

Bestimmung des optimalen Zeitpunkts der Durchführung eines PAP-Protokolls vor dem Wettkampf

Powerbands eine praktikable Lösung für die Voraktivierung im Call-Room

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Reno Vogler

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät
Abteilung Medizin
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer
Dr. Dennis Born

Wallisellen, April 2021

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung	4
1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage	4
1.2 Post-Aktivierungs-Potenzierung	7
1.3 Forschungslücke.....	13
1.4 Ziel und konkrete Fragestellungen.....	13
2 Methoden	16
2.1 Untersuchungsgruppe.....	16
2.2 Studiendesign	16
2.3 Instrumente.....	20
2.4 Datenauswertung.....	20
3 Resultate.....	21
3.1 Kinetik der effektiven Sprunghöhe	21
3.2 Kinetik der Sprunghöhe in Prozent zum Referenzsprung.....	24
4 Diskussion.....	28
4.1 Präsentation & Interpretation der Resultate	28
4.2 Kritische Betrachtung der Studie	30
4.3 Bedeutung für die Praxis.....	32
4.4 Ausblick	32
5 Schlussfolgerung.....	35
Literatur.....	36
Dank	43

Zusammenfassung

Einleitung. Postaktivierungspotenzierung (PAP) ist ein Phänomen, das einen potenzierten Zustand der Muskeln nach einer Voraktivierung (VA) beschreibt. Diese Leistungssteigerung könnte in Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen, bei denen der Wettkampf eine lange Wartezeit zwischen dem Aufwärmen und dem Rennstart erfordert, genutzt werden. Die Durchführung der bisher verwendeten PAP-Protokolle sind, auf Grund der eingesetzten schweren Gewichte oder Apparaturen, am Wettkampfort oft nicht möglich. Protokolle mit Powerbands (Waddingham, Millyard, Patterson & Hill, 2019) schienen eine interessante Lösung zu sein, da diese problemlos transportiert werden können. Ziel dieser Studie war es, die Kinetik eines praktisch anwendbaren PAP-Protokolls mit Powerbands für die Verbesserung der Explosivkraft der Beine zu evaluieren und somit die optimale Pausendauer des PAP-Protokolls zu bestimmen.

Methoden. Zwanzig männliche Spielsportler (1. Liga bis Nationalliga A) führten in einer randomisierten Reihenfolge ein PAP-Protokolle mit fünf Sätzen zu je drei Counter Movement Jumps (CMJ) mit einer Powerband-Kombination aus, welche eine 30 – 50 %-ige Sprunghöhenreduktion herbeiführte. Als Referenz wurde das standardisierte Aufwärmen ohne eine VA ausgeführt. Um das kinetische Profil des PAP-Protokolls zu erhalten, wurde alle drei Minuten ein CMJ gemessen. Gruppenunterschiede wurden mit einer 2-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung überprüft.

Resultate. Es konnte zu keinem Zeitpunkt ein PAP-Effekt festgestellt werden. Der Interaktionseffekt (Gruppe x Zeit) zwischen der Messgruppe (5-Set-Group) und der Kontrollgruppe (ohne VA) war nicht signifikant ($F = 0.671$, $p = 0.661$). Es konnte einzig ein signifikanter Ermüdungseffekt ($F = 5.483$, $p = < .001$) festgestellt werden. Bei der Mess- und Kontrollgruppe wurden die besten Sprungwerte bei drei Minuten gemessen. Diese erreichten jedoch nur $97.0 \% \pm 6.8 \%$ beziehungsweise $97.3 \% \pm 4 \%$ des Referenzsprunges.

Diskussion & Schlussfolgerung. Entgegen den Erwartungen produzierte die VA zu keinem Zeitpunkt einen signifikant verbesserten CMJ. Möglich Gründe wären, dass das verwendete Aufwärmen zu intensiv und daher bereits an sich eine VA war und somit einen potenzierten Referenzsprung hervorbrachte. Die vielen individuellen Faktoren (Tillin & Bishop, 2009), die für eine gewünschte PAP zu beachten sind, machen die Erstellung eines PAP-Protokolls zu einer komplexen Angelegenheit. Um dieser Komplexität gerecht zu werden, müssten weitere Studien mit höchst homogenen Gruppen (gleiches Niveau und gleiche Sportart) und mit einer Variation der VA in Intensität und Übung (Widerstand und Plyometrik) gemacht werden.

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage

An der Weltspitze entscheiden minimale Leistungsunterschiede über die Podestplatzierung. So kann etwa das Selbstgespräch in Stresssituationen, die Visualisierung der technischen Ausführung, die Erreichung des optimalen Muskeltonus, die richtige Supplementierung oder eine Voraktivierung der Muskeln die Wettkampfleistung entscheidend beeinflussen (Predoiu et al., 2020; Hatzigeorgiadis, Zourbanos, Galanis & Theodorakis, 2011; Meerits et al., 2014; Grgic et al., 2020). Daher sind sowohl akute als auch kontinuierliche Steigerungen der körperlichen Leistungsfähigkeit Ziele von Athleten/-innen und ihren Trainern/-innen.

Als Grundlage für die langfristige Leistungssteigerung wird normalerweise die Strategie der Trainingsperiodisierung angewendet (Bompa, 1999). Traditionell wird die Trainingsperiodisierung in mehrere hierarchischen Zyklen aufgeteilt. Zuoberst steht die Mehrjahresplanung, die sich für die meistens Spitzenathleten/-innen auf einen Vier-Jahres-Olympiazyklus bezieht. Makrozyklen, auch Jahreszyklen genannt, dauern mehrere Monate und beinhalten Aufbau-phase, Wettkampfphase und Übergangsphase, die sich nach den wichtigsten Wettkämpfen innerhalb eines Jahres richten. Makrozyklen bestehen aus mehreren Mesozyklen, die wiederum mehrere Wochen dauern. Eine mögliche Abfolge wäre ein Hypertrophiezyklus, gefolgt von einem Maximalkraft- und abschliessend einem Schnellkraft-Mesozyklus. Innerhalb eines Mesozyklus werden die einzelnen Wochen (Mikrozyklen) in Bezug auf Akzentuierung, Intensität und Volumen geplant. Die einzelnen Trainingseinheiten stellen die kleinsten Einheiten dar (Matveyev, 1981). Diese beinhalten zahlreiche Trainingsarten und -prinzipien, die miteinander optimal kombiniert und auf sich abgestimmt werden müssen, um das athletische Potential bestmöglich auszuschöpfen.

Dieses Trainingskonzept wurde aufgrund der starken Veränderungen im Spitzensport (höhere Leistung, mehr Wettkämpfe) zur Block-Periodisierung weiterentwickelt (Issurin, 2008).

1.1.1 Kurzfristige Leistungssteigerung. Akute Leistungsverbesserungen können jedoch, wie zuvor angedeutet, durch die Anwendung verschiedener physischer oder psychologischer Strategien während (oder unmittelbar vor) Trainingseinheiten oder Wettkämpfen hervorgerufen werden. Je nach Sportart variieren die leistungsbestimmenden Attribute und somit auch die akuten Massnahmen, um die sportliche Leistung zu beeinflussen. Dabei gibt es situationsspezifische Massnahmen (z.B. Selbstgespräche im Tennis oder Visualisierung der Rennstrecke

beim Skifahren) und situationsunspezifische, welche physiologische oder/und mentale Attribute verbessern, die auf viele verschiedene Sportarten respektive Situationen anwendbar sind. Einige dieser Methoden können ohne Vorkenntnisse angewendet werden. Andere Techniken wie die Visualisierung oder das Eigengespräch müssen, bevor sie erfolgreich am Wettkampf oder im Training eingesetzt werden können, trainiert werden. So kann es mehrere Monate dauern, bis ein Athlet/-in die Visualisierung ausreichend beherrscht, um sie gewinnbringend einsetzen zu können (Predoiu et al., 2020). Aufwärmroutinen können dagegen ohne Vorkenntnisse zu einer akuten Leistungssteigerung führen.

1.1.2 Aufwärmen. Das Aufwärmen ist die Methode, welche im modernen Sport am meisten angewendet wird, um eine akute Leistungssteigerung zu generieren. Durch eine aufbauende Intensivierung der Übungen, die dynamischen Dehnungen und die Ausführung technischer Bewegungen wird der Körper für optimale Leistung vorbereitet (McGowan, Thompson, Pyne, Raglin & Rattray, 2016; Silva, Neiva, Marques, Izquierdo & Marinho 2018).

Es wird ein passives (externe Wärmezuführung) und aktives Aufwärmen (Wärmeerzeugung durch die Bewegung) unterschieden. Aktive Aufwärmübungen sind dabei die Norm, denn sie lösen nicht nur die Verminderung des Widerstandes von Muskeln und Gelenken, die erhöhte Freisetzung von Sauerstoff aus Hämoglobin und Myoglobin, die Beschleunigung von Stoffwechselreaktionen, die Verbesserung des anaeroben Stoffwechsels sowie der Nervenleitgeschwindigkeit aus, welche alle auf die Erhöhung der Körpertemperatur zurückgeführt werden (Bishop, 2003), sondern bringen auch folgende Veränderungen mit sich, die nicht auf den Temperaturanstieg zurückzuführen sind: Verletzungsprävention, Feinabstimmung der technischen Ausführung, Fokussierung auf den Wettkampf/das Training, psycho-physische Aktivierung (Raiola & D’isanto, 2016) sowie Steigerung der Durchblutung der Muskeln und des Basissauerstoffverbrauchs (Bishop, 2003).

1.1.3 Präkonditionierungsstrategien. Neben dem klassischen Aufwärmen werden weitere Strategien für den Wettkampftag untersucht. Eine Reihe von Präkonditionierungsstrategien zur akuten Leistungssteigerung wurden dafür postuliert. Zu diesen Strategien gehören passive Wärmeerhaltung, äussere ischämische Präkonditionierung (Bloodflow restriction), "Game-day-Training", hormonelles Priming und Post-Aktivierung-Potenzierung (PAP). Die Mehrheit dieser Methoden scheint einen positiven Effekt auf die Rate der Kraftentwicklung (RPD) zu haben. Dies ist von Interesse, da die RPD, insbesondere jene der unteren Extremitäten, neben den anthropometrischen Eigenschaften und der richtigen Technik eine Grundvoraussetzung

für hohe Leistungen in vielen Sportarten ist. Dazu gehören Leichtathletik-Sprints, Würfe und Sprünge sowie die meisten Spiel- und Kampfsportarten (Ben Abdelkrim et al., 2010; Valadés Cerrato et al., 2015; Till, Copley, O'Hara, Chapman & Cooke, 2013; Zois, Bishop, Ball & Aughey, 2011).

Einige dieser Sportarten haben gemeinsam, dass die Athleten/-innen lange Übergangsphasen zwischen dem Aufwärmen und dem Rennstart haben. Davon wird die meiste Zeit im Call-Room sitzend gewartet, bis der Wettkampf beginnt. Stellvertretend für die anderen Sportarten mit langen Wartezeiten und in Bezug auf den Hintergrund dieser Arbeit wird im Folgenden näher auf den Schwimmsport eingegangen.

Diverse Untersuchungen im Schwimmsport zeigten, dass ein aktives Aufwärmen die Leistungen über verschiedene Distanzen verbessern konnte (Balilionis et al., 2012; Neiva, Marques, Barbosa, Izquierdo & Marinho, 2014; Vries, 1959). Neiva et al. (2014) konnten zeigen, dass sich das Aufwärmen positiv auf die Leistung des Schwimmers auswirkte, insbesondere bei Strecken über 200 m.

Allerdings gibt es in der Wettkampfumgebung des Schwimmsports viele Möglichkeiten, die den optimalen Einsatz von aktiven Aufwärmübungen stören können. Solche Probleme sind: Verzögerungen im Wettkampfplan, fehlende Aufwärmmöglichkeiten im Schwimmbecken, Zeitaufwand für den Kleidungswechsel und lange Einweisungszeiten. Unerwartete Unterbrechungen können zu zusätzlichen Verzögerungen zwischen Aufwärmen und Wettkampf führen, was sich negativ auf die Leistung auswirken kann (West et al., 2012). Laut McGowan (2016) müssen Schwimmerinnen und Schwimmer mindestens 30 Minuten vor dem Rennstart ihr schwimmspezifisches Aufwärmen beenden (lange Einweisungszeit: 15-20+ Minuten, Wettkampfkleidung anziehen: 10 Minuten).

Der lange Unterbruch zwischen dem Verlassen des Aufwärmbeckens und dem Betreten des Startblockes ist problematisch, weil die durch das Aufwärmen induzierte Leistungsverbesserung nach 20 Minuten anfängt nachzulassen und spätestens nach 45 Minuten kein Effekt mehr vorhanden ist (West et al., 2012). Die fehlende Möglichkeit, sich vor dem Wettkampf nochmals im Schwimmbecken aufzuwärmen, erzeugt das Bedürfnis nach effektiven Wiederaufwärmprogrammen, um die Wettkampfleistung zu verbessern. Dabei ist es erstaunlich, dass 86% der befragten Coaches in der Studie von McGowan (2016) die Aufwärmübungen an Land, vor dem Einschwimmen, durchführen und nur 14% in der Wartezeit zwischen Einschwimmen und Rennstart. McGowan identifizierte als möglicher Grund, dass das Aufwärmen an Land möglicherweise bevorzugt wird, damit allfällige physische oder mobilitätsbezogene Probleme erkannt und kurzfristig behandelt werden können.

Kilduff, Finn, Baker, Cook, und West. (2013) identifizierten mehrere alternative Vorkonditionierungsstrategien, die die negativen Auswirkungen der Pausenzeit zwischen Aufwärmen und Wettkampf ausgleichen könnten. Von diesen Strategien eigneten sich jedoch nur die passive Wärmeerhaltung (Cook, Holdcroft, Drawer & Kilduff, 2013) und die Post-Aktivierungspotenzierung (PAP) für die Anwendung im Call-Room.

1.2 Post-Aktivierungspotenzierung

Im Hinblick auf akute Leistungsverbesserungen wurde dem Phänomen Post-Aktivierungspotenzierung viel Aufmerksamkeit geschenkt. PAP wurde definiert als eine verbesserte Muskelkontraktionsreaktion, die durch eine supramaximale elektrische Stimulation hervorgerufen wird (Ramsey und Street, 1941; MacIntosh, Robillard, & Tomaras, 2012; Kilduff et al., 2013). Der Begriff PAP wird jedoch in jüngerer Zeit verwendet, um eine willentliche Kraft- oder Leistungssteigerung nach einer hochintensiven, trainingsbasierten Voraktivierung zu beschreiben.

Es konnte gezeigt werden, dass die Explosivkraft durch eine willentliche Voraktivierung akut verbessert wurde. Während der Voraktivierung wird eine nahezu maximale oder submaximale Muskelkontraktion ausgeführt (Gołaś et al., 2017; Hughes, Massiah & Clarke, 2016), welche zu einer akuten Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit führt. Die verbesserte Muskelleistung nach einer Voraktivierung ist die Nettobilanz zwischen Prozessen, die Ermüdung verursachen, und den gleichzeitigen Prozessen, die zu einer Potenzierung führen. Die optimale Leistung tritt ein, wenn die Ermüdung abgeklungen, der potenzierte Effekt aber noch vorhanden ist. Daher braucht es nach der Voraktivierung eine genügend lange Erholungsphase, bevor die gewünschte Verbesserung der Explosivkraft abgerufen werden kann (Rassier & Macintosh, 2000). Die Erholungsphase ist jedoch individuell und abhängig von verschiedenen Faktoren wie den physischen Eigenschaften des Sportlers*in, dem Kraft-Zeit-Parameter und dem Bewegungsmuster der Voraktivierung (Tillin & Bishop, 2009).

PAP kann daher als eine akute Leistungssteigerung oder als eine Verbesserung der Faktoren beschrieben werden, mit der eine explosive sportliche Aktivität nach einer Voraktivierung verbessert werden kann (Whelan et al., 2014) Folglich ist der PAP-Effekt für Trainer*innen und Athlet*innen in Trainings- sowie Wettkampfsituationen von Interesse.

Die akute Leistungssteigerung im Trainingssetting, welches die Grundlage des Komplex- oder Kontrasttrainings ist (Docherty, Robbins & Hodgson, 2004; Hodgson, Docherty & Robbins, 2005), kann genutzt werden, um die Explosivkraft langfristig zu steigern.

1.2.1 PAP-Mechanismen

Phosphorylierung. Es wurden verschiedene Mechanismen zur Auslösung von PAP vorgeschlagen, doch zwei scheinen durch die Forschung gut begründet zu sein. Einer davon ist die Phosphorylierung der leichten Myosinketten, die sich aus der muskulären Voraktivierung ergibt. Durch die Aktivierung erhöht sich die Ca^{2+} -Konzentration im Sarkoplasma und die Aktin- und Myosinmoleküle werden empfindlicher für die Ca^{2+} -Verfügbarkeit. Dadurch wird eine bessere Phosphorylierung der leichten Myosinketten sowie die Bildung von grösseren Querbrücken (Macintosh et al., 2012) ermöglicht. Durch das Ca^{2+} wird die Geschwindigkeit reguliert, mit der Querbrücken den Wechsel von nicht-kraftproduzierenden zu kraftproduzierenden Zuständen vollziehen, und somit die Kraftproduktion der Skelettmuskeln beeinflusst (Vandenboom, Grange, & Houston, 1993). Dies führt zu erhöhten Raten der Kraftentwicklung und der maximalen isometrischen Kraft (Baudry und Duchateau, 2007; Hodgson et al., 2005; Sale, 2002).

Im Widerspruch dazu steht die Tatsache, dass die Phosphorylierung sich zwar sehr schnell aufbaut, aber der potenzierende Effekt sich auch wieder sehr schnell abbaut, sodass die Dauer von PAP (wie klassisch definiert) nur für wenige Minuten signifikant ist [gewöhnlich <3 min; Halbwertszeit ~ 28 s nach Vandervoort et al. (1983)] und dass der Höhepunkt der willkürlichen Leistungssteigerung in den meisten Studien 6-10 min nach der konditionierenden Aktivität auftritt (Wilson et al., 2013). Auch Macintosh et al. (2012) schreiben, dass die Phosphorylierung der leichten Myosinketten nach fünf Minuten wieder abgeklungen ist. Somit stellt sich die Frage, ob PAP durch Phosphorylierung zeitlich mit der akuten freiwilligen Leistungssteigerung, nach intensiven Kontraktionen beim Menschen, zusammenfällt.

Neuronale Faktoren. Der andere Mechanismus umfasst neuronale Faktoren wie die Erregbarkeit der α -Motoneuronen, welche für eine erhöhte kontraktile Leistung nach vorheriger Muskelaktivität verantwortlich sind. Es wurde vorgeschlagen, dass eine Konditionierungsübung mit hoher Belastung die Rekrutierung von Motoneuronen höherer Ordnung (höhere postsynaptische Potentiale und H-Welle) erhöht, was theoretisch die Aktivierung der schnell zuckenden Fasern erhöhen und somit die Leistung bei nachfolgenden explosiven Aktivitäten verbessern könnte (Trimble & Harp, 1998; Yetter & Moir, 2008; Folland & Williams, 2007). Jedoch wurde die Mehrheit dieser Studien am ruhenden Muskel durchgeführt, daher ist die Aussagekraft über die Leistung eines Muskels unter hoher Spannung (realer Ein-

satz im Sport) unklar. Die Erregbarkeit der α -Motoneuronen kann einen positiven Einfluss haben, es scheint jedoch, dass andere Faktoren eine wichtigere Rolle spielen.

Pennationswinkel. Ein weiterer Mechanismus, der der PAP zugrunde liegen könnte, der jedoch noch nicht so umfassend untersucht wurde wie die beiden anderen oben erwähnten, betrifft den Pennationswinkel. Einige Hinweise deuten darauf hin, dass Veränderungen des Pennationswinkels zum PAP-Effekt beitragen könnten (Mahlfeld et al., 2004). Der Pennationswinkel eines Muskels spiegelt die Ausrichtung der Muskelfasern im Verhältnis zu Bindegeewe und Sehnen wider. Der Pennationswinkel beeinflusst daher die Kraftübertragung auf die Sehnen und Knochen. Einige Untersuchungen haben bestätigt, dass kleinere Pennationswinkel einen mechanischen Vorteil in Bezug auf die Kraftübertragung auf die Sehne haben (Folland & Williams, 2007; Fukunaga, Ichinose, Ito, Kawakami & Fukashiro, 1997). Durch die hohe Belastung der Voraktivierung wäre es möglich, dass der Pennationswinkel zu einem mechanisch vorteilhafteren Winkel für die Kraftübertragung verschoben wird. Wobei die Veränderung des Pennationswinkels laut Mahfeld et al. (2004) nur eine addierende/untergeordnete Funktion haben kann. In der klassischen Definition von PAP (Muskelstimulation durch Elektrizität) ist laut der Literatur die Phosphorylierung der leichten Myosinketten am stärksten für den Effekt verantwortlich (Blazevich & Babault, 2019).

Der jetzige Forschungsstand ist widersprüchlich und lässt noch keine eindeutigen Schlüsse zu. Weitere Faktoren wie die Muskeltemperatur, der Muskel-pH-Wert, der Wassergehalt in den Muskeln oder eine erhöhte Zugfestigkeit (Stiffness) in den Sehnen könnten alle ebenfalls einen addierenden Einfluss haben.

1.2.2 PAP-Variabilität. Diverse Studien haben aufgezeigt, dass PAP, wenn sie effektiv eingesetzt wird, in Krafttrainingsroutinen implementiert werden könnte, um den Trainingsreiz von Explosivkraftübungen zu verstärken (Bauer et al., 2019; Docherty et al., 2004; French, Kraemer & Cooke, 2003; Stastny, Tufano, Golas & Petr, 2016; Yetter & Moir, 2008). Andere haben vorgeschlagen, PAP vor dem Wettkampf in Aufwärmübungen einzubeziehen, um die Leistung explosiver Sportaktivitäten wie Springen, Werfen und Sprinten zu verbessern (Docherty et al., 2004; Guellich & Schmidtbleicher, 1996; Waddingham et al., 2019). Es konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass drei bis 12 Minuten nach einer Voraktivierung die vertikale Sprungleistung um 3 bis 6.9 % gesteigert werden konnte (Crewther et al., 2011; L. Kilduff et al., 2008; Waddingham et al., 2019).

Trotz zahlreicher Studien sind die Widersprüche in der Literatur hinsichtlich des möglichen Nutzens von PAP für die Leistung von Explosivsportarten nach wie vor nicht schlüssig. Die Inkonsistenzen früherer Forschungen sind auf das komplexe Zusammenspiel von verschiedenen Faktoren zurückzuführen, die die akute Leistungsfähigkeit nach Voraktivierung beeinflussen (Tillin & Bishop, 2009; Hanson, Leigh & Mynark, 2007). Ebenfalls haben Studien gezeigt, dass gut trainierte, kräftigere Athleten*innen eine höhere PAP-Empfindlichkeit aufweisen (Chiu et al., 2003; Seitz, Trajano, Dal Maso, Haff & Blazevich, 2015). Dies deutet darauf hin, dass Probanden mit einem hohen Anteil an Muskelfasern vom Typ II eine bessere PAP-Reaktion zeigen (Chiu et al., 2003; Hamada, Sale, MacDougall & Tarnopolsky, 2000, 2003). Ein weiteres Problem ist, dass die Charakteristiken der Probanden in den einzelnen Forschungsprojekten stark variierten. Diese umfassten Probanden im Jugend- und Erwachsenenalter, Freizeit- und Elitesportler sowie weibliche und männliche Probanden aus diversen Sportarten (Abbes et al., 2018; Bauer et al., 2019; Bogdanis, Tsoukos & Veligekas, 2017; Cook et al., 2013; Cuenca-Fernández et al., 2019; Seitz et al., 2015).

Da die oben erwähnten Variablen in der bisherigen Forschung nicht standardisiert wurden, sind die Auswirkungen der Voraktivierung auf die Leistung nachfolgender explosiver Aktivitäten nicht schlüssig und bedürfen weiterer Forschung. Aus dieser starken Variabilität kann geschlossen werden, dass die optimale Dauer und Intensität der Voraktivierung in Kombination mit der richtigen Erholungszeit für jede Person einzeln bestimmt und berücksichtigt werden muss. Ansonsten könnte die Voraktivierung zu wenig intensiv sein, wodurch kein PAP-Effekt ausgelöst würde, oder die Ermüdung ist anstelle des PAP-Effektes präsent, wodurch die Leistung beeinträchtigt würde. Es ist naheliegend, dass das Potential der PAP für die akute Leistungssteigerung im Trainingssetting auch am Wettkampf genutzt werden möchte. Die Mehrheit der Studien untersuchten PAP-Protokolle, die zum Grossteil mit schweren Gewichten durchgeführt wurden (Chiu et al., 2003; L. P. Kilduff et al., 2007, 2011; McBride, Nimphius & Erickson, 2005). zeigten, dass nach drei Wiederholungen Kniebeugen mit 87% des 1RM Sprintschwimmer die gleichen Zeiten für die ersten 15m erreichten (Absprung und Tauchphase) wie diejenigen, die ihr übliches schwimmspezifisches Aufwärmen durchführten. Der aktuelle Wissensstand geht davon aus, dass die Voraktivierung eine hohe Intensität benötigt, damit ein PAP-Effekt ausgelöst werden kann (Bauer et al., 2019; Chiu et al., 2003; Young, Jenner & Griffiths, 1998). Die Problematik bei vielen PAP-Protokollen, die einen positiven Effekt zeigen konnten, ist dass sie aufgrund der schweren Gewichte und Kraftmaschinen wenn nur im Trainingssetting eingesetzt werden können (Bauer et al., 2019; Cuenca-Fernández et al., 2019; Young et al., 1998). Dabei wurden PAP-Protokolle für den Einsatz an

Wettkämpfen weniger gut untersucht. Die Problematik ist, dass im Vergleich zum Trainingssetting nicht mit den benötigten Gewichten und Geräten an die Wettkämpfe angereist werden kann. Dies generiert das Bedürfnis für wettkampfspezifische PAP-Protokolle, die mit einfachsten Mitteln schnell und unkompliziert an der Wettkampfstätte durchgeführt werden können. Mit diesem Hintergrund wurde versucht, PAP-Protokolle, die am Wettkampftag eingesetzt werden könnten, zu entwickeln. Viele dieser Studien versuchten den benötigten Stimulus mittels Kraftübungen mit dem eigenen Körpergewicht zu erreichen (Abbes et al., 2018; Balilionis et al., 2012; West et al., 2012). Dies erwies sich jedoch als nicht intensiv genug und erbrachte keine signifikanten Verbesserungen. Ein vielversprechender Ansatz, um die Intensität der Voraktivierung zu erhöhen, ohne die Anwendbarkeit vor dem Wettkampf infrage zu stellen, sind Powerbands. Die vorliegende Arbeit stützt sich auf die Resultate von Buttifant und Hrysomallis (2015), welche zeigten, dass mit Powerbands die gleiche Aktivierung erzeugt werden konnte wie mit Langhanteln, und Waddingham et al. (2019), welche zeigten, dass die Aktivierung mittels Powerbands (Squats) einen signifikanten PAP-Effekt in einem Wettkampfsetting hervorrufen konnte.

1.2.3 Wettkampf-PAP-Protokolle. Abbes et al. (2018) untersuchten drei unterschiedliche Aktivierungsprotokolle auf die Leistungsverbesserung in einem 50m Sprint im Vergleich zu einem klassischen schwimmspezifischen Aufwärmen. Die PAP-Protokolle waren bewusst einfach in der Durchführung, damit die Anwendung zwischen dem Einschwimmen und dem Wettkampf möglich ist. In allen der drei Protokolle wurden mit dem eigenen Körpergewicht 30 Sekunden lang so viele Wiederholungen wie möglich ausgeführt. Der Unterschied befand sich in den zu aktivierenden Muskelgruppen. Protokoll eins aktivierte den Oberkörper mittels Liegestützen, Protokoll zwei den Unterkörper mit Squat Jumps und Protokoll drei war eine Ganzkörperaktivierung mittels Burpees.

Im Vergleich zum wettkampfspezifischen Aufwärmen alleine wurde keine signifikante Verbesserung gemessen. Dies deckt sich mit den Resultaten von Sarramian, Turner und Greenhalgh (2015), die den Einfluss vier verschiedener Aufwärmprotokolle (ein traditionelles wettkampfspezifisches Aufwärmen, ein Oberkörper-PAP, ein Unterkörper-PAP und ein Ganzkörper-PAP) auf die 50 m Freistilleistung untersuchten. In dieser Studie wurde der Oberkörper mit drei maximalen Klimmzügen, die Beine mit fünf Box Jumps (mit 10% des Körpergewichts als Zusatzgewicht) und der ganze Körper mit beiden Übungen kombiniert aktiviert.

McGowan et al. (2016) untersuchten mit Elite-Sprintschwimmern ein Wiederaufwärmprotokoll für die Zeit zwischen dem Aufwärmen im Schwimmbecken und dem Wettkampfstart. In

dieser Studie wurde ein standardisiertes Aufwärmen im Schwimmbecken durchgeführt. 30 Minuten später wurde ein 100 m Zeitrennen absolviert. Die Interventionsgruppe trug in diesen 30 Minuten einen Trainingsanzug mit integrierten Heizelementen und absolvierte während fünf Minuten Aufwärmübungen an Land. Die Kontrollgruppe trug einen normalen Trainingsanzug und sass, wie üblich, im Call Room auf einem Stuhl. Dabei verbesserte sich die Interventionsgruppe um $\sim 0.8\%$.

Cuenca-Fernández et al. (2015, 2018, 2019) verglichen zwei verschiedene PAP-Protokolle (in Kombination mit einem standardisierten Einschwimmen) mit dem standardisierten Einschwimmen alleine. Eines der PAP-Protokolle verwendete ein Fly Wheel (eine Plattform, ausgerüstet mit Kabelzug und Schwungrad), welches vor allem die exzentrische Phase der Bewegung beansprucht. Das andere Protokoll wurde mit der Langhantel ausgeführt (1 Set zu 3 x Lunges mit 85% des 1RM). Die Studie von Cuenca-Fernández, López-Contreras und Arellano (2015) untersuchte den Einfluss von PAP-Protokollen auf den Schwimmstart. Dabei ist besonders interessant, dass die Voraktivierungsbewegung der Beine nahe an die Absprungbewegung aus dem Startblock herankam. Dies wurde erreicht, indem auf dem Fly Wheel die Position des hinteren Fusses um 5cm erhöht wurde. Es darf von einem guten Aktivierungsübertrag auf die relevanten Muskeln ausgegangen werden. Die Resultate zeigten, dass mit dem PAP-Protokoll, welches das Fly Wheel verwendete, die Probanden weniger Zeit brauchten für die ersten 15 m. Ebenfalls verbesserte sich die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit der Kniestreckung sowie die Absprunzeit auf dem Startblock.

Darauf untersuchten Cuenca-Fernández, Ruiz-Teba, Contreras, und Arellano (2018) die 50 m Freistil-Sprintleistung mit dem gleichen PAP-Protokoll wie in Cuenca-Fernández et al. (2015). Zusätzlich wurde der Oberkörper aktiviert. Auch in dieser Studie verbesserte sich die Startleistung, im Verlauf des Rennens verschlechterte sich jedoch die Leistung, sodass sich die Schlusszeiten im Vergleich zu der Vergleichsgruppe nicht verbesserten. Die Autoren schliessen daraus, dass die Voraktivierung der Beine gewinnbringend sein kann, die der Arme jedoch nicht. Cuenca-Fernández et al. (2018) schreiben abschliessend dazu:

The effect on the velocity at take-off or the increase in vertical forces exerted on the block leads us to consider the use of this device prior to competition in short events. However, given the infeasibility of using it six minutes prior to getting on the block or while waiting in the call-up room, lead us to recommend it preferably as an interesting training tool for coaches, as an extension movement can be effectively performed with lower limbs. (s.9)

Zu beachten gilt, dass die Studien die lange Wartezeit eines Wettkampftages zwischen dem Aufwärmen im Schwimmbecken und dem Rennstart nicht in Betracht zogen.

1.3 Forschungslücke

Die vorliegende Studie untersuchte ein PAP-Protokoll mit Powerbands. Powerbands sind günstig und leicht, sie haben ein geringes Packvolumen und verfügen somit über praktische Eigenschaften bezüglich Wettkampfreisen. Eine weitere positive Eigenschaft ist die Einfachheit der Durchführung am Wettkampf. Es braucht sehr wenig Platz (ca. 1 m²) und lediglich zwei zusätzliche Personen, die die Powerbands für den zu springenden Athleten, die zu springende Athletin am Boden festhalten. Die Studie von Iversen, Mork, Vasseljen, Bergquist und Fimland (2017) verglich die Muskelaktivität in verschiedenen Übungen, ausgeführt mit Powerbands und konventionellem Widerstand (Langhantel) und zeigte auf, dass eine verstärkte Muskelaktivierung in Bewegungsabläufen mit Powerbands stattfindet. In den Bewegungsabschnitten, in welchen die Powerbands grosse Spannung aufweisen, ist die Muskelaktivität nahezu gleich wie in denjenigen mit Einsatz von Gewichten. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde in der vorliegenden Studie die Voraktivierung mit Powerbands durchgeführt.

Unseres Wissens untersuchten nur Waddingham et al. (2019) ein PAP-Protokoll, das vor dem Wettkampf mittels Powerbands im Call-Room durchgeführt werden kann. Diese Studie verglich drei verschiedene Aktivierungsprotokolle, Squats mit Powerband (27-68kg Zugwiderstand), Squat Jumps mit Gewichtsweste (15% des eigenen Körpergewichts) und Drop Jumps. Waddingham et al. (2019) war eine der wenigen Studien, die die individuelle Kinetik der Voraktivierung der einzelnen Probanden berücksichtigte und nicht einfach arbiträr eine Erholungszeit aus der Literatur bestimmte. Dafür musste jeder Proband nach der Voraktivierung ein Kinetik-Protokoll durchlaufen. Dabei musste in vordefinierten Zeitabständen ein CMJ absolvieren werden. So konnte für jeden Probanden die optimale Erholungszeit für diese spezifische Voraktivierung bestimmt werden. Der CMJ mit Powerband zeigte die grösste Verbesserung und die Verfasser unterstützen ein PAP-Protokoll mit Powerband-Squats (3 Sets zu je 3 Wiederholungen) in Kombination mit einem traditionellen Aufwärmen im Schwimmbecken.

1.4 Ziel und konkrete Fragestellungen

Es soll ein Voraktivierungsprotokoll, welches eine Leistungssteigerung bei Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen der unteren Extremitäten beabsichtigt, erarbeitet und auf seine Wirksamkeit untersucht werden. Das Protokoll soll so konzipiert sein, dass es von den

Athleten*innen in der Praxis vor einem Wettkampf speditiv und unkompliziert umgesetzt werden kann. Die gewünschte Intensität der Voraktivierung wird durch Powerbands (leicht und platzsparend) erzeugt. Für die Wahl des Zugwiderstandes respektive der Bandstärke wird die Relativkraft wie auch die Grösse der einzelnen Probanden*innen berücksichtigt. Entscheidend für die Nutzung des PAP-Effekts ist zum einen, dass die gewünschten Muskelgruppen mit den richtigen Übungen in der richtigen Intensität aktiviert werden, zum andern der richtige Zeitpunkt, wann das PAP-Protokoll durchgeführt wird. Um den exakten Zeitpunkt bestimmen zu können, muss für jeden Athleten*in individuell die Kinetik des PAP-Protokolls im Vorfeld bestimmt werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Ermüdung der Muskulatur grösser ist als der potenzierende Effekt der Voraktivierung und somit keine Verbesserung vorliegt.

Diese Arbeit hat zum Ziel, die Kinetik des erstellten Voraktivierungsprotokolls zu bestimmen, um somit den optimalen Zeitpunkt für die Durchführung des PAP-Protokolls vor einem Wettkampf zu bestimmen. Dieser Zeitpunkt soll als Richtwert dienen, damit nicht eine individuelle Bestimmung der Kinetik nötig ist.

Um das Protokoll zu standardisieren und somit effektiv Empfehlungen an Athleten*innen geben zu können, wird analysiert, ob durch die Voraktivierung eine signifikante Optimierung der vertikalen Sprungleistung stattfindet.

Deskriptives/Prävalenz

1. Beeinflusst die Intensität der Voraktivierung (5-Set Voraktivierung vs. ohne Voraktivierung) die Erholungszeit bis zum optimalen Zeitpunkt der Potenzierung?
2. Wie stark verbessert die Voraktivierung die Sprungleistung?

Inferenz-Statistik

1. Welche Erholungszeit, in Bezug auf die Intensität der Voraktivierung, produziert den grössten PAP-Effekt (vertikale Sprungleistung)?

Folgende Hypothesen wurden formuliert, um die Fragestellung wissenschaftlich zu überprüfen:

Hypothese 1: Die Intensität der Voraktivierung hat einen Einfluss auf die Erholungszeit, bis zum optimalen Potenzierungseffekt.

Hypothese 2: Eine hohe Intensität der Voraktivierung führt zu einem höheren vertikalen Sprung (CMJ) als die Kontrollgruppe

Hypothese 3: Die Voraktivierung erzeugt, nach einer gewissen Erholungszeit, eine höhere Sprungleistung als vor der Voraktivierung (Referenzsprung).

2 Methoden

2.1 Untersuchungsgruppe

Die Tests wurden mit 20 männlichen gut trainierten Spielsportlern (Spielsportler von der 1. Liga bis Nationalliga A oder ähnlich gut trainierte) durchgeführt. Am ersten Testtag wurden den Probanden die Grobziele der Studie erklärt und ihr schriftliches Einverständnis zum Testverfahren wurde eingeholt. Es wurden nur Athleten berücksichtigt, die alle vier Messungstage durchlaufen haben. Die Teilnahme fand freiwillig statt und konnte jederzeit ohne Begründung abgebrochen werden.

Tabelle 1

Demographischen Daten der Untersuchungsgruppe.

	Durchschnittsalter		Durchschnittsgrösse		Durchschnittsgewicht	
Untersuchungsgruppe (n = 20)	M 27.2	SD \pm 3.4	M 174.08 cm	SD \pm 7.0	M 80.5 kg	SD \pm 8.2

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung.

2.2 Studiendesign

Die Probanden wurden an vier nicht aufeinanderfolgenden Tagen (mindestens 48 h Erholungszeit) in drei unterschiedlichen Voraktivierungsintensitäten (tief, mittel, hoch) und einer Kontrollmessung ohne Voraktivierung randomisiert getestet. Dabei wurde darauf geachtet, dass der einzelne Proband zur gleichen Tageszeit (\pm 2 h) getestet wurde. Am ersten Messungstag wurden den Teilnehmern erklärt, wie die Studie ablaufen würde, und die Einverständniserklärung wurde ausgefüllt. Danach wurden die Grösse in Zentimeter (barfuss) mit einem Doppelmeter und das Gewicht in Kilogramm mit einer handelsüblichen Waage (Hans Dinslage GmbH, SGS03, Uttenweiler, Deutschland) gemessen.

2.2.1 Bandeinteilung. Gestützt auf die allgemeinakzeptierte Theorie, dass die Schnellkraft bei \sim 40 % des Einrepetitionsmaximums (1RM) trainiert wird, wurde in der vorliegenden Studie darauf geachtet, dass die Voraktivierung mittels Powerband (Powerband, Crossequip, Pfäffikon, ZH) eine Sprunghöhenreduktion von 30 bis 50 % des Counter-Movement-Jumps (CMJ) der Probanden hervorrief. Dafür wurde im Vorfeld der Messungen für jeden Probanden individuell die Powerband-Kombination, welche die erwünschte Sprunghöhenreduktion herbeiführte, erprobt. Die Probanden führten einen Baseline-Test (CMJ, Hände eingestützt)

ohne Powerband auf dem OptoJump Next durch. Danach wurde experimentell getestet, welche Powerband-Kombination die gewünschte Sprungreduktion (30-50%) herbeiführte.

Tabelle 2

Experimentelle Voruntersuchung für die Wahl der Powerband-Kombination für die Erreichung einer 30 bis 50 %-Reduktion der Sprunghöhe des CMJ während der Voraktivierung der Studie. Aufgeführt sind drei Werte aus der Studie: höchster Sprung, Durchschnittssprunghöhe und tiefster Sprung, sowie die Sprunghöhenreduktion und die gewählten Bänder, mit welchen später die Voraktivierung durchgeführt wurde.

	Referenzsprung (ohne Band)	Sprunghöhenreduktion in % (mit Band)	Bandstärke
Höchster Sprung	56.2 cm	~ 43.9 %	2 x schwarz
Durchschnittshöhe	43.7 cm	30-50 %	1 x rot / 1 x schwarz
Tiefster Sprung	30.8 cm	~37.0 %	2 x rot

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung. Höchster/- durchschnittlicher/- und tiefster Referenzsprung aus allen Messungen der Untersuchungsgruppe (n = 20).

2.2.2 Ablauf des Messungstags. Die ganze Messung wurde barfuss durchgeführt. Zu Beginn jedes Messungstages wurde ein Fragebogen zu Schlafqualität (mod. Nach Hardy & Rejeski, 1989) und Muskelermüdung (mod. nach Borg, 1969) von den Probanden ausgefüllt, die Muskelermüdung wurde ein zweites Mal nach der Messung erhoben. Danach wurde ein standardisiertes Aufwärmen durchgeführt, welches von einem der Autoren angeleitet wurde. Das Aufwärmprotokoll dauert zwischen vier und 6 Minuten und bestand aus zwei Runden der folgenden Übungen: 20 Fersenhüpfen, 10 Air Squats, 10 beidbeinige Body Weight Glute Bridges, 5 einbeinige Glute Bridges pro Bein, 10 Lunge Jumps und je 5 Single Leg Rumanian Deadlifts. Darauf folgte eine fünfminütige Pause im Sitzen.

Damit der Einfluss der variablen Tagesform auf die Resultate minimiert wurde, wurden an jedem Messungstag, nach dem Aufwärm-Protokoll, zwei Baseline-Sprünge als Referenz für die Tagesleistung durchgeführt. Die zwei Minuten Pause zwischen den beiden Baseline-Sprüngen, sowie in allen folgenden Pausen dieser Studie, wurden sitzend verbracht.

Nach dem zweiten Baseline-Sprung wurden so schnell als möglich (~ 10 s) die Powerbands angezogen und das erste Voraktivierungsset wurde absolviert. Zwischen jedem weiteren Set wurde sitzend zwei Minuten pausiert.

Ein Set bestand aus drei mit den Händen bei der Hüfte eingestützten CMJ unter Zugwiderstand. Die drei Intensitäten der Voraktivierung unterschieden sich durch die Anzahl auszuführender Sets (tiefe Intensität = 1 Set, mittlere Intensität = 3 Sets, hohe Intensität = 5 Sets). Die Powerbands wurden jeweils links und rechts an einer 40 kg Kurzhantel befestigt und so knapp wie möglich ausserhalb des OptoJump-Lichtsensors platziert. Die Powerbands wurden überkreuzt (wie ein Sicherheitsgurt) angezogen, damit der Proband nach dem Absprung nicht auf eine Seite gezogen wurde. Nach der Beendigung des letzten Voraktivierungs-Sets wurde jeweils nach 15 Sekunden, 3, 6, 9, 12, 15, 18 und 21 Minuten (dazwischen sitzend Pause) ein CMJ (Hände eingestützt) ausgeführt. Das dadurch erhaltene individuelle kinetische Profil des Ermüdungs-Potenzierungs-Kontinuums der jeweiligen Voraktivierungsintensität bestimmte die individuelle optimale Erholungszeit der jeweiligen Voraktivierung. Als Referenzwert wurde das gleiche Testprotokoll ohne Voraktivierung durchgeführt. In diesem Fall wurde 15 s nach dem zweiten Referenzsprung der erster CMJ ausgeführt.

Die Werte wurden von dem Programm (OptoJump Next, Software Version 1.12) abgespeichert und von Hand in eine Excel-Tabelle (Microsoft Excel für Mac 2017, Microsoft Corporation, Redmond, USA) eingetragen. Danach wurden die Daten mit dem Datenauswertungsprogramm JASP Team (Version 0.14.1 für Mac 2020, Computer Software, Amsterdam, Netherlands) ausgewertet.

2.2.3 Flow-Chart

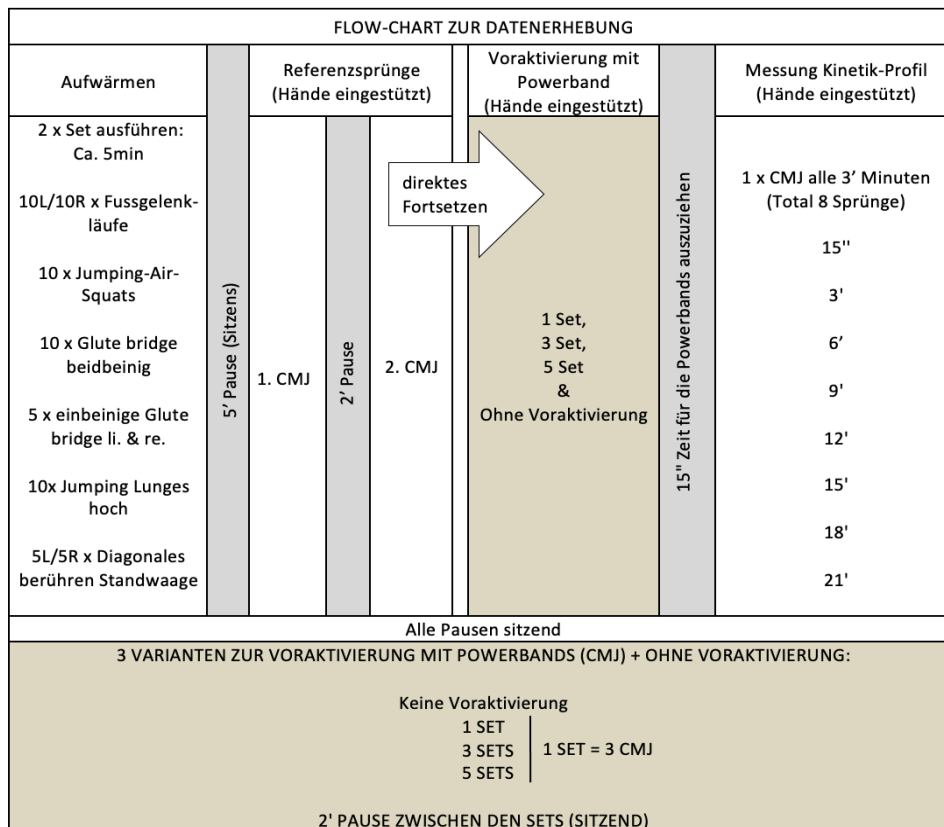


Abbildung 1. Das Flowchart diente zur Durchführung der Datenerhebung. Es wurde Runden des standardisierten Aufwärmens durchgeführt, gefolgt von 5 Minuten sitzend Pause. Alle Sprünge wurden barfuss und mit eingestützten Armen durchgeführt. Zwischen den Referenzsprüngen 2 Minuten. Der Messverlauf blieb bei allen vier Interventionen gleich.

2.2.4 Erfassung der Kinetik des PAP-Protokolls. Die Kinetik des PAP-Protokolls zu kennen, ist entscheidend, damit die Voraktivierung zum richtigen Zeitpunkt vor dem Wettkampfstart ausgeführt werden kann. Ansonsten könnte die Ermüdung noch präsent sein oder der PAP-Effekt bereits am Abklingen, was in beiden Szenarien eine Einbusse der Potenzierung zur Folge haben könnte. Einige Studien untersuchten die Kinetik ihrer PAP-Protokolle, um die individuelle Erholungszeit, die für die verbesserte Muskelleistung nötig ist, zu bestimmen (L. P. Kilduff et al., 2011; Sarramian et al., 2015; Waddingham et al., 2019). Gestützt auf die Studie von Waddingham et al. (2019), die ebenfalls Powerbands zur Voraktivierung nutzte und die die Kinetik mit Messungen nach 15 Sekunden, 3, 6, 9 und 12 Minuten erhob, wurden in der vorliegenden Studie das gleiche Zeitintervall gewählt. Zur Komplettierung des kinetischen Spektrums wurde zusätzlich nach 15, 18 und 21 Minuten die Sprungleistung erhoben.

2.3 Instrumente

Die Sprunghöhe (in cm) wurde mit einem optischen Messgerät (OptoJump Next, Microgate, Bolzano, Italien) gemessen. Alle Daten werden von der dazugehörigen Software (OptoJump Next, Software Version 1.12) abgespeichert sowie für den Fall des Datenverlustes, von Hand in vorgefertigte Tabellen eingetragen. Das subjektive Belastungs- / Beanspruchungsempfinden (RPE) wird mittels der Borgskala (1-10) erhoben.

Die eingesetzten Powerbands waren nicht neuwertig. Damit nur Powerbands genommen wurden, die eine gleiche Zugleistung hatten, wurde die durchschnittliche Zugkraft der verwendeten Powerbands (Cross Equipe, Pfäffikon, Standardfarben Rot und Schwarz) bestimmt. Dafür wurden jeweils 5 kg Kurzhanteln (Cross Equipe, Pfäffikon), an ein aufgehängtes Powerband befestigt. Die initiale Dehnung des Powerbandes sowie die Dehnung nach 5 min wurden an einem Messband abgelesen.

2.4 Datenauswertung

Für die Datenerhebung und -aufbereitung wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Excel 2017, Microsoft Corporation, Redmond, USA) verwendet und in einer Datenmatrix dargestellt. Statistische Verfahren wurden in JASP Team (Version 0.14.1 für Mac 2020, Computer Software, Amsterdam, Netherlands) vorgenommen.

In Bezug auf Schneider (2021) wurde die Kinetik der Sprunghöhe nach der Voraktivierung mit der höchsten Intensität (5 Sets) zur Kontrollgruppe ohne Voraktivierung auf einen Zeit-, Gruppen- und Interaktionseffekt verglichen. Neben der effektiven Sprunghöhe wurden die Daten auf die prozentuale Sprungleistung zum Referenzsprung normalisiert und analysiert. Die Daten wurden als Mittelwerte \pm Standardabweichung (SD) präsentiert. Es wurde ein Alpha-Level < 0.05 als statistisch signifikant angesehen. Eine 2-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (repeated measure ANOVA) unter Verwendung des Holmes-Post-Hoc-Tests wurde durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen der Sprunghöhe der Gruppen (Gruppen-Effekt), den Messzeitpunkten (Zeit-Effekt) und den Interaktionseffekt (Gruppe x Zeit-Effekt) festzustellen. Zusätzlich wurden die Effektgrösse (partial η^2) und die statistische Power für jede Variable berechnet. War das $\eta^2 < .75$, dann wurde die Greenhouse-Geisser-Korrektur, und wenn es $> .75$ war, wurde die Huynh-Feld-Korrektur angewendet. Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Die Homogenität der Fehlervarianzen wurde mittels des Levene's-Tests begutachtet. Die Sphärizität wurde nach Mauchly überprüft.

3 Resultate

Der Resultate-Teil ist nach diesen zwei Vergleichen aufgeteilt. Darin werden das statistische Vorgehen beschrieben und die Kinetik der beiden Gruppen grafisch dargestellt.

3.1 Kinetik der effektiven Sprunghöhe

3.1.1 Sphärizitäts-Test. Die Sphärizität nach Mauchly zeigte einen signifikanten Effekt ($p < 0.001$) und das ε war $< .75$, daher wurde die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewendet.

Tabelle 1

Mauchly's Test auf Sphärizität

	Mauchly's W	p-value	Greenhouse-Geisser ε
Zeit	0.129	$< .001$	0.606

Anmerkung. Test auf Sphärizität der Gruppe 5 Set-Gruppe und der Kontrollgruppe (ohne Voraktivierung).

3.1.2 Gleichheit der Varianzen. Der Levene's-Test zeigte, dass die Homogenität der Varianzen gegeben war, worauf der Post-Hoc-Test nach Holm's verwendet wurde.

Tabelle 2

Levene's Test auf Gleichheit der Varianzen

Messzeitpunkt	F	p
15 s	0.062	0.805
3 min	0.085	0.772
6 min	0.020	0.889
9 min	0.005	0.945
12 min	0.014	0.906
15 min	0.362	0.551
18 min	0.009	0.924
21 min	0.001	0.971

Anmerkung. Der p-Wert war bei allen Messzeitpunkten weit über dem Signifikanzniveau von $\alpha < 0.05$, somit war die Gleichheit der Varianzen gegeben.

3.1.3 Gruppenvergleich. In der Tabelle 3 wurden die Kinetik der Sprunghöhe der beiden Gruppen und die zwei Haupteffekte (Zeit und Gruppe) und der Interaktionseffekt (Gruppe x Zeit) mit dem F -Wert, p -Wert und dem Partiellen η^2 dargestellt. Innerhalb der Gruppe gab es einen Zeiteffekt, Greenhouse–Geisser $F(4, 161) = 5.888, p = < 0.001$, partielles $\eta^2 = 0.134$. Es gab keine statistisch signifikante Interaktion zwischen der Zeit und den Untersuchungsgruppen, Greenhouse–Geisser $F(4, 161) = 0.606, p = 0.594$, partielles $\eta^2 = 0.018$ wie auch nicht zwischen den Gruppen Greenhouse–Geisser $F(1, 161) = 4.759\text{e-}4, p = 0.983$, partielles $\eta^2 = 1.252\text{e-}5$

Tabelle 3

Vergleich der Kinetik der Sprunghöhe zwischen der Gruppe mit der intensivsten Voraktivierung (5 Set zu 3 CMJ unter Zugwiderstand) mit der Kontrollgruppe ohne Voraktivierung.

		Kontrollgruppe (%)	5 Set Gruppe (%)		F-Wert	p-Wert	Partielles η^2
Sprunghöhe (cm)	15 s	42.2 ± 5.4	41.8 ± 5.5	a)	$F_{(4,161)} 5.888$	< .001	0.134
	3 min	42.4 ± 5.4	42.7 ± 5.5 *	b)	$F_{(4,161)} 0.711$	0.594	0.018
	6 min	41.4 ± 4.8	41.7 ± 5.0	c)	$F_{(1,161)} 4.759e^{-4}$	0.983	1.252e ⁻⁵
	9 min	41.2 ± 5.4	41.6 ± 5.0				
	12 min	41.0 ± 5.2	41.9 ± 5.4				
	15 min	40.8 ± 5.9	40.6 ± 5.1 *				
	18 min	40.9 ± 5.5	40.8 ± 5.4 *				
	21 min	41.1 ± 6.1	40.6 ± 5.9 *				

Anmerkung. Gruppenvergleich (n = 20), Sprunghöhe in cm, Mittelwert ± Standardabweichung in cm, signifikante Unterschiede wurden mit einer 2-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung festgestellt, * = signifikante Unterschiede, Sprunghöhe der Messzeitpunkte: 15 s, 3 min, 6 min, 9 min, 12 min, 15 min, 18 min, 21 min. Die erste Sprungmessung (15 s) wurde bei der Kontrollgruppe 15 Sekunden nach dem zweiten Referenzsprung und bei der 5-Set-Gruppe 15 Sekunden nach dem letzten Voraktivierungsset durchgeführt.

a) Haupteffekt: Zeit (Sprunghöhe)

b) Interaktionseffekt. Zeit x Gruppe

c) Haupteffekt: Gruppenvergleich

3.1.4 Zeiteffekt der Kinetik. Abbildung 1 zeigt innerhalb der jeweiligen Gruppen einen signifikanten Zeiteffekt zwischen der Sprunghöhe 15 Sekunden und 15 Minuten ($p = 0.012$) und hochsignifikante Zeiteffekte beim Messzeitpunkt 3 Minuten zu den Messzeitpunkten 15 ($p < 0.001$) 18 ($p < 0.001$) und 21 ($p < 0.001$) Minuten.

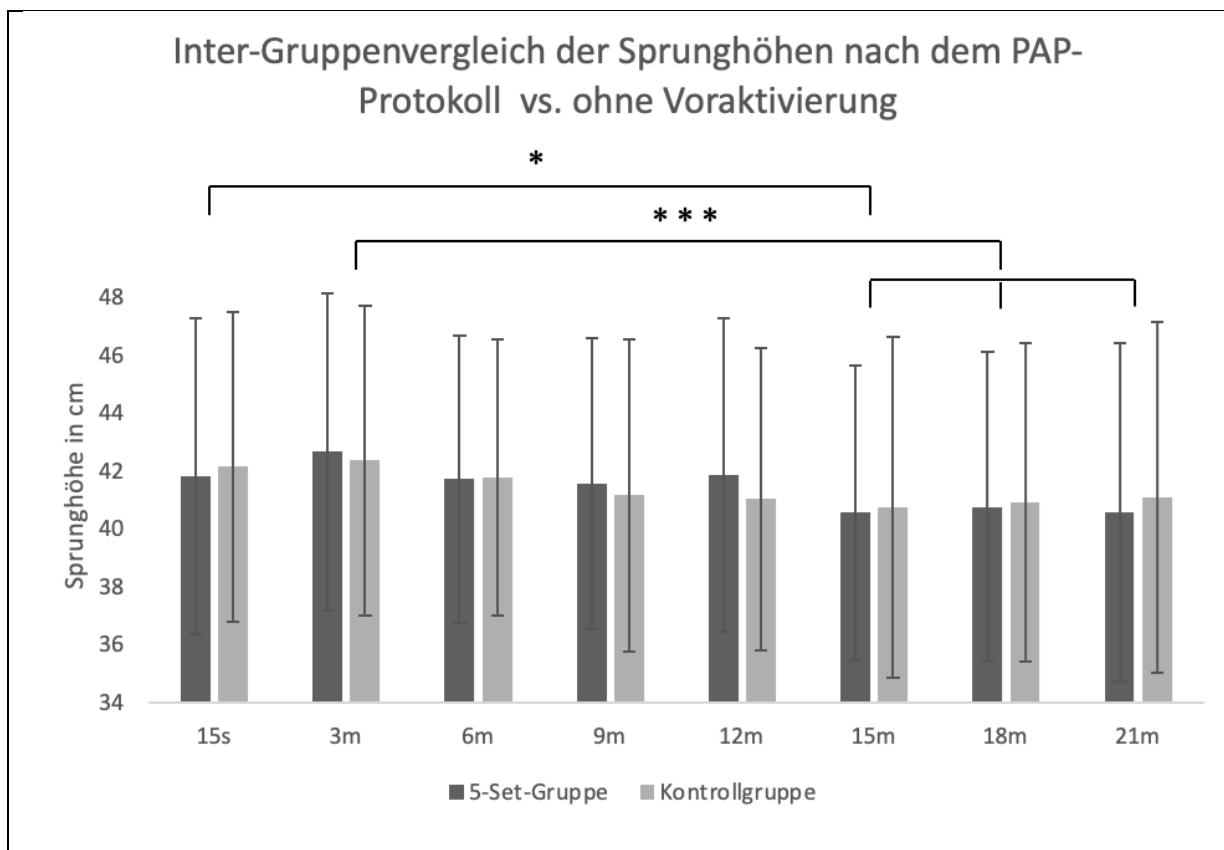


Abbildung 2. Es gab einen Zeiteffekt innerhalb der beiden Gruppen (5-Set-Gruppe und Kontrollgruppe). Sprunghöhe ist in cm, alle 3 Minuten wurde die Sprunghöhe gemessen für die Erstellung des kinetischen Profils der Voraktivierung. Der erste Sprungwert (15 s) unterschied sich signifikant zum Sprungwert bei 15 min. Der Messzeitpunkt bei 3 Minuten unterschied sich hochsignifikant zu den Messzeitpunkten 15, 18 und 21 Minuten.

3.2 Kinetik der Sprunghöhe in Prozent zum Referenzsprung

3.2.1 Sphärizitäts-Test. Die Sphärizität nach Maulchly zeigte einen signifikanten Effekt ($p < 0.001$) und das ϵ war $< .75$, daher wurde die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewendet.

Tabelle 4

Mauchly's Test auf Sphärizität

	Mauchly's W	p-value	Greenhouse-Geisser ϵ
Zeit	0.087	< .001	0.565

Anmerkung. Test auf Sphärizität der Gruppe 5-Set-Gruppe und der Kontrollgruppe (ohne Voraktivierung).

3.2.2 Gleichheit der Varianz. Der Levene's-Test zeigte, dass die Homogenität der Varianzen gegeben war, worauf der Post-Hoc-Test nach Holm's verwendet wurde.

Tabelle 5

Levene's Test auf Gleichheit der Varianzen

Messzeitpunkt	F	p
15 s	2.105	0.155
3 min	6.128	0.018
6 min	8.540e -5	0.993
9 min	8.693	0.005
12 min	0.127	0.724
15 min	0.740	0.395
18 min	1.814	0.186
21 min	1.684	0.202

Anmerkung. Der p-Wert war bei allen Messzeitpunkten weit über dem Signifikanzniveau von $\alpha < 0.05$, somit war die Gleichheit der Varianzen gegeben.

3.2.3 Gruppenvergleich. In der Tabelle 6 wurden die Kinetik der Sprunghöhe in Prozent zum Referenzsprung der beiden Gruppen und die drei Haupteffekte (Zeit, Gruppen, Gruppe x Zeit) mit dem F-Wert, p-Wert und dem Partiellen η^2 dargestellt. Innerhalb der Gruppe gab es einen Zeiteffekt, Greenhouse–Geisser $F(4, 161) = 5.483$, $p = < 0.001$, partielles $\eta^2 = 0.134$. Es gab keine statistisch signifikante Interaktion zwischen der Zeit und den Untersuchungsgruppen, Greenhouse–Geisser $F(4, 161) = 0.671$, $p = 0.661$, partielles $\eta^2 = 0.018$ wie auch nicht zwischen den Gruppen Greenhouse-Geisser $F(1, 161) = 0.453$, $p = 0.505$, partielles $\eta^2 = 0.012$

Tabelle 6

Vergleich der Kinetik der Sprunghöhe in Prozent in Relation zur Tagesleistung (Baseline-Test), zwischen der Gruppe mit der intensivsten Voraktivierung (5 Set zu 3 CMJ unter Zugwiderstand) mit Kontrollgruppe ohne Voraktivierung.

		Kontrollgruppe (%)	5-Set-Gruppe (%)		F-Wert	p-Wert	Partielles eta ²
Sprunghöhe in Prozent zum Referenzsprung	15 s	96.8 ± 4.1	94.8 ± 6.0	a)	F _(4,161) 5.483	< .001	0.134
	3 min	97.3 ± 4.0	97.0 ± 6.8 *	b)	F _(4,161) 0.671	0.661	0.018
	6 min	96.4 ± 7.7	94.7 ± 6.2	c)	F _(1,161) 0.453	0.505	0.012
	9 min	94.5 ± 3.3	94.5 ± 7.1				
	12 min	94.3 ± 4.6	95.2 ± 5.4				
	15 min	93.5 ± 5.0	92.3 ± 6.2 *				
	18 min	93.9 ± 4.1	92.6 ± 5.9				
	21 min	94.2 ± 5.4	92.2 ± 9.1 *				

Anmerkung. Gruppenvergleich (n = 20), der Referenzsprung bestimmte die Tagesform der Probanden und wurde an jedem Messungstag vor der Voraktivierung erhoben, Sprunghöhe in Prozent, Mittelwert ± Standardabweichung in Prozent, signifikante Unterschiede wurden mit einer 2-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung festgestellt, * = signifikante Unterschiede, Sprunghöhe in Prozent zum Referenzsprung der Messzeitpunkte: 15 s, 3 min, 6 min, 9 min, 12 min, 15 min, 18 min, 21 min. Die erste Sprungmessung (15 s) wurde bei der Kontrollgruppe 15 Sekunden nach dem zweiten Referenzsprung und bei der 5-Set-Gruppe 15 Sekunden nach dem letzten Voraktivierungsset durchgeführt.

a) Haupteffekt: Zeit (Sprunghöhe)

b) Interaktionseffekt. Zeit x Gruppe

c) Haupteffekt: Gruppenvergleich

3.2.4 Zeiteffekt der Kinetik. Abbildung 3 zeigt, innerhalb der beiden Gruppen, einen signifikanten Zeiteffekt (Zeit) zwischen der Sprunghöhe bei den Messzeitpunkten 15 Sekunden und 15 Minuten ($p = 0.039$) und hochsignifikante Zeiteffekte zwischen dem Messzeitpunkt 3 Minuten und den Messzeitpunkten 15 ($p < 0.001$), 18 ($p < 0.001$) und 21 ($p < 0.001$) Minuten.

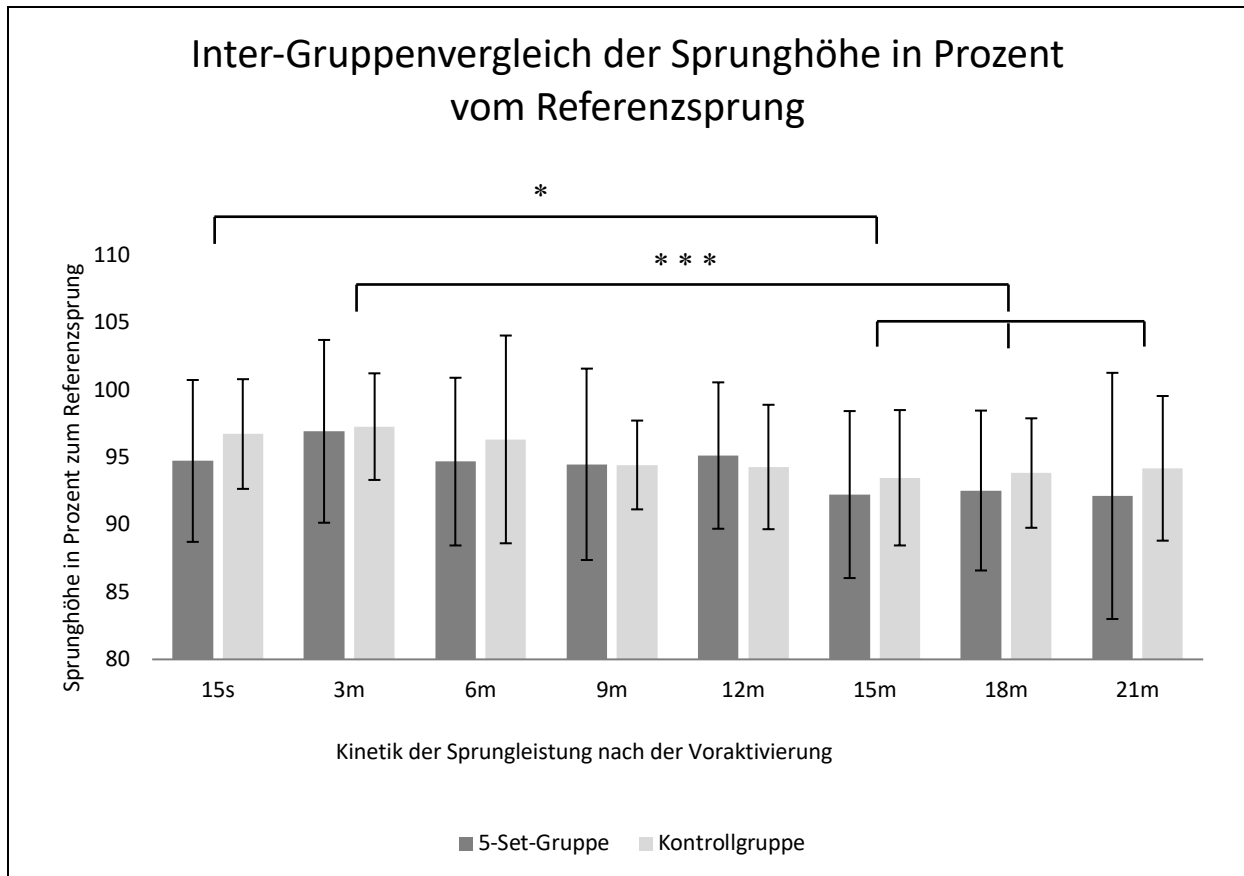


Abbildung 3. Es gab einen Zeiteffekt innerhalb der beiden Gruppen (5-Set-Gruppe und Kontrollgruppe). Sprunghöhe ist in cm, alle 3 Minuten wurde die Sprunghöhe gemessen für die Erstellung des kinetischen Profils der Voraktivierung. Der erste Sprungwert (15 s) unterschied sich signifikant zum Sprungwert bei 15 min. Der Messzeitpunkt bei 3 Minuten unterschied sich hochsignifikant zu den Messzeitpunkten 15, 18 und 21 Minuten.

4 Diskussion

4.1 Präsentation & Interpretation der Resultate

Ziel dieser Arbeit war es, die Kinetik jener Voraktivierungs-Intensität (1, 3 oder 5 Sets zu 3 CMJ unter Zugwiderstand) des eigens entwickelten PAP-Protokolls zu bestimmen, welches nach Schneider (2021) die stärkste Potenzierung hervorrief. Von diesem PAP-Protokoll, sowie von der Kontrollgruppe (ohne Voraktivierung), wurde die Kinetik der Sprunghöhe analysiert, um die optimale Erholungszeit für den Potenzierungseffekt zu bestimmen. Mit der Absicht, das PAP-Protokoll zur richtigen Zeit vor einem Wettkampf, in einem Call-Room, durchführen zu können, damit beim Wettkampfeinsatz die Explosivkraft der Beine sich in einem potenzierten Zustand befinden und die Leistung dementsprechend gesteigert werden kann.

Die Ergebnisse zeigten ein eindeutiges Bild: Die Voraktivierung erzeugte im Mittelwert zu keinem Messzeitpunkt einen potenzierenden Effekt und widersprach somit den Resultaten von Waddingham et al. (2019), Bauer et al. (2018), Buttifant und Hrysomallis (2015) und Kilduff et al. (2011). Dabei gilt es anzumerken, dass Waddingham et al. (2019) den PAP-Effekt mit einem Call-Room-Szenario verglichen, indem die Kontrollgruppe nach dem Aufwärmen eine für Schwimmwettkämpfe typische Pause von 20 Minuten vollzog. Die Untersuchungsgruppen führten in diesen 20 Minuten jeweils eines von drei PAP-Protokollen durch. Daher untersuchten Waddingham et al. (2019) den Effekt eines Wiederaufwärmprotokolls im Call-Room zu 20 Minuten Pause, wie es oft im Schwimmsport der Fall ist. Die Studie von Bauer et al. (2018) untersuchte den wiederkehrenden PAP-Effekt im Trainingssetting über drei Sätze in einer Kontrastmethode. Dabei ist von Bedeutung, dass nur der erste Satz zu einer Sprunghöhenverbesserung führte. Der zweite und dritte Satz verbesserte zwar die Peak Power (gemessen auf einer mobilen Kraftmessplatte), nicht aber die Sprunghöhe. Zur Erklärung dieses Effekts verwiesen die Autoren auf eine Hypothese von Chaouachi et al. (2011), dass ermüdungsbedingte Beeinträchtigungen der Koordination der Grund für die Zunahme von Leistung, Kraft und/oder Geschwindigkeit sein könnten, ohne dass eine Verbesserung der Sprunghöhe entsteht.

Die Resultate reihen sich jedoch zu den Studien von Hanson et al. (2007) und Witmer, Davis und Moir (2010), die keinen Effekt feststellen konnten. Wie in der vorliegenden Studie verwendeten die Studien von Hanson et al. (2007) und Witmer et al. (2010) eine submaximale (40, 70 und 80 % Squats) Voraktivierung. Zusätzlich wurde nur ein Voraktivierungssatz aus-

geführt. Die relativ niedrige Intensität der Voraktivierung war ein gemeinsamer Nenner dieser Studien. Gemäss den Untersuchungen von Gołaś et al. (2017) und Hughes et al. (2016) wäre die Intensität der Voraktivierung des verwendeten PAP-Protokolls (Sprunghöhenreduktion von 30 – 50 %) in dieser sowie in den Studien von Hanson et al. (2007) und Witmer et al. (2010) nicht ausreichend, um einen PAP-Effekt auszulösen. So fügt sich die vorliegende Studie in die ungewisse Sachlage der bisherigen PAP-Studien ein.

Die beste Sprungleistung bei der 5-Set-Gruppe sowie der Kontrollgruppe war jeweils der Referenzsprung. Die 5-Set-Gruppe erreichte beim Messzeitpunkt 3 Minuten, welcher von allen acht (15 s, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 min) Messzeitpunkten zur höchsten Sprungleistung führte, nur $97.0 \% \pm 6.8 \%$ des Referenzsprunges; die Kontrollgruppe (ohne Voraktivierung) erzielte $97.3 \% \pm 4 \%$

Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass das verwendete Aufwärmen (siehe Kapitel 2.2.2) zu intensiv und daher bereits an sich eine Voraktivierung war. Die Intensität und die darauffolgende fünfminütige Pause ist nach Bauer et al. (2019) ausreichend, um einen potenzierten Referenzsprung zu erzeugen. Zum Vergleich: nach lediglich moderatem Aufwärmen (5 Minuten Joggen / Rudern und eine Serie von dynamischen Mobilitätsübungen) und einer Voraktivierung mit Squats unter Zugwiderstand durch Powerbands stellten Waddingham et al. (2019) eine Verbesserung von 6.9 % und Buttifant und Hrysomallis (2015) eine von 13 % fest. Kilduff (2007) verzeichnete nach der Voraktivierung mit Langhantel-Squats eine 8 %-Verbesserung des CMJ. Dabei gilt zu beachten, dass in der Studie von Waddingham et al. (2019) die Kontrollgruppe 20 Minuten pausierte. Somit wurde der PAP-Effekt nicht in einem akut aufgewärmten Zustand untersucht, sondern in einem sich bereits abkühlenden (West et al., 2012). Daher ist es naheliegend, dass in diesem Setting eher ein positiver Effekt auftreten konnte.

Der Messzeitpunkt 3 Minuten unterschied sich bei den effektiven Sprungwerten signifikant von den Sprungwerten bei 15, 18 und 21 Minuten. Wurden die Sprunghöhen in Prozent zum Referenzsprung analysiert, unterschied sich der Messzeitpunkt bei 3 Minuten signifikant von den Messzeitpunkten bei 15 und 21 Minuten. Dies deutet auf einen Ermüdungseffekt hin, welcher sowohl durch psychisches wie auch physisches Ermüden entstanden sein könnte. Jedoch ist die psychische Ermüdung aufgrund folgender Punkte plausibler:

- Die Verlaufskurve der Kinetik beider Gruppen verhielt sich sehr ähnlich, obwohl die 5-Set-Gruppe 15 Sprünge unter Zugwiderstand mehr ausführen musste. Daher hätte

sich ein physischer Ermüdungseffekt, im Vergleich zur Kontrollgruppe, früher in den Sprunghöhen bemerkbar machen müssen.

- Wäre der Ermüdungseffekt physischer Natur gewesen, müsste bei Minute 18 (wie bei Minute 15 und 21) ebenfalls ein signifikanter Abfall der Sprungleistung zu sehen sein.
- Das subjektive Empfinden der psychischen Ermüdung wurde nicht durch den Fragebogen erhoben (wird im Kapitel 4.2 Kritische Betrachtung der Studie behandelt), jedoch äusserten sich viele Probanden, dass sie mental ermüdeten und die Motivation mit der Dauer der Erhebung sank.

Wird die Abbildung 3 betrachtet, kann festgestellt werden (obwohl statistisch nicht signifikant), dass die 5-Set-Gruppe einzig bei neun Minuten marginal und bei 12 Minuten markant höhere Sprünge ausführte als die Kontrollgruppe. Dies könnte darauf hindeuten, dass bei neun resp. 12 Minuten die optimale Erholungszeit des getesteten PAP-Protokolls sein könnte. Dies würde in die Erkenntnisse der Meta-Analyse von Gouvêa, Fernandes, César, Silva und Gomes (2013) passen.

Aufgrund der gemachten Erkenntnisse müssen alle Hypothesen verworfen werden:

Hypothese 1: Die Intensität der Voraktivierung hat einen Einfluss auf die Erholungszeit bis zum optimalen Potenzierungseffekt.

Hypothese 2: Die Voraktivierung führt zu einem höheren (potenzierten) vertikalen Sprung (CMJ) als bei der Kontrollgruppe.

Bei 12 Minuten ergaben sich bei der 5-Set-Gruppe im Mittelwert höhere Sprungwerte als bei der Kontrollgruppe, jedoch waren sie statistisch nicht signifikant und waren zudem 4.8 % tiefer als beim Referenzsprung.

Hypothese 3: Die Voraktivierung erzeugt, nach einer gewissen Erholungszeit, eine höhere Sprungleistung als vor der Voraktivierung (Referenzsprung).

4.2 Kritische Betrachtung der Studie

4.2.1 Stärken. Eine Stärke der Studie war die homogene Verteilung und die Anzahl der Probanden ($n = 20$). Sowohl das Durchschnittsalter wie auch die Leistungsstufe (Spiesportler von 1. Liga bis Nationalliga A) innerhalb der Probanden waren vergleichbar und machten die

Ergebnisse aussagekräftiger. Des Weiteren war das Erheben der Tagesleistung durch den Referenzsprung ein wichtiger Punkt, um die Sprungleistung zu relativieren und reliabel Daten zu erhalten.

Eine Schwierigkeit der Powerbands ist, dass je mehr ein Powerband gedehnt wird, desto mehr Widerstand erzeugt es. Daher war es in Anbetracht der demographischen Unterschiede der Probanden kaum möglich, für alle eine gleiche Belastung in der Voraktivierung zu erhalten. Damit die relative Leistung zwischen den Probanden möglichst gleich war, wurden die Powerbands so ausgewählt, dass sich bei den Probanden eine Sprunghöhenreduktion von 30 bis 50 Prozent zum initialen Referenzsprung ergab.

Der klare Aufbau des Studiendesigns erlaubte eine saubere Durchführung, was sich in der Qualität der Daten zeigte. Die Wahl der Voraktivierungsübung hatte den Vorteil, dass sie einerseits gewährleistete, dass biomechanisch die gleiche Muskelrekrutierung stattfand (SAID-Prinzip), wie sie bei der Messübung (CMJ) gebraucht wurde, und dadurch den Übertrag auf die Messübung sicherstellte.

Die Erhebung der Schlafqualität und des RPE vor und nach der Messung gewährleistete, dass allfällige Schwankungen der Leistung oder allfällige Ausreisser hätten erklärt werden können.

4.2.2 Schwächen. Nach Bauer et al. (2018) konnte ein PAP-Protokoll von mittlerer Intensität (3 Set Back Squat zu 6 x 60 % des 1RM) einen ähnlichen Potenzierungseffekt erzeugen wie eines von hoher Intensität (3 Set Back Squat zu 4 x 90 % des 1RM). Die optimale Erholungszeit gaben Bauer et al. (2018) bei drei bis fünf Minuten und Dobbs, Toluoso, Fedewa und Esco (2018) bei drei bis sieben Minuten an. Dagegen liesse sich einwenden, dass in dieser Studie das intensive Aufwärmen in Kombination mit der 5-Minuten-Pause bereits an sich eine Voraktivierung gewesen sein könnte. In diesem Falle hätten die durch das Aufwärmen potenzierten Referenzsprünge die Studie verfälscht. Das Aufwärmen in der Studie von Waddingham (2019) sowie von Kilduff et al. (2011), an denen sich diese Studie orientierte, bestand aus 5 Minuten Rudern (Ruderergometer) resp. 5 Minuten leichtem Joggen (Laufband) und einer Serie von dynamischen Mobilisierungsübungen.

Ein anderer Punkt war die Intensität, welche bei allen Untersuchungsgruppen gleich war. Einzig das Volumen resp. der Load, durch die Veränderung der Satzanzahl (1, 3 oder 5 Sätze), wurde variiert. Eine Variation der Intensität (Reduktion der Sprunghöhe) bei gleichbleibender Satzanzahl hätte möglicherweise signifikante Unterschiede in den Sprunghöhen ergeben. Zu-

sätzlich waren 5 Sätze Voraktivierung sehr lang, was die praktische Anwendbarkeit in Frage stellt.

Eine Schwäche am Studiendesign war der insgesamt lange Messungsprozess. Insbesondere die vielen Sprünge (15 s, 3, 6, 9, 12, 15, 18 und 21 min) in Kombination mit den sich wiederholenden dreiminütigen Pausen und einem fehlenden Feedback zur Sprungleistung demotivierte laut Eigenaussagen die Probanden.

4.3 Bedeutung für die Praxis

Die Entwicklung eines in der Praxis anwendbares PAP-Protokolls (resp. einer Vorlage, die auf die individuellen Anforderungen der Sportart angepasst werden kann) hat ein grosses Anwendungspotenzial in vielen Sportarten, bei denen maximale Kurzzeitbelastungen leistungsbestimmend sind.

Die Eigenschaften des Powerbands sind ideal für das Reisen und den Einsatz an Wettkämpfen und Trainings. Sie sind kostengünstig, lassen sich einfach transportieren und die Intensität kann problemlos an die Relativkraft der Athleten*innen angepasst werden. Dies ermöglicht das Reisen und Durchführen an Wettkämpfen sowie das Skalieren auf grosse Mannschaften resp. Vereine. So wäre es möglich, vor Ort, zum Beispiel auf dem Fussballplatz oder der Sprintbahn, eine Kontrastmethode durchzuführen. Ein weiterer Vorteil der Powerbands ist, dass die Voraktivierungsübung, in Anbetracht des SAID-Prinzips, auf viele Sportbewegungen (z.B. Beinwinkelposition beim Bobanschieben oder Abwurfbewegung beim Kugelstossen) spezifisch angepasst und bewegungsnah voraktiviert werden kann.

Diese Studie kann als Grundstruktur für weitere Forschung mit Powerbands oder für Trainer*innen und ihre Athleten*innen gebraucht werden. Folglich sollte die Voraktivierungsübung und die passende Intensität für alle Athleten*innen individuell bestimmt werden.

4.4 Ausblick

Damit ausgeschlossen werden kann, dass das Aufwärmen in dieser Studie zu intensiv war und seinerseits einen PAP-Effekt hervorrief, bräuchte es eine weitere Studie. So sollte das Studiendesign der vorliegenden Untersuchung in Kombination mit dem moderaten Aufwärmen (5 min Joggen resp. Rudern mit einer Serie von dynamischen Dehnungen) von Kilduff et al. (2011) und Waddingham et al. (2019) verwendet werden. Zusätzlich könnte ein anderer Ansatz für die Variation der Intensität gewählt werden. Anstatt die Satzanzahl und somit das Volumen der Voraktivierung zu verändern, könnte die Intensität über den zu überwindenden

Widerstand bestimmt werden. Dies wäre mit drei verschieden starken Powerband-Kombinationen einfach umzusetzen. Dies könnte unterschiedliche Resultate zu dieser Studie ergeben.

Ebenfalls wären weitere Studien interessant, die wie Cuenca-Fernández et al. (2019) die Voraktivierung möglichst nahe an die sportartspezifischen Bewegungen anpassen würde. So könnten Informationen gewonnen werden über die Art und Weise, wie in verschiedenen Sportarten Voraktivierungen optimal eingesetzt werden könnten.

Der wissenschaftliche Forschungsstand des PAP-Effekt ist zweideutig. Es ist wahrscheinlich, dass dies an der grossen Variation zwischen den Studien bezüglich des Fitnesszustands der Probanden*innen, der Art der Voraktivierungsübung, der gewählten Intensität, der Satzanzahl, der Dauer der Erholungszeit sowie an der Sportart liegt.

Die Meta-Analyse von Seitz et al. (2015) brachte folgende Punkte bezüglich PAP-Protokollen hervor:

- Der Effekt der Post-Aktivierungs-Potenzierung (PAP) ist bei Sprung- (Effektgrösse [ES] = 0,29, Wurf- (ES = 0,26) und ballistischen Bewegungen des Oberkörpers (ES = 0,23) gering und bei Sprintbewegungen moderat (ES = 0,51).
- Der PAP-Effekt ist grösser bei kräftigeren Personen und solchen mit mehr Krafttrainingserfahrung, nach Shallow Squats (flacheren Kniebeugen) als Voraktivierung, nach längeren Erholungsintervallen, nach Voraktivierungen mit mehreren Sätzen und nach Voraktivierungen mit dem Wiederholungsmaximum. Zusätzlich kann ein etwas grösserer Effekt nach plyometrischen Voraktivierungen festgestellt werden.
- Plyometrische Voraktivierung benötigt weniger Erholungszeit und kann einen grösseren PAP-Effekt erzielen als herkömmliches Voraktivieren mit hoher oder mittlerer Intensität.
- Bei kräftigeren Personen ist der PAP-Effekt nach kürzeren Erholungsintervallen und Einzelsatz- und 1RM-Voraktivierungen grösser, während längere Erholungsintervalle, Mehrsatz-Voraktivierungen und submaximale Voraktivierungen bei weniger kräftigeren Personen effektiver sind, um PAP zu induzieren.
- Sowohl weniger kräftige als auch kräftigere Personen zeigen grössere PAP-Effekte nach Shallow Squats.

Die Studie zeigt die Wichtigkeit der Individualisierung von PAP-Protokollen. Chiu et al. (2003) konnte aufzeigen, dass PAP-Protokolle bei Athleten und Athletinnen eine akute Leistungsverbesserung der Explosivkraft herbeiführen können, nicht aber bei Freizeitsportlern.

Damit ein besseres Verständnis über die korrekte Wahl des PAP-Protokolls möglich ist und in Anbetracht, dass vor allem Spitzensportler vom PAP-Effekt profitieren, müssten zukünftige Studien mit höchst homogenen (dieselbe Sportart und Leistungsstufe) und sehr gut trainierten Gruppen durchgeführt werden.

Unter der Berücksichtigung, dass PAP-Protokolle individuell auf die Sportler*innen angepasst werden müssen, wäre ein Forschungsansatz zu bevorzugen, der nicht den PAP-Effekt in einer Gruppe testet, sondern darauf abzielt, Methoden zu untersuchen, die das individuelle Anpassen auf die einzelnen Athletinnen und Athleten ermöglicht.

5 Schlussfolgerung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war es, aufbauend auf den Resultaten von Schneider (2021), der die Sprungleistungsverbesserung von drei verschiedenen Voraktivierungsintensitäten verglich, ein kinetisches Profil der intensivsten Voraktivierung (5 Sätze CMJ zu 3 Wiederholungen mit Powerbands) des eigens entwickelten PAP-Protokolls zu erstellen und Schlüsse zu ziehen bezüglich der optimalen Pausendauer für die Potenzierung. Mit dem Ziel, dass dieses PAP-Protokoll am Wettkampftag (im Call-Room) eingesetzt werden kann. Zur Überprüfung der konkreten Fragestellungen wurden 20 Probanden, alles Spielsportler von der 1. Liga bis Nationalliga A, an vier Messtagen getestet.

Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie waren, dass die Voraktivierung keinen PAP-Effekt im Mittelwert produzierte. Es konnte lediglich ein signifikanter Zeiteffekt, der auf einen Ermüdungseffekt nach 15 und 21 Minuten hindeutete, festgestellt werden. Einzelne Probanden erzielten nach der Voraktivierung höhere Sprungwerte, was auf die Wichtigkeit eines individuell angepassten PAP-Protokolls schliessen lässt. Mögliche Gründe dafür können vielfältig sein. Es könnte sein, dass das verwendete Aufwärmen zu intensiv und in Kombination mit der gefolgten fünfminütigen Pause bereits an sich eine Voraktivierung war und somit einen potenzierten Referenzsprung hervorgebracht hat. Die vielen individuellen Faktoren wie physische Eigenschaften der Athleten und Athletinnen, Kraft-Zeit-Parameter und Bewegungsmuster der Voraktivierung (Tillin & Bishop, 2009), die für eine gewünschte PAP zu beachten sind, machen die Erstellung eines PAP-Protokolls zu einer komplexen Angelegenheit.

Der nächste Schritt wäre nun eine weitere Studie mit einer sehr homogenen Probandengruppe, die alle die gleiche Sportart, auf möglichst hohem Niveau, betreiben. Dabei sollte sich die Intensität der Voraktivierungen durch den zu überwindenden Widerstand (unterschiedliche Bandstärken) und nicht über das Volumen (mehr Sätze) unterscheiden. Ergänzend sollten Voraktivierungen mit Powerbands mit plyometrischen Voraktivierungen verglichen werden, um den unterschiedlichen Muskeltypen der Athleten und Athletinnen gerecht zu werden.

In Anbetracht der zweideutigen Befunde bezüglich des PAP-Effekts und der Einigkeit der Forschung darüber, dass PAP eine sehr individualisierte Angelegenheit ist, sollte ein Protokoll entwickelt werden, das den Athletinnen und Athleten respektive den Trainern und Trainerinnen ermöglicht, individuelle sportart- und muskeltypspezifisch angepasste Protokolle zu entwickeln.

Literatur

- Abbes, Z., Chamari, K., Mujika, I., Tabben, M., Bibi, K. W., Hussein, A. M., Martin, C. & Haddad, M. (2018). Do Thirty-Second Post-activation Potentiation Exercises Improve the 50-m Freestyle Sprint Performance in Adolescent Swimmers? *Frontiers in Physiology*, 9, 1464. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01464>
- Balilionis, G., Nepocatyč, S., Ellis, C. M., Richardson, M. T., Neggers, Y. H., & Bishop, P. A. (2012). Effects of Different Types of Warm-Up on Swimming Performance, Reaction Time, and Dive Distance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(12), 3297–3303. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248ad40>
- Bauer, P., Sansone, P., Mitter, B., Makivic, B., Seitz, L. B. & Tschan, H. (2019). Acute Effects of Back Squats on Countermovement Jump Performance Across Multiple Sets of a Contrast Training Protocol in Resistance-Trained Men: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(4), 995–1000. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002422>
- Ben Abdelkrim, N., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., El Fazaa, S. & Ati, J. E. (2010). Activity Profile and Physiological Requirements of Junior Elite Basketball Players in Relation to Aerobic-Anaerobic Fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2330–2342. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e381c1>
- Bishop, D. J. (2003). Warm Up I: Potential Mechanisms and the Effects of Passive Warm Up on Exercise Performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33, 439–454.
- Blazevich, A. J. & Babault, N. (2019). Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in Physiology*, 10, 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A. & Veligekas, P. (2017). Improvement of Long-Jump Performance During Competition Using a Plyometric Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 235–240. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0116>
- Bompa, T. (1999). *Periodization Training: Theory and Methodology: Theory and Methodology* (4th. ed.). Champaign: Human Kinetics
- Buttinfant, D. & Hrysomallis, C. (2015). Effect of Various Practical Warm-up Protocols on Acute Lower-Body Power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3), 656–660. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000690>

- Chaouachi, A., Poulos, N., Abed, F., Turki, O., Brughelli, M., Chamari, K., Drinkwater, E. & Behm, D. (2011). Volume, intensity, and timing of muscle power potentiation are variable. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme*, 36, 736–747. <https://doi.org/10.1139/h11-079>
- Chiu, L. Z. F., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E. & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 671–677. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0671:ppriaa>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0671:ppriaa>2.0.co;2)
- Cook, C., Holdcroft, D., Drawer, S. & Kilduff, L. P. (2013). Designing a Warm-Up Protocol for Elite Bob-Skeleton Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 213–215. <https://doi.org/10.1123/ijssp.8.2.213>
- Crewther, B., Kilduff, L., Cook, C., Middleton, M., Bunce, P. & Yang, G.-Z. (2011). The Acute Potentiating Effects of Back Squats on Athlete Performance. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 25, 3319–3325. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318215f560>
- Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G. & Arellano, R. (2015). Effect on swimming start performance of two types of activation protocols: Lunge and YoYo squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 647–655. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000696>
- Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., Mourão, L., de Jesus, K., de Jesus, K., Zacca, R., Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J. & Arellano, R. (2019). Eccentric flywheel post-activation potentiation influences swimming start performance kinetics. *Journal of Sports Sciences*, 37(4), 443–451. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1505183>
- Cuenca-Fernández, F., Ruiz-Teba, A., Contreras, G. & Arellano, R. (2018). Effects of 2 Types of Activation Protocols Based on Postactivation Potentiation on 50-m Freestyle Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002698>
- Dobbs, W., Toluoso, D., Fedewa, M. & Esco, M. (2018). Effect of Postactivation Potentiation on Explosive Vertical Jump: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002750>
- Docherty, D., Robbins, D. & Hodgson, M. (2004). Complex Training Revisited: A Review of its Current Status as a Viable Training Approach. *Strength & Conditioning Journal*,

26. [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2004\)026<0052:CTRARO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2004)026<0052:CTRARO>2.0.CO;2)
- Folland, J. & Williams, A. (2007). The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 37, 145–168.
- French, D. N., Kraemer, W. J. & Cooke, C. B. (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 678–685. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0678:cidepf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0678:cidepf>2.0.co;2)
- Fukunaga, T., Ichinose, Y., Ito, M., Kawakami, Y. & Fukashiro, S. (1997). Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 82(1), 354–358. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.1.354>
- Gołaś, A., Maszczyk, A., Pietraszewski, P., Stastny, P., Tufano, J. J. & Zajac, A. (2017). Effects of Pre-exhaustion on the Patterns of Muscular Activity in the Flat Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1919–1924. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001755>
- Gouvêa, A. L., Fernandes, I. A., César, E. P., Silva, W. A. B. & Gomes, P. S. C. (2013). The effects of rest intervals on jumping performance: A meta-analysis on post-activation potentiation studies. *Journal of Sports Sciences*, 31(5), 459–467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.738924>
- Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J. & Pedisic, Z. (2020). Wake up and smell the coffee: Caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British Journal of Sports Medicine*, 54(11), 681–688. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100278>
- Guellich, A. & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11, 67–84.
- 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. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 88(6), 2131–2137. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2131>
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D. & Tarnopolsky, M. A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 178(2), 165–173. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2003.01121.x>

- Hanson, E., Leigh, S. & Mynark, R. (2007). Acute Effects of Heavy- and Light-Load Squat Exercise on the Kinetic Measures of Vertical Jumping. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 21, 1012–1017. <https://doi.org/10.1519/R-20716.1>
- Hatzigeorgiadis A, Zourbanos N, Galanis E & Theodorakis Y. Self-Talk and Sports Performance: A Meta-Analysis. *Perspect Psychol Sci*. 6(4):348-56. doi: 10.1177/1745691611413136. PMID: 26167788.
- Hodgson, M., Docherty, D. & Robbins, D. (2005). Post-Activation Potentiation: Underlying Physiology and Implications for Motor Performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585–595. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535070-00004>
- Hughes, J. D., Massiah, R. G. & Clarke, R. D. (2016). The Potentiating Effect of an Accentuated Eccentric Load on Countermovement Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3450–3455. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001455>
- Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: A review. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 48, 65–75.
- Iversen, V. M., Mork, P. J., Vasseljen, O., Bergquist, R. & Fimland, M. S. (2017). Multiple-joint exercises using elastic resistance bands vs. conventional resistance-training equipment: A cross-over study. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 973–982. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1337229>
- Kilduff, L., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of sports sciences*, 26, 795–802. <https://doi.org/10.1080/02640410701784517>
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I. C., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., Hore, A. M., Maw, J. R. & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation Potentiation in Professional Rugby Players: Optimal Recovery. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1134. <https://doi.org/10.1519/R-20996.1>
- Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Owen, N. J., West, D. J., Bracken, R. M. & Cook, C. J. (2011). Effect of Postactivation Potentiation on Swimming Starts in International Sprint Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2418–2423. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201bf7a>
- Kilduff, L. P., Finn, C. V., Baker, J. S., Cook, C. J. & West, D. J. (2013). Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *International*

- Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 677–681. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.6.677>
- MacIntosh, B. R., Robillard, M. E. & Tomaras, E. K. (2012). Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(3), 546–550. <https://doi.org/10.1139/h2012-016>
- Matveyev, L. P. (1981). *Fundamental of sport training*. Moscow: Progress Publishers.
- Mcbride, J. M., Nimphius, S. & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4), 893–897.
- McGowan, C. J., Thompson, K. G., Pyne, D. B., Raglin, J. S. & Rattray, B. (2016). Heated jackets and dryland-based activation exercises used as additional warm-ups during transition enhance sprint swimming performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(4), 354–358. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.012>
- Meerits, T., Bacchieri, S., Pääsuke, M., Ereline, J., Cicchella, A. & Gapeyeva, H. (2014). Acute effect of static and dynamic stretching on tone and elasticity of hamstring muscle and on vertical jump performance in track-and-field athletes. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 20, 48–59. <https://doi.org/10.12697/akut.2014.20.05>
- Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M. & Marinho, D. A. (2014). Warm-Up and Performance in Competitive Swimming. *Sports Medicine*, 44(3), 319–330. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0117-y>
- Predoiu, R., Predoiu, A., Mitache, G., Firanescu, M., Cosma, G., Dinuta, G. & Bucuroiu, R. (2020). *Visualisation techniques in sport—The mental road map for success*. 59, 245–256. <https://doi.org/10.35189/dpeskj.2020.59.3.4>
- Raiola, G. & D’isanto, T. (2016). Assessment of periodization training in soccer. *Journal of Human Sport and Exercise*, 11. <https://doi.org/10.14198/jhse.2016.11.Proc1.19>
- Rassier, D. E. & Macintosh, B. R. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research = Revista Brasileira De Pesquisas Medicas E Biologicas*, 33(5), 499–508. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2000000500003>
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138–143. <https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00008>
- Sarramian, V. G., Turner, A. N. & Greenhalgh, A. K. (2015). Effect of Postactivation Potenti-

- ation on Fifty-Meter Freestyle in National Swimmers: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1003–1009. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000708>
- Schneider, P. M., (2021). *Ermittlung eines praktisch umsetzbaren Voraktivierungs-protokolls für Wettkämpfe in Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen: Flexibilität in der Voraktivierung (Relativkraft und Intensität) durch die Verwendung von Widerstands-bänder* (Unveröffentlichte Masterarbeit). Universität Fribourg, Zürich.
- Seitz, L. B., Trajano, G. S., Dal Maso, F., Haff, G. G. & Blazevich, A. J. (2015). Postactivation potentiation during voluntary contractions after continued knee extensor task-specific practice. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 230–237. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0377>
- Silva, L. M., Neiva, H. P., Marques, M. C., Izquierdo, M. & Marinho, D. A. (2018). Effects of Warm-Up, Post-Warm-Up, and Re-Warm-Up Strategies on Explosive Efforts in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(10), 2285–2299. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0958-5>
- Stastny, P., Tufano, J. J., Golas, A. & Petr, M. (2016). Strengthening the Gluteus Medius Using Various Bodyweight and Resistance Exercises. *Strength and Conditioning Journal*, 38(3), 91–101. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000221>
- Tillin, N. A. & Bishop, D. (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities: *Sports Medicine*, 39(2), 147–166. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004>
- Trimble, M. H. & Harp, S. S. (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 933–941. <https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00024>
- Valadés Cerrato, D., Chena Sinovas, M., Pérez López, A., Álvarez Valverde, I., Rubio Arias, J. Á., Ramos Campo, D. J. & Bores Cerezal, A. (2015). Influence of body composition on vertical jump performance according with the age and the playing position in football players. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1). <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8876>
- Vandenboom, R., Grange, R. W. & Houston, M. E. (1993). Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 265(6), C1456–C1462. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1993.265.6.C1456>
- Vries, H. A. D. (1959). Effects of Various Warm-Up Procedures on 100-Yard Times of Competitive Swimmers. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical*

- Education and Recreation*, 30(1), 11–20.
<https://doi.org/10.1080/10671188.1959.10613002>
- Waddingham, DP, Millyard, A, Patterson, SD, and Hill, J. Effect of ballistic potentiation protocols on elite sprint swimming: optimizing performance. *J Strength Cond Res XX(X)*.
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003219>
- West, D., Dietzig, B., Bracken, R., Cunningham, D., Crewther, B., Cook, C. & Kilduff, L. (2012). Influence of post-warm-up recovery time on swim performance in international swimmers. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.06.002>
- Whelan, N., O'Regan, C. & Harrison, A. J. (2014). Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 1858–1866. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000000357>
- Witmer, C. A., Davis, S. E. & Moir, G. L. (2010). The Acute Effects of Back Squats on Vertical Jump Performance in Men and Women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(2), 206–213.
- Yetter, M. & Moir, G. (2008). The Acute Effects of Heavy Back and Front Squats on Speed during Forty-Meter Sprint Trials. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 22, 159–165.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f958d>
- Young, W. B., Jenner, A. & Griffiths, K. (1998). Acute Enhancement of Power Performance From Heavy Load Squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(2), 82–84.
- Zois, J., Bishop, D. J., Ball, K. & Aughey, R. J. (2011). High-intensity warm-ups elicit superior performance to a current soccer warm-up routine. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(6), 522–528. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.03.012>

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei Dennis Born herzlich bedanken, für die Zeit, die er sich für mich genommen hat, den sehr freundlichen Umgang und die schnelle und flexible Kommunikation.

Ebenfalls gebührt Dank Pino Schneider, der mit mir zusammen viele Stunden hilfsbereit zusammengearbeitet hat, für die guten Erinnerungen, die wir in dieser Zeit sammeln konnten. Auch möchte ich meinen herzlichen Dank an Thomas Vogler und Thomas Tschurr richten, die mir hilfsbereit zur Seite standen.

Das grösste Dankeschön richte ich an meine Frau Linda Vogler, für ihre Unterstützung in dieser sehr stressigen Zeit.