

**Kurz- und mittelfristige Veränderungen
der Sprungkraftfähigkeit durch eine Wettkampfbelastung
im Kunstturnen der Frauen**

*Eine Studie mit Athletinnen des Schweizerischen National- und
Juniorinnenkaders*

Masterarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Mischa Liesch

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

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
PD Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer
Dr. Christoph Schärer

Magglingen, September 2024

Zusammenfassung

Einleitung: Im Kunstturnen der Frauen sind Parameter der Explosiv- und Reaktivkraft der unteren Extremitäten wichtig für die Leistung. Da beim Kunstturnen nicht nur das Ergebnis, sondern die gesamte Ausführung der Leistung bewertet wird und die Vorgaben durch die Reglemente so umfassend und anspruchsvoll sind, stellt Kunstturnen im Training und Wettkampf komplexe Anforderungen an die Turnerinnen. Das Ziel dieser Arbeit war es, die Veränderung der Sprungkraftfähigkeit nach einer Wettkampfbelastung bei Elite- und Junioren-Kunstturnerinnen zu untersuchen.

Methode: 15 Kunstturnerinnen (Alter: 16.67 ± 3.62 Jahre) nahmen an zwei Datenerhebungen teil. Fünf Elite- und zehn Junioren-Turnerinnen absolvierten eine Wettkampfbelastung. Währenddessen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten (vor Wettkampfbelastung / nach Übung am Balken, Boden und Pferdsprung / nach Wettkampfbelastung) Messungen der Explosiv- und Reaktivkraft durchgeführt, um die kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit zu untersuchen. 24 Stunden vorher wurden Baseline-Messungen und 24 Stunden nachher erneute Messungen zur Untersuchung der mittelfristigen Veränderung durchgeführt. Bei der Datenerhebung der Juniorinnen wurden zusätzlich subjektive Befragungen zum Belastungsempfinden nach den Übungen und zum Erholungszustand an den Messtagen durchgeführt.

Resultate: Es konnte keine signifikante kurzfristige Reduktion der Explosiv- & Reaktivkraft festgestellt werden. Die Werte nach den Wettkampfübungen waren sogar tendenziell höher als vor der Wettkampfbelastung. Die Reaktivkraft war 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung signifikant vermindert. Zwischen der Veränderung der Sprungkraftfähigkeit und der subjektiven Ermüdung konnte kein Zusammenhang festgestellt werden ($r < 0.42$; $p > 0.24$).

Diskussion und Schlussfolgerung: Die signifikante Reduktion der Reaktivkraft 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung weist auf mittelfristige neuromuskuläre Ermüdung hin. Dieses Ergebnis zeigt, dass nach intensiven Wettkampfbelastungen ausreichende Ruhe- und Erholungszeiten eingeplant und regenerative Massnahmen integriert werden sollen, um die Leistung zu erhalten und Verletzungen vorzubeugen. Die ausbleibende kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit könnte auf Aktivierungseffekte wie den Post-Activation-Potential (PAP) -Effekt zurückgeführt werden. Ein intensiveres Aufwärmprogramm mit maximalen Sprüngen und Übungen zur Auslösung von PAP-Effekten könnte hilfreich sein, um die neuromuskuläre Aktivierung und die Leistung in Wettkampfsituationen zu optimieren.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
1.1 Die Sportart Kunstturnen	4
1.2 Wettkampf im Kunstturnen	5
1.3 Die Wettkampfgeräte	7
1.4 Leistungskomponente Kraft	13
1.5 Physische Voraussetzungen beim Kunstturnen der Frauen	14
1.6 Neuromuskuläre Ermüdung	15
1.7 Untersuchungen zur neuromuskulären Ermüdung im Kunstturnen	16
1.8 Ziel und konkrete Fragestellungen	17
2 Methode.....	18
2.1 Untersuchungsgruppe.....	18
2.2 Studiendesign	18
2.3 Instrumente.....	20
2.4 Datenerhebung	21
2.5 Statistik.....	21
3 Resultate	23
3.1 Übersicht Veränderung der Sprungkraftfähigkeit	23
3.2 Kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit	25
3.3 Mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit	26
3.4 Subjektive Ermüdung	30
3.5 Korrelation Veränderung Sprungkraftfähigkeit & subjektives Belastungsempfinden ..	32
4 Diskussion	33
4.1 Kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit	33
4.2 Mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit	34
4.3 Subjektive Ermüdung	35
4.4 Korrelation zwischen Veränderung Sprungkraftfähigkeit und subjektiver Ermüdung..	36
4.5 Limitationen und Stärken der Untersuchung.....	38
4.6 Praktische Konsequenzen.....	38
5 Schlussfolgerung	40
Literatur	41
Anhang	46

1 Einleitung

1.1 Die Sportart Kunstturnen

Kunstturnen gehört zu den technisch-kompositorischen Sportarten, bei welcher die Leistung anhand festgelegter Faktoren bewertet wird. Dies bedeutet, dass beim Kunstturnen die ästhetische und technische Ausführung der Bewegungen zentral ist und das Gesamtergebnis vor allem anhand der Qualität der Umsetzung, der Ausdruckskraft und der Präzision der gezeigten Bewegungsabläufe sowie der Schwierigkeit gemessen wird. Dies macht das Kunstturnen zu einer attraktiven Sportart mit einer sehr umfangreichen Bewegungsvielfalt, wo immer schwierigere Elemente bis hin zu dreifachen Salti (Breitenachsrendrehungen) oder vierfachen Schrauben (Längsachsrendrehungen) im Wettkampf gezeigt werden (Heinen et al., 2019). Die festgelegten, wertungsbestimmenden Faktoren werden von der Fédération de Gymnastique (FIG) im Code de Pointage (CoP) (FIG, 2022) definiert, welcher die Rahmenbedingungen der Sportart sowie der Wettkämpfe festlegt. Im Kunstturnen der Frauen wird an den vier Geräten Pferdsprung, Stufenbarren, Schwebebalken und Boden eine Übung präsentiert, welche nach Schwierigkeit und Ausführung bewertet wird (Maier et al., 2016).

Im aktuellen Bewertungssystem setzt sich die Endnote aus der Summe des Schwierigkeitswerts (D-Wert) und des Ausführungswerts (E-Wert) zusammen. Beim D-Wert werden die gezeigten Elemente der Übungen nach ihrem jeweiligen Einstufungswert addiert. Die Elemente werden nach ihrer Schwierigkeit eingestuft, wobei der Wert eines Elements von 0.1 Punkten für ein A-Element (z. B. Salto rückwärts) bis zu 1.0 Punkten für ein J-Element (z. B. Doppelsalto rückwärts mit 3 Schrauben) betragen kann. Weiter können zusätzliche Punkte für Kompositionsanforderungen (gerätespezifische Anforderungen der Übungszusammenstellung => bis zu 2.0 Punkten), Verbindungen (Verbindung von zwei oder mehreren schwierigen Elementen => gerätespezifisch je +0.1 oder +0.2 Punkte) oder einen Abgangsbonus (letztes Element der Wettkampfübung D-Element oder schwieriger => + 0.2 Punkte) erzielt werden. An den Geräten Stufenbarren, Balken und Boden fließen die acht schwierigsten Elemente in den D-Wert ein. Anders wird der D-Wert am Pferdsprung bestimmt, wo das geturnte Element anhand einer Tabelle aus dem CoP einen D-Wert erhält (FIG, 2022).

Der E-Wert startet bei 10.00 Punkten. Jedes Element ist im CoP definiert, und jede mögliche Abweichung von der perfekten Darbietung ist dort festgehalten und wird vom Kampfgericht mit E-Abzügen bestraft. Abzüge können für die Ausführung (Technik, Haltung) und die künstlerische Darstellung vergeben werden. Es werden kleine Fehler (0.1 Punkte Abzug), mittlere

Fehler (0.3 Punkte Abzug), grosse Fehler (0.5 Punkte Abzug) sowie sehr grosse Fehler (1.0 Punkte oder mehr) unterschieden und vom Kampfgericht taxiert (FIG, 2022).

Das Kampfgericht an den Geräten besteht an Weltmeisterschaften und olympischen Spielen aus neun und an anderen internationalen Turnieren aus sechs Kampfrichterinnen. Im Kampfgericht sind jeweils zwei Kampfrichterinnen für den D-Wert verantwortlich, während die anderen Kampfrichterinnen den E-Wert bestimmen. Das D-Kampfgericht trägt die Verantwortung über den ordnungsgemässen Ablauf am Gerät. Es erfasst den Inhalt der Übung und identifiziert die gezeigten Elemente sowie Kompositionsanforderungen, Verbindungswerte und gerätespezifischen Boni und legt so die D-Note fest. Das E-Kampfgericht hat die Aufgabe, die Übung genau zu beobachten und die entsprechenden Abzüge unvoreingenommen und ohne Rücksprache mit den anderen Kampfrichterinnen vorzunehmen. Zur Unterstützung stehen dem Kampfgericht zwei Linienrichterinnen am Boden, eine Linienrichterin am Pferdsprung, eine Zeitnehmerin am Boden, eine Zeitnehmerin am Stufenbarren und zwei Zeitnehmerinnen am Schwebebalken zur Seite. Bei kleineren Wettkämpfen (national, regional) sind abweichende Regelungen wie vier Kampfrichterinnen oder das Übernehmen des Zeitnehmers möglich und üblich (FIG, 2022).

1.2 Wettkampf im Kunstturnen

Ein Wettkampf im Kunstturnen der Frauen, auch als Mehrkampf bezeichnet, besteht aus je einer Übung an den vier Geräten. In der olympischen Reihenfolge sind dies die Geräte Pferdsprung, Stufenbarren, Schwebebalken und Boden (FIG, 2022). Je nach Wettkampf kann es einen Qualifikationswettkampf, wo man sich für Mehrkampf-, Mannschafts- oder Gerätefinale qualifizieren kann. Für die Qualifikation für das Mehrkampffinale muss eine Übung an jedem Gerät präsentiert werden. Im Mannschaftswettkampf turnt eine bestimmte Anzahl Turnerinnen pro Gerät. Es muss nicht jede Turnerin jedes Gerät absolvieren. Für die Qualifikation für ein Gerätefinale kann an nur einem Gerät eine Übung geturnt werden. Die Ausnahme ist der Pferdsprung, wo im Gegensatz zum Mehrkampf zwei Sprünge für die Qualifikation zum Gerätefinale gezeigt werden müssen (FIG, 2022).

Bei einem internationalen Wettkampf findet das Einwärmen meist in einer separaten Einturnhalle statt, wo die Athletinnen ein allgemeines Aufwärmprogramm absolvieren, bevor sie sich an den Geräten spezifisch auf den Wettkampf vorbereiten. In der Einturnhalle stehen die gleichen Geräte wie in der Wettkampfhalle bereit. Nach dem Einmarsch in die Wettkampfhalle haben die Turnerinnen das Recht sich vor ihrer Übung am jeweiligen Gerät einzuturnen, bevor sie dort ihre Wettkampfübung präsentieren. Insgesamt dauert ein Wettkampf um die zwei Stunden. In dieser Zeit sind die Turnerinnen für ihre Übungen sowie für das Einturnen am Gerät.

Dazwischen haben sie aber immer wieder längere Pausen. In diesen Pausen können sich die Turnerinnen erholen, müssen sich aber auch physisch und psychisch auf die Übung vorbereiten. Für das Einturnen haben die Turnerinnen am Schwebebalken und am Boden jeweils 30 Sekunden Zeit. Am Stufenbarren beträgt die Einturnzeit 50 Sekunden, einschliesslich der Vorbereitung der Holme für einen besseren Griff. Am Pferdsprung stehen zwei oder drei Sprünge (drei Sprünge für Qualifikation fürs Gerätefinale und Gerätefinale) zur Verfügung. Ein Gong oder ein ähnliches akustisches Signal kennzeichnet das Ende der Einturnzeit am Gerät. Ist zu diesem Zeitpunkt eine Turnerin noch am Gerät, ist es ihr erlaubt, das Element oder die Sequenz noch zu Ende zu turnen. Das Einturnen an den Wettkampfgeräten erlaubt es den Turnerinnen, sich an die Verhältnisse in der Wettkampfhalle zu gewöhnen. An grossen Wettkämpfen wie Weltmeisterschaften oder olympischen Spielen stehen die Geräte in grossen Hallen auf einem erhöhten Podest. Dies unterscheidet sich stark von den Verhältnissen in den Einturnhallen oder Trainingshallen und deshalb ist das kurze Einturnen wichtig, damit sich die Turnerinnen auf die Verhältnisse einstellen können.

Bevor die Turnerin ihre Übung am Gerät beginnt, muss sie sich beim Kampfgericht durch Handheben vorstellen und anmelden. Wenn sie das entsprechende Startsignal des Kampfgerichts erhält oder das grüne Licht aufleuchtet (bei offiziellen FIG-Wettkämpfen wie Weltmeisterschaften oder olympischen Spielen), hat sie 30 Sekunden Zeit, um mit der Übung zu starten. Falls die Turnerin während ihrer Übung stürzt und das Gerät verlassen muss, muss sie die Übung 30 Sekunden nach dem Sturz am Stufenbarren und bereits 10 Sekunden nach dem Sturz am Schwebebalken wieder am Gerät fortsetzen. Die Zeitnahme beginnt, wenn die Turnerin wieder auf den Füßen steht, damit man sich vergewissern kann, dass alles in Ordnung ist und die Turnerin nicht verletzt hat. Die Zeit bis zur Wiederaufnahme der Übung kann genutzt werden, um wieder Magnesia aufzutragen, sich mit dem Betreuenden zu besprechen und sich zu erholen. Zum Ende der Übung muss sich die Turnerin erneut durch Handheben beim Kampfgericht abmelden und so zeigen, dass die Übung beendet ist und nun die Bewertung erfolgen kann (FIG, 2022).

Die Turnerinnen tragen während ihren Übungen enganliegende Turnanzüge. Es ist für sie aber auch erlaubt einen durchgehenden Gymnastikanzug mit langen von der Hüfte bis zu den Knöcheln reichenden Beinen oder zusätzlich eine lange Hose in der gleichen Farbe des kurzen Turnanzuges darüber zu tragen. Die Kleidung soll die technische Ausführung für das Kampfgericht gut erkennbar machen. An den Geräten dürfen ausserdem Handschützer (für Stufenbarren), Körperbandagen oder Handgelenksbandagen getragen werden, so lange sie den ästhetischen Gesamteindruck der Darbietung nicht beeinträchtigen (FIG, 2022).

1.3 Die Wettkampfgeräte

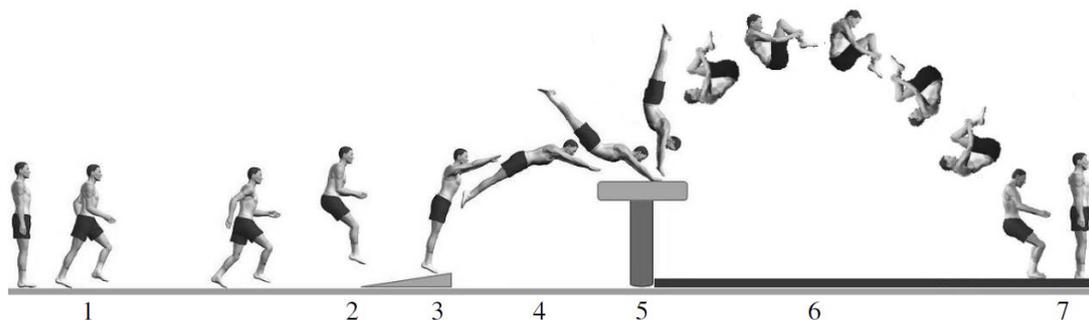
Die Belastungen an den verschiedenen Geräten unterscheiden sich stark, was für die Untersuchungen zur Wettkampfbelastung der Turnerinnen von besonderem Interesse ist.

1.3.1 Pferdsprung

Der Pferdsprung ist das Gerät, an welchem eine Übung bzw. ein Sprung mit ca. 5 Sekunden deutlich kürzer dauert als an allen anderen Geräten. Ein Sprung kann in sieben Phasen unterteilt werden (Abbildung 1): Anlauf, Absprung auf das Sprungbrett (Einsprung), Absprung vom Sprungbrett, erste Flugphase, Stützphase / Abdruck vom Sprungtisch, zweite Flugphase und Landung (Atiković & Smajlović, 2011). Bewertet werden vom E-Kampfgericht die Phasen erste Flugphase, Abdruck, zweite Flugphase und Landung. Zusätzlich zu den Ausführungsabzügen werden weitere gerätespezifische, technische Abzüge berücksichtigt. Bei der Landung können zusätzlich Abzüge vergeben werden, wenn die Turnerin die eingezeichnete Landezone auf der Landematte mit einem oder mehreren Körperteilen verlässt.

Abbildung 1

Die sieben Phasen eines Sprungs



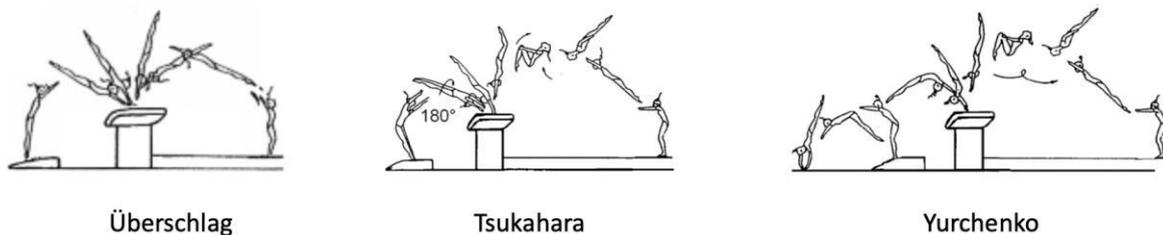
Anmerkung. Darstellung der Unterteilung eines Sprungs in die sieben Phasen (Atiković & Smajlović, 2011, S.3)

Jeder Sprung hat einen vorbestimmten D-Wert im CoP (FIG, 2022), welcher vor allem von der Anzahl Drehungen (Salti & Schrauben) in der ersten und zweiten Flugphase beeinflusst wird (Atiković & Smajlović, 2011). Im CoP sind neben dem D-Wert der einzelnen Sprünge weitere Regularien festgelegt. Der Anlauf ist auf maximal 25 Meter eingeschränkt. Die Sprünge sind in fünf Sprunggruppen unterteilt: Gruppe 1 - Sprünge ohne Saltos mit oder ohne Längsachsenrotation (LAD) in der 1. und/oder 2. Flugphase; Gruppe 2 - Überschlag vorwärts – Salto vor- oder rückwärts; Gruppe 3 - Überschlag mit $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ Drehung (90° – 180°) in der 1. Flugphase

(Tsukahara) – Salto rückwärts; Gruppe 4 - Sprünge aus dem Rondat (Yurchenko) – Salto rückwärts; Gruppe 5 - Sprünge aus dem Rondat mit $\frac{1}{2}$ Drehung (180°) in der 1. Flugphase – Salto vorwärts oder rückwärts. Diese Unterscheidung in die fünf Sprunggruppen ist für Qualifikation für das Gerätefinale entscheidend, da die zwei dort und im Gerätefinale gezeigten Sprünge aus zwei verschiedenen Gruppen stammen müssen. Die häufigsten Sprünge sind Yurchenko, Überschlag oder Tsukahara-Sprünge (Abbildung 2) (Schärer, Lehmann et al., 2019).

Abbildung 2

Die drei häufigsten Sprunggruppen am Pferdsprung



Anmerkung. Die häufigsten Sprunggruppen im Kunstturnen der Frauen und der Männer (Schärer, Lehmann et al., 2019). Abbildungen wurden übernommen von FIG (2022, S. 75, 83, 85).

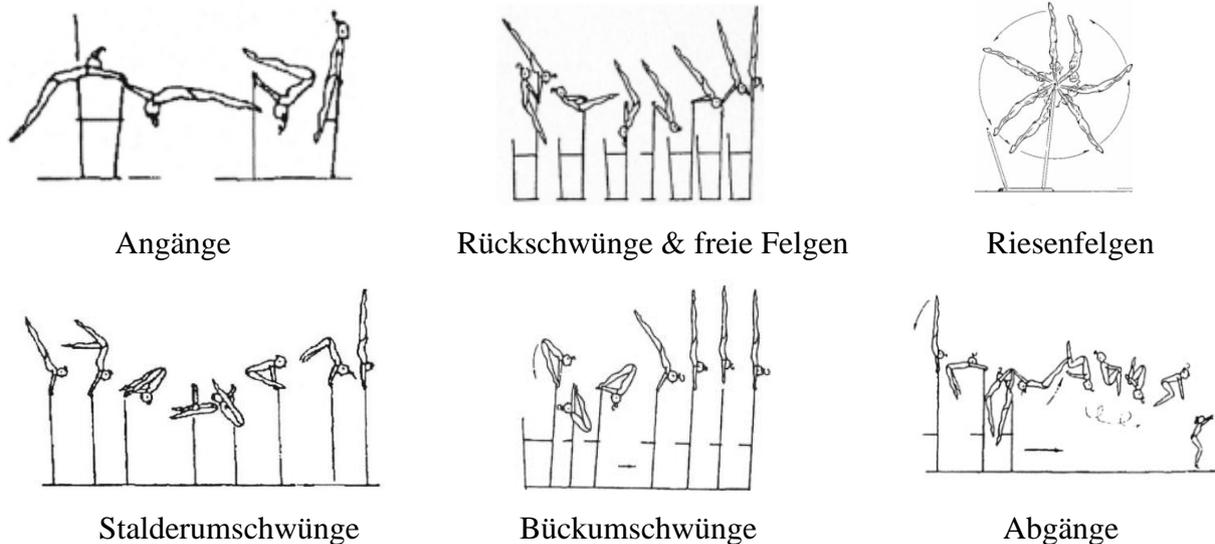
1.3.2 Stufenbarren

Übungen am Stufenbarren dauern durchschnittlich zwischen 30 und 35 Sekunden (Naundorf & Seemann-Sinn, 2022) und bestehen aus verschiedenen Elementen, welche in die Elementgruppen Angänge, Rückschwünge & freie Felgen, Riesenfelgen, Stalderumschwünge, Bückumschwünge und Abgänge eingeteilt werden (Abbildung 3) (FIG, 2022).

Die maximal acht schwierigsten Elemente einschliesslich des Abgangs fliessen in die Berechnung des D-Wert ein. Die Elemente haben am Stufenbarren einen Wert von bis zu 0.7 Punkte (G-Element). Weiter können zusätzliche Punkte für Kompositionsanforderungen und Verbindungen von mehreren Elementen direkt hintereinander erzielt werden. Bei der Komposition gibt es je 0.5 Punkte für Flugelemente (Elemente mit klar sichtbarer Flugphase, wo kein Griff am Barren erfolgt) vom unteren zum oberen Holmen, für Flugelemente am gleichen Holmen, für unterschiedliche Griffe und für ein Nicht-Flugelement mit 360° Längsachsendrehung. Verbindungen können für zwei miteinander verbundene Elemente vergeben werden (FIG, 2022). Verbindungswerte von 0.1 oder 0.2 Punkten können für zwei direkt verbundene D-Elemente oder spezifische Verbindungen mit Flugelementen erzielt werden (FIG, 2022, S.57).

Abbildung 3

Die Elementgruppen am Stufenbarren



Anmerkung. Die sechs Elementgruppen am Stufenbarren mit Beispiелеlementen. Abbildungen wurden übernommen von FIG (2022, S. 93, 104, 107, 117, 128, 135).

Die Übungen am Stufenbarren entwickeln sich so, dass die Anzahl insgesamt geturnter Elemente eher abnimmt und gleichzeitig versucht wird, so viele Elemente wie möglich zu verbinden. Durch die Verbindungen kann der Schwierigkeitswert gesteigert werden und es sind nicht mehr so viele einfache Zwischenelemente nötig, womit dem E-Kampfgericht weniger Möglichkeiten für Abzüge in der Ausführung und Technik gegeben werden (Kalinski et al., 2020).

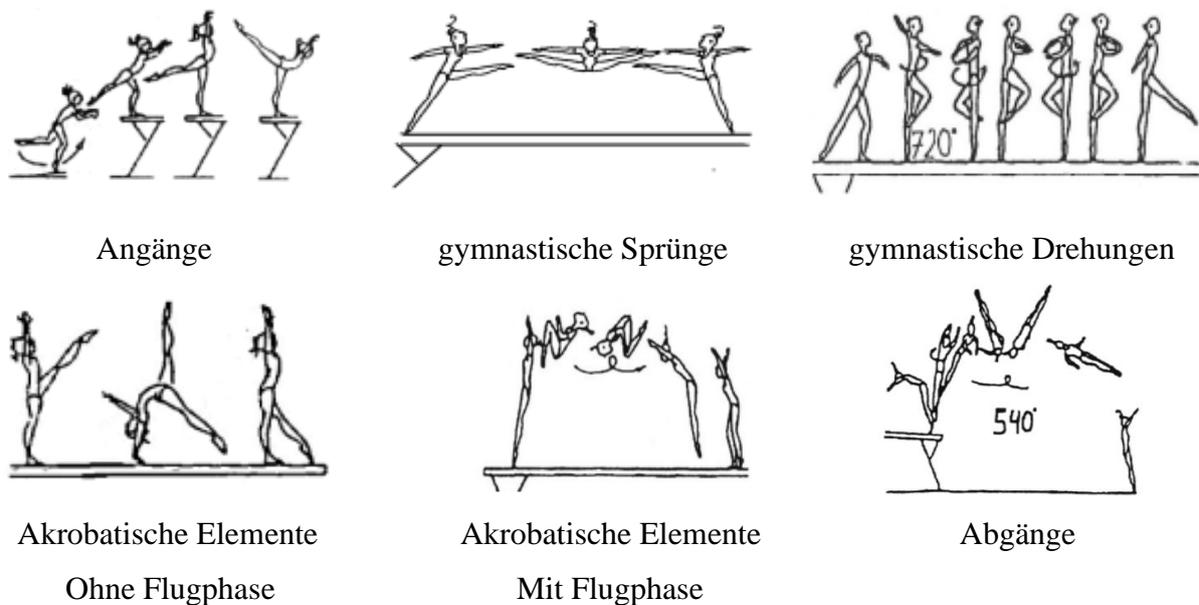
1.3.3 Schwebebalken

Die Übung am Schwebebalken, auch Balken, dauert durchschnittlich 85 Sekunden (Seemann-Sinn et al., 2021). Eine länger als 90 Sekunden dauernde Übung wird mit einem Abzug taxiert wird (FIG, 2022), was die durchschnittlich Übungslänge erklärt. Eine Balkenübung besteht aus akrobatischen und gymnastischen Elementen. Vom aus den acht schwierigsten Elementen zusammengesetzten D-Wert müssen je drei akrobatische und gymnastische Elemente in die Bewertung einfließen. Die weiteren zwei zählenden Elemente dürfen frei gewählt werden. Die Darbietung am Balken soll eine Ausgewogenheit aus den akrobatischen und gymnastischen Elementen sowie einer Choreographie enthalten, welche ein geschlossenes Ganzes entstehen

lässt. Eine vielfältig aufgebaute Übung umfasst eine reiche Auswahl an Elementen unterschiedlicher Struktur, Wechsel der Ebene (oben / unten => stehend / balkennah (Teil des Rumpfs berührt den Balken)), Wechsel der Richtung (vorwärts, rückwärts, seitwärts), Wechsel von Rhythmus / Tempo sowie kreative Bewegungen / Übergänge. Die Übung soll keine unnötigen Pausen oder lang andauernde Vorbereitung auf Elemente enthalten. Die Turnerin soll ihren persönlichen Stil, Kreativität und Selbstvertrauen in ihrer Darbietung zeigen. Dies wird unter dem Gesichtspunkt der künstlerischen Darstellung vom E-Kampfgericht bewertet (FIG, 2022). Die Elemente (bis H-Element) am Balken werden in die Elementgruppen Angänge, gymnastische Sprünge, gymnastische Drehungen, Halten / akrobatische Elemente ohne Flugphase, akrobatische Elemente mit Flugphase und Abgänge unterteilt (Abbildung 4).

Abbildung 4

Die Elementengruppen am Schwebebalken



Anmerkung. Die sechs Elementengruppen am Schwebebalken mit Beispiелеlementen. Abbildungen wurden übernommen von FIG (2022, S.141, 164, 170, 180, 191, 196).

Neben dem D-Wert der acht schwersten Elemente können auch am Balken Punkte für Kompositionsanforderungen und Verbindungen sowie auch Serienboni gesammelt werden. Je 0.5 Punkte in der Komposition gibt es für eine Verbindung von mindestens 2 unterschiedlichen gymnastischen Elementen, von denen eines ein Sprung mit 180° Spreizwinkel (Quer- oder Seitspagat) sein muss, für eine Drehung oder Rolle / Schere, für eine akrobatische Verbindung

aus mindestens 2 Flugelementen (mindestens ein Salto) und für akrobatische Elemente in unterschiedliche Richtungen (vorwärts, rückwärts, seitwärts). Für die Verbindung zweier akrobatischer Elemente (C + C, B + D, C + D, B + D oder schwieriger) gibt es einen Verbindungswert von weiteren 0.1 oder 0.2 Punkte und für Serien von drei Elementen gibt es noch einmal zusätzlich 0.1 Punkte (FIG, 2022).

Akrobatische Elemente, besonders Abgänge, sind wegen der speziellen Beschaffenheit des Balkens sehr anspruchsvoll. Der 5 Meter lange, 10 Zentimeter breite und 1.25 Meter hohe Balken limitiert die Turnerinnen beim Anlauf (kürzerer Anlauf als am Boden) und beim Absprung (härtere Oberfläche, wegen der Breite müssen die Füße hintereinander gesetzt werden). Die Anforderungen an das Gleichgewicht sind hoch. Deswegen haben die Turnerinnen weniger kinetische und horizontale Energie und können bei den akrobatischen Elementen weniger hoch springen (McLaughlin et al., 1995).

1.3.4 Boden

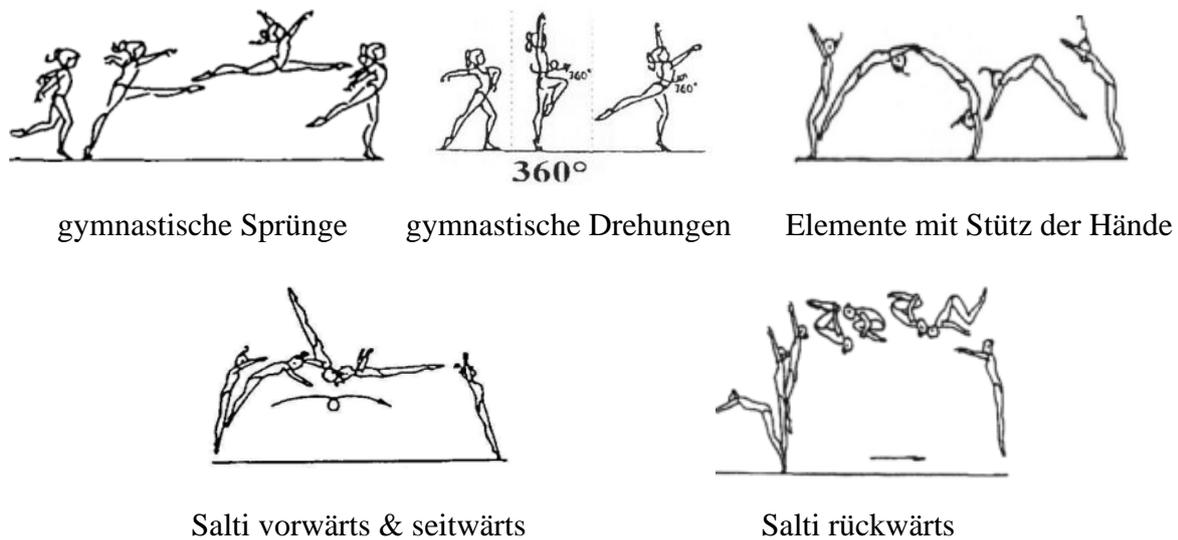
Die Übung am Boden wird auf einer 12 x 12 Meter grossen, gefederten Bodenfläche präsentiert. Die durchschnittliche Übungsdauer ist mit 89 Sekunden (Seemann-Sinn et al., 2021) nahe an den maximal erlaubten 90 Sekunden (FIG, 2022). Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Übung am Boden als Choreographie zu Musik gezeigt wird und deshalb die Zeitdauer so ausgelegt werden kann, um die Zeit optimal zur Ausführung von möglichst vielen schwierigen Elementen sowie zur künstlerischen Darbietung zu nutzen. Es ist das Ziel der Turnerin, eine ausgewogene Choreographie zu kreieren, wo die Körperbewegungen und der Ausdruck harmonisch mit dem Thema und dem Charakter der Musik zusammenspielt und gleichzeitig eine perfekte Technik demonstriert wird. Die Gestaltung der Übung hat dieselben Vorgaben wie am Balken mit vielfältiger Elementauswahl, kreativen Bewegungen sowie Wechsel von Ebene, Richtung, Rhythmus und Tempo. Ausserdem muss eine direkte Beziehung zwischen der Musik und den ausgeführten Bewegungen bestehen und die Turnerin zeigt die Fähigkeit, ihr Auftreten der Musik anzupassen (FIG, 2022).

Weitere reglementarische Vorgaben betreffen die Linienmarkierungen, den Inhalt der Übung sowie die Kompositionsanforderungen & Verbindungswerte. Das Verlassen der 12 x 12 Meter grossen Bodenfläche wird mit einem Abzug von 0.1 oder 0.3 Punkten taxiert. Punkte sammeln können die Turnerinnen mit den acht schwierigsten Elementen, wovon drei akrobatische und drei gymnastische Verbindungen sein müssen und die zwei weiteren Elemente frei wählbar sind. Je weitere 0.5 Punkte erhält eine Turnerin für das Erfüllen von Kompositionsanforderun-

gen. Diese vier Anforderungen sind eine tänzerische Passage aus zwei unterschiedlichen Sprüngen (einer mit 180 Grad Spreizwinkel), ein Salto mit mindestens 360 Grad Längsachsendrehung, ein doppelter Salto und ein Salto vorwärts und rückwärts in der gleichen akrobatischen Bahn (FIG, 2022). Verbindungswerte (+0.1 oder +0.2 Punkte) können für verschiedene indirekte oder direkte Verbindungen erzielt werden. Die genauen Vorgaben dazu sind im CoP (FIG, 2022, S.69) geregelt. Die acht zählenden Elemente (bis J-Element) am Boden werden in die Elementgruppen gymnastische Sprünge, gymnastische Drehungen, Elemente mit Stütz der Hände, Salti vorwärts und seitwärts sowie Salti rückwärts unterteilt (Abbildung 5) (FIG, 2022).

Abbildung 5

Die Elementengruppen am Boden



Anmerkung. Die sechs Elementgruppen am Boden mit Beispiелеlementen. Abbildungen wurden übernommen von FIG (2022, S.202, 213, 222, 224, 228).

Am Boden verwenden die Turnerinnen mehr Zeit für die Choreographie und das Zusammenspiel mit der Musik und müssen während ihrer Übung eine grosse Fläche ausnützen und ausfüllen (De Oliveira, De Queiroz Lima & Costa, 2022). Gleichzeitig ist die Schwierigkeit der Elemente ist seit der Einführung der neuen Bodenfläche mit Federn deutlich gestiegen. Die grössere Federenergie ermöglicht eine grössere Sprunghöhe und damit die Möglichkeit mehr Drehungen um die jeweilige Achse und somit schwierigere Elemente zu zeigen. Durch das Zurückfedern erschwert sich aber die Landung (Naundorf et al., 2017).

1.4 Leistungskomponente Kraft

Jede Sporttechnik ist an spezifische Kraftfähigkeiten gebunden, wobei sich je nach motorischer Fertigkeit verschiedene Erscheinungsformen der Kraft unterscheiden lassen (Güllich & Krieger, 2013). Für die Trainingspraxis sind die bedeutsamsten Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer. Dabei bildet die Maximalkraft die Basisfähigkeit für die Schnellkraft und Kraftausdauer, das heisst dass das Ausprägungsniveau der Schnellkraft oder der Kraftausdauer unter anderem von der Maximalkraft abhängig ist und eine Verbesserung der Maximalkraft in der Regel auch höhere Leistungen in der Schnellkraft und Kraftausdauer auslöst (Güllich & Schmidtblecher, 1999).

Als Maximalkraft wird die höchstmögliche Kraft bezeichnet, welche das Nerv-Muskel-System willkürlich gegen einen Widerstand ausüben kann (Güllich & Krieger, 2013). Als Schnellkraft wird die neurotendomuskuläre Fähigkeit bezeichnet, einen möglichst grossen Kraftimpuls in kurzer Zeit zu generieren. Die Explosivkraft ist ein Teil der Schnellkraft und ist definiert als die maximale Kraftentwicklungsrate oder die Fähigkeit einen möglichst steilen Kraftanstieg zu erzeugen (Güllich & Schmidtblecher, 1999; Güllich & Krieger, 2013). Mit Hilfe der Explosivkraft sollen Widerstände mit möglichst hoher Geschwindigkeit überwunden werden und oder Gegenstände oder der eigene Körper beschleunigt werden (Hegner, 2015). Die Reaktivkraft wird ebenfalls der Schnellkraft zugeordnet, wird aber aufgrund der hohen Bedeutung und der Besonderheiten von Muskelkontraktionen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) als eigene Erscheinungsform angesehen. Sie bezeichnet die neurotendomuskuläre Fähigkeit, einen möglichst hohen Kraftimpuls innerhalb eines kurzen DVZ (<180ms), einer Kombination aus exzentrischer und konzentrischer Muskularbeit, zu erzeugen. Bestimmende Faktoren für die Reaktivkraft sind unter anderem die Explosivkraft, die Voraktivierung der Muskulatur, der Dehnreflex sowie die reaktive Spannungsfähigkeit des tendomuskulären Systems (Güllich & Krieger, 2013). Als Kraftausdauer wird die Fähigkeit definiert, hohe Anteile der Maximal- oder Schnellkraft möglichst lange zu widerstehen (Güllich & Krieger, 2013).

Im Kunstturnen konzentriert sich die Auseinandersetzung mit der Kraftfähigkeit hauptsächlich auf die Explosiv- und Reaktivkraftparameter. Verschiedene vertikale Sprünge wie der Countermovement Jump (CMJ) können zur Messung der Explosivkraft genutzt werden. Die Dauer der Ausholbewegung dauert zwischen 250 und 400 Millisekunden und entspricht somit dem langen DVZ. Die Diagnostik der Reaktivkraft wird mittels Drop Jumps (DJ) durchgeführt. Der Bodenkontakt sollte weniger als 180 Millisekunden betragen, damit der Sprung der Reaktivkraft zugeordnet werden kann. Im Kunstturnen haben die Turnerinnen an den Geräten Bodenkontaktzeiten von ca. 160 Millisekunden (Maier et al., 2016).

1.5 Physische Voraussetzungen beim Kunstturnen der Frauen

Das Kunstturnen kennzeichnet sich durch das Auftreten hoher Kräfte an den verschiedenen Geräten (Pferdsprung, Stufenbarren, Balken, Boden). Bei den Landungen am Ende der Übungen sind die unteren Extremitäten so hoch belastet wie in fast keiner anderen Sportart. Trotz dieser Kräfte ist es das Ziel, diese Bewegungen elegant und flüssig auszuführen und dabei möglichst souverän und unangestrengt zu wirken (Mathelitsch & Thaller, 2013).

Die Anforderungen führen zu grossen Trainingsumfängen bis zu 30 Stunden pro Woche (Maier et al., 2016). Turnen ist eine Sportart, die aufgrund des hohen Trainingsaufwandes, der umfangreichen Bewegungsformen und der allgemeinen Anforderungen ein hohes Verletzungsrisiko birgt. Vor allem die unteren Extremitäten sind im Kunstturnen der Frauen gefährdet, hauptsächlich durch die wiederkehrenden, hohen Belastungen bei Landungen oder bei Stürzen vom oder am Gerät (Overlin et al., 2011).

Jedes Gerät verfügt über ein spezifisches Anforderungsprofil. Am Stufenbarren ist die Schnellkraftfähigkeit im Arm-Rumpf-Winkel und im Mittelkörper relevant für die Leistung (Maier et al., 2016). Beim Boden und Pferdsprung sowie am Balken und somit bei der Mehrheit der Geräte im Frauenkunstturnen sind Parameter der Explosivkraft der unteren Extremitäten leistungsrelevante Kenngrössen, um grössere Sprung- bzw. Flughöhen zu erreichen (Koperski et al. 2010; Mcneal et al. 2007; Naundorf et al., 2008; Schärer, 2012).

Beim Pferdsprung haben Untersuchungen gezeigt, dass eine möglichst hohe Anlaufgeschwindigkeit förderlich ist (Schärer, Lehmann et al., 2019). Da die Anlaufgeschwindigkeit zu 55% von der Leistung im CMJ erklärt wird (Schärer, Haller et al., 2019), kann darauf geschlossen werden, dass die Explosivkraft die Anlaufgeschwindigkeit stark beeinflusst. Um die Energie aus dem Anlauf in Sprunghöhe umzusetzen, ist ein hohes Niveau der Reaktivkraft entscheidend, da bis zu 92% der Sprunghöhe in der 2. Flugphase durch das Reaktivkraftniveau erklärt werden kann (Schärer et al., 2021).

Beim Balken konnte ebenfalls ein hoher Zusammenhang zwischen der Reaktivkraft und der Treibhöhe im Salto vorwärts gehockt festgestellt werden (Schärer et al., 2021). Es besteht auch eine Korrelation zur Explosivkraft, welche tiefer ist, als die Korrelation zur Reaktivkraft. Die höhere Korrelation mit der Reaktivkraft kann möglicherweise mit der härteren Oberfläche des Balkens und einer deswegen kürzeren Bodenkontaktzeit begründet werden (Arampatzis et al., 2004; Reinhart, 2021).

Am Boden fand Schärer (2012) einen mittleren signifikanten Zusammenhang zwischen den Explosivkraftparametern und der Flughöhe beim Salto rückwärts gestreckt (CMJ $r = 0.54$; SJ r

= 0.53). Ausserdem stellte Reinhart (2021) eine signifikante Beziehung zwischen den Parametern der Explosivkraft und der Treibhöhe bei Nachwuchskunstturnerinnen (CMJ $r = 0.94$, $p = 0.001$). SJ $r = 0,80$ und $p = 0,05$; CMJ einbeinig, $r = 0.82$, $p < 0.05$) fest.

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass sowohl das Niveau der Explosivkraft als auch jenes der Reaktivkraft einen Einfluss auf die Anlaufgeschwindigkeit beim Pferdsprung sowie auf die Flughöhe beim Pferdsprung, Balken und Boden haben. Für Athletinnen bedeutet eine erhöhte Flugzeit mehr Zeit für Drehungen in der Längs- und Breitenachse. Dadurch können anspruchsvollere Sprünge oder akrobatische Elemente gezeigt werden, was den Ausgangswert der Übung erhöhen kann (Maier et al, 2016).

Die Energiebereitstellung im Kunstturnen erfolgt aufgrund der Dauer der Übungen an den Geräten (zwischen ca. 5 Sekunden (Pferdsprung) und bis zu 90 Sekunden (Balken, Boden)) und der Konzentration auf die Explosivkraft hauptsächlich über Kreatinphosphat und die anaerobe Glykolyse (Moeskops et al., 2018). Dies zeigt sich auch darin, dass bei jungen Kunstturnerinnen (Alter: 13.5 ± 1.27 Jahre) nach allen Geräten ausser Pferdsprung Laktatwerte von über 4 mmol/l festgestellt werden konnten (Marina & Rodriguez, 2014). Bei der aeroben Kapazität wurden maximale Sauerstoffaufnahmen (VO_{2max}) von 47.90 ± 4.03 ml/min/kg festgehalten (Marina & Rodriguez, 2014), was darauf hinweisen würde, dass die aerobe Kapazität kein so entscheidender Faktor ist (Moeskops et al., 2018). Doch Marina & Rodriguez (2014) stellten fest, dass junge Kunstturnerinnen nach ihrer Bodenübung bis zu 85% ihrer VO_{2max} erreichten. Dies deutet auf eine gewisse Bedeutung der aeroben Kapazität hin, insbesondere unter dem Gesichtspunkt, dass Turnerinnen und Turner, die sich zwischen den Geräten besser regenerieren können, eher in der Lage sind, ihr Leistungsniveau aufrechtzuerhalten und ihr relatives Verletzungsrisiko durch Ermüdung zu verringern (Moeskops et al., 2018).

1.6 Neuromuskuläre Ermüdung

Neuromuskuläre Ermüdung wird definiert als eine belastungsbedingte Verringerung der maximalen willentlichen Muskelkraft. Sie kann durch periphere Veränderungen auf Muskelebene entstehen sowie auch dadurch, dass das zentrale Nervensystem die Motoneuronen nicht mehr angemessen ansteuern kann (Gandevia, 2001). Von grundlegender Bedeutung für die Ermüdung des Nervensystems ist eine Verlangsamung der Feuerungsrate der motorischen Einheiten. Diese kann beispielsweise durch eine Abnahme des erregenden Inputs oder eine Zunahme des hemmenden Inputs verursacht werden (Taylor & Gandevia, 2008). Neuromuskuläre Ermüdung kann auch durch die Muskeln selbst bzw. das Muskelgewebe ausgelöst werden. Aufgrund von Energiemangel und Akkumulation von Stoffwechselprodukten wie Laktat kann so ein Verlust

von Leistungsfähigkeit entstehen (Fitts, 2008). Die genauen Mechanismen, welcher der neuromuskulären Ermüdung unterliegen, sind jedoch sehr komplex.

Zur Messung der neuromuskulären Ermüdung bzw. der Einschränkung der Explosiv- und Reaktivkraftfähigkeit durch eine Vorbelastung wird meist der CMJ genutzt. Die erreichten Werte beim CMJ sind valide, um diese Veränderungen zu bestimmen (Claudino et al., 2016). Ergebnisse von Gathercole et al. (2015) weisen darauf hin, dass der CMJ eine gute Sensitivität auf veränderte neuromuskuläre Funktionen zeigt. Ähnliche Ergebnisse konnten auch für die Sensitivität des DJ festgestellt werden (Gathercole et al., 2015).

1.7 Untersuchungen zur neuromuskulären Ermüdung im Kunstturnen

Die Auswirkungen von neuromuskulärer Ermüdung auf die Explosiv- und Reaktivkraft bei Kunstturnerinnen wurde hingegen noch nicht ausführlich untersucht. Martinez-Marti et al. (2021) untersuchten mit speziellen Einlegesohlen die Veränderungen in der Sprungleistung nach einem Trainingsprogramm mit 12 Serien à 6 Vorwärtssaltos. Dabei konnten keine Veränderungen in der Flugzeit und -höhe festgestellt werden (Martinez-Marti et al., 2021).

Auch wurde noch nicht genau untersucht, welche Effekte die neuromuskuläre Ermüdung auf die Explosiv- und Reaktivkraft bei einer Wettkampfbelastung hat. Isacco et al. (2019) untersuchten die Auswirkungen einer Wettkampfbelastung auf die Herzfrequenz, Laktatkonzentration und die anaerobe Leistung, wo die Flughöhe beim Squat Jump (SJ) gemessen wurde. Der SJ kann auch zur Messung der neuromuskulären Ermüdung genutzt werden, zeigt aber nicht die gleiche Sensitivität wie der CMJ auf (Gathercole et al., 2015). Isacco et al. (2019) stellten bei ihrer Untersuchung eine signifikante Abnahme der Höhe im SJ in der Messung nach den einzelnen Geräten fest. Dies weist auf neuromuskuläre Ermüdung hin, sollte aber noch weiter untersucht werden, wobei der CMJ als Messwert verwendet werden sollte. Der CMJ wurde als Messwert bei einer Untersuchung der physiologischen Antwort auf eine Wettkampfbelastung im Trampolinsport, wie das Kunstturnen eine Sportart mit hoher Belastung auf die unteren Extremitäten, durchgeführt (Jensen et al., 2013). Dabei wurden reduzierte Sprunghöhen im CMJ direkt nach den Übungen im Wettkampf sowie 24 Stunden später aufgezeigt (Jensen et al., 2013).

1.8 Ziel und konkrete Fragestellungen

Im Kunstturnen der Frauen sind Parameter der Explosiv- und Reaktivkraft der unteren Extremitäten wichtig für die sportliche Leistung, insbesondere im Hinblick auf die Flug- und Treibhöhe bei Elementen am Pferdsprung, Balken und Boden (Maier et al., 2016; Reinhart, 2021).

Da beim Kunstturnen nicht nur das Ergebnis, sondern die gesamte Ausführung der Leistung bewertet wird und die Vorgaben durch die Reglemente im CoP so umfassend und anspruchsvoll sind, stellt die Sportart komplexe Anforderungen an die Turnerinnen und erfordert grosse Trainingsumfänge.

Trotz der bekannten Bedeutung der Explosiv- und Reaktivkraft für die Leistung im Kunstturnen, wurden die Auswirkungen von Trainings- und Wettkampfbelastungen auf die neuromuskuläre Ermüdung bzw. auf die Explosiv- und Reaktivkraft der unteren Extremitäten bei Kunstturnerinnen noch nicht ausführlich analysiert. Das Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die Veränderung der Sprungkraftfähigkeit (Explosiv- & Reaktivkraft) nach einer Wettkampfbelastung zu untersuchen.

1.8.1 Fragestellungen

Aus dem aktuellen Forschungsstand wurden die folgenden Fragestellungen hergeleitet:

1. Wie verändert sich die Explosiv- und Reaktivkraft der unteren Extremitäten bei Elite- und Junioren-Kunstturnerinnen unmittelbar nach einer Wettkampfbübung am Balken, Boden und am Pferdsprung sowie nach einer gesamten Wettkampfbelastung?
 - 1.b Welche Unterschiede ergeben sich zwischen Elite- und Junioren-Kunstturnerinnen?
2. Wie verändert sich die Explosiv- und Reaktivkraft der unteren Extremitäten bei Elite- und Junioren-Kunstturnerinnen 24 Stunden nach einer Wettkampfbelastung?
 - 2.b Welche Unterschiede ergeben sich zwischen Elite- und Junioren-Kunstturnerinnen?
3. Wie ist das subjektive Belastungsempfinden während einer Wettkampfbelastung pro Gerät bei Junioren-Kunstturnerinnen?
 - 3.b Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem subjektiven Belastungsempfinden und der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit?
4. Wie erholt fühlen sich Junioren-Kunstturnerinnen 24 Stunden vor, direkt vor und 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung?
 - 4.b Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem subjektiven Erholungszustand und der mittelfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit?

2 Methode

2.1 Untersuchungsgruppe

Diese Untersuchung wurde durchgeführt mit insgesamt 15 Kunstturnerinnen (Alter: 16.67 ± 3.62 Jahre), davon fünf Turnerinnen aus dem Nationalkader, welche zum Zeitpunkt der Untersuchung in Magglingen trainieren, sowie 10 Turnerinnen aus dem Juniorinnenkader U15, welche in Magglingen ein Trainingslager absolvieren. Die Teilnahme an der Untersuchung wurde mit dem Nationaltrainer Kunstturnen Frauen Frank Kistler, dem Nationaltrainer U15 Chris Lakeman und den Turnerinnen abgesprochen. Die Untersuchung wurde von der Ethikkommission des Kantons Bern bewilligt (Project ID: 2018-00742).

2.2 Studiendesign

Es wurden zwei Datenerhebungen durchgeführt. Die erste Datenerhebung fand mit den Elite-Turnerinnen des Nationalkaders an drei aufeinander folgenden Tagen in Magglingen statt.

Tabelle 1

Studiendesign 1. Datenerhebung

Datum	Messungen
18.10.2023	- Baseline: 2x DJ, 2x CMJ
19.10.2023	- Pretest (Vor Beginn der ganzen Wettkampfsimulation, nach dem allgemeinen Einwärmen): 2x DJ, 2x CMJ - Nach spezifischem Einwärmen, Einturnen an Geräten: 2x DJ, 2x CMJ - Beginn Wettkampfsimulation - Direkt nach jeder Übung (Balken, Boden, Pferdsprung): 2x DJ, 2x CMJ - Posttest (nach Ende des Wettkampfs): 2x DJ, 2x CMJ
20.10.2023	- Posttest (im nächsten Training, nach dem allgemeinen Einwärmen): 2x DJ, 2x CMJ

Anmerkung. CMJ = Countermovement Jump; DJ = Drop Jump (von 40cm)

Am ersten Tag wurden Baseline-Messungen durchgeführt, um vor der Wettkampfsimulation Daten im erholten Zustand zu erhalten. Am zweiten Tag fand die Wettkampfsimulation statt. Dort wurden nach dem allgemeinen Warm-Up und zusätzlich nach dem spezifischen Wettkampfaufwärmen sowie nach den Übungen am Pferdsprung, Balken und Boden und nach Ende der Wettkampfsimulation Messungen durchgeführt, um die Veränderungen der Explosiv- und Reaktivkraft zu messen. Am dritten Tag wurden noch einmal Messungen durchgeführt, um die mittelfristigen Auswirkungen auf die Explosiv- und Reaktivkraft zu untersuchen. Die zweite Datenerhebung fand im Juniorinnen-Trainingslager in Magglingen statt.

Tabelle 2

Studiendesign 2. Datenerhebung

Datum	Messungen
14.03.2024	- Baseline: 2x DJ, 2x CMJ, subjektiver Erholungszustand
15.03.2024	- Pretest (Vor Beginn des Wettkampfübungstraining, nach dem allgemeinen Einwärmen): 2x DJ, 2x CMJ, subjektiver Erholungszustand - Direkt nach erster Übung am Gerät (Balken, Boden, Pferdsprung): 2x DJ, 2x CMJ, subjektives Belastungsempfinden - Posttest (nach Ende der Einheit): 2x DJ, 2x CMJ
16.03.2024	- Posttest (am nächsten Trainingstag, nach dem allgemeinen Einwärmen): 2x DJ, 2x CMJ, subjektiver Erholungszustand

Anmerkung. CMJ = Countermovement Jump; DJ = Drop Jump (von 40cm)

Am ersten Tag wurden Baseline-Messungen durchgeführt. Am zweiten Tag absolvierten die Juniorinnen-Turnerinnen ein Wettkampfübungstraining. Dabei wurde nach dem allgemeinen Warm-Up, nach der jeweils ersten Übung am Gerät (Balken, Boden, Pferdsprung) sowie nach Ende der Trainingseinheit gemessen. Das Format der Trainingseinheit wurde durch den Nationaltrainer U15 vorgegeben und es wurde versucht, den Ablauf möglichst ähnlich wie bei der ersten Datenerhebung zu halten. Am dritten Tag wurden erneut Messungen absolviert, um die mittelfristigen Auswirkungen auf die Explosiv- und Reaktivkraft zu untersuchen. Zusätzlich zu den Messungen des DJ und CMJ wurden subjektive Belastungswerte erfasst.

2.2.1 Wettkampfsimulation

Bei der Wettkampfsimulation im Kunstturnen ging es darum, eine Wettkampfbelastung so authentisch wie möglich nachzustellen. Dies wurde versucht, indem man den genauen Ablauf einer Wettkampfbelastung im Training durchlief. Beispielsweise hatte jede Turnerin die gleiche Reihenfolge der Geräte, wie am folgenden Wettkampf. Am Tag der Wettkampfsimulation absolvierten die Nationalkader-Turnerinnen nach dem allgemeinen Aufwärmen und nach dem wettkampfspezifischen Aufwärmen (Aufwärmen wie sonst vor Wettkämpfen) zwei DJ (von 40cm) und zwei CMJ. Anschliessend begann die Wettkampfsimulation. Die Turnerinnen turnten sich am ersten Gerät ein und starteten ihren Wettkampf. Nach den Übungen am Balken, Boden und Pferdsprung absolvierten die Turnerinnen jeweils erneut zwei DJ und zwei CMJ. Nach Ende der Wettkampfsimulation wurden bei den Turnerinnen noch einmal zwei DJ und zwei CMJ gemessen.

2.2.2 Wettkampfübungstraining

Die Turnerinnen des Juniorinnenkaders U15 absolvierten im Zuge ihres Trainingslagers in Magglingen ein Wettkampfübungstraining. Dieses Training wurde so aufgebaut, dass die Turnerinnen nach dem allgemeinen Aufwärmen an jedem Gerät zwei bis drei Übungen turnten. Nach dem allgemeinen absolvierten die Turnerinnen je zwei DJ (von 40 cm) und zwei CMJ. Nach ihrer ersten Übung am Balken, Boden und Pferdsprung wurden bei den Turnerinnen jeweils zwei DJ und zwei CMJ gemessen. Am Ende der Trainingseinheit führten die Turnerinnen erneut zwei DJ und zwei CMJ durch. Zusätzlich wurde direkt nach den Wettkampfübungen die subjektive Belastung erfragt.

2.3 Instrumente

2.3.1 Kraftmessplatten

Für die Messung der Explosivkraft- und Reaktivkraftparameter (DJ & CMJ) wurden zwei Kraftmessplatten (MLD Test Evo 2, SPSport, Innsbruck, Österreich) verwendet.

2.3.2 Messung des subjektiven Belastungsempfinden & des subjektiven Erholungszustands

Für die Messung der subjektiven Belastung wurde die Skala nach Borg mit dem Wertebereich 6 – 20 verwendet (Borg, 1970). Um die subjektive Erholung bei den Athletinnen erfassen zu können, wurden diese gefragt, wie erholt sie sich auf einer Skala von 1 – 10 fühlten.

2.3.3 Wettkampfgeräte

Die Wettkampfsimulation der Turnerinnen des Nationalkaders sowie das Wettkampfübungs-training der Turnerinnen aus dem Juniorinnenkader wurden an den Wettkampfgeräten in der Jubiläumshalle in Magglingen durchgeführt.

2.4 Datenerhebung

Beim CMJ wurde die relative maximale Leistung (Pmax_rel) gemessen. Beim DJ wurde der Reaktivkraftkraftindex 1 (RI1) sowie der Relativkraftindex 2 (RI2) eruiert. Der RI1 ist das skalierte Verhältnis der Sprunghöhe zur Kontaktzeit (Sprunghöhe / 10 * Kontaktzeit). Der RI2 ist Bremsleistung multipliziert mit der Beschleunigungsleistung (Maier et al., 2016). Die Daten wurden auf der Kraftmessplatte (MLD Test Evo 2, SPSport, Innsbruck, Österreich) gemessen. Die Erhebung der subjektiven Daten wurde mit der Hilfe der Borg-Skala beim subjektiven Belastungsempfinden und einer Skala von 1 – 10 beim subjektiven Erholungszustand vorgenommen. Bei der Erhebung wurden die Turnerinnen mit visuellen und sprachlichen Hilfen unterstützt. Die Borg-Skala mit dem Wertebereich 6 – 20 wurde den Turnerinnen jeweils gezeigt. Beim subjektiven Erholungszustand wurde die Skala den Turnerinnen vor der Befragung erklärt, wobei ein Wert von 1 eine sehr schlechte bzw. keine Erholung und ein Wert von 10 eine sehr gute bzw. perfekte Erholung kennzeichnete.

2.5 Statistik

Die erhobenen Daten wurden mithilfe des Statistikprogramm Jamovi (The Jamovi Project, 2023) ausgewertet. Für die DJ und CMJ wurde jeweils der Durchschnitt der beiden gemessenen Werte zur Auswertung verwendet. Aus den erhobenen Daten wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Diese Daten wurden anschliessend mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft, bevor die weiteren Analysen durchgeführt wurden. Für alle statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ festgelegt. Ergebnisse wurden als statistisch signifikant betrachtet, wenn der p-Wert kleiner als 0.05 war.

Zur Auswertung der Veränderung der Sprungkraftfähigkeit wurde der Friedman-Test als nicht-parametrische Variante einer einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Nach dem Friedman-Test wurde mit paarweisen Vergleichen und angefügter Bonferroni-Holm-Korrektur (zur Minimierung der Wahrscheinlichkeit von Alphafehlern) ermittelt, ob Unterschiede zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten bestanden.

Um Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, Elite- und Junioren-Turnerinnen, zu analysieren, wurden weitere Friedman-Tests und paarweise Vergleiche (mit Bonferroni-Holm-Korrektur) durchgeführt. Dies um die Werte der verschiedenen Gruppen zu untersuchen.

Um die subjektive Ermüdung zu analysieren, wurden Friedman-Tests eingesetzt. Um allfällige Unterschiede zwischen den Faktoren zu eruieren, wurden erneut paarweise Vergleiche mit Bonferroni-Holm-Korrektur durchgeführt.

Die Effektstärke der jeweiligen Unterschiede wurde gemäss Cohen (1988) interpretiert: kleiner Effekt ($d = 0.2$), mittlerer Effekt ($d = 0.5$), grosser Effekt ($d = 0.8$).

Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen der Veränderung der Sprungkraftfähigkeit und der subjektiven Ermüdung wurden Korrelationen mit Jamovi (The Jamovi Project, 2023) berechnet. Es wurde die Pearson-Korrelation (r) angewendet. Die Korrelation wurde gemäss Cohen (1988) interpretiert: $|r| = 0.1$ (klein), 0.3 (moderat), 0.5 (gross).

3 Resultate

Eine Elite-Athletin musste die Messungen nach dem Einwärmen abbrechen, da sie sich dabei eine leichte Rückenverletzung zugezogen hatte. Sie absolvierte deshalb nur die Tests 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung sowie die Tests direkt vor der Wettkampfbelastung. Sie absolvierte keine Tests nach den Übungen an den Geräten, nach der gesamten Wettkampfsimulation und 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung.

Eine andere Elite-Athletin konnte aufgrund einer vorherigen Verletzung noch nicht alle Testarten ausführen. Sie absolvierte nur die Tests des CMJ, nicht aber des DJ. Ausserdem absolvierte sie keine Übung am Gerät Pferdsprung.

Bei den Juniorinnen absolvierten alle Athletinnen alle Messungen.

3.1 Übersicht Veränderung der Sprungkraftfähigkeit

In der Tabelle 3 sind Mittelwerte \pm Standardabweichung der Sprungkraftwerte zu den verschiedenen Messzeitpunkten sortiert nach allen Turnerinnen sowie den beiden Gruppen Elite- und Junioren-Turnerinnen aufgelistet.

Zwischen den beiden Gruppen konnten beim CMJ signifikante Unterschiede zwischen den Elite- und den Junioren-Turnerinnen festgestellt werden, während die Unterschiede beim & dem RI2 des DJ nicht signifikant waren.

Die Elite-Turnerinnen erreichten signifikant höhere Werte bei den Messzeitpunkten 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (+14.07%; $d = 1.55$), vor der Wettkampfbelastung (+20.83%; $d = 2.47$), nach der Balkenübung (+14.55%; $d = 1.59$), nach der Bodenübung (+19.40%; $d = 2.80$), nach der Wettkampfbelastung (+16.34%; $d = 1.89$) und 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung (+17.90%; $d = 2.14$). Bei den anderen Messzeitpunkten waren die Werte nicht signifikant unterschiedlich ($p > 0.05$).

Tabelle 3

Mittelwerte der Sprungkraftfähigkeit sortiert nach Messzeitpunkten & Turnerinnen (alle ($n = 15$), Elite ($n = 5$) & Juniorinnen ($n = 10$))

	24 Stunden vorher	Vor WKB	Nach Balken	Nach Boden	Nach Pferdsprung	Nach WKB	24 Stunden nachher
CMJ alle	49.59 ± 5.26	50.00 ± 6.08	50,91 ± 5.44	50.19 ± 5.36	50.35 ± 4.88	50.39 ± 5.44	48.31 ± 5.33
CMJ Elite	54.02 ± 4.54*	56.48 ± 2.94**	56.00 ± 3.33*	56.77 ± 2.49**	54.77 ± 5.17	55.90 ± 3.78*	54.17 ± 3.62*
CMJ Juniorinnen	47.37 ± 4.19	46.76 ± 4.31	48.88 ± 4.79	47.55 ± 3.52	49.02 ± 4.16	48.30 ± 4.28	46.65 ± 3.91
DJ (RI1) alle	20.05 ± 3.22	19.39 ± 4.39	19.99 ± 3.51	20.22 ± 4.11	19.92 ± 3.43	18.89 ± 3.73	16.72 ± 3.83
DJ (RI1) Elite	21.90 ± 2.76	21.55 ± 3.96	20.63 ± 1.76	21.37 ± 3.07	21.63 ± 2.86	20.33 ± 2.68	19.13 ± 0.70
DJ (RI1) Juniorinnen	19.31 ± 3.21	18.25 ± 4.19	19.80 ± 3.94	19.87 ± 4.46	19.41 ± 3.55	18.46 ± 4.01	16.00 ± 4.11
DJ (RI2) alle	45.12 ± 11.82	43.03 ± 14.38	43.27 ± 11.20	45.38 ± 13.18	43.98 ± 10.79	41.54 ± 12.21	36.56 ± 9.96
DJ (RI2) Elite	52.67 ± 15.07	51.05 ± 17.64	45.07 ± 11.42	47.50 ± 16.26	49.40 ± 14.53	42.10 ± 15.04	41.43 ± 7.05
DJ (RI2) Juniorinnen	42.10 ± 9.52	39.82 ± 12.45	42.73 ± 11.70	44.74 ± 13.07	42.36 ± 9.78	41.37 ± 12.18	35.10 ± 10.54

Anmerkung. Alle Werte sind als Mittelwerte ± Standardabweichung angegeben; alle: $n = 15$ (CMJ), $n = 14$ (DJ (RI1 & RI2)); Elite: $n = 5$ (CMJ), $n = 4$ (DJ (RI1 & RI2)); Juniorinnen: $n = 10$; CMJ = P_{max_rel} ; DJ (RI1) = $[h_s / 10 t_k]$; DJ (RI2) = $[(P_{neg} P_{pos}) / 100]$; WKB = Wettkampfbelastung; Signifikante Unterschiede (höhere Werte Elite als Juniorinnen) zwischen den Gruppen sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$).

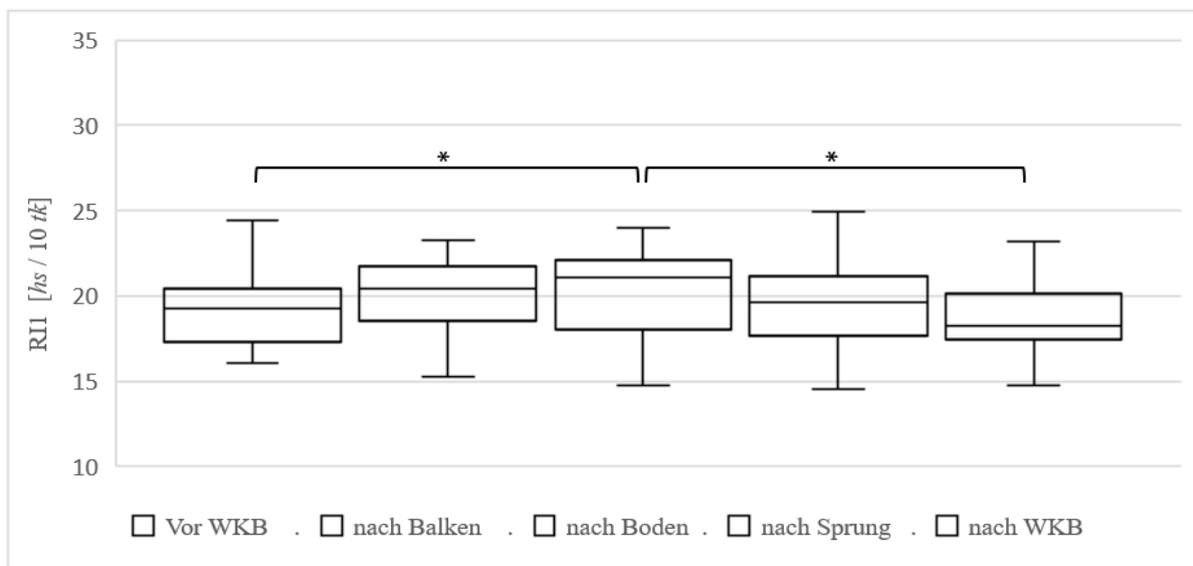
3.2 Kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit

Der Friedman-Test bei der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit weist beim DJ sowohl beim RI1 ($\chi^2(4) = 13.29, p = 0.0100$) als auch beim RI2 ($\chi^2(4) = 9.88, p = 0.0424$) auf signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten hin. Beim CMJ weist der Friedman-Test auf keine signifikanten Unterschiede hin ($\chi^2(4) = 7.95, p = 0.0933$).

Bei den paarweisen Vergleichen wurden signifikante Unterschiede des RI1 (Abbildung 6) zwischen der Messung vor der Wettkampfbelastung und der Messung nach der Bodenübung (+4.32%; $d = 0.77$) sowie zwischen der Messung nach der Bodenübung und der Messung nach der Wettkampfbelastung (-7.05%; $d = 0.68$) festgestellt. Beim RI2 waren aufgrund der angewendeten Korrektur keine Unterschiede zwischen zwei Messpunkten signifikant, was auch für alle weiteren Unterschiede galt ($p > 0.05$).

Abbildung 6

Mittelwerte der kurzfristigen Veränderung des Reaktivkraftindex 1 der Elite- und Junioren-Turnerinnen ($n = 14$)



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Boxplots der Werte des Reaktivkraftindex 1 vor der Wettkampfbelastung, nach einer Übung an einem Gerät sowie nach der gesamten Wettkampfbelastung. Die Boxplots zeigen Median und Interquartilsabstände; Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Die statistische Analyse erfolgte mittels Friedman-Test und paarweisen Vergleichen (Bonferroni-Holm Korrektur); WKB = Wettkampfbelastung.

3.2.1 Kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit Elite

Bei den Elite-Turnerinnen konnte mit dem Friedman-Test kein Hinweis auf signifikante Unterschiede bei der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit festgestellt werden (CMJ: $\chi^2(4) = 4.80, p = 0.3084$ / DJ RI1: $\chi^2(4) = 5.52, p = 0.2382$ / DJ RI2: $\chi^2(4) = 5.76, p = 0.2176$).

3.2.2 Kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit Juniorinnen

Der Friedman-Test bei der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit der Juniorinnen weist beim RI1 des DJ auf signifikante Unterschiede zwischen Messzeitpunkten hin ($\chi^2(4) = 10.86, p = 0.0281$). Sowohl beim CMJ ($\chi^2(4) = 9.31, p = 0.0539$) als auch beim RI2 ($\chi^2(4) = 7.43, p = 0.01146$) weist der Friedman-Test auf keine vorhandenen signifikanten Unterschiede hin.

Bei den paarweisen Vergleichen konnten aufgrund der angewendeten Korrektur aber keine signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Messzeitpunkten festgestellt werden, weder beim CMJ noch beim DJ ($p > 0.05$).

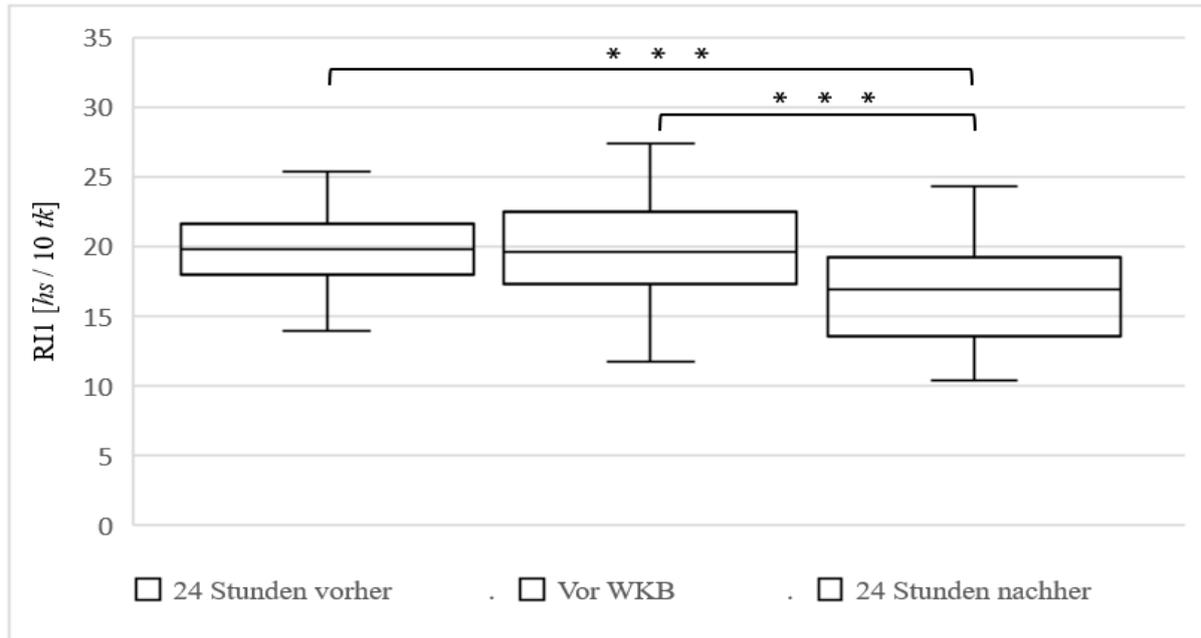
3.3 Mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit

Der Friedman-Test bei der mittelfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit weist beim DJ sowohl beim RI1 ($\chi^2(2) = 18.00, p = 0.0001$) als auch beim RI2 ($\chi^2(2) = 10.71, p = 0.0047$) auf signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten hin. Beim CMJ weist der Friedman-Test auf keine signifikanten Unterschiede hin ($\chi^2(2) = 2.26, p = 0.3232$).

Bei den paarweisen Vergleichen wurden signifikante Unterschiede des RI1 (Abbildung 7) zwischen der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung sowie den Messungen 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (-19.80%; $d = 1.46$) und direkt vor der Wettkampfbelastung (-15.86%; $d = 1.31$) festgestellt. Beim RI2 (Abbildung 8) wurden signifikante Unterschiede zwischen der Messung 24 Stunden vor und 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung (-23.4%; $d = 1.13$) festgestellt. Die weiteren Unterschiede zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten waren nicht signifikant ($p > 0.05$).

Abbildung 7

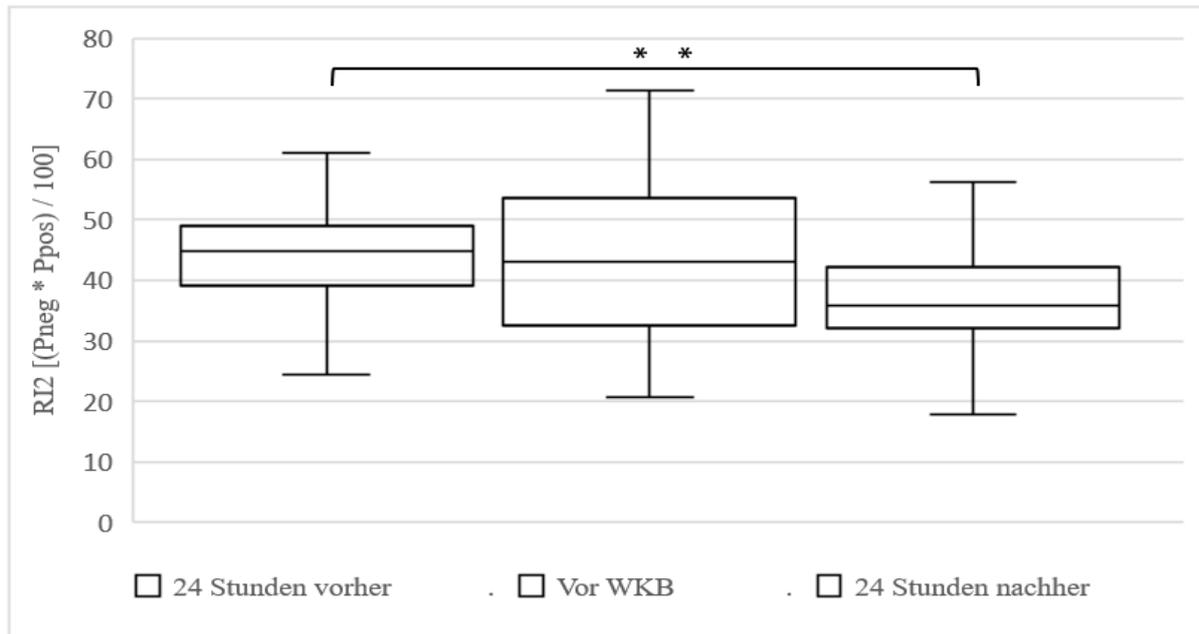
Mittelwerte der mittelfristigen Veränderung des Reaktivkraftindex 1 der Elite- und Junioren-Turnerinnen ($n = 14$)



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Boxplots der Werte des Reaktivkraftindex 1 an den Messzeiten (24 Stunden vorher, direkt vor der Wettkampfbelastung, 24 Stunden nachher). Die Boxplots zeigen Median und Interquartilsabstände; Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Die statistische Analyse erfolgte mittels Friedman-Test und paarweisen Vergleichen (Bonferroni-Holm Korrektur); WKB = Wettkampfbelastung.

Abbildung 8

Mittelwerte der kurzfristigen Veränderung des Reaktivkraftindex 2 der Elite- und Junioren-Turnerinnen ($n = 14$)



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Boxplots der Werte des Reaktivkraftindex 2 an den Messzeiten (24 Stunden vorher, direkt vor der Wettkampfbelastung, 24 Stunden nachher). Die Boxplots zeigen Median und Interquartilsabstände; Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Die statistische Analyse erfolgte mittels Friedman-Test und paarweisen Vergleichen (Bonferroni-Holm Korrektur); WKB = Wettkampfbelastung.

3.3.1 Mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit Elite

Bei den Elite-Turnerinnen konnte mit dem Friedman-Test kein Hinweis auf signifikante Unterschiede bei der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit festgestellt werden (CMJ: $\chi^2(2) = 4.50$, $p = 0.1054$ / DJ RI1: $\chi^2(2) = 4.67$, $p = 0.0970$ / DJ RI2: $\chi^2(2) = 0.67$, $p = 0.7165$).

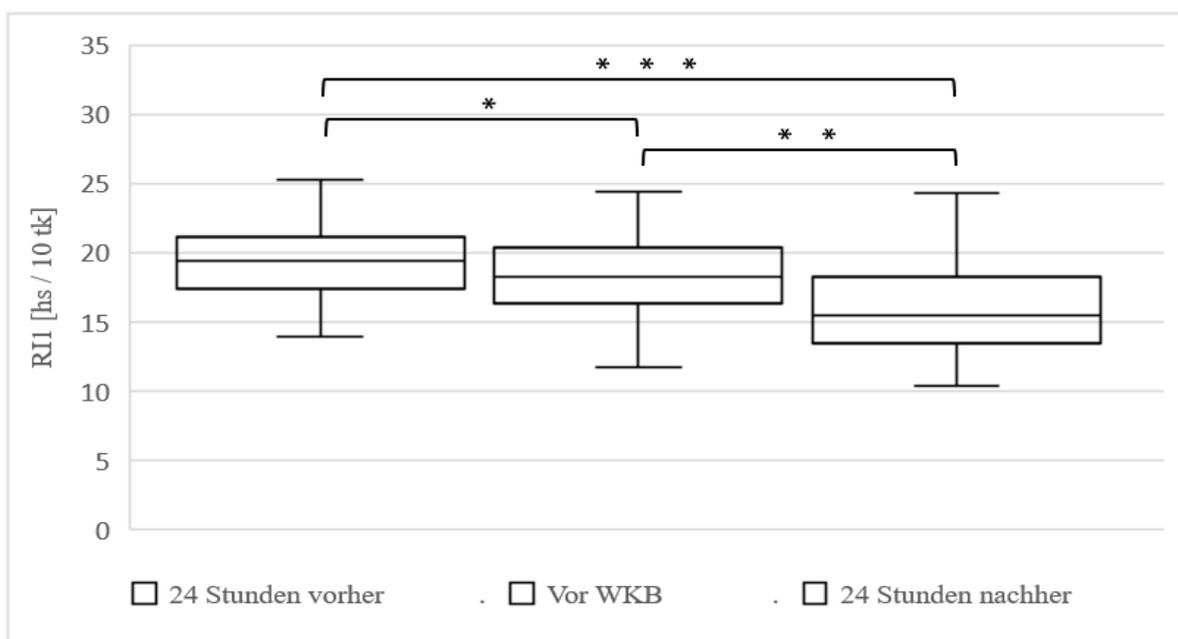
3.3.2 Mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit Juniorinnen

Der Friedman-Test bei der mittelfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit der Juniorinnen weist beim DJ sowohl beim RI1 ($\chi^2(2) = 14.60$, $p = 0.0007$) als auch beim RI2 ($\chi^2(2) = 10.82$, $p = 0.0045$) auf signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten hin. Beim CMJ weist der Friedman-Test auf keine signifikanten Unterschiede hin ($\chi^2(2) = 5.42$, $p = 0.0665$).

Bei den paarweisen Vergleichen wurden signifikante Unterschiede des RI1 (Abbildung 9) zwischen den Messungen 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (+20.55%; $d = 1.62$) und direkt vor der Wettkampfbelastung (+13.92%; $d = 1.44$) und der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung sowie zwischen den Messungen 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung und direkt vor der Wettkampfbelastung (+5.50%; $d = 0.64$) festgestellt. Beim RI2 (Abbildung 10) wurden signifikante Unterschiede zwischen der Messung 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung sowie der Messung direkt vor der Wettkampfbelastung (-5.38%; $d = 0.43$) und der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung (-19.93%; $d = 1.17$) festgestellt. Die weiteren Unterschiede zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten waren nicht signifikant ($p > 0.05$).

Abbildung 9

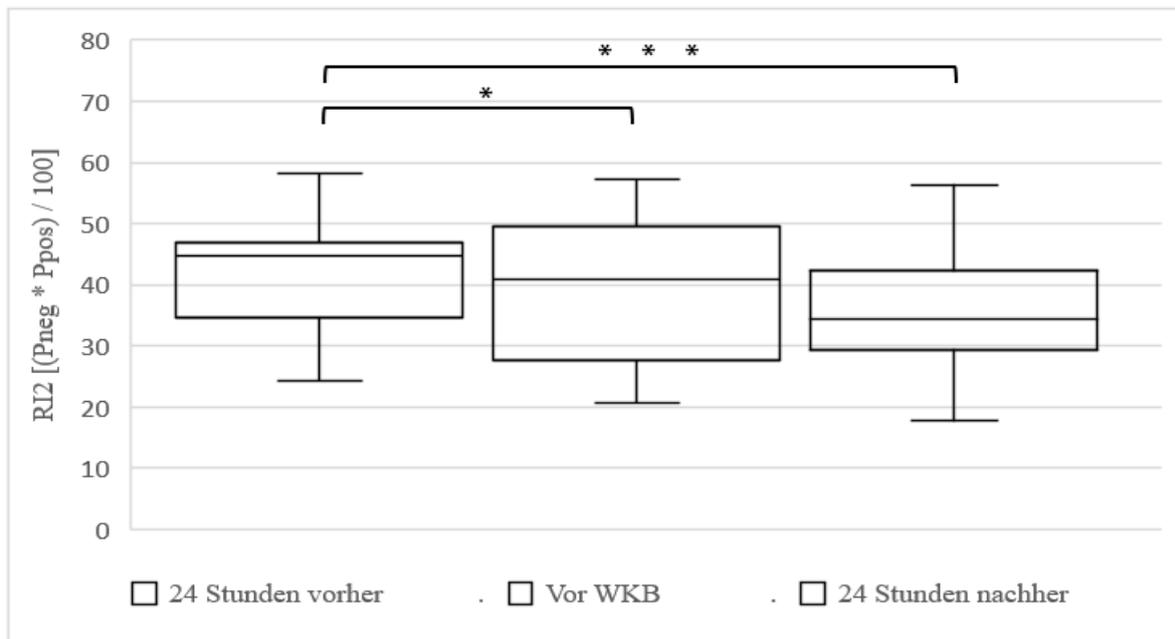
Mittelwerte der mittelfristigen Veränderung des Reaktivkraftindex 1 der Juniorinnen ($n = 10$)



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Boxplots der Werte des Reaktivkraftindex 1 an den Messzeiten (24 Stunden vorher, direkt vor der Wettkampfbelastung, 24 Stunden nachher). Die Boxplots zeigen Median und Interquartilsabstände; Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Die statistische Analyse erfolgte mittels Friedman-Test und paarweisen Vergleichen (Bonferroni-Holm Korrektur); WKB = Wettkampfbelastung.

Abbildung 10

Mittelwerte der kurzfristigen Veränderung des Reaktivkraftindex 2 der Juniorinnen ($n = 10$)



Anmerkung. Die Abbildung zeigt die Boxplots der Werte des Reaktivkraftindex 2 an den Messzeiten (24 Stunden vorher, direkt vor Wettkampfbelastung, 24 Stunden nachher). Die Boxplots zeigen Median und Interquartilsabstände; Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Die statistische Analyse erfolgte mittels Friedman-Test und paarweisen Vergleichen (Bonferroni-Holm Korrektur); WKB = Wettkampfbelastung.

3.4 Subjektive Ermüdung

Der Friedman-Test wurde durchgeführt, um die Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten zu untersuchen, da die Daten nicht normalverteilt waren. Bei den Messungen der subjektiven Ermüdung konnten bei beiden Testformen (subjektives Belastungsempfinden und subjektiver Erholungszustand) signifikante Unterschiede festgestellt werden.

Der Friedman-Test beim subjektiven Belastungsempfinden wies auf signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten hin ($\chi^2(2) = 15.44$, $p = 0.0004$). Auf signifikante Unterschiede wies auch der Friedman-Test beim subjektiven Erholungszustand hin ($\chi^2(2) = 14.00$, $p = 0.0009$).

Beim subjektiven Belastungsempfinden (Tabelle 4) wurden signifikante Unterschiede zwischen der Messung nach der Bodenübung sowie der Messung nach der Balkenübung (+25.94%;

$d = 1.92$) & nach dem Pferdsprung (+24.23%; $d = 1.89$) festgestellt. Beim subjektiven Erholungszustand (Tabelle 5) wurden zwischen der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung sowie der Messung 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (-21.54%; $d = 1.90$) & direkt vor der Wettkampfbelastung (-16.39%; $d = 1.28$) signifikante Unterschiede festgestellt.

Tabelle 4

Mittelwerte des subjektiven Belastungsempfinden bei Juniorinnen (n = 10)

	Subjektives Belastungsempfinden (Borg-Skala)	
	M ± SD	95 % KI
Balken	10.85 ± 1.83	[9.54, 12.16]
Boden	14.65 ± 1.27 ***	[13.74, 15.56]
Pferdsprung	11.10 ± 2.18	[9.54, 12.66]

Anmerkung. Die angegebenen Werte sind Einschätzungen der Athletinnen zu ihrer empfundenen Belastung nach einer Wettkampfübung am jeweiligen Gerät; M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung; 95 % KI = 95 % Konfidenzintervall; Signifikante Unterschiede sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Borg-Skala => 6 – 20

Tabelle 5

Mittelwerte des subjektiven Erholungszustandes bei Juniorinnen (n = 10)

	Subjektiver Erholungszustand (Skala 1 – 10)	
	M ± SD	95 % KI
24 Stunden vorher	6.50 ± 1.00	[5.78, 7.22]
Vor der WKB	6.10 ± 1.07	[5.33, 6.87]
24 Stunden nachher	5.10 ± 0.91 ***	[4.45, 5.75]

Anmerkung. Die angegebenen Werte sind Einschätzungen der Athletinnen zu ihrem Erholungszustand zu Beginn des jeweiligen Messtages; M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung; 95 % KI = 95 % Konfidenzintervall; Signifikante Unterschiede sind mit * markiert (*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$); Werte-Skala => 1 – 10

3.5 Korrelation Veränderung Sprungkraftfähigkeit & subjektives Belastungsempfinden

Bei der Korrelation zwischen der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit und dem subjektiven Belastungsempfinden nach einer Wettkampfübung an den Geräten wurden moderate Zusammenhänge festgestellt, wobei kein Zusammenhang signifikant ($p > 0.05$) war (Tabelle 6). Ein moderater, nicht signifikanter Zusammenhang bestand zwischen dem CMJ und dem subjektiven Belastungsempfinden nach der Übung am Balken. Weiter wurde ein moderater, nicht signifikanter Zusammenhang zwischen dem DJ (RI1 & RI2) und dem subjektiven Belastungsempfinden nach der Bodenübung festgestellt. Beim CMJ und dem subjektiven Belastungsempfinden nach dem Pferdsprung wurde ebenfalls ein moderater, nicht signifikanter Zusammenhang festgestellt.

Tabelle 6

Korrelation zwischen kurzfristiger Veränderung der Sprungkraftfähigkeit & subjektivem Belastungsempfinden bei Juniorinnen (n = 10)

	Subjektives Belastungsempfinden nach Balken	Subjektives Belastungsempfinden nach Boden	Subjektives Belastungsempfinden nach Pferdsprung
Δ CMJ nach Balken	Pearson's r = 0.40		
Δ DJ (RI1) nach Balken	Pearson's r = -0.17		
Δ DJ (RI2) nach Balken	Pearson's r = -0.16		
Δ CMJ nach Boden		Pearson's r = 0.02	
Δ DJ (RI1) nach Boden		Pearson's r = - 0.41	
Δ DJ (RI2) nach Boden		Pearson's r = - 0.35	
Δ CMJ nach Pferdsprung			Pearson's r = -0.40
Δ DJ (RI1) nach Pferdsprung			Pearson's r = 0.18
Δ DJ (RI2) nach Pferdsprung			Pearson's r = 0.13

Anmerkung. Die Korrelation wurde gemäss Cohen (1988) interpretiert: $|r| = 0.1$ (klein), 0.3 (moderat), 0.5 (gross): CMJ = Pmax_rel; DJ (RI1) = $[h_s / 10 t_k]$; DJ (RI2) = $[(P_{neg} * P_{pos}) / 100]$; WKB = Wettkampfbelastung; Δ = Veränderung des Werts zur Messung vor der Wettkampfbelastung.

4 Diskussion

4.1 Kurzfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit

Bei der Untersuchung der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit zwischen der Messung vor der Wettkampfbelastung sowie den Messungen nach den Übungen an den Geräten Balken, Boden, Pferdsprung und nach der gesamten Wettkampfbelastung wurde ein einziger signifikanter Unterschied festgestellt. Die Werte beim RI1 des DJ waren nach der Bodenübung signifikant höher als vor der Wettkampfbelastung (+4.32%; $d = 0.77$). Alle anderen Unterschiede waren nicht signifikant. Die durchschnittlichen Werte des CMJ sowie der RI1 und 2 des DJ lagen aber auch nach den anderen Geräten und nach der Wettkampfbelastung leicht, aber nicht signifikant höher als vor der Wettkampfbelastung.

Die Elite-Turnerinnen wiesen beim CMJ vor der Wettkampfbelastung und nach der Wettkampfbelastung sowie nach der Übung am Balken und am Boden höhere Werte auf als die Juniorinnen, während es beim DJ (RI1 und 2) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gab.

Bei der Untersuchung der Elite- und Junioren-Turnerinnen konnten bei den einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen vor der Wettkampfbelastung und nach den Geräten und nach der Wettkampfbelastung festgestellt werden.

Die Resultate zeigten keine signifikante Reduktion der Sprungkraftfähigkeit auf, weder bei der Gesamtgruppe noch bei den Elite- und Juniorenturnerinnen. Damit unterschieden sich die Ergebnisse zu den Ergebnissen von Isacco et al. (2019), wobei dabei die neuromuskuläre Ermüdung mit der Flughöhe im SJ gemessen wurde und nicht mit dem CMJ oder DJ.

Die nicht signifikante Reduktion der Sprungkraftfähigkeit bzw. die sogar tendenziell höheren Werte der Explosiv- und Reaktivkraft beim CJ und DJ nach einer Wettkampfübung am Balken, Boden und Pferdsprung könnten möglicherweise auf Aktivierungseffekte zurückgeführt werden.

Wissenschaftlich ist dabei vor allem der Post-Activation-Potential (PAP) - Effekt von Bedeutung, welcher schon in unzähligen Studien und Meta-Analysen beleuchtet wurde (Sale, 2002; Hodgson et al., 2005; Tillin & Bishop, 2009). Der PAP-Effekt beschreibt den vorübergehenden Anstieg der Leistung der Muskelkraft nach vorausgegangener intensiver Kontraktion oder Aktivierung des Muskels (Sale, 2002). Laut Hodgson et al. (2005) resultiert der PAP-Effekt hauptsächlich aus zwei Mechanismen: der Phosphorylierung der leichten Ketten des Myosinkopfes und einer erhöhten Rekrutierung von hochschwellig motorischen Einheiten. Die

Phosphorylierung verbessert die Sensitivität der Myosin- und Aktin-Filamente gegenüber Kalzium, wodurch die Effizienz der Kraftproduktion gesteigert wird. Zudem erhöht sich durch die Aktivierung hochschwelliger motorischer Einheiten die Anzahl der gleichzeitig aktivierten Muskelfasern, was ebenfalls zur Leistungssteigerung beiträgt. Der Effekt tritt unmittelbar nach der konditionierenden Aktivierung auf, wobei das Potenzial für Leistungsverbesserungen zeitlich begrenzt ist und je nach individuellen Faktoren wie Trainingszustand, Muskelfasermensetzung und Belastungsintensität variiert (Tillin & Bishop, 2009).

Die stärkere Aktivierung der Muskulatur der Turnerinnen wäre eine mögliche Erklärung für die Resultate. Die Wettkampfübungen als intensive Aktivierung könnten zu einer kurzfristigen Aktivierung der Muskeln geführt haben, und dieser Effekt könnte stärker als der Einfluss der Ermüdung nach der Übung gewesen sein.

Eine andere Erklärung könnte ein zu wenig intensives Erwärmen sein. Das Warm-Up enthielt zwar Sprünge, welche sicherlich auf die Belastung vorbereiten, doch wurden wenige oder sogar keine maximalen Efforts beobachtet. Untersuchungen haben gezeigt, dass ein adäquates Warm-Up die Leistung bei Vertikalsprüngen positiv beeinflussen kann (Fradkin et al., 2010). Der Einfluss verschiedener Erwärmungsformen auf die spezifische physische Leistung im Kunstturnen könnte noch untersucht werden.

Weiter könnten psychologische Faktoren wie eine erhöhte Erregung, Leistungsbereitschaft oder Konzentration aufgrund der Wettkampfbelastung die neuromuskuläre Aktivierung beeinflussen, was sich in besserer Leistung und somit höheren Werten in den Messungen nach den Wettkampfübungen zeigen könnte (Jones & Hardy, 1990).

4.2 Mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit

Bei den Untersuchungen der mittelfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit zwischen der Messung am Tag nach der Wettkampfbelastung sowie den Messungen 24 Stunden vor und direkt vor der Wettkampfbelastung konnten verschiedene signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bei der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung konnte eine signifikante Reduktion der Sprungkraftfähigkeit mit grosser Effektstärke im Vergleich zu anderen Messzeitpunkten festgestellt werden. Der RI1 war signifikant tiefer als 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (-19.80%; $d = 1.46$) und als direkt vor der Wettkampfbelastung (-15.86%; $d = 1.31$). Der RI2 war signifikant tiefer als 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (-23.4%; $d = 1.13$). Bei den Juniorinnen konnte eine signifikante Reduktion der Sprungkraftfähigkeit bei der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung zu denselben Messzeitpunkten festgestellt werden. Der RI1 war signifikant tiefer als 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (-20.55%;

$d = 1.62$) und als direkt vor der Wettkampfbelastung (-13.92% ; $d = 1.44$). Der RI2 war signifikant tiefer als 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung (-19.93% ; $d = 1.17$). Zusätzlich zu diesen Ergebnissen wurden bei den Juniorinnen auch eine signifikante Reduktion der Sprungkraftfähigkeit mit mittlerer bzw. kleiner Effektstärke von der Messung 24 Stunden vor der Wettkampfbelastung zu der Messung direkt vor der Wettkampfbelastung festgestellt werden (DJ RI1: -5.50% ; $d = 0.64$ / DJ RI2: -5.38% ; $d = 0.43$).

Diese Resultate könnten auf eine neuromuskuläre Ermüdung 24 Stunden nach einer Wettkampfbelastung hindeuten. Ähnliche Ergebnisse konnten auch Jensen et al. (2013) im Trampolinsport feststellen. Vor allem beim DJ konnten eine klare, signifikante Reduktion der Reaktivkraft festgestellt werden. Die Ursache hinter den Ergebnissen bei der mittelfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit könnten auf verschiedene Mechanismen zurückgeführt werden. Da sich diese Mechanismen schwierig erweisen lassen, sollte statt von neuromuskulärer Ermüdung eher von einer Reduktion der Explosiv- und Reaktivkraft durch eine sportartspezifische Belastung gesprochen werden. Die Mechanismen hinter dieser Veränderung sind sehr komplex (Gandevia, 2001; Taylor & Gandevia, 2008; Fitts, 2008) und lassen sich schwer präzise durch Sprungkraftmessungen eruieren.

Auch könnten weitere Einflüsse neben der Wettkampfbelastung zu dieser Reduktion der Reaktivkraft beigetragen haben. Beispiele dafür sind der gesamte Trainingsload und die sonstige Belastung im Alltag. Im Falle der Elite-Turnerinnen wurde die Wettkampfbelastung in der zweiten Wochenhälfte durchgeführt, und die Summe der vorherigen Trainingsbelastungen könnte die Veränderung beeinflusst haben. Die Juniorinnen absolvierten die Messungen im Trainingslager. Die Unterschiede zum normalen Trainingsbetrieb (andere Halle, Übernachtung, anderer Trainingsrhythmus) könnten den Einfluss auf die Resultate erklären. Das zeigte sich bei ihnen bereits mit einer Reduktion der Sprungkraftfähigkeit vor der Wettkampfbelastung verglichen mit der Messung 24 Stunden vorher. Der Einfluss des gesamten Trainingsloads im Verlaufe der Trainingswoche auf die neuromuskuläre Ermüdung bzw. auf die Reduktion der Explosiv- und Reaktivkraft wäre bestimmt eine interessante Untersuchung

4.3 Subjektive Ermüdung

4.3.1 Subjektives Belastungsempfinden

Die Ergebnisse zum subjektiven Belastungsempfinden zeigten, dass die Turnerinnen eine signifikant höhere Belastung nach der Bodenübung (14.65 ± 1.27) angaben. Das Empfinden der Belastung bei den Turnerinnen war deutlich höher als nach der Übung am Balken (10.85 ± 1.83)

und am Pferdsprung (11.10 ± 2.18). Dementsprechend nahmen die Turnerinnen die Bodenübung als deutlich beanspruchender wahr als die Übung am Balken und am Pferdsprung.

Das signifikant höhere subjektive Belastungsempfinden nach der Bodenübung kann auf die Anforderungen und reglementarischen Vorgaben der spezifischen Geräte zurückgeführt werden. Die Übung am Boden dauert um die 90 Sekunden, und es dürfen dabei bis zu vier Akrobatikreihen gezeigt werden (FIG, 2022). Weiter sind mit den heutigen Federböden die gezeigten Schwierigkeiten angestiegen (Naundorf et al., 2017). Am Pferdsprung muss nur ein Sprung ausgeführt werden (FIG, 2022), während am Balken durch die Bedingungen des Geräts mehr Fokus auf die Balance gelegt werden muss und akrobatische Elemente technisch anspruchsvoller sind (McLaughlin et al., 1995). Abschliessend führt dies dazu, dass am Boden immer mehr und schwierigere akrobatische Elemente ausgeführt werden und gleichzeitig die künstlerische Darstellung nicht vernachlässigt werden sollte, was zu höherer Belastung führen könnte.

4.3.2 Subjektiver Erholungszustand

Die Ergebnisse zum subjektiven Erholungszustand zeigten, dass sich die Turnerinnen 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung (5.10 ± 0.91) signifikant weniger erholt fühlten als 24 Stunden vor (6.50 ± 1.00) und am Tag der Wettkampfbelastung (6.10 ± 1.07).

Der signifikant tiefere subjektive Erholungszustand 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung könnte mit der Reduktion der Sprungkraftfähigkeit im gleichen Zeitraum in Verbindung gesetzt werden. Die Sprungkraftfähigkeit kann aufgrund von Ermüdung des zentralen Nervensystems oder aufgrund peripherer Veränderungen in der Muskulatur eingeschränkt sein (Gandevia, 2001). Diese Mechanismen könnten die Erholung der Turnerinnen einschränken und somit eine mögliche Begründung für einen tieferen, von den Turnerinnen wahrgenommenen Erholungszustand 24 Stunden später sein.

4.4 Korrelation zwischen Veränderung Sprungkraftfähigkeit und subjektiver Ermüdung

4.4.1 Korrelation kurzfristige Veränderung Sprungkraftfähigkeit / subjektive Belastung

Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der Sprungkraftparameter (CMJ, DJ) und dem subjektiven Belastungsempfinden nach verschiedenen Wettkampfübungen bei Juniorinnen ergab moderate, aber nicht signifikante Korrelationen.

Eine moderate, positive Korrelation wurde beim subjektiven Belastungsempfinden und dem CMJ am Balken festgestellt. Diese Korrelation deutet darauf hin, dass eine Zunahme des subjektiven Belastungsempfindens nach der Balkenübung tendenziell mit einer grösseren Zunahme

der Sprungkraftwerte im CMJ verbunden ist. Turnerinnen, welche sich mehr belastet fühlten, erreichten stärkere Verbesserungen im CMJ nach Balkenübungen. Moderate, negative Korrelationen wurden zwischen dem subjektiven Belastungsempfinden und dem DJ (RI1 und 2) nach der Übung am Boden sowie zwischen dem subjektiven Belastungsempfinden und dem CMJ nach dem Pferdsprung festgestellt. Da die Werte bei den Sprungkraftparametern tendenziell zunahmen, könnte diese Korrelation darauf hinweisen, dass ein höheres Belastungsempfinden mit einer kleineren Zunahme der jeweiligen Sprungkraftfähigkeit (DJ RI1 und DJ RI2 beim Boden, CMJ beim Pferdsprung) verbunden sein könnte. Turnerinnen, welche sich mehr belastet fühlten, erreichten nach Bodenübungen oder dem Pferdsprung kleinere Veränderungen der Explosiv- und Reaktivkraft.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das subjektive Belastungsempfinden in gewissem Masse mit den Veränderungen der Sprungkraftwerte verbunden ist, jedoch ist die Stärke dieser Zusammenhänge nicht ausreichend, um klare Vorhersagen zu treffen. Vielleicht wurde mit der Frage nach dem allgemeinen subjektiven Belastungsempfinden zu wenig spezifisch auf die Ermüdung der Beine und somit die Reduktion der Explosiv- und Reaktivkraft gezielt. Das heisst, dass die Frage nach dem subjektiven Belastungsempfinden enger an die Messung der Sprungkraftfähigkeit geknüpft werden sollte, indem zum Beispiel primär die subjektive Belastung der Beine erfragt wird. Damit wären möglicherweise höhere Korrelationen festgestellt werden.

4.4.2 Korrelation mittelfristige Veränderung Sprungkraftfähigkeit / subjektiver Erholungszustand

Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der mittelfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit und des subjektiven Erholungszustands gestaltete sich schwierig. Die Ergebnisse waren nicht schlüssig. Da bei beiden Parametern eine Abnahme bei der Messung 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung festgestellt wurde, könnte ein Zusammenhang bestehen. Dies müsste aber weiter untersucht werden.

Um allgemein aussagekräftigere Resultate zu den Zusammenhängen zu erhalten, müssten weitere Untersuchungen vorgenommen werden. Die nicht bestätigten Resultate könnten mit grösseren Stichproben untersucht werden. Die fehlenden signifikanten Korrelationen zwischen den Veränderungen der Sprungkraftparameter und den subjektiven Parametern könnte unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass die Analyse auf einer für Korrelationen relativ kleinen Stichprobe von gerade einmal zehn Juniorinnen basierte, was die statistische Power der Analyse reduziert. Eine geringere Power erschwert die Entdeckung signifikanter Zusammenhänge und erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass bestehende Zusammenhänge statistisch nicht erkennbar

sind. Weiter könnte bei zukünftigen Untersuchungen die Übungszusammenstellung (Schwierigkeit der Übung, Anzahl Elemente, Anzahl akrobatischer Elemente, Übungslänge) analysiert werden. Oder die Gruppen könnten nach Trainingszustand (konditionellen Faktoren, Leistungs-limit) unterschieden und untersucht werden.

4.5 Limitationen und Stärken der Untersuchung

Eine Stärke der Untersuchung liegt in der Nähe zur Realität, indem man Messungen direkt im Trainingsbetrieb der Kunstturnerinnen durchführen konnte. Dies ergibt die Chance, möglichst direkt in die Praxis übertragbare Ergebnisse zu erforschen. Es wurde angestrebt, eine Wettkampfbelastung im Kunstturnen der Frauen zu simulieren und gleichzeitig wissenschaftliche Messungen zu integrieren. Die Simulation einer Wettkampfbelastung ermöglicht es, die tatsächlichen physischen Belastungen, denen Turnerinnen im Wettkampf ausgesetzt sind, realistisch nachzubilden. Dadurch können wissenschaftliche Erkenntnisse auf reale Wettkampfsituationen übertragen werden, was die praktische Anwendung der Forschung erhöht.

Eine solche wissenschaftliche Untersuchung in der Realität des Sports Kunstturnen hat aber auch seine Schwierigkeiten und Limitationen. Beim Spitzensport ist die Belastung der Turnerinnen enorm, und Verletzungen und körperliche Beschwerden gehören dazu. Dies führte dazu, dass bei der ersten Datenerhebung nur gerade fünf Elite-Turnerinnen des Nationalkaders in der Lage waren, an der Untersuchung teilzunehmen. Dies hatte negativen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von signifikanten Resultaten und auf die generelle Aussagekraft für die Zielgruppe der Spitzenathletinnen. Besser sah es bei den Juniorinnen aus, wo zehn Turnerinnen die gesamte Datenerhebung absolvierten. Ergänzend kann aber festgehalten werden, dass zwar nur eine kleine, aber dafür hochkarätige Gruppe von Probanden die Messungen absolvierten.

Weiter konnten nicht alle Faktoren der Untersuchung selber bestimmt werden, da der Trainingsbetrieb sowie die Planung der Trainer Priorität hatten. Es brauchte das Einverständnis der Trainer und der Turnerinnen, und es galt, ihre Ansprüche miteinzubeziehen und Kompromisse einzugehen. In dieser Untersuchung konnte deswegen nicht bei beiden Datenerhebungen das gleiche Vorgehen durchgeführt werden.

4.6 Praktische Konsequenzen

Die mittelfristigen Veränderungen der Sprungkraftfähigkeit 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung deuten auf eine Reduktion der Explosiv- und Reaktivkraft hin. Auch der subjektive Erholungszustand der Turnerinnen war 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung signifikant tiefer. Es würde sich anbieten, diese Erkenntnis in die Trainingssteuerung zu integrieren. Nach

intensiven Wettkampfbelastungen sollten ausreichende Ruhe- und Erholungszeiten am folgenden Tag eingeplant werden und regenerative Massnahmen integriert werden. Eine bessere Regeneration ermöglicht es den Turnerinnen, ihr Leistungsniveau aufrechtzuerhalten und ihr relatives Verletzungsrisiko durch Ermüdung zu verringern (Moeskops et al., 2018). Auch könnten Sprungkraftmessungen in der Trainingssteuerung als Monitoring-Instrument eingesetzt werden, um die Trainingsbelastung sichtbar zu machen.

Ausserdem könnte ein intensiveres Aufwärmprogramm von Nutzen sein, damit die Turnerinnen bereits zu Beginn der Übungen bzw. des Wettkampfs möglichst maximal aktiviert sind und ihre Leistung an den Geräten besser abrufen können. Für ein aktivierendes Warm-Up-Programm sollten neben allgemeinen Aufwärmübungen auch Übungen mit höherer Belastung integriert werden, um eine stärkere neuromuskuläre Aktivierung zu erreichen. Intensive Übungen wie Sprünge mit maximaler Anstrengung, explosive Bewegungen, kurze Sprints oder andere Übungen, welche den PAP-Effekt auslösen, können dazu beitragen, die Muskeln optimal auf die spezifischen Anforderungen des Kunstturnens vorzubereiten (McGowan et al., 2015).

5 Schlussfolgerung

Diese Arbeit hat die Auswirkungen einer Wettkampfbelastung auf die Veränderung der Explosiv- und Reaktivkraft bei Elite- und Junioren-Kunstturnerinnen untersucht. Die Arbeit zielte darauf ab, sowohl die Veränderungen der Sprungkraftfähigkeit nach den Wettkampfübungen sowie 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung zu analysieren, als auch die Zusammenhänge zwischen objektiven und subjektiven Ermüdungsparametern zu untersuchen.

Die Analyse der kurzfristigen Veränderung der Sprungkraftfähigkeit nach den einzelnen Wettkampfübungen und nach der gesamten Wettkampfbelastung ergab keine signifikante Reduktion der Sprungkraftfähigkeit im Vergleich zu den Werten vor der Wettkampfbelastung, sondern sogar tendenziell höhere Werte. Diese Resultate unterscheiden sich zu vorherigen Untersuchungen (Isacco et al., 2019; Jensen et al., 2013). Die Ergebnisse könnten auf Aktivierungseffekte wie den PAP-Effekt (Sale, 2002; Hodgson, et al., 2005; Tillin & Bishop, 2009) oder auf ein zu wenig intensives Aufwärmen zurückgeführt werden. Im Hinblick auf die mittelfristige Veränderung der Sprungkraftfähigkeit zeigten die Ergebnisse eine signifikante Reduktion der Reaktivkraft 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung.

Das subjektive Belastungsempfinden der Juniorinnen war nach der Bodenübung am höchsten. Ebenso fühlten sich die Turnerinnen 24 Stunden nach der Wettkampfbelastung signifikant weniger erholt bzw. stärker ermüdet. Zwischen der Veränderung der Sprungkraftfähigkeit und den Parametern der subjektiven Ermüdung konnten jedoch keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden ($r < 0.42$; $p > 0.24$).

Die Untersuchung liefert wertvolle Erkenntnisse für die Trainingssteuerung im Kunstturnen der Frauen. Die Ergebnisse legen nahe, dass intensive Wettkampfbelastungen eine mittelfristige Reduktion der Sprungkraftfähigkeit auslösen und deshalb ausreichende Erholungs- und Regenerationszeiten eingeplant werden sollten. Dies um die Leistung wieder zu erreichen und das Verletzungsrisiko durch Ermüdung zu reduzieren. Zudem könnte ein intensiveres Warm-Up-Programm hilfreich sein, welches maximale Sprünge und Übungen enthält, die den PAP-Effekt auslösen. Dies um die neuromuskuläre Aktivierung und die Leistung in Wettkampfsituationen zu optimieren.

Für zukünftige Forschung wäre es sinnvoll, grössere Stichproben zu verwenden, um die festgestellten Ergebnisse weiter zu vertiefen, die Zusammenhänge genauer analysieren zu können und weitere Einflussfaktoren auf die Veränderung der Explosiv- und Reaktivkraft nach Wettkampfbelastungen oder auch Trainingsbelastungen wie beispielsweise über den Verlauf einer Trainingswoche zu untersuchen.

Literatur

- Arampatzis, A., Stafilidis, S., Morey-Klapsing, G., & Brüggemann, G.-P. (2004). Interaction of the Human Body and Surfaces of Different Stiffness during Drop Jumps. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(3), 451-459.
<https://doi.org/10.1249/01.Mss.0000117166.87736.0a>
- Atiković, A. & Smajlović, N. (2011). Relation between vault difficulty values and biomechanical parameters in men's artistic gymnastics. *Science of Gymnastics Journal*, 3(3), 91-105. <https://www.fsp.uni-lj.si/mma/-/20111001004127/?m=1317422483>
- Borg, G. (1970) Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2, 92–98.
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., ... & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 20(4), 397-402.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. New York, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- De Oliveira, M. H., De Queiroz Lima, L. B., & Costa, A. R. (2022). Women's Artistic Gymnastics Routine Composition At Rio 2016 Olympic Games: A Technical Analysis Of Balance Beam And Floor Exercise Routines. *Science of Gymnastics Journal*, 14(1), 17-28. <https://doi.org/10.52165/sgj.14.1.17-28>
- F. I. G. (2022). WERTUNGSVORSCHRIFTEN 2022 - 2024 Kunstturnen Frauen.
https://www.gymnastics.sport/publicdir/rules/files/de_2022-2024%20WAG%20COP.pdf
- Fitts, R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of applied physiology*, 104(2), 551-558. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01200.2007>
- Fradkin, A. J., Zazryn, T. R., & Smoliga, J. M. (2010). Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 140-148. DOI: [10.1519/JSC.0b013e3181c643a0](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c643a0)
- Gandevia S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81 (4), 1725 - 1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>

- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2522-2531. DOI [10.1519/JSC.0000000000000912](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912)
- Güllich, A., & Krüger, M. (2013). *Sport. Das Lehrbuch für das Sportstudium*. Springer Spektrum Berlin.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(7/8), 223-234. https://www.germanjournalsportsmedicine.com/fileadmin/content/archiv1999/Heft0708/1999_07-08_KRAFTFAEHIGKEITEN.pdf
- Hegner, J. (2015). *Training fundiert erklärt: Handbuch der Trainingslehre (6. überarbeitete Auflage)*. Ingold: Herzogenbuchsee
- Heinen, T., Naundorf, F., Scharenberg, S., Schlegel, K., & Krug, J. (2019). Gerät- und Kunstturnen. In A. Güllich & M. Krüger (Hsg.), *Grundlagen von Sport und Sportwissenschaft: Handbuch Sport und Sportwissenschaft*, 1 – 12, Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53384-0_38-1
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports medicine*, 35, 585-595. DOI: [10.2165/00007256-200535070-00004](https://doi.org/10.2165/00007256-200535070-00004)
- Isacco, L., Ennequin, G., Cassirame, J., & Tordi, N. (2019). Physiological pattern changes in response to a simulated competition in elite women's artistic gymnasts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(10), 2768-2777. DOI: [10.1519/JSC.0000000000002184](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002184)
- Jensen, P., Scott, S., Krustrup, P., & Mohr, M. (2013). Physiological responses and performance in a simulated trampoline gymnastics competition in elite male gymnasts. *Journal of sports sciences*, 31(16), 1761-1769. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.803591>
- Jones, J. G., & Hardy, L. (1990). *Stress and performance in sport*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Kalinski, S. D., Kezić, A., & Jelaska, I. (2020). Composition of female gymnastics uneven bars routines: insight through five Olympic cycles. *Acta Kinesiologica*, 14(1), 92-100.
- Koperski, A., Kochanowicz, A. & Słodkowski, C. (2010). Gymnasts' Special Quickness-Force Abilities and the Indicators of Jump from a Springboard. *Baltic Journal of Health and Physical activity* 2, 139–143 DOI: 10.2478/v10131-0014-9

- Maier, T., Gross, M., Trösch, S., Steiner, T., Müller, B., Bourban, P., Schärer, C., Hübner, K., Wehrlin, J., Tschopp, M., Wilhelm, M., Clénin, G. E., Züst, P., Seidel, R., & Javet, M. (2016). Manual Leistungsdiagnostik. https://www.swissolympic.ch/dam/jcr:b15b191a-eb0d-46e8-b9c0-417b887a440d/Leistungsdiagnostik_Manual_160201_DE.pdf
- Marina, M., & Rodríguez, F. A. (2014). Physiological demands of young women's competitive gymnastic routines. *Biology of sport*, 31(3), 217-222. DOI: [10.5604/20831862.1111849](https://doi.org/10.5604/20831862.1111849)
- Martínez-Martí, F., Latorre-Román, P. A., Martínez-García, M. S., Soto-Hermoso, V. M., Carvajal, M. A., López-Bedoya, J., & Palma, A. J. (2021). Acute Effects of Muscular Fatigue on Vertical Jump Performance in Acrobatic Gymnasts, Evaluated by Instrumented Insoles: A Pilot Study. *Journal of Sensors*, 2021, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2021/8849100>
- Mathelitsch, L., & Thaller, S. (2013). Kraftvolle Eleganz: Geräteturnen. *Physik in unserer Zeit*, 44(1), 40-43.
- McGowan, C. J., Pyne, D. B., Thompson, K. G., & Rattray, B. (2015). Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sports medicine*, 45, 1523-1546. DOI: [10.1007/s40279-015-0376-x](https://doi.org/10.1007/s40279-015-0376-x)
- McLaughlin, P. A., Geiblinger, H. & Morrison, W. E. (1995, 18. – 22. Juli). *Take-off kinematics of beam dismounts* [Konferenzbeitrag]. 13. International Symposium on Biomechanics in Sports (1995), Ontario, Kanada. <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/2935/0>
- Mcneal, J. R., Sands, W. A., & Shultz, B. B. (2007). Muscle activation characteristics of tumbling take-offs. *Sports Biomechanics*, 6(3), 375-390. <https://doi.org/10.1080/14763140701491393>
- Moeskops, S., Oliver, J. L., Read, P. J., Cronin, J. B., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2019). The physiological demands of youth artistic gymnastics: applications to strength and conditioning. *Strength & Conditioning Journal*, 41(1), 1-13. DOI: 10.1519/SSC.0000000000000404
- Naundorf, F., Brehmer, S., Knoll, K., Bronst, A. & Wagner, R. (2008). Development of the velocity for vault runs in artistic gymnastics for the last decade. In XXVI International Symposium of biomechanics in sports, 481–484. <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/1905>

- Naundorf, F., Brehmer, S., Körner, S. & Seidel, I. (2017). Analyse aktueller Entwicklungstendenzen im Gerätturnen in J. Wick, I. Seidel & D. Büsch (Hrsg.), *Olympiaanalyse Rio 2016*, 129 - 141. Aachen: Meyer & Meyer Verlag. doi.org/10.5771/9783840312373
- Naundorf, F. & Seedorf-Sinn, A. (2022). Teilnehmerfeld und Entwicklungstendenzen im Gerätturnen bei den Olympischen Spielen in Tokio. in J. Wick, F. Lehmann & M.- O. Löw (Hrsg.), *Olympiaanalyse Tokio 2020*, 245 – 259, Aachen: Meyer & Meyer Verlag. doi.org/10.5771/9783840314575
- Overlin, A. J. F., Chima, B., & Erickson, S. (2011). Update on artistic gymnastics. *Current sports medicine reports*, 10(5), 304-309. DOI: [10.1249/JSR.0b013e31822dc3b2](https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31822dc3b2)
- Reinhart, L. (2021). Zusammenhang zwischen der Flug- /Treibhöhe bei verschiedenen Elementen im Kunstturnen der Frauen und konditionellen Voraussetzungen der unteren Extremitäten. Untersuchung mit Nachwuchskunstturnerinnen des regionalen Leistungszentrums Bern [Bachelorarbeit, Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM]. Magglingen.
https://www.ppdb.ehsm.ch/inf2/rm/f.php?f=20211008095813_615ffa15a2b58.pdf&n=BA_Luca_Reinhart_Christoph_Schaerer_03.06.2021.pdf
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(3), 138-143. DOI: [10.1097/00003677-200207000-00008](https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00008)
- Schärer, C. (2012). *Standardisierte Bodenübung im Kunstturnen. Zusammenhang zwischen Sprunghöhen einer Serie von sieben Salti rückwärts gestreckt und physiologischen Parametern. Überprüfung der Gütekriterien des neuen sportartspezifischen Testverfahrens* [Masterarbeit, Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM]. Magglingen.
- Schärer, C., Haller, N., Taube, W. & Hübner, K. (2019). Physical determinants of vault performance and their age-related differences across male junior and elite top-level gymnasts. *PLOS ONE*, 14(12), e0225975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225975>
- Schärer, C., Lehmann, T., Naundorf, F., Taube, W. & Hübner, K. (2019). The faster, the better? Relationships between run-up speed, the degree of difficulty (D-score), height and length of flight on vault in artistic gymnastics. *PLOS ONE*, 14(3), e0213310. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213310>
- Schärer, C., Reinhart, L. & Hübner, K. (2021, 19. – 20. Oktober). *Die Sprunghöhe im Kunstturnen der Frauen wird zu über 90% durch die Reaktivkraft erklärt* [Konferenzposter].

Magglinger Trainertagung, Magglingen, Schweiz. https://www.swissolympic.ch/dam/jcr:26fcf124-ce21-4b1f-9abb-bb5caf3f7011/Book_of_Posters_2021_A4h_def.pdf

Seemann-Sinn, A., Brehmer, S., Naundorf, F., & Wolfarth, B. (2021). Development of the routine duration in artistic gymnastics from 1997 to 2019. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(2), 250-262.

<https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1877601>

Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2008). A comparison of central aspects of fatigue in sub-maximal and maximal voluntary contractions. *Journal of applied physiology*, 104(2), 542-550. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01053.2007>

The jamovi project (2023). jamovi (2.3.21) [Software]. <https://www.jamovi.org/>

Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports medicine*, 39, 147-166. DOI: [10.2165/00007256-200939020-00004](https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004)

Anhang

Protokollvorlagen

Abbildung 11

Protokollvorlage Messung CMJ



CYCESS ist lizenziert für Swiss Turnen

Vertikalsprung

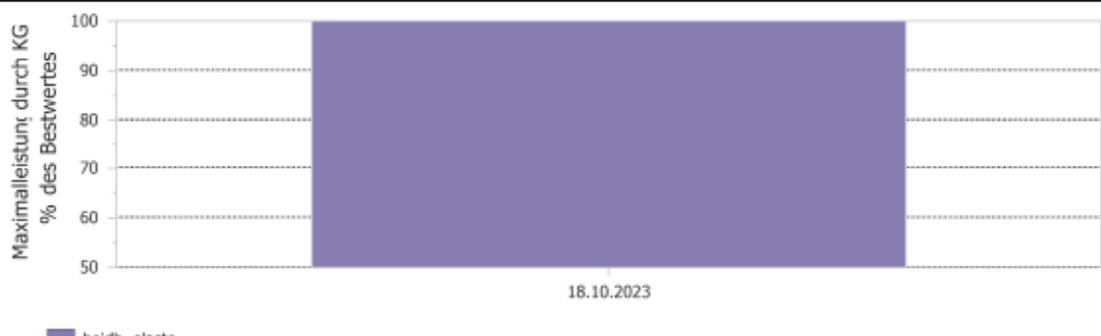
Testdatum	18.10.2023	Vortest	-	Zielwert	NK Frauen
Gewicht	60.0 kg	Gewicht	- kg		
Bemerkung	-	Bemerkung	-		

Resultate

Mittelwerte		Maximalleistung durch Körpergewicht [W/kg]				Sprunghöhe [cm]				Beschleunigungsweg [cm]	
		Test	Vortest	Diff. %	Zielwert	Test	Vortest	Diff. %	Zielwert	Test	Vortest
beidbeinig	elastodyn.	58.7	-	-	-	36.8	-	-	-	25.0	-
beidbeinig	statodyn.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
einbeinig	links	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
einbeinig	rechts	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seitendifferenz		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bilaterales Defizit				Effect of Prestretch			
-	-	-	-	-	-	-	-

Entwicklungsprofil



The chart shows a single bar for the date 18.10.2023, representing the value 'beidb. elasto' at 100% of the best value.

Beurteilung / Trainingsempfehlung

-

Anmerkung. Bei den Messungen mit der Kraftmessplatte (MLD Test Evo 2, SPSport, Innsbruck, Österreich) konnten Protokolle zu den Messungen in der Datenbank generiert werden. Ausserdem konnten die Daten über Excel exportiert werden.

Abbildung 12

Protokollvorlage Messung DJ

Drop Jump

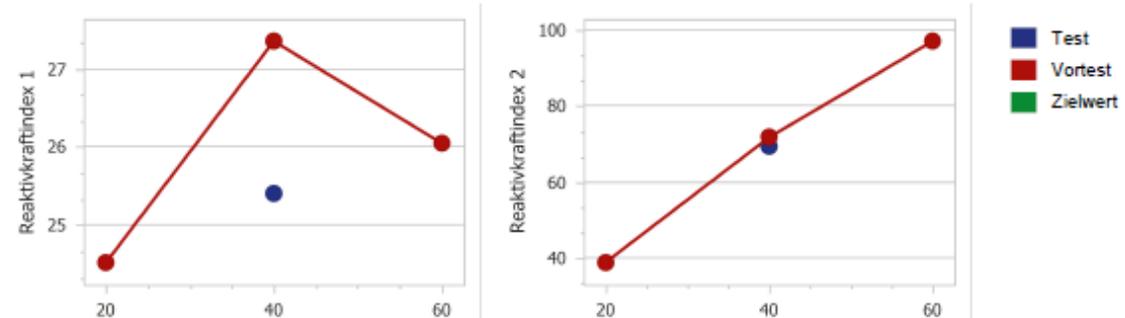
[Redacted Name]

Testdatum 18.10.2023 Vortest 16.10.2023 Zielwert NK Frauen
Gewicht 59.9 kg Gewicht 59.8 kg
Bemerkung - Bemerkung -

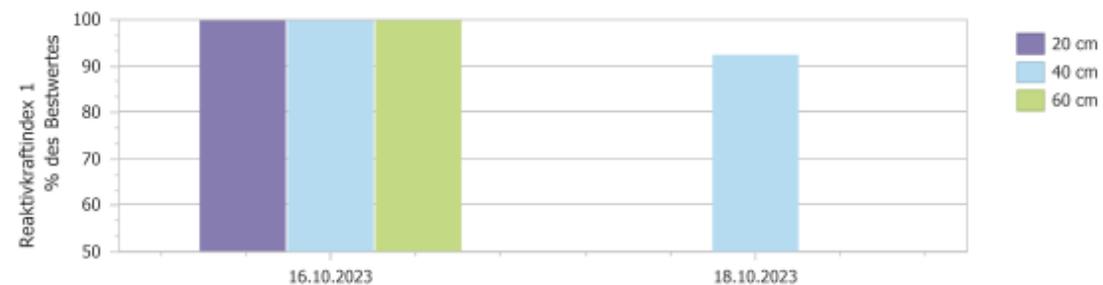
Resultate

Ausführung	Reaktivkraftindex 1 Höhe/Kontaktzeit			Sprunghöhe [cm]		Kontaktzeit [ms]		Reaktivkraftindex 2 Prel(-)*Prel(+)/100		
	Test	Vortest	Diff. %	Test	Vortest	Test	Vortest	Test	Vortest	Diff. %
20 cm	-	24.5	-	-	29.5	-	121	-	38.7	-
40 cm	25.4	27.3	-7.1	27.6	30.3	109	111	69.6	71.8	-3.1
60 cm	-	26.0	-	-	29.2	-	112	-	97.2	-
Maximalwert	25.4	27.3		27.6	30.3	109	121	69.6	97.2	
Zielwert	-	-		-	-	-	-	-	-	

Reaktivkraftindex



Entwicklungsprofil



Beurteilung / Trainingsempfehlung

-

Anmerkung. Bei den Messungen mit der Kraftmessplatte (MLD Test Evo 2, SPSport, Innsbruck, Österreich) konnten Protokolle zu den Messungen in der Datenbank generiert werden. Ausserdem konnten die Daten über Excel exportiert werden.

Rohdaten

Tabelle 7

Rohdaten Countermovement Jump (P_{max_rel}) der Elite- und Junioren-Turnerinnen ($n = 15$) sortiert nach den verschiedenen Messzeitpunkten

Turnerin (Gruppe & Nr.)	24 Stunden vorher	Vor WKB	Nach Balken	Nach Boden	Nach Sprung	Nach WKB	24 Stunden nachher
Juniorin 1	45.19	44.76	44.44	46.19	50.87	48.09	46.67
Juniorin 2	50.04	49.99	52.37	53.52	51.17	50.41	48.65
Juniorin 3	50.70	49.17	53.54	48.70	50.55	51.52	49.17
Juniorin 4	49.25	50.24	47.70	46.18	47.98	46.46	45.31
Juniorin 5	46.45	45.40	48.08	44.25	47.17	46.28	44.36
Juniorin 6	41.47	40.47	46.24	45.22	44.57	42.36	42.30
Juniorin 7	50.28	48.07	52.60	49.57	50.56	51.12	46.76
Juniorin 8	47.53	48.90	49.64	48.88	51.88	48.52	46.59
Juniorin 9	52.87	51.65	55.00	51.33	54.92	55.40	51.91
Juniorin 10	39.82	38.82	39.28	41.68	40.31	41.23	37.79
Elite 1	55.20	58.30	58.50	57.50		58.80	54.60
Elite 2	58.70	59.20					
Elite 3	57.20	58.00	59.20	59.90	60.70	59.70	58.20
Elite 4	51.50	54.70	52.60	55.50	51.20	53.00	54.50
Elite 5	47.50	52.20	53.70	54.20	52.40	52.50	49.40

Anmerkung. Alle Werte sind als Durchschnitt der beiden gemessenen Sprünge angegeben; WKB = Wettkampfbelastung.

Tabelle 8

Rohdaten Drop Jump RII ($h_s / 10 t_k$) der Elite- und Junioren-Turnerinnen ($n = 14$) sortiert nach den verschiedenen Messzeitpunkten

Turnerin (Gruppe & Nr.)	24 Stunden vorher	Vor WKB	Nach Balken	Nach Boden	Nach Sprung	Nach WKB	24 Stunden nachher
Juniorin 1	19.14	16.08	19.31	19.04	18.55	18.06	13.54
Juniorin 2	17.66	17.36	17.10	18.86	17.12	17.45	13.51
Juniorin 3	19.66	20.44	20.43	21.05	16.27	15.62	18.68
Juniorin 4	13.97	11.73	15.24	14.75	14.52	12.84	11.97
Juniorin 5	21.81	23.46	23.30	22.83	23.05	21.53	19.82
Juniorin 6	17.38	17.27	18.55	15.14	18.46	14.77	15.93
Juniorin 7	21.04	19.23	21.99	21.90	21.12	18.67	15.00
Juniorin 8	21.19	20.05	21.10	21.25	20.81	20.14	16.93
Juniorin 9	25.24	24.42	27.16	29.16	26.58	27.33	24.34
Juniorin 10	15.99	12.42	13.79	14.89	17.65	18.23	10.45
Elite 1	25.40	27.40					
Elite 2	19.90	18.50	18.60	18.00	19.60	17.90	18.40
Elite 3	19.50	19.90	21.60	22.10	20.40	19.90	19.20
Elite 4	22.80	23.20	21.70	24.00	24.90	23.20	19.80

Anmerkung. Alle Werte sind als Durchschnitt der beiden gemessenen Sprünge angegeben; WKB = Wettkampfbelastung.

Tabelle 9

*Rohdaten Drop Jump RI2 ($(P_{neg} * P_{pos}) / 100$) der Elite- und Junioren-Turnerinnen ($n = 14$) sortiert nach den verschiedenen Messzeitpunkten*

Turnerin (Gruppe & Nr.)	24 Stunden vorher	Vor WKB	Nach Balken	Nach Boden	Nach Sprung	Nach WKB	24 Stunden nachher
Juniorin 1	45.47	38.79	48.42	46.51	44.58	41.48	32.02
Juniorin 2	32.47	29.35	34.55	41.73	36.52	38.27	31.01
Juniorin 3	44.56	47.62	45.07	47.61	31.20	31.20	42.68
Juniorin 4	24.37	20.70	26.45	26.24	27.55	23.10	24.30
Juniorin 5	49.94	57.13	54.53	53.13	51.59	52.23	42.17
Juniorin 6	39.90	39.86	36.67	33.62	40.75	32.78	36.00
Juniorin 7	44.93	44.51	47.84	48.92	45.80	41.38	32.81
Juniorin 8	45.76	41.73	45.14	47.81	44.90	45.17	35.90
Juniorin 9	58.16	55.63	62.36	71.94	61.42	67.48	56.17
Juniorin 10	35.27	22.87	26.35	30.15	39.16	40.46	17.86
Elite 1	69.60	71.40					
Elite 2	38.80	30.40	32.20	30.10	35.40	28.10	34.30
Elite 3	41.20	44.40	49.00	50.10	48.40	40.20	41.60
Elite 4	61.10	58.00	54.00	62.30	64.40	58.00	48.40

Anmerkung. Alle Werte sind als Durchschnitt der beiden gemessenen Sprünge angegeben; WKB = Wettkampfbelastung.

Tabelle 10*Rohdaten subjektives Belastungsempfinden nach Wettkampfübung Juniorinnen (n = 10)*

Turnerin	Nach Balken	Nach Boden	Nach Sprung
Juniorin 1	11	12	9
Juniorin 2	12	15.5	11
Juniorin 3	10	14	9
Juniorin 4	9	16	14
Juniorin 5	11	15	10
Juniorin 6	12	15.5	10
Juniorin 7	13.5	15.5	15
Juniorin 8	13	15	13
Juniorin 9	9	13	11
Juniorin 10	8	15	9

Anmerkung. Subjektives Belastungsempfinden nach Borg (1970).**Tabelle 11***Rohdaten subjektiver Erholungszustand der Juniorinnen (n = 10)*

Turnerin	24 Stunden vorher	Vor WKB	24 Stunden nachher
Juniorin 1	4.5	6	3.5
Juniorin 2	7	8	6
Juniorin 3	8	6	5
Juniorin 4	7	5	5
Juniorin 5	6	6	5
Juniorin 6	6	5.5	4.5
Juniorin 7	6	5.5	5
Juniorin 8	7.5	8	7
Juniorin 9	6	5	5
Juniorin 10	7	6	5

Anmerkung. Subjektiver Erholungszustand auf Skala von 1 – 10; WKB = Wettkampfbelastung.

Borg-Skala für die Messung des subjektiven Belastungsempfindens

Tabelle 12

Borg-Skala zur Messung des subjektiven Belastungsempfindens nach einer Wettkampfübung bei Juniorinnen

Wert auf der Borg-Skala	Subjektive Wahrnehmung der Belastung
6	
7	Extrem leicht
8	
9	Sehr leicht
10	
11	Leicht
12	
13	Etwas Anstrengend
14	
15	Anstrengend
16	
17	Sehr Anstrengend
18	
19	Extrem Anstrengend
20	

Anmerkung. Subjektives Belastungsempfinden nach Borg (1970).