

Posttetanische Potenzierung und ihre Anwendung in der Trainingspraxis

Bachelorarbeit I

Eingereicht von: **Josef Jancso**

Matrikelnummer: **1110609015**

am **Fachhochschul-Bachelorstudiengang
2011/12, Training und Sport**

Begutachter: **Mag. Dieter Simon**

Wiener Neustadt, Abgabedatum

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit,

1. dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe, sowie
2. dass ich diese Bachelorarbeit bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und
3. dass die in Papierform vorliegende Variante mit der digitalen Variante ident ist.
4. Hiermit willige ich ein, dass das Kurzreferat (Abstract) und Daten, die auf die Bachelorarbeit Bezug nehmen, veröffentlicht und an andere nationale und internationale Datenbanken weitergegeben werden.

Wiener Neustadt, _____

Datum

Unterschrift

Kurzzusammenfassung:

Die Schnellkraft hat eine entscheidende Bedeutung für viele Sportarten. In der Trainingswissenschaft wird die Effektivität der verschiedenen Trainingsmethoden im Bereich der Schnellkraft gegensätzlich diskutiert. Complex Training ist eine Trainingsvariante, in der traditionelle Krafttrainings- und plyometrische Übungen miteinander in einer Einheit kombiniert werden, um eine synergetische Wirkung aus den zwei Trainingsmethoden zu erhalten. Eine wesentliche Komponente für die Effektivität von Complex Training ist die Posttetanische Potenzierung (PTP). Das Phänomen der PTP basiert auf einer neuromuskulären Voraktivierung, ausgelöst durch Übungen mit Gewichten, welche bei der folgenden plyometrischen Übung zu einer kurzzeitig höheren Kraftentfaltung führen kann. Ziele und Fragestellungen der vorliegenden Arbeit sind, die Kurzzeit-Effekte von PTP und Langzeit-Anpassung an Training unter Einsatz der PTP zu prüfen. Außerdem wird die praktische Anwendung von PTP im Training und vor dem Wettkampf dokumentiert. Als Literaturquellen dienten hauptsächlich aktuelle Studien und Reviews über PTP, um die zentralen Fragenstellungen zu beantworten. Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft, können die Kurzzeit-Effekte von PTP nicht immer bestätigt werden. Ob eine Langzeit-Anpassung an Training unter Einsatz der PTP stattfindet, kann ebenfalls nicht bewiesen werden. Der Einsatz von PTP vor dem Wettkampf ist limitiert. Es gibt einige wichtige Faktoren zur Auslösung von PTP, auf die der Athlet vor dem Wettkampf keinen Einfluss hat.

Schlagworte:

Posttetanische Potenzierung (PTP), Complex Training, Schnellkraft, Explosivkraft

Abstract:

In many sports the ability to display high-power performance is of vital importance. In sports science, the effectiveness of different training interventions to enhance power is debated. Complex training is a training variety combining traditional strength and plyometric training in the same session in order to obtain a synergetic impact. One major factor determining the effectiveness of complex training is postactivation potentiating (PAP). The phenomenon of PAP is based on neuromuscular precondition, elicited by strength exercises, which can temporarily result in a higher power output for the following plyometric exercise. The aim of the present bachelor thesis is to evaluate the short-term and long-term effects of PAP. Furthermore the practical utilization of PAP is documented in training and prior to competition. The paper is based on current studies and reviews about PAP. Based on current scientific knowledge the short-term effects of PAP cannot always be confirmed. Nor can it be proven that a long-term adaptation results from the use of PAP. The application of PAP prior to competition is limited. There are some vital factors in making effective use of PAP which cannot be influenced by the athlete prior to competition.

Keywords:

postactivation potentiating (PAP), complex training, power, rate of force

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	1
1.2 AUFBAU UND METHODIK	2
2. GRUNDELEMENTE DER SCHNELLKRAFT	3
2.1 MAXIMALKRAFT	4
2.2 EXPLOSIVKRAFT	6
2.3 VARIATIONEN VON LASTEN UND GESCHWINDIGKEITEN BEIM SCHNELLKRAFTTRAINING	8
3. POSTTETANISCHE POTENZIERUNG	11
3.1 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE POSTTETANISCHE POTENZIERUNG	13
3.2 KURZZEIT-EFFEKT DER POSTTETANISCHEN POTENZIERUNG	15
3.3 LANGZEIT-ANPASSUNG AN TRAINING UNTER EINSATZ DER POSTTETANISCHEN POTENZIERUNG	17
4. KONZEPTION VON TRAININGSEINHEITEN ZUM NUTZEN DER PTP	21
4.1 EINSATZ VON PTP IM WARM-UP ZUM WETTKAMPF	23
5. CONCLUSIO	24
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	27

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	28
------------------------------	-----------

LITERATURVERZEICHNIS	29
-----------------------------	-----------

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit darauf verzichtet, die männliche und die weibliche Form der Substantive, wie beispielsweise „Athlet“ und „Sportler“ anzuführen. Es sind somit stets beide Geschlechter gemeint.

1. Einleitung

In vielen Sportarten ist die Ausführung einer sportlichen Bewegung von entscheidender Bedeutung. Beispielsweise Springen, Laufen, das Werfen eines Sportgerätes oder in Zweikampfsportarten das Ausführen eines Schlages mit hoher Geschwindigkeit bzw. mit hoher Beschleunigung. Eine Bewegung in einer vorgegebenen Zeit, mit hoher Kraft bzw. großer Bewegungsgeschwindigkeit auszuführen, wird als Schnellkraft bezeichnet.¹

Es gibt ein Vielzahl von Trainingsmethoden um die Schnellkraft gezielt zu steigern. In der Trainingswissenschaft wird die Effektivität der einzelnen Methoden teilweise kontrovers diskutiert. Die Entscheidung, welche Methode für die Schnellkraftentwicklung eingesetzt werden soll, kann für Trainer und Athleten daher schwierig sein.²

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Eine Trainingsmethode für Schnellkrafttraining ist das Complex Training (CT). CT setzt sich aus traditionellen Kraftübungen und der Zielbewegung biomechanisch ähnlichen plyometrischen Übungen zusammen. Ein Beispiel für solch eine Übungskombination wären 5 Kniebeugen nach dem Prinzip der letzten Wiederholung, gefolgt von 5 Counter-movement jumps.³ Durch CT kann eine höhere Leistung für die plyometrischen Übungen erzielt werden, im Vergleich zur alleinigen Ausführung der plyometrischen Übungen.⁴ Eine wesentliche Komponente für die Effektivität von CT ist das Phänomen der Posttetanischen Potenzierung (PTP), jedoch sind auch andere Mechanismen an der Wirksamkeit von CT beteiligt.⁵ Die der PTP zugrunde liegende Annahme ist, dass durch die Kraftübung mit schwerer Last eine neuromuskuläre Erregung ausgelöst wird, wodurch eine höhere Leistung für die folgende

¹ Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

² Vgl. Haff/Nimphius, 2012, S. 3.

³ Vgl. Matthews/Comfort, 2008, p. 12.

⁴ Vgl. Baker, 2003, p. 493ff., zit. nach: Matthews/Comfort, 2008, p. 12.

⁵ Vgl. Robbins, 2005, p. 456.

Schnellkraftübung zu erwarten ist.⁶ Jedoch kann die Wirkung der PTP in der Praxis nicht immer bestätigt werden.

Die zwei zentrale Fragestellungen der vorliegenden Bachelorarbeit sind, die Kurzzeit-Effekte von PTP und die Langzeit-Anpassung an Training unter Einsatz von PTP zu prüfen. Des Weiteren soll die praktische Anwendung von PTP im Training und vor dem Wettkampf dokumentiert werden.

1.2 Aufbau und Methodik

Anfangs werden die Grundelemente der Schnellkraft und ihre Bedeutung für schnellkraftorientierte Sportarten definiert. Zusätzlich werden für diese Arbeit relevante Schnellkrafttrainingssysteme diskutiert, da diese Systeme die Grundlage für CT bilden. Außerdem wird der physiologische Hintergrund für PTP erläutert und die Einflussfaktoren auf ihre Wirksamkeit behandelt. Der aktuelle Stand der Wissenschaft zu Kurzzeit-Effekten und Langzeit-Anpassung an Trainingseinheiten mit dem Einsatz von PTP wird dargestellt. Zum Abschluss werden Trainingsplan-Konzeptionen für die Nutzung von PTP und der Einsatz vor dem Wettkampf aufgezeigt.

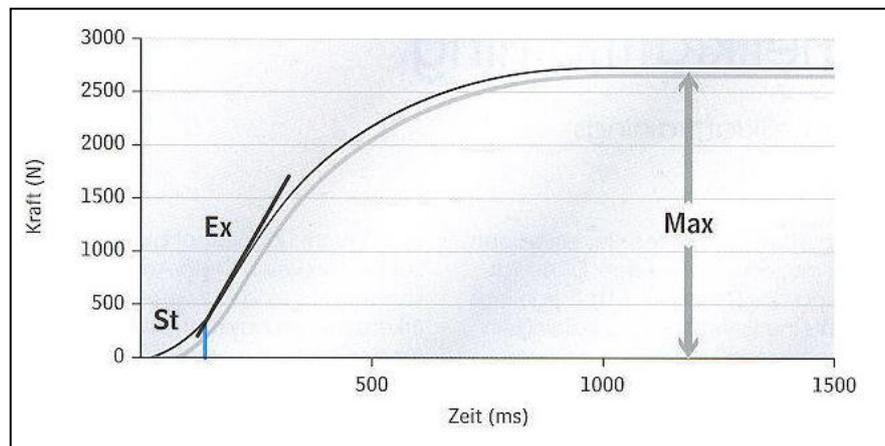
Die angewandte Methodik ist durch sorgfältige Literaturrecherche vorhandene Erkenntnisse miteinander zu vergleichen, logische Rückschlüsse daraus zu ziehen und hinsichtlich der zentralen Fragestellungen wiederzugeben. Als Hauptliteraturquellen dienten aktuelle Studien und Reviews zu den Themen postactivation potentiation, complex training, power und rate of force.

⁶ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1996, p. 67ff., zit. nach: Robbins, 2005, p. 453.

2. Grundelemente der Schnellkraft

Die Definition für Schnellkraft ist, die „Fähigkeit, des Sportlers bei willkürlicher Kontraktion die Muskelkraft schnell zu mobilisieren und das Kraftmaximum in optimal kurzer Zeit zu erreichen.“⁷

Die Schnellkraft setzt sich aus den Teilkomponenten Start-, Explosiv- und Maximalkraft zusammen, die in Abb. 1 in einem Kraft-Zeit-Diagramm dargestellt sind. Sie wird vom Muskelquerschnitt, von der Muskelfaserverteilung und von der Innervationsfrequenz beeinflusst.⁸ Die Startkraft ist die Anfangskraft einer muskulären Kontraktion in den ersten 25-30 Millisekunden. Danach folgt die Explosivkraft, die Auskunft über den größten Kraftanstieg pro Zeiteinheit gibt.⁹ Die Maximalkraft hat einen bedeutenden Einfluss auf die Schnellkraft¹⁰ und auf den Ausprägungsgrad der Explosivkraft.¹¹



Legende: St=Startkraft, Ex=Explosivkraft, Max=Maximalkraft, N=Newton, ms=Millisekunden

Abb. 1: Kraft-Zeit-Kurve¹²

Häufig werden in der Trainingswissenschaft die Begriffe Schnellkraft und Explosivkraft gleichgesetzt.¹³

⁷ Harre, 2011, S. 162.

⁸ Vgl. De Mares, 2002, w. p., zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

⁹ Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

¹⁰ Vgl. Kraemer/Newton, 1994, w.p., zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

¹¹ Vgl. Bührle et al., 1982, 246ff., zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

¹² Quelle: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

Um die einzelnen Komponenten besser zu verstehen und ihren Zusammenhang zu einander darzustellen, wird sich der erste Teil der vorliegenden Arbeit mit den Teilkomponente der Schnellkraft und deren Trainingsmethoden beschäftigen. Auf die Startkraft wird nicht mehr explizit eingegangen, weil sie als ein Teil der Explosivkraft verstanden wird.

2.1 Maximalkraft

Maximalkraft wird als „die höchste Kraft, die der Sportler bei willkürlicher Muskelkontraktion auszuüben vermag“¹⁴ definiert.

Die hohe Korrelation zwischen Maximalkraft und Schnellkraft zeigt sich in der Praxis indem Spieler höherer Spielklassen von Mannschaftssportarten bessere Maximalkraft- und Schnellkraftwerte aufweisen und somit stärker und schneller sind als Spieler der unteren Klassen.¹⁵ Die Größe der Kraft in den Sportarten kann sogar den Unterschied zwischen Stamm- und Ersatzspieler ausmachen.¹⁶ Aus diesem Grund sollte Krafttraining eine zentrale Rolle in der Trainingsplanung von Athleten einnehmen.¹⁷ Gute Schnellkraftsportler sollten mindestens das Doppelte vom Körpergewicht als Last in der Kniebeuge erreichen.¹⁸ Fußballspieler, die das schaffen, sind signifikant schneller und können höher springen als schwächere Spieler.¹⁹ Jugendliche Sportler im Alter von 16-19 Jahren sollten leicht das Zweifache des Körpergewichts in der Kniebeuge bewältigen können, bei strukturierter und richtiger Trainingsanleitung.²⁰ Schwächere Athleten profitieren ebenfalls von ihren Maximalkraft, nur nicht in dem Ausmaß. Athleten mit einem hohen Maximalkraftniveau müssen dieses auch weiter trainieren, ansonsten verlieren sie schnell an Kraft und somit auch an Schnellkraft.²¹

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Beziehung zwischen der Größe der zu bewegendes Last und der Bewegungsgeschwindigkeit. Last und Bewegungsgeschwindigkeit sind zueinander indirekt proportional. Je größer die Last,

¹³ Vgl. Komi/Häkkinen, 1989, S. 157ff., zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 35.

¹⁴ Harre., 2011, S. 159.

¹⁵ Vgl. Hansen et al., 2011, p. 2382ff., zit. nach: Haff/Nimphius, 2012, p. 2.

¹⁶ Vgl. Baker et al., 1993, p. 224ff., zit. nach: Haff/Nimphius, 2012, p. 2.

¹⁷ Vgl. Haff/Nimphius, 2012, p. 4.

¹⁸ Vgl. Baker et al., 1993, p. 224ff., zit. nach: Haff/Nimphius, 2012, p. 4.

¹⁹ Vgl. Wisloff et al., 2004, p. 285ff., zit. nach: Haff/Nimphius, 2012, p. 4.

²⁰ Vgl. Keiner et al., 2012, 357ff., zit. nach: Haff/Nimphius, 2012, p. 5.

²¹ Vgl. Haff/Nimphius, 2012, S. 2ff.

desto kleiner die Bewegungsgeschwindigkeit und umgekehrt.²² Die Korrelation zwischen Maximalkraft und Schnellkraft wird kleiner, je geringer die Last wird.²³ Umgekehrt wird die Bedeutung der Maximalkraft umso größer, je höher die Last ist.²⁴ Allerdings zeigt sich in der Praxis auch ein Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit mit geringen Lasten und hoher Maximalkraft. International erfolgreiche Kugelstoßer stoßen eine 7,25 kg schwere Kugel und weisen im Bankdrücken eine Maximalkraft von über 200 kg auf. Sogar die Steigerung der Schussgeschwindigkeit beim Fußball oder die Schlaggeschwindigkeit beim Boxen konnte durch Maximalkrafttraining erreicht werden. Jedoch wird immer die Bedeutung von Techniktraining zur Transformation der Kraft in die Zielbewegung betont.²⁵

Um die Maximalkraft bei einer sportlichen Bewegung zu erreichen, wird eine bestimmte Zeit benötigt. Diese Zeit ist vom Sportler und von der Bewegung abhängig. Durchschnittlich werden unter isometrischen Bedingungen 0,3-0,4 Sekunden benötigt, um die Maximalkraft zu erreichen. Bei Hochleistungssportlern ist in vielen Sportarten, wie Sprinten, Weitsprung oder Kugelstoßen, die sportliche Bewegung in weniger als 0,2 Sekunden abgeschlossen. Somit bleibt diesen Athleten nicht genug Zeit, um ihre Maximalkraft zu entfalten. Stärkere Athleten die schon eine ausgeprägte Maximalkraft aufweisen, z.B ein Einwiederholungsmaximum (one repetition maximum, 1-RM) von über 200 kg im Bankdrücken, können eine weitere Steigerung der Schnellkraft in erster Linie über die Erhöhung der Explosivkraft erreichen. Schwächere Athleten sollten hingegen weiterhin danach trachten ihre Maximalkraft zu verbessern, da sie auf diesem Weg eine gute Basis für die sportliche Bewegung schaffen.²⁶

²² Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S.39.

²³ Vgl. Hohmann et al., 2002, w. p., zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 36.

²⁴ Vgl. Komi/Häkkinen, 1989, S. 157ff., zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 36.

²⁵ Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 36.

²⁶ Vgl. Zatsiorsky/Kraemer, 2008, S. 43ff.

2.2 Explosivkraft

Wie bereits erwähnt, ist die Explosivkraft der Kraftanstieg pro Zeiteinheit bzw. wird über die Steilheit der Kraft-Zeit-Kurve definiert. Abb. 2 zeigt den Einfluss verschiedener Trainingsmethoden auf die Explosivkraft.

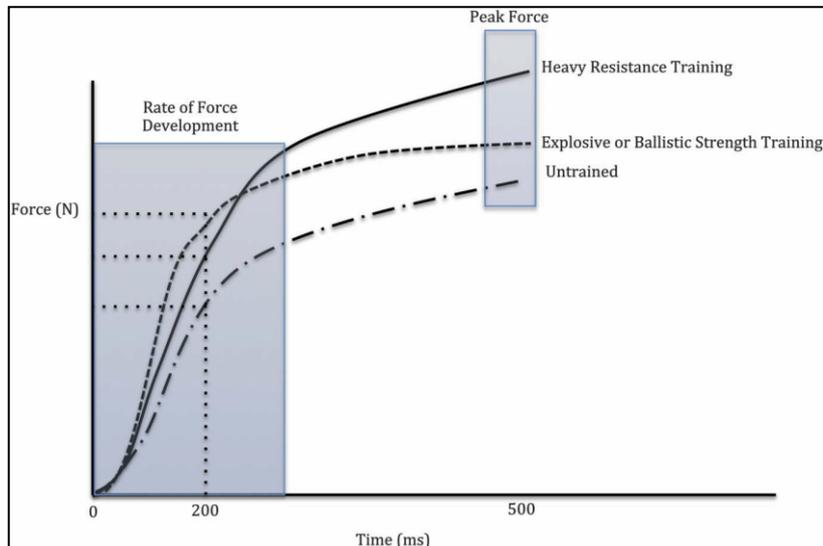


Abb. 2: Einfluss verschiedener Trainingsmethoden auf die Explosivkraft²⁷

Durch Training mit hohen Lasten wird das Niveau der Maximalkraft erhöht, bei Untrainierten bzw. bei weniger krafterprobten Athleten wird darüber hinaus die Explosivkraft mit trainiert.²⁸

Die Maximalkraft kann bereits mit einer relativ niedrigen Innervationsfrequenz von etwa 55 Hz erreicht werden. Soll allerdings eine Innervation mit hoher Frequenz bezweckt werden, hinsichtlich eines steilen Kraftanstieges, muss die Übung willkürlich explosiv ausgeführt werden.²⁹ Es wird angenommen, dass durch die explosive Ausführung eine frühere Rekrutierung von schnell zuckenden Typ II-Muskelfasern stattfindet, was auf eine Veränderung der intramuskulären Koordination hindeutet. Intramuskuläres Koordinationstraining (IK-Training) findet eher bei maximalen Muskelkontraktionen statt.³⁰

²⁷ Quelle: Haff/Nimphius, 2012, S. 6.

²⁸ Vgl. Haff/Nimphius, 2012, S. 5.

²⁹ Vgl. Sale, 2003, p. 281ff. zit. nach: Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 37.

³⁰ Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 37.

Abgesehen von der Einflussnahme mittels Maximalkrafttraining wird die Explosivkraft durch plyometrische, ballistische und Übungen aus dem Gewichtheben verbessert.³¹

Beim plyometrischen Training oder Reaktivkrafttraining wird durch eine Aushol- oder Landebewegung eine exzentrische Muskelvorspannung der folgenden konzentrischen Kontraktion vorgeschaltet. Die konzentrische, überwindende Phase muss unmittelbar nach der exzentrischen, nachgebenden Phase erfolgen, damit von der gespeicherten Energie im Muskel-Sehnenkomplex, ausgelöst durch die exzentrische Vorspannung, möglichst viel erhalten bleibt. So kann für die konzentrische Kontraktion eine höhere Kraft erreicht werden. Sportliche Bewegungen nach einer muskulären Vorspannung finden im Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) statt. Im DVZ gilt das biomechanische Prinzip der Anfangskraft. Sprints, leichtathletische Sprungvarianten oder Sprünge in Spilsportarten erfolgen im DVZ. Plyometrisches Training für den Oberkörper im DVZ sind Übungen mit Trainingsgeräten wie Schlitten oder Schaukel.³²

Im ballistischen Krafttraining kommen klassische Kraftübungen wie Kniebeugen oder Bankdrücken zum Einsatz, wobei die Last maximal beschleunigt wird. Dies bedeutet, dass die konzentrische Phase der Kniebeuge in einen Sprung übergeht und beim Bankdrücken die Last weggeworfen wird. Durch die ballistische Ausführung ist eine hohe Beschleunigung, eine hohe Kontraktionsgeschwindigkeit und eine hohe Kraftentfaltung notwendig. Die Lasten für ballistisches Krafttraining variieren zwischen 0-80% des 1-RM.³³ Soll ballistisches Training im Sinne einer höheren Bewegungsgeschwindigkeit ausgeführt werden, werden leichtere Lasten zwischen 0-60% des 1-RM eingesetzt.³⁴

Übungen aus dem Gewichtheben wie Umsetzen, Reißen und ihre Variationen, sind durch ihre explosive Ausführung ebenfalls bestens zum Schnellkrafttraining geeignet.³⁵

³¹ Vgl. Cormie et al., 2011, p. 126.

³² Vgl. Harre., 2011, S. 162, 331.

³³ Vgl. Cormie et al., 2011, p. 129f.

³⁴ Vgl. Cormie et al., 2011, p. 136.

³⁵ Vgl. Cormie et al., 2011, p. 134.

2.3 Variationen von Lasten und Geschwindigkeiten beim Schnellkrafttraining

Ein anderer Ansatz des Schnellkrafttrainings nimmt auf die, bei der Übungsausführung erbrachte, physikalische Leistung Bezug. Die physikalische Leistung setzt sich aus Kraft mal Geschwindigkeit zusammen. Daher sind das die zwei Parameter, die Einfluss auf die physikalische Leistung haben. Mit Geschwindigkeit ist sowohl die Bewegungsgeschwindigkeit als auch die Kontraktionsgeschwindigkeit gemeint.³⁶ In der englischen Literatur wird die Bezeichnung für physikalische Leistung und Schnellkraft gleichgesetzt. Die Definition der Schnellkraft ist, mittels willkürlicher Muskelkontraktion das Kraftmaximum in optimal kurzer Zeit zu erreichen.³⁷ Deshalb sind die entscheidenden Parameter für die Schnellkraft ebenfalls Kraft und Geschwindigkeit.

Die Last, bei der die höchste Leistung erbracht wird, wird als optimal load³⁸ oder die Last an der Muskelleistungsschwelle bezeichnet.³⁹ Die höchste Leistung wird üblicherweise mit mittleren Lasten erzielt, variiert jedoch von Übung zu Übung. Beispielsweise beträgt die optimal load beim Bankdrücken zwischen 30-45% des 1-RM.⁴⁰

Wirth und Schmidtbleicher unterscheiden nicht zwischen Training an der Muskelleistungsschwelle und der Schnellkraft-Trainingsmethode mit mittlerer Last, weil sich die Intensitätsbereiche überschneiden.⁴¹

Die Belastungsintensität für Schnellkrafttraining ist in drei Kategorien zu unterteilen. Keine bis geringe Zusatzlasten bei plyometrischen Übungen, mittlere Lasten beim Muskelleistungsschwellen-Training und hohe Lasten beim IK-Training. Welche Methode zur Verbesserung der Schnellkraft am besten geeignet ist, wird in der Trainingswissenschaft kontrovers diskutiert.

Aufgrund der hohen Kontraktionsgeschwindigkeit, die bei hoher bis maximaler Last bei explosiver Ausführung entsteht, ist die Maximalkraft-Trainingsmethode der

³⁶ Vgl. Haff/Nimphius, 2012, p. 3.

³⁷ Vgl. Harre, 2011, S. 162.

³⁸ Vgl. Cormie et al., 2011, p. 136

³⁹ Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 39.

⁴⁰ Vgl. Cormie et al., 2011, p. 137.

⁴¹ Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 40.

Schnellkraft-Trainingsmethode mit mittlerer Last überlegen. Jedoch wird hier ausdrücklich auf die willentliche explosive Kraftentfaltung hingewiesen.⁴²

Nach Schnabel et al. wird durch IK-Training nicht nur die Maximalkraft erhöht, sondern auch die Bewegungsgeschwindigkeit und zwar über den gesamten Belastungsbereich von maximaler bis geringer Last.⁴³

Haff und Nimphius differenzieren die gewählte Schnellkraft-Trainingsmethode nach den sportartspezifischen Anforderungen. Ein sehr vielschichtiges Beispiel ist die Sportart Rugby. Rugby Spieler müssen einerseits in der Lage sein, beim Zusammenstoß mit anderen Spielern, hohe Lasten zu überwinden. Für diesen Zweck ist das Training mit Lasten >80% des 1-RM effektiver als das Training mit geringen Lasten. Andererseits ist es für einen Rugby Spieler erforderlich, bei einem Sprint oder Sprung, das eigene Körpergewicht mit hoher Geschwindigkeit zu bewegen. Daher ist für Rugby Spieler auch ein Krafttraining mit geringer Last und hoher Bewegungsgeschwindigkeit notwendig.⁴⁴

In Abb. 3 ist dargestellt, wie sich die verschiedenen Schnellkraft-Trainingsmethoden auf die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve auswirken.

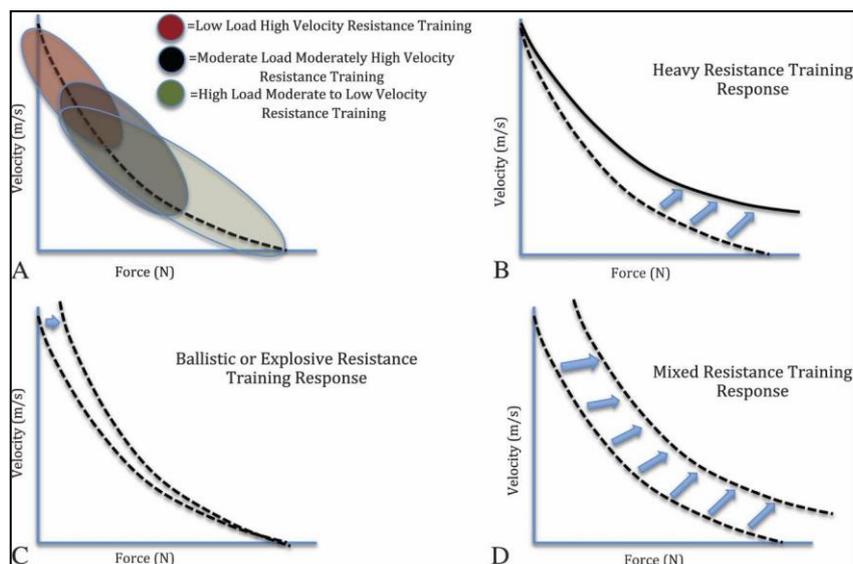


Abb. 3: Auswirkung von verschiedenen Schnellkraft-Trainingsmethoden auf die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve.⁴⁵

⁴² Vgl. Wirth/Schmidtbleicher, 2007b, S. 38.

⁴³ Vgl. Harre, 2011, S. 326.

⁴⁴ Vgl. Haff/Nimphius, 2012, p. 6.

⁴⁵ Quelle: Haff/Nimphius, 2012, S. 7.

In Grafik A werden die verschiedenen Trainingsmethoden und ihre Wirkungsbereiche auf die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve illustriert. Es wird zwischen Trainingsmethoden mit leichter Last bei hoher Bewegungsgeschwindigkeit, mittlerer Last bei hoher Bewegungsgeschwindigkeit und hoher Last bei niedriger Bewegungsgeschwindigkeit unterschieden. Grafik B zeigt, wie durch IK-Training der Bereich mit hoher Last und niedriger Bewegungsgeschwindigkeit verbessert wird. Grafik C veranschaulicht die Steigerung der Bewegungsgeschwindigkeit durch ballistisches oder plyometrisches Krafttraining. Den mittleren Bereich der Kraft-Geschwindigkeitskurve deckt das Schnellkrafttraining oder das Training an der Muskelleistungsschwelle ab. Um den gesamten Verlauf der Kurve abzudecken, dargestellt in Grafik D, und damit den Anforderungen vieler Sportarten zu entsprechen, sollte sowohl mit leichter als auch mit schwerer Last trainiert werden.⁴⁶

Eine Trainingsmethode, um mit verschiedenen Lasten zu trainieren, ist das CT. Hier werden zwei verschiedene Trainingsmethoden, traditionelles Krafttraining und plyometrisches Training, in einer Einheit kombiniert, um eine höhere Kraftentfaltung für die plyometrische Übung zu erhalten.⁴⁷

„So konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass vor allem die Kombination von Sprüngen und Krafttraining in ihrer Wirkung auf die maximale Sprungleistung einem Training, welches nur aus Sprünge oder nur aus einem Krafttraining besteht, überlegen war.“⁴⁸

Die physiologische Grundlage, die sich hierbei das kombinierte Training aus Krafttraining und Sprüngen für einen höheren Trainingseffekt zu Nutzen macht, ist die posttetanische Potenzierung (PTP),^{49, 50} welches im nächsten Kapitel ausführlich untersucht wird.

⁴⁶ Vgl. Toji/Kaneko, 2004, p.792ff., zit. nach: Cormie et al., 2011, p. 138.

⁴⁷ Vgl. Matthews/Comfort, 2008, p. 12.

⁴⁸ Vgl. Wirth/Schmidbleicher, 2007, S. 39.

⁴⁹ Vgl. Baker, 2003, p. 493ff., zit. nach: Robbins, 2005, p. 453.

⁵⁰ Vgl. Chiu et al., 2003, p. 671.

3. Posttetanische Potenzierung

Maximale willkürliche Kontraktionen (maximal voluntary contractions, MVCs) provozieren die PTP, die einen intensiven Reiz auf das zentrale Nervensystem ausübt, welches in einer höheren Rekrutierung motorischer Einheiten resultiert.^{51, 52} Das Ergebnis ist eine höhere Kraftentfaltung für die folgenden 2 bis 20 Minuten.⁵³

Es existieren zwei Theorien zur Erklärung der Effekte der PTP.⁵⁴ Die Erste besagt, dass MVCs eine erhöhte Phosphorylierung, das Hinzufügen von Phosphaten für die ATP-Produktion, an den regulatorischen Myosin-Leichtketten hervorrufen. Die Myosin-Leichtketten sind Proteine des Myosins. Die höhere Phosphorylierung führt zu einer gesteigerten Sensibilität des Aktin-Myosin-Komplexes, für die aus dem sarkoplasmatischen Retikulum freigesetzten Calciumionen. Eine erhöhte Empfindlichkeit für Calciumionen hat eine verstärkte Kraftproduktion zur Folge.⁵⁵ Je höher die auslösenden MVCs sind, umso länger bleibt der Calciumionen-Spiegel im Sarkoplasma erhöht und umso stärker fällt die Phosphorylierung der Myosin-Leichtketten aus. Die Wirkung ist eine erhöhte Kontraktionsgeschwindigkeit und Explosivkraft.⁵⁶

Die zweite Theorie basiert auf dem Hoffmann-Reflex (H-Reflex), benannt nach dem Physiologen Paul Hoffmann. Der H-Reflex ist ein Reflex, der durch Reizung von afferenten sensorischen Ia Nervenfasern auf Rückenmarksebene ausgelöst wird. Afferente Nervenbahnen leiten Informationen vom Muskel zum Gehirn oder auf spinaler Ebene zum Muskel zurück. Es wird vermutet, dass durch PTP-Interventionen der H-Reflex gesteigert wird, wodurch wiederum die Effizienz und die Nervenimpuls-Frequenz zum Muskel erhöht wird.⁵⁷

Güllich und Schmidtbleicher haben Untersuchungen zur Messung des H-Reflexes durchgeführt. Sie teilten zehn trainierte Schnellkraftathleten und sieben Sportstudenten in zwei Untersuchungsgruppen auf. Bei den Probanden ist die Stärke des Reflexes mittels H-Reflex-Amplitude (HRA) des M. trizeps surae vor und nach

⁵¹ Vgl. Chiu et al., 2003, p. 671.

⁵² Vgl. Rixon et al. 2007, p. 500ff., zit. nach: Horwath/Krawitz, 2008, p. 1.

⁵³ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1996, p. 77, 80.

⁵⁴ Vgl. Horwath/Krawitz, 2008, p. 1.

⁵⁵ Vgl. Hamada et al., 2000, p. 2131.

⁵⁶ Vgl. Chiu et al., 2003, p. 675.

⁵⁷ Vgl. Hodgson et al., 2005, zit. nach: Horwath/Krawitz, p. 1.

MVCs gemessen worden. Der H-Reflex des M. trizeps surae wurde über elektrische Stimulationen des Antagonisten, den M. tibialis, ausgelöst. Die Höhe der HRA wurde elektromyographisch gemessen. Die MVCs waren fünf isometrische Plantarflexionen mit einer Dauer von je 5 Sekunden mit je 1 Minute Pause dazwischen. Eine Änderung der HRA bei gleicher Stimulation nach den MVCs würde auf eine höhere Rekrutierung motorischer Einheiten und somit auf eine Zunahme synaptischer Effizienz durch PTP hinweisen. Sowohl die Sportstudenten als auch die trainierten Athleten wiesen nach den MVCs eine größere HRA auf. Jedoch war bei den Athleten die neuronale Potenzierung weitaus stärker und dauerhafter ausgeprägt. Es ist davon auszugehen, dass durch die Potenzierung die neu rekrutierten motorischen Einheiten nach dem Henneman'schen Größen Prinzip schnellere und größere Einheiten waren.

Bei den trainierten Athleten sind auch die HRA der einzelnen Muskeln des M. trizeps surae, der M. gastrocnemius und der M. soleus, miteinander verglichen worden. Der M. gastrocnemius hatte eine höhere PTP. Dies sei womöglich darauf zurückzuführen, dass der M. gastrocnemius mehr große motorischen Einheiten mit FT-Muskelfasern als der M. soleus besitzt. Die Muskelfaserverteilung könnte auch der Grund für das unterschiedliche Ergebnis zwischen den Schnellkraftathleten und den Sportstudenten sein.⁵⁸ In Tierexperimenten wurde mehrfach nachgewiesen, dass eine positive Korrelation zwischen der Größe der Potenzierung und der Größe der motorischen Einheiten besteht.⁵⁹

Eine zweite Untersuchung wurde an den 8 Schnellkraftathleten durchgeführt, um auch die willkürliche explosive Kontraktionskraft des M. trizeps surae vor und nach den MVCs zu messen. Hier mussten die Probanden, unter gleichen Bedingungen wie bei der H-Reflex Messung, eine explosive Plantarflexion auf einer Kraftmessplatte ausführen. Auch die zweite Untersuchung ergab höhere Kraftwerte durch die Effekte der PTP nach MVCs. Bei den 8 Athleten wurde eine hohe Korrelation ($r=0.90$) zwischen der Höhe der HRA und der willkürlichen Explosivkraft festgestellt.⁶⁰ Daraus lässt sich schließen, dass die Potenzierung sowohl für die Reflexantwort wie auch für die willkürliche Kontraktion Gültigkeit besitzt.⁶¹

Eine signifikante Potenzierung war bei den Athleten für den H-Reflex zwischen 4 und 11 Minuten und für die willkürliche Kontraktion zwischen 4 und 13 Minuten messbar. Die Zeiten bis die Maximalwerte für die HRA und Explosivkraft erreicht wurden,

⁵⁸ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 46ff.

⁵⁹ Vgl. Collins et al., 1984, S. 980ff., zit. nach: Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 49.

⁶⁰ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 47f.

⁶¹ Vgl. Burke, 1981, p. 345ff., zit. nach: Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 48.

unterlagen einer hohen individuellen Streuung. Das bedeutet, dass die maximale Potenzierung bei den Athleten zu verschiedenen Zeitpunkten auftrat, und daher die Pause zwischen den MVCs und den nachfolgenden Schnellkraftübungen individuell zu gestalten ist.⁶²

3.1 Einflussfaktoren auf die Posttetanische Potenzierung

MVCs lösen sowohl eine neuromuskuläre Potenzierung als auch eine Erschöpfung in der kontrahierten Muskulatur aus. Die Balance zwischen Müdigkeit und PTP entscheidet, ob die Leistung für die Schnellkraftübung erhöht, reduziert oder gleich bleibt. Durch die Pausenzeit zwischen den Übungen kann der Potenzierungseffekt beeinflusst werden.⁶³ Ideale Pausenzeiten für die höchsten signifikanten Potenzierungen für trainierte Athleten werden abhängig von der Intensität und Volumen der MVC zwischen 4 und 11 Minuten angegeben.⁶⁴

Hamade et al. untersuchten an 20 Freizeitsportlern den Einfluss von PTP auf die verschiedenen Muskelfasertypen am M. quadrizeps femoris. Die Untersuchung fand auf einem Drehmomenten-Messstuhl statt, der ähnlich einer sitzend bedienten Beinstreckmaschine konstruiert war. Vor der isometrischen MVC wurde der M. quadrizeps femoris elektrisch stimuliert bis die höchste Kontraktionskraft und das größte Aktionspotential erreicht wurden. Die isometrische MVC betrug 10 Sekunden. Nach dieser wurde der Oberschenkel mit der gleichen Intensität wie zuvor stimuliert. Nach der isometrischen MVC waren die Werte höher als davor. Bei den Teilnehmern mit den vier höchsten und vier niedrigsten Potenzierungen wurde mittels Muskelbiopsie die Muskelfaserverteilung des M. vastus lateralis bestimmt. Die Teilnehmer mit den höchsten Potenzierungs-Effekten hatten den höchsten prozentuellen Anteil an Typ II-Muskelfasern. Sie benötigten auch die kürzeste Zeit zum Erreichen des maximalen Drehmoments.⁶⁵

Eine wesentliche Bedeutung für die Auslösung von PTP haben MVCs. Sie können entweder isometrisch oder dynamisch erfolgen. French et al. stellten fest, dass die Potenzierungseffekte nach 3 Mal 3 Sekunden isometrischer MVCs größer waren als nach 3 Mal 5 Sekunden. Bei insgesamt 15 Sekunden Kontraktionszeit hat die Müdigkeit die PTP-Effekte vermindert.⁶⁶ Hamada et al. bestätigen auf Basis früherer

⁶² Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 47f.

⁶³ Vgl. MacIntosh/Rassier, 2002, p. 42ff., zit. nach: Robbins, 2005, p. 453.

⁶⁴ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1996, p. 75.

⁶⁵ Vgl. Hamada et al., 2000, p. 2131ff.

⁶⁶ Vgl. French et al., 2003, p. 683.

Untersuchungen, dass eine 10 sekündige isometrische MVC als optimal angenommen werden kann, um PTP auszulösen.⁶⁷

Rahimi untersuchte die Auswirkung dynamischer MVCs mit Lasten zwischen 60-85% des 1-RM auf die Höhe der PTP, mit dem Resultat, dass die höchste PTP nach schwerer Last mit 85% des 1RM ausgelöst wurde. Auch andere Autoren empfehlen Lasten zwischen 85-90% des 1-RM.^{68, 69} Güllich und Schmidtbleicher schreiben, dass Lasten $\geq 100\%$ des 1-RM gegenüber $3 \times 90\%$ des 1-RM überlegen sind.⁷⁰ Für die Praxis wäre jedoch zu bedenken ob die Vorteile von Lasten über 100% des 1-RM das höhere Verletzungsrisiko rechtfertigen.

Um den Einfluss des Trainingszustandes auf die PTP zu untersuchen, teilten Chiu et al. zwölf weibliche und zwölf männliche Teilnehmer in zwei Gruppen ein, Freizeitsportler und Leistungssportler. Die Gruppen wurden nicht genderspezifisch getrennt, da es nach O'Leary et al. keinen Unterschied zwischen Mann und Frau auf die Wirksamkeit von PTP gibt.⁷¹ Beide Gruppen hatten die Aufgabe, nach unterschiedlichen Aufwärmverfahren, fünf gesprungene Kniebeugen mit Lasten von 30, 50 und 70% des 1-RM einmal nach 5 Minuten und ein zweites Mal nach 18,5 Minuten durchzuführen. Das leichte Aufwärmen bestand aus Kniebeugen und Sprüngen mit dem eigenen Körpergewicht. Das schwere Aufwärmen aus fünf Sätzen Kniebeugen mit einer Wiederholung mit 90% des 1-RM. Die Leistungssportler haben nach den MVCs mit allen Belastungsvarianten höhere Sprungleistungen erzielt, sowohl nach 5 als auch nach 18,5 Minuten. Die Werte waren jedoch nach 18,5 Minuten größer als nach 5 Minuten. Die Freizeitsportler hatten keine Potenzierungseffekte. Nach 5 Minuten waren die Leistungen ohne MVCs besser und nach 18,5 Minuten waren die Resultate mit und ohne MVCs annähernd gleich. Die Autoren leiteten daraus ab, dass 5 Minuten Erholung für die Freizeitsportler, nach fünf Sätzen eines intensiven Reizes, zu kurz waren. Für die Potenzierungseffekte der Leistungssportler waren, nach Meinung der Autoren, ihre schnelle Erholungsfähigkeit und die besseren kontraktile Fähigkeiten verantwortlich.⁷²

⁶⁷ Vgl. Vandervoort et al., 1983, p. 141-152, zit. nach: Hamada et al., 2000, p. 2132.

⁶⁸ Vgl. Matthews/Comfort, 2008, p. 12.

⁶⁹ Vgl. Chiu et al., 2003, p. 673.

⁷⁰ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 49.

⁷¹ Vgl. O'Leary et al., 1998, p. 772-779, zit. nach: Chui et al., 2003, p. 674.

⁷² Vgl. Chiu et al., 2003, p. 671ff.

3.2 Kurzzeit-Effekt der Posttetanischen Potenzierung

Rahimi konnte bei zwölf Fußballspielern durch PTP die 40 m-Sprintleistung um 2,98% verbessern. Die MVCs wurden in Form von zwei Sätze Kniebeugen mit vier Wiederholungen mit 85% des 1-RM durchgeführt. Die Pause zwischen MVCs und Sprint betrug 4 Minuten.⁷³

French et al. untersuchten Drop jumps, Counter-movement jumps, das isokinetische Drehmoment der Kniestrecker und die Muskelaktivität bei 5 Sekunden Ergometersprints nach 3 Mal 3 Sekunden isometrischen MVCs. Beim Drop jump war die Sprunghöhe um 5,03%, die Bodenreaktionskraft um 4,94% und der Beschleunigungsimpuls um 9,49% gestiegen. Das isokinetische Drehmoment war um 6,12% höher. Bei den Counter-movement jumps und den Ergometersprints war keine signifikante Veränderung durch die MVCs festzustellen.⁷⁴

Chiu et al. konnten die größte Steigerung der Sprungkraft um ca. 3,2% bei Leistungssportlern nach 18,5 Minuten mit 30 % des 1-RM feststellen.⁷⁵

Güllich und Schmidtbleicher registrierten eine 32%ige Potenzierung bei Leistungssportlern durch den elektrisch stimulierten H-Reflex im M. gastrocnemius nach isometrischen MVCs. Bei den willkürlichen Plantarflexionen stellten sie eine 19% höhere Flexionskraft fest.

Ferreira et al. haben Untersuchungen zur Auswirkung von PTP auf die Schnellkraft der Oberkörpermuskulatur durchgeführt. Sie haben 11 Sportler, mit Erfahrung im Kraft- und Schnellkrafttraining, nach einem Satz Bankdrücken mit 100% des 1-RM, nach jeweils 1, 3, 5 und 7 Minuten, sechs Wiederholungen Bankdrücken mit 50 % des 1-RM mit explosiver Bewegungsausführung durchführen lassen. Es wurde die Geschwindigkeit und Beschleunigung der Langhantel gemessen. Nach 7 min wurde ein potenziertes Status beim Bankdrücken erreicht. Es konnte eine signifikante Steigerung der konzentrischen Maximalleistung um ca. 17,5% ermittelt werden.⁷⁶

Einigen Autoren konnten allerdings keinen Nachweis für PTP erbringen. Grossen und Sale haben 15 Sekunden nach einer 10 sekundigen isometrischen MVC, eine dynamische Kontraktion der Beinstrecker ausführen lassen. Sie konnten keine

⁷³ Vgl. Rahimi, 2007, p. 163ff.

⁷⁴ Vgl. French et al., 2003, p. 678ff.

⁷⁵ Vgl. Chiu et al., 2003, p. 674.

⁷⁶ Vgl. Ferreira et al., 2012, p. 739ff.

Steigerung, aber auch keine Abschwächung, feststellen. Womöglich war die Pause von 15 Sekunden zu kurz und die Müdigkeit überwiegte.⁷⁷

Ebben et al. konnten bei Leistungssportlern nach Bankdrücken mit 80% des 1-RM und mit sofort anschließenden Medizinballwürfen mit ca. 30% des 1-RM keinen Unterschied für die Wurfkraft feststellen. Die Autoren sahen CT trotz gleichbleibender Leistung für die Wurfkraft, als eine zeiteffiziente Variante um Krafttraining und plyometrisches Training in einer Einheit zu trainieren. Wie bisherige Untersuchungen ergaben sind für die Entwicklung der Schnellkraft sowohl Übungen mit hoher Last als auch mit hoher Bewegungsgeschwindigkeit erforderlich.⁷⁸

Hrysomallis und Kidgell haben zwölf Freizeitsportler drei Liegestütz ohne Vorbelastung und 3 Minuten nach 5-RM Bankdrücken, die nach dem Prinzip der letzten Wiederholung durchgeführt wurden, explosiv ausführen lassen. Es war kein signifikanter Unterschied mit und ohne MVCs hinsichtlich dem erzeugten Impuls und der Explosivkraft bei den Liegestütz festzustellen.⁷⁹ Möglicherweise gibt es Unterschiede hinsichtlich der PTP beim Einsatz der Muskulatur des Ober- bzw. Unterkörpers. Die Ursache ist jedoch bis jetzt nicht geklärt.⁸⁰

Scott und Docherty haben bei Weit- und Hochsprüngen nach 5-RM Kniebeugen nach dem Prinzip der letzten Wiederholung bei einigen Teilnehmern eine Steigerung, bei anderen keine Steigerung durch PTP festgestellt. Das unterstützt die Annahme für die individuelle Wirksamkeit von der PTP.⁸¹

Obwohl die ausbleibenden Belege für PTP in manchen Studien zu einer kritischen Betrachtung anregen, gelten die Kurzzeit-Effekte von PTP als gesichert.⁸² Dennoch wären weitere kontrollierte Studien über die Potenzierungseffekte von CT notwendig um bestehende Unklarheiten zu beseitigen.⁸³

⁷⁷ Vgl. Grossen/Sale, 2000, p. 524-530, zit. nach: Robbins, 2005, p. 454.

⁷⁸ Vgl. Ebben et al., 2000, 455f.

⁷⁹ Vgl. Hrysomallis/Kidgell, 2001, p. 426ff.

⁸⁰ Vgl. Hrysomallis/Kidgell, 2001, p. 429.

⁸¹ Vgl. Scott/Docherty, 2004, p. 201-205, zit. nach: Robbins, 2005, p. 455.

⁸² Vgl. Robbins, 2005, p. 455.

⁸³ Vgl. Ebben et al., 2000, p. 456.

3.3 Langzeit-Anpassung an Training unter Einsatz der Posttetanischen Potenzierung

Eine trainingsrelevante Fragestellung ist, ob sich die Schnellkraft nach einem mehrwöchigen CT besser entwickelt als mit anderen Trainingsmethoden. Zu Langzeit-Anpassungen, wie etwa dem Zeitraum eines Mesozyklus, durch CT Training gibt es nur wenige Untersuchungen.

MacDonald et al. verglichen den Trainingseffekt eines jeweils sechswöchigen traditionellen Krafttrainings, plyometrischen Trainings und Complex Trainings. Die Probanden waren 30 mäßig trainierte Collageschüler, die in drei gleichgroßen Gruppen den Trainingsformen zugeordnet wurden. Die Krafttrainingsgruppe hatte Kniebeugen, Rumänisches Kreuzheben und stehendes Wadenheben an einer geführten Multipresse zu absolvieren. Die Übungen wurden in drei Sätze mit sechs Wiederholungen ausgeführt. Die Belastung wurde von 75% des 1-RM in der ersten Woche auf 90% des 1-RM in der sechsten Woche gesteigert.

Im plyometrischen Training wurden Seithocksprünge, Niederhochsprünge und Boxsprünge in drei Sätzen durchgeführt. In der ersten Woche wurde mit sieben Wiederholungen begonnen und bis zur sechsten Woche auf drei Wiederholungen reduziert. Die Fallhöhe der plyometrischen Übungen wurde von der ersten bis zur letzten Woche kontinuierlich gesteigert. Die Pause zwischen den Sätzen und den Übungen betrug bei beiden Methoden 3 Minuten.

Das CT bestand aus der Kombination der selben Übungen der beiden anderen Trainingsmethoden. Die Kniebeugen sind mit Seithocksprüngen, Rumänisches Kreuzheben mit Niederhochsprüngen und Wadenheben mit Boxsprüngen kombiniert worden. Lasten und Wiederholungen wurden ebenso gleich angesetzt. In den ersten drei Wochen betrug die Pause zwischen den Übungspaaren 30 Sekunden und in den letzten drei Wochen 3 Minuten. Die Pause zwischen den Sätzen dauerte 4 Minuten.

Nach den sechs Wochen wurde das 1-RM in den Kraftübungen, der Oberschenkel- und Wadenumfang und das Körperfett der Teilnehmer ermittelt. Die Kraftgruppe hatte das höchste 1-RM bei den Kniebeugen. Das 1-RM für Kreuzheben war bei der Kraft und Complex Gruppe gleich und das 1-RM für Wadenheben war bei der Complex Gruppe am höchsten. Bei den Ober- und Unterschenkelumfängen hatte die Kraftgruppe die größten Zunahmen, gefolgt von der Complex Gruppe. Die Körperfett-Messung ergab, dass die plyometrische Gruppe eine Körperfettzunahme von 3% und die Kraftgruppe von 1% hatte. Die Complex Gruppe hatte keine signifikante Veränderung beim Körperfett. Die Ernährung der Probanden wurde nicht kontrolliert. Bei allen drei Messkriterien hatte die plyometrische Gruppe am schlechtesten abgeschnitten. Die

Autoren räumten CT die größten Vorteile ein, da die Ergebnisse gleich oder den anderen Gruppen überlegen waren. Einen weiteren Vorteil fanden die Autoren in der Zeiteffizienz dieser Trainingsmethode. Kritikpunkte der Untersuchung sind die kurze Untersuchungsdauer und die ausgewählte Probandengruppe, da die Annahme besteht, dass sich trainierte Leistungssportler besser für CT eignen.⁸⁴ Beim Vergleich ist zu beachten, dass die Trainingsumfänge nicht gleich waren, da die CT-Gruppe die beiden anderen Trainingsvarianten beinhaltet. Für die Schnellkraft relevante Werte wie Sprunghöhe, Bodenreaktionskraft oder Bodenkontaktzeit wurden in dieser Studie nicht ermittelt.

Fatouros et al. verglichen ebenfalls drei Trainingsformen im Bezug auf Schnellkraft und Maximalkraft in einer zwölfwöchigen Trainingsinterventions-Studie miteinander. 41 untrainierte Freiwillige wurden in vier Gruppen aufgeteilt, eine Krafttrainingsgruppe, eine plyometrische Trainingsgruppe, eine Trainingsgruppe mit kombinierten Trainingsinhalten des Kraft- und des plyometrischen Trainings und eine Kontrollgruppe. Gemessen wurden die maximale vertikale Sprunghöhe, die mechanische Leistung beim Vertikalsprung, die Flugzeit beim Sprung und die Maximalkraft bei der Kniebeuge und der Beinpresse.

Es wurden ausschließlich Übungen für die Beinmuskulatur ausgeführt. Dreimal pro Woche fand das Training statt, wobei der erste Tag mit einer hohen, der zweite mit einer mittleren und der dritte mit einer niedrigen Intensität absolviert wurde. Die Intensität steigerte sich beim Krafttraining von 70 % des 1-RM in der ersten Woche bis zu 95 % des 1-RM in der zwölften Woche. Pro Übung wurden vier Sätze trainiert, die Wiederholungen variierten je nach Intensität zwischen zwei und zwölf. Die Pause zwischen den Sätzen und Übungen wurde nicht angeführt. Es wurden acht Beinübungen pro Einheit trainiert, wobei nach vier Wochen Übungen praktiziert wurden die eine explosive Ausführung erfordern, wie beispielsweise gesprungene Kniebeugen mit der Langhantel, Umsetzen oder Reißen.

Die plyometrische Trainingsgruppe führte ebenfalls acht Sprungvarianten mit dem eigenem Körpergewicht aus, mit einer Umfangssteigerung von 80 Sprüngen zu Beginn auf 220 am Ende der Untersuchung. Wiederholungen, Satzanzahl und Pausen wurden nicht genannt. Die Gruppe mit kombinierten Trainingsinhalten führte die beiden beschriebenen Trainingsformen an einem Tag durch. Die Krafteinheit wurde 180 Minuten nach der plyometrischen Einheit ausgeführt. Die Kontrollgruppe hatte kein Training absolviert.

⁸⁴ MacDonald et al., 2012, p.422ff.

Das Ergebnis der Untersuchung zeigte eine Verbesserung der Maximalkraft der Kniebeuge und Beinpresse in der Kraftgruppe. Bei der vertikalen Sprunghöhe, mechanischen Sprungleistung und Flugzeit war die plyometrische-Krafttrainings-Gruppe sowohl der reinen Kraft- als auch der reinen plyometrischen-Trainingsgruppe überlegen. Die Schlussfolgerung war, dass für Schnellkraftathleten sowohl ein Krafttraining als auch ein plyometrisches Training notwendig ist. Auch in dieser Untersuchung merkten die Autoren kritisch an, dass der Vergleich zwischen ähnlichen Trainingsumfängen aussagekräftiger gewesen wäre.⁸⁵ Für die PTP ist diese Studie nicht aussagekräftig, denn nach 180 Minuten Pause sind die Potenzierungs-Effekte nicht mehr vorhanden.

Adams et al. führten eine Studie an 84 Studenten mit Trainingserfahrung durch, wobei die Gruppeneinteilung nach den selben Trainingsformen und einer Kontrollgruppe wie bei Fatouros et al. erfolgte. Trainiert wurde sechs Wochen unter ähnlichen Bedingungen wie bei Fatouros et al. Beurteilt wurde das Ergebnis der Trainingsintervention anhand der vertikalen Sprunghöhe. Die plyometrische-Krafttrainings-Gruppe hatte die höchste Steigerung mit 10,67 cm im Vergleich zu 3,30 cm der reinen Krafttrainingsgruppe und 3,81 cm der reinen plyometrischen Trainingsgruppe.⁸⁶ In dieser Untersuchung gehen die Pausenzeiten zwischen Krafttraining und plyometrischem Training ebenfalls nicht hervor, es ist lediglich auf die zeitnahe Anwendung von Kraft- und plyometrischen Training hingewiesen.

French et al. mutmaßen, dass die durch CT hervorgerufenen Adaptationen, höhere sportliche Leistungen auch ohne vorherige MVCs ermöglichen.⁸⁷

„With respect to chronic adaptation, some evidence does exist to suggest that complex training is at least as beneficial as other comparable training methods designed to develop power.“⁸⁸

Der Autor der vorliegenden Arbeit hat keine Studie zur Langzeit-Anpassung durch CT unter Einhaltung der notwendigen Trainingsparameter gefunden, um etwaige Trainingseffekte der PTP zuschreiben zu können.

⁸⁵ Vgl. Fatouros et al., 2000, p.470ff.

⁸⁶ Vgl. Adams et al., 1992, p.36ff.

⁸⁷ Vgl. French et al., 2003, p. 684.

⁸⁸ Robbins, 2005, p. 457.

4. Konzeption von Trainingseinheiten zum Nutzen der PTP

Schnellkrafttraining sollte im ermüdungsfreien Zustand stattfinden, da ansonsten keine Anpassung des Nervensystems an den Trainingsreiz stattfinden kann.⁸⁹ Ein Training mit maximalen Kontraktionen verliert unter Ermüdung stark an Effektivität, da die Innervationsfrequenz durch das Nervensystem abnimmt.⁹⁰ Um das einschleifen von Fehlern im technischen Bereich und den Verlust im Reaktivkraft-Verhalten zu minimieren, sollte besonderes Augenmerk auf die Qualität der Übungsausführung gelegt werden.⁹¹ Das Schnellkrafttraining kommt üblicherweise v.a. etwa sechs bis acht Wochen vor dem Wettkampfhöhepunkt zum Einsatz.⁹² Aus physiologischer und psychologischer Sicht sind vier bis sechs Wochen hoch intensives Schnellkrafttraining ideal, um Reize zu setzen ohne das zentrale Nervensystem zu überlasten. CT wird in der Regel zweimal wöchentlich trainiert, um ausreichend Erholung zu gewährleisten. Schnellkraftathleten wie Kugelstoßer, Diskuswerfer oder Hochspringer wenden diese Anordnung in der Gestaltung der Mikrozyklen an.⁹³ Matthews und Comfort haben pro Einheit drei bis vier Complex-Übungspaare trainiert.⁹⁴ Die nachfolgende Tab. 1 zeigt einige Beispiele für Complex-Übungspaare.

Untersuchungen deuten darauf hin, dass Dehnungsreize die PTP-Effekte negativ beeinflussen. Aus diesem Grund sollte auf Dehnungsmaßnahmen zwischen den Übungspaaren verzichtet werden.⁹⁵

⁸⁹ Vgl. Wirth/ Schmidtbleicher, 2007a, S. 20.

⁹⁰ Vgl. Bingham/Ritchie, 1981, zit. nach: Wirt/ Schmidtbleicher, 2007a, S. 20.

⁹¹ Vgl. Wirt/ Schmidtbleicher, 2007a, S. 20.

⁹² Vgl. Matthews/Comfort, 2008, p. 15.

⁹³ Vgl. O'Shea, 1979, p.54f., zit. nach: Adams et al, 1992, p. 36f.

⁹⁴ Vgl. Matthews/Comfort, 2008, p. 14.

⁹⁵ Vgl. Hutton et al., 1973, S. 1090ff., zit. nach: Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 49.

	Potentiating exercise	Recovery	Potentiated Exercise	Potentiated Exercise
Complex 1	1x4 back squats at 87 % of 1RM	4-6 min	2x6 depth jumps, 3 min between sets	2-4 complexes
Complex 2	2x3 half back squat at 90 % of 1RM, 2-3 min between sets	5-8 min	1x40-yard sprint	2-3 complexes
Complex 3	3x1 deadlift at 95% of 1 RM, 1-2 min between sets	3-4 min	3x triple broad jump ≤ 1 min between	complete 1-2 complexes
Complex 4	3x3 s MVC in half back squat position, 1 min between MVCs	6-10 min	2x5 squat jump 20% of back squat 1RM	repeat 2-3 complexes
Complex 5	1x3 back squat at 90% of 1RM	3-4 min	1x6 repeated countermovement jumps	repeat 3-6 complexes
Complex 6	2x3 bench press at 90% of 1 RM, 2-3 min between sets	5-8 min	3x6 bilateral medicineball chest pass, 1-2 min between sets	complete 1-3 complexes
Complex 7	1x5 unilateral dumbbell bench press at 100 % of 5 RM	4-8 min	2x6 unilateral medicineball chest pass, 1-2 min between sets	complete 3 complexes, decreasing all reps by 1 per complex

Tab. 1: Beispiele für Complex-Übungspaaren⁹⁶

⁹⁶ Quelle: NSCA, date unknow, [http://www.nasca.com/Education/Articles/Hot-Topic-Post-Activation-Potential-\(PAP\)](http://www.nasca.com/Education/Articles/Hot-Topic-Post-Activation-Potential-(PAP)), retrieved 10. 11. 2013.

4.1 Einsatz von PTP im Warm-up zum Wettkampf

Da die Kurzzeit-Effekte der PTP nur in einem bestimmten Zeitfenster wirken, ist die zeitliche Koordination der MVCs vor dem Wettkampf von besonderer Bedeutung, stellen aber zugleich eine große Herausforderung dar. So hängt z.B. der Beginn des Wettkampfes von vielen Faktoren ab, auf die der Athlet keinen Einfluss hat.

Güllich und Schmidtbleicher beschreiben, dass eine Bobmannschaft MVCs direkt vor dem Start zum Rennen ausführte und anschließend die Weltmeisterschaft gewonnen hat.⁹⁷ Jedoch war das keine gesicherte Studie, so dass eine Vielzahl von Ursachen für den Sieg verantwortlich sein könnte. Womöglich hat die PTP als eine Teilkomponente zum Erfolg beigetragen, eine gesicherte Kausalität kann aber nicht abgeleitet werden.⁹⁸

Um von der neuromuskulären Potenzierung im Wettkampf optimal zu profitieren, sollte sich die Pausenzeit zwischen MVCs und Wettkampfbeginn an dem individuellen Zeitpunkt mit der höchsten PTP orientieren.⁹⁹ Der Zeitpunkt mit der signifikant höchsten PTP befindet sich in der Regel in einem Zeitfenster von 4 bis 11 Minuten.¹⁰⁰

Isometrische MVCs, wie mit Partnerhilfe oder durch Drücken oder Ziehen gegen unbewegliche Objekte, benötigen kein spezielles Trainingsequipment und sind daher leicht im Training oder im funktionellen Warm-up vor Wettkämpfen einzusetzen.¹⁰¹

Obwohl isometrische Kontraktionen einen geringeren organisatorischen Aufwand als dynamische Kontraktionen mit Gewichten darstellen, ist es trotzdem fraglich, ob vor jedem Wettkampf die Ausführung realisierbar ist. Bei dynamischen Kraftübungen, wie beispielsweise Kniebeuge mit 200 kg, müssen die Betreuer ganz andere Herausforderungen bewältigen, sofern keine Kraftkammer am Wettkampfort vorhanden ist.

⁹⁷ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1996, p. 79.

⁹⁸ Vgl. Robbins, 2005, p. 455.

⁹⁹ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1997, S. 49.

¹⁰⁰ Vgl. Güllich/Schmidtbleicher, 1996, p. 75.

¹⁰¹ Vgl. French et al, 2003, p.684.

5. Conclusio

Die Anwendung der PTP in der Trainingspraxis wirft eine Reihe von Fragen auf. Es sind eine Menge von individuellen Einflussfaktoren vorhanden, die es schwierig gestalten eine einheitliche Vorgehensweise zur Auslösung von PTP zu bestimmen.

Zuerst ist bei der Anwendung von PTP zu unterscheiden, ob es sich um Freizeitsportler oder Leistungssportler handelt. Die meisten Freizeitsportler werden wahrscheinlich nicht das Maximalkraftniveau haben, um signifikante PTP-Effekte auszulösen. Als Mindestmaximalkraft wird das Doppelte des Körpergewichts in der Kniebeuge angenommen. Des Weiteren ist eine hohe Qualität der Übungsausführung für die Schnellkraft von großer Bedeutung, sowohl bei den Kraft- als auch den plyometrischen Übungen. IK-Training, ballistisches Kraftraining oder Übungen im DVZ sind eher Übungspraktiken von Leistungssportlern. Das bedeutet nicht, dass Freizeitsportler oder wenig kraftgeübte Athleten von CT nicht profitieren können. Lediglich die Wirkung von PTP kann ausbleiben oder abgeschwächt sein. Jedoch hat CT auch ohne PTP eine effektive Wirkung für die Schnellkraft.

Einen weiteren Einfluss nimmt die Muskelfaserverteilung. Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen der Höhe von PTP und dem Anteil der schnell zuckenden Typ II-Fasern. Dieser Zusammenhang könnte die These für höhere Potenzierungseffekte bei Schnellkraftathleten bestätigen, denn es ist davon auszugehen, dass diese einen höheren Anteil an Typ II-Fasern aufweisen als durchschnittliche Freizeitsportler.

Über das Zeitfenster für Kurzzeit-Effekte von PTP nach MVCs gibt es keine eindeutige Meinung in der Wissenschaft. Die meisten Angaben liegen innerhalb von 2 bis 20 Minuten. Die Pausenzeiten zwischen Complex-Übungspaaren werden mit 4 bis 11 Minuten angegeben. Hier ist entscheidend, möglichst genau den Zeitpunkt mit der höchsten PTP zu treffen. Die ist von der Übung, deren Intensität, Volumen und vom Sportler selbst abhängig. Ist die Pause zu kurz, überwiegt die Müdigkeit. Ist sie zu lang, ist der potenzierte Status vermindert. Wahrscheinlich sind Leistungssportler, aufgrund ihrer besseren Regenerationsfähigkeit, eher in der Lage zum Zeitpunkt der Peak-PTP erholt zu sein als Freizeitsportler.

MVCs sind ebenfalls von großer Bedeutung für die Wirkung von PTP. Isometrische Kontraktionen sollten die Dauer von 10 Sekunden nicht überschreiten. Bei dynamischer Ausführung werden wenige Wiederholungen und Lasten zwischen 85-90% des 1-RM empfohlen. Ein wesentlicher Bestandteil der Übungsqualität ist die explosive Ausführung, ansonsten bleibt die für die PTP notwendige hohe Innervationsfrequenz aus.

Die Mehrheit der Autoren hat, basierend auf den Kurzzeit-Effekten von PTP, durchschnittliche Steigerungen zwischen 3 und 5% für Schnellkraftaktivitäten wie Springen oder Sprinten dokumentiert.

In manchen Studien ist selbst bei Leistungssportlern kein Nachweis für PTP erbracht worden. Einer der Gründe für diese unterschiedliche Ergebnisse könnte die nicht einheitliche methodische Vorgehensweise bei den Studien sein. So unterschieden sich die Studien hinsichtlich dem Einsatz der Kraftübungen, der plyometrischen Übungen, der Pausenzeiten, der gewählten Intensitäten, dem Trainingszustand der Probanden usw. Messungengenauigkeiten können ebenfalls für den fehlenden Nachweis von PTP verantwortlich sein.

Einige Autoren haben einen unterschiedlichen Einfluss von PTP auf Unter- und Oberkörper-Muskulatur angedeutet, allerdings ohne diese Unterschiede begründen zu können. Selbst unter standardisierten Bedingungen gibt es eine hohe individuelle Streuung für den Zeitpunkt der maximalen Potenzierung. Womöglich sprechen manche Athleten auf PTP gar nicht an.

Die erste zentrale Fragestellung, die Existenz der Kurzzeit-Effekte der PTP gilt als gesichert. Um endgültige Gewissheit für den einzelnen Athleten zu erlangen, sollte die Wirkung von PTP an jedem Sportler für jede Übung getestet werden. Das könnte in einer Mannschaftssportart mit mehreren Complex-Übungspaaren einen großen zeitlichen und organisatorischen Aufwand darstellen.

Ob die PTP im Warm up vor einem Wettkampf anwendbar ist, ist aus physiologischer Sicht mit „Ja“ zu beantworten. Praktisch hängt es von den örtlichen Gegebenheiten ab und ob die zeitliche Koordination möglich ist. Der Athlet sollte deshalb damit rechnen, auch ohne die Kurzzeit-Wirkung der PTP den Wettkampf bestreiten zu müssen.

Die zweite zentrale Fragestellung, ob eine Langzeit-Anpassung an ein Training unter Einsatz der PTP nachweisbar ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Zu sehr divergieren die Aussagen aus den bisher vorliegenden Untersuchungen, was zum Teil auf Unterschiede in den Untersuchungsdesigns zurückzuführen ist. Allerdings kann mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, dass für die Schnellkraft die Kombination aus IK- und plyometrischem Training eine synergetische Wirkung hat. Beide Methoden erfordern maximale Krafteinsätze in Form einer explosiven Ausführung. Durch die Kombination der beiden Trainingsformen ist ein Transfer von langsamer auf schnelle sportartspezifische Bewegungsgeschwindigkeit gegeben und die notwendige Maximalkraft wird aufrechterhalten. Ob es für die Schnellkraft einen Unterschied macht, ob die Übungen des Krafttrainings und des plyometrischen Trainings unmittelbar hintereinander oder zu verschiedenen Zeitpunkten ausgeführt werden, ist unklar.

Um eindeutige Aussagen über eine Langzeit-Anpassung an Training unter Einsatz der PTP zu treffen, sind weitere Studien durchzuführen. Für die Trainingspraxis von konkretem Interesse wäre ein Vergleich des Trainingseffektes eines CT unter Ausnutzung der Kurzeiteffekte durch PTP und einem kombinierten Training aus IK-Training und plyometrischen Training zu verschiedenen Zeitpunkten.

Zum umfassenden Verständnis der Kurzzeit-Effekte sind weitere Untersuchungen notwendig. So ist die Frage zu klären, ob sich Ober- und Unterkörper-Muskulatur hinsichtlich der Wirkung von Training unter Einsatz von PTP unterscheiden und wenn ja, aus welchem Grund. Die Pausenzeiten zwischen den Complex-Übungspaaren bedürfen möglicherweise ebenfalls genauerer Angaben, denn zum momentanen Zeitpunkt variieren sie in den unterschiedlichen Studien um das Mehrfache. Die Trainingseffekte durch PTP konnten bisher keine genderspezifischen Unterschiede erkennen lassen, allerdings ist die Datenlage zu dieser Fragestellung noch zu ungesichert um eine konkrete Aussage zu treffen.

Abkürzungsverzeichnis

1-RM	Einwiederholungsmaximum, one repetition maximum
CT	Complex Training
DVZ	Dehnungs-Verkürzungszyklus
HRA	Hoffmann -Reflex Amplitude
H-Reflex	Hoffmann-Reflex
IK-Training	Intramuskuläres Koordinationstraining
MVC	Maximale willkürliche Kontraktion, maximal voluntary contractions
PTP	Posttetanischen Potenzierung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kraft-Zeit-Kurve	3
Abb. 2: Einfluss verschiedener Trainingsmethoden auf die Explosivkraft	6
Abb. 3: Auswirkung von verschieden Schnellkraft-Trainingsmethoden auf die Kraft-Geschwindigkeits-Kurve.	9

Literaturverzeichnis

Adams, K./O´Shea, J.P./O`Shea, K.L./Climstein, Mike. (1992): The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. In: Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 6, No. 1, p. 36-41.

Baker, D. (2003): Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. In: Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 17, No. 3, p. 493-497. (zit. nach: Matthews, M./Comfort, P. (2008): Applying complex training principles to boxing: A practical approach. In: Strength & Conditioning Journal, Vol. 30, No. 5, p. 12-15.)

Barker, M./Wyatt, T.J./Johnson, R.L./Stone, M.H./O´Bryant, H.S./Poe, C./Kent, M. (1993): Performance factors, physiological assessment, physical characteristic, and football playing ability. In: Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 7, No. 4, p. 224–233. (zit. nach: Haff, G.G./Nimphius, S. (2012): Training principles for power. In: Strength & Conditioning Journal, Vol. 34, No. 6, p. 2-12.)

Bigland-Ritchie, B. (1981): EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions. In: Porter, R./Wehlan, J. [Hrsg.]: Human muscle fatigue: physiological mechanism. Ciba Foundation Symposium 82, Pitman Medical, London, S.130-148. (zit. nach: Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007a): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 2: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktische Anwendung im Schnellkrafttraining. In: Leistungssport, Jg. 37, Bd. 2, S. 16-20.)

Bührle, M./Müller, K.-J./Schmidtbleicher, D. (1982): Schlagkraft und Bewegungsschnelligkeit des Boxers. In: Leistungssport, Jg. 12, Bd. 3, S. 246-248. (zit. nach: Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: Leistungssport, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.)

Burke, R.E. (1981): Motor units: anatomy, physiology, and functional organization. In: Brookhart, J.M./Mountcastle, V.B. [Hrsg.]: The Handbook of Physiology, Section 1: The Nervous System, Vol. II, No 2. Bethesda, V.B.B., p. 345-422. (zit. nach: Güllich, A./Schmidtbleicher, D. (1997): Kurzfristige Explosivkraftsteigerung durch maximale willkürliche Kontraktionen - der Zusammenhang mit neuronalen Potenzierungseffekten. In: Leistungssport, Jg. 27, Bd. 1, S. 46-49.)

Chiu, L.Z.F./Fry, A.C./Weiss, L.W./Schilling, B.K./Brown, L.E./Smith, S.L. (2003): Postactivation potentiation responses in athletic and recreationally trained individuals. In: Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 17, No. 4, p. 671-677.

Collins, W.F.III./Honig, M.C./Mendell, L.M. (1984): Heterogeneity of group Ia synapses on homonymous alpha-motoneurons as revealed by high-frequency stimulation of Ia afferent fibers. In: *Journal of Neurophysiology*, Vol. 52, S. 980-993. (zit. nach: Güllich, A./Schmidtbleicher, D. (1997): Kurzfristige Explosivkraftsteigerung durch maximale willkürliche Kontraktionen - der Zusammenhang mit neuronalen Potenzierungseffekten. In: *Leistungssport*, Jg. 27, Bd. 1, S. 46-49.)

Cormie, P./McGuigan, M.R./Newton, R.U. (2011): Developing maximal neuromuscular power - Part 2-Training considerations for improving maximal power production. In: *Sports medicine.*, Vol. 41, No. 2, p. 125-146.

De Marées, H. (2002): *Sportphysiologie*, Sport & Buch, Strauß, Köln. (zit. nach: Wirh, K./Schmidtbleicher, D. (2007): Periodisierung im Schnellkrafttraining - Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: *Leistungssport*, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.)

Ebben, W.P./Jensen, R.L./Blackard, D.O. (2000): Electromyographic and Kinetic Analysis of Complex Training Variables. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 14, No. 4, p. 451-456.

Fatouros, I.G./Jamurtas, A.Z./Leontsini, D./Taxildaris, K./Aggelousis, N./Kostopoulos, N./Buckenmeyer, P. (2000): Evaluation of Plyometric Exercise Training, Weight Training, and Their Combination on Vertical Jumping Performance and Leg Strength. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 14, No. 4, p. 470-476.

Ferreira, S./Panissa, V./Miarka, B./Franchini, E. (2012): Postactivation Potentiation: Effect of various recovery intervals on bench press power performance. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 26, No. 3, p. 739-744.

French, D.N./Kraemer, W.J./Cooke, C.B. (2003): Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 17, No. 4, p. 678-685.

Grosseen, E.R./Sale, D.G. (2000): Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. In: *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 83, No. 6, p.524-530. (zit. nach: Robbins, D.W. (2005): Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 19, No. 2, p. 453-458.)

Güllich, A./Schmidtbleicher, D. (1996): MVC-induced short-term potentiation of explosive force. In: *New Studies in Athletics*, Vol. 11, No. 4, p. 67-81.

- Güllich, A./Schmidtbleicher, D. (1997): Kurzfristige Explosivkraftsteigerung durch maximale willkürliche Kontraktionen - der Zusammenhang mit neuronalen Potenzierungseffekten. In: Leistungssport, Jg. 27, Bd. 1, S. 46-49.
- Haff, G.G./Nimphius, S. (2012): Training principles for power. In: Strength & Conditioning Journal, Vol. 34, No. 6, p. 2-12.
- Hamada, T./Sale, D.G./MacDougall, J.D./Tarnopolsky, M.A. (2000): Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. In: Journal of Applied Physiology, Vol. 88, p.2131-37.
- Hansen, K.T./Cronin, J.B./Pickering, S.L./Douglas, L. (2011): Do force-time and power-time measures in a loaded jump squat differentiate between speed performance and playing level in elite and elite junior rugby Union players? In: Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 0, No. 0, p. 2382-2391. (zit. nach: Haff, G.G./Nimphius, S. (2012): Training principles for power. In: Strength & Conditioning Journal, Vol. 34, No. 6, p. 2-12.)
- Harre, D. (2011): Kraftfähigkeiten. In: Schnabel, G/Harre, H-D./Krug, J. [Hrsg.]: Trainingslehre - Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf. 2. aktualisierte Auflage, Meyer & Meyer, Aachen, S. 158-168.
- Harre, D. (2011): Training der Kraftfähigkeiten. In: Schnabel, G/Harre, H-D./Krug, J. [Hrsg.]: Trainingslehre - Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf. 2. aktualisierte Auflage, Meyer & Meyer, Aachen, S. 320-337.
- Hodgson, M./Docherty, D./Robbins, D. (2005): Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. In: Sports Medicine, Vol 35, No. 7, 585-95. (zit. nach: Horwath, R./Kravitz, L. (2008): Postactivation Potentiation: A Brief Review. In: <http://www.idealift.com/idea-fitness-journal>, Vol 5, No 5, retrieved 10. 11. 2013.)
- Hohmann, A./Lames, M./Letzelter, M. (2002): Einführung in die Trainingswissenschaft, Limpert Verlag GmbH, Wiebelsheim. (zit. nach: Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007): Periodisierung im Schnellkrafttraining - Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: Leistungssport, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.)
- Horwath, R./Kravitz, L. (2008): Postactivation Potentiation: A Brief Review. In: <http://www.idealift.com/idea-fitness-journal>, Vol 5, No 5, retrieved 10. 11. 2013.
- Hrysomallis, C./Kidgell, D. (2001): Effect of Heavy Dynamic Resistive Exercise on Acute Upper-Body Power. In: Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 15, No. 4, p. 426-430.

Hutton, R.S./Smith, J.L./Eldred, E. (1973): Postcontraction sensory discharge from muscle and its source. In: *J. Neurophysiol.*, Vol. 36, p. 1090-1103. (zit. nach: Güllich, A./Schmidtbleicher, D. (1997): Kurzfristige Explosivkraftsteigerung durch maximale willkürliche Kontraktionen - der Zusammenhang mit neuronalen Potenzierungseffekten. In: *Leistungssport*, Jg. 27, Bd. 1, S. 46-49.)

Keiner, M./Sander, A./Wirth, K.P.D.P./Caruso, O./Immesberger, P./Zawieja, M. (2012): Trainability of Adolescents and Children in the Back and Front Squat. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 27, No. 2, p. 357-362. (zit. nach: Haff, G.G./Nimphius, S. (2012): Training principles for power. In: *Strength & Conditioning Journal*, Vol. 34, No. 6, p. 2-12.)

Komi, P.V./Häkkinen, K. (1989): Maximalkraft und Schnellkraft. In: Dirix, A./Knuttgen, H.G./Tittel, K. [Hrsg.]: *Olympia Buch der Sportmedizin*, Deutscher Ärzte Verlag, Köln, 157-167. (zit. nach: Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: *Leistungssport*, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.)

Kraemer, W.J./Newton, R.U. (1994): Training for improved vertical jump. *Sports Science Exchange*. In: *Gatorade Sports Science Institute*, Vol. 7, No. 6, w. p. (zit. nach: Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: *Leistungssport*, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.)

MacDonald, C./Lamont, H. S./Garner, J.C. (2012): A Comparison of the Effects of 6 Weeks of Traditional Resistance Training, Plyometric Training, and Complex Training on Measures of Strength and Anthropometrics. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 26, No. 2, p. 422-431.

MacIntosh, B.R./Raissier, D.E. (2002): What is fatigue. In: *Canadian Journal of Applied Physiology*, Vol. 27, No. 1, p. 42-55. (zit. nach: Robbins, D.W. (2005): Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 19, No. 2, p. 453-458.)

Matthews, M./Comfort, P. (2008): Applying complex training principles to boxing: A practical approach. In: *Strength & Conditioning Journal*, Vol. 30, No. 5, p. 12-15.

NSCA, date unknown, [http://www.nsc.com/Education/Articles/Hot-Topic-Post-Activation-Potentiation-\(PAP\)/](http://www.nsc.com/Education/Articles/Hot-Topic-Post-Activation-Potentiation-(PAP)/), retrieved 10. 11. 2013.

O'Shea, J.P. (1979): Superquality strength training for the elite field event athlete-shot put, discus, javelin and hammer throwers. In: *Track Field Quart. Rev.*, Vol. 79, No. 2, p. 54-55. (zit. nach: Adams, K./O'Shea, J.P./O'Shea, K.L./Climstein, Mike. (1992): The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on

power production. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 6, No. 1, p. 36-41.)

O'Leary, D.D./Hope, K./Sale, D.G. (1998): Influence of gender on post-tetanic potentiation in human dorsiflexors. In: *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, Vol. 76, p. 772-779. (zit. nach: Chiu, L.Z.F./Fry, A.C./Weiss, L.W./Schilling, B.K./Brown, L.E./Smith, S.L. (2003): Postactivation potentiation responses in athletic and recreationally trained individuals. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 17, No. 4, p. 671-677.)

Rahimi, R. (2007): The acute effects of Heavy versus light-load squats on sprint performance. In: *Physical Education and Sport*, Vol. 5, No. 2, p. 163-169.

Rixon, K.P./Lamont, H.S./Bemben, M.G. (2007): Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 21, No.2, p. 500-505. (zit. nach: Horwath, R./Kravitz, L. (2008): Postactivation Potentiation: A Brief Review. In: <http://www.ideafit.com/idea-fitness-journal>, retrieved 10. 11. 2013.

Robbins, D.W. (2005): Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 19, No. 2, p. 453-458.

Sale, D.G. (2003): Neuronal adaptations to strength training. In: Komi, P.V. [Hrsg.]: *Strength and Power in Sport*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 281-314. (zit. nach: Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007b): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: *Leistungssport*, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.)

Schnabel, G./Harre, H-D./Krug, J. [Hrsg.] (2011): *Trainingslehre – Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. 2. aktualisierte Auflage, Meyer & Meyer, Aachen.

Scott, S./Docherty, D. (2004): Acute effects of heavy pre-loading on vertical and horizontal jump performance. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 18, No. 2, p. 201-205.)

Toji, H./Kaneko, M. (2004): Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. In: *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 18, No. 4, p.792-795. (zit. nach: Cormie, P./McGuigan, M.R./Newton, R.U. (2011): Developing maximal neuromuscular power - Part 2-Training considerations for improving maximal power production. In: *Sports Med.*, Vol. 41, No. 2, p. 125-146.)

Vandervoort, A.A./Quinlan, J/McComas, A.J. (1983): Twitch potentiation after voluntary contraction. In: *Experimental Neurology*, Vol: 81, No. 1, p. 141–152. (zit. nach: Hamada, T./Sale, D.G./MacDougall, J.D./Tarnopolsky, M.A. (2000): Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. In: *Journal of Applied Physiology*, Vol. 88, p.2131–37.)

Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007a): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 2: Theoretische Grundlagen der Periodisierung und ihre praktische Anwendung im Schnellkrafttraining. In: *Leistungssport*, Jg. 37, Bd. 2, S. 16-20.

Wirth, K./Schmidtbleicher, D. (2007b): Periodisierung im Schnellkrafttraining – Teil 1: Physiologische Grundlage des Schnellkrafttrainings. In: *Leistungssport*, Jg. 37, Bd. 1, S. 35-40.

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. In: *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 38, No. 3, p. 285–288, 2004. (zit. nach: Haff, G.G./Nimphius, S. (2012): Training principles for power. In: *Strength & Conditioning Journal*, Vol. 34, No. 6, p. 2-12.)

Zatsiorsky, V.M./Kraemer, W.J. (2008): *Krafttraining – Praxis und Wissenschaft*. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage, Meyer & Meyer, Aachen.