

Ermittlung eines praktisch umsetzbaren Voraktivierungs- protokolls für Wettkämpfe in Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen:

*Flexibilität in der Voraktivierung (Relativkraft und Intensität) durch die Ver-
wendung von Widerstandsbänder*

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften Option Unterricht

eingereicht von

Pino Schneider

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

PD Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer

Dr. Dennis Born

Zürich, April 2021

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
1.1 Kick-off zum PAP	4
1.2 Effekte von PAP	5
1.3 Potenzielle Mechanismen des PAP	10
1.4 Herleitung Studiendesign und VA-Protokoll	12
1.5 Ziel der Arbeit	14
2 Methode.....	16
2.1 Studiendesign	16
2.2 Untersuchungsgruppe	16
2.3 Instrumente.....	17
2.4 Datenauswertung	22
3 Resultate	24
3.1 Gruppenvergleiche	25
3.2 Balkendiagramm Messzeitpunkt 1	26
3.3 Balkendiagramm Messzeitpunkt 2	27
3.4 Balkendiagramm maximale Referenzsprunghöhen.....	28
3.5 Korrelation zwischen der maximalen Referenzsprunghöhe und drei Faktoren	29
3.6 Korrelation maximale Referenzsprunghöhe und Sleep quality.....	30
3.7 Korrelation maximale Referenzsprunghöhe und Muscular fatigue PRE	31
3.8 Korrelation maximale Referenzsprunghöhe und Muscular fatigue POST.....	32
3.9 Hypothesenüberprüfung der konkreten Fragestellungen	33
4 Diskussion	34
4.1 Präsentation & Interpretation der Resultate	35
4.2 Kritische Betrachtung der Studie	37
4.3 Bedeutung für die Praxis	39
4.4 Ausblick	40
5 Schlussfolgerung	41
Literatur	42
Dank	47

Zusammenfassung

Einleitung. Post-Aktivierungs-Potenzierung (PAP) ist eine Aktivierungsform, welche das Ziel verfolgt eine Leistung unmittelbar zu verbessern. In Wettkämpfen mit maximalen Kurzzeitbelastungen entscheiden Hundertstelsekunden über Sieg oder Niederlage. Die Optimierung der Leistung spielt dabei eine zentrale Rolle. Aus diesem Grund wurde PAP in den letzten Jahren vermehrt untersucht und unterschiedliche Studien zeigten auf, dass es möglich ist, die Explosivkraft durch eine Voraktivierung (VA) akut zu verbessern (Gołaś et al., 2017; Hughes, Masiah & Clarke, 2016). In der vorliegenden Studie wird ein Voraktivierungsprotokoll erarbeitet und evaluiert, welches in der Praxis effektiv vor Wettkämpfen oder Trainingseinheiten Gebrauch finden kann. Dabei werden die Wettkampfumstände wie Platzmangel, Transport, Kosten, Komplexität und die einfache Anwendung berücksichtigt. Die Studie basiert auf der Frage: Was ist unter Berücksichtigung der Relativkraft der optimale Umfang und die optimale Intensität für die Voraktivierung im PAP-Protokoll.

Methoden. Die Probanden ($n = 20$) zu vier unterschiedlichen Interventionen und Messtagen, welche randomisiert wurden, in eingeladen. Die Datenerhebung erfolgte über das optische Messsystem OPTO-Jump Next® (Microgate, 2019). Die Datenauswertung in Form eines Gruppenvergleichs wurde im JASP Team (Version 0.14.1 für Mac 2020, Computer Software, Amsterdam, Netherlands) anhand einer zweiteiligen ANOVA 2x4 Matrix (3 Unterschiedliche VA-Umfänge und 1 Kontrollgruppe), Messzeitpunkt 1 (Mittelwert von 15sec bis 9min) und Messzeitpunkt 2 (Mittelwert von 12min) durchgeführt.

Resultate. Im Gruppenvergleich wurden keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Sprunghöhe zwischen den Voraktivierungsgruppen und der Kontrollgruppe ($p = 0.963$) festgestellt. Der Haupteffekt (Zeit - Sprunghöhe) mit $p < 0.001$ zeigt indes auf, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Sprunghöhen und den verschiedenen Messzeitpunkten gab.

Diskussion und Schlussfolgerung. Das Ziel, dass das erarbeitete VA-Protokoll in der Praxis von Trainer und Athleten angewendet werden kann, wurde erfüllt. Die praktische Umsetzbarkeit ist durch die Aktivierung mit Widerstandsbändern gewährleistet. Die Schwäche des Protokolls- die Intensität der Voraktivierung - wurde im Literaturvergleich mit der aktuellen PAP Studie von Waddingham., Millyard, Patterson und Hill (2019) bestätigt. Weitere wichtige Faktoren aus vergangener PAP-Literatur wie Individualität der Athleten, Kinetik, biomechanische Übereinstimmung von VA und Bewegung in Wettkampf, sowie verschiedene Umfänge der VA wurden berücksichtigt. Aus diesem Grund bedarf das vorliegende VA-Protokoll weiteren Untersuchungen mit wechselnden und höheren Intensitäten.

1 Einleitung

Die Leistungssteigerung in Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen ist für Athleten, Trainer und Sportwissenschaftler von grosser Bedeutung. In Wettkämpfen entscheiden Hundertstelsekunden über Sieg oder Niederlage. Aus diesem Grund müssen alle Faktoren, welche eine Optimierung der Leistung bewirken können, berücksichtigt werden. Die Post-Aktivierungs-Potenzierung wurde in den letzten Jahren vermehrt untersucht und es existieren bereits zahlreiche Studien, in welchen die akute Leistungssteigerung durch eine Voraktivierung bestätigt wird. In dieser Studie soll im Bereich der PAP ein Voraktivierungsprotokoll erarbeitet werden welches effektiv in der Praxis angewendet werden kann. Dabei werden ähnliche Studien und die Gegebenheiten bei verschiedenen Wettkämpfen mit maximalen Kurzzeitbelastungen berücksichtigt und eine konkrete Fragestellung formuliert.

1.1 Kick-off zum PAP

McLaren (2014) konnte in seiner Studie über die wiederholte Anwendung von Post-Aktivierungs-Potenzierung (PAP), aufzeigen, dass die Sprintzeiten von Lacrossespielern, welche mindestens ein Jahr Sprint- und Krafttrainingserfahrung hatten, in allen drei gemessenen Sätzen nach der Voraktivierung schneller waren. Der Effekt war bei den ersten zwei bis drei Sprintwiederholungen innerhalb jedes Sprintsatzes offensichtlich. Es wurde auch ein Ermüdungseffekt festgestellt und der PAP-Effekt nahm innerhalb der Sätze mit fortlaufenden Sprints ab. Jedoch wurde in keinem PAP-Versuch eine schlechtere Leistung als in den Kontrollversuchen gemessen.

Das leistungssteigernde Phänomen Post-Aktivierungs-Potenzierung (PAP), wurde in den letzten Jahren vermehrt untersucht und unterschiedliche Studien zeigten auf, dass es möglich ist, die Explosivkraft durch eine Voraktivierung (VA) akut zu verbessern. In der VA wird eine nahezu maximale oder submaximale Muskelkontraktion ausgeführt, welche nach einer Pause (die Pausenzeit ändert je nach VA-Protokoll) zu einer akuten Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit führt (Gołaś et al., 2017; Hughes et al., 2016). PAP kann daher als Methode für eine akute Leistungssteigerung - wie beispielsweise einer Verbesserung der Faktoren, welche eine explosive, sportliche Aktivität unterstützen - dienen (Waddingham et al., 2019). An dieser Stelle gilt es zu erwähnen, dass jede VA auch eine Ermüdung erzeugt, welche vor der gewünschten Verbesserung der Leistung Erholung erfordert (Rassier & Macintosh, 2000). Aus

diesem Grund ist die Kinetik in einem VA-Protokoll einer der wichtigsten Faktoren und muss zwingend berücksichtigt werden.

1.2 Effekte von PAP

Es gibt zahlreiche Sportdisziplinen, in welchen die Leistung stark von der Rate der Kraftentwicklung (RFD = Rate Force Development) beeinflusst wird. Die RFD wird aus der Kraft- oder Drehmomentkurve abgeleitet und veranschaulicht die explosive Willenskontraktion. Ein Athlet mit einer ausgeprägten Explosivkraft ist fähig in willentlicher Kontraktion die Kraft oder das Drehmoment aus niedrigem oder ruhendem Niveau schnellstmöglich zu steigern (Maffiueletti et al., 2016). Diese Kompetenz ist in Bewegungsabläufen mit maximalen Kurzzeitbelastungen von grosser Bedeutung. Maximale Kurzzeitbelastungen finden sich in Sprung-, Sprint-, Wurf- und Startelementen. Dementsprechend ist die RFD in Leichtathletik und vielen Mannschafts- und Kampfsportarten ein wichtiger Leistungsfaktor. Neben den anthropometrischen Eigenschaften und der Technikkomponente, ist die Explosivkraft der limitierende Faktor für hohe Leistungen.

Maffiueletti et al. (2016) zeigen auf, dass die Wirkung einer Aktivierung und die Kraft welche von einem Muskel erzeugt wird von der Anzahl aktivierten motorischen Einheiten (ME-Rekrutierung) und den Raten in welchen Motoneuronen Aktionspotentiale entladen (Ratenkodierung) abhängig ist. Die Rekrutierungs- und Entladungsratenmodulation und deren relativer Beitrag zur Kraft, die von einem Muskel ausgeübt wird, variiert mit der Kontraktionsgeschwindigkeit. Die Rekrutierungsschwelle der motorischen Einheiten ist bei langsam kontrahierenden Muskeln höher als bei schnell kontrahierenden. Laut Maffiueletti et al. (2016) werden beispielsweise im "Tibialis Anterior" (vorderer Schienbeinmuskel) am meisten motorische Einheiten bei einer ballistischen Kontraktion rekrutiert, obgleich dabei die Kraft nur einem Drittel der Maximalkraft entspricht. Bei langsamen Kontraktionen findet eine progressive Rekrutierung der Muskeleinheiten statt, welche bei den meisten Gliedmassenmuskeln eine obere Grenze, also 80-90% der Maximalkraft, erreicht. Demzufolge kann die obere Grenze der ME-Rekrutierung ausschliesslich auf eine erhöhte Entladungsrate zurückgeführt werden.

Die maximale Rate, mit der motorische Einheiten in isometrischen Kontraktionen mit hoher Kraft Aktionspotenziale entladen, beträgt 30-60 Hertz (Hz). In schnellen Kontraktionen betragen diese Werte zu Beginn bei Untrainierten 60-120 Hz und bei Trainierten über 200Hz.

Zusammengefasst steigt die Entladungsrates der ME bei langsamen Kontraktionen progressiv an, während bei schnellen Kontraktionen die anfänglichen Entladungsrates sehr hoch sind und bei aufeinanderfolgenden Entladungen progressiv abnehmen.

Diese Fakten begründen den geschwindigkeitsbedingten Unterschied im MU-Aktivierungsmuster (Maffiueletti et al., 2016). Die Studie von Maffiueletti et al. (2016) bekräftigt die allgemeine Anerkennung, dass eine Erregung der neuronalen Befehle, welche beispielsweise durch eine Aktivierung an die Muskeln gesendet werden, die körperliche Leistung, die Muskelkraft und möglicherweise auch die RFD modulieren. Weiter wird die Wirksamkeit von explosivem und schnellem Krafttraining zur Verbesserung der schnellen Muskelaktivierung aufgezeigt. Muskelaktivierungsmuster wie auch Empfehlungen zur Rekrutierungsoptimierung sind in der vorliegenden Arbeit von grosser Bedeutung.

Um die Explosivkraft als Leistungsmessgrösse erfassen zu können, wird oft die vertikale Sprunghöhe gemessen. In verschiedenen Studien wird verdeutlicht, dass sportliche Leistungen mit der vertikalen Sprunghöhe korrelieren. So existiert beispielsweise eine hohe Korrelation zwischen der Leistung im Gewichtheben und der vertikalen Sprungleistung (Boulossa, Abreu, Beltrame & Behm, 2013; Carlock et al., 2004; Crum, Kawamori, Stone & Haff, 2012).

Loturco et al. (2015) konnten eine starke Korrelation der vertikalen Sprungleistung von 22 Elite Sprinter und deren Sprintgeschwindigkeit messen. Aus diesem Grund wird die vertikale Sprunghöhe auch als grundlegende Leistungskomponente vieler Mannschaftssportarten wie Rugby, Volleyball, Basketball und Fussball deklariert (Ben Abdelkrim, Chaouachi, Chamari, Chtara & Castagna, 2010; Chena Sinovas et al., 2015; Sattler, Hadžić, Dervišević & Markovic, 2015; Till, Copley, O'Hara, Chapman & Cooke, 2013; Zois, Bishop, Ball & Aughey, 2011).

Dementsprechend legen Trainer und Athleten grossen Wert darauf alle Faktoren, welche die Explosivkraft und somit auch die Leistungsfähigkeit steigern, in Trainings- und Wettkampfsituationen zu integrieren. Bei Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen, in welchen Hundertstel- und Millisekunden über Gewinn und Niederlage entscheiden, sind sämtliche solcher Optimierungspotentiale von grosser Bedeutung.

Diverse Studien über PAP-Mechanismen zeigten auf, dass PAP effektiv eingesetzt werden kann, um die Explosivkraft zu optimieren (Magiera et al., 2013; Stastny, Tufano, Golas & Miroslav, 2016; Yetter & Moir, 2008). Der leistungssteigernde Einfluss von PAP auf die Explosivkraft, befürwortet deren Einsatz vor Wettkämpfen mit maximalen Kurzzeitbelastungen.

Es empfiehlt sich PAP in das generelle Wettkampf-Warm-Up-Protokoll zu integrieren und dadurch die Leistung in maximalen Kurzzeitbelastungen zu verbessern (Docherty, Robbins & Hodgson, 2004; Güllich & Schmidtbleicher, 1996).

Um PAP effektiv in Wettkampfsituationen einsetzen zu können, benötigt es seitens allen Beteiligten (Athlet, Trainer, Sportwissenschaftler, Sponsoren etc.) grosses Vertrauen gegenüber dem Voraktivierungsprotokoll. Dieses sollte auf jeden Fall sportwissenschaftliche Evidenz aufweisen, sportartenspezifisch sein und die Individualität der Athleten berücksichtigen. Die Skepsis gegenüber PAP ist berechtigt, denn trotz einer grossen Menge an Studien, gibt es Widersprüche in der Literatur bezüglich des Nutzens von PAP auf die Leistung in Explosivsportarten. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Charakteristik der Probanden in vergangenen PAP-Forschungsprojekten sehr stark variiert haben. PAP-Studien wurden mit Jugendlichen und Erwachsenen, Freizeit- und Elitesportlern, sowie weiblichen und männlichen Probanden aus diversen Sportarten durchgeführt. Die genannten Variablen wurden in der Forschung bisher nicht standardisiert. Aus diesem Grund ist die Auswirkung der Voraktivierung auf die Leistung von nachfolgenden maximalen Kurzzeitbelastungen und deren Explosivität nicht schlüssig und bedarf weiterer Forschung.

Tillin und Bishop (2009) begründen die Inkonsistenz vergangener Forschung durch das komplexe Zusammenspiel aller Faktoren, welche die akute Leistungsfähigkeit nach einer VA beeinflussen. Beispielsweise, dass gut trainierte, stärkere Athleten eine höhere PAP-Empfindlichkeit aufweisen (Seitz, Reyes, Tran, Saez de Villareal & Haff, 2014). Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass Athleten mit einem hohen Anteil an Muskelfasern Typ II stärker auf PAP reagieren (Chiu et al., 2003; Hamada, Sale & Macdougall, 2000). Dieses Beispiel zeigt, dass in der Anwendung, der Dosierung und der Auswirkung von PAP - ähnlich wie auch beim Training - die Individualität der Athleten berücksichtigt werden muss. Die optimale Dauer und Intensität der VA, in Kombination mit der richtigen Erholungszeit muss bei jeder Person individuell berücksichtigt werden. Ansonsten könnte Ermüdung anstelle des PAP-Effektes eintreten und die Leistung negativ beeinflussen. Eine optimierte Leistung durch eine VA kann nur dann erzeugt werden, wenn die Individualität der Athleten im VA-Protokoll berücksichtigt wird.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das zu erarbeitende VA-Protokoll so aufzubauen, dass es im Schwimmsport an einem Wettkampf problemlos umgesetzt werden könnte. Im

kommenden Abschnitt werden wichtige und aktuelle Studien im Kontext Schwimmsport und PAP zusammengefasst. Sie dienen dem zu erstellenden VA-Protokoll als Wegweiser.

Laut Abbes et al. (2018) müssen Athleten durch die Umstände an ihren Schwimmwettkämpfen das generelle Wasser-Warm-Up 30 Minuten vor Ihrem Rennen absolvieren. Die ergogene Wirkung eines Poolwarmups hält jedoch höchstens für 20 Minuten an. Die Schwimmer müssen teilweise bis zu 45 Minuten warten und ein weiteres Einwärmen im Wasser kurz vor dem Wettkampf ist nicht möglich. Aus diesem Grund werden alternative Aktivierungsübungen gesucht. In der Studie von Abbes et al. (2018) wurden drei Aktivierungsübungen (Liegestützen, Burpees und Squat-Jumps mit jeweils so vielen Repetitionen wie möglich in 30 Sekunden) in der Voraktivierung zehn Minuten vor dem 50 Meter Schwimmsprint und 20 Minuten nach dem normalen Warm-Up im Wasser durchgeführt (Simulation der Wettkampfkonditionen). Auch wenn keine unterschiedliche Sprintleistung zwischen dem Protokoll mit PAP und ohne PAP festgestellt wurde, empfahlen die Autoren, dass ein individuelles PAP Protokoll ein gutes Mittel sein könnte, um die Leistung in Sprintwettkämpfen zu verbessern.

In der Studie von Cuenca-Fernandez et al. (2018) wurde die Auswirkung von zwei Aktivierungsprotokollen verglichen. Dabei wurde auf die unteren Gliedmassen und die Variablen, welche die Schwimmstartleistung beeinflussen, geachtet. Inhalte der VA-Protokolle waren vier Mal maximale Kniebeugen auf einem exzentrischen Schwungrad und drei Mal maximale Ausfallschritte (biomechanisch ähnlich dem Schwimmstart und ungefährlich in der Anwendung). Die beiden Varianten wurden zusätzlich mit einem Schwimmwarmup-Protokoll (SWP) verglichen. Dabei wurde eine wichtige Erkenntnis aus vorhergehenden Studien berücksichtigt: Während die Belastung intensiv genug war, um eine Aktivierung zu erzeugen, war die Ruhezeit zu gering, um die Ermüdung abzubauen – es galt also auch der Kinetik genügend Bedeutung beizumessen. Beide VA-Protokolle erzielten bessere Ergebnisse im Vergleich zum SWP. Das VA-Protokoll mit dem Schwungrad konnte die besten Ergebnisse im Kontext des Schwimmstarts feststellen und wird aus diesem Grund für kurze Wettkämpfe empfohlen. Die optimale Leistung tritt ein, wenn die Aktivierung noch vorhanden ist und die Ermüdung bereits abgeklungen. Ein wichtiger Hinweis für Trainer und Athleten ist, die Ermüdungsresistenz durch Training spezifisch in diesem Bereich zu fokussieren, um einen noch grösseren PAP-Effekt zu erzeugen. Das VA-Protokoll müsste an die jeweiligen Wettkampfbedingungen angepasst werden, da aber die Leistung für die ersten Züge verbessert werden konnte, bedarf dieses Thema in Zukunft weiterer Untersuchungen.

Cuenca-Fernandez et al. (2018) zeigen in einer weiteren Studie auf, dass ihres Erachtens die verbreiteten Wettkampf-Vorbereitungen im Schwimmsport wie ballistische Dehnungen, Erhöhung der Atmung und Herzfrequenz und taktiles Klatschen auf Brust und Gliedmassen nicht ausreichen um das volle Leistungspotential auszuschöpfen. Er bestätigt ein weiteres Mal, dass Sprintschwimmer unbedingt eine zusätzliche Aktivierung ihres Systems benötigen, um die bestmögliche Leistung zu erzielen. Die VA wurde ein weiteres Mal mit einem exzentrischen Schwungrad durchgeführt. Cuenca-Fernandez et al. (2018) wissen, dass es nicht möglich ist, sechs Minuten vor dem Start auf dem Block oder während des Wartens im Call-Up-Raum mit einem exzentrischen Schwungrad zu arbeiten. Aus diesem Grund lautet die Empfehlung an die Trainer eine solche VA in die Trainings zu integrieren, in denen die Umsetzung kein Problem darstellt.

Die Studie von Waddingham et al. (2019) verglich die Zeit von Wettkampfschwimmern vom Startblock bis zu den ersten 15 Meter mit Voraktivierung in der Wartezeit nach dem normalen Einwärmen und ohne. Die Ergebnisse PAP-Warm-Ups mit Voraktivierung in der Wartezeit waren in zwei von drei Voraktivierungsmethoden signifikant besser. Die Studie verstärkt die Aussage, dass die individuelle Bestimmung der optimalen Erholungszeit für eine verbesserte Leistung nach einem PAP-Stimulus notwendig ist. Die Integration eines PAP-Stimulus in das Aufwärmprogramm kann eine verbesserte Leistung vom Start bis zu den ersten 15 Metern erzeugen. Aus diesem Grund kann PAP auch ein geeignetes Trainingsmittel für Einheiten mit dem Fokus Start zu Kurzstrecke (15 Meter) sein. Weitere Forschungen sind notwendig.

McGowan, Thompson, Pyne, Raglin und Rattray (2015) arbeiteten in ihrer Studie in der Übergangsphase (Schwimm-Warm-Up zu Wettkampfstart) von Sprintschwimmern mit beheizten Jacken und Aktivierungsübungen. Es gab zwei Gruppen, welche eine Voraktivierung durchführten. Eine Gruppe hatte während der Wartezeit und bei der Durchführung der Voraktivierung eine beheizte Trainingsjacke an. Beide Gruppen waren im 100 Meter Freistilsprint schneller als die Kontrollgruppe, welche ein traditionelles Aufwärmtraining nur mit Schwimmen absolvierte. Obwohl die Körpertemperatur (T_{core}) bei allen Gruppen in der 30-minütigen Übergangsphase abnahm, war diese bei beiden Gruppen mit Voraktivierung und Heizwesten geringer. Höhere Haut- und Körpertemperatur (T_{skin}/T_{core}) wurden als Hauptgrund für die verbesserte Sprintleistung benannt. Beheizte Trainingsjacken und Trockenübungen können in der realen Wettkampfumgebung ohne grosse Umstände eingesetzt werden. Eine Voraktivierung ohne eine Heizweste hält die T_{core} ebenfalls hoch, aber nicht so stark wie gewünscht. Die Voraktivierung mit und ohne Heizweste ist ein gutes Mittel, um die Sprintleistung in einem Schwimmwettkampf zu verbessern.

1.3 Potenzielle Mechanismen des PAP

Von den zahlreichen Ansätzen über Methoden, welche PAP auslösen, sind drei wissenschaftlich gut untersucht und für die vorliegende Studie relevant. Die nächsten Abschnitte beschreiben die drei relevanten PAP-Auslöser Phosphorylierung, Erregbarkeit der α -Motoneuronen und den Pennationswinkel.

Die RLC-Phosphorylierung ("myosin regulatory light chain"): Wird durch das Enzym Myosin light chain kinase katalysiert, das aktiviert wird, wenn Ca^{2+} -Moleküle, die während der Muskelkontraktion aus dem sarkoplasmatischen Retikulum freigesetzt werden, an das Kalzium-regulierende Protein Calmodulin binden. Die Phosphorylierung der regulatorischen Leichtketten bedeutet, dass die leichten Myosinketten, welche sich aus der anfänglichen Muskelaktivität ergeben und die Aktin- und Myosinmoleküle empfindlicher für die Ca^{2+} -Verfügbarkeit machen, eine erhöhte Rate der Kraftentwicklung und somit der maximalen isometrischen Kraft hervorrufen können. Die Bedeutung der RLC-Phosphorylierung im menschlichen Skelettmuskel bleibt dennoch unklar, und es wird nahegelegt, dass andere Faktoren den Hauptbeitrag zum PAP leisten könnten (Baudry & Duchateau, 2007; Czuba et al., 2013; Hodgson, Docherty & Robbins, 2005; Sale, 2002).

Der zweite relevante PAP-Auslöser-Mechanismus umfasst die neuronalen Faktoren, wie die Erregbarkeit der α -Motoneuronen, welche für eine erhöhte kontraktile Leistung nach vorheriger Muskelaktivität verantwortlich sind. Die Übertragung von Erregungspotentialen über die synaptischen Verbindungen im Rückenmark, kann durch die Stimulierung spezifischer afferenter Nervenfasern, welche die benachbarten α -Motoneuronen mittels einer afferenter neuronalen Salve aktivieren, erhöht werden (Tillin & Bishop, 2009).

In vergangenen Studien wurde mittels der H-Wellen die Auswirkung einer Konditionierungskontraktion auf die Rekrutierung von Motoneuronen gemessen. Die H-Welle, auch bekannt als H-Reflex, wird mittels Elektromyographie aufgezeichnet und ist das Ergebnis einer afferenten neuronalen Salve als Reaktion auf eine submaximale Einzelimpulsstimulation des betreffenden Nervenbündels. Ia-afferente Nervenfasern, welche Informationen aus Muskelspindeln leiten, erzeugen Aktionspotentiale, welche zum Rückenmark wandern, wo sie auf das benachbarte α -Motoneuron des agonistischen Muskels übertragen werden. Das Aktionspotential wandert also direkt zum agonistischen Muskel, um die Prozesse der Muskelkontraktion einzuleiten (Tillin & Bishop, 2009). Es wird nahegelegt, dass eine Konditionierungsübung mit hoher Belastung die Rekrutierung von grösseren Motoneuronen - welche für die Aktivierung von motorischen

Einheiten höherer Ordnung oder schneller Zuckungen verantwortlich sind – erhöht, was theoretisch die Aktivierung steigert und die Leistung bei nachfolgenden explosiven Aktivitäten verbessern könnte (Trimble & Harp, 1998; Yetter & Moir, 2008).

Auch Tillin und Bishop (2009) sind der Meinung, dass eine Konditionierungskontraktion die Erhöhung der Rekrutierung von Motoneuronen höherer Ordnung induziert und demzufolge auch den Beitrag der schnellzuckenden Fasern zur Muskelkontraktion, sowie die Leistung in einer anschliessenden explosiven Aktivität erhöht. Die Studie von Tillin und Bishop (2009) zeigt auf, dass der Ausfall von monosynaptischen Transmittern bei grösseren Motoneuronen stärker vorhanden ist. Ein Transmitterausfall beeinflusst die Leistung negativ, der Ausfall kann aber durch eine vorherige tetanische Kontraktion verringert werden, was zu einem erheblichen PAP-Effekt an diesen Motoneuronen führte.

Der dritte Mechanismus, welcher im Verhältnis zu den anderen in einem geringeren Umfang untersucht wurde, ist der Pennationswinkel (PW). Hinweise aus Studien deuten darauf hin, dass Veränderungen des PWs zum PAP beitragen könnten. Der Pennationswinkel eines Muskels spiegelt die Ausrichtung der Muskelfasern zu Bindegewebe und Sehnen und beeinflusst die Kraftübertragung auf die Sehnen und Knochen. In einer Muskelkontraktion wird die Summe aller Kräfte der einzelnen Fasern, welche auf eine entsprechende Sehne einwirken, um den Faktor "cosy" ($y = \text{Pennationswinkel}$) reduziert. Aus diesem Grund haben kleinere Pennationswinkel einen mechanischen Vorteil auf die Kraftübertragung auf die Sehne. Tillin und Bishop (2009) massen mittels Ultraschall den Ruhepotentialswinkel des Musculus vastus lateralis vor und nach einer maximalen freiwilligen isometrischen Kontraktion von drei Sekunden. Unmittelbar nach der Kontraktion konnte nur eine geringe Veränderung des Pennationswinkels (vorher 15.7° danach 16.2°) festgestellt werden. Drei bis sechs Minuten nach der Kontraktion wurde ein zweites Mal gemessen und der Pennationswinkel hat sich signifikant verkleinert. (14.4° ; $p < 0,05$). Auch wenn die Steigerung der Kraftübertragung auf die Sehnen nur 0.9% beträgt, kann dieser Effekt zum PAP beitragen. Konditionierungskontraktionen können jedoch auch die Bindegewebe- und Sehnen-Compliance erhöhen, was wiederum einer Erhöhung des PAP entgegenwirken kann. Die Möglichkeit der Veränderung der Muskelarchitektur und dessen positiven Einfluss auf das PAP besteht und bedarf weiteren Untersuchungen.

1.4 Herleitung Studiendesign und VA-Protokoll

Wie bereits erwähnt sind es Hundertstel- oder Millisekunden, welche in Wettkämpfen mit maximalen Kurzzeitbelastungen den Unterschied zwischen Platz 1 und Platz 2 ausmachen. Aus diesem Grund kann der Einsatz von PAP und dessen positive Auswirkung auf die Leistung – sprich positiven Einfluss auf den Wettkampf - von grossem Nutzen sein (Cuenca-Fernandez et al., 2018).

In den meisten PAP-Studien wurde die Voraktivierung im Kraftraum mit Gewichten und Kraftmaschinen beispielsweise einem Kabelzug, einer Langhantel oder einem "Flyingwheel" erzeugt (Cuenca-Fernandez et al., 2018). Ein wettkampftaugliches Voraktivierungsprotokoll beinhaltet allerdings in vielen Fällen keine dieser Massnahmen, da ein Voraktivierungsprotokolls sowohl logistisch als auch zeitlich von geringem Aufwand und auch in engen Platzverhältnissen umsetzbar sein muss (beispielsweis im Call-Room).

Eine einfach umsetzbare Lösung zur Voraktivierung bieten Widerstandsbänder, die im funktionellen Trainingsbereich aktuell stark vertreten sind. Sie benötigen kaum Stauraum, sind vielseitig einsetzbar und ihre Anschaffungskosten sind überschaubar. Die Studie von Iversen, Mork, Vasseljen, Bergquist und Fimland (2017) zeigt auf, dass eine verstärkte Muskelaktivierung in Bewegungsabläufen mit Widerstandsbändern stattfindet. Die Studie vergleicht die Muskelaktivität in verschiedenen Übungen mit Widerstandsbändern und konventionellem Widerstand (Gewicht). In den Bewegungsabschnitten, in welchen die Widerstandsbänder grosse Spannung aufweisen, ist die Muskelaktivität nahezu gleich vorhanden wie in denjenigen mit Einsatz von Gewichten. Die Anschaffungskosten sowie die Grösse und der Transport der Widerstandsbänder sind gering. Durch die verschiedenen Bandstärken kann die Individualität der Athleten berücksichtigt werden. Ein weiterer wichtiger Faktor, welchen wir in dieser Studie berücksichtigen ist, dass die grösste Leistungssteigerung gemessen wurde, wenn die Voraktivierung biomechanisch mit der realen Bewegung übereinstimmt (Cuenca-Fernandez et al., 2018). Viele Bewegungsmuster können biomechanisch sowohl mit Widerstandsbändern als auch ohne kongruent ausgeführt werden. Aufgrund dieser Erkenntnis werden in der vorliegenden Untersuchung Widerstandsbänder im Voraktivierungsprotokoll eingesetzt.

Um die Individualität der Athleten zu berücksichtigen, sprich ihre vertikale Sprunghöhe zu relativieren, werden verschiedene Zusammenstellungen von Widerstandsbändern benutzt. Die Zusammenstellung wird jeweils anhand der Referenzsprünge bestimmt. Als Referenzwert dient

der Sportler Felix Stutz, welcher in seiner bisherigen Laufbahn als professioneller Lacrosse-Spieler immer überdurchschnittlich hohe Werte bei vertikalen Sprüngen erzielt hat.

Muskeln befinden sich nach einer maximalen Kontraktion in einem potenzierten und gleichzeitig ermüdeten Zustand. Dabei gilt es zu beachten, dass die Ermüdung zu Beginn der kontraktiven Anamnese dominanter ist, sich jedoch schneller auflöst als die Potenzierung. Basierend auf diesem Fakt, existiert ein Zeitfenster in welchem eine Leistungssteigerung möglich ist (Cuenca-Fernandez et al., 2018). Weiter konnte die Studie von Cuenca-Fernandez et al. (2018) aufzeigen, dass das Zeitfenster für das Post-Aktivierungs-Potenzial nach einer submaximalen Reizapplikation nach einer Ruhephase von acht Minuten am wirksamsten ist. Die Studie bestätigt ebenfalls die Annahme, dass bei gut trainierten Athleten mit einem grossen Anteil an schnellen Muskelfasern (Typ II) die Voraktivierung eine grössere Potenzierung bewirkt und der Leistungsübertrag auf die maximale Kurzzeitbelastung stärker ausfällt.

Der vertikale Sprung dient als bekannte sportartenübergreifende Explosivkraftleistungsgrösse. Verbessert sich die Sprunghöhe durch das VA-Protokoll signifikant, erlaubt das unterschiedliche Schlüsse: Beispielsweise sind im Schwimmsport die Sprints in der Phase des Starts und der Wende in grosser Abhängigkeit von der RFD und der Explosivkraft. Aus diesem Grund existieren bereits zahlreiche Studien welche PAP und deren Auswirkung auf Schwimmsprints untersuchen.

In der vorliegenden Untersuchung wird die vertikale Sprunghöhe mittels dem Opto-Jump-Messsystem erhoben. Das Bewegungsmuster der gesprungenen Kniebeuge muss in der VA kongruent sein. Die VA mit Widerstandsbändern erlaubt es den Probanden, die gesprungene Kniebeuge auf eine natürliche Art auszuführen und gleichzeitig mehr Spannung auf die aktiven und passiven Muskelstrukturen zu generieren.

Die Studie von Vanezis und Lees (2005) zeigt die Muskeleigenschaften und die technischen Aspekte einer gesprungenen Kniebeuge vertieft auf. Die biomechanische Begründung im Kontext dazu, dass gewisse Athleten höher springen als andere, sowie die dazugehörige Diskussion ob dies hauptsächlich an einer besseren Technik oder an stärkeren Muskeln liegt ist für die vorliegende Studie von grosser Bedeutung. Die detaillierten Kenntnisse können dem Trainer und den Athleten aufzeigen, welche Muskeleigenschaften und welche Techniken für die erfolgreiche Ausführung von Sprüngen gefragt sind und dadurch sowohl die Trainingsplanung als auch das Vorwettkampfprotokoll positiv beeinflussen. Laut Vanezis und Lees (2005) haben

bessere Springer grössere Gelenkmomente, Kraft und geleistete Arbeit am Knöchel, Knie und an der Hüfte. Der Unterschied bei der Technik im vertikalen Sprung von Gruppe 1 (tiefere Sprünge) und Gruppe 2 (höhere Sprünge) war im Vergleich zur Muskelfähigkeit weniger deutlich. Es scheint, als ob ein hoher vertikaler Sprung aus dem Stand vor allem auf die Kraft und die Geschwindigkeit der Kraftentwicklung in allen Gelenken der unteren Gliedmassen zurückgeführt werden kann (Vanezis & Lees, 2005). In der Schlussfolgerung betonen Vanezis und Lees (2005) deutlich, dass die Muskelkraftdeterminanten der Gelenke der unteren Extremitäten, die Hauptdeterminanten der vertikalen Sprungleistung sind und die Technik einen geringeren Einfluss hat.

1.5 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung und die Evaluierung eines praktisch anwendbaren Voraktivierungsprotokolls, welches eine Leistungssteigerung bei Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen beabsichtigt. Fakten, Erfolge und Misserfolge der obengenannten PAP-Literatur im Kontext zur Leistungssteigerung von maximalen Kurzzeitbelastungen werden berücksichtigt. Das Voraktivierungsprotokoll dient zur Ermittlung der optimalen Reizintensität, Reizdauer und Reizdichte – also Umfang, Volumen und Wiederholungsanzahl. Die Voraktivierung (vertikale Sprünge mit Widerstandsbändern) ist logistisch mit geringem Aufwand verbunden und das Bewegungsmuster besitzt eine tiefe Komplexität. Diese Faktoren werden bewusst gewählt, um die Anwendung vor Wettkämpfen für Trainer und Athleten realistisch, effektiv und effizient zu gestalten. Die gewünschte Intensität der Voraktivierung wird durch verschiedene Widerstandsbänder erzeugt. Für die Wahl des optimalen Widerstandes orientieren wir uns an der Relativkraft der Probanden. Die Relativkraft ermitteln wir anhand von Referenzsprüngen.

In einem weiteren Schritt wird das Voraktivierungsprotokoll standardisiert. Im Falle einer signifikanten Optimierung der Leistung wird analysiert bei welchem Umfang und bei welcher Intensität die Leistungssteigerung am stärksten war. Das übergeordnete Ziel ist, das VA-Protokoll für den Trainings- und Wettkampfalltag an Trainer und Athleten empfehlen zu können.

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

1. Kann durch das Voraktivierungsprotokoll eine signifikant optimierte Leistung in maximalen Kurzzeitbelastungen festgestellt werden?

H1: Das Voraktivierungsprotokoll bewirkt eine signifikante bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung.

H0: Das Voraktivierungsprotokoll bewirkt keine signifikante bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung.

2. Was ist unter Berücksichtigung der Relativkraft der optimale Umfang und die optimale Intensität für die Voraktivierung im PAP-Protokoll?

H1: Die 40-50% Sprunghöhenreduktion mit Widerstandsbändern war die richtige Wahl des Reizes in der Voraktivierung, es gab signifikante Unterschiede zwischen den vier Voraktivierungsumfängen.

H0: Die 40-50% Sprunghöhenreduktion mit Widerstandsbändern war die falsche Wahl des Reizes in der Voraktivierung, es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Voraktivierungsumfängen.

3. Wie relevant sind die Erkenntnisse für Trainer und Athleten und deren Trainings- und Wettkampf-Alltag?

H1: Die Erkenntnisse sind durch eine signifikante Leistungsverbesserung relevant für den Trainings- und Wettkampf-Alltag.

H0: Die Erkenntnis sind wegen fehlender Leistungsverbesserung irrelevant für den Trainings- und Wettkampf-Alltag.

2 Methode

2.1 Studiendesign

Vor jeder Messung wurde ein Laufzettel ausgefüllt, welcher Fragen zum physischen und psychischen Zustand, ein standardisiertes Warm-Up und ein Flowchart (Abbildung 1) zur jeweiligen Intervention beinhaltet. Die vier Interventionen wurden randomisiert und das standardisierte Warm-Up wurde vor jeder Messung der Längsschnittstudie durchgeführt.

2.2 Untersuchungsgruppe

Die Stichprobe bestand aus 20 männlichen Athleten, welche alle Mannschaftssport auf Leistungsniveau betreiben. Es wurden nur Athleten berücksichtigt, welche alle vier Interventionen durchgeführt haben und somit auch alle Laufzettel ausgefüllt haben.

Tabelle 1

Deskriptive Werte zu den demographischen Daten der Untersuchungsgruppe. Mittelwerte (\pm SD) für Alter, Grösse und Gewicht der 20 Probanden (20m, 0w).

Alter	27.2 \pm 3.4
Grösse	174.1 \pm 7.0
Gewicht	80.5 \pm 8.2

Anmerkung: Grösse ist in cm, Gewicht in kg angegeben

Die Untersuchungsgruppe wurde über die groben Ziele und die Wichtigkeit dieser Studie informiert. Zusätzlich wurden die Vertraulichkeit und Anonymität bei der Aufbereitung und Auswertung der Daten zugesichert. Die Teilnahme fand freiwillig statt und konnte jederzeit ohne Begründung abgebrochen werden. Alle Probanden haben die Einverständniserklärung zur Teilnahme an dieser Studie unterzeichnet. In den Fällen, in denen eine Rücksprache mit dem Trainer gewünscht war, wurde diese im Vorfeld gemacht.

2.3 Instrumente

2.3.1 Optojump. Die Datenerhebung erfolgte über das optische Messsystem OPTO-Jump Next® (Microgate, 2019). Der Vertikalsprung ist einer der am häufigsten ausgeführten Handlungen in verschiedenen Sportarten. Aus diesem Grund ist die Sicherstellung der Validität und Zuverlässigkeit bei der Messung der vertikalen Sprunghöhe unumgänglich. Glatthorn et al. (2016) verglichen die Validität und Reliabilität des OPTO-Jumps mit Kraftmessplatten. Dabei kam heraus, dass die Verwendung von OPTO-Jump-Lichtschranken für feldbasierte Bewertungen der vertikalen Sprunghöhe Legitim ist.

OPTO-Jump Next® basiert auf einem sendenden und einem empfangenden LED- Messstab. Die LEDs des Senderstabes kommunizieren kontinuierlich mit denjenigen des Empfängerstabes. Das System erkennt Unterbrechungen (beispielsweise durch ein Fussaufsatz) und berechnet deren Dauer. Durch diese Eigenschaft konnten wir auch in einer Serie von Sprüngen alle Kontakt- und Flugzeiten messen mit der Genauigkeit einer Millisekunde. Alle Messwerte wurden im Interface, welche das OPTO-Jump Next® verwaltet, gespeichert. Das Interface ist in drei Bereiche unterteilt: Personaldaten, Test und Ergebnisse.

Einzelne Athletenprofile können im System abgespeichert und dargestellt werden. Alle Athleten können in eine oder mehrere Gruppen und Untergruppen eingegeben werden. Die Profile sind modular aufgebaut und können vom Anwender nach Bedarf verändert werden. Ein Import aus anderen Tools wie beispielsweise Excel ist ebenfalls möglich.

2.3.2 Ablauf der Messung. Die vier Interventionen wurden randomisiert. Das standardisierte Warm-Up, angeleitet durch einen Trainer, wurde vor jeder Messung durchgeführt. Alle vertikal gesprungenen Kniebeugen (Referenzsprünge, Voraktivierungssprünge mit Widerstandsbänder und Kontrollsprünge nach der Aktivierung) wurden mit angewinkelten Armen durchgeführt, um die Messungen besser standardisieren zu können. Die Voraktivierung (kongruentes Bewegungsmuster – horizontale gesprungene Kniebeuge) wurde mit verschiedenen Widerstandsbändern der Marke Crossequip (spezifischere Ausführung in Tabelle 2), welche an einem Ende an 40kg Kurzhanteln und am anderen Ende über den Schultern der Probanden befestigt waren, durchgeführt. Dabei war Achtsamkeit gegenüber den Widerstandsbändern, welche teilweise beim Ausziehen in die LED-Messzone fielen, gefragt. Die benötigte Zeit, um die Widerstandsbänder bei den Voraktivierungssprüngen anzubringen (jeweils 30 Sekunden), musste ebenfalls eingeplant werden. Somit konnten die Voraktivierungssprünge immer zur richtigen Zeit

ausgeführt werden. Die Pausen waren alle passiv und wurden sitzend durchgeführt. Das Opto-Jump Messgerät befand sich während den Tests in einem kontinuierlichen Messmodus. Durch diese Einstellung war es möglich – unter der Berücksichtigung der Kinetik und Hilfe der Probanden (Arbeit mit Stoppuhren) – bis zu 4 Testathleten versetzt zu messen. Die Messwerte wurden im Programm unter der jeweiligen Intervention und den Namen der Testathleten abgespeichert. Zusätzlich wurden die Messwerte unmittelbar nach den Sprüngen manuell auf die Laufzettel übertragen, um die Sicherung der Daten zu gewährleisten. Die VA-Protokolle unterschieden sich in der Frequentierung und dem Volumen. Hierbei gilt es zu erwähnen, dass eine der vier Messungen der Kontrolle diente und keine VA beinhaltete. Wie bereits erwähnt, fand die Teilnahme freiwillig statt und konnte jederzeit ohne Begründung abgebrochen werden.

2.3.3 Widerstandsbänder: Relativierte Empfehlung für die Voraktivierung. Tabelle 2 veranschaulicht alle zu berücksichtigenden Fakten zur Wahl der Widerstandsbänder (WB) für die Voraktivierung. Die Stärke der WB wurde bereits im Vorfeld der Datenerhebung für jeden Probanden individuell ermittelt. Durch die prozentuale Sprunghöhenreduktion mit WB (30-50%) gemessen am höchsten Referenzsprung wurde die Individualität und somit auch die Relativkraft der Teilnehmer berücksichtigt. Eine Reduktion von 30-50% des Referenzwertes (in der vorliegenden Studie zur gesprungene Kniebeuge) wird für eine Voraktivierung im Bereich der Explosivität in vielen Studien empfohlen.

2.3.4 Flowchart. Das Warm-Up-Protokoll (WUP) ist an die biomechanischen Gegebenheiten der gesprungenen Kniebeuge angelehnt. Sprünge gehören zu den hochkomplexen Bewegungsabläufen (Wick, 2013). Aus diesem Grund ist das WUP im Vergleich zu anderen Voraktivierungsstudien intensiver gestaltet. Beim Testprotokoll mit dem grössten VA-Umfang wurden 25 maximal explosive gesprungene Kniebeugen durchgeführt und ein intensives Mobilisieren zur Gewährleistung der Gesundheit der Athleten war unabdingbar. Hierbei gilt es zu erwähnen, dass Vogler (2021) in seiner Masterarbeit die Kinetik des VA-Protokolls untersuchte und die Pausenzeiten so evaluierte, dass die muskuläre Ermüdung des WUPs keinen negativen Einfluss auf die Sprungleistung hatte.

Das Warm-Up-Protokoll wurde an allen Messtagen von einem Trainer begleitet, um die gewünschte Bewegungsqualität zu halten und Hauptfehlerbilder (Rundrücken und instabile Knieachse) zu vermeiden. Alle Übungen wurden von den Teilnehmern mit dem eigenen Körpergewicht durchgeführt. Die progressive Steigerung der Komplexität der Übungen im Warm-Up-Protokoll war gegeben. Durch die Bewegung mit geringer Intensität wird Blut in die

2.3.5 Warm-Up Protokoll. Nachfolgend werden die verschiedenen Übungen des Warm-Up Protokolls detailliert beschrieben.

Fussgelenksläufe

Diese dienen dazu die tiefen passiven Strukturen (Sehnen, Bänder, Knorpel, Bindegewebe) des Fussgelenkes zu mobilisieren. Die Zehen wurden immer maximal an das Schienbein gezogen (Flexion). Der Körperschwerpunkt wird dynamisch und einbeinig zuerst auf die Verse dann zum vollflächigen Fussaufsatz und weiter auf die Zehen bewegt. Der Bewegungsumfang und die Bewegungsrichtung des Fussgelenks sind dabei kongruent mit derjenigen der gesprungenen Kniebeuge sind.

Jumping Airsquats

Jumping Airsquats mit Armeinsatz dienen dazu, die Koordination und die Technik der gesprungenen Kniebeuge bereits vor den gemessenen Sprüngen einmal durchgeführt zu haben. Die Sprünge wurden mit einer geringen Intensität (tiefe Sprunghöhe) repetitiv und dynamisch ausgeführt. Der Fokus der Aktivierung lag bei diesem Element auf dem Quadriceps, Gluteus Maximus und dem Gastrocnemius. Um die Stabilität des Oberkörpers in diesem Element zu halten, übernimmt die Rumpfmuskulatur eine stützende Funktion und wird gleichzeitig aktiviert.

Glutebridge-Routine

Die Glutebridge-Routine (10x beidbeinig, 5x einbeinig, je links und rechts) dient zur kontrollierten Aktivierung der gesamten hinteren Kette (Gastrocnemius, Hamstrings, Rücken). Grundsätzlich besteht eine Dysbalance zwischen Quadriceps und Hamstring, weil die meisten Bewegungsabläufe der Beine quadriceps dominant sind. Somit sind die Hamstrings weniger gut trainiert und verletzungsanfällig. Um die Hamstrings sicher aktivieren zu können, wurde eine Glutebridge-Routine (geschlossene Kette und Körpergewicht) durchgeführt.

Jumping-Lunges

Dies ist die intensivste und komplexeste Übung des WUP. Aus biomechanischer Sicht ist ein gesprungener Ausfallschritt eine unilaterale Übung. Dabei ist die RFD beim Absprung und bei der Landung jeweils auf das vordere Bein akzentuiert. Bei der gesprungenen Kniebeuge (bilateral) übernimmt das starke Bein immer mehr Arbeit als das schwache Bein – bei den gesprungenen Ausfallschritten werden gezwungenermassen beide Beine (beziehungsweise das jeweils Vordere) gleich viel Arbeit verrichten. Somit ist die maximale Aktivierung auf beiden Seiten gewährleistet.

Diagonales Berühren Fliegerposition

Um die Spannung der Hamstrings, welche bei der Glutebridgeroutine entstand, vor den Messsprüngen zu legitimieren wurden dynamischen Hamstringstretches in das WUP

mitaufgenommen und zum Schluss durchgeführt. Ebenfalls forderte diese Übung das Gleichgewicht auf einem Bein, was dazu führt, dass die passiven Strukturen im Knie- und Fussgelenk nochmals intensiv arbeiteten.

2.3.6 Herleitung des PAP Protokolls. Die vertikale Sprunghöhe (VSH) dient als bekannte Leistungsmessgrösse der Explosivität. Aus diesem Grund existieren bereits zahlreiche Studien, in welchen die Explosivität anhand der vertikalen Sprunghöhe zu verschiedenen Kontexten evaluiert wurde (Glatthorn et al., 2016). Das Ziel des PAP-Protokolls ist die Leistungssteigerung bei maximaler Kurzzeitbelastung, welche stark von der RFD und der Explosivität abhängig ist. Die genannten Faktoren wurden berücksichtigt und das VA-Protokoll basierte auf der VSH. Das gesamte PAP-Protokoll wurde so konstruiert, dass es von Athleten und Athletinnen in Wettkampfsituationen mit geringem logistischem Aufwand und Verletzungsgefahr umgesetzt werden kann. Die gesprungene Kniebeuge wird als hochkomplexer Bewegungsablauf eingestuft. Die Kniebeuge (ohne Sprung) zählt zu den Grundübungen. Grundübungen sind Kraftübungen welche Athlet/-innen perfekt und im gesamten Bewegungsumfang beherrschen sollten.

Durch das spezifische WUP und die Anwendung des PAP-Protokolls der Athleten/-innen in der Evaluationsphase vor den Wettkämpfen wird die Verletzungsgefahr bei gesprungenen Kniebeugen legitimiert. Um das VA-Protokoll zu standardisieren wurden alle Sprünge mit angewinkelten Armen durchgeführt. Der Muskelreiz wurde in der Voraktivierung mit Widerstandsbändern intensiviert. Die Widerstandsbänder der Marke Crossequip sind in verschiedenen Stärken erhältlich. Viele PAP-Studien zeigen auf, dass die Chancen die Leistung durch eine Voraktivierung zu steigern am grössten ist, wenn die Voraktivierung biomechanisch kongruent ist zum Bewegungsablauf in welchem eine Steigerung erwünscht ist. Die gesprungene Kniebeuge konnte mit den Widerstandsbändern (am Boden befestigt und um die Schultern gelegt) 1:1 gleich ausgeführt werden wie die gemessene gesprungene Kniebeuge. Viele PAP-Studien zeigen auf, dass die Individualität der Athleten und Athletinnen unbedingt berücksichtigt werden muss. Um die Kraft unserer Probanden zu relativieren wurden die Widerstandsbänderstärken individuell im Vorfeld ausgewählt anhand der Sprunghöhenreduktion angesetzt auf (30-50%) Reduktion gegenüber der Referenzsprunghöhe. Um eine mögliche Tendenz für das perfekte Volumen und die Frequentierung im Datensatz zu erkennen, wurden in der Voraktivierung drei verschiedene Loads gewählt.

Tabelle 2

Voraktivierung anhand der Parameter Load, Frequentierung und Volumen

LOAD	Frequentierung	Volumen
LOW	1	3
MEDIUM	3	3
HIGH	5	3

Anmerkung: Frequentierung = Anzahl Sets, Volumen = Anzahl Wiederholungen

Tabelle 3

Cross-Equip Widerstandsbänder

Farbe	Widerstand	Breite
Rot	7-12	13
Schwarz	24-35	22
Violett	45-55	29
Grün	55-85	45

Anmerkung: Breite ist in mm, Widerstand in kg angegeben

2.4 Datenauswertung

Die demographischen Daten und die Daten der Sprunghöhen wurden von den Laufzetteln in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Excel für Mac 2016, Microsoft Corporation, Redmond, USA) übertragen. Alle relevanten Items wurden in eine zentralisierte Excel-Datenbank eingetragen und bereinigt. Danach folgte der Übertrag in das Statistikprogramm JASP Team (Version 0.14.1 für Mac 2020, Computer Software, Amsterdam, Netherlands) für die statistische Auswertung.

Tabelle 4

Parameter des Gruppenvergleichs

Gruppe 1(keine VA)	Messzeitpunkt 1(15sec bis 9min)
Gruppe 2(1Set VA)	Messzeitpunkt 2(12-21min)
Gruppe 3(3Set VA)	
Gruppe 4(5Set VA)	

Anmerkung: Der Gruppenvergleich wurde anhand einer zweiteiligen Messwiederholungs ANOVA 2x4 Matrix (2= Meanwert der Messzeitpunkte 1(15sec bis 9min) und 2(12-21min) und der vier Gruppen gemacht

Die Effektstärke für die ANOVA wurde mit dem (partiellen) Eta-Quadrat (η^2) berechnet. Um die Sicherheit des Effektes zu evaluieren und sicherzustellen, dass keine Signifikanz vorhanden war, wurde der F-Wert ermittelt. Die Homogenität der Varianzen wurden mit Levenes-Tests evaluiert. Da der p-Wert >0.05 (Test für Equality of Variances Levene's) war, und die Gleichheit der Varianzen gegeben war, wurde der Post-Hoc-Test Turkey verwendet.

Der erwähnte Faktor Zeit wurde von Vogler (2021) ausgewertet und in seiner Masterarbeit diskutiert. Mittels einer Regressionsanalyse wurde das Verhältnis der Variablen psychologischen Aspekte 1) Sleepquality, 2) Muscelfatigue pre-exhaustion, 3) Muscelfatigue post-exhaustion) und den Referenzsprungwerten analysiert, um mögliche Korrelationen zu finden. Die Stärke des linearen Zusammenhanges(r), sprich der Korrelationskoeffizient war definiert zwischen -1 und +1, wobei ein Wert von +1 einen perfekten positiven Zusammenhang der beiden Variablen beschreibt, während eine Korrelation von -1 einen perfekten negativen (inversen) Zusammenhang (Antikorrelation) beschreibt. Das p wurde nach Cohen (1988) geringe / schwache Korrelation $|\rho| = .10$, mittlere / moderate Korrelation $|\rho| = .30$ und grosse / starke Korrelation $|\rho| = .50$ interpretiert. Um die Bedeutsamkeit eines Resultats zu beurteilen, wurde zusätzlich die Effektstärke ausgerechnet. Bei allen statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0.05$ angenommen. Normalverteilung nach Shapiro Wilk.

3 Resultate

Zur Beantwortung der konkreten Fragestellung inwiefern das vorliegende Voraktivierungsprotokoll die Leistung der maximalen Kurzzeitbelastung in Form von gesprungenen Kniebeugen beeinflusste und inwiefern es signifikante Unterschiede der vier verschiedenen Umfänge der Voraktivierung gab, wurde mit Hilfe der drei Voraktivierungen, der Kontrollgruppe und den jeweiligen Sprunghöhen ein Gruppenvergleich gemacht. Dabei wurden alle Messzeitpunkte in zwei Gruppen zusammengefasst: Messzeitpunkt 1 (15sec bis 9min) und Messzeitpunkt 2 (12-21min). In Tabelle 5 werden alle Resultate des Gruppenvergleiches präsentiert. Die Resultate werden zusätzlich durch Balkendiagramme grafisch dargestellt.

Die drei Faktoren Schlafqualität, Muscelfatigue pre, Muscelfatigue post und deren Wechselbeziehung mit der maximalen Referenzsprunghöhe (mRSH; Mittelwert aus allen Messungen) werden nach der Korrelation von Pearson dargestellt. In Tabelle 6 werden alle Resultate der Korrelation präsentiert und durch Korrelationsgraphen dargestellt. Zu Beginn jedes Abschnittes werden Fragestellungen und die Hypothesen aufgegriffen und bestätigt / widerlegt. Die Hypothesen zur konkreten Fragestellung werden abschliessend überprüft.

3.1 Gruppenvergleiche

Tabelle 5

Zusammenfassung der statistischen Auswertungen des Gruppenvergleiches (3 Unterschiedliche VA-Umfänge und 1 Kontrollgruppe), Messzeitpunkt 1 (Mittelwert von 15sec bis 9min) und Messzeitpunkt 2 (Mittelwert von 12min bis 21min)

						F-Wert	p-Wert	Partielles eta ²
Gruppe 1 (VA/1Set)	Sprunghöhe	M1 41.764 ± 5.390	M2 40.563 ± 5.368	mRSH 43.850 ± 4.43	a)	54.614	<.001	0.418
Gruppe 2 (VA/3Set)	Sprunghöhe	M1 41.400 ± 5.741	M2 39.917 ± 5.243	mRSH 43.125 ± 4.757	b)	0.650	0.581	0.025
Gruppe 3(VA/5Set)	Sprunghöhe	M1 41.949 ± 5.023	M2 40.946 ± 5.284	mRSH 44.18 ± 4.392	c)	0.095	0.963	0.004
Gruppe 4 (keine VA)	Sprunghöhe	M1 41.871 ± 5.026	M2 40.953 ± 5.489	mRSH 43.525 ± 4.222				

Anmerkung. Gruppenvergleich (n = 20) Repeated Measure ANOVA, Sprunghöhe in cm, Mittelwert ± Standardabweichung in cm, M1= Messzeitpunkt 1(15sec bis 9min), M2= Messzeitpunkt 2(12-21min), mRSH= maximale Referenzsprunghöhe in cm. Gruppenvergleiche: a) Haupteffekt (Zeit Sprunghöhe) b) Interaktionseffekt c) Haupteffekt Gruppenvergleich. * = p < 0.05; ** = p < 0.01.

3.2 Balkendiagramm Messzeitpunkt 1

H0: Das Voraktivierungsprotokoll bewirkt keine signifikante bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung.

Nachfolgend werden die erreichten Sprunghöhen des Messzeitpunktes 1 (15sec bis 9min) und den vier unterschiedlichen Voraktivierungsgruppen in einem Balkendiagramm dargestellt. Ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 (Voraktivierung 1 Set) und Gruppe 3 (Voraktivierung 5 Set) wurde festgestellt. Kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe.

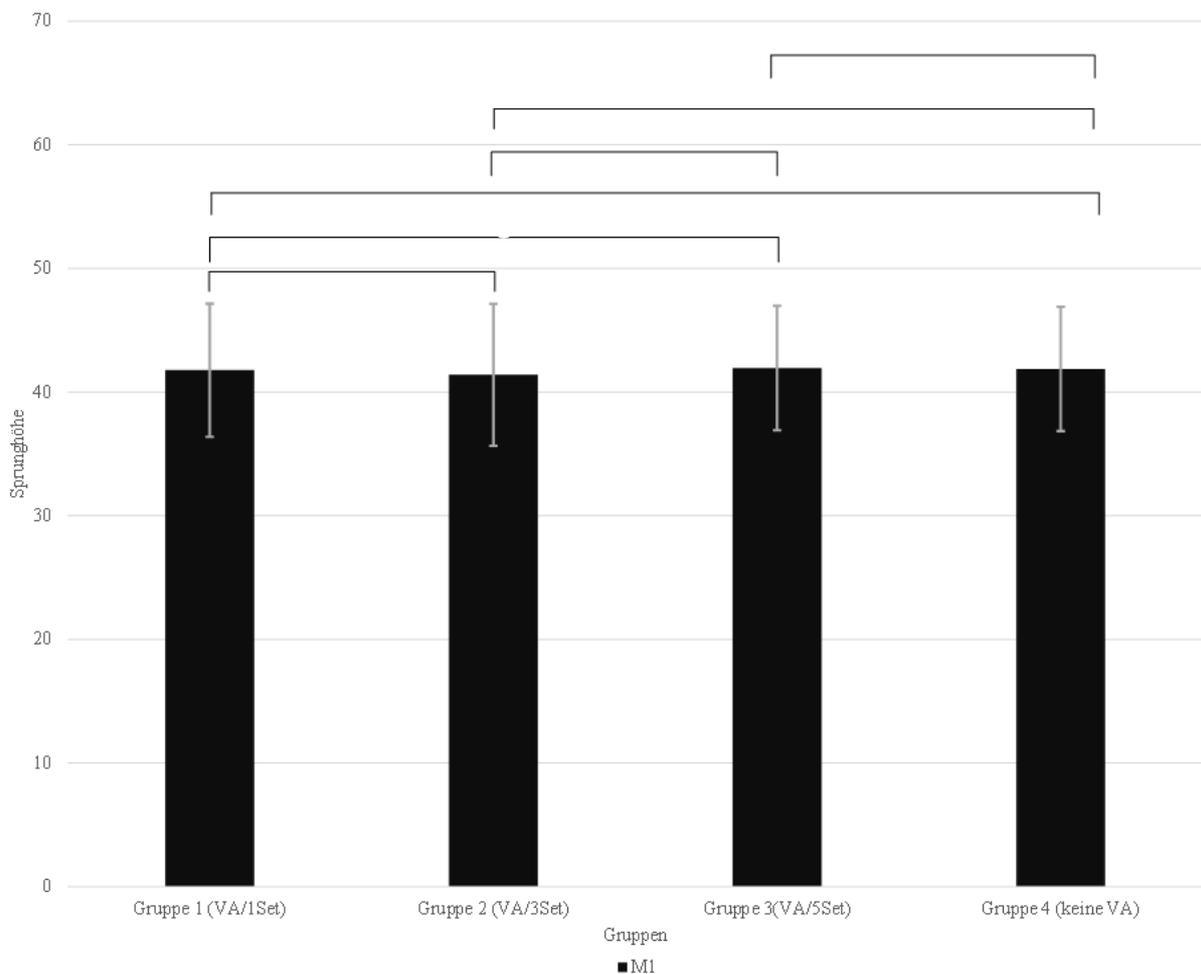


Abbildung 2. y-Achse: Mittelwerte der Sprunghöhe und Standardabweichung in cm = Werte gemessen 15sec nach der Voraktivierung bis und mit Minute 9, x-Achse: Voraktivierungsgruppen und Kontrollgruppe (n = 20), Gruppe 1 (Voraktivierung 1 Set), Gruppe 2 (Voraktivierung 3 Set), Gruppe 3 (Voraktivierung 5 Set), Gruppe 4 (Kontrollgruppe keine Voraktivierung). Es wurden alle Gruppen miteinander verglichen. * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

3.3 Balkendiagramm Messzeitpunkt 2

H0: Das Voraktivierungsprotokoll bewirkt keine signifikante bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung

Nachfolgend werden die erreichten Sprunghöhen des Messzeitpunktes 2 (12min bis 21min) und den vier unterschiedlichen Voraktivierungsgruppen in einem Balkendiagramm dargestellt. Ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 (Voraktivierung 1 Set) und Gruppe 3 (Voraktivierung 5 Set) wurde festgestellt. Kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe.

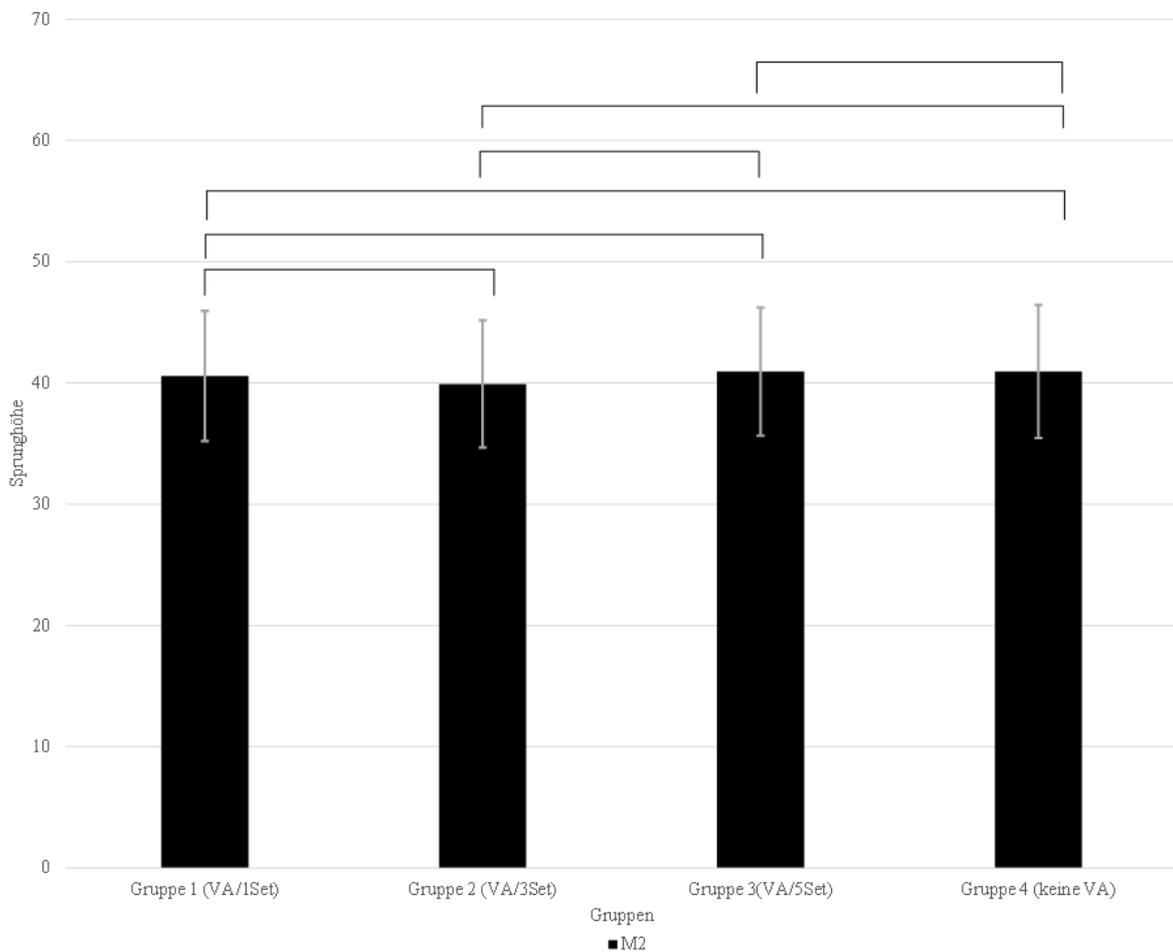


Abbildung 3. y-Achse: Mittelwerte der Sprunghöhe und Standardabweichung in cm = Werte gemessen 12min nach der Voraktivierung bis und mit Minute 21, x-Achse: Voraktivierungsgruppen (n = 20) und Kontrollgruppe Gruppe (n = 20), Gruppe 1 (Voraktivierung 1 Set), Gruppe 2 (Voraktivierung 3 Set), Gruppe 3 (Voraktivierung 5 Set), Gruppe 4 (Kontrollgruppe keine Voraktivierung). Es wurden alle Gruppen miteinander verglichen. * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

3.4 Balkendiagramm maximale Referenzsprunghöhen

H0: Das Voraktivierungsprotokoll bewirkt keine signifikante bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung.

Nachfolgend werden die erreichten maximalen Referenzsprunghöhen, welche vor jeder Messung gemacht wurden, dargestellt. Kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe.

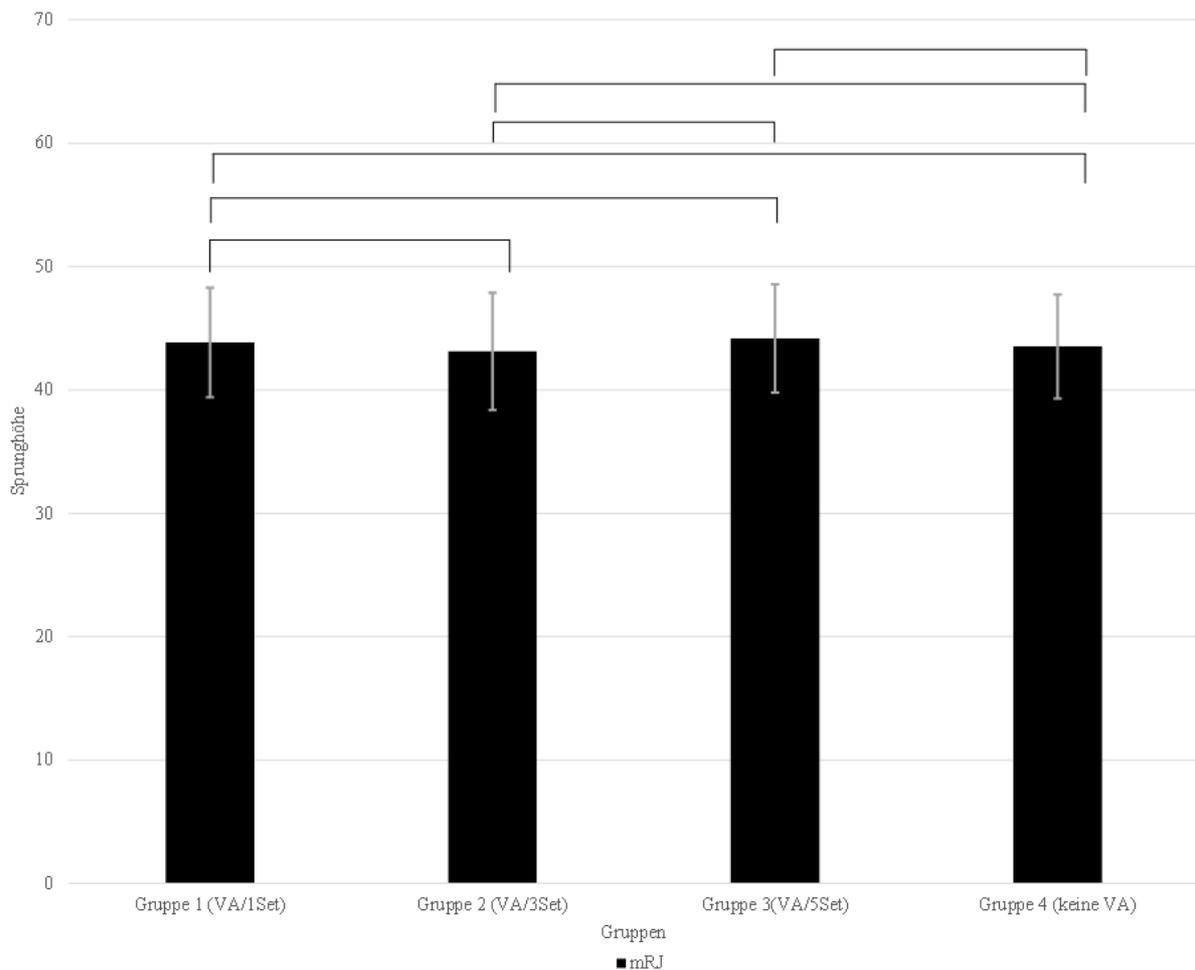


Abbildung 4. y-Achse: Mittelwerte der Sprunghöhe und Standardabweichung in cm = maximale Referenzsprünge, aus zwei Sprüngen, welche immer direkt nach dem standardisierten Warm Up gemessen wurden. x-Achse: Gruppen. Es wurden alle Gruppen (n = 20) miteinander verglichen. * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

3.5 Korrelation zwischen der maximalen Referenzsprunghöhe und drei Faktoren

Korrelation nach Pearson zwischen Sleepquality und maximaler Referenzsprunghöhe, zwischen Muscelfatigue pre-exhaustion und maximaler Referenzsprunghöhe und zwischen Muscelfatigue post und maximaler Referenzsprunghöhe.

Tabelle 6

Zusammenfassung der statistischen Auswertungen der Korrelation nach Pearson, die Werte der Komponenten maximalen Referenzsprunghöhe, Sleepquality, Muscelfatigue pre-exhaustion und Muscelfatigue post-exhaustion aus allen Messzeitpunkten zusammengefasst und Wechselbeziehung geprüft.

Korrelation nach Pearson	pearson's r	p-Wert
Sleepquality - max. Referenzsprunghöhe	pearson's r 0.140	p-value 0.216
Muscelfatigue pre - max. Referenzsprunghöhe	pearson's r 0.174	p-value 0.123
Muscelfatigue post - max. Referenzsprunghöhe	pearson's r 0.240	p-value 0.032

Anmerkung. Korrelationskoeffizient ($r < 0$) von -1 bis +1, +1 perfekten positiven Zusammenhang der beiden Variablen, -1 einen perfekten negativen (inversen) Zusammenhang (Antikorrelation), p wurde nach Cohen (1988) geringe / schwache Korrelation $|\rho| = .10$, mittlere / moderate Korrelation $|\rho| = .30$ und grosse / starke Korrelation $|\rho| = .50$ interpretiert

3.6 Korrelation maximale Referenzsprunghöhe und Sleep quality

Nachfolgend wird die Korrelation zwischen den erreichten maximalen Sprunghöhen der Referenzsprünge und der Schlafqualität in der Nacht vor dem Test aus allen Messungen grafisch dargestellt. ($n = 20$)

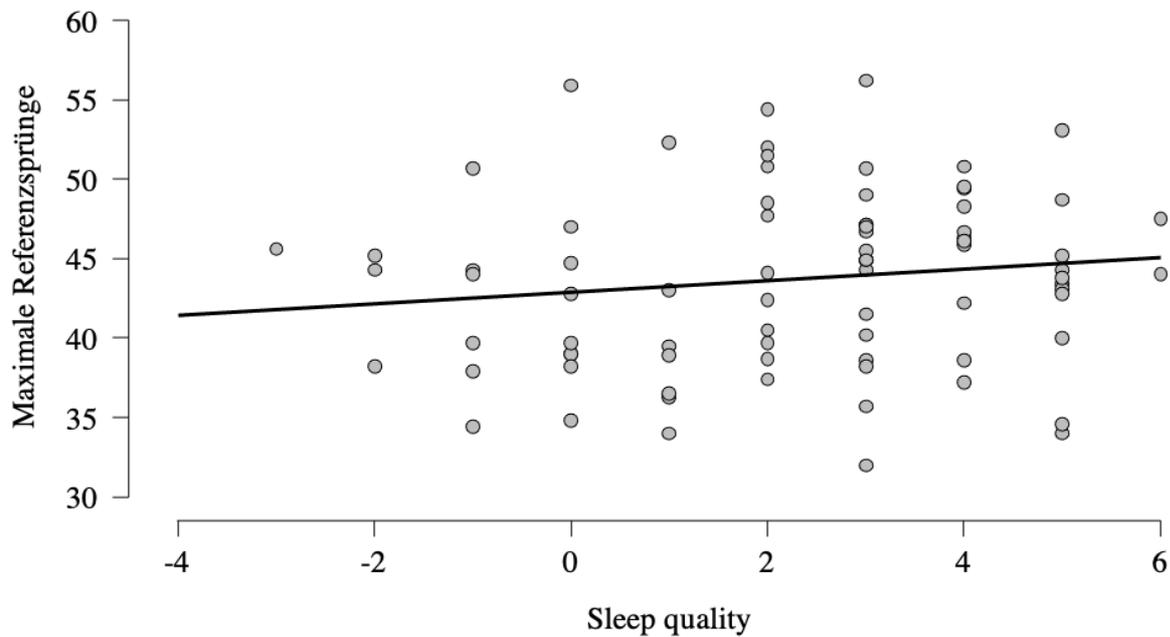


Abbildung 5. y-Achse: maximale Referenzsprunghöhen in cm, x-Achse: Sleep quality (0-10), pearson's R 0.140, p-value 0.216, Korrelationskoeffizient ($r < 0$) von -1 bis +1, +1 perfekten positiven Zusammenhang der beiden Variablen, -1 einen perfekten negativen (inversen) Zusammenhang (Antikorrelation), p wurde nach Cohen (1988) geringe / schwache Korrelation $|\rho| = .10$, mittlere / moderate Korrelation $|\rho| = .30$ und grosse / starke Korrelation $|\rho| = .50$ interpretiert

3.7 Korrelation maximale Referenzsprunghöhe und Muscular fatigue PRE

Nachfolgend wird die Korrelation zwischen den erreichten maximalen Sprunghöhen der Referenzsprünge und der muskulären Ermüdung vor dem Test aus allen Messungen grafisch dargestellt. ($n = 20$)

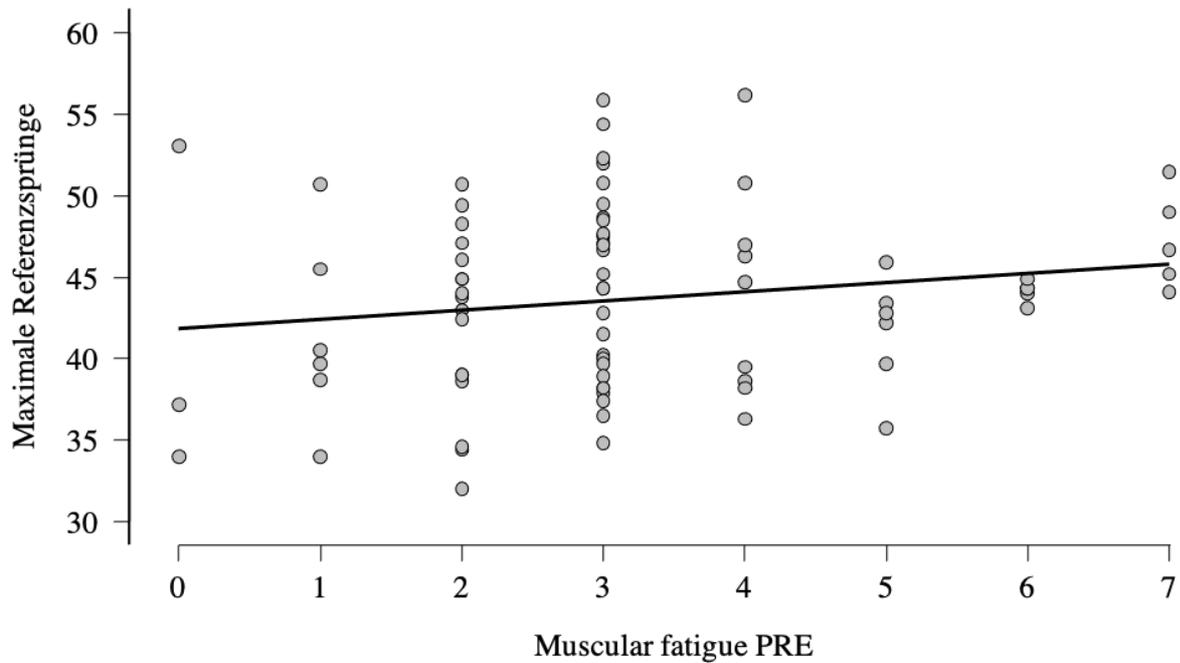


Abbildung 6. y-Achse: maximale Referenzsprunghöhen in cm, x-Achse: Muscular fatigue PRE (0-10) pearson's R 0.174, p-value 0.123, Korrelationskoeffizient ($r < 0$) von -1 bis +1, +1 perfekten positiven Zusammenhang der beiden Variablen, -1 einen perfekten negativen (inversen) Zusammenhang (Antikorrelation)), p wurde nach Cohen, (1988) geringe / schwache Korrelation $|\rho| = .10$, mittlere / moderate Korrelation $|\rho| = .30$ und grosse / starke Korrelation $|\rho| = .50$ interpretiert

3.8 Korrelation maximale Referenzsprunghöhe und Muscular fatigue POST

Nachfolgend wird die Korrelation zwischen den erreichten maximalen Sprunghöhen der Referenzsprünge und der muskulären Ermüdung nach dem Test aus allen Messungen grafisch dargestellt. ($n = 20$)

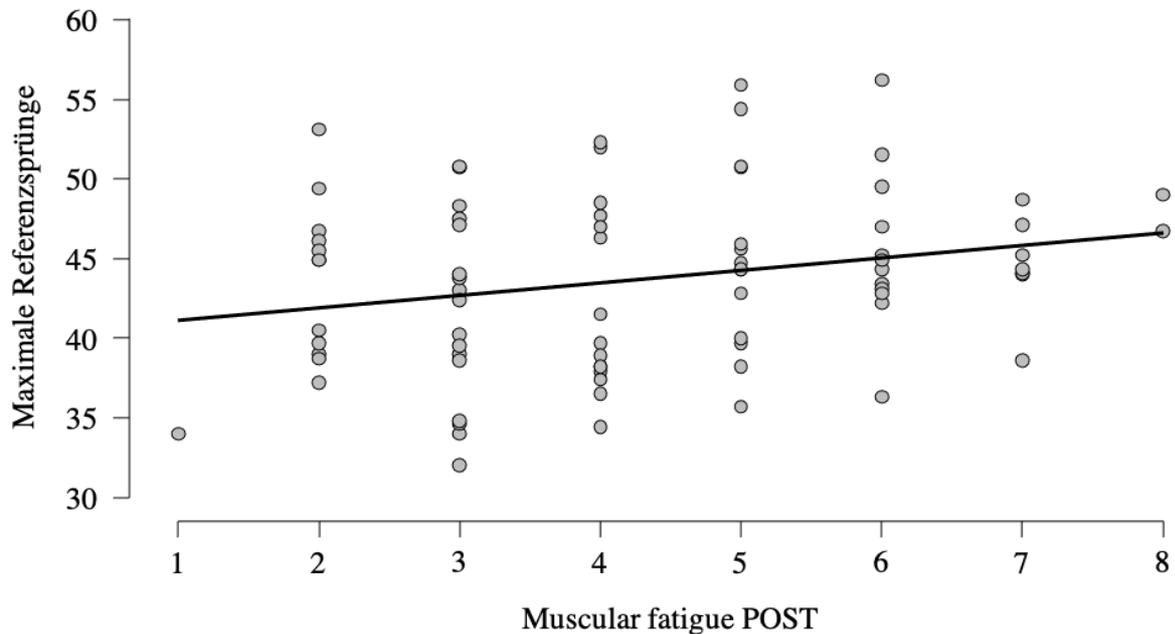


Abbildung 7. y-Achse: maximale Referenzsprunghöhen in cm, x-Achse: Muscular fatigue PRE (0-10) pearson's R 0.240, p-value 0.032, Korrelationskoeffizient ($r < 0$) von -1 bis +1, +1 perfekten positiven Zusammenhang der beiden Variablen, -1 einen perfekten negativen (inversen) Zusammenhang (Antikorrelation), p wurde nach Cohen, (1988) geringe / schwache Korrelation $|\rho| = .10$, mittlere / moderate Korrelation $|\rho| = .30$ und grosse / starke Korrelation $|\rho| = .50$ interpretiert

3.9 Hypothesenüberprüfung der konkreten Fragestellungen

Fragestellung 1

Mit der Fragestellung 1 wurde untersucht, ob im Voraktivierungsgruppenvergleich ein signifikanter Unterschied auf die maximale Kurzzeitleistung in Form der gesprungenen Kniebeuge erkennbar ist. H₀ kann bestätigt werden. Das Voraktivierungsprotokoll bewirkt keine signifikant bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung.

Fragestellung 2

Mit der Fragestellung 2 wurde untersucht, welcher Umfang und welche Intensität sich unter der Berücksichtigung der relativen Kraft der Probanden am besten für das Voraktivierungsprotokoll eignen. H₀ kann bestätigt werden. Die 40-50% Sprunghöhenreduktion mit Widerstandsbänder war die falsche Wahl des Reizes in der Voraktivierung und ergab keine signifikanten Unterschiede bei der Sprunghöhe zwischen den vier Voraktivierungsumfängen.

Fragestellung 3

Mit der Fragestellung 3 wird die Relevanz des Voraktivierungsprotokolls für Trainer und Athleten und deren Trainings- und Wettkampfs-Alltag geprüft.

In Fragestellung 1 und 2 wurde H₀ angenommen und somit ist die Relevanz gering. Diese Aussage wird mit Vorbehalt getroffen, weil die Voraktivierungsintensität mit geringem Aufwand angepasst werden kann.

4 Diskussion

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war es, unter dem Aspekt der PAP ein Voraktivierungsprotokoll zu erarbeiten, welches die Leistung in maximalen Kurzzeitbelastungen akut steigert und in der Praxis in Trainings- und Wettkampfsituationen mit geringen Mitteln umgesetzt werden kann. Das Voraktivierungsprotokoll ist praktisch umsetzbar, jedoch konnte nach keinem der drei unterschiedlichen Voraktivierungsumfängen und -frequenzen eine signifikante höhere Leistung gemessen werden.

Insgesamt wurden 480 gesprungene Kniebeugen zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Voraktivierung gemessen. Die Voraktivierung bestand aus 1x3, 3x3 oder 5x3 Sprüngen mit Widerstandsbändern. Zwischen den Sets wurde 2min passive Pause gemacht, um die Voraktivierung maximal explosiv ausführen zu können.

Bei der Wahl der Art der Voraktivierung wurde der Fakt, dass die Individualität der Athleten berücksichtigt werden muss, anerkannt (Chiu et al., 2003; Hamada et al., 2000). Die Individualität der Probanden wurde mit deren Relativkraft durch eine prozentuale Senkung ihrer Referenzsprünge (gesprungene Kniebeuge vertikal) mit Widerstandsbändern einkalkuliert. Die Intensität mit 30 bis 50 % Sprunghöhenreduktion basiert auf der allgemein akzeptierten Theorie, dass die Schnellkraft bei ~ 40 % des Einrepetitionsmaximums (1RM) trainiert wird. Hierbei gilt es zu erwähnen, dass bei der Evaluierung des Voraktivierungsprotokolls im Vorfeld der Messungen für jeden Probanden individuell die Widerstandsband-Kombination, welche die erwünschte Sprunghöhenreduktion herbeiführte, erprobt wurde.

Vogler (2021) untersuchte im vorliegenden VA-Protokoll einen weiteren als wichtig benannten Faktor aus vergangenen PAP Studien, die optimale Kinetik. Im gleichen Zeitrahmen erarbeitete er die Studie «Leistungskinetik eines praktikablen an der Wettkampfstätte durchführbaren Voraktivierungsprotokolls mit Powerbands für Sportarten mit maximaler Kurzzeitbelastung». Diese befasst sich damit, das perfekte Leistungszeitfenster zu evaluieren, in welchem die Ermüdung, welche durch die Voraktivierung entsteht, geringer ist als der potenzierte Zustand des Muskels. Seine Arbeit leistet einen bedeutsamen Beitrag zur Plausibilität des vorliegenden Voraktivierungsprotokolls und komplettiert es.

Trainer und Athleten haben bei der Anwendung des vorliegenden Voraktivierungsprotokolls nur realistische Chancen auf eine verbesserte Leistung, wenn sie die Faktengrundlagen beider Studien berücksichtigten.

In der Diskussion wird die konkrete Fragestellung mit Hilfe der Unterfragestellungen beantwortet und diskutiert. Ergebnisse werden interpretiert und mit anderen vorhandenen Studien verglichen. Dabei geht es darum die Schwächen und die Stärken der vorliegenden Studie aufzuzeigen, das Studiendesign zu hinterfragen und Limitation aufzuführen, um das Verbesserungspotential darzulegen. Ein Ausblick zu möglichen weiterführenden Fragestellungen rundet die Diskussion ab und zeigt auf, in welchen Bereichen noch Forschungspotential liegt.

4.1 Präsentation & Interpretation der Resultate

In diesem Abschnitt werden die Resultate in der gleichen Reihenfolge wie im Resultate-Teil diskutiert. Dies bedeutet, dass zuerst die Werte des Gruppenvergleichs und danach diejenigen der Korrelation interpretiert werden.

Um die Hauptfrage, ob durch das Voraktivierungsprotokoll eine signifikante Leistungssteigerung auf eine maximale Kurzzeitbelastung festgestellt wurde zu beantworten, wurden 20 Probanden und vier verschiedenen Messprotokolle, welche sich im Voraktivierungsload (Umfang und Frequentierung) unterschieden, erhoben. In den drei Balkendiagrammen werden die gemessenen Werte M1 (15sec bis 9min), M2 (12min bis 21min) und die maximale Referenzsprunghöhen zusammengefasst und alle vier unterschiedlichen Voraktivierungsgruppen miteinander verglichen. Dabei fällt auf, dass sich in allen drei Gruppen die 5-Set-Aktivierung zur 1-Set-Aktivierung signifikant unterscheidet. In keiner der vier Gruppen konnten nach der Voraktivierung höhere durchschnittliche Werte als die maximalen Referenzwerte gemessen werden und es wurde kein signifikanter Unterschied zu der Kontrollgruppe festgestellt. Auf dieser Basis eine Aussage zu treffen, welche dazu tendiert, dass der höchste Umfang von 5x3 Voraktivierungssprüngen mit Widerstandsbänder eine akute Leistungssteigerung erzeugt, wäre unrealistisch. Die Intensität wurde in allen Voraktivierungen gleich gelassen und es wurde angenommen, dass die 40-50% Referenzsprunghöhenreduktion durch Widerstandsbänder in der Anwendung mit verschiedenen Umfängen ausreichend war, um die Muskeln leistungssteigernd zu potenzieren. Der Faktor Volumen als Fehler wurde anhand der drei unterschiedlichen VA-Gruppen eliminiert. In allen VA-Protokollen die gleiche VA-Intensität zu wählen und nur den Umfang anzupassen war suboptimal und führte zu unbeantworteten Fragen. Dieser Punkt ist als grösste Schwäche der vorliegenden Studie zu definieren.

Die Schlafqualität wurde auf einer ordinalen Skala von -6 (sehr schlecht) bis zu +6 (sehr gut) ausgefüllt. Die Muscular fatigue PRE und die Muscular fatigue POST lokal in den Beinen wurden auf einer ordinalen Skala von 0 (überhaupt nicht), 3 (etwas), 6 (deutlich) bis zu 10 (sehr) eingetragen. Anhand der Korrelation nach Pearson wurde der Zusammenhang zwischen den drei Mittelwerten der genannten Komponenten und den Mittelwerten der maximalen Referenzsprüngen aus der gesamten Messung evaluiert. Die Zusammenhänge sind hier leicht positiv mit Ausnahme des Zusammenhangs zwischen Muscular fatigue PRE und den maximalen Referenzsprunghöhen. Dass die Muskeln nach hohen Referenzsprüngen und nach der Durchführung der gesamten Messung durchschnittlich müder waren, macht Sinn und wird darin begründet, dass die Probanden alle Sprünge maximal explosiv ausführten, was die Beine ermüdet. Die Summe der maximalen Sprünge in den vier verschiedenen Protokollen betrug bei der Kontrollgruppe 10, bei der 1-Set-Gruppe 13, bei der 3-Set-Gruppe 19 und bei der 5-Set-Gruppe 25. Der positive Zusammenhang zwischen der Schlafqualität und den durchschnittlich hohen maximalen Referenzsprüngen wurde ebenfalls vermutet. Atkinson und Davenne (2007) bestätigen mit ihrer Studie, dass eine gute Schlafqualität und -quantität ein relevantes Potential für den sportlichen Erfolg darstellen.

Die leicht positive Korrelation von hoher lokaler muskulärer Ermüdung der Beine vor dem Start der Messungen und den maximalen Referenzsprunghöhen ist zu gering, um Mutmassungen anzustellen. Die muskuläre Ermüdung der Probanden vor den Messungen (welche bis zum Wert 7 reicht, was mehr als eine deutliche lokale Beinermüdung bedeutet), werden als eine weitere Schwäche der Studie benannt. Die Weisung an die Stichprobe war, mit erholtem Zustand an die Messtage zu kommen. Das durchschnittliche Leistungsniveau unserer Gruppe war sehr hoch und somit auch deren Trainingsumfang und Load. Die Erwartung an die Probanden, Trainingseinheiten unserer Studie wegen nicht zu absolvieren, war unrealistisch.

4.2 Kritische Betrachtung der Studie

4.2.1 Stärken. In der Stichprobe von (n=20) war die Homogenität der Varianz im Durchschnittsalter sowie auch im Leistungsniveau gegeben. Dementsprechend waren auch die Resultate normal verteilt. Das Studiendesign, das Flowchart und die Messtage waren sauber strukturiert. Aus diesem Grund konnten mögliche Fehler in der Datenerhebung und in der Datenübertragung eliminiert werden. Die Teilnehmer bekamen in keiner Messung eine Rückmeldung zu den erzielten Sprunghöhen. Dadurch wurde gewährleistet, dass eine mögliche verbesserte Leistung nicht durch augmented feedback und dessen motivationssteigernden Einfluss entstand. Die Berücksichtigung der Faktengrundlage, dass in vergangenen PAP-Studien die Probanden als Individuen angeschaut werden müssen und der Stimulus der VA bei jedem Menschen anders wirkt, zählt als grosse Stärke der vorliegenden Studie.

Der Mehraufwand für die individuelle Vorabklärung des optimalen Widerstandes in der VA beanspruchte Zeit, ist aber für ein seriöses VA-Protokoll unumgänglich. Die relative Kraft ist in der Voraktivierung eine wichtige Komponente und muss bei jeder Voraktivierungsübung berücksichtigt werden. Das vorliegende VA-Protokoll wurde bewusst so konstruiert, dass eine realistische Anwendung in der Praxis in Wettkampfsituationen bei Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen möglich ist. Widerstandsbänder sind günstig, brauchen kein Platz, erzeugen unterschiedliche Reize auf den Muskel und erlauben es in den meisten Fällen die VA-Übung biomechanisch kongruent zur Leistung, die es zu optimieren gilt, auszuführen. Cuenca-Fernandez et al. (2018) bestätigen in ihrer Studie, dass die grösste Leistungssteigerung gemessen wurde bei Übereinstimmung der biomechanischen Bewegung und der zu verbessernden Wettkampf- oder Trainingsbewegung. Widerstandsbänder können in Startpositionen in maximalen Kurzzeitbelastungssportarten wie beispielsweise Schwimmen, Sprinten oder Sprüngen einen potenzierten Zustand der Muskeln erzeugen. Die Studie von Iversen et al. (2017) zeigt auf, dass die Intensität beziehungsweise die Muskelaktivität bei der Arbeit mit Widerstandsbändern in gewissen Bewegungsabschnitten nahezu gleich vorhanden ist wie mit Gewichten. Aus diesem Grund kann bei Bedarf auch eine sehr hohe Intensität in der VA mit Widerstandsbändern erzeugt werden. Das gewählte VA-Mittel Widerstandsbänder wird mit seinen genannten Eigenschaften als weitere Stärke der Studie benannt.

4.2.2 Schwächen. Die Referenzsprunghöhenreduktion durch Widerstandsbänder auf 30-50% anzusetzen und in allen drei Voraktivierungsumfängen unverändert zu lassen, war gewagt. Es wurde angenommen, dass bei dieser bekannten Reduktionsformel und in einem der drei Loads die Muskeln der Probanden genügend potenziert würden, um eine verbesserte nachfolgenden Leistung hervorzurufen. Aus diesem Grund kann in der vorliegenden Studie keine evidente Aussage zum Volumen und der Intensität der Voraktivierung gemacht werden, was als grösste Schwäche anerkannt wird. Hierbei gilt es ebenfalls zu erwähnen, dass das 5Set VA-Protokoll bis zu 35 Minuten dauerte, was ein zu grosser zeitlicher Umfang für die Umsetzung in der Realität darstellt.

Um den Voraktivierungsumfang zu minimieren, muss die Voraktivierungsintensität maximiert werden. Damit wäre die Umsetzung in die Praxis wieder realistischer.

Verschiedene Probanden meldeten Motivationsschwierigkeiten während den Messungen. Dies wurde vor allem bei Messtag 3 und 4 deutlich. Die passiven Pausen und die Dauer des gesamten Messprozesses, linderten dessen Attraktivität nach dem ersten Messtag erheblich. Um die Studie nicht zu verfälschen, verhielten sich alle Beteiligten der Datenerhebung neutral gegenüber den Probanden und deren Motivation und Leistung. Die Leistung der Probanden unmittelbar nach der Ausübung ihrer eigenen Motivationsrituale steigerte sich in den meisten Fällen akut, was die Aussage, dass die Probanden nicht mehr fokussiert und möglicherweise unmotiviert waren unterstützt.

Vogler (2021) zeigt in seiner Studie auf, dass im hinteren Teil (Messzeitpunkt 2; 12Min bis 21Min) die Leistung abnahm. Dies kann sowohl mit der physischen wie auch der psychischen Ermüdung begründet werden. Die Kinetik im Messprotokoll wurde aber bewusst so gewählt, dass der körperliche Regenerationsprozess zwischen den Sprüngen vollständig stattfinden konnte. Ebenfalls wurden bei Minute 15 eine durchschnittlich tiefere Sprunghöhe wie bei Minute 21 gemessen. Diese Tendenz bemerkte Vogler (2021) auch im Umfang der 5Set Voraktivierung. Der Faktor Psyche im Zusammenhang mit der sinkenden Motivation stellt somit eine weitere Schwäche der vorliegenden Studie dar.

Waddingham et al. (2019) zeigen in ihrer Studie auf, dass PAP bei einem Elite-Sprintschwimmer in der langen Wartezeit zwischen dem normalen Aufwärmen und dem Wettkampf einen positiven Einfluss haben kann. Die Voraktivierungsmethoden beinhaltete Kniebeugen mit Widerstandsbändern, gesprungene vertikale Kniebeugen mit Gewicht und Niedersprünge. Bei allen Methoden bis auf den gewichteten Sprung wurde eine signifikant verbesserte Leistung gegenüber dem normalen Einwärmen und der ungenutzten, passiven Wartezeit festgestellt. Die

Voraktivierungsmethode mit zwei Widerstandsbändern der Stärke 27.2kg bis 68kg ist der vorliegenden Studie mit Widerstandsbändern der Stärke 7kg bis 12kg und 24kg bis 35kg sehr nahe - bis auf die Komponente Intensität. Es wurden ebenfalls 3x3 Kniebeugen ausgeführt (siehe 3Setgruppe) jedoch nicht gesprungen mit zwei Widerstandsbändern über den Schultern und um den gegenüberliegenden Fuss. Die Satzpause war mit 2 Minuten ebenfalls kongruent. Die Resultate von Waddingham et al. (2019) zeigten mit einer 6.9% Steigerung der maximalen Leistung eine signifikante Verbesserung. Das Volumen und die Kinetik in Teilen des vorliegenden VA-Protokolls sind gleich wie in demjenigen von Waddingham et al. (2019). Die in beiden Studien durch Widerstandsbänder erzeugte Intensität, ist in der vorliegenden Studie viel geringer. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Banddehnung bei der gesprungenen Kniebeuge vertikal im Vergleich zur normalen Kniebeuge grösser ist. Auch dieser Fakt ändert nichts, weil der maximale Widerstand der verwendeten Bänder 35kg beträgt, was immer noch deutlich weniger ist als bei Waddingham et al. (2019). Die grösste Schwäche der vorliegenden Studie, die Intensität im VA-Protokoll, wird dadurch bekräftigt. Waddingham et al. (2019) zeigt weiter auf, dass PAP nicht die maximale Kraft, sondern die RFD positiv beeinflusst, was dessen Einsatz für maximale Kurzzeitbelastungen befürwortet. In seiner Studie wird gezeigt, dass die Mittel für eine VA an Wettkämpfen sehr begrenzt sind und sich deshalb Widerstandsbänder sehr gut eignen. Weiter wird bei Waddingham et al. (2019) die Individualität der Athleten und die unterschiedliche Auswirkung von PAP auf deren Leistung gezeigt. Die genannten Komponenten wurden auch in der vorliegenden Studie als sehr wichtig eingestuft. Das vorliegende VA-Protokoll bedarf weiteren Untersuchungen in welchen ermittelt wird, wie unterschiedliche Intensitäten unter denselben Umständen die Leistung beeinflussen.

4.3 Bedeutung für die Praxis

Das erarbeitete VA-Protokoll und seine Grundstruktur kann ohne Aufwand den biomechanischen Anforderungen der Sportart, dem Umfang und auch der Intensität angepasst werden. Dieser Fakt steigert die Relevanz für den Praxis- und Wettkampfalltag enorm. In maximalen Kurzzeitbelastungen entscheiden Millisekunden über den Sieg. Trainer und Athleten suchen konstant nach Mitteln, welche die Leistungen positiv beeinflussen.

Verbreitete Wettkampf-Warm-Ups wie beispielsweise ballistische Dehnungen, taktiles Klatschen auf Brust und Gliedmassen, Herzkreislaufaktivierung und andere reichen nicht aus, um das volle Leistungspotential auszuschöpfen (Cuenca-Fernandez et al., 2018).

Die Resultate zeigen keine signifikant verbesserte Leistung, trotzdem können Athleten das Voraktivierungsprotokoll mit den Widerstandsbändern und der vorhandenen Kinetik ohne

grossen finanziellen Aufwand ausprobieren. In diesem Prozess können sie individuell mit verschiedenen Intensitäten und Umfängen testen, ob das vorliegende VA-Protokoll einen positiven Einfluss auf ihre Leistung haben könnte. Für den Fall, dass bei keiner gewählten Intensität und keinem Umfang ein signifikanter Unterschied festgestellt werden kann, halten sich finanzielle Einbussen für die Anschaffung von Widerstandsbändern in Grenzen und sind somit vernachlässigbar.

Mit dem Vorbehalt der individuellen Evaluierung der Leistungssteigerung mittels des vorliegenden VA-Protokolls, könnte dieses auch im Trainingsalltag gebrauch finden. Die Voraktivierung würde dann beispielweise vor maximalen Sprints in einem Schnelligkeitstraining oder vor maximalen Kraftübungen in einem Krafttraining durchgeführt werden. Mit der einfachen Umsetzung und den tiefen Kosten, könnten Voraktivierungen mit Widerstandsbändern in ein Training mit einer ganzen Mannschaft integriert werden. Ein zusätzlicher positiver Aspekt der Widerstandsbänder ist, dass diese direkt vor Ort (Feld, Halle, Call-Room, Laufbahn usw.) verwendet werden können.

Die PAP-Thematik, wie auch die vorliegende Studie und das darin erarbeitete VA-Protokoll bedarf in Zukunft weiteren Untersuchungen, um seine Relevanz zu unterstreichen.

4.4 Ausblick

Wie bereits erwähnt, kann das Voraktivierungsprotokoll als Vorlage dienen, um eine mögliche bessere Leistung in einer maximalen Kurzzeitbelastung zu evaluieren. Cuenca-Fernandez et al. (2018) bestätigen die Aussage, dass PAP in Sportarten in welchen Hundertstelsekunden über Sieg oder Niederlage entscheiden von grossem Nutzen ist.

Falls Athleten oder Trainer mit dem vorliegenden VA-Protokoll arbeiten möchten, gilt es, den Hauptfehler der vorliegenden Studie zu vermeiden und in der Evaluierungsphase sowohl den Umfang als auch die Intensität der VA individuell anzupassen, um zu sehen ob eine Leistungssteigerung stattfinden kann. Weiter muss beachtet werden, dass die Ermüdung zu Beginn der kontraktile Anamnese dominanter ist, sich jedoch schneller auflöst als die Potenzierung. Es existiert ein Zeitfenster in welchem eine Leistungssteigerung möglich ist.

Um dieses Zeitfenster zu evaluieren, befasste sich Vogler (2021) in seiner Studie mit der Kinetik des vorliegenden VA-Protokoll. Aus verschiedenen PAP-Studien geht hervor, dass das Zeitfenster für das Post-Aktivierungs-Potenzial nach einer submaximalen Reizapplikation nach einer Ruhephase von acht Minuten am wirksamsten ist (Cuenca-Fernandez et al., 2018).

Diese Empfehlung muss genau wie die Empfehlung der Intensität getestet werden, um zu sehen wie der Athlet als Individuum darauf reagiert.

5 Schlussfolgerung

Bei der Erarbeitung des praktisch umsetzbaren Voraktivierungsprotokolls für Wettkämpfe in Sportarten mit maximalen Kurzzeitbelastungen wurden alle Aspekte der Realisierbarkeit für Trainer und Athleten in der Praxis berücksichtigt. Die Resultate zeigten keine signifikante Leistungssteigerung. Grund dafür kann die genannte Schwäche des VA-Protokolls - die Komponente Intensität - sein. Die in der PAP-Literatur wichtigen Faktoren Individualität, Kinetik, biomechanisch kongruente Voraktivierungsbewegung und wechselnde VA-Umfänge wurden berücksichtigt. Die Komponente Intensität kann durch die VA-Methode mit Widerstandsbändern mit geringem Aufwand angepasst werden. Aus diesem Grund bedarf das vorliegende VA-Protokoll weiteren Untersuchungen.

Literatur

- Abbes, Z., Chamari, K., Mujika, I., Tabben, M., Bibi, W. K., Hussein, M. H.,...Haddad, M. (2018). Do Thirty-Second Post-activation Potentiation Exercises Improve the 50-m Freestyle Sprint Performance in Adolescent Swimmers? *Frontiers in physiology*, 22(9), 1464. doi:10.3389/fphys.2018.01464
- Armstrong, J. S. (2007). Relationships between sleep, physical activity and human health. *Physiology & Behavior*, 90(2-3), 229-235. doi:10.1016/j.physbeh.2006.09.015
- Atkinson, G. & Davenne, D. (2005). A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*, 48(11-14), 1594-1603. doi:10.1080/00140130500101262
- Baudry, S. & Duchateau, J. (2007). Postactivation potentiation in a human muscle: effect on the load-velocity relation of tetanic and voluntary shortening contractions. *Journal of Applied Physiology*, 103(4), 1318-1325. doi:10.1152/jappphysiol.00403.2007
- Ben Abdelkrim, N., Chaouachi, A., Chamari, K., Chtara, M. & Castagna, C. (2010). Positional role and competitive-level differences in elite-level men's basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1356-1355. doi:10.1519/JSC.0b013e3181cf7510.
- Boullosa, A. D., Abreu, L., Beltrame, N. G. L. & Behm, G. D. (2013). The acute effect of different half squat set configurations on jump potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2059-2066. doi:10.1519/JSC.0b013e31827ddf15
- Carlock, M. J., Smith, L. S., Hartman, J. M., Morris, T. R., Ciroslan, A. D., Pierce, C. K.,...Stone, H. M. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 534-539. doi:10.1519/R-13213.1
- Chena Sinovas, M., Pérez-López, A., Álvarez Valverde, I., Bores Cerezal, A., Ramos-Campo, J. D., Rubio-Arras, A. J., Valadés Cerrato, D. (2015). Influence of body composition on vertical jump performance according with the age and the playing position in football players. *Nutricion hospitalaria*, 32(1), 299-307. doi:10.3305/nh.2015.32.1.8876
- Chiu, F. Z. L., Fry, C. A., Weiss, W., L., Schilling, K. B., Brown E. L. & Smith, L. S. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 671-677.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd. edition)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.

- Crum, J. A., Kawamori, N., Stone, H. M. & Haff, G. G. (2012). The Acute Effects of Moderately Loaded Concentric-Only Quarter Squats on Vertical Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 914-925. doi:10.1519/JSC.0b013e318248d79c
- Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., Mourao, L., de Jesus, K., de Jesus, K., Zacca, R.,...Arellano, R. (2018). Eccentric flywheel post-activation potentiation influences swimming start performance kinetics. *Journal of sports sciences*, 37(4), 443-451. doi:10.1080/02640414.2018.1505183
- Cumming, G., Fidler, F., Kalinowski, P. & Lai, J. (2011). The statistical recommendations of the American Psychological Association Publication Manual: Effect sizes, confidence intervals, and meta-analysis. *Australian Journal of Psychology*, 64(3), 138-146. doi:10.1111/j.1742-9536.2011.00037.x
- Czuba, M., Zając, A., Maszczyk, A., Rocznio, R., Poprzęcki, S., Garbaciak, W. & Zając, T. (2013). The effects of high intensity interval training in normobaric hypoxia on aerobic capacity in basketball players. *Journal of Human Kinetics*, 39(1), 103-114. doi:10.2478/hukin-2013-0073
- Docherty, D., Robbins, D. & Hodgson, M. (2004). Complex Training Revisited: A Review of its Current Status as a Viable Training Approach. *Strength and Conditioning Journal*, 26(6), 52-57.
- Geraedts, P. (2018). *Physiotherapeutisches Training bei Rückenschmerzen (1.Auflage)*. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- Glatthorn, F. J., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, M. F. & Maffiuletti, A. N. (2016). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 556-560. doi:10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d
- Gołaś, A., Wilk, M., Stastny, P., Maszczyk, A., Pajerska, K. & Zając, A. (2017). Optimizing Half Squat Postactivation Potential Load in Squat Jump Training for Eliciting Relative Maximal Power in Ski Jumpers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3010-3017. doi:10.1519/JSC.0000000000001917
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics (IAAF)*, 11(4), 67-81.
- Hamada, T., Sale G. D. & Macdougall, J. D. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(2), 403.
- Hodgson, M., Docherty, D. & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying

- physiology and implications for motor performance. *Sports medicine*, 35(7), 585-595. doi:10.2165/00007256-200535070-00004
- Hughes, D. J., Massiah, G. R. & Clarke, D. R. (2016). The Potentiating Effect of an Accentuated Eccentric Load on Countermovement Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3450-3455. doi:10.1519/JSC.0000000000001455
- Iversen, M. V., Mork, J. P., Vasseljen, O., Bergquist, R. & Fimland, S. M. (2017). Multiple-joint exercises using elastic resistance bands vs. conventional resistance-training equipment: A cross-over study. *European Journal of Sports Science*, 17(8), 973-982. doi:10.1080/17461391.2017.1337229
- Levine, R. T. & Hullett, R. C. (2006). Eta Squared, Partial Eta Squared, and Misreporting of Effect Size in Communication Research. *Human Communication Research*, 28(4), 612-625. doi:10.1111/j.1468-2958.2002.tb00828.x
- Loturco, I., D'Angelo, A. R., Fernandes, V., Gil, S., Kobal, R., Cal, A.,...Nakamura, Y. F. (2015). Relationship Between Sprint Ability and Loaded/Unloaded Jump Tests in Elite Sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 758-764. doi:10.1519/JSC.0000000000000660
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N. A. & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6
- Magiera, A., Rocznik, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Kantyka, J. & Kurek, P. (2013). The structure of performance of a sport rock climber. *Journal of Human Kinetics*, 28(36), 107-117. doi:10.2478/hukin-2013-0011
- McLaren, T. (2014). *Repeated post-activation potentiation (PAP) effect on sprint performance* (Unveröffentlichte Dissertation/Masterarbeit). Ithaca College, Ithaca.
- McGowan, J. C., Thompson, G. K., Pyne, B. D., Raglin, S. J. & Rattray, B. (2015). 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. doi:10.1016/j.jsams.2015.04.012
- Rassier, E. D. & McIntosh R. B. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle *Brazilian journal of medical and biological research*, 33(5), 499-508. doi:10.1590/s0100-879x2000000500003
- Sale, G. D. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, 30(3), 138-143. doi:10.1097/00003677-200207000-00008

- Sattler, T., Hadžić, V., Dervišević, E. & Markovic, G. (2015). Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1486-1493. doi:10.1519/JSC.0000000000000781
- Seitz, B. L., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villareal, E. & Haff, G. G. (2014). Increases in Lower-Body Strength Transfer Positively to Sprint Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(12), 1693-1702. doi:10.1007/s40279-014-0227-1
- Slater, V. L. & Hart, M. J. (2017). Muscle Activation Patterns During Different Squat Techniques. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 667-676. doi:10.1519/JSC.0000000000001323
- Stastny, P., Tufano, J. J., Golas, A. & Miroslav, P. (2016). Strengthening the Gluteus Medius Using Various Bodyweight and Resistance Exercises. *Strength and Conditioning Journal*, 38(3), 91-101. doi:10.1519/SSC.0000000000000221
- Till, K., Cogley, S., O'Hara, J., Chapman, C. & Cooke, C. (2013). A longitudinal evaluation of anthropometric and fitness characteristics in junior rugby league players considering playing position and selection level. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), 438-443. doi:10.1016/j.jsams.2012.09.002
- 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. doi:10.2165/00007256-200939020-00004
- Trimble, H. M. & Harp, S. S. (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(6), 933-941. doi:10.1097/00005768-199806000-00024
- Vanezis, A. & Lees, A. (2005). A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*, 48(11-14), 1594-1603. doi:10.1080/00140130500101262
- Vogler, R. (2021). *Leistungskinetik eines praktikablen an der Wettkampfstätte durchführbaren Voraktivierungsprotokolls mit Powerbands für Sportarten mit maximaler Kurzzeitbelastung* (Unveröffentlichte Dissertation/Masterarbeit). Universität Fribourg, Fribourg.
- Waddingham, P. D., Millyard, A., Patterson, D. S. & Hill, J. (2019). Effect of Ballistic Potentiation Protocols on Elite Sprint Swimming: Optimizing Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, doi:10.1519/JSC.00000000000003219
- Wick, D. (2013). *Biomechanik im Sport (3., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.

- Yetter, M. & Moir, L. G. (2008). The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 159-165. doi:10.1519/JSC.0b013e31815f958d
- Zois, J., Bishop, J. D., Ball, K. & Aughey, J. R. (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. doi:10.1016/j.jsams.2011.03.012

Dank

Ich bedanke mich bei Dennis Born für die Unterstützung, die Beantwortung meiner Fragen, die vielen guten Tipps und die einfache Kommunikation bei der Erarbeitung meiner Masterarbeit. Der nächste Dank geht an Reno Vogler mit welchem ich die gesamte Datenerhebung durchgeführt habe und zahlreiche Diskussionen über PAP geführt habe.

Bei meiner Schwester Lea Schneider und meinem Freund Thomas Tschurr bedanke ich mich herzlich für die Unterstützung bei der Erarbeitung der MA-Arbeit.

Abschliessend bedanke ich mich bei allen Personen, welche mich in dieser intensiven Zeit aushalten mussten und mich motivierten.