Hvid LG, Wernbom M, Suetta C, Frandsen U (2012) Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol (Lond)* 590(17):4351–4361. doi:10.1113/jphysiol.2012.237008
136. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG (2012) Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 112(5):1849–1859. doi:10.1007/s00421-011-2167-x
137. Fahs CA, Loenneke JP, Thiebaud RS, Rossow LM, Kim D, Abe T, Beck TW, Feeback DL, Bemben DA, Bemben MG (2015) Muscular adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. *Clin Physiol Funct Imaging* 35(3):167–176. doi:10.1111/cpf.12141
138. Farup J, Paoli F de, Bjerg K, Riis S, Ringgaard S, Vissing K (2015) Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports* 25(6):754–763. doi:10.1111/sms.12396

139. Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, Gołaś A (2019) Maximizing Muscle Hypertrophy. A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *Int J Environ Res Public Health* 16(24). doi:10.3390/ijerph16244897
140. Harries SK, Lubans DR, Callister R (2015) Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. *J Strength Cond Res* 29(4):1113–1125. doi:10.1519/JSC.0000000000000712
141. Bompa TO, Buzzichelli CA (2019) *Periodization. Theory and methodology of training*. Human Kinetics, Champaign, IL
142. Martin D (1971) Trainingsstruktur - Trainingsplanung. *Leistungssport* 1(2):31–36
143. Turner A (2011) The Science and Practice of Periodization: A Brief Review. *Strength and Conditioning Journal* 33(1):34–46. doi:10.1519/SSC.0b013e3182079cdf
144. Fleck SJ (2011) Non-linear periodization for general fitness & athletes. *J Hum Kinet* 29A:41–45. doi:10.2478/v10078-011-0057-2
145. Fleck SJ (1999) Periodized strength training: A critical review. *J Strength Cond Res* 13(1):82–89
146. Plisk S, Stone MH (2003) Periodization Strategies. *Strength and Conditioning Journal* 25(6):19–37
147. Cunanan AJ, DeWeese BH, Wagle JP, Carroll KM, Sausaman R, Hornsby G, Haff GG, Triplett NT, Pierce KC, Stone MH (2018) The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports Med* 48(4):787–797. doi:10.1007/s40279-017-0855-3
148. Evans JW (2019) Periodized Resistance Training for Enhancing Skeletal Muscle Hypertrophy and Strength: A Mini-Review. *Front Physiol* 10:13. doi:10.3389/fphys.2019.00013
149. Haff GG (2004) Roundtable discussion: periodization of training-part 1. *Strength and Conditioning Journal* 26(1):50–69
150. Matwejew LP (1972) Die Periodisierung des sportlichen Trainings. *Leistungssport* 2(6):401–409
151. Mühlfriedel B (1994) *Trainingslehre*, 5. Aufl. Studienbücher Sport. Verlag Moritz Diesterweg; Verlag Sauerländer, Frankfurt am Main, Aarau, Frankfurt am Main, Salzburg
152. Issurin W, Shkliar W (2002) Zur Konzeption der Blockstruktur im Training von hochklassifizierten Sportlern. *Leistungssport* 32(6):42–45
153. Verkhoshansky Y (1998) Das Ende der "Periodisierung" des sportlichen Trainings im Spitzensport. *Leistungssport* 28(5):14–19
154. Hartmann H, Wirth K, Keiner M, Mickel C, Sander A, Szilvas E (2015) Short-term Periodization Models: Effects on Strength and Speed-strength Performance. *Sports Med* 45(10):1373–1386. doi:10.1007/s40279-015-0355-2
155. Pedemonte J (1986) Foundations of training periodization. Part I: historical outline. *National Strength and Conditioning Association Journal* 8(3):62–66
156. Issurin W (2010) New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 40(3):189–206. doi:10.2165/11319770-000000000-00000

157. Dick F (1975) Periodization. An Approach to the Training Year. *Track technique* 62:1968–1969
158. Shurley JP, Todd J, Todd TC (2019) Strength coaching in America. A history of the innovation that transformed sports
159. Clarke DH (1973) Adaptations in strength and muscular endurance resulting from exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 1:73–102
160. Stone MH, O'Bryant HS, Garhammer J (1981) A hypothetical model for strength training. *J Sports Med Phys Fitness* 21(4):342–351
161. Stone MH, O'Bryant HS (1987) *Weight training. A scientific approach.* Burgess International Group, Edina, MN
162. Tschiene P (1977) Einige Aspekte zur Periodisierung des Hochleistungstrainings. *Leistungssport* 7(5):379–382
163. Issurin W (2008) Past and present of high-performance training system : traditional and block periodization. *J Sports Med Phys Fitness* 48(1):65–75
164. Poliquin C (1988) Five steps to increasing the effectiveness of you strength training program. *National Strength and Conditioning Association Journal* 10(3):34–39
165. Tschiene P (1972) Grundsätze und Tendenzen des Krafttrainings von Werfern und Stoßern der höchsten Leistungsklasse. *Leistungssport* 2(3):166–182
166. Hartmann H, Andreas B, Wirth K, Schmidtbleicher D (2008) Auswirkungen unterschiedlicher Periodisierungsmodelle im Krafttraining auf das Schnellkraft- und Explosivkraftverhalten der oberen Extremität. *Leistungssport* 38(3):17–22
167. Prestes J, Frollini AB, Lima CD, Donatto FF, Foschini D, Cássia Marqueti R de, Figueira A, Fleck SJ (2009) Comparison between linear and daily undulating periodized resistance training to increase strength. *J Strength Cond Res* 23(9):2437–2442. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c03548
168. Hartmann H, Bob A, Wirth K, Schmidtbleicher D (2009) Effects of different periodization models on rate of force development and power ability of the upper extremity. *J Strength Cond Res* 23(7):1921–1932. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b73c69
169. Fröhlich M, Müller T, Schmidtbleicher D, Emrich E (2009) Outcome-Effekte verschiedener Periodisierungsmodelle im Krafttraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 60(10):307–314
170. Starischka S, Tschiene P (1977) Anmerkungen zur Trainingssteuerung. *Leistungssport* 7(4):275–281
171. Brown L (2001) Nonlinear versus linear periodization models. *Strength and Conditioning Journal* 23(1):42–44
172. Pedemonte J (1982) Updated Acquisitions About Training Periodization: Part One. *National Strength and Conditioning Association Journal* 4(5):56–60
173. McNamara JM, Stearne DJ (2010) Flexible nonlinear periodization in a beginner college weight training class. *J Strength Cond Res* 24(8):2012–2017. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b1b15d

174. Peterson MD, Dodd DJ, Alvar BA, Rhea MR, Favre M (2008) Undulation training for development of hierarchical fitness and improved firefighter job performance. *J Strength Cond Res* 22(5):1683–1695. doi:10.1519/JSC.0b013e31818215f4
175. Kraemer WJ, Torine JC, Dudley J, Martin GJ (2015) Nonlinear Periodization. *Strength and Conditioning Journal* 37(6):17–36. doi:10.1519/SSC.000000000000179
176. Issurin W (2016) Benefits and Limitations of Block Periodized Training Approaches to Athletes' Preparation: A Review. *Sports Med* 46(3):329–338. doi:10.1007/s40279-015-0425-5
177. Issurin W, Lustig G (2007) Zusammenstellung von Trainingseinheiten gemäß dem Konzept der Blockperiodisierung. *Leistungssport* 37(3):29–35
178. Bondartschuk A (1988) Constructing a training system. *Track technique* (102):3254–3259
179. Verkhoshansky Y, Verkhoshansky N (2011) Special strength training. Manual for coaches, 2. Aufl. Verkhoshansky SSTM, Rome
180. Müller F, Schrader A (2012) Zyklisierung des Trainings in Blöcken: Leistungssportler. ein alternatives Strukturierungsmodell für. *Leichtathletiktraining* 24(9+10):22–27
181. Krüger A (2015) Periodisierung des sportlichen Trainings im 21. Jahrhundert : evidenzbasiert oder weiter so wie immer? *Leistungssport* 45(4):5–10
182. Issurin W (2003) Aspekte der kurzfristigen Planung im Konzept der Blockstruktur des Trainings. *Leistungssport* 33(5):41–44
183. Zatsiorsky VM, Kraemer WJ (2008) *Krafttraining. Praxis und Wissenschaft*, 3. Aufl. Meyer & Meyer, Aachen
184. Issurin W (2008) Block periodization versus traditional training theory: a review. *J Sports Med Phys Fitness* 48(1):65–75
185. Platonov W (2008) Warum die "Superkompensation" nicht Grundlage der Strukturierung des Trainings sein kann. *Leistungssport* 38(2):15–20
186. Pritchard H, Keogh J, Barnes M, McGuigan M (2015) Effects and Mechanisms of Tapering in Maximizing Muscular Strength. *Strength and Conditioning Journal* 37(2):72–83. doi:10.1519/SSC.000000000000125
187. Wirth K, Schmidtbleicher D (2007) Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 2.: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktische Anwendung im Schnellkrafttraining. *Leistungssport* 37(2):16–20
188. Wirth K, Schmidtbleicher D (2007) Periodisierung im Schnellkrafttraining. Teil 1.: Physiologische Grundlagen des Schnellkrafttrainings. *Leistungssport* 37(1):35–40
189. Bührle M, Schmidtbleicher D (Hrsg) (1981) *Leichtathletiktraining im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis. Arbeitsbericht des Internationalen DLV-Fortbildungskongresses "Leichtathletiktraining vor Moskau" vom 23. - 25. 11. 1979 am Fachbereich Sport der Universität Mainz. Mainzer Studien zur Sportwissenschaft, 5/6. Schors, Niedernhausen/Taunus*

190. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH (2016) The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med* 46(10):1419–1449. doi:10.1007/s40279-016-0486-0
191. Young WB (1991) The planning of resistance training for power sports. *National Strength and Conditioning Association Journal* 13(4):26–28
192. Kiely J (2010) New horizons for the methodology and physiology of training periodization: block periodization: new horizon or a false dawn? *Sports Med* 40(9):803-5; author reply 805-7. doi:10.2165/11535130-000000000-00000
193. DeWeese BH, Hornsby G, Stone M, Stone MH (2015) The training process: Planning for strength–power training in track and field. Part 2: Practical and applied aspects. *Journal of Sport and Health Science* 4(4):318–324. doi:10.1016/j.jshs.2015.07.002
194. Kiely J (2012) Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven? *Int J Sports Physiol Perform* 7(3):242–250. doi:10.1123/ijsp.7.3.242
195. Stowers T, McMillan J, Scala D, Davis V, Wilson D, Stone MH (1983) The Short-Term Effect of Three Different Strength-Power Training Methods. *National Strength and Conditioning Association Journal* 5(3):24–27
196. Baker D, Wilson G, Carlyon R (1994) Periodization. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(4), 235-242. doi:10.1519/00124278-199411000-00006
197. Schiotz M, Potteiger J, Huntsinger P, Denmark DC (1998) The Short-Term Effects of Periodized and Constant-Intensity Training on Body Composition, Strength, and Performance. *J Strength Cond Res* 12(3):173–178
198. Monteiro AG, Aoki MS, Evangelista AL, Alveno DA, Monteiro GA, Piçarro IdC, Ugrinowitsch C (2009) Nonlinear periodization maximizes strength gains in split resistance training routines. *J Strength Cond Res* 23(4):1321–1326. doi:10.1519/JSC.0b013e3181a00f96
199. Ahmadizad S, Ghorbani S, Ghasemikaram M, Bahmanzadeh M (2014) Effects of short-term nonperiodized, linear periodized and daily undulating periodized resistance training on plasma adiponectin, leptin and insulin resistance. *Clin Biochem* 47(6):417–422. doi:10.1016/j.clinbiochem.2013.12.019
200. Loturco I, Nakamura FY, Kobal R, Gil S, Pivetti B, Pereira LA, Roschel H (2016) Traditional Periodization versus Optimum Training Load Applied to Soccer Players: Effects on Neuromuscular Abilities. *Int J Sports Med* 37(13):1051–1059. doi:10.1055/s-0042-107249
201. O'Bryant HS, Byrd R, Stone MH (1988) Cycle Ergometer Performance and Maximum Leg and Hip Strength Adaptations to Two Different Methods of Weight-Training. *J Strength Cond Res* 2(2):27–30
202. Willoughby DS (1993) The Effects of Mesocycle-Length Weight Training Programs Involving Periodization and Partially Equated Volumes on Upper and Lower Body Strength. *J Strength Cond Res* 7(1):2. doi:10.1519/1533-4287(1993)007<0002:teomlw>2.3.co;2

203. Stone MH, Potteiger KP, Proulx C, O'Bryant HS, Johnson R, Stone M (2000) Comparison of the Effects of Three Different Weight-Training Programs on the One Repetition Maximum Squat. *J Strength Cond Res* 14(3):332–337
204. Hoffman JR, Ratamess NA, Klatt M, Faigenbaum AD, Ross RE, Tranchina NM, McCurley RC, Kang J, Kraemer WJ (2009) Comparison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. *J Strength Cond Res* 23(1):11–19. doi:10.1519/jsc.0b013e3181876a78
205. Souza EO de, Ugrinowitsch C, Tricoli V, Roschel H, Lowery RP, Aihara AY, Leão ARS, Wilson JM (2014) Early adaptations to six weeks of non-periodized and periodized strength training regimens in recreational males. *J Sports Sci Med* 13(3):604–609
206. Souza EO de, Tricoli V, Rauch J, Alvarez MR, Laurentino GC, Aihara AY, Cardoso FN, Roschel H, Ugrinowitsch C (2018) Different Patterns in Muscular Strength and Hypertrophy Adaptations in Untrained Individuals Undergoing Nonperiodized and Periodized Strength Regimens. *J Strength Cond Res* 32(5):1238–1244. doi:10.1519/JSC.0000000000002482
207. Fink J, Kikuchi N, Yoshida S, Terada K, Nakazato K (2016) Impact of high versus low fixed loads and non-linear training loads on muscle hypertrophy, strength and force development. *Springerplus* 5(1):698. doi:10.1186/s40064-016-2333-z
208. Hoffman JR, Wendell M, Cooper J, Kang J (2003) Comparison Between Linear and Nonlinear In-Season Training Programs in Freshman Football Players. *J Strength Cond Res* 17(3):561. doi:10.1519/1533-4287(2003)017<0561:CBLANI>2.0.CO;2
209. Schoenfeld BJ, Contreras B, Ogborn DI, Galpin A, Krieger JW, Sonmez GT (2016) Effects of Varied Versus Constant Loading Zones on Muscular Adaptations in Trained Men. *Int J Sports Med* 37(6):442–447. doi:10.1055/s-0035-1569369
210. Bartolomei S, Hoffman JR, Merni F, Stout JR (2014) A comparison of traditional and block periodized strength training programs in trained athletes. *J Strength Cond Res* 28(4):990–997. doi:10.1519/JSC.0000000000000366
211. Buford TW, Rossi SJ, Smith DB, Warren AJ (2007) A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *J Strength Cond Res* 21(4):1245–1250
212. Apel JM, Lacey RM, Kell RT (2011) A comparison of traditional and weekly undulating periodized strength training programs with total volume and intensity equated. *J Strength Cond Res* 25(3):694–703. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c69ef6
213. Painter KB, Haff GG, Ramsey MW, McBride J, Triplett NT, Sands WA, Lamont HS, Stone ME, Stone MH (2012) Strength gains: block versus daily undulating periodization weight training among track and field athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 7(2):161–169. doi:10.1123/ijsp.7.2.161
214. Franchini E, Branco BM, Agostinho MF, Calmet M, Candau R (2015) Influence of linear and undulating strength periodization on physical fitness, physiological, and performance responses to

- simulated judo matches. *J Strength Cond Res* 29(2):358–367.
doi:10.1519/JSC.0000000000000460
215. Ullrich B, Pelzer T, Oliveira S, Pfeiffer M (2016) Neuromuscular Responses to Short-Term Resistance Training With Traditional and Daily Undulating Periodization in Adolescent Elite Judoka. *J Strength Cond Res* 30(8):2083–2099. doi:10.1519/JSC.0000000000001305
216. Rhea MR, Ball SD, Phillips WT, Burkett LN (2002) A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. *J Strength Cond Res* 16(2):250–255
217. Rhea MR, Phillips WT, Burkett LN, Stone WJ, Ball SD, Alvar BA, Thomas AB (2003) A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. *J Strength Cond Res* 17(1):82–87
218. Miranda F, Simão R, Rhea MR, Bunker D, Prestes J, Leite RD, Miranda H, Salles BF de, Novaes JdS (2011) Effects of linear vs. daily undulatory periodized resistance training on maximal and submaximal strength gains. *J Strength Cond Res* 25(7):1824–1830.
doi:10.1519/JSC.0b013e3181e7ff75
219. Simão R, Spinetti J, Salles BF de, Matta TT, Fernandes L, Fleck SJ, Rhea MR, Strom-Olsen HE (2012) Comparison between nonlinear and linear periodized resistance training: hypertrophic and strength effects. *J Strength Cond Res* 26(5):1389–1395. doi:10.1519/JSC.0b013e318231a659
220. Kraemer WJ, Ratamess NA, Flanagan SD, Shurley JP, Todd JS, Todd TC (2017) Understanding the Science of Resistance Training: An Evolutionary Perspective. *Sports Med* 47(12):2415–2435. doi:10.1007/s40279-017-0779-y
221. Moraes E, Fleck SJ, Ricardo Dias M, Simão R (2013) Effects on strength, power, and flexibility in adolescents of nonperiodized vs. daily nonlinear periodized weight training. *J Strength Cond Res* 27(12):3310–3321. doi:10.1519/JSC.0b013e31828de8c3
222. Schumann M, Notbohm H, Bäcker S, Klocke J, Fuhrmann S, Clephas C (2020) Strength-Training Periodization: No Effect on Swimming Performance in Well-Trained Adolescent Swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*:1–9. doi:10.1123/ijsp.2019-0715
223. Foschini D, Araújo RC, Bacurau RFP, Piano A de, Almeida SS de, Carnier J, Rosa TDS, Mello MT de, Tufik S, Dâmaso AR (2010) Treatment of obese adolescents: the influence of periodization models and ACE genotype. *Obesity (Silver Spring)* 18(4):766–772.
doi:10.1038/oby.2009.247
224. Bosquet L, Berryman N, Dupuy O, Mekary S, Arvisais D, Bherer L, Mujika I (2013) Effect of training cessation on muscular performance: a meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 23(3):e140-9. doi:10.1111/sms.12047
225. Häkkinen K, Komi PV, Tesch PA (1981) Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scandinavian Journal of Sports Science* 3(2):50–58

226. Colliander EB, Tesch PA (1992) Effects of detraining following short term resistance training on eccentric and concentric muscle strength. *Acta Physiol Scand* 144(1):23–29. doi:10.1111/j.1748-1716.1992.tb09263.x
227. Hortobágyi T, Houmard JA, Stevenson JR, Fraser DD, Johns RA, Israel RG (1993) The effects of detraining on power athletes. *Med Sci Sports Exerc* 25(8):929–935
228. Izquierdo M, Ibañez J, González-Badillo JJ, Ratamess NA, Kraemer WJ, Häkkinen K, Bonnbau H, Granados C, French DN, Gorostiaga EM (2007) Detraining and tapering effects on hormonal responses and strength performance. *J Strength Cond Res* 21(3):768–775. doi:10.1519/R-21136.1
229. Kraemer WJ, Koziris PL, Ratamess NA, Häkkinen K, Triplett-McBride N, Fry AC, Gordon SE, Volek JS, French DN, Rubin MR, Gómez AL, Sharman MJ, Michael LJ, Izquierdo M, Newton RU, Fleck SJ (2002) Detraining Produces Minimal Changes in Physical Performance and Hormonal Variables in Recreationally Strength-Trained Men. *J Strength Cond Res* 16(3):373–382
230. Terzis G, Stratakos G, Manta P, Georgiadis G (2008) Throwing performance after resistance training and detraining. *J Strength Cond Res* 22(4):1198–1204. doi:10.1519/JSC.0b013e31816d5c97
231. Häkkinen K, Alén M, Komi PV (1985) Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 125(4):573–585. doi:10.1111/j.1748-1716.1985.tb07760.x
232. Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, Aagaard P (2005) Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *Eur J Appl Physiol* 93(5-6):511–518. doi:10.1007/s00421-004-1297-9
233. Bickel CS, Cross JM, Bamman MM (2011) Exercise dosing to retain resistance training adaptations in young and older adults. *Med Sci Sports Exerc* 43(7):1177–1187. doi:10.1249/MSS.0b013e318207c15d
234. Kubo K, Ikebukuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H (2010) Time course of changes in muscle and tendon properties during strength training and detraining. *J Strength Cond Res* 24(2):322–331. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c865e2
235. Ochi E, Maruo M, Tsuchiya Y, Ishii N, Miura K, Sasaki K (2018) Higher Training Frequency Is Important for Gaining Muscular Strength Under Volume-Matched Training. *Front Physiol* 9:744. doi:10.3389/fphys.2018.00744
236. Seaborne RA, Strauss J, Cocks M, Shepherd S, O'Brien TD, van Someren KA, Bell PG, Murgatroyd C, Morton JP, Stewart CE, Sharples AP (2018) Human Skeletal Muscle Possesses an Epigenetic Memory of Hypertrophy. *Sci Rep* 8(1):1898. doi:10.1038/s41598-018-20287-3
237. Ogasawara R, Yasuda T, Sakamaki M, Ozaki H, Abe T (2011) Effects of periodic and continued resistance training on muscle CSA and strength in previously untrained men. *Clin Physiol Funct Imaging* 31(5):399–404. doi:10.1111/j.1475-097X.2011.01031.x

238. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P (1989) Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59(4):310–319. doi:10.1007/BF02388334
239. Häkkinen K, Komi PV (1983) Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 15(6):455–460
240. Weir JP, Housh DJ, Housh TJ, Weir LL (1997) The effect of unilateral concentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit. *J Orthop Sports Phys Ther* 25(4):264–270. doi:10.2519/jospt.1997.25.4.264
241. Shima N, Ishida K, Katayama K, Morotome Y, Sato Y, Miyamura M (2002) Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol* 86(4):287–294. doi:10.1007/s00421-001-0559-z
242. Tallent J, Goodall S, Gibbon KC, Hortobágyi T, Howatson G (2017) Enhanced Corticospinal Excitability and Volitional Drive in Response to Shortening and Lengthening Strength Training and Changes Following Detraining. *Front Physiol* 8:57. doi:10.3389/fphys.2017.00057
243. Ishida K, Moritani T, Itoh K (1990) Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and detraining. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60(4):244–248. doi:10.1007/BF00379390
244. Housh TJ, Housh DJ, Weir JP, Weir LL (1996) Effects of eccentric-only resistance training and detraining. *Int J Sports Med* 17(2):145–148. doi:10.1055/s-2007-972823
245. Housh TJ, Housh DJ, Weir JP, Weir LL (1996) Effects of unilateral concentric-only dynamic constant external resistance training. *Int J Sports Med* 17(5):338–343. doi:10.1055/s-2007-972857
246. Marques MAC, González-Badillo JJ (2006) In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *J Strength Cond Res* 20(3):563–571. doi:10.1519/R-17365.1
247. Silva JR, Brito J, Akenhead R, Nassis GP (2016) The Transition Period in Soccer: A Window of Opportunity. *Sports Med* 46(3):305–313. doi:10.1007/s40279-015-0419-3
248. Ingle L, Sleaf M, Tolfrey K (2006) The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J Sports Sci* 24(9):987–997. doi:10.1080/02640410500457117
249. Fathi A, Hammami R, Moran J, Borji R, Sahli S, Rebai H (2019) Effect of a 16-Week Combined Strength and Plyometric Training Program Followed by a Detraining Period on Athletic Performance in Pubertal Volleyball Players. *J Strength Cond Res* 33(8):2117–2127. doi:10.1519/JSC.0000000000002461
250. Santos AP, Marinho DA, Costa AM, Izquierdo M, Marques MAC (2012) The effects of concurrent resistance and endurance training follow a detraining period in elementary school students. *J Strength Cond Res* 26(6):1708–1716. doi:10.1519/JSC.0b013e318234e872
251. Amigó N, Cadefau JA, Ferrer I, Tarrados N, Cussó R (1998) Effect of summer intermission on skeletal muscle of adolescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 38(4):298–304

252. Chaouachi A, Ben Othman A, Makhoulf I, Young JD, Granacher U, Behm DG (2019) Global Training Effects of Trained and Untrained Muscles With Youth Can be Maintained During 4 Weeks of Detraining. *J Strength Cond Res* 33(10):2788–2800. doi:10.1519/JSC.0000000000002606
253. Faigenbaum AD, Westcott WL, Micheli LJ, Outerbridge AR, Long CJ, LaRosa-Loud R, Zaichkowsky LD (1996) The Effects of Strength Training and Detraining on Children. *J Strength Cond Res* 10(2):109. doi:10.1519/1533-4287(1996)010<0109:TEOSTA>2.3.CO;2
254. Meylan CMP, Cronin JB, Oliver JL, Hopkins WG, Contreras B (2014) The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand J Med Sci Sports* 24(3):e156-64. doi:10.1111/sms.12128
255. Faigenbaum AD, Farrell AC, Fabiano M, Radler TA, Naclerio F, Ratamess NA, Kang J, Myer GD (2013) Effects of detraining on fitness performance in 7-year-old children. *J Strength Cond Res* 27(2):323–330. doi:10.1519/JSC.0b013e31827e135b
256. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N (2000) Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 88(6):2097–2106. doi:10.1152/jappl.2000.88.6.2097
257. Burgomaster KA, Moore DR, Schofield LM, Phillips SM, Sale DG, Gibala MJ (2003) Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. *Med Sci Sports Exerc* 35(7):1203–1208. doi:10.1249/01.MSS.0000074458.71025.71
258. Moore DR, Burgomaster KA, Schofield LM, Gibala MJ, Sale DG, Phillips SM (2004) Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. *Eur J Appl Physiol* 92(4-5):399–406. doi:10.1007/s00421-004-1072-y
259. Ishii N, Madarame H, Odagiri K, Naganuma M, Shinoda K (2005) Circuit training without external load induces hypertrophy in lower-limb muscles when combined with moderate venous occlusion. *Int. J. KAATSU Training Res.* 1(1):24–28. doi:10.3806/ijtr.1.24
260. Credeur DP, Hollis BC, Welsch MA (2010) Effects of handgrip training with venous restriction on brachial artery vasodilation. *Med Sci Sports Exerc* 42(7):1296–1302. doi:10.1249/MSS.0b013e3181ca7b06
261. Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T (2010) Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging* 30(5):338–343. doi:10.1111/j.1475-097X.2010.00949.x
262. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T (2011) Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol* 111(10):2525–2533. doi:10.1007/s00421-011-1873-8
263. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Bemben MG, Abe T (2011) Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow-

- restricted low-intensity resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging* 31(5):347–351.
doi:10.1111/j.1475-097X.2011.01022.x
264. Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T (2012) Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *PLoS ONE* 7(12):e52843.
doi:10.1371/journal.pone.0052843
265. Hunt JEA, Walton LA, Ferguson RA (2012) Brachial artery modifications to blood flow-restricted handgrip training and detraining. *J Appl Physiol* 112(6):956–961.
doi:10.1152/jappphysiol.00905.2011
266. Weatherholt A, Beekley M, Greer S, Urtel M, Mikesky AE (2013) Modified Kaatsu training: adaptations and subject perceptions. *Med Sci Sports Exerc* 45(5):952–961.
doi:10.1249/MSS.0b013e31827ddb1f
267. Ozaki H, Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki-Sunaga M, Naito H, Abe T (2013) Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *Eur J Appl Physiol* 113(1):167–174.
doi:10.1007/s00421-012-2422-9
268. Counts BR, Dankel SJ, Barnett BE, Kim D, Mouser JG, Allen KM, Thiebaud RS, Abe T, Bemben MG, Loenneke JP (2016) Influence of relative blood flow restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. *Muscle Nerve* 53(3):438–445. doi:10.1002/mus.24756
269. Yasuda T, Loenneke JP, Ogasawara R, Abe T (2015) Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength. *Clin Physiol Funct Imaging* 35(1):71–75. doi:10.1111/cpf.12165
270. May AK, Russell AP, Warmington SA (2018) Lower body blood flow restriction training may induce remote muscle strength adaptations in an active unrestricted arm. *Eur J Appl Physiol* 118(3):617–627. doi:10.1007/s00421-018-3806-2
271. Laswati H, Sugiarto D, Poerwandari D, Pangkahila JA, Kimura H (2018) Low-Intensity Exercise with Blood Flow Restriction Increases Muscle Strength without Altering hsCRP and Fibrinogen Levels in Healthy Subjects. *Chin J Physiol* 61(3):188–195. doi:10.4077/CJP.2018.BAG567
272. Wilk M, Krzysztofik M, Filip A, Zajac A, Bogdanis GC, Lockie RG (2020) Short-Term Blood Flow Restriction Increases Power Output and Bar Velocity During the Bench Press. *J Strength Cond Res*. doi:10.1519/JSC.0000000000003649
273. Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T, Fukunaga T (1998) Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77(1-2):189–191.
doi:10.1007/s004210050319
274. Takarada Y, Sato Y, Ishii N (2002) Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 86(4):308–314. doi:10.1007/s00421-001-0561-5

275. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N (2004) Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol* 54(6):585–592. doi:10.2170/jjphysiol.54.585
276. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, Koizumi K, Ishii N (2005) Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *Int. J. KAATSU Training Res.* 1(1):6–12. doi:10.3806/ijktr.1.6
277. Yasuda T, Abe T, Sato Y, Midorikawa T, Kearns CF, Inoue K, Ryushi T, Ishii N (2005) Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *Int. J. KAATSU Training Res.* 1(2):65–70. doi:10.3806/ijktr.1.65
278. Abe T, Kawamoto K, Yasuda T, Kearns CF, Midorikawa T, Sato Y (2005) Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *Int. J. KAATSU Training Res.* 1(1):19–23. doi:10.3806/ijktr.1.19
279. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, Kanehisa H, Fukunaga T (2006) Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech* 22(2):112–119. doi:10.1123/jab.22.2.112
280. Fujita T, Brechue WF, Kurita K, Sato Y, Abe T (2008) Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *Int. J. KAATSU Training Res.* 4(1):1–8. doi:10.3806/ijktr.4.1
281. Madarame H, Neya M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N (2008) Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 40(2):258–263. doi:10.1249/mss.0b013e31815c6d7e
282. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Aihara AY, Fernandes AdRC, Parcell AC, Ricard M, Tricoli V (2008) Effects of strength training and vascular occlusion. *Int J Sports Med* 29(8):664–667. doi:10.1055/s-2007-989405
283. Sumide T, Sakuraba K, Sawaki K, Ohmura H, Tamura Y (2009) Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *J Sci Med Sport* 12(1):107–112. doi:10.1016/j.jsams.2007.09.009
284. Kim SJ, v. d. Sherk, Bembem MG, Bembem DA (2009) Effects of short-term, low-intensity resistance training with vascular restriction on arterial compliance in untrained young men. *Int. J. KAATSU Training Res.* 5(1):1–8. doi:10.3806/ijktr.5.1
285. Sakuraba K, Ishikawa T (2009) Effect of isokinetic resistance training under a condition of restricted blood flow with pressure. *J Orthop Sci* 14(5):631–639. doi:10.1007/s00776-009-1374-3
286. Clark BC, Manini TM, Hoffman RL, Williams PS, Guiler MK, Knutson MJ, McGlynn ML, Kushnick MR (2011) Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports* 21(5):653–662. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01100.x

287. Madarame H, Ochi E, Tomioka Y, Nakazato K, Ishii N (2011) Blood flow-restricted training does not improve jump performance in untrained young men. *Acta Physiol Hung* 98(4):465–471. doi:10.1556/APhysiol.98.2011.4.10
288. Kacin A, Strazar K (2011) Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scand J Med Sci Sports* 21(6):e231–41. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01260.x
289. Takada S, Okita K, Suga T, Omokawa M, Kadoguchi T, Sato T, Takahashi M, Yokota T, Hirabayashi K, Morita N, Horiuchi M, Kinugawa S, Tsutsui H (2012) Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. *J Appl Physiol* 113(2):199–205. doi:10.1152/jappphysiol.00149.2012
290. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, Aihara AY, Fernandes AdRC, Tricoli V (2012) Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc* 44(3):406–412. doi:10.1249/MSS.0b013e318233b4bc
291. Martín-Hernández J, Marín PJ, Menéndez H, Ferrero C, Loenneke JP, Herrero AJ (2013) Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sports* 23(2):e114–20. doi:10.1111/sms.12036
292. Fitschen PJ, Kistler BM, Jeong JH, Chung HR, Wu PT, Walsh MJ, Wilund KR (2014) Perceptual effects and efficacy of intermittent or continuous blood flow restriction resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging* 34(5):356–363. doi:10.1111/cpf.12100
293. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM (2014) Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *Int J Sports Physiol Perform* 9(1):166–172. doi:10.1123/ijsp.2013-0018
294. Barcelos LC, Nunes PRP, Souza LRMF de, Oliveira AA de, Furlanetto R, Marocolo M, Orsatti FL (2015) Low-load resistance training promotes muscular adaptation regardless of vascular occlusion, load, or volume. *Eur J Appl Physiol* 115(7):1559–1568. doi:10.1007/s00421-015-3141-9
295. Natsume T, Ozaki H, Saito AI, Abe T, Naito H (2015) Effects of Electrostimulation with Blood Flow Restriction on Muscle Size and Strength. *Med Sci Sports Exerc* 47(12):2621–2627. doi:10.1249/MSS.0000000000000722
296. Colomer-Poveda D, Romero-Arenas S, Vera-Ibáñez A, Viñuela-García M, Márquez G (2017) Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men. *Eur J Appl Physiol* 117(7):1339–1347. doi:10.1007/s00421-017-3622-0
297. Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, Mattocks KT, Dankel SJ, Abe T, Bell ZW, Bentley JP, Loenneke JP (2018) Muscle Adaptations to High-Load Training and Very Low-Load Training With and Without Blood Flow Restriction. *Front Physiol* 9:1448. doi:10.3389/fphys.2018.01448

298. Luebbers PE, Witte EV, Oshel JQ, Butler MS (2019) Effects of Practical Blood Flow Restriction Training on Adolescent Lower-Body Strength. *J Strength Cond Res* 33(10):2674–2683. doi:10.1519/JSC.0000000000002302
299. Korkmaz E, Dönmez G, Uzuner K, Babayeva N, Torgutalp ŞŞ, Özçakar L (2020) Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Architecture. *J Strength Cond Res*. doi:10.1519/JSC.0000000000003612
300. Cook SB, Scott BR, Hayes KL, Murphy BG (2018) Neuromuscular Adaptations to Low-Load Blood Flow Restricted Resistance Training. *J Sports Sci Med* 17(1):66–73
301. Sieljacks P, Degn R, Hollaender K, Wernbom M, Vissing K (2019) Non-failure blood flow restricted exercise induces similar muscle adaptations and less discomfort than failure protocols. *Scand J Med Sci Sports* 29(3):336–347. doi:10.1111/sms.13346
302. Kang DY, Kim HS, Lee KS, Kim YM (2015) The effects of bodyweight-based exercise with blood flow restriction on isokinetic knee muscular function and thigh circumference in college students. *J Phys Ther Sci* 27(9):2709–2712. doi:10.1589/jpts.27.2709
303. Grønfeldt BM, Lindberg Nielsen J, Mieritz RM, Lund H, Aagaard P (2020) Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength: Systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 30(5):837–848. doi:10.1111/sms.13632
304. Möck S, Hartmann R, Wirth K, Rosenkranz G, Mickel C (2018) Correlation of dynamic strength in the standing calf raise with sprinting performance in consecutive sections up to 30 meters. *Res Sports Med* 26(4):474–481. doi:10.1080/15438627.2018.1492397
305. Trappe TA, Raue U, Tesch PA (2004) Human soleus muscle protein synthesis following resistance exercise. *Acta Physiol Scand* 182(2):189–196. doi:10.1111/j.1365-201X.2004.01348.x
306. Behringer M, Moser M, Montag J, McCourt M, Tenner D, Mester J (2015) Electrically induced muscle cramps induce hypertrophy of calf muscles in healthy adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 15(2):227–236
307. Grgic J, Schoenfeld BJ (2018) Are the Hypertrophic Adaptations to High and Low-Load Resistance Training Muscle Fiber Type Specific? *Front Physiol* 9:402. doi:10.3389/fphys.2018.00402
308. Campos GER, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS (2002) Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 88(1-2):50–60. doi:10.1007/s00421-002-0681-6
309. Vinogradova OL, Popov DV, Natreba AI, Tsvirkun DV, Kurochkina NS, Bachinin AV, Bravyi YR, Lyubaeva EV, Lysenko EA, Miller TF, Borovik AS, Tarasova OS, Orlov OI (2013) Optimization of training: New developments in safe strength training. *Hum Physiol* 39(5):511–523. doi:10.1134/S0362119713050162

310. Ogborn D, Schoenfeld BJ (2014) The Role of Fiber Types in Muscle Hypertrophy. *Strength and Conditioning Journal* 36(2):20–25. doi:10.1519/SSC.0000000000000030
311. Grgic J, Homolak J, Mikulic P, Botella J, Schoenfeld BJ (2018) Inducing hypertrophic effects of type I skeletal muscle fibers: A hypothetical role of time under load in resistance training aimed at muscular hypertrophy. *Med Hypotheses* 112:40–42. doi:10.1016/j.mehy.2018.01.012
312. Edgerton VR, Smith JL, Simpson DR (1975) Muscle fibre type populations of human leg muscles. *Histochem J* 7(3):259–266. doi:10.1007/BF01003594
313. Gollnick PD, Sjödin B, Karlsson J, Jansson E, Saltin B (1974) Human soleus muscle: a comparison of fiber composition and enzyme activities with other leg muscles. *Pflügers Arch* 348(3):247–255. doi:10.1007/BF00587415
314. Evans C, Vance S, Brown M (2010) Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *J Sports Sci* 28(9):999–1007. doi:10.1080/02640414.2010.485647
315. Gavanda S, Geisler S, Quitmann OJ, Schiffer T (2019) The Effect of Block Versus Daily Undulating Periodization on Strength and Performance in Adolescent Football Players. *Int J Sports Physiol Perform* 14(6):814–821. doi:10.1123/ijsp.2018-0609
316. Gavanda S, Geisler S, Quitmann OJ, Bauhaus H, Schiffer T (2020) Three Weeks of Detraining Does Not Decrease Muscle Thickness, Strength or Sport Performance in Adolescent Athletes. *Int J Exerc Sci* 13(6):633–644
317. Gavanda S, Isenmann E, Schlöder Y, Roth R, Freiwald J, Schiffer T, Geisler S, Behringer M (2020) Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial. *PLoS ONE* 15(6):e0235377. doi:10.1371/journal.pone.0235377
318. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJR, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, Rowland TW (2009) Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res* 23(5 Suppl):S60-79. doi:10.1519/JSC.0b013e31819df407
319. Lloyd RS, Faigenbaum AD, Stone MH, Oliver JL, Jeffreys I, Moody JA, Brewer C, Pierce KC, McCambridge TM, Howard R, Herrington L, Hainline B, Micheli LJ, Jaques R, Kraemer WJ, McBride MG, Best TM, Chu DA, Alvar BA, Myer GD (2014) Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus. *Br J Sports Med* 48(7):498–505. doi:10.1136/bjsports-2013-092952
320. Meyer NL, Sundgot-Borgen J, Lohman TG, Ackland TR, Stewart AD, Maughan RJ, Smith S, Müller W (2013) Body composition for health and performance: a survey of body composition assessment practice carried out by the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance under the auspices of the IOC Medical Commission. *Br J Sports Med* 47(16):1044–1053. doi:10.1136/bjsports-2013-092561

321. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU (2010) Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc* 42(8):1582–1598. doi:10.1249/MSS.0b013e3181d2013a
322. Ramos Veliz R, Requena B, Suarez-Arrones L, Newton RU, Sáez de Villarreal E (2014) Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *J Strength Cond Res* 28(4):1007–1014. doi:10.1519/JSC.0000000000000240
323. Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaiakevou G, Patikas D (2005) The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res* 19(2):369–375. doi:10.1519/R-14944.1
324. Coutts AJ, Murphy AJ, Dascombe BJ (2004) Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players. *J Strength Cond Res* 18(2):316–323. doi:10.1519/R-12972.1
325. Seitz LB, Reyes A, Tran TT, Sáez de Villarreal E, Haff GG (2014) Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 44(12):1693–1702. doi:10.1007/s40279-014-0227-1
326. Peitz M, Behringer M, Granacher U (2018) Correction: A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth- What do comparative studies tell us? *PLoS ONE* 13(11):e0207641. doi:10.1371/journal.pone.0207641
327. Sullivan GM, Feinn R (2012) Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *J Grad Med Educ* 4(3):279–282. doi:10.4300/JGME-D-12-00156.1
328. Afonso J, Nikolaidis PT, Sousa P, Mesquita I (2017) Is Empirical Research on Periodization Trustworthy? A Comprehensive Review of Conceptual and Methodological Issues. *J Sports Sci Med* 16(1):27–34
329. Schoenfeld BJ, Ratamess NA, Peterson MD, Contreras B, Tiryaki-Sonmez G (2015) Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res* 29(7):1821–1829. doi:10.1519/JSC.0000000000000970
330. Haff GG (2004) Roundtable discussion: periodization of training-part 2. *Strength and Conditioning Journal* 26(2):56–70
331. Ivey FM, Tracy BL, Lemmer JT, NessAiver M, Metter EJ, Fozard JL, Hurley BF (2000) Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55(3):B152-7; discussion B158-9. doi:10.1093/gerona/55.3.b152
332. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bembem MG (2010) The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol* 108(1):147–155. doi:10.1007/s00421-009-1204-5

333. Libardi CA, Chacon-Mikahil MPT, Cavaglieri CR, Tricoli V, Roschel H, Vechin FC, Conceição MS, Ugrinowitsch C (2015) Effect of concurrent training with blood flow restriction in the elderly. *Int J Sports Med* 36(5):395–399. doi:10.1055/s-0034-1390496
334. Ellefsen S, Hammarström D, Strand TA, Zacharoff E, Whist JE, Rauk I, Nygaard H, Vegge G, Hanestadhaugen M, Wernbom M, Cumming KT, Rønning R, Raastad T, Rønnestad BR (2015) Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 309(7):R767-79. doi:10.1152/ajpregu.00497.2014
335. Cissik J, Hedrick A, Barnes M (2008) Challenges Applying the Research on Periodization. *Strength and Conditioning Journal* 30(1):45–51. doi:10.1519/SSC.0b013e3181637f83
336. Man IOW, Markland KL, Morrissey MC (2004) The validity and reliability of the Perometer in evaluating human knee volume. *Clin Physiol Funct Imaging* 24(6):352–358. doi:10.1111/j.1475-097X.2004.00577.x
337. Wikstrom EA, Tillman MD, Chmielewski TL, Borsa PA (2006) Measurement and evaluation of dynamic joint stability of the knee and ankle after injury. *Sports Med* 36(5):393–410. doi:10.2165/00007256-200636050-00003
338. Farley CT, Morgenroth DC (1999) Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping. *J Biomech* 32(3):267–273. doi:10.1016/s0021-9290(98)00170-5
339. Ste Croix MBA de, Hughes JD, Lloyd RS, Oliver JL, Read PJ (2017) Leg Stiffness in Female Soccer Players: Intersession Reliability and the Fatiguing Effects of Soccer-Specific Exercise. *J Strength Cond Res* 31(11):3052–3058. doi:10.1519/JSC.0000000000001715
340. Ruggiero L, Dewhurst S, Bampouras TM (2016) Validity and Reliability of Two Field-Based Leg Stiffness Devices: Implications for Practical Use. *J Appl Biomech* 32(4):415–419. doi:10.1123/jab.2015-0297
341. Mersmann F, Bohm S, Arampatzis A (2017) Imbalances in the Development of Muscle and Tendon as Risk Factor for Tendinopathies in Youth Athletes: A Review of Current Evidence and Concepts of Prevention. *Front Physiol* 8:987. doi:10.3389/fphys.2017.00987
342. Centner C, Lauber B, Seynnes OR, Jerger S, Sohnius T, Gollhofer A, König D (2019) Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training. *J Appl Physiol* 127(6):1660–1667. doi:10.1152/jappphysiol.00602.2019
343. Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A (2015) Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med Open* 1(1):7. doi:10.1186/s40798-015-0009-9
344. Kraemer WJ, Ratamess NA (2005) Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35(4):339–361. doi:10.2165/00007256-200535040-00004

345. Zourdos MC, Jo E, Khamoui AV, Lee S-R, Park B-S, Ormsbee MJ, Panton LB, Contreras RJ, Kim J-S (2016) Modified Daily Undulating Periodization Model Produces Greater Performance Than a Traditional Configuration in Powerlifters. *J Strength Cond Res* 30(3):784–791. doi:10.1519/JSC.0000000000001165
346. Colquhoun RJ, Gai CM, Walters J, Brannon AR, Kilpatrick MW, D’Agostino DP, Campbell BI (2017) Comparison of Powerlifting Performance in Trained Men Using Traditional and Flexible Daily Undulating Periodization. *J Strength Cond Res* 31(2):283–291. doi:10.1519/JSC.0000000000001500
347. Kiely J (2018) Periodization Theory: Confronting an Inconvenient Truth. *Sports Med* 48(4):753–764. doi:10.1007/s40279-017-0823-y
348. Caldas LC, Guimarães-Ferreira L, Duncan MJ, Leopoldo AS, Leopoldo APL, Lunz W (2016) Traditional vs. undulating periodization in the context of muscular strength and hypertrophy : a meta-analysis. *International journal of sports science* 6(6):219–229
349. Grgic J, Mikulic P, Podnar H, Pedisic Z (2017) Effects of linear and daily undulating periodized resistance training programs on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ* 5:e3695. doi:10.7717/peerj.3695
350. Buckner SL, Jessee MB, Mouser JG, Dankel SJ, Mattocks KT, Bell ZW, Abe T, Loenneke JP (2020) The Basics of Training for Muscle Size and Strength: A Brief Review on the Theory. *Med Sci Sports Exerc* 52(3):645–653. doi:10.1249/MSS.0000000000002171
351. Grgic J, Lazinica B, Mikulic P, Schoenfeld BJ (2018) Should resistance training programs aimed at muscular hypertrophy be periodized? A systematic review of periodized versus non-periodized approaches. *Science & Sports* 33(3):97-104. doi:10.1016/j.scispo.2017.09.005
352. Wackerhage H (2014) *Molecular exercise physiology. An introduction.* Routledge Taylor & Francis Group, London, New York
353. Schoenfeld BJ (2013) Is there a minimum intensity threshold for resistance training-induced hypertrophic adaptations? *Sports Med* 43(12):1279–1288. doi:10.1007/s40279-013-0088-z
354. Stöggl T, Sperlich B (2014) Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol* 5:33. doi:10.3389/fphys.2014.00033
355. Willardson JM (2007) The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *J Strength Cond Res* 21(2):628–631. doi:10.1519/R-20426.1
356. Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan AE, Kleiner SM, Jäger R, Collins R, Cooke M, Davis JN, Galvan E, Greenwood M, Lowery LM, Wildman R, Antonio J, Kreider RB (2018) ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr* 15(1):38. doi:10.1186/s12970-018-0242-y

8. Anhang

8.1. Vollständige Liste der Publikationen und Kongressbeiträge

8.1.1. Peer-Review-Publikationen

- Gavanda, S.,** Geisler, S., Quittmann, J. O. & Schiffer, T. (2018). The Effect of Block Versus Daily Undulating Periodization on Strength and Performance in Adolescent Football Players. *International journal of sports physiology and performance*, 14 (6), 814-821.
- Gavanda, S.,** Geisler, S., Quittmann, J. O., Bauhaus, H. & Schiffer, T. (2020). Three Weeks of Detraining Does Not Decrease Muscle Thickness, Strength or Sport Performance in Adolescent Athletes. *International Journal of Exercise Science*, 13(6), 633-644.
- Gavanda, S.,** Isenmann, E., Schlöder, Y., Roth, R., Freiwald, J., Schiffer, T., Geisler, S. & Behringer, M. (2020). Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial. *PLoS ONE* 15(6): e0235377.
- Gavanda, S.,** Wever, M., Isenmann, E. & Geisler, S. (under review). Training with an elastic, supportive bench press device is not superior to a conventional training approach in trained males. *German Journal of Exercise and Sport Research*.
- Gavanda, S.,** Isenmann, E., Geisler, S., Faigenbaum, A. & Zinner, C. (Veröffentlichung in Vorbereitung). The Effects of High-Intensity Functional Training on Physical Performance in Adolescents Compared to Traditional Strength or Endurance Training: A Randomized Controlled Trial. *German Journal of Exercise and Sport Research*.
- Gavanda, S.,** Hosang, T. J., Grasser, J., Wagener, S., Sönmez, N., Kayser, I. & Knicker, A. J. (Veröffentlichung in Vorbereitung). The influence of self-selected stimulating and relaxing music on vertical jump performance in male volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*

8.1.2. Präsentationen und publizierte Abstracts

- Gavanda, S. & Geisler, S.** (2016). Comparison of Muscle Activity During Stump Straps Bench Press and Conventional Bench Press on Selected Upper Body Muscles. *Posterpräsentation auf dem 21. European Congress of Sport Science in Wien*.
- Gavanda, S.,** Kantarev, A., Brinkmann, C., Geisler, S. & Schiffer, T. (2017). Changes in Body Composition and Performance in Adolescent American Football Players Following Three Weeks of Detraining. *Posterpräsentation auf dem 22. European Congress of Sport Science in Essen*.
- Geisler, S. & **Gavanda, S.** (2018). Viele Wege führen ... zur muskulären Hypertrophie. *Abstract in der Deutschen Zeitschrift für Sportmedizin*, 69 (2).
- Gavanda, S.,** Geisler, S. & Schiffer T. (2018). A Comparison of Periodization Models in Trained Adolescent American Football Players. *Präsentation auf dem 23. European Congress of Sport Science in Dublin*.
- Geisler, S. & **Gavanda, S.** (2018). Resistance training at high versus low intensity on hypertrophy and strength: a twin case study. *Präsentation auf der 11. International Conference on Strength Training in Perth*.
- Gavanda, S.,** Leber, J. P., von Andrian-Werburg, J. U., Isenmann, E. & Geisler, S. (2019). The use and dosage of pre-workout supplements amongst recreational athletes. *Abstract im German Journal of Exercise and Sport Research*.

Gavanda, S., Hegerfeld, B., Eyre, J. C., Quittmann, O. J., Kreutz & T., Geisler, S. (2020). Unilateral vs. bilateral training on strength and sport performance in adolescent soccer players. *Präsentation auf dem 2. Fitnesswissenschaftskongress in Düsseldorf.*

Gavanda, S., Schrey, S. & Geisler, S. (2020). Strength Adaptions and Body Composition Changes Following High Vs. Low Volume Resistance Training and Detraining. *Posterpräsentation auf dem 67. American College of Sports Medicine Annual Meeting in San Francisco.*