universität wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der Trainierbarkeit von Kraft und Muskelmasse – ein systematischer Review"

verfasst von / submitted by

Leeb Sebastian, MEd, BEd, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	UA 066 826
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Sportwissenschaften.
Betreut von / Supervisor:	Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Endlich…

Ich kann gar nicht beschreiben, wie lange ich mich auf diesen Moment gefreut habe. Im Jahr 2020, als ich meine erste Masterarbeit schrieb, lag noch ein langer Weg vor mir, der nun endlich in die Zielgerade mündet. Die letzten Jahre, insbesondere das Jahr der Coronapandemie, waren vermutlich die schwierigsten meines bisherigen Lebens, weshalb ich unglaublich dankbar und froh bin, dass ich trotz vieler Schwierigkeiten mein Ziel nie aus den Augen verloren habe.

Daher möchte ich zum Abschluss meines Studiums einigen Personen danken, die mir meinen Traum ermöglicht bzw. mich immer unterstützt haben. Gleich vorweg möchte ich meiner Mutter, die bereits meine zweite Masterarbeit korrekturgelesen hat, von ganzem Herzen danken. All die Jahre hast du mich unterstützt und mir geholfen, nicht aufzugeben – Danke!

Weiters gilt mein größter Dank meiner Freundin Sarah, die eine unglaubliche Stütze für mich darstellte und in der Einsamkeit meines Schaffens der einzige Lichtblick war – Danke!

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei ein paar besonderen Freunden bedanken, die mich insbesondere in den beiden letzten Jahren aufgebaut und immer wieder Freude in mein Leben gebracht haben. Mätti, Jakob, Willy und Kathi: vielen Dank für eure tolle Unterstützung – auf eine lange Freundschaft und neue Herausforderungen.

Last but not least gilt meinem Betreuer Harry Tschan mein großer Dank, der bereits das zweite Mal meine Arbeit betreut und mir stets hilfreich zur Seite stand – Danke!

Zusammenfassung

Einleitung: Krafttraining ist ein adäquates Mittel sowohl zur Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit als auch um die allgemeine Gesundheit und das Wohlbefinden zu verbessern. Außerdem birgt es eine Vielzahl an Anpassungserscheinungen, die für einen Großteil der Weltbevölkerung gesundheitliche Vorteile bringen. Obwohl die Auswirkungen eines Krafttrainings gut erforscht sind, herrscht noch Uneinigkeit hinsichtlich der physiognomischen Unterschiede bei Männern und Frauen. Frauen weisen im Zuge eines Krafttrainings andere Anpassungserscheinungen auf als Männer. Unter anderem gibt es geschlechterabhängige Reaktionen bezüglich der Muskelmasse und der Muskelkraft, der hormonellen Regulation, der Muskelarchitektur, der Energiespeicherung, der Verwendung von Energiesubstraten, des muskulären Erholungsprozesses und der Rekrutierungsmuster von motorischen Einheiten.

Zielsetzung: Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, welche geschlechterspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Trainierbarkeit von Muskelkraft sowie Muskelmasse vorhanden sind. Darüber hinaus wurde versucht eine geeignete Trainingsform für Männer als auch für Frauen herauszufiltern.

Methode: Es wurde ein systematisches Literaturreview zur Beantwortung der Forschungsfragen durchgeführt. Die Datenbanken „Pubmed“, „Web of Science“ und „Scopus“ wurden nach passender Literatur durchsucht. Anhand von definierten Einschluss- und Ausschlusskriterien wurden acht Studien ausgewählt, die für die Beantwortung herangezogen worden sind.

Ergebnisse: Insgesamt waren die Ergebnisse sehr inkonsistent und es konnte lediglich eine Tendenz gesehen werden, dass Frauen auf die Körpermasse bezogen eine relativ ähnliche oder höhere Steigerung der Muskelkraft erzielen können. Die Daten, die für die Muskelhypertrophie vorlagen, waren zu gering, um ein Ergebnis ableiten zu können. Eine wesentliche Rolle spielt hier das Trainingsvolumen, das bei den untersuchten Studien deutlich variierte. Hinsichtlich der Trainingsform konnte ebenfalls keine konkrete Aussage getroffen werden, denn aufgrund der unterschiedlichen Anpassungserscheinungen von Männern und Frauen müssen diese in separaten Studien analysiert werden.

Schlüsselwörter: Krafttraining, geschlechterspezifische Unterschiede, Muskelkraft, Muskelmasse

Abstract

Introduction: Strength training is an efficient way to increase athletic performance as well as to improve overall health and wellbeing. There are plenty of adaptation phenomena that bring health benefits to a large part of the world's population. Although the effects of strength training have been well researched, there is still some disagreement about the differences between men and women. During strength training, women show different symptoms of adjustment than men. Among other things, there are gender-dependent reactions regarding muscle mass and strength, hormonal regulation, muscle architecture, energy storage, the use of energy substrates, the muscular recovery process and the recruitment pattern of motor units.

Objective: The aim of this work was to analyze the gender-specific differences which exist regarding the trainability of muscle strength and muscle mass. In addition, it was attempted to determine which kind of strength training is more suitable for men or women.

Method: A systematic literature review was performed to answer the research questions. The databases "Pubmed", "Web of Science" and "Scopus" were searched for appropriate literature. Based on defined inclusion and exclusion criteria, eight studies were selected that were used for answering.

Results: Overall, the results were very inconsistent and only a tendency could be seen that women can achieve a relatively similar or higher increase in muscle strength in relation to body mass. The data available for muscle hypertrophy was too small to be able to derive a result. The training volume, which was different in the examined studies, has a decisive influence on muscle strength and muscle hypertrophy. Regarding the type of training, no concrete statement could be made either, because due to the different adaptations of men and women. These differences must be analyzed in separate studies.

Key words: strength training, gender differences, muscle strength, muscle mass

1 Einleitung und Problemstellung 1
1.1 Forschungsfrage und Zielsetzung 3
1.2 Methodik 4
1.3 Prisma Chart / Flow Diagramm 6
1.4 Auswahl der Studien 7
2 Theoretische Grundlagen der Muskulatur, der Kraft und des Krafttrainings 8
2.1 Die Skelettmuskulatur 8
2.1.1 Aufbau eines Muskels 9
2.1.2 Muskelkontraktion 10
2.1.3 Membransystem einer Muskelzelle 12
2.1.4 Hintergrund der Kontraktionsaktivierung 14
2.1.5 Energiestoffwechsel in der Muskulatur 16
2.1.6 Muskelprotein 17
2.1.7 Unterteilung der Muskelfasern 18
2.1.8 Motorische Einheit 22
2.1.9 Intra- und Intermuskuläre Koordination 23
2.2 Kraft und Krafttraining 24
2.2.1 Struktur und Erscheinungsformen der Kraft 25
2.2.2 Belastungsnormative 29
2.2.3 Gesundheitlichen Aspekte des Krafttrainings 31
2.2.4 Muskelaufbautraining und Maximalkrafttraining 33
2.2.5 Muskelhypertrophie in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter 35
3 Hauptteil 39
3.1 Pedro-Skala 39
3.1.1 Skalenkriterien 39
3.1.2 Übersichtstabelle PEDro Skala 40
3.2 Studienübersicht 40
3.3 Analyse der Studien 42
3.3.1 Analysis of the training load during a hypertrophy-type resistance training program in men and women 42
3.3.2 Comparison of upper body strength gains between men and women after 10 weeks of resistance training 46
3.3.3 Effect of 16 weeks of resistance training on strength endurance in men and women 48

3.3.4 Multiple fitness improvements found after 6-months of high intensity functional training....51
3.3.5 Sex-related response to eccentric-only resistance training in knee-extensors muscle strength and architecture....54
3.3.6 The effect of high-intensity circuit training on physical fitness....56
3.3.7 Long-term strength adaptation: A 15-year analysis of powerlifting athletes....60
3.3.8 Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages....62
4 Diskussion der Ergebnisse....67
5 Zusammenfassung und Ausblick....77
Literaturverzeichnis....79
Tabellenverzeichnis....89
Eidestaatliche Erklärung....90

1 Einleitung und Problemstellung

Krafttraining bzw. Widerstandstraining ist ein adäquates Mittel, sowohl zur Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit, als auch, zur Verbesserung der allgemeinen Gesundheit und des Wohlbefindens. Darüber hinaus birgt es zahlreiche physiologische, morphologische, neurologische und metabolische Adaptationen, die für einen Großteil der weltweiten Populationen gesundheitliche Vorteile bringen (ACSM, 2009). Allerdings erfolgen die Anpassungserscheinungen nicht gleichzeitig, sondern in einer gewissen Abfolge. In den ersten Wochen eines Krafttrainings werden bei untrainierten Personen hauptsächlich neuronale Anpassungserscheinungen bei einer relativ geringen Zunahme der Muskelhypertrophie erreicht (Schoenfeld, 2010). Infolgedessen werden weitere Kraftzuwächse zunehmend von morphologischen Anpassungen abhängig (Cormie et al., 2010). Dadurch hat sich Krafttraining als eine geeignete Methode zur Steigerung der Muskelkraft und -hypertrophie bei Männern und Frauen etabliert (Kell, 2011; Salvador et al., 2009). Insbesondere kann solch eine Muskelhypertrophie bei einer Trainingslast ab 60% des Ein-Wiederholungsmaximums (1-RM) hervorgerufen werden. Man geht davon aus, dass ein Muskelwachstum gleichermaßen mit schweren oder leichten Lasten stattfinden kann, wobei schwere Lasten im Vergleich zu leichten einen Trend zu einem stärkeren Wachstum aufweisen (Schoenfeld et al., 2016). Zur Verbesserung der Muskelkraft bzw. des 1-RM eignen sich schwere Lasten, die dem 1-RM ähneln, im Vergleich zu leichteren Lasten (Schoenfeld et al., 2017). Ein Erklärungsmodell bietet hier das Prinzip der Spezifität, das besagt, dass die Übertragung des Trainings umso größer ist, je genauer es den Zielanforderungen entspricht (Haff et al., 2016). Um einen Vergleich hinsichtlich der Muskelkraft zwischen unterschiedlichen Personengruppen herstellen zu können, ist die Differenzierung in relative und absolute Kraft essenziell. Die absolute Kraft bezieht sich auf die maximale Kraft, die zum Beispiel mit dem 1-RM gemessen werden kann. Demgegenüber steht die relative Kraft, die anthropometrische Faktoren berücksichtigt, indem sie absolute Lasten durch die Körpermasse einer Person dividiert. Die relative Kraft hat eine große Bedeutung, wenn die Kraftniveaus von Personen mit unterschiedlicher Körpergröße und Gewicht miteinander verglichen werden, wie zum Beispiel bei Frauen und Männern (Fleck et al., 2014). Augenscheinlich ist, dass Frauen andere Anpassungsreaktionen im Zuge eines Krafttraining entwickeln als Männer. Es gibt demnach geschlechtsabhängige Reaktionen hinsichtlich der Muskelkraft und -masse, der hormonellen Regulation, der Muskelarchitektur, der Energiespeicherung, der Verwendung von Energiesubstraten, des muskulären Erholungsprozesses und der Rekrutierungsmuster der motorischen Einheiten (Ribeiro et al., 2014; Ribeiro et al., 2015; Ribeiro et al., 2014; Salvador et al., 2005; Salvador et al., 2009).

Salvador et al. (2009) untersuchten zum Beispiel die Ermüdungserscheinungen bei Übungen wie Bankdrücken, Kniebeuge und Armbeuge nach acht Wochen Trainingsintervention zwischen Männern und Frauen. Es stellte sich heraus, dass Frauen nach diesem Zeitraum im Vergleich zu Männern eine bessere Ermüdungsresistenz aufwiesen, wobei es hinsichtlich des Ermüdungsindexes keine signifikanten Unterschiede nach acht Wochen gab. Zu einem ähnlichen Schluss kommen auch Avin et al. (2010), die in einem systematischen Review Unterschiede hinsichtlich der Ermüdungsresistenz zwischen den Geschlechtern ersichtlich machten. Große Unterschiede gibt es speziell bei isometrischen Kontraktionsformen, wobei diese beispielsweise bei einer Änderung der Kontraktionsform, der Erhöhung der kognitiven Belastung, der Kontraktionsintensität oder des Alters zwischen den Geschlechtern geringer werden. Nichtsdestotrotz sind diese Ergebnisse nicht eindeutig. Ribeiro et al. (2014) untersuchten die Ermüdungsresistenz bei Männern und Frauen im Zuge von zwei Übungen: Bankdrücken und Armbeugen innerhalb einer 16-wöchigen Studie. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Studien von Salvador et al. (2009) und Ribeiro et al. (2014) lassen sich womöglich auf ein größeres Probandenkollektiv und die längere Trainingsintervention bei der Studie von Ribeiro et al. (2014) erklären.

Ribeiro et al. (2014) konnten dennoch einen Trainingseffekt in Bezug auf das Geschlecht feststellen. Es konnte ein Unterschied nach 16 Wochen hinsichtlich des relativen maximalen Kraftanstiegs gemessen werden. Frauen verbesserten sich in diesem Zeitraum signifikant im Vergleich zu den Männern. Zu einem ähnlichen Schluss kamen die Autoren Hubal et al. (2005) in einer groß angelegten Studie mit 342 Frauen und 243 Männern. Sie untersuchten die isometrische und dynamische Kraft des Armbeugers vor und nach einem 12-wöchigen Krafttraining. Männer konnten dabei einen höheren absoluten Kraftzuwachs erzielen als Frauen, wobei Frauen relativ von ihrem Körpergewicht gesehen einen höheren Kraftzuwachs erreichten. Die Unterschiede von Muskelkraft und -hypertrophie bei Männern und Frauen könnten mit dem Muskelphänotyp zusammenhängen. Dieser Phänotyp hängt vom Alter und Trainingszustand ab und hat demnach eine Auswirkung auf die Verteilung und Größe der Muskelfasern in den unterschiedlichen Muskelgruppen. Ältere Frauen haben beispielsweise einen höheren Anteil an Typ I Fasern im Vastus Lateralis und im Bizeps Brachii (Roberts et al., 2018). Im Vergleich dazu haben nicht trainierte junge erwachsene Männer einen größeren Faserdurchmesser der Muskelfasern Typ I (19%), IIa (59%) und IIx (66%), als Frauen im Vastus Lateralis. Auch die Fasertypverteilung war bei beiden Geschlechtern dieses Alters nahezu ident (Staron et al., 2000).

Außerdem gibt es hormonelle Unterschiede zwischen den Geschlechtern, die sich unter anderem auf die Muskelhypertrophie und -kraft auswirken können. Männer verfügen über einen höheren Testosteronwert, insbesondere dem freien Testosteron und einem speziellen Peptidhormon (IFG-1). Besonders nach einem Krafttraining ist der Testosteronspiegel im Gegensatz zu Frauen bei Männern erhöht (Roberts et al., 2018). IGF-1 stellt eines der wichtigsten anabolen Hormone im Körper dar und ist deshalb für eine Muskelhypertrophie essenziell (Schoenfeld, 2010). Dies könnte ein Indiz für die Unterschiede im Muskelwachstum zwischen Männern und Frauen sein.

Krafttraining bietet eine Vielzahl gesundheitlicher Effekte, wie beispielsweise hormonelle, neuromuskuläre und muskuläre Anpassungserscheinungen, von denen Frauen und Männer profitieren können (ACSM, 2009). Dennoch reagieren Männer und Frauen nicht gleichermaßen auf gewisse Trainingsreize, weshalb geschlechterspezifischen Trainingsformen ein hoher Stellenwert beigemessen werden muss. Die Diskrepanzen bezüglich trainingsspezifischer Adaptationen zwischen den Geschlechtern sind auf den diversen Ebenen bisher noch nicht vollständig geklärt. In Anbetracht der Bedeutung für die allgemeine Gesundheit von Muskelkraft und -größe wäre es wichtig, geschlechterabhängige Differenzen hinsichtlich der Trainierbarkeit festzustellen.

1.1 Forschungsfrage und Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, genau diese geschlechterspezifischen Differenzen hinsichtlich Trainierbarkeit von Kraft und Muskelmasse zu untersuchen.

Die zentrale These lautet: Geschlechterspezifische Unterschiede sind bei gesunden Personen bezüglich der Trainierbarkeit von Kraft und Muskelmasse vorhanden.

1. Welche Trainingsformen eignen sich speziell sowohl für Männern als auch für Frauen zur Verbesserung von Kraft und Muskelmasse?
2. Welche geschlechterspezifischen Unterschiede haben Trainingsinterventionen auf Kraft und Muskelmasse?

1.2 Methodik

Dieses Review stützt sich auf eine systematische Literaturrecherche, die Artikel aus den letzten fünf Jahren aus drei unterschiedlichen Datenbanken analysiert hat. Die Literaturrecherche wurde in drei unterschiedlichen Onlinedatenbanken, darunter „PubMed“, „Web of Science“ und „Scopus“ durchgeführt. Zuvor wurden Ein- und Ausschlusskriterien definiert, die die umfassende Suche eingrenzen sollte, damit man möglichst homogene Suchergebnisse erhält. Die gesamte Suche wurde mithilfe dieser Kriterien eingegrenzt und alle gesammelten Artikel wurden miteinander verglichen und analysiert, um die Fragestellung bestmöglich beantwortet zu können.

Es wurden folgende Operatoren für die Literaturrecherche verwendet und in unterschiedlicher Kombination in den Datenbanken gesucht. Es wurden drei verschiedene Gruppen eingeteilt, um ein eingegrenztes Suchergebnis zu erhalten.

Als erstes wurden die geschlechterspezifischen Operatoren angeführt:

- „Sex differences“
- „gender“
- „sex“

Danach wurden unterschiedliche Operatoren für die Trainingsintervention bzw. für das Krafttraining angeführt:

- „Resistance training“
- „Exercise training“
- „Strength training“

Zusätzlich wurden Variablen, die sich während der Trainingsintervention verbessern sollten, als Operatoren definiert:

- „strength“
- „hypertrophy“
- „muscle mass“
- „muscular mass“

Die gesamte Suche wurde mit Operatoren zur Eingrenzung der Suche verknüpft. Weiters wurde die Suche nochmals einschränken, um lediglich Artikel zu erhalten, die für dieses Literaturreview relevant waren. Unter Verwendung des “NOT-Begriffs” wurde die Anzahl irrelevanter Studien ermöglicht.

("strength training" OR "resistance training" OR "exercise training") AND ("sex differences" OR "sex" OR "gender") AND ("strength" OR "hypertrophy" OR "muscle mass" OR "muscular mass") AND NOT ("Old" OR "elderly" OR "disease" OR "children" OR "supplement" OR "supplementation" OR "protein" OR "concurrent" OR "Blood flow" OR "sarcopenia" OR "fracture" OR "reconstruction" OR "frail" OR "medicine" OR "sarcopenic" OR "ill" OR "rehabilitation" OR "heart")

Darüber hinaus wurde neben den Ein- und Ausschlusskriterien unter anderem Filterkriterien definiert, um die Suche zusätzlich einzuschränken.

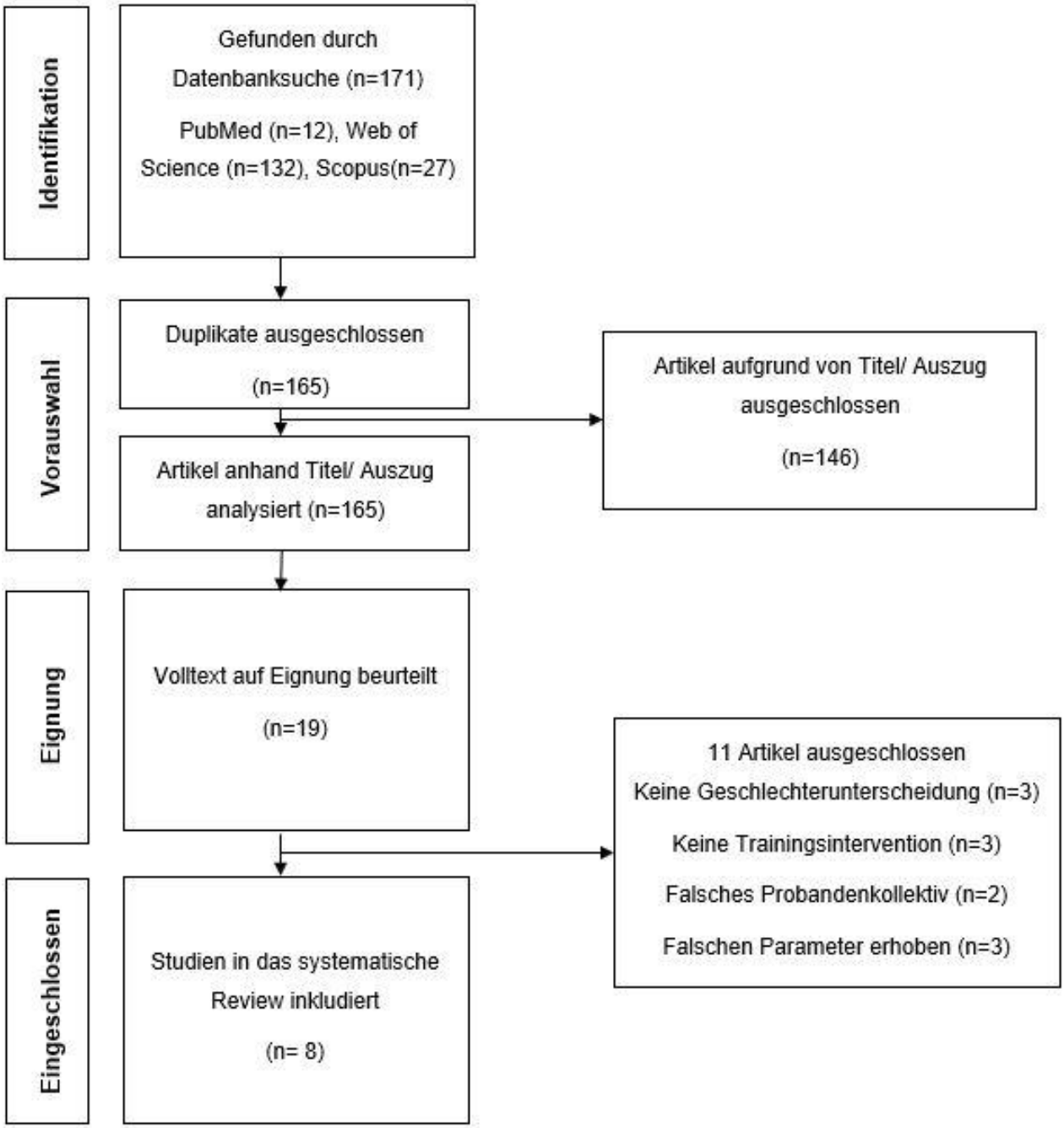
Insbesondere wurden folgende Filterkriterien ergänzt:

- „clinical trials“
- „humans
- „5 years“
- „english“
- „18-65 years“

Die drei verwendeten Datenbanken verfügten über unterschiedliche Filterkriterien, jedoch wurde jede Suche vergleichbar gestaltet. Außerdem wurden für die systematische Übersicht Einschlusskriterien ausgewählt, die nur als experimentelle Studien angelegt waren und zusätzlich in peer-reviewed und englischsprachigen Zeitschriften veröffentlich waren. Neben eines menschlichen Probandenkollektivs zwischen 18 und 65 Jahren musste mindestens eine Methode zur Schätzung von Veränderungen der Muskelmasse und/ oder der dynamischen isometrischen oder isokinetischen Kraft enthalten sein.

Als Ausschlusskriterien wurden Studien entfernt, die eine Trainingsintervention unter 6 Wochen veranschlagten oder ein Probandenkollektiv mit Erkrankungen, Verletzungen oder Schwangerschaft beinhaltete, die die Trainingskapazitäten beeinflussten. Außerdem wurden Studien exkludiert, die Supplemente oder Hormonersatztherapien verabreichten. Ebenso wurden Diplomarbeiten, Poster, Konferenzzusammenfassungen oder Pilotstudien aus dem Review ausgeschlossen.

1.3 Prisma Chart / Flow Diagramm



1.4 Auswahl der Studien

Es wurden drei Datenbanken, unter anderem „PubMed“, „Web of Science“ und „Scopus“ für die Suche verwendet. Insgesamt wurden 171 Artikel mit vorher definierten Operatoren gefunden, die daraufhin auf eine Eignung analysiert wurden. Die gesamte Suche ergab 12 Duplikate, die vor der Analyse entfernt wurden. Die meisten Treffer entfielen auf die Datenbank „Web of Science“, bei der insgesamt 132 Ergebnisse gefunden wurden. Alle Artikel wurden anhand des Titels auf eine Eignung analysiert und dann eine Auswahl getroffen. 19 Artikeln kamen in die engere Wahl, die im Anschluss mithilfe des Auszuges bzw. der Zusammenfassung nochmals reduziert wurde. Von diesen 19 Artikel wurden nochmals elf Artikel mit vorab definierten Ein- und Ausschlusskriterien ausgeschlossen. Einige der Studien hatten entweder ein zu altes Probandenkollektiv oder sie untersuchten die geschlechterspezifischen Unterschiede ohne einer langfristigen Trainingsintervention. Andere untersuchten nur die Trainingsintervention und unterteilten Männer und Frauen in gleiche Gruppen, sodass keine geschlechterspezifische Differenz herausgearbeitet werden konnte. Folglich blieben acht Artikel von der gesamten Literatursuche übrig, die für das Review herangezogen werden konnten.

2 Theoretische Grundlagen der Muskulatur, der Kraft und des Krafttrainings

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den Aufbau und der Funktion der Skelettmuskulatur sowie die Zusammenhänge und Hintergründe der Kraft und des Krafttrainings beschrieben.

2.1 Die Skelettmuskulatur

Der willkürliche steuerbare Teil der Muskulatur, die Skelettmuskulatur, macht ca. 40% des gesamten Körpergewichts aus und enthält 50 bis 75% aller Körperproteine. Darüber hinaus ist die Skelettmuskulatur für 30 bis 50% des Proteinumsatzes des gesamten Körpers verantwortlich. Insgesamt setzt sich die Skelettmuskulatur aus ungefähr 75% Wasser, 20% Protein und 5% aus anderen Substanzen wie Mineralien, anorganischen Salzen, Fett und Kohlenhydraten zusammen. Die Muskelmasse hängt prinzipiell vom Gleichgewicht zwischen Proteinsynthese und -abbau ab. Die Proteinsynthese und der -abbau hängen von unterschiedlichen Faktoren ab, die einen Einfluss auf die Muskelmasse haben. Zum Beispiel sind Ernährung, Hormonhaushalt, körperliche Aktivität sowie Verletzungen oder Krankheiten bestimmende Faktoren (Frontera et al., 2015).

Die Skelettmuskulatur ist für viele wichtige körperliche Funktionen zuständig. Unter anderem ist eine Hauptfunktion die Umwandlung von chemischer in mechanische Energie, um Kraft und Leistung zu erzeugen. Dieser Prozess ist für die aufrechte Haltung, für die Bewegungen sowie für sportliche Aktivitäten essenziell. Außerdem ist sie am basalen Energiestoffwechsel beteiligt, der als Speicher für wichtige Substrate wie Aminosäuren und Kohlenhydrate dient (Frontera et al., 2015). Diese Speicherfunktion hat eine lebenswichtige Rolle, denn Aminosäuren werden von Geweben, wie Haut, Gehirn und Herz für die Synthese von organspezifischen Proteinen benötigt (Wolfe, 2006). Zudem dienen die Aminosäuren aus der Muskulatur bei Hungersnot zur Stabilisierung des Blutzuckerspiegels. Die Skelettmuskulatur ist außerdem für die Produktion von Wärme zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur und großteils für den Verbrauch von Sauerstoff und Energie, die während einer körperlichen Aktivität oder Bewegung verbraucht wird, verantwortlich. Die Skelettmuskulatur hat einen wichtigen Effekt für die Erhaltung von Gesundheit u der Krankheitsprävention. Denn eine reduzierte Muskelmasse kann sich negativ auf die Fähigkeit des Körpers, auf Stress und chronische Krankheiten zu reagieren, auswirken (Frontera et al., 2015).

2.1.1 Aufbau eines Muskels

Der Aufbau des Skelettmuskels ist durch eine spezielle Anordnung der Muskelfasern, den Myofasern und dem dazugehörigen Bindegewebe charakterisiert. Die Größe eines Muskels wird hauptsächlich aufgrund der Anzahl und Größe der einzelnen Muskelfasern bestimmt (Frontera et al., 2015). Die Größe der Muskelfaser kann aber bei einer pathologischen Infiltration durch Fett und Bindegewebe die Beziehung der Größe und Anzahl verändern (Javan et al., 2013). Muskelfasern haben mehrere Zellkerne und sind post-mitotisch. Jeder Zellkern innerhalb einer Muskelfaser kontrolliert die Art des Proteins, das in dieser spezifischen Region der Zelle synthetisiert wird. Diese Regionen werden als Kerndomänen bezeichnet und haben eine stark regulierte, aber nicht konstante Größe (Hikida, 2011). Die Proteinexpression in benachbarten Domänen einer einzelnen Faser scheint so koordiniert zu sein, dass der Typ des produzierten Proteins, das Myosins, über die gesamte Länge der Faser ähnlich ist. Dieser Effekt kann durch Ungleichmäßigkeiten der kontraktilen Eigenschaften in benachbarten Segmenten einer einzelnen Faser verändert werden (Wilkins et al., 2001).

Ein weiteres wichtiges Bindeglied der Muskelfaser ist die Satellitenzelle, die auch als adulte Stammzellen des Skelettmuskels beschrieben werden. Die Satellitenzellen befinden sich zwischen dem Sarkolemm und der Basallamina und sind für das Muskelwachstum als auch für die Reparatur und Regeneration verantwortlich (Hikida, 2011; Macaluso et al., 2012). Werden Satellitenzellen durch myogene Faktoren aktiviert, vermehren sie sich stark und können sich zu neuen Muskelfasern differenzieren (Bareja et al., 2014).

In Abbildung eins ist der Aufbau der Skelettmuskulatur dargestellt. Es wird die hierarchische Organisation eines Skelettmuskels bis zur kleinsten kontraktilen Einheit dem Sarkomer, die sich zu den Myofibrillen zusammensetzen, abgebildet. Wie in der Abbildung zu sehen ist, ist ein einzelner Muskel von einer Bindegewebsschicht, dem Epimysium, umgeben. Einzelne Fasern sind in Gruppen, den sogenannten Muskelfaserbündel oder Faszikel angeordnet und von einer weiteren Bindegewebsschicht, dem Perimysium, umschlossen. Skelettmuskeln bestehen aus vielen langen und dünnen Fasern, den Muskelzellen einer nicht mehr teilungsfähigen Zelle. Die Muskelzellen entstehen während der Embryonalentwicklung aus einem Zusammenschluss von Vorläuferzellen, die nur einen Zellkern besitzen, den Myoblasten (Linke et al., 2010). Eine einzelne Muskelfaser mit einer ungefähren Abmessung von 100 µm im Durchmesser und einem Zentimeter Länge ist von einer Zellmembran oder einem Sarkolemm umgeben. Ein Sarkolemm besteht aus einem Komplex mehrerer Proteine, welches physikalisch mit der internen Myofilamentstruktur verbunden ist, insbesondere mit dem Aktinprotein, das im dünnen Filament vorhanden ist. Eine Schädigung oder ein Fehlen dieser Proteine kann zu einer Schädigung des

Sarkolemms, einer Muskelschwäche und zu einer Atrophie führen (Frontera et al., 2015). Abschließend sind noch die Myofibrillen als unterste Stufe der Organisationsstruktur der Skelettmuskulatur zu nennen. Myofibrillen sind ein bis zwei µm dick und verlaufen parallel zur Muskellängsachse. Sie werden durch sogenannte Z-Scheiben, die als Zwischenwände fungieren, in hunderte 2 bis 2,5 µm lange Einheiten, den Sarkomeren unterteilt.

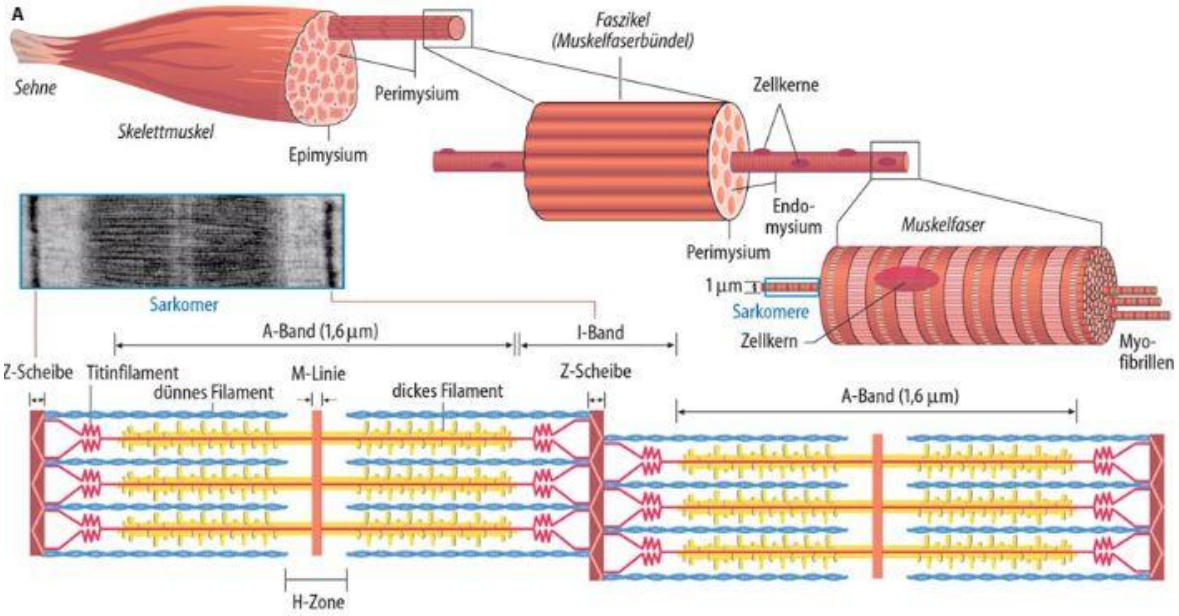


Abb. 1: Morphologische Struktur der Skelettmuskulatur (Linke et al., 2010, S. 100)

In Abbildung eins ist ein elektronenmikroskopisch aufgenommenes Bild eines Sarkomers zu sehen. Darunter befindet sich eine schematische Darstellung des Sarkomers. Der mittlere Teil des Sarkomers besteht aus dicken Myosinfilamenten, die mit den äußeren dünnen Aktinfilamenten auf beiden Seiten interdigitieren. Die Aktinfilamente sind wie ein drittes Filamentsystem, die Titinfilamente, an den Z-Scheiben befestigt und verlaufen gemeinsam gebunden zur Sarkomermitte (Linke et al., 2010).

2.1.2 Muskelkontraktion

Eine Kontraktion findet aufgrund einer Veränderung der räumlichen Wechselwirkung von Aktin- und Myosinfilamenten statt. Es kommt während einer Kontraktion zu einer Längenänderung der I-Band und der H-Zone, die sich gleichermaßen verkürzen, während sich die Länge der Myosinfilamente bzw. der A-Bande nicht verändert. Nebenbei bleibt der Abstand zwischen der M-Scheibe und der Beginn der Aktinfilamente bzw. der H-Zone konstant. Die unterschiedlichen Filamente gleiten somit aneinander entlang und ändern während einer Kontraktion nicht die Länge. Dieser Prozess wird als Gleitfilamenttheorie beschrieben, bei der sich die Myofibrillen bzw. die Muskelzellen aufgrund einer Vergrößerung des Überlappungsbereichs der Filamente verkürzen.

In Abbildung zwei ist das Ineinandergleiten der unterschiedlichen Komponenten des Sarkomers sowie das entspannte Sarkomer dargestellt.

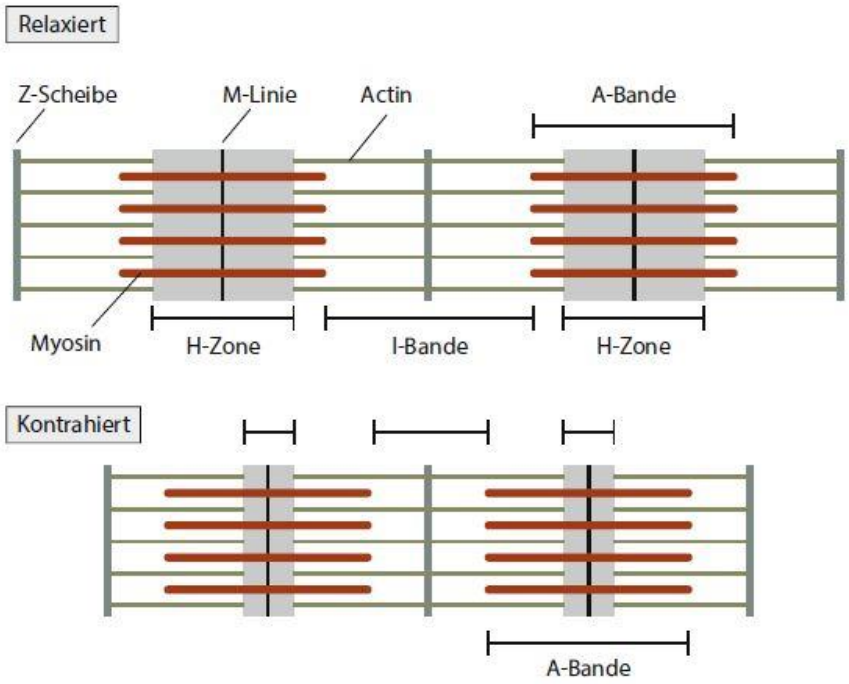


Abb. 2: Theorie der ineinandergleitenden Filamente während einer Muskelkontraktion (Feigenspan, 2017, S. 500)

Die von einem Muskel erzeugte Kraft hängt von vielen Faktoren wie der Grad der Aktivierung durch das Nervensystem, seiner Architektur, also dem Winkel, in dem die Muskelfasern in die Sehne übergehen, ab. Dieser spezielle Winkel der Muskulatur wird auch als Pennationswinkel bezeichnet. Darüber hinaus sind Faktoren wie die Muskelgröße, der Raum zwischen den Myofilamenten, die Anzahl der gebildeten Aktin-Myosin-Querbrücken für die erzeugte Kraft entscheidend. Eine chronologische Abfolge der Bildung einer Aktin-Mysion-Querbrücke und somit zur Erzeugung von Kraft ist in Abbildung drei dargestellt (Frontera et al., 2015). Zu Beginn ist der Myosinkopf mit dem benachbarten Aktin verbunden und bildet eine Querbrücke, die sich aufgrund von fehlendem Adenosintriphosphat (Hedayatpour et al.) nicht lösen kann. Dieser Zustand wird als Rigor bezeichnet und kann sich erst bei der Spaltung von ATP lösen. Sobald sich ATP an den Myosinkopf bindet, kann sich dieser Komplex lösen, wobei nur die Bindung und nicht Energie der Hydrolyse benötigt wird. Als nächstes wird mithilfe von ATPase das ATP des Myosinkopfes hydrolysiert und in Adenosindiphosphat (ADP) und ein anorganisches Phosphat (P_i) umgewandelt. Die dadurch freigesetzte Energie wird als Myosin-ADP-P_i.-Komplex gespeichert. Darauffolgend bindet der Myosinkopf erneut das Aktin, wobei ein Aktin-Myosin-ADP-P_i-Komplex gebildet und für einen sogenannten Kraftschlag vorbereitet wird. Bei der Freisetzung von P_i wird der Myosinkopf umgeklappt und die Aktin- und Myosinfilamente werden gegeneinander verschoben, wodurch der Kraftschlag zustande

kommt. Am Schluss dissoziiert ADP erneut und der Kreislauf kann von vorne beginnen (Feigenspan, 2017).

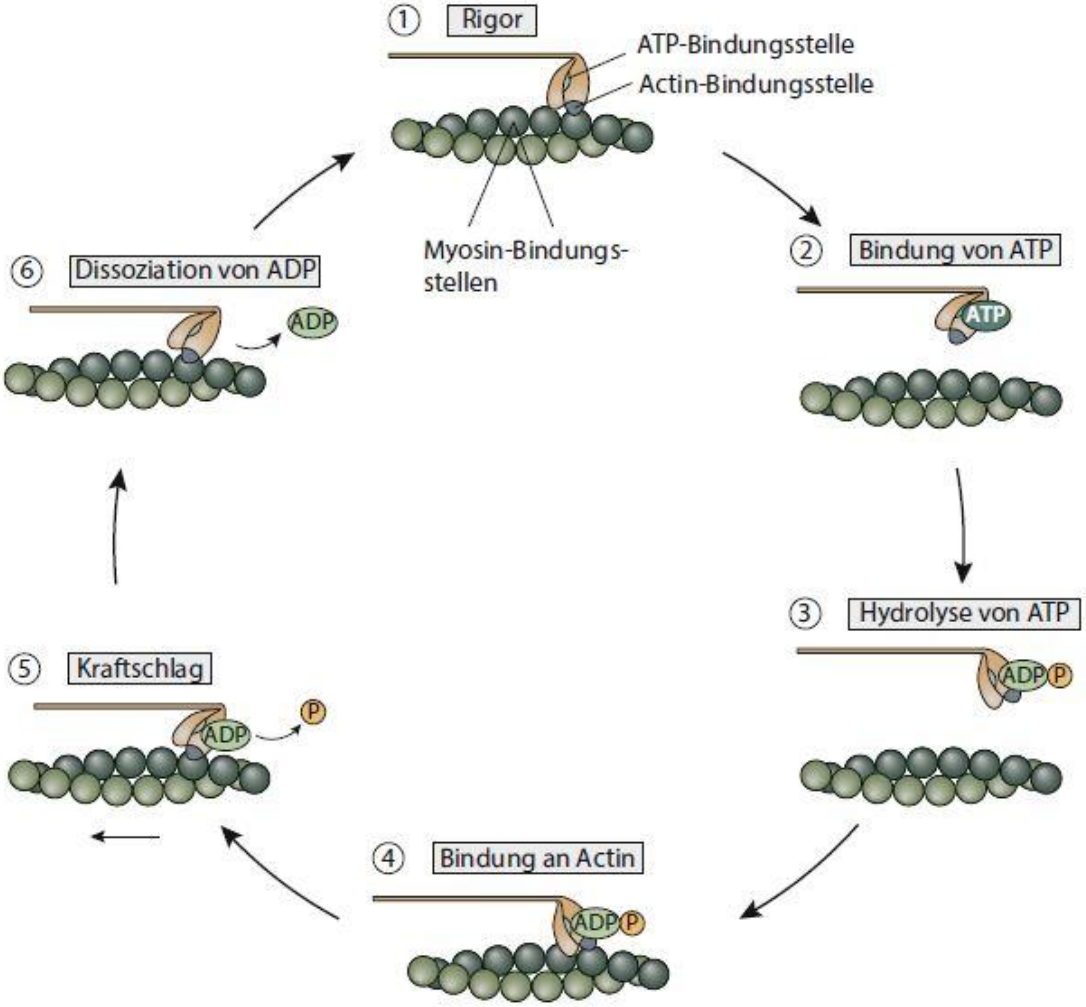


Abb. 3: Chronologische Abfolge der Erzeugung von Kraft (Feigenspan, 2017, S. 502)

2.1.3 Membransystem einer Muskelzelle

Das Membransystem der Muskelzelle setzt sich aus unterschiedlichen Elementen zusammen. Unter anderem aus dem sarkoplasmatischen Retikulum, den T-Tubuli und den Mitochondrien, die der Energie und der Sauerstoff-Bereitstellung dienen (Frontera et al., 2015). Im Sarkoplasma von Muskelfasern werden ein transversales Membransystem, den T-Tubuli, das sarkoplasmatische Retikulum und ein mitochondriales Netzwerk lokalisiert. Die genaue Anzahl der Elemente kann je nach Muskelfaser variieren. Das transversale Membransystem oder T-Tubulssystem ist eine Einstülpung des Sarkolemmas und dient unter anderem zur Weiterleitung des Nervenaktionspotenzials in das Zellinnere (Jayasinghe et al., 2013). Das Tubulussystem ist ein verzweigtes Kanalysystem aus transversalen und longitudinalen Membranschläuchen. Das transversale Tubulussystem

besteht aus 50 bis 80 nm dicken Schläuchen, die parallel zu den Myofibrillen angeordnet sind (Linke et al., 2010). Dieses Netzwerk von T-Tubuli steht in Kontakt mit der Außenseite der Zelle und sorgt dafür, dass sich die Erregung gleichmäßig in der Muskelfaser ausbreiten kann. Außerdem ist in der Membran des T-Tubulssystems, das Dysferlin, ein wichtiges Protein, enthalten, das empfindlich auf Veränderungen der Kalziumkonzentration innerhalb der Zelle reagiert (Kerr et al., 2014).

Darüber hinaus ist das sarkoplasmatische Retikulum für die Einlagerung, Freisetzung und Wiederaufnahme von Kalzium nach der Aktivierung verantwortlich. Das Kalzium wird in den terminalen Zisternen, den Enden des sarkoplasmatischen Retikulums, gespeichert. Diese terminalen Zisternen stehen in engem Kontakt mit dem Quertubulus-System. Der T-Tubulus und zwei Zisternen bilden zusammen eine Struktur, die als Triade bezeichnet wird (Lamboley et al., 2014). Diese Triade mit dem Tubulus und den zwei Zisternen auf beiden Seiten ist in Abbildung vier schematisch abgebildet.

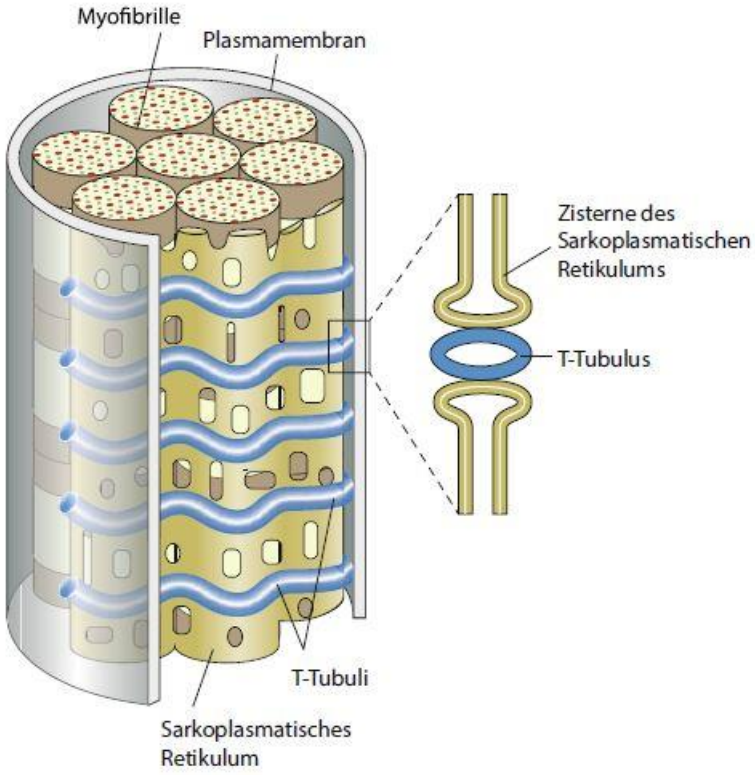


Abb. 4: Internes Membransystem einer Muskelzelle und eine sogenannte Triade (Feigenspan, 2017, S. 506)

Zwei Arten von Proteinen im sarkoplasmatischen Retikulum tragen zur Aufrechterhaltung der Kalziumhomöostase bei. Einerseits die Kalzium-ATPase des sarkoplasmatischen und die Kalzium-ATPase des endoplasmatischen Retikulums auch SERCA genannt und andererseits das Protein Calsequestrin. SERCA ist für die Kalziumwiederaufnahme in die

Zisterne nach der Muskelaktivierung verantwortlich und das Protein Calsequestrin bindet Kalzium innerhalb des sarkoplasmatischen Retikulums (Frontera et al., 2015).

Abschließend sind die Mitochondrien zu nennen, die ein dreidimensionales Netzwerk in der gesamten Zelle bilden. Sie stellen die Energie bereit, die für eine Muskelaktivierung von Nöten sind und darüber hinaus stellen sie Sauerstoff zur Verfügung (Dahl et al., 2015). Einige Mitochondrien befinden sich näher am Sarkolemma, wodurch die Diffusionsdistanz für den durch die Kapillarversorgung transportierten Sauerstoff verringert wird. Dies ist gerade bei einem aeroben Training von Vorteil, wenn der Sauerstoffbedarf steigt. Zusätzlich befinden sich Mitochondrien im intermyofibrillären Raum (Frontera et al., 2015).

2.1.4 Hintergrund der Kontraktionsaktivierung

Natrium-Kanäle, die an der Plasmamembran und Kalcium-Kanäle, die im Myokard lokalisiert sind, öffnen sich bei einem Aktionspotenzial. Kommt es zu einer Repolarisation strömen Kaliumionen einerseits aus der Zelle heraus und andererseits strömen Chloridionen in die Zelle, um das Ruhemembranpotenzial zu erhalten. Dieser Prozess wird mithilfe einer Natrium-Kalium-Pumpe, die mittels ATP angetrieben wird, unterstützt. Diese Pumpe unterstützt zusätzlich den Austausch von Kalcium und Natrium, wobei dieser Austauschprozess unter anderem bei der Entspannungsphase von Herzmuskelzellen aktiv ist und Kalciumionen aus der Myozyte weitertransportieren. Dennoch ist aufgrund von Herzglykosiden wie beispielsweise Ouabain, Digoxin und Digitoxin eine partielle Hemmung der Natrium-Kalium-Pumpe und dementsprechend des Natrium-Kalzium-Austauschers möglich, wodurch es schlussendlich zu einer erhöhten Aktivität des Myokards kommen kann (Linke et al., 2010).

Die Erregung der Skelettmuskelfasern erfolgt aufgrund eines Aktionspotenzials, das an der postsynaptischen Membran der motorischen Endplatte gebildet wird. Dieses Aktionspotenzial führt zu einer Depolarisation, die sich mit einer Geschwindigkeit von drei bis fünf Meter pro Sekunde über die Skelettmuskelfasern ausbreitet. Infolge dieser Aktivierung wird die Konzentration von Kalzium in der Zelle erhöht, die als Grundlage für eine Erregung der Myofibrillen dient. In Folge dieser Voraktivierung entsteht nach einer Latenzzeit von ca 10 bis 15 ms ein Aktivierungspotenzial, das ca. ein bis drei ms andauert. Dieser gesamte Prozess bis zu einem einzelnen Kontraktionsimpuls unterscheidet sich je nach Muskelgruppe (Linke et al., 2010).

In Abbildung fünf ist die elektromechanische Kopplung dargestellt. Es werden unter anderem die Aktivierung der motorischen Einheiten durch Aktionspotenziale, die sich entlang der Tubuli ausbreiten, dargestellt. Weiters wird das Zusammenspiel von den beiden

Rezeptoren Dihydropyridin und Ryanodin abgebildet. Außerdem wird die Relaxation nach einem Aktivierungspotenzial gezeigt.

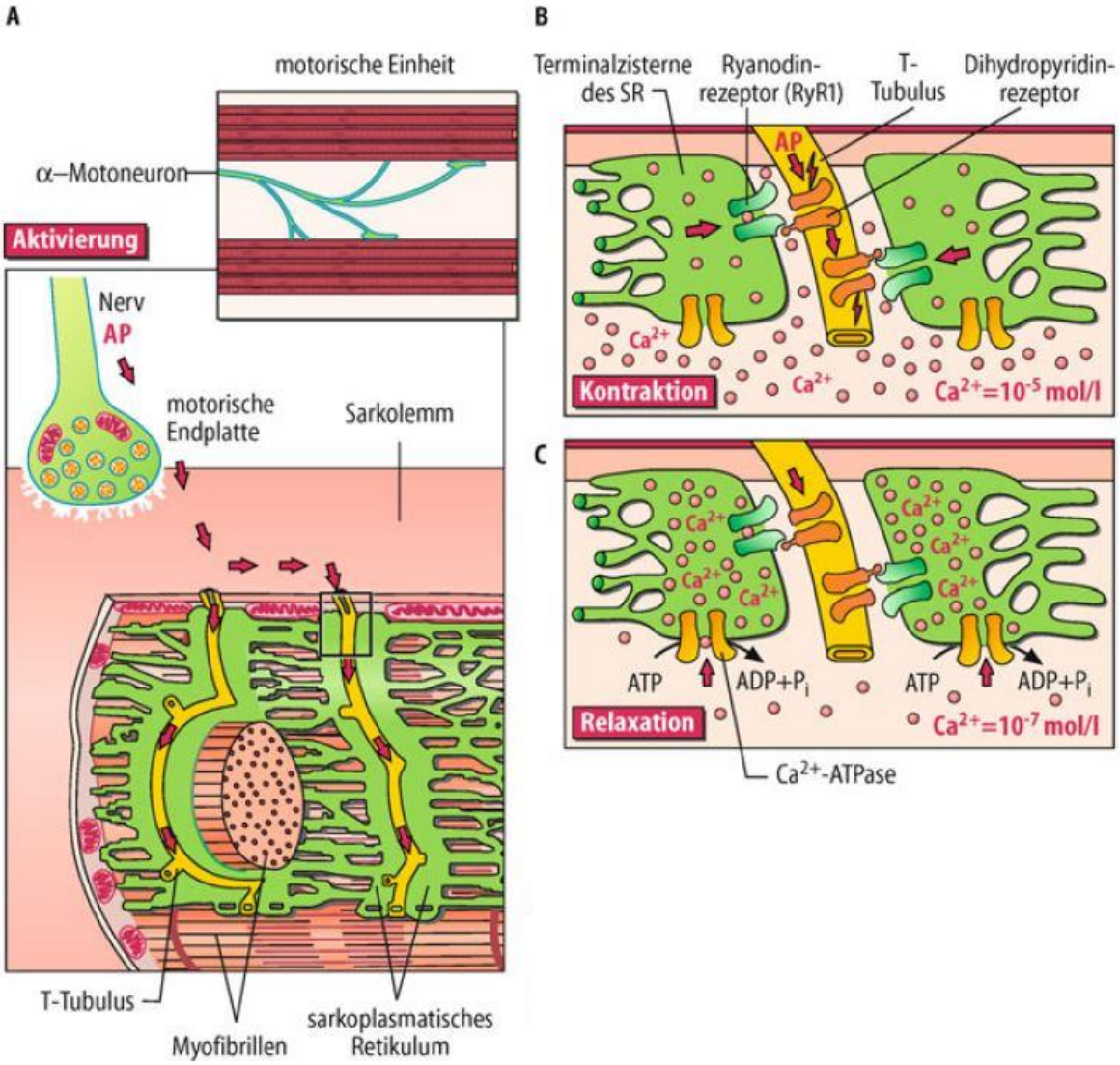


Abb. 5: Elektromechanische Kopplung: (a) Aktivierung einer motorischen Einheit; (b) Zusammenspiel eines Dihydropyridin- und Ryanodinrezeptor; (c) Ablauf einer Relaxation (Linke et al., 2010, S. 107)

Die Erregungs-Kontraktions-Kopplung ist eine Koordination zweier Prozesse, um Querbrücken zu bilden. Auf der einen Seite ist die Übertragung des Nervenreizes auf die Triade mit der Freisetzung von Kalzium aus den Zisternen des sarkoplasmatischen Retikulums und auf der anderen Seite ist die Interaktion zwischen Aktin und Myosin dafür verantwortlich. Das Aktionspotenzial, das an der Muskelfasermembran ankommt, wird über das transversale Tubulussystem in das Innere der Muskelzelle geleitet. Der Nervenimpuls kommt in der Triade an, wo sich der T-Tubulus befindet und speichert dort Kalzium ab (Frontera et al., 2015). Im Zuge des Nervenimpuls öffnet sich eine Untereinheit des Dihydropyridinrezeptors am T-Tubulus und ermöglicht, dass Kalzium einströmen kann

(Rebbeck et al., 2014). Dieser Kalziumstrom löst die Öffnung der Ryanodinrezeptoren in den terminalen Zisternen des sarkoplasmatischen Retikulums aus und setzt große Mengen an Kalzium in das Sarkoplasma frei. Das freigesetzte Kalzium bindet somit das regulatorische Protein Troponin C auf den dünnen Filamenten. Dies initiiert die Querbrückenbildung, sodass die Myofibrillen kontrahieren (Frontera et al., 2015).

2.1.5 Energiestoffwechsel in der Muskulatur

Alle Muskelaktionen erfordern Energie in Form von ATP, das zwei entscheidende Funktionen hat. Einerseits ist es für das Dissoziieren der Bindung zwischen Myosin und Aktin und andererseits für das Bereitstellen der Energie für den sogenannten Kraftschlag innerhalb eines Querbrückenzyklus verantwortlich (Feigenspan, 2017). Die Erzeugung und Aufrechterhaltung von Muskelaktionen hängen von der Dauer und der Intensität der Aktivität ab. Wichtig hierbei sind die drei fundamentalen Energiepfade in der Muskulatur, die aus der Speicherung von ATP und Kreatinphosphat (KP), der anaeroben Glykolyse und der oxidativen Phosphorylierung bestehen. Insbesondere dienen ATP und KP für Aktivitäten mit kurzer Dauer und hoher Intensität, da das ATP- und KP-Reservoir in den Muskelfasern sehr gering ist. Die anaerobe Glykolyse produziert schnell ATP, um die Muskelaktivitäten für ein paar Minuten aufrechtzuerhalten, jedoch fällt dabei das Abbauprodukt Laktat an. Laktat kann die Muskelfunktion beeinträchtigen, was zu einer raschen Muskelermüdung führt. Mittels der oxidativen Phosphorylierung kann innerhalb des mitochondrialen Netzwerkes Energie für Übungen mit niedriger Intensität für einen längeren Zeitraum bereitgestellt werden. Die metabolischen Bahnen überschneiden sich und können während einer Trainingseinheit, je nach Intensität, gekoppelt und zu unterschiedlichen Zeitpunkten aktiviert werden (Frontera et al., 2015). Zur Produktion von ATP wird auf zwei Hauptenergiequellen, den Kohlenhydraten mit der Plasmaglukose und mit dem Muskelglykogen, sowie den Fetten mit den freien Plasmafettsäuren und mit den Muskeltriglyzeriden zurückgegriffen (Romijn et al., 1993). Der Metabolismus von Aminosäuren spielt lediglich eine untergeordnete Rolle, da er nur einen kleinen Prozentsatz der gesamten Energieproduktion leisten kann. Im Allgemeinen werden Muskelaktionen bei hohen Intensitäten hauptsächlich durch das Muskelglykogen angetrieben. Bei geringer Intensität und langer Trainingsdauer wird der Stoffwechsel freier Fettsäuren für den Großteil des Energiebedarfs genutzt. Eine isolierte Synthese für ATP aus Kohlenhydraten oder freien Fettsäuren ist bei sportlichen Aktivitäten kaum möglich, es ist immer eine Kombination aus beiden (Frontera et al., 2015).

2.1.6 Muskelprotein

Muskeln bestehen zu 80% aus Proteinen, dabei ist der Wassergehalt nicht einberechnet und zu 8% aus Sarkoplasma (Hoppeler et al., 1973). Die Muskelfaser soll aus tausenden von Myofibrillen bestehen und Milliarden von Myofilamenten enthalten. Die beiden häufigsten vorkommenden Myofilamente sind Aktin und Myosin. Myosin macht ca. 70 bis 80% des gesamten Proteingehaltes einer einzelnen Faser aus und ist der wichtigste molekulare Motor. Neben dem Myosin enthalten auch das Sarkomer und das Sarkoplasma viele wichtige Proteine, die zur Struktur des Zytoskeletts, zur Kopplung der Erregungs- und Kontraktionsprozesse, zur Energiefreisetzung und zur Erzeugung von Kraft und Leistung beitragen (Coen et al., 2010). Von entscheidender Bedeutung sind regulatorische Proteine wie das kalziumabhängige Troponin und Tropomyosin, die mit dem Aktinfilament assoziieren und daher eine wichtige Rolle im Aktivierungsprozess einer Querbrücke spielen.

Auch Titin und Nebulin tragen zu den physiologischen und mechanischen Eigenschaften des Muskels bei (Coen et al., 2010; Monroy et al., 2012). Titin ist ein großes elastisches Protein, das sich an die Z-Scheibe des Sarkomers und an das Myosin anlagert und hilft Myosinfilamente zu stabilisieren und auszurichten. Nebulin hingegen ist mit anderen Proteinen in die Aktin enthaltenden dünnen Filamente integriert (Coen et al., 2010). Diese Proteine tragen zur Integrität des Sarkomers bei, beeinflussen die passive Spannung und die Eigenschaften der Steifheit einzelner Zellen und können für den Aufbau von Myofibrillen und die Zellsignalisierung relevant sein. Der Aufbau eines Sarkomers mit den unterschiedlichen Proteinen ist in Abbildung sechs dargestellt.

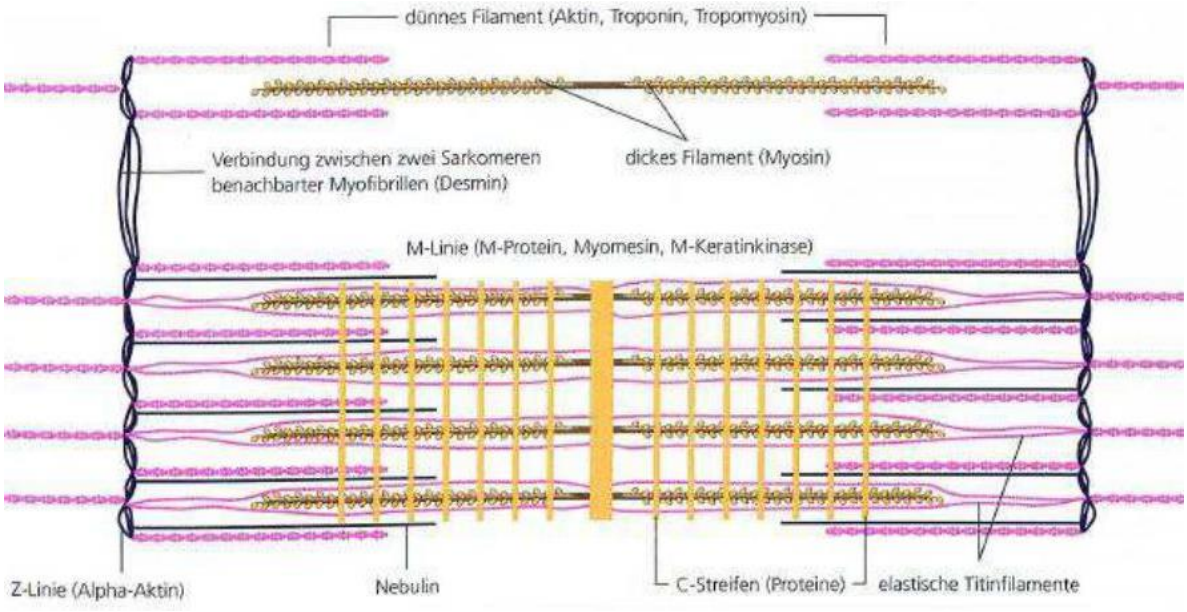


Abb. 6: Aufbau eines Sarkomers (Koch-Remmele, 2012, S. 5)

Darüber hinaus enthält die Z-Scheibe des Sarkomers ebenfalls mehrere Proteine. Darunter zum Beispiel das α-Aktinin, das als Befestigungspunkt für das Aktin-Myofilament fungiert. Als weiterer Befestigungspunkt dient das Protein Desmin, das die Z-Scheibe mit dem Sarkolemm und der extrazellulären Matrix verbindet.

2.1.7 Unterteilung der Muskelfasern

Der menschliche Skelettmuskel ist durch biochemische, mechanische und metabolische Phänotypen der einzelnen Muskelfasern sehr vielfältig. Der Skelettmuskel lässt sich zum Beispiel in anatomische Eigenschaften, wie Lage, Form, Größe, Farbe, Sehen- und Knochenansätze und Innervation unterscheiden. Darüber hinaus kann man die Muskeln noch aufgrund des embryologischen Ursprunges und mittels physiologischer Merkmale wie beispielsweise Art der Bewegung, Kraft, Verkürzungsgeschwindigkeit, Leistung sowie Ermüdungswiderstand differenzieren. Diese Unterscheidungen sind in Tabelle eins übersichtlich dargestellt. In dieser Differenzierung ist zu sehen, dass die Muskeln aus unterschiedlichen Fasertypen, Muskelfunktionseinheiten und motorischen Einheiten bestehen (Schiaffino et al., 2012).

Aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften lassen sich die Muskelfasern in zwei Typen untereilen, wobei der zweite Typus nochmals eine Untergruppe bildet. Der erste Muskelfasertyp ist der Typ I oder Slow-Twitch und lässt sich aufgrund seiner langsamen Kontraktionsgeschwindigkeit und seiner Ermüdungsresistenz charakterisieren. Außerdem synthetisiert dieser Muskelfasertyp die Energie ausschließlich oxidativ und unterscheidet sich anhand seiner charakteristischen roten Farbe von den zwei anderen Typen (Frontera et al., 2015). Die rote Farbe entsteht aufgrund des hohen Myoglobingehalts. Neben einer hohen Dichte an Mitochondrien sowie Kapillaren, die der Versorgung dienen, zeichnet sich dieser Typ mit einem langsamen Ablauf des Querbrückenzyklus aus. Diese Fasern können langsamer ihre maximale Kraft entfalten, ermüden aber auch langsamer. Diese speziellen Merkmale der Fasern sind unter anderem für die aufrechte Haltung notwendig. In Abbildung sieben ist sowohl die Kraft-Geschwindigkeitsrelation als auch die Kraft-Leistungsrelation der unterschiedlichen Muskelfasern dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht die unterschiedlichen Reaktionen der Muskelfasern auf einen äußeren Reiz. Der Typ IIx kann schnell und kraftvoll auf Belastungen reagieren, wohingegen der Typ I viel länger für eine Kontraktion braucht, die dementsprechend niedriger ausfällt.

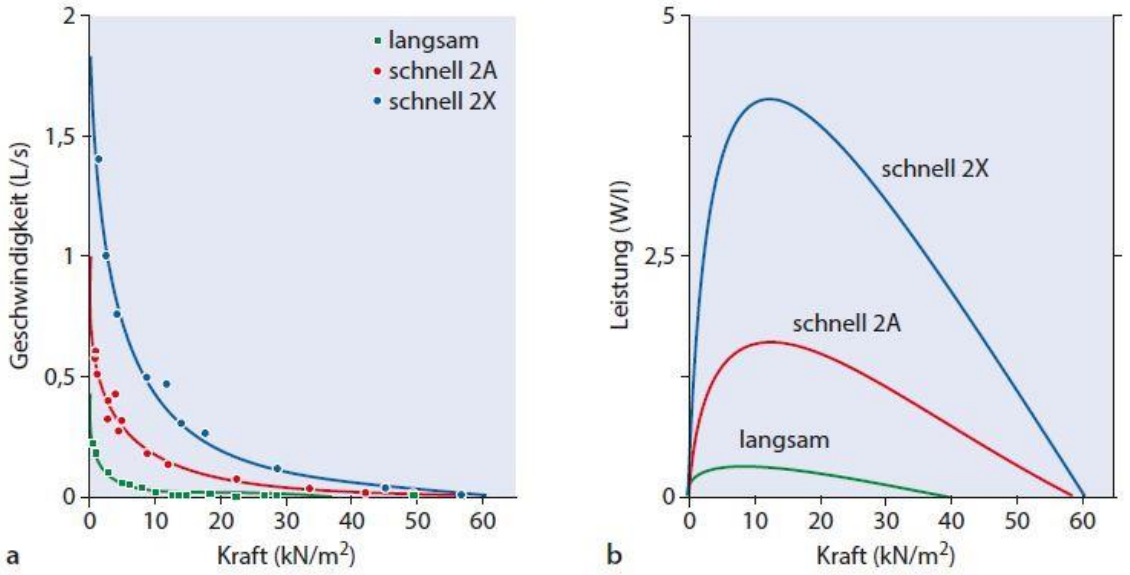


Abb. 7: (a) Kraft-Geschwindigkeitsrelation und (b) Kraft-Leistungsrelation der unterschiedlichen Muskelfasern (Raeder et al., 2020, S. 201)

Der Typ II oder Fast-Twitch lässt sich in Typ IIA und IIx unterscheiden und ist durch seine weiße Farbe gekennzeichnet. Der Typ IIA hat eine schnelle Kontraktionsgeschwindigkeit, synthetisiert Energie oxidativ im Vergleich zu dem Typ IIx und hat intermediäre Stoffwechseleigenschaften. Der letzte Typ IIx hat die schnellste Kontraktionsgeschwindigkeit und weist einen glykolytischen Stoffwechsel auf, ist jedoch kaum ermüdungsresistent (Frontera et al., 2015). Darüber hinaus können Fast-Twitch-Muskelfasern mehr Kraft als die Slow-Twitch-Muskelfasern entwickeln, ermüden aufgrund des niedrigen Myoglobingehalts sowie der niedrigen Mitochondriendichte schneller. Diese Muskeln werden bei schnellen Bewegungen, die eine hohe Kraftentwicklung entfalten, benötigt (Feigenspan, 2017). In Tabelle eins auf der nächsten Seite werden die unterschiedlichen Merkmale übersichtlich dargestellt.

Tab. 1: Eigenschaften der verschiedenen Muskelfasern

Slow-Twitch Muskelfasern	**Fast-Twitch Muskelfasern**	
Typ I	**Typ IIa**	**Typ IIx**
Kontraktionsdauer 75ms	30 ms	20ms
Geringe Kraftentwicklung	hohe Kraftentwicklung	sehr hohe Kraftentwicklung
Ermüdungsresistent	Schnelle Ermüdung	Sehr schnelle Ermüdung
Kleine Motoneuronen	Große Motorneuronen	Große Motorneuronen
Kleine motorische Endplatte	Große motorische Endplatte	Große motorische Endplatte
Reizschwelle niedrig	Reizschwelle hoch	Reizschwelle hoch
Impulsentladungsfrequenz 10 - 20 *s-1	Impulsentladungsfrequenz 30 - 60 *s-1	?
Sehr viele Mitochondrien	Viele	Wenig
Sehr viel Myoglobin	Mäßig viel	Wenig
Sehr viele Kapillaren	Viele	Wenig
Myosin-ATPase gering	Hoch	Sehr hoch
Viel Fett, weniger KH gespeichert	Großer KH Speicher	Großer KH Speicher

Quelle: Dickhuth et al.,(2011, S. 132)

Darüber hinaus kann man die Muskeln aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaft und deren Einfluss auf die Kraft unterscheiden. Zuallererst ist die Kraft-Längen-Relation zu nennen, die sich aus den einzelnen in Serie geschalteten Sarkomeren, also dem aktiven Teil und dem passiven Teil und dem Widerstand des Bindegewebes, zusammensetzt. Die Kraft-Längen-Relation beschreibt jene Kraft, die ein Muskel in verschiedenen Positionen bei maximaler Aktivierung entwickeln kann. Die Kraftentwicklung des Muskels hängt von der Konstellation der Sarkomere sowie dem Überlappungsgrad der Myosin- und Aktinfilamente

ab, die je nach Muskellänge differenzieren (Güllich et al., 2013). Die Beziehung der Kraft und der Länge des Muskels ist als Diagramm in Abbildung acht (a) dargestellt.

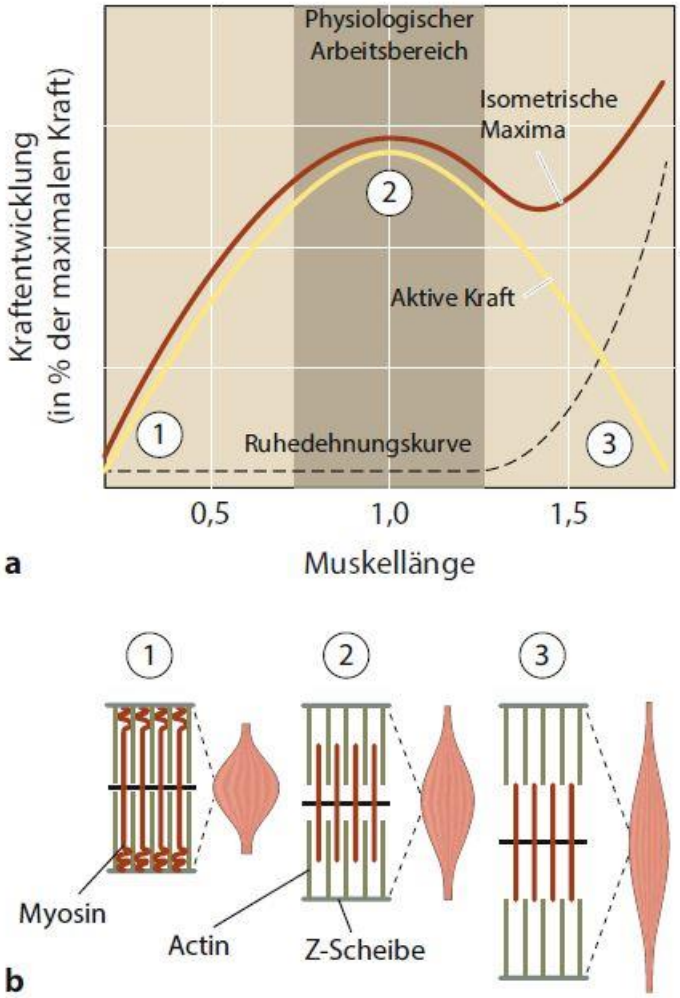


Abb. 8: Kraft-Längen-Relation (Feigenspan, 2017, S. 514)

Auf der x-Achse ist die Länge eines Sarkomers und auf der y-Achse ist die Kraftentwicklung in Prozent der maximalen Kraft abgebildet. Das isometrische Maximum, im Diagramm rot eingefärbt, ergibt sich aus einer passiven Vordehnung und einer aktiv erzeugten Kraft. Die Muskellänge ergibt sich aus dem Produkt der Ruhelänge und des auf der x-Achse bestimmten Wertes. Darunter ist in Abbildung acht (b) der Überlappungsgrad von Aktin- und Myosinfilamenten das Sarkomers schematisch illustriert. Der Punkt eins in der Abbildung zeigt den Muskel in stark verkürzter Form, Myosinfilamente und Z-Scheibe berühren sich an den Enden. Die Querbrückenbildung ist dadurch reduziert, die für die Kraftentwicklung essenziell ist wodurch es zu einer verminderten Kraftleistung kommt. Hingegen wird bei einer Verlängerung der Muskellänge, die eine Erhöhung der Querbrücken zufolge hat, eine Steigerung der Kraftwerte erzielt. Punkt zwei zeigt in der Abbildung die optimale Muskellänge, die sich durch eine optimale Wechselwirkung von Aktinfilamenten und den benachbarten Myosinköpfen ergibt. Demgegenüber kommt es zu

einer reduzierten Muskelleistung, wenn sich Aktin- und Myosinfilamente bei einer starken Muskelverlängerung voneinander wegbewegen und eine Querbrückenbildung kaum mehr möglich ist. Dieses Prozedere ist in der Abbildung als Punkt drei dargestellt (Feigenspan, 2017).

Außerdem spielt die Kraft-Geschwindigkeits-Relation eine entscheidende Rolle bei der Reaktion von äußeren Belastungen und ist in Abbildung acht (a) dargestellt. Je nach Belastung bzw. Last, die auf den Körper wirkt, verändert sich die Geschwindigkeit einer Bewegung. Ohne zusätzliche Last kann die maximale Geschwindigkeit erreicht werden, welche sich jedoch mit steigender Belastung verringert. Wird die maximale isometrische Kraft erreicht, ist die Geschwindigkeit gleich Null, also statisch. Je höher also die Belastung und der dementsprechende Kraftaufwand, desto niedriger die Geschwindigkeit (Güllich et al., 2013).

Abschließend ist die Kraft-Leistungs-Relation zu nennen, die in Abbildung acht (b) dargestellt ist. Diese Relation ergibt sich aus dem Produkt von Kraftwert und Geschwindigkeitswert und beträgt gewöhnlicherweise etwa 30% der maximalen Kontraktionsgeschwindigkeit des Muskels (Güllich et al., 2013).

2.1.8 Motorische Einheit

Motoneuronen innervieren Muskelfasern und sorgen somit für die Impulsübertragung. Da es mehr Muskelfasern als Motoneuronen gibt, verzweigen sich die Axone der Motorneuronen über Synapsen mit mehreren Muskelfasern im gesamten Muskel, sodass sowohl eine gleichmäßige Kraftentwicklung als auch bei einem Ausfall von Motoneuronen kein Funktionsverlust entstehen kann. Das bedeutet, dass ein Motoneuron über synaptische Verbindungen mittels eines Aktionspotentials viele Muskelfasern ankurbeln und eine Kontraktion auslösen kann. Dieser Komplex aus einem Motoneuron, dem Axon sowie der synaptischen Verbindung stellt die kleinste funktionelle Einheit zur Kraftentfaltung dar und wird als motorische Einheit beschrieben (Feigenspan, 2017). Motorische Einheiten differenzieren aufgrund der Größe der Motoneuronen sowie der Anzahl der Muskelfasern, die von einem Motoneuron aktiviert werden. Kleine Motorneuronen entfalten zum Beispiel weniger Kraft, weil sie weniger Synapsen zu Muskelfasern im Vergleich zu großen Motorneuronen bilden. Diese Differenzierung dient als Abstufung für die Kraftentwicklung eines Muskels und basiert auf der Anzahl aktiver oder nicht aktiver motorischer Einheiten. Je mehr motorische Einheiten rekrutiert werden, desto höher ist die Kraftentwicklung, jedoch werden zuerst kleine motorische Einheiten aktiviert bevor größere Einheiten rekrutiert werden. Große motorische Einheiten werden hauptsächlich bei intensiven und kurzen Bewegungen zugeschaltet, um eine maximale Kraftentwicklung zu ermöglichen. In

Abbildung neun wird die Kraftentwicklung von motorischen Einheiten langsamer und schneller Muskelfasern dargestellt. Schnelle Muskelfasern, also Fast-Twitch-Fasern können schneller und höhere Kraftimpulse setzen im Vergleich zu langsamen Muskelfasern bzw. Slow-Twitch-Fasern. Slow-Twitch-Muskelfasern entfalten langsamer das maximale Aktivierungsniveau und haben eine niedrigere Kraftentfaltung, weisen aber im Vergleich zu Fast-Twitch-Fasern eine längere Kontraktionszeit auf (Feigenspan, 2017; Raeder et al., 2020).

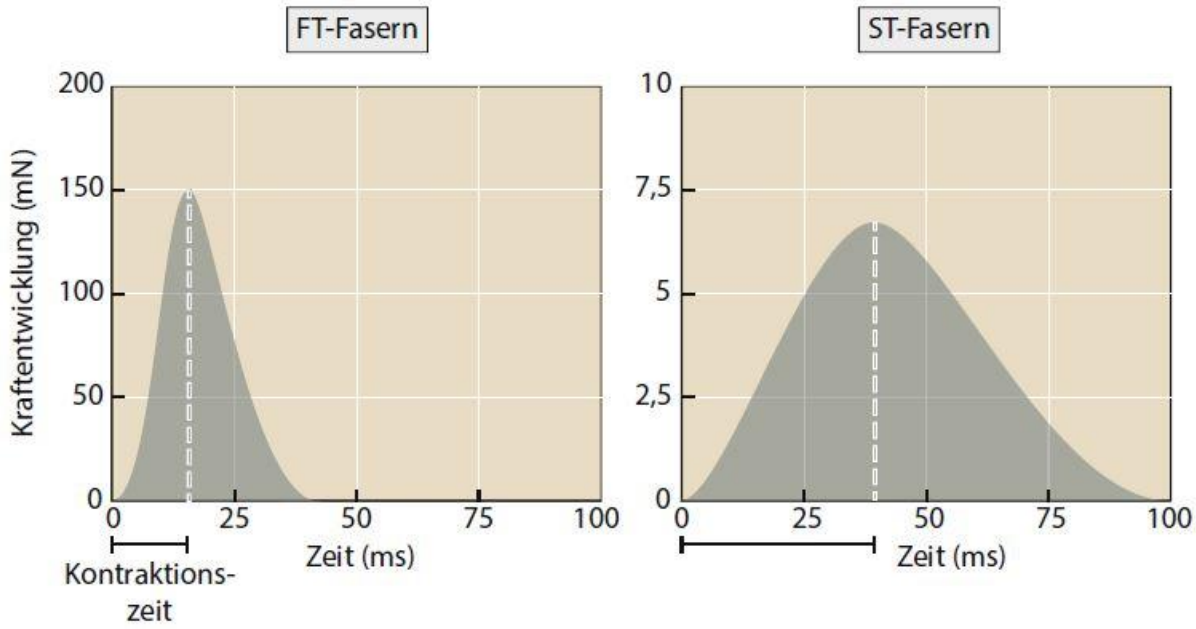


Abb. 9: Kraftentwicklung einer schnellen und langsamen motorischen Einheit (Feigenspan, 2017, S. 511)

2.1.9 Intra- und Intermuskuläre Koordination

Motorische Einheiten werden vom zentralen Nervensystem angetrieben, was mithilfe von zwei Prinzipien, der Rekrutierung und der Frequenzierung von motorischen Einheiten erfolgt. Die Rekrutierung bezieht sich auf die Anzahl an innervierten motorischen Einheiten, wobei die Frequenzierung die Höhe der Erregungsimpulse der Motoneuronen bestimmt (Linke et al., 2010). Bei steigender Belastung nehmen sowohl Rekrutierung als auch Frequenzierung als Reaktion des zentralen Nervensystems zu. Dieser Prozess wird als sogenannte intramuskuläre Koordination bezeichnet und bestimmt die Qualität des Wechselspiels der Rekrutierung und Frequenzierung (Raeder et al., 2020).

Die Rekrutierung erfolgt nach dem Größenprinzip, das bedeutet, dass je nach Höhe der Kraftanforderung kleine oder große Motorneuronen aktiviert werden. Ist die Kraftanforderung niedrig, werden kleine Motoneurone mit langsamen Muskelfasern aktiviert (Toigo, 2014). Kleine Motoneuronen haben geringe Schwellenwerte und werden bei

geringer Kraftanstrengung innerviert. Eine Kraftanstrengung, die bei ca. 80-95% der maximalen Kraft liegt, erfordert hingegen weitgehend alle motorischen Einheiten, die zur Bewältigung der motorischen Aufgabe zur Verfügung stehen. Wird die Kraftanstrengung reduziert, werden die Motoneuronen in entgegengesetzter Reihenfolge deaktiviert. Eine andere Möglichkeit die intramuskuläre Koordination zu verbessern, ist eine verbesserte Frequenzierung. Damit ist die Erhöhung von Erregungsraten bzw. vom Aktionspotentialfrequenz gemeint, die größere Kraftwerte ermöglicht (MacDougall et al., 2014).

Die intermuskuläre Koordination bezieht sich auf den Bewegungsablauf und den damit verbundenen koordinativen Abstimmungen der unterschiedlichen Muskeln. Insbesondere bei Bewegungsabläufen, die mehrere Gelenke und Muskeln benötigen, wird die intermuskuläre Koordination schlagend. Es besteht jedoch eine gewisse bewegungsbezogene Abhängigkeit und diese ist schwer übertragbar. Die Bewegungen müssen sich grundlegend ähneln, um einen gewünschten Transfer zu erzielen, wie zum Beispiel beim Schlagballwurf und dem Speerwurf (Raeder et al., 2020).

2.2 Kraft und Krafttraining

Kraft ist eine motorische Fähigkeit, die für alltägliche Bewegungen, aber auch für sportliche Leistungen essenziell ist. Diese Fähigkeit kommt in unterschiedlichsten Bewegungsformen wie Gehen, Turnen, Schwimmen, etc. zum Tragen und bildet eine der Grundlagen für motorische Fertigkeiten (Güllich et al., 2013). Im Allgemeinen wird Kraft als Masse x Beschleunigung beschrieben, wohingegen die sportwissenschaftliche Definition weitergefasst ist:

> *„Kraft ist die Fähigkeit des Nerv-Muskel-Systems Widerstände zu überwinden oder ihnen entgegenzuwirken“ (Pauls, 2015, S. 11)*

Kraft ist somit ein komplexes Zusammenspiel mehrerer Faktoren, die es uns ermöglichen, verschiedene Kraftleistungen zu vollziehen. Sie ist das Ergebnis eines Zusammenspiels aus intra- und intermuskulären Koordination, psychischen Mobilisationsprozessen, - wie zum Beispiel Leistungsstreben und Motivation - sowie aus Muskelmasse mit ihrer Aufbaustruktur, der Myofibrillendichte und des Muskelfasertyps (Pauls, 2015).

Die motorische Fähigkeit „Kraft“ besteht aus verschiedenen Komponenten und kann auf unterschiedlichste Weise trainiert werden und setzt sich aus diversen Zielstellungen zusammen. Unter anderem sind Ziele des Krafttrainings die Steigerung der sportarttypischen Leistungsfähigkeit, die Steigerung der Regeneration durch eine rasche Rehabilitation von Muskel- und Gelenkfunktion, die Verbesserung des Selbstbewusstseins, die Steigerung der Verletzungsprophylaxe durch Zunahme von Stabilität und Belastbarkeit

des Stütz- und Bewegungsapparates, der Erhalt von Muskelmasse und Muskelfunktion als Voraussetzung für das Alter sowie die Steigerung von Stoffwechselaktivitäten und des Energieumsatzes, die sich auch in den Ruhephasen widerspiegeln (Raeder et al., 2020).

2.2.1 Struktur und Erscheinungsformen der Kraft

Sowohl in alltäglichen als auch in sportlichen Situationen wirken exogene Kräfte, die der Körper mit endogenen Kräften auszugleichen versucht. Die exogenen Kräfte können entweder statische oder dynamische Arbeitsweisen der Muskeln hervorrufen, um den Körper im Gleichgewicht zu halten. Die statische Muskelaktion wird auch als haltende oder isometrische Muskelaktion bezeichnet und ist durch eine Änderung der Muskelspannung bei gleichbleibendem Abstand zwischen Ursprung und Ansatz des Muskels gekennzeichnet. Demnach wäre zum Beispiel ein Halten oder Drücken gegen einen unüberwindbaren exogenen Widerstand, der auf den Körper wirkt, als isometrische Muskelaktion zu bezeichnen (Raeder et al., 2020). Hingegen werden dynamische Bewegungsformen als sichtbare Veränderung des Gelenkwinkels definiert, die sich in drei unterschiedliche Bewegungen unterteilen lassen: Als erstes in eine konzentrische Arbeitsform, die sich durch eine Verkürzung des Muskels bzw. des Muskel-Sehen-Komplexes charakterisieren lässt. Ein Widerstand muss überwunden werden und es kommt zu einer eben angesprochenen Verkürzung des Muskels. Das Pendant dazu ist die zweite Arbeitsform, die exzentrische Kontraktion, die durch eine Verlängerung bzw. Dehnung des Muskels gekennzeichnet ist.

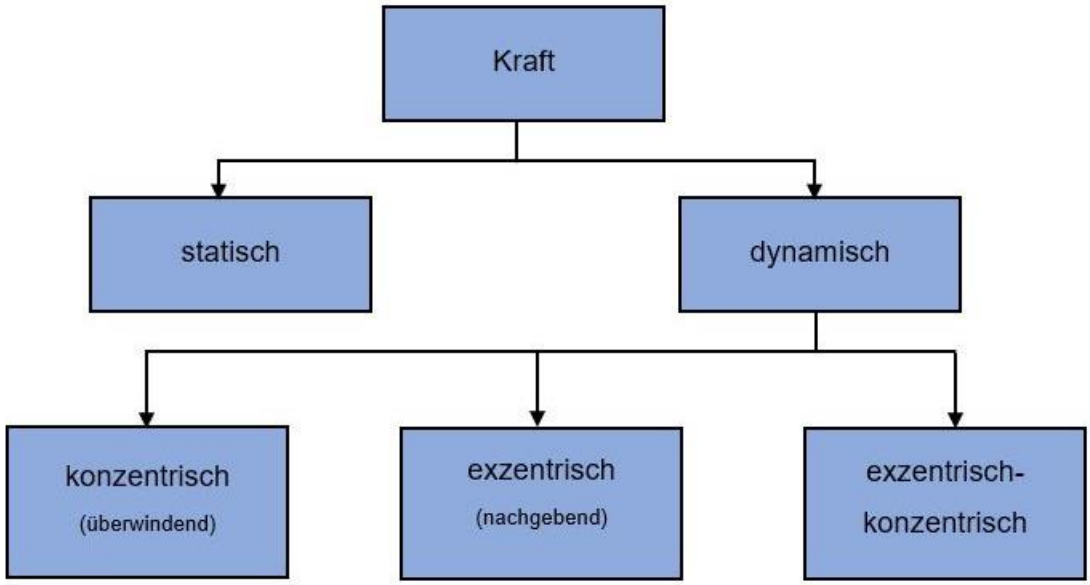


Abb. 10: Strukturierung der Kraft nach Kontraktionsformen (mod. nach Steinhöfer, 2015, S. 67)

Ein Beispiel für eine exzentrische Arbeitsweise wäre das langsame Hinsetzen auf einen Stuhl. Die letzte Arbeitsform ist eine Kombination aus konzentrisch und exzentrischer

Arbeitsweise, die eine Verkürzung sowie Verlängerung des Muskels beinhaltet (Raeder et al., 2020). Die beschriebene Strukturierung der Kraft ist in Abbildung zehn ersichtlich. Die Kraft kann außerdem in physiologische und morphologische Einflussgrößen unterteilt werden. Sie ist von tendomuskulären, neuronalen und anthropometrisch-biomechanischen Faktoren abhängig. Unter anderem kann die Kraft in Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer und Reaktivkraft unterschieden werden, wobei die Maximalkraft eine übergeordnete Basisfähigkeit darstellt. Diese Arten der Kraft können entweder als isometrische, konzentrische, exzentrische oder exzentrisch konzentrische Arbeitsform auftreten (Raeder et al., 2020). Diese Unterteilungen der Arbeitsform, der Komponenten und der Einflussgrößen ist in Abbildung elf schematisch dargestellt.

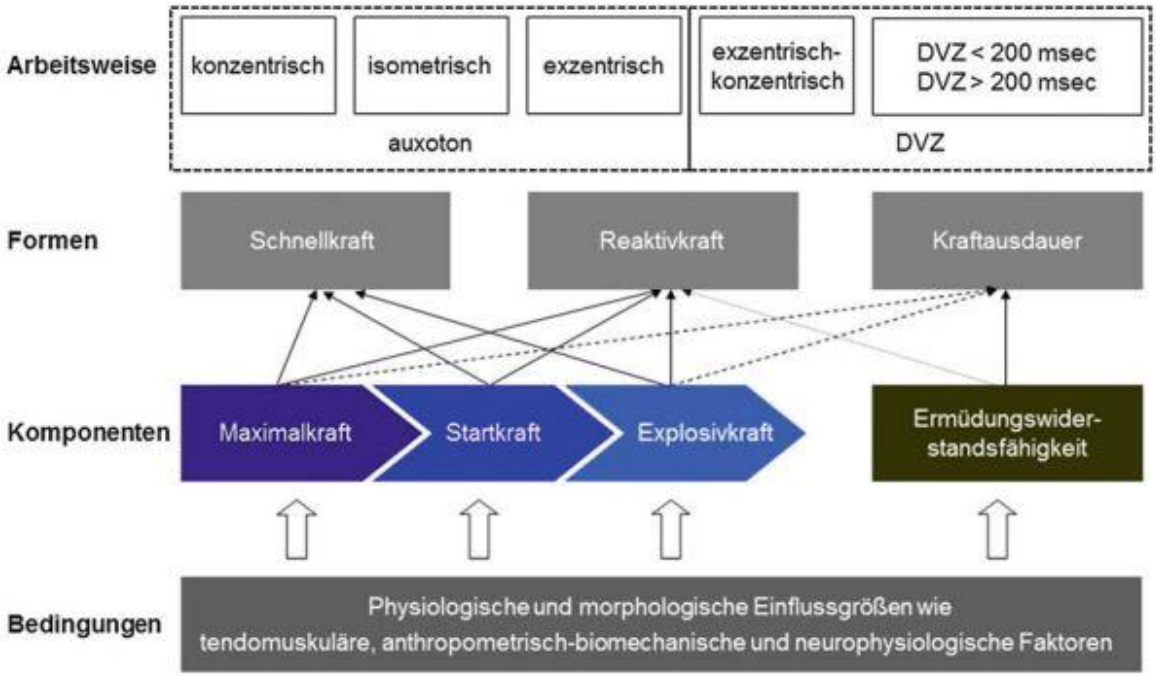


Abb. 11: Struktur der motorischen Basiseigenschaften von Kraft mit deren Bedingungen, Komponenten, Formen und Muskelarbeitsweisen und Beziehungen zueinander (Güllich et al., 2020, S. 3)

Die Maximalkraft ist vom Muskelquerschnitt, der intra- und intermuskulären Koordination, verfügbaren Energieressourcen im Muskel, dem Muskelfasertyp und den individuellen Hebelverhältnisse abhängig (Gutschlhofer, 2017). Die Maximalkraft wird als jene Kraft bezeichnet, die vom Nerv-Muskel-System maximal willkürlich gegen einen Widerstand erzeugt werden kann. Dennoch ist es möglich, supramaximale Belastungen zu bewältigen, indem Muskeln und Sehnen bei einer exzentrischen Bewegung gedehnt werden. Dadurch entsteht eine neuronale Aktivierung und zusätzlich werden passiv-elastische Kräfte des tendomuskulären Systems entfaltet (Güllich et al., 2013). Diese entwickelte Kraft liegt weit über der der Maximalkraft und wird als Absolutkraft definiert. Das Kraftdefizit beschreibt

analog dazu die Differenz zwischen der Absolutkraft und der maximal willkürlichen Kraft. In Abbildung zwölf sind die unterschiedlichen Arbeitsweisen mit deren Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung dargestellt. Auf der Y-Achse ist die Kraft und auf der X-Achse ist die Bewegungsgeschwindigkeit angegeben. Demzufolge sinkt bei steigendem Kraftaufwand die Bewegungsgeschwindigkeit, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit bei sinkendem Kraftaufwand steigt.

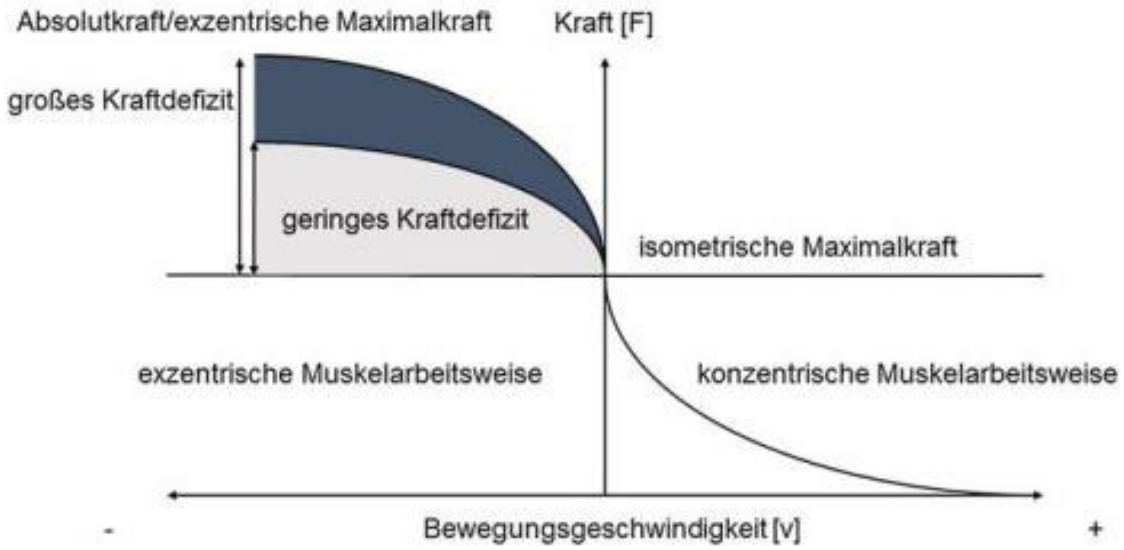


Abb. 12: Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung bei exzentrischer, isometrischer und konzentrischer Arbeitsweise (Güllich et al., 2020, S. 5)

In der sportlichen Praxis sind das Ein-Wiederholungsmaximum (1-RM) und die Relativkraft wichtige Parameter für die Maximalkraft. Das 1-RM entspricht der maximal bewältigbaren Last, die bei einer beliebigen Kraftübung über die komplette Bewegungsamplitude realisiert werden kann. Diese Form der Maximalkraft wird als die dynamisch-konzentrische Maximalkraft definiert. Die Intensitäten einer spezifischen Kraftübung werden oftmals in Prozent des 1-RM, als Referenzwert, angegeben. Die Relativkraft ist die Maximalkraft bezogen auf das Körpergewicht und dient unter anderem dem Vergleich der Maximalkraft von Personen mit unterschiedlicher Körpermasse, wie zum Beispiel bei Frauen und Männern. Die Relativkraft nimmt dementsprechend bei einer Abnahme der Köpermasse zu (Güllich et al., 2020).

Die Maximalkraft wird als Basisgröße für Schnellkraft sowie für Kraftausdauer bezeichnet, da beide Komponenten von ihr abhängig sind. Eine Steigerung der Maximalkraft kann folglich die Schnellkraft als auch die Kraftausdauer positiv beeinflussen.

Die Schnellkraft wird auch als neurotendomuskuläre Fähigkeit definiert und ist durch einen möglichst hohen Kraftimpuls in kurzer Zeit gekennzeichnet. Die Höhe des Kraftimpulses ist

einerseits von der Masse des zu beschleunigenden Körpers und andererseits von der Höhe der Beschleunigung und der Zeit, in der diese Beschleunigung auf den Körper wirkt, abhängig (Raeder et al., 2020). Die Schnellkraft setzt sich aus unterschiedlichen Parametern, wie der Startkraft, der maximalen Kraftentwicklungsrate, die Höhe des entwickelten Kraftmaximums, der Zeit bis zur Erreichung des Kraftmaximums und der Dauer des Impulses zusammen.

Die letzte Erscheinungsform der Kraft ist die Reaktivkraft, die eine Kombination aus einer exzentrischen und einer konzentrischen Arbeitsweise darstellt. Die besondere Form der Kraft wird durch einen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) gekennzeichnet, wobei die Dehnung die exzentrische Phase und die Verkürzung die konzentrische Phase darstellt. Die Reaktivkraft ist somit die Fähigkeit, innerhalb eines DVZ einen möglichst hohen Kraftimpuls zu entwickeln. Diese komplexe Form ermöglicht höhere mechanische Leistungen im Vergleich zu isolierten exzentrischen oder konzentrischen Bewegungen (Raeder et al., 2020). Diese höheren Leistungen sind von der Plastizität und der Elastizität des Muskel-, Binde- und Stützgewebe und der Sensibilität der Propriozeptoren abhängig (Pauls, 2015). In der sportlichen Praxis werden zwei unterschiedliche DVZ, aufgrund ihrer zeitlichen Dauer beschrieben. Zum einen den kurzen DVZ, der zum Beispiel in gewissen Sportarten bei verschiedenen Stützphasen, wie Weitsprung, Sprint, etc. zum Tragen kommt. Der kurze DVZ ist durch eine sehr kurze Zeitdauer von unter 200ms gekennzeichnet. Zum anderen den langen DVZ, der mit einer längeren Zeitdauer von über 200ms charakterisiert ist und beispielsweise bei Absprüngen beim Volleyball, Handball oder Basketball relevant.

Als letzte Arbeitsform ist die Kraftausdauer zu nennen, die sowohl eine Kraft- als auch eine Ausdauerkomponente ausweist. Die Kraftausdauer ist die Fähigkeit, die Ermüdung der Muskulatur bzw. die Abnahme der Muskelleistung möglichst gering zu halten, sodass eine bestimmte zeitlich andauernde Belastung möglichst lange aufrechterhalten werden kann. Diese Fähigkeit lässt sich in eine statische - zum Beispiel Gleiten im Skisport - und eine dynamische Form unterscheiden. Hinsichtlich der dynamischen Kraftausdauer kann man unter anderem zwischen der konzentrischen und der exzentrisch-konzentrischen Arbeitsform unterscheiden. Insbesondere werden exzentrisch-konzentrische Arbeitsweisen – beispielsweise bei zyklischen Bewegungen wie Rudern oder Schwimmen oder beim Krafttraining - schlagend. Wichtige Einflussgrößen für die Kraftausdauer sind die Muskelfaserhypertrophie, die Ansteuerung der unterschiedlichen Fasertypen und die Energiebereitstellung, die von der aeroben und anaeroben Stoffwechselkapazität abhängig ist (Pauls, 2015).

2.2.2 Belastungsnormative

Belastungsnormative sind neben dem Trainingsziel und der Trainingsinhalte für eine adäquate Trainingsleistung und Trainingssteigerung essenziell. Belastungsnormative sind für eine Trainingssteuerung unabdingbar, um die Belastung möglichst genau anzupassen (Raeder et al., 2020). Die Steuerung des Trainings erfolgt über die Belastungsintensität, der Belastungsdauer, Erholungsdauer, Belastungsdichte, Belastungshäufigkeit, Belastungsumfang und Belastungsqualität.

Die Belastungsintensität wird auch als Trainingsreiz, der während einer Trainingseinheit gesetzt wird, bezeichnet. Die Belastungsintensität ist eine der wichtigsten Steuerungsgrößen und wird zumeist zu Beginn festgelegt, weil sie unter anderem für eine Vielzahl an physiologischen Adaptationen im Körper verantwortlich ist. Die Höhe der Intensität muss jedenfalls adäquat gesetzt werden, um einen Trainingsreiz zu erzielen, wobei die Intensität aufgrund der Trainingsinhalte oder aufgrund der Sportart variieren kann. Beim Ausdauertraining wird zum Beispiel die maximale Herzfrequenz und beim Krafttraining das 1-RM als Leistungsoptimum angesehen. Können diese beiden Parameter für eine Steuerung nicht herangezogen werden, kann die zeitliche Dauer einer Belastung Aufschluss geben. In diesem Fall kann das Training beispielsweise über die Bestleistung oder die Geschwindigkeit gesteuert werden (Raeder et al., 2020). Darüber hinaus können mechanische Leistung in Watt (beispielsweise beim Fahrradfahren) sowie die maximale Sauerstoffaufnahme als Messgrößen herangezogen werden. Eine andere Möglichkeit wäre zum Beispiel die BORG-Skala als subjektive Messgröße, um die Trainingsintensität zu schätzen. Personen müssen während einer Belastung die Anstrengung anhand einer Skala schätzen.

Eine andere Belastungsnormative ist die Belastungshäufigkeit bzw. Trainingshäufigkeit, die Aufschluss über die Trainingseinheiten in einem gewissen Zyklus oder während einer Woche gibt (Hoffman, 2014). Die Häufigkeit variiert nach der individuellen Leistungsvoraussetzung, denn untrainierte Personen benötigen zu Beginn mehr Erholung. Dementsprechend ist auch die Trainingsdauer der Trainingseinheiten zu nennen. Die Trainingseinheiten werden in Minuten oder Stunden angegeben, jedoch wird zumeist die gesamte Trainingsdauer mit Aufwärmen, Abwärmen, etc. eingerechnet (Raeder et al., 2020). Als weitere Belastungsnormative ergibt sich das Trainingsvolumen oder der Trainingsumfang, die sich aus der bewegten Gesamtlast im Krafttraining oder den Kilometer während eines Ausdauertrainings zusammensetzen (Hoffman, 2014).

Neben der Trainingsbelastung ist auch die Erholung als Basis für eine optimale Leistung zu nennen. Die Erholung ist jedoch nicht nur zwischen den Trainingseinheiten, sondern auch

zum Beispiel zwischen den Serien oder Sätzen optimal zu gestalten. Generell gilt ein optimales Verhältnis zwischen Belastung und Erholung zu entwickeln, um einen möglichst hohen Output zu erzielen. Dieses Verhältnis zwischen Belastung und Erholung wird auch als Belastungsdichte bezeichnet. Die Erholung variiert aufgrund der sportartspezifischen Belastung und muss dementsprechend angepasst werden, damit es zu keinen Leistungseinbußen kommen kann. Wichtig ist, dass das Verhältnis zwischen Belastung und Erholung nicht nur relativ zueinander, sondern auch die gesamte absolute Dauer von Belastung und Erholung definiert wird. Dies ist essenziell, um ein optimales Verhältnis zu gewährleisten (Raeder et al., 2020).

Normative	Ausdauertraining	Krafttraining	Schnelligkeitstraining
Umfang	Distanz bzw. Streckenlänge (m, km)	Last (kg); Wiederholungen; Anzahl von Serien und Sätzen	Streckenlängen (m); Wiederholungen; Serien
Intensität	Bewegungsgeschwindigkeit (m/s, km/h); Prozent der Bestleistung bzw. Wettkampfgeschwindigkeit; Prozent der maximalen Herzfrequenz	Größe des Impulses (Ns); Prozent der Maximalkraft	Prozent der Maximalgeschwindigkeit; Bewegungsfrequenz (Schritt-, Schlag-, Trittfrequenz)
Dauer	Zeit für Trainingsstrecke (min, h)	Dauer (s, min) eines Satzes, einer Serie, der Muskelarbeit	Zeit (s) für absolvierte Strecken
Häufigkeit	Anzahl der Trainingsbelastungen bzw. -wiederholungen innerhalb einer Trainingseinheit, eines Trainingstags oder eines definierten Trainingszeitraums		
Dichte	Verhältnis zwischen Belastungs- und Erholungs-/ Pausenzeit; Verhältnis zwischen Training und trainingsfreier Zeit	Verhältnis zwischen der Zeit der Muskelarbeit und Pausen; Erholungszeit zwischen Sätzen und Serien, Verhältnis zwischen Training u. trainingsfreier Zeit	Verhältnis zwischen Belastungs- und Erholungs-/Pausenzeit; Verhältnis zwischen Training und trainingsfreier Zeit
Ausführung	Langsam, schnell, hochfrequent, niederfrequent, fließend, rhythmisch, ästhetisch	langsam, zügig, schnell, explosiv	Submaximal, maximal, supramaximal

Abb. 13: Komponenten und Eigenschaften der Belastungsnormative für Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitstraining (Hottenrott et al., 2017, S. 81)

In Abbildung 13 werden die Komponenten der Belastungsnormative für Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitstraining überblicksmäßig dargestellt. Daraus ergeben sich unterschiedliche Belastungsanforderungen für das jeweilige Training einer motorischen Fähigkeit.

Eine weitere Komponente der Belastungsnormative ist die Belastungs- oder Ausführungsqualität, wie zum Beispiel die Explosivität, Frequenz, Rhythmisierung und Dynamik einer sportlichen Aktivität (Hottenrott et al., 2017). Die Bewegungsausführung ist insbesondere beim Krafttraining zu berücksichtigen, da sich dies auf die Belastungsdauer auswirken kann. Eine veränderte Bewegungsausführung, ohne die Belastungsdichte, die Belastungshäufigkeit oder den Belastungsumfang zu adaptieren, kann zu einem unterschiedlichen Trainingsreiz führen. Außerdem ist beispielsweise die Ausführung beim Laufen mit einer unterschiedlichen Schrittfrequenz bzw. mit einer unterschiedlichen Abstoßbewegung beziehungsweise die Schlagfrequenz beim Rudern zu nennen. Bei einer Veränderung der Ausführung variieren dementsprechend sowohl Intensität als auch metabolische Beanspruchungen (Ludyga et al., 2015).

2.2.3 Gesundheitlicher Aspekte des Krafttrainings

Vor nicht allzu langer Zeit war Krafttraining, als muskelaufbauende Form des Trainings, im Allgemeinen eine Nische des Bodybuildings, Kraftdreikampfes und Olympischen Hebens, die von Männern dominiert wurde. Um in diesen Sportarten zu bestehen, braucht es Kraft und Muskelmasse, die durch ein schweres Widerstandstraining mit Hanteln oder Kurzhanteln erzielt wurde. Der durchschnittliche Bürger oder die durchschnittliche Bürgerin hatten damals keinen Grund Krafttraining zu betreiben. Ebenso sahen unterschiedliche Sportler und Sportlerinnen Krafttraining eher als Hindernis, da durch das Heben von Gewichten ihr sportliche Leistung beeinträchtigt werden (Westcott, 2012). Noch bevor das Krafttraining die breite Bevölkerung erreichte, wurde hauptsächlich regelmäßiges Training gefördert, um körperliche Fitness, das gewünschte Körpergewicht und die Gesundheit der Atemwege zu erreichen. Dies wurde Großteils mit aeroben Aktivitäten erreicht, jedoch nicht mit Krafttraining (Cooper, 1968). In jüngerer Zeit wurde die Aufmerksamkeit auf den altersbedingten Muskelverlust und den damit verbundenen physiologischen Problemen, die durch vermehrtes Sitzen und einer alternden Bevölkerung vermehrt auftritt, gelegt (Marcell, 2003). Dieses Phänomen ist besser unter dem Namen Sarkopenie bekannt, die mit Knochenverlust, metabolischer Deklination, Fettzunahme, Diabetes, metabolischem Syndrom und Gesamtmortalität in Verbindung gebracht wird (Malafarina et al., 2011). Außerdem nimmt die Muskelmasse nachdem 30.Lebensjahr pro Jahrzehnt ca. drei bis acht Prozent ab (Kyle et al., 2011). Ab dem 50.Lebensjahr steigt der Muskelverlust auf fünf bis zehn Prozent pro Jahrzehnt an und kann ab dem 70. Lebensjahr auf bis zu 25 bis 40

Prozent steigen (Goodpaster et al., 2006; Marcell, 2003). In Anbetracht der steigenden Probleme eines westlichen Lebensstils wurde Krafttraining in den Fokus öffentlichen sowie wissenschaftlichen Interesses gerückt, weshalb es sich im 21. Jahrhundert immer mehr in der breiten Bevölkerung etabliert hat. Einerseits ist es schon längere Zeit bewiesen, dass Krafttraining sowohl für Männer als auch für Frauen zu einer Steigerung der Muskelmasse und Muskelkraft führen kann, wodurch der altersbedingten Abnahme entgegengewirkt werden kann (Kell, 2011; Salvador et al., 2009). Andererseits bietet es noch viele andere gesundheitliche Vorteile für das physische als auch das psychische Wohlbefinden. Unter anderen stimuliert Krafttraining einen erhöhten Muskelproteinumsatz und kann aufgrund einer größeren Muskelmasse den Ruhestoffwechsel erhöhen (Evans, 2001). Eine Zunahme des Muskelgewebes um ein Kilogramm kann den Ruhestoffwechsel um ca. 21 Kilokalorien erhöhen (Strasser et al., 2011). Diese Erhöhung des Ruhestoffwechsel kann langfristig zu einer Reduktion des Körperfetts führen. Übermäßiges Körperfett ist mit Risikofaktoren wie beispielsweise erhöhtem Plasmacholesterin, Plasmaglukose und Blutdruck verbunden, wodurch es zu einer Entwicklung von Diabetes Typ 2 sowie Herz-Kreislauf-Erkrankungen kommen kann (Guh et al., 2009). Krafttraining kann generell ein Auftreten von Diabetes Typ 2 verhindern, da es einer Abnahme der Insulinsensitivität entgegenwirken kann. Darüber hinaus dient es der Verbesserung der Insulinresistenz und der glykämischen Kontrolle (Dela et al., 2006; Pan et al., 2018).

Des Weiteren kann mithilfe von Krafttraining eine Reduktion der Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen erzielt werden. Eine verbesserte Körperzusammensetzung aufgrund einer Mobilisierung von viszeralen und subkutanem Bauchfett kann mittels eines langfristigen Trainings erfolgen. Zusätzlich kann sich der Ruheblutdruck, das Lipoprotein-Lipid-Profil sowie die glykämische Kontrolle verbessern (Strasser et al., 2011). Neben Vorteilen für das Herz-Kreislaufsystem kann sich Krafttraining auch positiv auf die Knochenmineraldichte auswirken. Immerhin können Erwachsene, die keine sportliche Aktivität ausüben, einen Verlust der Knochenmineraldichte von ein bis drei Prozent pro Lebensjahr verzeichnen (Going et al., 2009).

Neben den körperlichen Benefits von Krafttraining gibt es einige Studien, die einen positiven Einfluss von Krafttraining auf die Psyche nachweisen konnten. Insbesondere kann Widerstandstraining zur Reduzierung von Symptomen bei Menschen mit Müdigkeit, Angst und Depression beitragen (O'Connor et al., 2010). In Kombination mit aerobem Training konnte sogar eine signifikante Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten bei älteren Personen im Vergleich zu untrainierten Personen festgestellt werden (Sink et al., 2015; Stanley et al., 2003).

Krafttraining bietet viele körperliche als auch psychische Vorteile, die einerseits als Prävention von Erkrankungen, andererseits zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit beitragen können.

2.2.4 Muskelaufbautraining und Maximalkrafttraining

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Steigerung der Maximalkraft des Muskels, nämlich der Erhöhung der gleichzeitig innervierten motorischen Einheiten sowie der Vergrößerung des Muskelquerschnitts, der sogenannten Muskelhypertrophie. Um eine Steigerung der Muskelhypertrophie zu erzeugen, bedarf es einer Proteinsynthese und ein dementsprechend verfügbares Protein im Körper. Diese Proteinsynthese des Muskels wird aufgrund einer hohen Kraftanstrengung ausgelöst. Außerdem entsteht in Folge der Kraftanstrengung ein Defizit an verfügbarer Energie sowie ein Defizit bei der Laktatbildung im Muskel. Diese Reaktionen auf Krafttraining führen neben einer erhöhten Proteinsynthese zu einer Bildung neuer Myofibrillen bzw. Sarkomeren im Muskel (Hottenrott et al., 2017).

Hottenrott et al. (2017) beschreiben zwei Varianten, die eine Ausprägung der Maximalkraft fördern können. Bei der ersten Variante liegt der Fokus auf der Entwicklung des Muskelquerschnitts und der erhöhten Proteinsynthese, die daraus entsteht. Die Steigerung des Muskelquerschnitts wird mit einer submaximalen Belastung durch eine komplette Ermüdung innerhalb jeden Satzes optimal erreicht.

Methode des submaximalen Krafteinsatzes bis zur Ermüdung	
Last	75–90%
Ausführung/Intensität	Langsam bis zügig (abhängig von der Last) Aktivierungsintensität: 80–100%
Wiederholungen	4–12
Sätze / Satzpause	3–6 / 3–5 min
Trainingswirkung	• Aktivierung der Eiweißsynthese (Muskel) • Muskelquerschnittszunahme • Steigerung der Maximalkraft
Empfehlungen für den Trainingsprozess	• Im Anschluss ans Grundlagentraining (Kraft-ausdauer) und vor spezifischer Ausprägung der Maximalkraft • Haupttrainingsmethode für Bodybuilder • TE-Dichte: maximal jeden 2. Tag oder täglich mit abwechselnden Muskelgruppen • Unterstützung durch Proteinsubstitution • Achtung: akzentuiertes Hypertrophie-Training hemmt die Kontraktionsgeschwindigkeit

Abb. 14: Belastungskennwerte als Empfehlung zur Steigerung der Muskelhypertrophie (Hottenrott et al., 2017, S. 193)

Die Trainingslast ist so zu wählen, dass zwischen vier und zwölf Wiederholungen ausgeführt werden können, was einer Last von 75 bis 90% des 1-RM entspricht. In Abbildung 14 werden Trainingskennzahlen sowie Empfehlungen für die Trainingseinheit abgegeben. Wichtig ist an dieser Stelle aber zu erwähnen, dass ein Muskelwachstum auch mit niedrigeren Lasten möglich ist wie eine Metaanalyse von Schoenfeld et al. (2016) zeigt.

Eine andere Variante zur Steigerung der Maximalkraft ist die Verbesserung der intramuskulären Koordination, die in Kapitel 2.1.9 näher beschrieben wurde. Der Unterschied zum Hypertrophietraining ist die höhere Last, die Wiederholungsanzahl und die längere Erholungsdauer. Die Last sollte 85 bis 100% des 1-RM betragen mit einer Wiederholungsanzahl von einer bis fünf Wiederholungen pro Satz (Hottenrott et al., 2017). Dies wird auch von Schoenfeld et al. (2017) bestätigt, die Vorteile von höheren Lasten im Vergleich zu niedrigeren Lasten sehen. Zwar ist die Verbesserung mit niedrigeren Lasten möglich, jedoch führt das Training mit höheren Lasten zu besseren Zuwächsen der Maximalkraft. In Abbildung 15 sind die wichtigsten Kennzahlen eines Maximalkrafttrainings aufgelistet.

Methode des maximalen Krafteinsatzes (IK-Methode)	
Last	85–100%
Ausführung/Intensität	langsam (aufgrund der hohen Last) Aktivierungsintensität: 90–100%
Wiederholungen	1–5 pro Satz
Sätze / Satzpause	3–6 / 3–5 min
Trainingswirkung	• Steigerung der Maximalkraft • Zubringer für Schnellkraft/Explosivkraft • Verbesserung der neuronalen Aktivierung • Optimierung der intramuskulären Koordination
Empfehlungen für den Trainingsprozess	• Voraussetzung: technisch korrekte Übungsausführung • Belastungsdynamik ohne nennenswerte Ermüdungsaufstockung • TE-Dichte: maximal jeden 2. Tag • Akzentuierung in Schnellkraftsportarten vor allem in der Vorbereitungsphase • In der Wettkampfphase vorwiegend Maximalkrafterhaltung

Abb. 15: Belastungskennwerte als Empfehlung zur Steigerung der Maximalkraft (Hottenrott et al., 2017, S. 193)

Generell dient das Maximalkrafttraining der verbesserten Aktivierung von motorischen Einheiten. Insbesondere profitieren Trainingsanfänger von der neuronalen Adaptation,

wodurch eine rasche Steigerung des 1-RM möglich ist. Diese rasche Steigerung flacht mit zunehmender Trainingshäufigkeit ab, da sich durch Maximalkrafttraining kaum noch Zuwächse erzielen lassen. Trainierte Athleten können durch eine verbesserte intramuskuläre Koordination kaum noch Leistungsverbesserungen erzielen, da sich der Körper 15% der Muskelfasern als eine Schutzfunktion bzw. Reserve vorbehält. Diese Reserve der Muskelfasern kann willkürlich nicht angesteuert werden, der Körper greift nur in Notsituationen darauf zurück. Trotz dieses Hintergrunds ist ein Maximalkrafttraining bei trainierten Personen notwendig, um eine hohe Aktivierungskapazität aufrechtzuerhalten. Dennoch muss der Körper mittels neuen Trainingsreizen gefordert werden, weshalb eine Kombination aus Hypertrophie sowie Maximalkrafttraining essenziell ist. Hingegen werden bei körpergewichtbetonten Sportarten andere Trainingsmethoden vorgeschlagen. Ein starker Fokus auf Hypertrophietraining wird nicht angeraten, wobei ein Maximalkrafttraining das Körpergewicht nicht in dem Ausmaß beeinflusst (Hottenrott et al., 2017).

2.2.5 Muskelhypertrophie in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter

Im Zuge des Alterungsprozess verändert sich sowohl die Qualität als auch die Quantität der Muskeln. Die Muskelmasse erreicht ihren Höchststand zwischen dem 20 und 40 Lebensjahr und verringert sich ab dem vierten Jahrzehnt pro Jahr um ca. 0,5% (Schoenfeld, 2020). Kyle et al. (2011) rechnen sogar schon ab dem 30.Lebensjahr mit einer Reduktion der Muskelmasse um ca. drei bis acht Prozent. Ab dem 50. Lebensjahr nimmt die Reduktion noch einmal um ein bis zwei Prozent pro Jahr zu. Generell wird dieser Verlust von Muskelmasse als Sarkopenie bezeichnet und lässt sich durch Bewegung im Alltag kaum vermeiden (Heslin et al., 1992). In Abbildung 16 ist der altersbedingte Verlust der Muskelmasse mit vier unterschiedlichen Kategorien, die einen Einfluss haben, dargestellt.

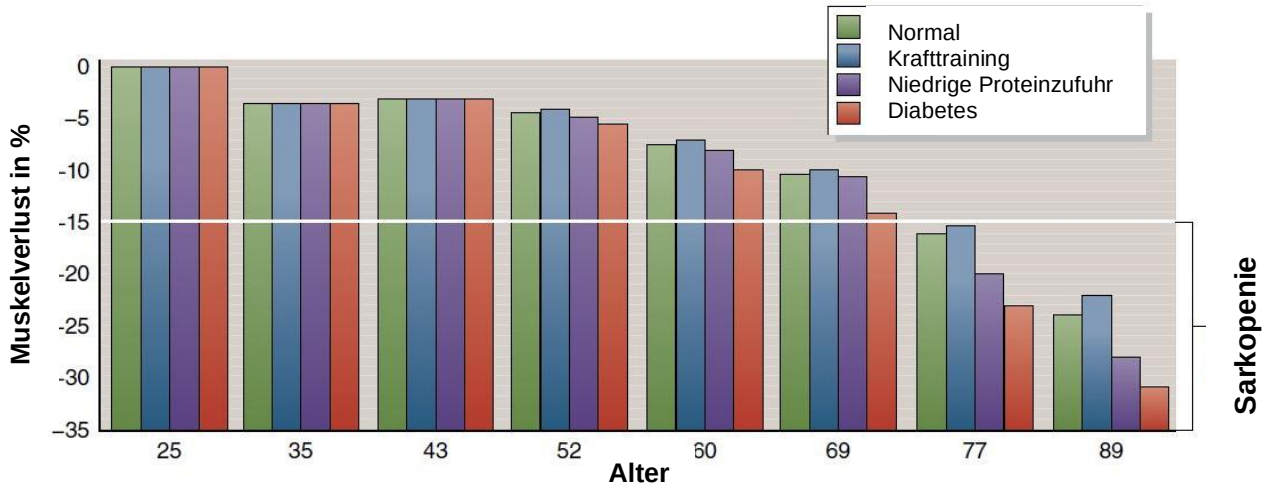


Abb. 16: Altersbedingter Verlust der Muskelmasse (mod. n. Schoenfeld, 2020, S. 171)

Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, hat Diabetes den größten negativen Einfluss auf den Erhalt von Muskulatur. Hingegen kann durch lebenslanges Krafttraining, sowie proteinreicher Ernährung dieser Prozess deutlich reduziert werden. Der Verlust von Muskelmasse bzw. Sarkopenie lässt sich auf unterschiedliche Gründe zurückführen. Unter anderem auf reduzierte Raten der basalen, postabsorptiven myofibrillären Muskelproteinsynthese oder der erhöhten Proteolyse oder einer Kombination aus beidem. Darüber hinaus können chronische Entzündungen den Muskelproteinstoffwechsel bei älteren gebrechlichen Menschen beeinflussen (Alegre et al., 2006). Außerdem können Krankheiten sowieso Lebensstilfaktoren die Reduktion der Muskelmasse beschleunigen. Sarkopenie ist nicht nur durch eine Faseratrophie, sondern auch durch erweiterte sarkoplasmatische Räume, Z-Scheiben und myofibrillären Störungen, gekennzeichnet (Häkkinen et al., 1993). Diese negativen Effekte können sowohl bei Typ I als auch bei Typ II Muskelfasern auftreten, wobei die Effekte beim Fasertypus II stärker ausgeprägt sind. Unter anderem konnte nachgewiesen werden, dass Typ II Fasern einer höheren Apoptose, also einem programmierten Zelltod, ausgesetzt sind. Die Anzahl an Typ II Fasern nimmt im Laufe des Lebens von 60% auf weniger als 30% bei Männern über 80 Jahren ab (Bellamy et al., 2014). Darüber hinaus zeigten Ergebnisse einer Autopsie, dass die Muskeln des Quadrizeps bei älteren Personen um 18% kleiner sind und die Gesamtfaseranzahl um 25% geringer ist als bei jüngeren Erwachsenen (Christian et al., 2007). Zudem kommt es im Alter zu einer Veränderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Skelettmuskelprotein, wodurch eine reduzierte Kontraktions-, Mitochondrien- und Enzymproteinsyntheseraten die Folge sind. Die Veränderung dieser Eigenschaften führt zudem auch zu einer Reduktion der maximal willkürlichen Muskelkraft wodurch die Muskelkraft pro Einheit Muskelmasse verringert ist (Huey, 2018). Verstärkt werden diese Veränderungen durch eine chronische Abnahme einiger Hormone, wie beispielsweise dem Testosteron, dem Wachstumshormon und dem IFG-1 (Horstman et al., 2012). Neben den hormonellen Veränderungen ändert sich auch der strukturelle Aufbau der Myofasern. Der Alterungsprozess wird durch eine strukturelle Veränderung der extrazellulären Matrix begleitet, wodurch das Muskelgewebe zusätzlich beeinflusst wird (Blazevich et al., 2003).

Auch der Gehalt an Satellitenzellen verändert sich mit dem Alterungsprozess, wobei die Satellitenzellen vor allem in Typ II Muskelfasern umgeändert werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl an Satellitenzellen pro Typ II Faser sowie die Anzahl der Satellitenzellen im Verhältnis zu den gesamten Zellkernen bei älteren Menschen deutlich geringer als bei jungen Menschen ist (Burd et al., 2012; Fry et al., 2017; Haun et al., 2019). Darüber hinaus werden Satellitenzellen bei älteren Muskeln weder aktiviert noch

proliferiert, wenn eine Muskelverletzung auftritt, was auf eine reduzierte Regeneration im Alter spricht (Barton-Davis et al., 1999).

Regelmäßiges Krafttraining kann diesen negativen Effekten des Alterns entgegenwirken und abschwächen. Dennoch ist der Muskelaufbau bei älteren Personen niedriger als bei jungen Personen. Dies hängt zum Beispiel mit der anabolen Resistenz, der intrazellulären Signalübertragung und der Muskelproteinsynthese zusammen (Morton et al., 2018). Dennoch können ältere Personen eine Verbesserung der Muskelkraft und -hypertrophie erzielen. Selbst Personen über 75 Jahren reagieren positiv auf Krafttraining (Brian et al., 2007). Hinsichtlich der Trainingslast eignen sich insbesondere mäßig hohe Trainingsvolumina, um die Muskelmasse zu steigern (Christer Ehrnborg Thord, 2008). Ältere Menschen benötigen nach einem Krafttraining, aber einen längeren Erholungszeitraum als jüngere Personen (Bhasin et al., 1996; Stephen et al., 2000).

Neben dem Alter spielt das Geschlecht hinsichtlich Kraft und Muskelmasse eine entscheidende Rolle. Frauen weisen sowohl absolut als auch relativ gesehen weniger Muskelmasse auf (Ian et al., 2000). Darüber hinaus ist der sexuelle Dimorphismus stark von hormonellen Schwankungen zwischen den Geschlechtern beeinflusst. Der Testosteronspiegel ist bei Männern ungefähr zehnmal höher als bei Frauen (Keiji et al., 2004). Dennoch kann dieser Unterschied von Testosteron teilweise durch einen höheren Östrogenspiegel ausgeglichen werden. Östrogen kann eine Verringerung des Muskelproteinabbaus induzieren, weshalb ein ähnlicher anaboler Effekt möglich ist. Außerdem könnte Östrogen die myogene Genexpression nach einem Krafttraining positiv beeinflussen, wodurch eine Verbesserung der Empfindlichkeit gegenüber anabolen Reizen entstehen kann (Elisabeth, 2006). Bei Frauen besteht die Möglichkeit, dass relativ gesehen, ähnliche Muskelzuwächse wie bei Männern im Zuge eines Krafttrainings zu erzielen (Roberts et al., 2020). Nichtsdestotrotz könnte dies damit zusammenhängen, dass Frauen zu Beginn eines Krafttrainings zumeist weniger Muskelmasse besitzen, wodurch die Ergebnisse verzerrt werden. Absolut gesehen erzielen Männer einen deutlich höheren Muskelzuwachs im Vergleich zu Frauen (Burd et al., 2010). Obwohl Frauen durch regelmäßiges Krafttraining beträchtlich Muskelmasse aufbauen können, ist die Zunahme durchschnittlich etwas geringer als bei Männern. Insbesondere könnte der Alterungsprozess bei Frauen einen negativen Effekt auf die Muskelmasse aufweisen, wie in Abbildung 17 zu sehen ist. Trotz höherer Ruheproteinsyntheseraten in der postmenopausalen Periode kann es bei Frauen zu einem beschleunigten Muskelabbau kommen. Dies hängt mit der erhöhten Proteolyse zusammen, die auf eine verminderte Östrogenproduktion zurückzuführen ist (Broholm et al., 2010). Außerdem könnte die

anabole Reaktion auf eine Proteinsynthese bei älteren Frauen abgeschwächt sein (Häkkinen et al., 2000).

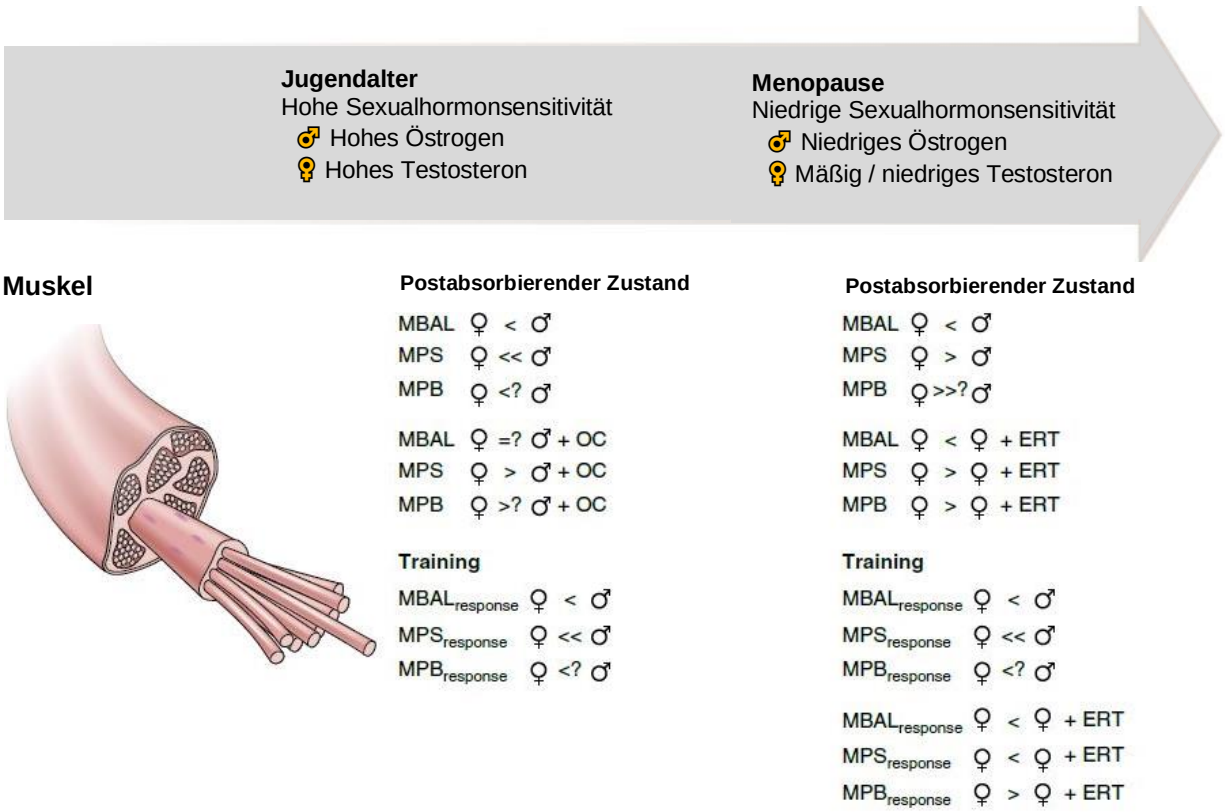


Abb. 17: Effekt der Menopause auf die Entwicklung der Muskelmasse. MBAL = Muskelprotein-Gleichgewicht; MPS = Muskelproteinsynthese; MPB = Muskelproteinabbau (mod. n. Schoenfeld, 2020, S. 174)

In Abbildung 17 wird der Einfluss der Menopause auf eine hypertrophe Entwicklung dargestellt. Es werden Faktoren wie das Muskelprotein-Gleichgewicht, die Muskelproteinsynthese und der Muskelproteinabbau angegeben, die eine Muskelzunahme beeinflussen. Dementsprechend wird die hormonelle Veränderung von Testosteron bzw. Östrogen in den unterschiedlichen Lebensphasen angegeben.

Im Zuge der Menopause kann es ebenfalls zu einer verminderten hypertrophen Reaktion sowie Muskelproteinsynthese nach einem Krafttraining bei älteren Frauen kommen (Adams et al., 2012; Häkkinen et al., 2000). Darüber hinaus weisen Frauen eine geringere Typ II Fasergröße, einen geringeren Satellitenzellgehalt und eine geringere myonukleare Domäne im Vergleich zu Männern auf (Buresh et al., 2009). Zusammenfassend wirkt sich der Östrogenabfall nach der Menopause bei Frauen nachteiliger aus als der altersbedingte Rückgang des Testosteronspiegels bei Männern.

3 Hauptteil

3.1 Pedro-Skala

Der Aufbau der Pedro-Skala entspringt der Evidenzdatenbank PEDro, die von Physiotherapeuten entwickelt wurde. Diese Datenbank umfasst mehr als 20.000 randomisierte klinische Studien, systematischen Literaturreviews sowie Praxisrichtlinien, die der Bewertung der Studien dienen soll. Die PEDro Skala ist eine elfteilige Skala, wobei elf Punkte das Maximum darstellen.

Nicht alle acht analysierten Studien dieses Reviews wurden in der PEDro Datenbank gefunden, weshalb eine manuelle Bewertung erfolgte. Die Bewertung der Studien wurde im Kapitel 3.1.2 durchgeführt und gibt Aufschluss, ob alle Kriterien erfüllt wurden.

3.1.1 Skalenkriterien

Die Skalenkriterien wurden von der „Physiotherapie Evidenzdatenbank“ PEDro entnommen und aufgelistet. (CEBP, 2020)

1. *„Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert“*
2. *„Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Fall von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)“*
3. *„Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen“*
4. *„Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren ähnlich“*
5. *„Alle Probanden waren geblindet“*
6. *„Alle Therapeut/Innen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet“*
7. *„Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet“*
8. *„Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen“*
9. *„Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung wie zugeordnet bekommen oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine „intention to treat“ Methode analysiert“*
10. *„Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet“*
11. *„Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome“*

3.1.2 Übersichtstabelle PEDro Skala

Studienautor (Jahr)	Gesamt	Auswahl kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ribeiro (2015)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Gentil (2016)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Cyrino (2019)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Cosgrove (2019)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Coratella (2018)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Schmidt (2018)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Latella (2020)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Ahtiainen (2016)	6/10	X	X			X				X	X	X	X
Summe		8	8	0	0	8	0	0	0	8	8	8	8

Qualität der Sudien: ≥ 7 Hoch; 4 bis 6 Mittel; ≤ 3 Gering; Richtlinien der PEDro Skala verfügbar auf der Websit PEDro Database (https://www.pedro.org.au/german/downloads/pedro-scale/)

3.2 Studienübersicht

In diesem Kapitel werden die Artikel aufgelistet, die im Zuge des systematischen Literaturreviews ausgewählt und analysiert wurden. Es wurden acht Studien gefunden, die in der nachstehenden Tabelle aufgelistet werden. Außerdem werden die wichtigsten Parameter sowie die Resultate der Studien angegeben, um einen Überblick zu gewährleisten. Im darauffolgenden Kapitel werden dann die Studien näher beschrieben und im vorletzten Kapitel miteinander verglichen und mit der aktuellen Literatur diskutiert. Mittels dieses Prozesses sollen die Forschungsfragen dieses Reviews beantwortet werden.

Studie (Jahr)	Gruppen	Alter	N	Tests der Muskelkraft	Trainings-erfahrung	Trainingsintervention			Resultat Hypertrophie	Resultat Muskelkraft
						Wieder-holungen	Dauer	Einheiten pro Woche		
Ribeiro (2015)	Männer	22,7 ± 4,4	30	1-RM: 9 bzw. 11 Übungen	6 Monate kein Krafttraining	8-12 WH	2 x 8 Wochen	3	Nur Körpergewicht insgesamt	8 Wochen: Frauen * 16 Wochen: obere EX. Frauen * 8 Wochen: TB *
	Frauen	22,7 ± 4,1	34							
Gentil (2016)	Männer	22,63 ± 2,34	44	Armbeuge	6 Monate kein Krafttraining	max. 4 WH	10 Woche	2	k.A.	Kein Unterschied zwischen den Geschlechtern
	Frauen	21,62 ± 2,96	47							
Cyrino (2019)	Männer	22,8 ± 3,0	28	Bankdrücken, Kniebeuge, Armbeuge	6 Monate kein Krafttraining	80%	2 x 8 Wochen	3	k.A.	Bankdrücken Frauen * Kniebeuge Frauen * Armbeuge Frauen * Gesamtvolumen Frauen *
	Frauen	22,2 ± 2,9	31							
Cosgrove (2019)	Männer	k.A.	22	1- RM:DL, SQ, MP, WH:PU, SQ, S-Ups	0-6 Monate bzw. 7 Monate Cross-fit	k.A.	6 Monate	k.A	k.A.	Kein Unterschied zwischen den Geschlechtern
	Frauen	31,8 ± 13,2	23							
Coratella (2018)	Männer	21,6 ± 2,6	13	Beinstrecker	6 Monate kein Krafttraining	10 WH bei 120%	8 Wochen	2	Fiederungswinkel * Frauen; kein Unterschied zw. den Geschlechtern	Kein Unterschied zwischen den Geschlechtern
	Frauen	20,8 ± 3	13							
Schmidt (2016)	Männer	18 -24	96	GG, PU, VO2max	min. 2-3 Tage Sport	7 bzw. 14 Minuten	8 Wochen	3	Nur Körpergewicht insgesamt	GG Männer *
	Frauen									
Latella (2020)	Männer	26,8 ± 8,9	1271	Bankdrücken, Kniebeuge, Kreuzheben	Leistungs-sportlerInnen Kraftdreikampf	k.A.	15 Jahre	k.A.	k.A.	Kein Unterschiede zwischen den Geschlechtern
	Frauen	20,6 ± 10,19	626							
Ahtiainen (2016)	Männer	zw. 19 und 78 Jahren	183	Beinpresse	kein Krafttraining	k.A.	20-24 Wochen	2	Kein Unterschied zwischen den Geschlechtern	Frauen*
	Frauen		104							

Anmerkung: * = signifikante Verbesserung/ Zunahme; EX: Extremität, TB = Trainingsbelastung; DL = Deadlift, SQ = Kniebeuge, MP = Schulterdrücken, PU = Liegestütz, S-Ups = Sit-ups; MK = Muskelkraft; BP = Beinpresse; ; GG = Griffkraft; k.A. = keine Angaben; N = Anzahl der Testpersonen

3.3 Analyse der Studien

3.3.1 Analysis of the training load during a hypertrophy-type resistance training program in men and women

In der vorliegenden Studie von Ribeiro et al. (2015) wurde die spezifische Trainingsbelastung zwischen Männern und Frauen untersucht.

Es wurden 34 Frauen im Durchschnittsalter von 22,7 (± 4,1) Jahren und 30 Männer im Durchschnittsalter von 22,7 (± 4,4) Jahren für diese 22-wöchige Trainingsintervention rekrutiert. Die Testpersonen wurden innerhalb der Universität mittels Fragebogen angeworben und mussten vorab definierten Einschlusskriterien entsprechen. Unter anderem durften sie keine Krankheitszeichen oder -symptome oder orthopädische Verletzungen aufweisen. Darüber hinaus wurden inaktive oder mäßig aktive Personen, die weniger als eine zweimalige körperliche Aktivität in der Woche, oder die Krafttraining mindestens 6 Monate vor Studienbeginn absolvierten, ausgeschlossen.

Anthropometrische Daten

Die Körpermasse wurde mit einer geeichten elektronischen Waage (Filizola, Modell ID 110, São Paulo, Brasilien) auf 0,1kg genau gemessen, wobei die Testpersonen leichte Sportkleidung und keine Schuhe tragen durften. Die Körpergröße wurde mittels eines Stadiometers auf 0,1cm genau gemessen, wobei auch bei dieser Messung keine Schuhe getragen werden durften. Für den Body-Mass-Index wurde eine standardisierte Formel, die der Körpermasse in Kilogramm geteilt durch das Quadrat der Körpergröße in Metern entspricht, herangezogen. Bei den Frauen wurde ein Gewicht von 58,8 kg (± 11,9) eine Größe von 162,6 cm (± 6,2) gemessen und ein BMI von 22,1 $kg*m^{-2}$ (± 3,6) berechnet. Hingegen wurde bei den Männern ein Gewicht von 68,4 kg (± 9,0) eine Größe von 174,5 cm (± 6,6) gemessen und ein BMI von 22,5 $kg*m^{-2}$ (± 2,4) berechnet.

Trainingsintervention

Die Trainingsintervention erstreckte sich über einen Zeitraum von 22 Wochen und wurde in zwei Blöcken von acht Wochen unterteilt. Pro Woche waren drei Trainingseinheiten, die nicht an aufeinanderfolgenden Tagen stattfinden durften, verpflichtend. Die restlichen Wochen wurden einerseits für eine Testung des Ein-Wiederholungsmaximums (1-RM) und andererseits für eine Regenerationsphase zwischen den Trainingsblöcken herangezogen. Der erste achtwöchige Trainingsblock bestand aus neun Übungen, die so ausgewählt wurden, dass die wichtigsten Muskelgruppen beansprucht wurden. Die Reihenfolge wurde vorher definiert und bestand aus folgenden Übungen: Bankdrücken, Beindrücken mit 45 ° -Winkel, Latzug in den Nacken, Beinstreckung, Seitheben, Beinbeuger liegend, Trizepspresse, Wadenheben und Armbeugung. Nach diesem Trainingsblock wurde in der

Woche 11 und 12 eine Trainingspause erlaubt, um den Testpersonen eine physiologische Regeneration zu ermöglichen. Die zweite achtwöchige Trainingsphase beinhaltete elf Übungen bestehend aus Bankdrücken, Schrägbank „Flys“, Latzug, sitzendes Rudern am Kabelzug, Schulterdrücken, Trizepspresse, Armbeugung, Beinstreckung, Beinpresse mit 45° Winkel, Beinbeuger liegend und Wadenheben sitzend. Darüber hinaus mussten am Ende der Trainingseinheit drei Sätze „Crunches“ für die Bauchmuskulatur durchgeführt werden. Insgesamt sollten zwischen 50 und 100 Wiederholungen der Bauchübung ausgeführt werden.

Jede Übung beinhaltete drei Sätze von maximal 8 bis 12 Wiederholungen mit Ausnahme von Wadenheben, die aus 15 bis 20 Wiederholungen bestand. Jede Wiederholung sollte mit einem konzentrisch-exzentrischen Phasenverhältnis von 1:2 durchgeführt werden. Die Pause zwischen den Sätzen betrug 60 bis 90 Sekunden mit zwei- bis dreiminütigen Serienpausen. Die Trainingsbelastung wurde so definiert, dass die Testperson maximal zwischen acht und zwölf Wiederholungen absolvieren konnte. Eine Adaptation der Trainingsbelastung wurde wöchentlich mittels eines Gewichtstest von Rodrigues und Rocha (2003) vollzogen. Die Ermittlung des Trainingswiderstands erfolgte vor der ersten Trainingswoche und wurde mittels eines 1-RM-Tests für jede Übung definiert.

Studienergebnis

Beide Geschlechter haben ähnlich lange Erfahrungen in Krafttraining: 11 0 ± 12,7 Monate bei Männern bzw. 10,9 ± 16,4 Monate bei Frauen (P = 0,993). Nach den ersten acht Wochen konnten sowohl Männer (68,4 ± 9,0 auf 69,7 ± 8,7) als auch Frauen (58,8 ± 11,9 bis 60,1 ± 12,2) einen signifikanten Zuwachs ihrer Körpermasse (kg) erzielen. Hingegen konnte kein signifikanter Zuwachs in dem darauffolgenden Trainingsblock nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch für den BMI berechnen, der mit dem Körpergewicht zusammenhängt. Der BMI stieg nach den ersten acht Wochen bei Männern (22,5 ± 2,4 auf 23,0 ± 2,1) und bei Frauen (22,1 ± 3,6 auf 22,8 ± 3,6) an. Hingegen konnte kein signifikanter Zuwachs von der Trainingsmitte bis zum Schluss beobachtet werden.

Hinsichtlich der wöchentlichen Trainingsbelastung gab es unterschiedliche Ergebnisse. In den ersten acht Wochen konnte ein signifikanter Haupteffekt für die Interaktion von Geschlecht und Zeit beobachtet werden, wobei Frauen in diesem Zeitraum einen höheren relativen Anstieg als die Männer aufwiesen (Frauen +43.6%, Effektgröße= 1.6; Männer +32.5%, Effektgröße =1.5). In den zweiten acht Wochen der Trainingsintervention konnten nicht dieselben Ergebnisse wie in den ersten acht Wochen erreicht werden. Es konnte lediglich ein signifikanter Zeiteffekt, wobei Männer und Frauen einen ähnlichen relativen Anstieg zeigten, untersucht werden (Frauen +28,7%, Effektgröße = 1,8; Männer +24,3%,

Effektgröße = 1,3). In den ersten acht Wochen wurde sowohl bei den Übungen für die oberen Extremitäten als auch bei den Übungen für die unteren eine signifikante Wechselwirkung zwischen Geschlecht und Zeit beobachtet, wobei Frauen im Vergleich zu Männern eine signifikant höhere relative Zunahme aufwiesen (Übungen für die oberen Extremitäten: Frauen +30,2%, ES = 1,6; Männer +26,6%, ES 1,4; Übungen für die unteren Extremitäten: Frauen +51,0%, ES = 2,6; Männer 40,1%, ES = 1,8). Im zweiten Trainingsblock wurde nur bei den Übungen für die obere Extremität eine signifikante Interaktion nach Geschlecht und Zeit beobachtet, wobei Frauen einen höheren relativen Anstieg als Männer aufwiesen (Frauen +31,1%, ES = 1,8; Männer +25,3%, ES = 1,6), während bei den Übungen für die untere Extremität keine signifikante Interaktion nach Geschlecht und Zeit beobachtet wurde.

Hinsichtlich der Trainingsbelastung gab es keinen statistisch bemerkenswerten Effekt für den relativen Trainingsbelastungsanstieg nach den ersten acht Wochen. Jedoch konnte nach den zweiten acht Wochen sowohl bei Männern als auch bei Frauen ein relativer Belastungsanstieg nachgewiesen werden (Männer +24,3%, Frauen +27,1%). Es konnte aber ein Unterschied beim Durchschnitt für die gesamten Übungen der oberen Extremität festgestellt werden. Nach den ersten acht Wochen des Krafttrainings konnten Frauen einen höheren Anstieg als Männer verzeichnen: Männer +23,0%, Frauen +29.0%). Bei der zweiten Phase gab es keine Unterschiede, denn beide Geschlechter konnten einen ähnlichen Zuwachs verzeichnen.

In Tabelle zwei sowie Tabelle drei wird die relative Zunahme der Trainingsbelastung während der ersten acht bzw. der zweiten acht Trainingswochen für jede Muskelgruppe dargestellt. In beiden Tabellen werden die relativen Zuwächse in Prozent für jede Muskelgruppe und Woche angegeben. Statistisch signifikante Unterschiede jeder Woche wurden mittels eines Sterns gekennzeichnet.

Tab. 2: Relative Zunahme (%) der Trainingsbelastung während der ersten 8 Trainingswochen bei Männern

	Wochen													
	1 - 2 Woche		2 - 3 Woche		3 - 4 Woche		4 - 5 Woche		5 - 6 Woche		6 - 7 Woche		7 - 8 Woche	
Übungen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen
Bankdrücken	3.8 ± 4.8	5.1 ± 7.1	4.5 ± 3.4	4.5 ± 5.3	2.2 ± 3.4	1.6 ± 4.4	3.3 ± 2.6	2.8 ± 4.3	2.0 ± 2.3	3.5 ± 4.5	2.3 ± 3.8	1.7 ± 3.6	1.2 ± 2.1**	0.7 ± 2.2**
Beinpresse 45°	23.6 ± 12.5	19.9 ± 23.6	11.8 ± 8.5*	11.5 ± 10.6*	2.8 ± 3.0**	3.2 ± 4.4**	6.0 ± 3.0*	5.4 ± 3.8*	4.1 ± 3.1**	3.6 ± 3.5**	3.4 ± 5.1**	3.0 ± 4.0**	2.5 ± 3.0**	2.7 ± 3.5**
Latzug	13.9 ± 13.8	21.2 ± 56.7	5.7 ± 6.8*	7.9 ± 9.2*	1.8 ± 3.2*	1.1 ± 2.9*	3.5 ± 3.0*	3.9 ± 6.7*	2.0 ± 2.6*	1.3 ± 3.3*	2.3 ± 5.4*	0.6 ± 2.2*	0.4 ± 1.0*	3.3 ± 9.6*
Beinstrecker	25.9 ± 22.8	26.2 ± 22.7	12.2 ± 8.6*	20.0 ± 22.2*	3.4 ± 8.3**	1.6 ± 4.6**	8.5 ± 11.1**	6.7 ± 6.3**	3.4 ± 3.9**	2.3 ± 2.8**	1.5 ± 4.8**	0.3 ± 1.9**	0.6 ± 1.9**	1.2 ± 3.2**
Seitheben	23.4 ± 25.6	30.6 ± 31.2	13.0 ± 16.8*	12.1 ± 15.0*	2.1 ± 6.7*	1.7 ± 7.0*	5.2 ± 10.4*	8.3 ± 11.6*	4.8 ± 3.0*	2.7 ± 2.9*	1.1 ± 6.0*	0.9 ± 1.6*	0.6 ± 3.6*	0.5 ± 3.3*
Beinbeuger	18.4 ± 23.6	11.2 ± 20.1	6.7 ± 8.2*	8.0 ± 11.4*	1.8 ± 4.9*	2.3 ± 7.9*	5.9 ± 5.4*	6.0 ± 7.7	0.8 ± 2.5*	2.5 ± 7.9	2.0 ± 7.4*	3.8 ± 16.2*	1.4 ± 3.1*	1.0 ± 3.2*
Trizepspresse	24.1 ± 23.8	18.9 ± 38.4	6.2 ± 9.1*	11.9 ± 15.3*	1.5 ± 2.6*	1.0 ± 4.8*	6.3 ± 5.4*	5.8 ± 6.3*	2.4 ± 3.5*	2.1 ± 3.4*	4.0 ± 9.4*	1.3 ± 3.1*	1.3 ± 2.1*	2.0 ± 3.7*
Wadenheben	16. 7 ± 16.9	23.2 ± 21.7	6.8 ± 6.4*	10.8 ± 12.1*	2.5 ± 4.8**	2.1 ± 2.8**	3.9 ± 3.1**	5.5 ± 3.8**	2.7 ± 3.5**	2.5 ± 3.6**	3.0 ± 5.4**	1.7 ± 2.5**	1.8 ± 2.9**	1.4 ± 2.5**
Armbeugen	1.8 ± 2.9	1.4 ± 2.5	2.2 ± 4.2	3.3 ± 6.9	1.8 ± 4.1	1.4 ± 4.9	3.4 ± 4.8	3.7 ± 7.0	0.6 ± 2.4	3.0 ± 6.2	3.0 ± 5.0	1.8 ± 5.2	0.8 ± 2.5	1.3 ± 4.3

*P < 0.05 vs. 1–2; **P < 0.05 vs. 1–2 und 2–3.

Daten als Durchschnitt ± Standardabweichung

Quelle: mod. nach Ribeiro et al. (2015, S. 6)

Tab. 3: Relative Zunahme (%) der Trainingsbelastung während den zweiten 8 Trainingswochen bei Männern

	Wochen													
	9 - 10 Woche		10 -11 Woche		11 - 12 Woche		12 - 13 Woche		13 -14 Woche		14 - 15 Woche		15 - 16 Woche	
Übungen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Män	Männer	Frauen
Bankdrücken	1.4 ± 2.8	0.6 ± 2.3	0.6 ± 1.5	2.8 ± 4.0	2.4 ± 3.8	3.1 ± 8.8	1.8 ± 2.5	2.7 ± 3.8	1.1 ± 3.0	1.3 ± 3.1	0.9 ± 1.8	1.7 ± 3.2		1.1 ± 1.9	2.0 ± 3.6
"Flys" Schrägbank	12.3 ± 20.3	17.0 ± 25.7	7.3 ± 11.9*	10.5 ± 16.0*	10.6 ± 12.7*	8.3 ± 13.9*	5.0 ± 8.9*	6.3 ± 12.9*	6.9 ± 9.1*	7.0 ± 11.9*	3.9 ± 6.2*	5.0 ± 9.4*		3.7 ± 6.7*	2.2 ± 5.7*
Latzug	2.7 ± 4.3	3.7 ± 8.2	1.0 ± 2.0	2.2 ± 3.7	3.2 ± 5.0	3.1 ± 5.5	1.6 ± 2.1	2.2 ± 3.4	1.5 ± 2.0	2.1 ± 3.4	1.9 ± 2.1	0.9 ± 1.9		1.6 ± 2.0	0.8 ± 1.7
Rudern sitzend	9.7 ± 8.6	11.6 ± 18.6	3.8 ± 5.2*	6.7 ± 7.8*	5.4 ± 6.6*	6.6 ± 10.3*	4.0 ± 4.2*	2.7 ± 4.5*	4.0 ± 3.7*	5.9 ± 8.1*	3.8 ± 4.7*	2.8 ± 3.0*		3.3 ± 4.3*	5.3 ± 10.8*
Schulterdrücken	7.9 ± 15.1	9.8 ± 13.1	3.0 ± 4.5	3.6 ± 6.8	5.1 ± 12.8	3.9 ± 3.8	7.8 ± 13.9	4.2 ± 9.5	3.5 ± 3.9	3.9 ± 6.4	5.0 ± 6.2	5.5 ± 8.4		2.3 ± 5.3*	1.2 ± 3.6*
Trizepspresse	6.1 ± 8.4	5.0 ± 10.6	4.9 ± 11.4	6.1 ± 11.1	8.0 ± 12.8	3.9 ± 8.0	4.9 ± 7.9	4.9 ± 8.7	3.0 ± 5.0	1.3 ± 4.4	3.4 ± 4.7	5.1 ± 8.9		3.7 ± 6.3	1.7 ± 4.9
Armbeugen	5.5 ± 15.1	1.5 ± 6.7	0.3 ± 2.0	1.2 ± 4.0	2.2 ± 3.8	1.4 ± 3.9	3.3 ± 0.6	5.6 ± 0.9	1.1 ± 3.0	2.0 ± 5.1	2.1 ± 4.1	2.4 ± 5.5		1.4 ± 3.3	1.0 ± 3.3
Beinstrecker	2.4 ± 4.2	2.3 ± 3.8	2.0 ± 3.4	1.6 ± 3.3	2.7 ± 3.3	2.3 ± 3.4	2.2 ± 3.5	2.0 ± 3.0	2.6 ± 2.8	3.4 ± 4.5	2.2 ± 3.5	1.4 ± 1.9		2.4 ± 4.9	1.6 ± 2.5
Beinpresse 45°	3.6 ± 4.4	4.7 ± 4.9	1.8 ± 2.4	2.3 ± 3.3	3.8 ± 7.3	2.8 ± 3.6	2.6 ± 4.2	2.9 ± 3.8	1.8 ± 2.2	2.5 ± 3.4	3.0 ± 6.0	3.3 ± 3.4		1.1 ± 1.3	1.5 ± 2.4
Beinbeuger	1.8 ± 3.0	3.7 ± 7.9	1.4 ± 3.7	3.0 ± 6.7	2.8 ± 5.1	4.6 ± 4.5	1.8 ± 3.5	3.4 ± 4.4	0.8 ± 2.3	1.6 ± 4.5	1.8 ± 2.8	2.8 ± 6.2		0.9 ± 1.7	1.6 ± 3.2
Wadenheben sitzend	12.4 ± 15.1	11.7 ± 14.9	12.4 ± 21.8	11.1 ± 15.2	13.8 ± 13.9	14.3 ± 16.3	13.6 ± 8.0	14.8 ± 21.1	4.2 ± 7.5*,**	6.7 ± 8.3*,**	5.1 ± 5.8*,**	3.8 ± 6.8*,**		4.2 ± 9.6*,**	4.6 ± 7.7*,**

*P < 0.05 vs. 9–10; **P < 0.05 vs. 10–11, 11–12 und 12–13.

Daten als Durchschnitt ± Standardabweichung

Quelle: mod. nach Ribeiro et al. (2015, S. 7)

3.3.2 Comparison of upper body strength gains between men and women after 10 weeks of resistance training

In der vorliegenden Studie von Gentil et al. (2016) wurden die Kraftzuwächse der Armbeuger bei Männern und Frauen miteinander verglichen.

Insgesamt nahmen 91 Testpersonen, wobei 44 Männer (22.63 ± 2.34 Jahre) und 47 Frauen (21.62 ± 2.96 Jahre) im Collage Alter waren, an dieser Studie teil. Einschlusskriterien waren ein Mindestalter von 18 Jahren, keine körperlichen Beschwerden und keine Absolvierung von Krafttraining in den letzten sechs Monaten. Die Testpersonen mussten ihre Ernährungsgewohnheiten in diesem Zeitraum beibehalten, um etwaige Veränderungen zu vermeiden.

Anthropometrische Daten

Eine genau Beschreibung der anthropometrischen Daten liegt in dieser Studie nicht vor. Es wurden lediglich der Mittelwert der Größe und des Gewichts der Testpersonen angegeben. Männer waren im Schnitt 174,7 (±7,1) cm und Frauen im Schnitt 163,61 (±7,53) cm groß. Das mittlere Gewicht bei Männern betrug 73,06 (±10,23) kg und bei Frauen 58,29 (±9) kg. Der BMI wurde bei dieser Studie nicht angeführt.

Trainingsintervention

Die Trainingsintervention bestand aus zwei Teilen, wobei die abschließende Untersuchung des Spitzendrehmoments der Ellbogenflexion der einzig relevante Parameter für einen Vergleich zwischen den Geschlechtern war. Mittels zwei Sätzen von maximal vier konzentrischen Wiederholungen bei 60°/s wurde auf einem isokinetischen Dynamometer (Biodex Medical Inc., Shirley, NY, USA) das unilaterale Ellbogenflexionsspitzendrehmoment gemessen. Die Satzpause wurde mit 60 Sekunden definiert, um Ermüdungserscheinungen zu reduzieren. Alle Tests wurden von derselben Person mit den gleichen Anweisungen durchgeführt.

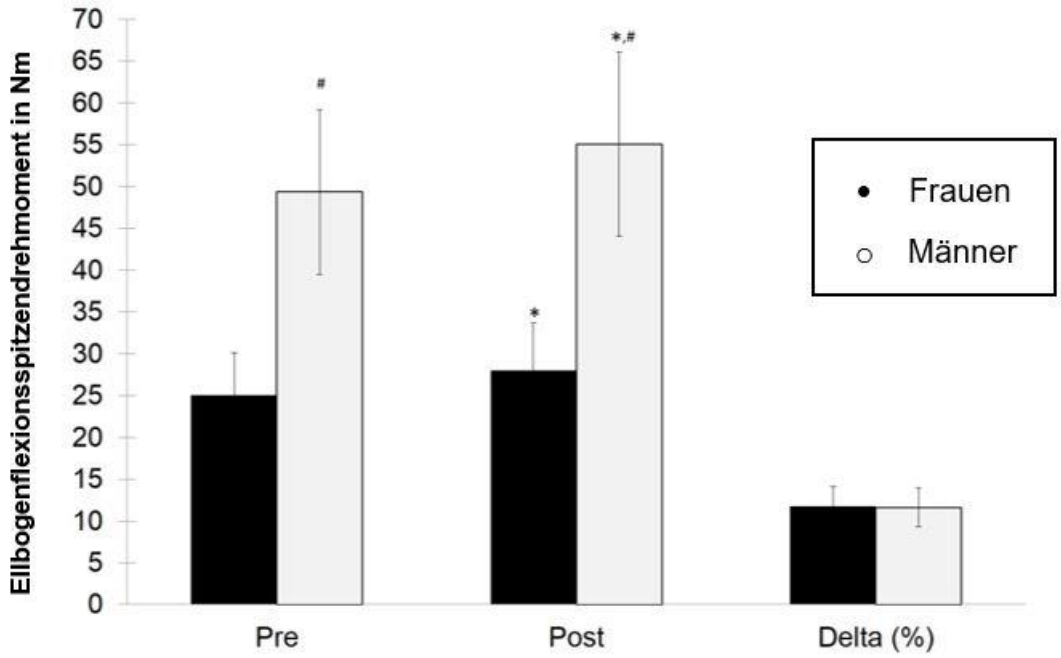
Der zweite Teil bestand aus einem zehnwöchigen Training, das zweimal pro Woche an nicht aufeinanderfolgenden Tagen stattfinden musste. Folgende Übungen wurden absolviert: Beinpresse, Kniebeuge, Brustpresse und Latzug, wobei jede Übung mit je drei Sätzen durchgeführt werden musste. Die Trainingsbelastung wurde mit acht bis zwölf Wiederholungen, sodass ein Muskelversagen erreicht wurde, festgelegt. Die Pause zwischen den Sätzen betrug zwei Minuten und die Testpersonen wurden angewiesen, ihre Trainingsdaten genau zu protokollieren. Die Trainingsintensität wurde in einer zweiwöchigen Testphase ermittelt, um sich einerseits an die Trainingslast zu gewöhnen und sich andererseits mit dem Trainingsprogramm vertraut zu machen. Der gesamte

Verlauf des Trainings, also die Eingewöhnungsphase sowie Trainingsphase, wurde von einem geschulten Personal beaufsichtigt.

Studienergebnis

Die Studienergebnisse bezogen sich lediglich auf das unilaterale Ellbogenflexionsspitzendrehmoment des Armes. Das Spitzendrehmoment war bei Männern bei der Prätestung (49,35 ± 10,18 vs. 25,09 ± 4,89) sowie Posttestung Tests (55,08 ± 9,95 vs. 28,04 ± 5,52) höher als jener bei Frauen, wobei der zweite Wert die Testung der Frauen in der Klammer beschreibt. Insgesamt konnten Frauen als auch Männer eine statistisch signifikante Erhöhung des Spitzendrehmomentes verzeichnen. Hingegen war die zeitliche Wechselwirkung zwischen den Geschlechtern nicht signifikant, woraus sich schließen lässt, dass die Veränderung der Muskelkraft zwischen den Geschlechtern in diesem Zeitraum keine statistischen Unterschiede aufweist. In der Tabelle vier werden die Ellbogenspitzendrehmomente des Armes vor und nach der Trainingsintervention dargestellt. Die Ergebnisse der Frauen werden jeweils als schwarze Balken und jene Ergebnisse der Männer als weiße Balken dargestellt. Die zeitliche Wechselwirkung zwischen den Geschlechtern wird als Delta in Prozent angegeben und diese zeigt keinen Unterschied hinsichtlich der Muskelkraft nach der Trainingsintervention.

Tab. 4: Ellbogenflexionsspitzendrehmoment des Armes vor und nach der Trainingsintervention



Quelle: mod. nach Gentil et al. (2016, S. 5)

3.3.3 Effect of 16 weeks of resistance training on strength endurance in men and women

In der vorliegenden Studie von Cyrino et al. (2019) wurden die Auswirkungen eines Kraftausdauertrainingsprogramms bei Männern und Frauen untersucht.

Im Zuge einer 22-wöchigen Studie wurden 28 Männer mit einem durchschnittlichen Alter von 22,8 (± 3) und 31 Frauen mit einem durchschnittlichen Alter von 20,2 (± 2,9) untersucht. Die Testpersonen durften weder unter 18 noch über 30 Jahre alte sein und sechs Monate vor Studienbeginn kein regelmäßiges Krafttraining betrieben haben. Zusätzlich waren keine anabolen Supplemente und weitere Trainingsprogramme während der Trainingsintervention erlaubt. Darüber hinaus wurden Personen, die sich vegetarisch ernähren oder über 15% Abwesenheit an den Einheiten hatten, ausgeschlossen.

Anthropometrische Daten

Die Körpermasse wurde mithilfe einer digitalen Plattformwaage (Urano, Modell PS 180A; Porto Alegre, RS, Brasilien) und die Körpergröße mittels eines Stadiometers in einem standardisierten Verfahren gemessen. Der BMI wurde aus der Körpermasse und der Körperhöhe der Testpersonen berechnet und wie die anderen Daten in Tabelle fünf angegeben.

Tab. 5: Physische Eigenschaften der Testpersonen zu Beginn der Studie (Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzintervall)

Variabel	Männer (n = 28)	Frauen (n = 31)	Alle (n = 59)	95% CI
Alter (Jahre)	22.8 ± 3.0	20.2 ± 2.9	21.5 ± 3.2	20.7 – 22.3
Körpermasse (kg)	73.0 ± 9.3	57.9 ± 7.9	65.0 ± 11.4	62.1 – 68.0
Höhe (cm)	179.4 ± 5.2	165.2 ± 5.5	171.9 ± 8.9	169.6 – 174.2
BMI (kg/m²)	22.7 ± 2.7	21.2 ± 2.7	21.9 ± 2.8	21.2 – 22.6

Quelle: mod. nach Cyrino et al. (2019, S. 401)

Trainingsintervention

Die Testpersonen mussten innerhalb dieser 22-wöchigen Studie zwei Blöcke mit je acht Wochen absolvieren, während die restlichen Wochen für eine Regenerationspause bzw. für eine Gewöhnungsphase oder Testungen verwendet wurden. Zu Beginn wurde des 1-RM für die Übungen Bankdrücken, Kniebeugen und Armbeugen gemessen. Diese Übungen mussten dann im Zuge der zwei Trainingsphasen absolviert werden. Das 1-RM wurde mittels drei Versuchen ermittelt, wobei nach jedem Versuch drei bis fünf Minuten Pause einzuhalten waren. Dabei wurde die maximale willkürliche Belastung aus den drei Versuchen für die weitere Trainingsbelastung herangezogen. Um das Testverfahren zu

standardisieren und Lerneffekte auszuschließen, wurden vor jeder Testphase drei Einführungssitzungen, die im Abstand von 48 bis 72 Stunden stattfinden mussten, absolviert. Aus dem berechneten 1-RM wurde das Trainingsprotokoll erstellt und bestand darin, vier Sätze jeder Übung bei 80% des 1-RM bis zur vollständigen Ermüdung auszuführen. Die Satzpause betrug jeweils zwei Minuten und die Übergangszeit zwischen den Übungen betrug drei bis fünf Minuten. Das Trainingsprotokoll musste dreimal pro Woche unter Aufsicht von Fachpersonal durchgeführt werden. Zusätzlich zu den oben beschriebenen drei Übungen mussten die Testpersonen während der ersten acht Wochen zehn und während der zweiten acht Wochen zwölf Übungen durchführen. Jede Übung musste aus drei Sätze zu je acht bis zwölf Wiederholungen mit Ausnahme der Übungen für die Wade mit einer Wiederholungszahl von 15-20 und Übungen für die Bauchmuskeln mit einer Wiederholungsanzahl von 30-50 bestehen. Die Pause zwischen den Sätzen sollte 60 bis 90 Sekunden und zwischen den Übungen 120 bis 180 Minuten betragen. Die Trainingsbelastung entsprach 60-85% des 1-RM und wurde adaptiert, sobald die Testperson die vorher festgelegte Wiederholungsanzahl überschritten hatte. Die exakten Übungen wurden in dieser Studie nicht angeführt.

Studienergebnis

Zu Beginn wiesen die Probandinnen der Studie niedrigere Werte für Körpermasse, Körpergröße und BMI auf als die Probanden dieser Studie. Männer als auch Frauen konnten einen statistisch signifikanten Zuwachs der Muskelkraft nach jeder Trainingsphase erzielen. Bei den Übungen Bankdrücken war eine Steigerung von 12,9% bei Männern und bei Frauen von 24,1%, bei der Kniebeuge bei Männern 26,2% und bei Frauen 23,6% und bei der Armbeuge bei Männern 14,8% und bei Frauen 21,5% zu verzeichnen. Die gehobene Gesamtlast konnte bei Männern um 19,9% und bei Frauen um 23,3% gesteigert werden. Die Zunahme der Muskelkraft führt bei allen analysierten Variablen zu einer hohen Effektgröße (0,87 – 1,54) mit Ausnahme der Männer beim Bankdrücken, wo nur ein mäßiger Effekt berechnet wurde. Alle Ergebnisse der durchgeführten Übungen sind in Tabelle sechs illustriert. Das 1-RM jeder Übung wurde jeweils geschlechterspezifisch mit den Anfangswerten, nach 8 und 16 Wochen und dem Signifikanzniveau P sowie der Effektgröße angegeben.

Außerdem wurde das Gesamtvolumen, also die Belastung mal der Wiederholungen, für jede Übung von Männern und Frauen berechnet und miteinander verglichen. Es konnte in beiden Gruppen eine Verbesserung festgestellt werden. Bei Bankdrücken war einen Zuwachs von 28,3% bei Männern und Frauen 32,7%, bei der Kniebeuge ein Zuwachs 13,5% bei Männern und 32,7% bei Frauen und bei der Armbeuge ein Zuwachs von 20,2% bei Männern und 24,4% bei Frauen zu verzeichnen. Das Gesamtvolumen erhöhte sich bei

Männern um 18,4% und bei Frauen um 31,2% im Vergleich zur Ausgangssituation. Die Zunahme des Gesamtvolumens führte bei allen analysierten Variablen zu einer hohen Effektgröße (0,84 – 1,27), außer bei der Übung Kniebeuge und dem Gesamtvolumen bei Männern, wo nur eine geringe bzw. mäßige Effektgröße gemessen wurde. Die geschlechterspezifischen Ergebnisse des Gesamtvolumens für jede der ausgewählten Übungen und dem Signifikanzniveaus sowie der Effektgröße sind in Tabelle sechs dargestellt.

Tab. 6: 1-RM und Gesamtvolumen von Männern und Frauen am Anfang, nach 8 Wochen und nach 16 Wochen

Variabel	Männer (n = 28)	Frauen (n = 31)	*P*
Bankdrücken (kg)			
Start	73.8 ± 16.8	28.6 ± 6.6	0.11
Nach 8 Wochen	78.7 ± 17.0*	33.2 ± 5.7*	<0.001
Nach 16 Wochen	83.3 ± 16.8*§	35.5 ± 6.2*§	<0.05
ES	+0.57	+1.08	
Kniebeuge (kg)			
Start	113.5 ± 17.3	74.7 ± 16.5	0.08
Nach 8 Wochen	130.0 ± 20.1*	86.3 ± 18.3*	<0.05
Nach 16 Wochen	143.2 ± 21.2*§	92.3 ± 19.5*§	<0.05
ES	+1.54	+0.97	
Armbeuge (kg)			
Start	41.3 ± 7.1	22.3 ± 3.9	0.11
Nach 8 Wochen	44.6 ± 7.4*	25.4 ± 4.1*	<0.001
Nach 16 Wochen	47.4 ± 7.0*§	27.1 ± 3.8*	<0.01
ES	+0.87	+1.25	
Gesamtlast (kg)			
Start	228.5 ± 37.1	125.6 ± 24.9	0.19
Nach 8 Wochen	253.2 ± 40.8*	144.9 ± 25.6*	<0.001
Nach 16 Wochen	273.9 ± 41.0*§	154.9 ± 26.9*§	<0.05
ES	+1.16	+1.13	

Anmerkung. Gesamtlast = gehobene Gesamtlast in der Summe der drei Übungen, ES = Effektgröße. Die Ergebnisse werden als Mittelwert ± Standardabweichung ausgedrückt. *P < 0,05 vs. Grundlinie und §P < 0,05 vs. nach 8 Wochen.

Variabel	Männer (n = 28)	Frauen (n = 31)	*P*
Bankdrücken (kg)			
Start	1263.2 ± 483.6	426.2 ± 105.2	<0.001
Nach 8 Wochen	1493.4 ± 313.5*	507.0 ± 130.6*	<0.001
Nach 16 Wochen	1620.8 ± 347.8*	562.9 ± 126.5*	<0.001
ES	+0.85	+1.27	
Kniebeuge (kg)			
Start	2809.2 ± 804.2	1299.7 ± 282.0	<0.05
Nach 8 Wochen	2993.3 ± 828.0*	1638.5 ± 463.0*	<0.001
Nach 16 Wochen	3189.4 ± 936.3*	1724.5 ± 509.0*	<0.05
ES	+0.44	+1.03	
Armbeuge (kg)			
Start	572.3 ± 153.8	347.1 ± 85.9	<0.001
Nach 8 Wochen	664.2 ± 120.1*	420.9 ± 79.2*	<0.001
Nach 16 Wochen	687.9 ± 121.3*	431.8 ± 70.9*	<0.001
ES	+0.84	+0.88	
Gesamtvolumen (kg)			
Start	4644.8 ± 1130.6	2072.9 ± 408.7	<0.001
Nach 8 Wochen	5150.9 ± 961.8*	2566.4 ± 538.4*	<0.001
Nach 16 Wochen	5498.1 ± 1066.9*	2719.6 ± 593.4*	<0.001
ES	+0.78	+1.27	

Anmerkung. ES = Effektgröße, Gesamtvolumen = absolutes Gesamtvolumen in der Summe der drei Übungen. Die Ergebnisse werden als Mittelwert ± Standardabweichung ausgedrückt. *P < 0,05 gegenüber der Grundlinie.

Quelle: mod. nach Cyrino et al. (2019, S. 401 + 402)

3.3.4 Multiple fitness improvements found after 6-months of high intensity functional training

In der vorliegenden Studie von Cosgrove et al. (2019) wurde die Wirkung eines speziellen Crossfit-Training auf koordinative sowie konditionelle Fähigkeiten bei Männern und Frauen untersucht.

Insgesamt nahmen 45 Testpersonen an dieser Studie teil, wobei 51,1% Frauen im durchschnittlichen Alter von 31,8 (±13,2) Jahren teilnahmen. Das durchschnittliche Alter wurde bei Männern nur innerhalb der beiden Gruppen berechnet. Einschlusskriterien bestanden aus der Mitgliedschaft bei „K-State Crossfit“ und der Volljährigkeit zu Beginn der Studie. Es wurden zwei geschlechterspezifische Gruppen, die sich nach der Trainingserfahrung im Crossfit orientierten, gebildet. Der Tag der Eingangstestungen konnte variabel gewählt werden und die Abschlusstests wurden nach sechs Monaten nach einem vorgegebenen Trainingsplan durchgeführt. Die regelmäßige Teilnahme sowie die Intensität des Trainings wurden weder standardisiert noch überprüft.

Anthropometrische Daten

Die Testpersonen wurden in je zwei geschlechterspezifische Gruppen aufgrund ihrer Trainingserfahrung im Crossfit unterteilt. Eine Gruppe hatte eine Trainingserfahrung von null bis sechs Monaten, die andere Gruppe konnte über sieben Monate Trainingserfahrung vorweisen. Eine exakte Beschreibung der Messung des Gewichts ist nicht vorhanden, wurde jedoch zu Beginn standardisiert gemessen. Die Körpergröße bzw. Körperhöhe wurde mittels eines Stadiometers ermittelt (Seca Nord Amerika, Chico, CA, USA). Aus diesen Werten wurde der BMI berechnet. Alle durchschnittlichen Werte beiden Gruppen mit deren Standardabweichung sind in Tabelle sieben aufgelistet.

Tab. 7: Physische Eigenschaften der Testpersonen zu Beginn der Studie

Variabel	0-6 Monate		7+ Monate	
	Frauen (n = 11)	**Männer (n = 13)**	**Frauen (n = 12)**	**Männer (n = 9)**
	Ø (SD)	**Ø (SD)**	**Ø (SD)**	**Ø (SD)**
Alter (Jahre)	30.2 (13.2)	26.5 (11.7)	37.3 (15.7)	33.3 (11.8)
Höhe (m)	1.65 (0.05)	1.82 (0.09)	1.77 (0.07)	1.78 (0.06)
Gewicht (kg)	65.7 (11.9)	81.4 (12.5)	59.8 (4.4)	79.9 (8.0)
BMI (kg/m2)	24.3 (4.7)	24.6 (2.6)	21.8 (1.3)	25.2 (3.1)

Quelle: mod. nach Cosgrove et al. (2019, S. 3)

Trainingsintervention

Die Trainingseinheiten umfassen 60 Minuten und bestehen aus Aufwärmen (10-15 Minuten), Ausführung der Übung sowie Technik (10-20 Minuten), Workout (5-30 Minuten) und Abwärmen (5 Minuten). Es wurde ein spezielles Crossfit-Protokoll verwendet, das aus Aerobic-, Körpergewichts- und dynamischen Krafttraining mit Gewichten bestand. Diese Übungen mussten für eine gewisse Zeit, für eine gewisse Wiederholungsanzahl oder eine gewisse Distanz durchgeführt werden. Es gab keine vorher definierte Anzahl an Trainingstagen, wodurch die Trainingstage individuell gestaltet werden konnten.

Gemessen wurden zehn Fertigkeiten wie Agility-Hop Test, Pro-Agility-Test, „Sit and reach“, Standweitsprung, 400 Meter Sprint und Cooper Test. Darüber hinaus wurde das 1-RM einer Kniebeuge, von Schulterdrücken im Stehen und von Kreuzheben gemessen. Außerdem mussten die Testpersonen so viele Wiederholungen wie möglich in 60 Sekunden bei Übungen wie Liegestütz, Sit-ups, Kniebeugen ohne Zusatzgewicht und Klimmzüge absolvieren.

Die Muskelkraft wurde mithilfe eines standardisierten Tests innerhalb eines Termins ermittelt. Die Testpersonen mussten nach einem ausführlichen Aufwärmen im Zuge von drei Versuchen das 1-RM bestimmen. Vorab wurden genau definierte Kriterien für die erfolgreiche Ausführung der Übungen festgelegt. Die muskuläre Ausdauer wurde ebenfalls im Zuge eines eigenen Termins für die oben beschriebenen Übungen ermittelt. Alle Übungen wurden vorab standardisiert und klar kommuniziert. Die Liegestütze durfte zum Beispiel entweder auf Knien oder auf den Füßen durchgeführt werden. Alle anderen oben angeführten Tests werden hier nicht im Detail beschreiben, da sie für die Fragestellung nicht relevant sind.

Studienergebnis

Die Ergebnisse zeigen statistisch signifikante Verbesserung folgender Übungen: Liegestütz, Kniebeuge, Schulterdrücken und Kreuzheben bei Frauen. Alle Ergebnisse jeder Übung für Frauen sind in der Tabelle acht aufgelistet. Männer konnten sich bei Übungen wie Klimmzüge, Kniebeugen und Kreuzheben statistisch signifikant verbessern. Diese Ergebnisse werden in Tabelle neun dargestellt. Allerdings konnte kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Tab. 8: Prä- und Post-Test der Muskelkraft und der muskulären Ausdauer bei Frauen

Test	0-6 Monate Erfahrung (n = 11)		7+ Monate Erfahrung (n = 12)		Gruppenzeit		
	Prä-Test M (SD)	Post-Test M (SD)	Prä-Test M (SD)	Post-Test M (SD)	F (dof)	p-Wert	η^2
Liegestütze in 60 Sekunden (WH)	25.7(5.5) [4]	31.3 (3.4) *	25.0 (7.9) [5]	28.1 (9.6) *	0.47 (1,12)	0.506	0.038
Liegestütze in 60 Sekunden (WH)	23.2(6.5) [3]	28.6 (8.4)	31.3 (7.1) [2]	29.8 (3.8)	3.89 (1,7)	0.089	0.357
Sit-ups in 60 Sekunden (WH)	39.2(13.0)	41.6(14.7)	41.0 (7.2)	41.6 (6.7)	0.73 (1,21)	0.402	0.034
Kniebeugen in 60 Sekunden (WH)	40.3(10.8)	41.8(11.5)	46.3 (5.3)	46.8 (5.6)	0.26 (1,21)	0.614	0.012
Klimmzüge (WH)	3.5 (3.5) [1]	5.0(4.2)	6.5 (3.9) [2]	7.8 (3.5)	0.04 (1,4)	0.859	0.009
Band-assistierte Klimmzüge (WH)	6.7 (6.0) [6]	8.4(5.9)	13.4 (6.7) [5]	14.5 (6.6)	0.18 (1,15)	0.677	0.012
1-RM Kniebeuge (kg)	56.2(8.6) [6]	64.7 (13.8) ***	56.4(14.4)	60.3 (15.0) ***	3.37 (1,19)	0.082	0.150
1-RM Schulterdrücken (kg)	30.0 (6.4)	32.7 (9.3)	31.8 (5.9)	33.1 (6.2)	1.37 (1,21)	0.255	0.061
1-RM Kreuzheben (kg)	71.6(19.4)	79.0 (27.9) **	80.8(20.4)	86.6 (19.8) **	0.13 (1,21)	0.727	0.006

Anmerkung: * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001, Haupteffekt für die Zeit; 1 n = 2. [2] n = 4. [3] n = 5. [4] n = 6. [5] n = 8. [6] n = 9. [7] n = 10. dof = Freiheitsgrade.

Quelle: mod. nach Cosgrove et al. (2019, S. 7)

Tab. 9: Prä- und Post-Test der Muskelkraft und der muskulären Ausdauer bei Männern

Test	0-6 Monate Erfahrung (n = 11)		7+ Monate Erfahrung (n = 12)		Gruppenzeit		
	Prä-Test M (SD)	Post-Test M (SD)	Prä-Test M (SD)	Post-Test M (SD)	F (dof)	p-Wert	η^2
Liegestütze in 60 Sekunden (WH)	36.9(11.8)	38.3 (11.8) *	39.1(14.4)	38.9 (11.3) *	0.41 (1,20)	0.530	0.020
Liegestütze in 60 Sekunden (WH)	45.2 (8.6)	45.4 (7.1)	46.8(10.1)	49.7 (7.8)	1.16 (1,20)	0.295	0.055
Sit-ups in 60 Sekunden (WH)	49.8(11.6)	50.5 (7.3)	53.3(10.3)	53.9 (9.9)	0.01 (1,20)	0.946	0.000
Kniebeugen in 60 Sekunden (WH)	8.1 (3.1) [4]	10.2 (5.0) *	11.6 (4.1) [3]	13.0 (3.4) *	0.24 (1,15)	0.632	0.016
Klimmzüge (WH)	6.2 (4.2) [2]	7.6(4.9)	2.0 (1.4) [1]	4.5(2.1)	0.27 (1,5)	0.624	0.052
Band-assistierte Klimmzüge (WH)	100.5 (25.8)	109.0 (28.6) ***	103.1 (30.4)	112.7 (33.7) ***	0.11 (1,20)	0.748	0.005
1-RM Kniebeuge (kg)	51.3(10.0)	54.4(11.5)	54.8(12.5)	54.8(13.7)	3.23 (1,20)	0.087	0.139
1-RM Schulterdrücken (kg)	123.6 (28.5)	130.4 (26.2) ***	139.7 (35.1)	150.8 (36.0) ***	0.92 (1,20)	0.348	0.044

Anmerkung: * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001, Haupteffekt für die Zeit; 1 n = 2. [2] n = 4. [3] n = 5. [4] n = 6. [5] n = 8. [6] n = 9. [7] n = 10. dof = Freiheitsgrade.

Quelle: mod. nach Cosgrove et al. (2019, S. 8)

3.3.5 Sex-related response to eccentric-only resistance training in knee-extensors muscle strength and architecture

In der vorliegenden Studie von Coratella et al. (2018) wurden die Auswirkungen eines ausschließlich exzentrischen Trainings auf die Muskelkraft des Quadrizeps sowie die Architektur des Muskels bei Männern und Frauen untersucht.

Insgesamt nahmen 26 Personen an dieser elfwöchigen Studie teil, wobei für die Trainingsintervention acht Wochen veranschlagt wurden. Die Testpersonen durften während des gesamten Zeitraumes keine zusätzliche anstrengende körperliche Aktivität ausführen sowie 6 Monate davor kein regelmäßiges Krafttraining absolvieren. Es wurden Personen ausgeschlossen, die Knie oder Muskelbeschwerden der unteren Extremität aufwiesen oder Medikamente zu sich nahmen.

Anthropometrische Daten

13 gesunde Männer im durchschnittlichen Alter von 21,6 (± 2,6) Jahren und 13 gesunde Frauen im durchschnittlichen Alter von 20,8 (± 3) Jahren wurden für diese Studie rekrutiert. Die Männer hatten eine durchschnittliche Körpermasse von 79,4 (±4,3) kg und die Frauen von 61,1 (± 3,9) kg. Die Körpergröße wurde in Meter angegeben: bei Männern betrug die durchschnittliche Größe 1,8 (± 0,1) m und bei Frauen 1,62 (±0,07) m. Der BMI sowie ein exaktes Vorgehen der Messungen wurden nicht beschrieben.

Trainingsintervention

Im Zuge der Studie wurden konzentrische, exzentrische und isometrische Spitzendrehmomente mit einem isokinetischen Dynamometer und das 1-RM mittels eines isotonischen Apparats (Beinstrecker, Technogym, Cesena, Italien) gemessen. Außerdem wurden die Muskeldicke, die Faszienlänge und der Fiederungswinkel mithilfe eines Ultraschalls Acuson P50, Acuson Corporation, CA) gemessen.

Nach einem ausführlichen Aufwärmen - bestehend aus zwei Sätzen mit 15 Wiederholungen mit einer niedrigen Intensität sowie acht Wiederholungen mit höherer Intensität - wurde das 1-RM getestet. Anhand dieses Ergebnisses wurde mittels der Brzycki (1993) Formel, 90% des 1-RM vorhergesagt und als ersten Versuch gezählt. Im Anschluss wurde das Gewicht um 2,5kg gesteigert, wobei zwei Minuten passive Erholung zwischen den Versuchen für Regeneration veranschlagt waren. Das Gewicht wurde so lange gesteigert, bis es nicht mehr möglich war, das Gewicht zu heben. Zu Beginn der Testung mussten die Testpersonen einen Probelauf am isokinetischen Dynamometer durchlaufen, um sich an die Einstellungen und den Ablauf zu gewöhnen.

Die Muskeldicke, die Faszienlänge und der Fiederungswinkel wurden im Sitzen bei einem Kniewinkel von 90° und einem komplett entspannten Muskel ermittelt. Die Messung erfolgte bei 39% der distalen Länge des Vastus Lateralis, während der Ultraschallwandler längs zur Ausrichtung der Muskelfasern platziert wurde. Die Muskeldicke wurde als der Abstand zwischen der oberflächlichen und tiefliegenden Aponeurose des Vastus lateralis definiert. Die Faszienlänge wurde mithilfe der Formel sin (γ + 90°) *MT/sin (180° - (γ+180° - Fiederungswinkel) berechnet. „γ“ beschreibt den Winkel zwischen der oberflächlichen und tiefliegenden Aponeurose. Die Messungen wurden nur von einer Testperson durchgeführt.

Die Trainingsintervention selbst fand zweimal pro Woche statt und umfasste insgesamt 16 Trainingseinheiten. Das Training wurde an der nicht-dominanten Extremität bei einem Bewegungsbereich von 85° und einer exzentrischen Phase während der Bewegung von zwei Sekunden ausgeführt. Es mussten vier Sätze zu je zehn exzentrischen Wiederholungen mit einer Belastung von 120% des 1-RM durchgeführt werden. Eine Steigerung der Belastung wurde ab der fünften Woche vollzogen, indem die Testpersonen 5% ihrer anfänglichen Last ergänzen mussten. Die Pause zwischen den Sätzen wurde mit zwei Minuten passiver Erholung geregelt.

Studienergebnis

Zu Beginn der Studie wiesen die Männer eine signifikant höhere Muskelkraft des Quadrizeps auf als Frauen. Ebenfalls waren zu Beginn deutlich höhere Werte des Fiederungswinkels sowie der Muskeldicke bei Männern im Vergleich zu Frauen zu verzeichnen. Hinsichtlich des 1-RM gab es keine statistisch bedeutenden Verbesserungen im geschlechterspezifischen Vergleich nach den acht Wochen (1RM = 0,822, p = .371; exzentrisch p = .569, konzentrisch p = .822, und isometrisches Spitzendrehmoment p = .186). Es konnte lediglich eine charakteristische Geschlechtswechselwirkung bezogen auf die zeitliche Interaktion für den Fiederungswinkel (p = 0,011) gefunden werden. Die Faszienlänge sowie die Muskeldicke konnten keine statisch signifikanten Verbesserungen verzeichnen. Insgesamt traten sowohl bei Männern als auch bei Frauen mäßige bis große Zunahmen des 1-RM beim Quadrizeps ein. Der Wert des Fiederungswinkel verzeichnete bei Frauen eine sehr große Zunahme, wohingegen die Zunahme des Wertes bei Männern nur gering ausfiel. Eine starke Vergrößerung konnte auch für die Faszienlänge bei beiden Geschlechtern festgestellt werden, wobei hier kein signifikanter Unterschied auftrat. Gleiche Ergebnisse zeigten sich für die Muskeldicke, die bei beiden Geschlechtern stark bis sehr stark zunahm, jedoch gab es keine statistisch auffälligen Unterschiede. Die beschriebenen Ergebnisse sind in Tabelle zehn dargestellt. Es wurden die

unterschiedlichen Parameter vor und nach dem achtwöchigen Training gemessen und miteinander verglichen.

Tab. 10: Trainingsbedingte Anpassungen der trainierten Extremität

	Prä-Test Mittel (SD)	**Post-Test** Mittel (SD)	Veränderung in %. [95% CI]	p-Wert	Größe des Effekts
1-RM (kg)					
Männer	56 (11)*	62 (12)	10 [5, 15]	.001	0.50
Frauen	34 (6)	38 (7)	10 [6, 14]	< .001	0.53
Exzentrisches Spitzendrehmoment (N·m)					
Männer	294 (59)*	335 (47)	16 [9, 22]	< .001	0.82
Frauen	208 (38)	244 (38)	18 [11, 25]	< .001	0.96
Konzentrisches Spitzendrehmoment (N·m)					
Männer	231 (52)*	253 (54)	9 [5, 13]	.002	0.42
Frauen	151 (35)	168 (36)	12 [7, 16]	< .001	0.49
Isometrisches Spitzendrehmoment (N					
Männer	228 (49)*	269 (58)	17 [10, 24]	< .001	0.62
Frauen	178 (41)	208 (35)	17 [11, 23]	< .001	0.53
Faszikel-Länge (mm)					
Männer	85.8 (6.2)	97 (6.5)	12 [8, 16]	< .001	1.83
Frauen	89.4 (7.1)	96.5 (8.6)	7 [4, 10]	.038	1.02
Fiederungswinkel (Grad)					
Männer	15.2 (3.3)*	16.0 (3.8)	5 [−1, 11]	.134	0.28
Frauen	10.8 (1.1)	12.4 (1.2)	14 [10, 17]	< .001	1.54
Muskeldicke (mm)					
Männer	26.2 (3.4)*	29.1 (3.1)	11 [7, 15]	.002	0.89
Frauen	21.5 (2.3)	24.3 (2.9)	13 [8, 18]	< .001	1.11

Quelle: mod. nach Coratella et al. (2018, S. 4)

3.3.6 The effect of high-intensity circuit training on physical fitness

In der vorliegenden Studie von Schmidt et al. (2016) wurde die Wirkung eines hochintensiven Zirkeltrainings unter Verwendung des eigenen Körpergewichts auf Muskelausdauer, Muskelkraft, aerobe Fitness und Körperzusammensetzung untersucht.

Es wurden insgesamt 110 Testpersonen im Alter zwischen 18 und 24 Jahren rekrutiert. Im Endeffekt wurden nur Daten von 96 Personen schlagend, da einige während der Trainingsintervention aus diversen Gründen ausschieden. Einschlusskriterien waren ein BMI unter 30 kg/m^2 und die Testpersonen mussten zumindest an zwei oder drei Tagen eine körperliche Aktivität bzw. Sport von über 30 Minuten ausüben. Ein Ausschluss erfolgte, wenn Medikamente eingenommen wurden und orthopädische Probleme vorhanden waren. Jene Testpersonen, die die Studie durchliefen, wurden nach einer Eingangstestung zufällig in eine der drei Gruppen zugeteilt. Es gab eine Kontrollgruppe, die keine körperliche Aktivität ausüben durfte. Die zweite Gruppe (cT-7-Gruppe) musste ein 7-minütiges Zirkeltraining und die letzte Gruppe (cT-14-Gruppe) ein 14-minütiges Zirkeltraining absolvieren.

Anthropometrische Daten

Es liegen keine übersichtlichen anthropometrischen Daten vor, sondern lediglich für die jeweiligen drei Interventionsgruppen. Alle Testpersonen wurden von derselben Person gemessen. Die Messung erfolgte an vier Hautfaltenstellen wie Trizeps, Bauch, suprailiaker Bereich sowie mittlerer Oberschenkel. Sie wurde mit einem Kaliper (Beta Technology Inc., Santa Cruz, CA, USA) zur Schätzung des prozentualen Körperfettanteils vorgenommen. Die angegebenen Daten, in Tabelle elf für Männer und Tabelle zwölf für Frauen, bestehen aus der Gruppengröße, dem Alter, der Größe bzw. der Höhe, dem Gewicht, dem BMI und dem Körperfett.

Tab. 11: Physische Eigenschaften der Probanden zu Studienbeginn

	Kontrollgruppe	cT-7-Gruppe	cT-14-Gruppe
Gruppengröße	15	15	13
Alter (Jahre)	21.4±1.1	21.5±1.5	20.9±.95
Höhe (cm)	179.1±6.0	179.3±4.7	180.8±4.0
Gewicht (kg)	77.1±7.3	79.2±8.2	83.2±7.9
BMi (kg/m2)	24.1±2.6	24.6±2.0	25.4±2.0
Körperfett (%)	11.3±4.1	13.6±4.1	12.4±3.9

Quelle: mod. nach Schmidt et al. (2016, S. 536)

Tab. 12: Physische Eigenschaft der Probandinnen zu Studienbeginn

	Kontrollgruppe	cT-7-Gruppe	cT-14-Gruppe
Gruppengröße (n.)	21	17	15
Alter (Jahre)	20.3±1.	120.7±1.3	20.5±1.5
Höhe (cm)	165.2±6.4	166 .7±7.6	165.3±5.4
Gewicht (kg)	61.8±7.2	64.4±10.7	60.9±6.6
BMi (kg/m2)	22.6±2.1	23.2±3.7	22.3±1.8
Körperfett (%)	19.1±2.8	19.4±3.7	18.9±3.3

Quelle: mod. nach Schmidt et al. (2016, S. 536)

Trainingsintervention

Zunächst wurde alle Testpersonen einer Eingangstestung, die aus einem Muskelausdauertest und einem Stufentest bestand, unterzogen. Die Muskelausdauer wurde anhand eines Liegestütztests und einem Test für die Griffstärke ermittelt. Die Testpersonen mussten so viele Liegestütz wie es für sie möglich war nach einem bestimmten Protokoll absolvieren. Die Griffstärke wurde mittels eines Handdynamometers (Lafayette Instrument Company, Lafayette, IN, USA) gemessen. Der Stufentest war zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max) und folgte einem speziellen Protokoll. Die Testperson musste eine 41,3 cm hohe Stufe mit einer Geschwindigkeit von 22 Schritten pro Minute bei Frauen und 24 Schritten pro Minute bei Männern für insgesamt drei Minuten auf- und absteigen. Nach Abschluss des Tests wurden die Herzschläge 15 Sekunden lang gezählt und diese Zahl dann mit vier multipliziert, um die Schläge pro Minute zu bestimmen. Diese Zahl in Schlägen pro Minute wurde dann in eine Gleichung eingegeben, um VO_2max zu schätzen.

Die Trainingsintervention bestand aus acht Wochen und die Trainingsbelastung differenzierte je nach Gruppe, in der die Testpersonen zugeteilt wurden. Bis auf die Kontrollgruppe musste das Training an drei Tagen pro Woche mit mindestens einem Tag dazwischen ohne Training, durchgeführt werden. Die Trainingsgruppen führten die ersten vier Wochen dasselbe Training aus, während die cT-14-Gruppe die letzten vier Wochen das Training steigern musste. Diese Gruppe verdoppelte die Trainingszeit von sieben auf 14 Minuten, wohingegen die cT-7-Gruppe die gesamte Trainingsintervention nur sieben Minuten trainierte.

Das Trainingsprotokoll bestand aus zwölf Übungen, wobei die Übung 30 Sekunden lang ausgeführt werden musste. Die Pause bestand aus einem Wechsel von zehn Sekunden zur nächsten Übungssequenz. Die Übungen wurden in folgender Reihenfolge ausgeführt: Hampelmänner, Skihocke, Liegestütze, „Crunches“, „Step-ups“ auf einen Stuhl, Kniebeuge, Dips auf einem Stuhl, Unterarmstütz, Skippen, Ausfallschrittkniebeuge, Liegestütze + Rotation und Seitstütz. Das gesamte Trainingsprotokoll wurde mit einem Studierenden der Forschungsgruppe absolviert, um die richtige Technik und Übungszeit zu gewährleisten.

Studienergebnis

Zu Beginn gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Es konnten nach der achtwöchigen Trainingsintervention einige Verbesserungen erzielt werden. Insbesondere konnten sowohl Männer als auch Frauen beider Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikante Verbesserung der Liegestützleistung

erzielen. Die Griffkraft konnte bei Männern, jedoch nicht bei Frauen, gesteigert werden. Speziell wurde eine signifikante Verbesserung der linken Hand bei der cT-7-Gruppe sowie der rechten Hand bei der cT-14-Gruppe festgestellt werden. Frauen, der cT-14-Gruppe, verbesserten sich im Zuge der Trainingsintervention klar beim Stufentest ($p < 0,01$). Die gesamten Ergebnisse von Männern und Frauen vor und nach der Trainingsintervention sind in Tabelle 13 angegeben. Zusammenfassend wurde kein signifikanter Unterschied aufgrund der Trainingsintervention zwischen Männern und Frauen festgestellt. Die Verbesserungen waren zwar ausgeprägt, jedoch statistisch nicht relevant.

Tab. 13: Veränderungen der Muskelkraft, der muskulären Ausdauer und der aeroben Fitness nach 8 Wochen

Variabel	Kontroll		cT-7		cT-14	
	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post
Männer (n.)	15		15		13	
rechter Griff (kg)	44.9±9.1	45.1±6.6	45.8±9.0	47.7±7.2	44.8±7.1	49.8±6.8#
linker Griff (kg)	45.0±8.9	46.7±8.7	43.4±7.1	47.7±7.7**	43.5±13.5	45.3±3.9
Liegestütze	38.5±13.0	41.3±12.7	35.6±10.7	41.2±12.1*	37.5±11.1	44.4±14.9*
Vo2max (ml/kg/min)	52.7±5.8	53.2±8.5	53.7±7.2	52.9±7.5	51.4±6.0	53.6±7.4
Frauen (n.)	21		17		15	
rechter Griff (kg)	29.1±5.3	30.9±5.6	31.6±5.8	33.2±7.4	30.9±5.5	31.3±5.1
linker Griff (kg)	28.3±3.8	29.7±5.6	31.1±5.7	31.4±7.6	28.3±5.9	31.0±4.1
Liegestütze	13.6±6.9	15.0±7.8	14.4±11.5	20.9±11.7*	11.9±7.7	19.1±7.3*
Vo2max (ml/kg/min)	39.2±3.7	39.8±3.3	41.5±4.4	44.1±4.6	40.3±3.1	43.4±3.1##

Die Daten werden als Mittelwert ± Sd dargestellt.
*p<0,001 zwischen Post-Test und Pre-Test innerhalb der Gruppen; **p<0,02 zwischen Post-Test und Pre-Test innerhalb der Gruppe; #p<0,03 zwischen Post-Test und Pre-Test innerhalb der Gruppe; ##p<0,01 zwischen Post-Test und Pre-Test innerhalb der Gruppe.

Quelle: mod. nach Schmidt et al. (2016, S. 537)

In Tabelle 14 ist die Körperzusammensetzung der drei Gruppen dargestellt. Nach den achtwöchigen Trainingseinheiten konnten keine statistischen Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Trainingsgruppen festgestellt werden.

Tab. 14: Veränderungen des BMI und der Körperzusammensetzung nach 8 Wochen

Variabel	Kontroll		cT-7		cT-14	
	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post
Männer (n.)	15		15		13	
Gewicht (kg)	77.1±7.3	78.4±6.9	79.2±8.2	79.1±8.2	83.2±7.9	83.2±8.3
BMi (kg/m2)	24.1±2.6	24.4±2.4	24.6±2.0	24.4±2.1	25.4±2.0	25.3±2.1
Körperfett (%)	11.3±4.1	11.6±3.9	13.6±4.1	13.1±4.3	12.4±3.9	12.1±3.7
Frauen (n.)	21		17		15	
Gewicht (kg)	61.8±7.2	61.8±6.9	64.4±10.7	64.4±10.2	60.9±6.6	61.9±7.0
BMi (kg/m2)	22.6±2.1	22.6±1.9	23.2±3.7	23.1±3.8	22.3±1.8	22.6±1.9
Körperfett (%)	19.1±2.8	19.4±3.1	19.4±3.7	19.9±3.2	18.9±3.3	19.6±3.5

Die Daten werden als Mittelwert ± SD dargestellt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb oder zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Quelle: mod. nach Schmidt et al. (2016, S. 537)

3.3.7 Long-term strength adaptation: A 15-year analysis of powerlifting athletes

In der vorliegenden Studie von Latella et al. (2020) wurden im Zuge einer Langzeitstudie die Auswirkungen von Gewichtheben im Dreikampf insbesondere auf die Muskelleistung untersucht.

Dabei wurden Daten von insgesamt 521 „Roh-Wettkämpfen“ analysiert. Die gesammelten Daten stammen von 1897 Personen, wobei 626 weibliche und 1271 männliche Ergebnisse über einen Zeitraum von 15 Jahren (2003 – 2018) vorliegen. Es wurden lediglich Leistungssportler und Leistungssportlerinnen für die Analyse herangezogen, die in drei unterschiedlichen Klassen wie „Junior, „Open“ und „Masters“ ihre Wettkämpfe bestritten. Das Alter der männlichen Testpersonen war zu Beginn der Studie im Durchschnitt 26,8 (±8,9) Jahre, wobei die Spannweite zwischen 15 bis 74 Jahren war. Hingegen waren weibliche Testpersonen im Durchschnitt 30,6 (±10,19) Jahre und die Spannweite lag zwischen 14 bis 77 Jahren. Die Altersdaten waren jedoch nur von 69% der männlichen und 82% der weiblichen Testpersonen vorhanden.

Anthropometrische Daten

Das Körpergewicht der Männer betrug anfänglich 88,7 (±17,3) kg mit einer Spannweite von 52-187,5kg und bei den Frauen 69,1 (±15,2) kg mit einer Spannweite von 39,3 bis 115,9 kg. Weitere Daten bzw. eine genaue Beschreibung der Erhebung der Daten wurde im Zuge der Studie nicht angegeben.

Vorgehensweisen

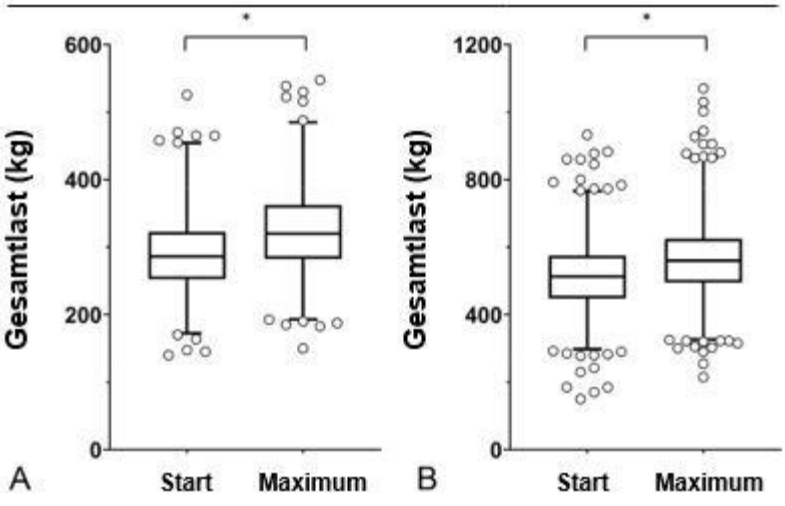
Die Leistungsdaten wurden aus jedem Wettkampf extrahiert, indem das höchste erfolgreich bewältigte Gewicht, aus den drei Versuchen der jeweiligen Übungen - Kniebeuge, Bankdrücken und Kreuzheben – herangezogen wurde. Jeder erfolgreich bewältigte Versuch wurde mit einer Punktezahl belegt, sodass ein Vergleich möglich wurde. Gezählt wurden nur Daten von Personen, die mindestens zwei „Gesamtpunktezahlen“ aus getrennten Wettkämpfen, sowie die drei erforderlichen Übungen absolvierten bzw. erzielten. Ebenfalls wurden Daten von Personen manuell entfernt, die den Mittelwert stark beeinflusst hätten. Die relative Muskelkraft wurde sowohl für Frauen als auch für Männer unabhängig vom Alter ausgedrückt und mittels einer Formel berechnet. Es wurden die ersten „Gesamt“ Wettkampfergebnisse (kg) durch die Körpermasse beim ersten Wettkampf gerechnet und in Quartilen für jedes Geschlecht geschichtet. Im ersten Quartil wurden Personen mit einer relativen Stärke, die unter 25% des gesamten Mittelwerts lagen, angegeben. Im vierten Quartil wurden jene Personen mit einer relativen Stärke, die über 75% des gesamten Mittelwerts war, angegeben. Jene Personen, die zwischen 26 bis 50% des gesamten Mittelwerts waren,

wurden im zweiten Quartil angegeben und jene zwischen 51 und 75% des gesamten Mittelwerts, wurden im dritten Quartil eingeordnet. Außerdem wurde die Kraftzunahme aller Testpersonen pro Tag für den Zeitraum 2003 bis 2018 berechnet.

Studienergebnis

Es wurde die Gesamtlast zu Beginn, die maximale Last sowie die Last am Ende der Studiendauer für einen Vergleich herangezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 für Frauen und Männer dargestellt. Frauen konnten zu Beginn eine mittlere Gesamtlast von 289,4 (±55,7) kg, am Ende 315,7 (±61,2) kg und maximal 322,5 (±61,1) kg bewältigen. Hingegen konnten Männer zu Beginn eine mittlere Gesamtlast von 513,3 (±99,8) kg, am Ende 549,6(±106,9) kg und maximal 562,2 (±104,8) kg bewältigen. Männer und Frauen konnten einen statisch signifikanten Zuwachs ($p<0,01$) in diesem Zeitraum verzeichnen.

Tab. 15: Gesamtlast zu Beginn und Maximal bei Frauen (A) und bei Männern (B)



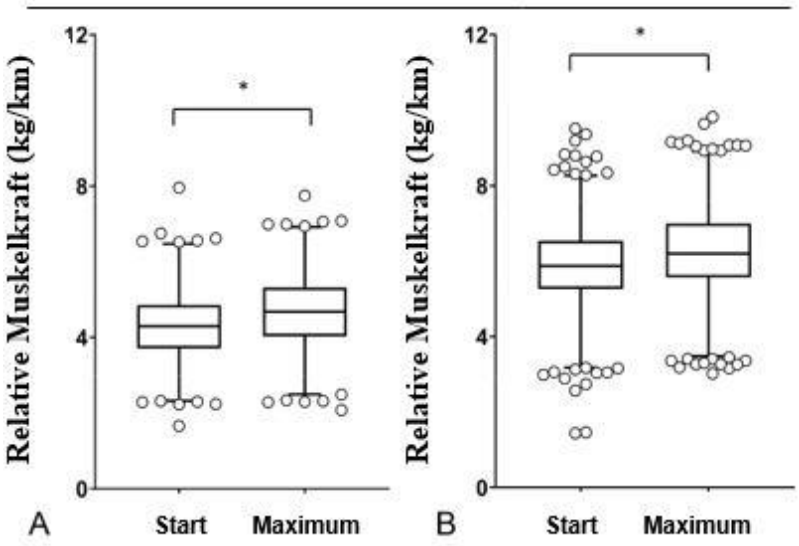
Anmerkung: Die Linien zeigen die Spanne (erstes bis 99. Prozent pro Zentil), und die einzelnen Datenpunkte zeigen die Ergebnisse der Testpersonen außerhalb dieser Perzentile. *Signifikante Differenz (p , 0,001) zwischen den Gesamtwerten.

Quelle: mod. nach Latella et al. (2020, S. 2414)

Insgesamt deuten die Ergebnisse nicht auf einen geschlechterspezifischen Unterschied hin. Darüber hinaus wurden keine Unterschiede zwischen den Quartilen beim Zuwachs der Muskelkraft pro Tag bei Frauen nachgewiesen. Hingegen zeigten Männer im höchsten Quartil eine langsamere Anpassungsrate der Muskelkraft im Vergleich zu Männern im ersten Quartil. Außerdem konnte kein Unterschied in der Anzahl oder den durchschnittlichen Tagen zwischen den Wettkämpfen bei Männern und Frauen festgestellt werden. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der relativen Muskelkraft, also Belastung in Kilogramm durch Körpermasse, für Frauen und Männer in Tabelle 16 angegeben. Konkret konnte bei beiden Geschlechtern ein signifikanter Zuwachs über den gemessenen Zeitraum verzeichnet werden. Im Endeffekt war die Kraftzunahme pro

Tag bei Frauen 0,12 (±0,69) kg und bei Männern 0,15 (±0,44) kg, was einem durchschnittlichen Zuwachs pro Jahr von 43,8 kg bei Frauen und 54,75 kg bei Männern entspricht. Diese Ergebnisse zeigen keine statisch auffälligen geschlechterspezifischen Unterschiede über die Zeit hinweg.

Tab. 16: Relative Muskelkraft maximal und zu Beginn und bei Frauen (A) und Männern (B).



Anmerkung: Die Linien zeigen die Spanne (erstes bis 99. Prozent pro Zentil), und die einzelnen Datenpunkte zeigen die Ergebnisse der Testpersonen außerhalb dieser Perzentile an. *Signifikante Differenz (p<0,001) zwischen den Gesamtwerten. (kg = Kilogramm; km= Körpermasse)

Quelle: mod. nach Latella et al. (2020, S. 2415)

3.3.8 Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages

In der vorliegenden Studie von Ahtiainen et al. (2016) wurden die Auswirkungen eines 20 bis 24-wöchigen systematischen und überwachten Krafttraining auf die Muskelgröße sowie Muskelkraft bei untrainierten jungen und älteren Erwachsenen untersucht.

Es wurden Daten von 359 Testpersonen analysiert, um im Zuge eines Krafttrainings mögliche Rückschlüsse auf alters- und geschlechterspezifische Unterschiede bei der Muskelgröße und Muskelkraft ziehen zu können. Die Daten stammen von unterschiedlichen Trainingsinterventionen, die im Zeitraum von 1996 bis 2011 von den Autoren selbst überwacht wurden. Für die Auswertung wurden die originalen Daten der retrospektiven Analyse herangezogen. Es entfielen 183 Männer und 104 Frauen auf die Trainingsgruppe und 53 Männer sowie 19 Frauen auf die Kontrollgruppe. Das Alter der trainierenden Testpersonen war zwischen 19 und 78 Jahren und jener der Kontrollgruppe zwischen 22 und 77 Jahren. Die Testpersonen wurden in drei annähernd gleich große Altersgruppen zusammengefasst, wobei die Geschlechterverteilung auch

berücksichtigt wurde. Die Altersgruppen „junge Erwachsene“ waren unter 45 Jahre), die Altersgruppe „mittleres Erwachsenenalter“ zwischen 45-60 Jahre und darüber die Altersgruppe „ältere Erwachsene“. (Alle Personen, die an der Studie teilnahmen, hatten keine Erfahrung im Krafttraining, weiters mussten sie frei von körperlichen Beschwerden sein.

Anthropometrische Daten

Die anthropometrischen Daten sind in Tabelle 18 für die einzelnen geschlechterspezifischen Gruppen angeführt. Es wurden weder Mittelwerte für die Größe noch für Körpermasse noch für den BMI des gesamten Testpersonenkollektivs angegeben. Die Daten wurden für jede Gruppe als Mittelwert mit der jeweiligen Standardabweichung angegeben. Die Körpergröße wurde mittels eines unelastischen Maßbands gemessen, wobei die Testpersonen barfuß erscheinen mussten. Die Körpermasse wurde mithilfe einer Waage auf 0,1kg genau gemessen, jedoch wurden keine genaueren Angaben zur Marke der Waage angegeben. Der BMI wurde mit der üblichen Formel berechnet, indem das Gewicht in Kilogramm durch das Quadrat der Körpergröße in Metern geteilt wurde. Die Veränderungen der Querschnittsfläche des Quadriceps Femoris wurden ausschließlich mit Ultraschall (Model SSD-190, Aloka Fansonic) oder MRT (GE Signa Exite HD 1,5 T oder Philips Gyroscan ACS-NT Scanner) zugelassen. Die Muskeldicke des Vastus lateralis wurde mittels Ultraschalles und die fettfreie Masse des Beins anhand einer Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA) gemessen.

Trainingsintervention

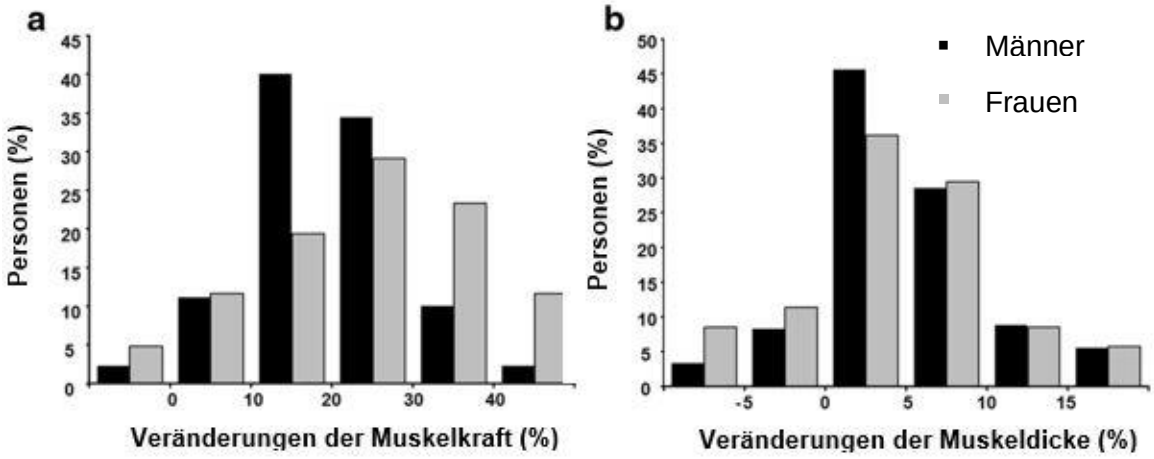
Die Trainingsinterventionen fanden zweimal pro Woche statt und wurden von dem Forschungsteam beaufsichtigt. Die Trainingseinheiten mussten mit mindestens zwei Ruhetagen in jeder Woche ausgeführt werden. Eine genaue Beschreibung bzw. ein genauer Überblick der Trainingsinterventionen ist in dieser Studie nicht zu finden.

Jeden der Personen der Kontrollgruppe wurde es erlaubt, niederfrequente bzw. wenig intensive körperliche Freizeitaktivitäten während des Trainingszeitraums fortzusetzen, auf jegliches Krafttraining musste jedoch verzichtet werden. In allen Studien wurde die gleiche horizontale Beinpresse (David 210, David Health Solutions Ltd., Helsinki, Finnland) für die Ermittlung der maximalen bilateralen konzentrischen Kraft, also dem 1-RM, herangezogen. Diese Ergebnisse wurden durch Körpermasse der Testperson geteilt, um die normalisierte Kraft zu bestimmen.

Studienergebnis

Zu Beginn der Studie waren 1-RM sowie 1-RM durch Körpermasse bei Männern und Frauen unter 45 Jahren signifikant größer ($p < 0,05$) als in der entsprechenden Gruppe der Männer und Frauen über 65 Jahren. Ebenfalls war das Verhältnis von 1-RM durch Körpermasse bei Männern unter 45 Jahren deutlichgrößer als bei Männern zwischen 45 und 60 Jahren. Im Vergleich zur Kontrollgruppe konnten sich alle Altersgruppen beider Geschlechter nach der Trainingsintervention bedeutend verbessern ($p < 0,05$). Es konnten auch geschlechterspezifische Unterschiede nach der gesamten Studiendauer verzeichnet werden. Frauen (24,2 ± 13,8%) konnten über einen signifikant relativ höheren Zuwachs des 1-RM erzielen als Männer (19,4 ± 9,5%). Der größte Anteil der Männer verzeichnete einen Zuwachs von 10 bis 20 % der Muskelkraft. Demgegenüber konnte der größte Anteil der Frauen 20 bis 30% an Muskelkraft dazugewinnen. Diese Zuwächse sind in Tabelle 17 (a) dargestellt, wobei die Personenanzahl in Prozent und die Veränderungen der Muskelkraft in Prozent bei Männern und Frauen angegeben sind.

Tab. 17: Histogramm der Veränderungen der Muskelkraft (a) und der Muskeldicke (b) bei Männern und Frauen in der Trainingsgruppe



Quelle: mod. nach Ahtiainen et al. (2016, S. 6)

Auf die unterschiedlichen Altersgruppen gerechnet ergeben sich diverse Veränderungen der Muskelkraft. Die Gruppe der Männer der unter 45-Jährigen konnte einen Zuwachs von 19,0 ± 8,6%, der 45- bis 60-Jährigen einen Zuwachs von 19,4 ± 9,0% und der über 60-Jährigen einen Zuwachs von 19,7 ± 10,8% erzielen. Die Gruppe der Frauen der unter 45-Jährigen konnte einen Zuwachs von 26,7% ±13,9%, der 45- bis 60-Jährigen einen Zuwachs von 20,0 ± 12,7% und der über 60-Jährigen einen Zuwachs von 27,0 ± 14,1% erreichen. Hingegen konnte absolut kein gruppenübergreifender Unterschied zwischen den Geschlechtern festgestellt werden (Männer 28,3 ± 15,7kg; Frauen 25,9 ± 17,1kg). Weiters konnten auch keine statistischen Auffälligkeiten zwischen den

Geschlechtergruppen (p = 0,274), den Altersgruppen (p = 0, 178) oder Geschlecht x Altersgruppe (p = =0,167) festgestellt werden.

Die Veränderungen der Muskeldicke bzw. -größe sind ebenfalls in Tabelle 17 (b) angegeben. Sowohl Männer (5,1 ± 5,9%) als auch Frauen (4,2 ± 6,3%) konnten einen signifikanten Zuwachs der Muskeldicke nach der Trainingsintervention erreichen, wobei es keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern gab. Auf die unterschiedlichen Altersgruppen gerechnet, ergeben sich diverse Veränderungen der Muskeldicke. Die Gruppe der Männer der unter 45-Jährigen konnte einen Zuwachs von 5,5 ± 5,6 %, der 45- bis 60-Jährigen einen Zuwachs von 5,2 ± 5,7 % und der über 60-Jährigen einen Zuwachs von 4,7 ± 6,4 % erzielen. Die Gruppe der Frauen der unter 45-Jährigen konnte einen Zuwachs von 3,3 ± 8,6 %, der 45- bis 60-Jährigen einen Zuwachs von 4,9 ± 4,6 % und der über 60-Jährigen einen Zuwachs von 4,1 ± 5,9 % erreichen. Bei allen Altersgruppen konnte ein statistisch signifikanter Zuwachs der Muskeldicke nach der Trainingsintervention festgestellt werden, außer bei jener Gruppe der Frauen unter 45 Jahren. Zwischen den Geschlechtern (p = 0,097), der Altersgruppe (p = 0,758) oder Geschlecht x Altersgruppe (p = 0,305) konnte ebenfalls keine bedeutsamen Interaktionen festgestellt werden. In der Tabelle 18, auf der nächsten Seite, sind alle Ergebnisse für Männer und Frauen mit den unterschiedlichen Altersgruppen übersichtlich aufgelistet. Es sind sowohl die anthropometrischen Daten als auch die absolute und relative Muskelkraft aller Testpersonen als Mittelwert mit der Standardabweichung angegeben.

Tab. 18: Charakteristik der Testpersonen sowie der Muskelkraft der Beinstrecker zu Beginn und am Ende der Intervention (Mittelwert ± SD)

	Gruppen	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Körpermasse (kg)		BMI		1RM (kg)		1RM/ Körpermasse	
				Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post
Männer	<45 (n = 61)	31.2	179.8#	78.0	79.0*	24.1#	24.4*	169.3#	200.5*	2.2#,§	2.6*
		(7.3)	(5.8)	(11.6)	(11.4)	(3.1)	(3.1)	(29.5)	(32.2)	(0.4)	(0.4)
	45–60 (n = 55)	53.8	177.5	81.0	80.7	25.7	25.6	161.7#	192.2*	2.0#	2.4*
		(5.0)	(6.7)	(10.3)	(9.8)	(3.2)	(2.9)	(29.0)	(32.2)	(0.3)	(0.4)
	>60 (n = 67)	66.1	175.7	79.2	79.3	25.7	25.7	140.4	167.0*	1.8	2.1*
		(4.0)	(5.7)	(8.3)	(8.7)	(2.7)	(2.8)	(28.3)	(34.6)	(0.3)	(0.4)
	KG (n = 53)	49.8	177.7	79.0	78.8	24.9	24.9	155.1	161.7*	2.0	2.0
		(16.9)	(6.7)	(11.7)	(11.8)	(2.8)	(2.8)	(28.3)	(29.5)	(0.4)	(0.5)
Frauen	<45 (n = 27)	38.7	164.6	64.1	64.8*	23.7#	23.9*	107.1#	135.2*	1.7#	2.1*
		(4.6)	(5.6)	(8.6)	(8.7)	(3.0)	(3.0)	(17.8)	(24.2)	(0.3)	(0.4)
	45–60 (n = 41)	53.0	163.4	67.3	66.6*	25.2	24.9*	105.5	126.3*	1.6#	1.9*
		(4.5)	(6.3)	(11.7)	(11.4)	(3.8)	(3.8)	(21.7)	(27.4)	(0.3)	(0.4)
	>60 (n = 36)	65.2	161.1	68.6	67.9	26.4	26.1	93.6	117.9 *	1.4	1.7*
		(3.1)	(5.3)	(6.8)	(6.4)	(2.0)	(2.1)	(18.2)	(21.2)	(0.3)	(0.3)
	KG (n = 19)	52.3	166.0	66.9	66.6*	24.2	24.1*	91.6	92.8	1.4	1.4
		(7.4)	(5.7)	(7.6)	(7.7)	(2.3)	(2.3)	(12.1)	(12.8)	(0.1)	(0.1)

Anmerkung: BMI Body-Mass-Index, 1RM maximal eine Wiederholung, KG = Kontrollgruppe,

*p < 0,05 im Vergleich zu dem vor dem Widerstandstraining (Prä-RT) gemessenen Wert; # p < 0,05 im Vergleich zur entsprechenden älteren Gruppe (>60 Jahre) zu Beginn des Trainings; § p < 0,05 im Vergleich zur entsprechenden Gruppe mittleren Alters (45-60 Jahre) zu Beginn des Trainings

Quelle: mod. nach Ahtiainen et al. (2016, S. 3)

4 Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden alle erwähnten Artikel aus dem vorherigen Kapitel zusammengefasst und analysiert. Darüber hinaus werden diese Ergebnisse mit dem derzeitigen Literaturstand verglichen und diskutiert. Der Fokus dieses Reviews wurde insbesondere auf die geschlechterspezifischen Unterschiede der Trainierbarkeit von Muskelkraft und Muskelmasse gelegt.

Alle untersuchten Studien verglichen die geschlechterspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Muskelkraft, jedoch nur wenige nahmen die Unterschiede hinsichtlich der Muskelhypertrophie in Visier (Ahtiainen et al., 2016; Coratella et al., 2018). Das durchschnittliche Alter der Testpersonen war bei den analysierten Studien relativ jung, also in einem Alter zwischen 18 und 30 Jahren. Lediglich zwei Studien untersuchten Testpersonen mit einem anderen durchschnittlichen Alter. Cosgrove et al. (2019) untersuchten Personen in einem durchschnittlichen Alter von ca. 31 Jahren, wohingegen Ahtiainen et al. (2016) Personen zwischen 19 und 78 Jahren in einer retrospektiven Analyse untersuchten. Der zweitgenannte Autor unterteilte die Testpersonen in drei Altersgruppen, wobei die jüngste Altersgruppe unter 45 Jahre und die älteste Gruppe über 60 Jahre alt waren, wodurch ein Vergleich der Altersgruppen mit den anderen Studien möglich ist. Weiters ist das Alter ein entscheidender Faktor für die Zunahme von Muskelkraft bzw. Muskelmasse im Zuge eines Krafttrainings. Zwischen dem 30 und 40 Lebensjahr beginnt der Verlust von Muskelmasse, was mit einer verminderten Muskelkraft bzw. Muskelfunktion einhergeht (Wu et al., 2016). Eine altersbedingte Abnahme der Muskelmasse ist unter anderem auf eine Reduktion der gesamten Myofaseranzahl bzw. der Atrophie der verbleibenden Typ-II-Myofasern zurückzuführen (Nilwik et al., 2013). Die Atrophie von Typ-II-Fasern trägt offensichtlich zu einem geschwächten und weniger starken Phänotyp auf der gesamten Muskelebene bei älteren Erwachsenen bei. Das bedeutet, dass die Typ-II-Fasern, bestehend aus Typ IIa und Typ IIx, ausschlaggebend für die Leistungsunterschiede hinsichtlich der Muskelkraft sein können (Roberts et al., 2018). Wu et al. (2016) konnten zum Beispiel nachweisen, dass ältere Personen über eine niedrigere willkürliche Maximalkraft während einer Kniestreckung sowie -beugung verfügen, wobei Männer eine höhere Reduktion als Frauen aufweisen. Roberts et al. (2018) konnten beispielsweise eine Verringerung der Größe der Typ-IIx-Fasern bei älteren im Vergleich zu jüngeren Frauen nachweisen. Insgesamt halbierten sich die Größe dieser Fasern um die Hälfte, wobei die jüngsten Frauen im Durchschnitt 25 Jahre und die ältesten im Durchschnitt 72 Jahre alt waren. Interessanterweise war bei Männern ebenfalls ein Rückgang der gesamten Muskelmasse zu beobachten, jedoch mit Unterschieden hinsichtlich der Reduktion der

Muskelfasern. Die Muskelfasern des Typs IIa und IIx waren im Allgemeinen nicht atrophisch und zusätzlich waren die Fasern des Typ I bei älteren Männern im Vergleich zur jüngsten Kohorte (ca. 25 Jahre alt) der Studie in etwa 15% größer. Dies deutet darauf hin, dass bei Männern zwar die gesamte Anzahl an Muskelfasern reduziert werden kann, jedoch werden diese Verluste durch eine Hypertrophie anderer Muskelfasern kompensiert (Walter et al., 2008). Außerdem kommt es im Alter zu hormonellen Veränderungen, wie zum Beispiel einer Reduktion von androgenen und östrogenen Hormonen. Dadurch können Muskelverlust, Muskelschwäche, verminderte Funktionsleistung sowie verkürzte Lebensdauer die Folge sein (Horstman et al., 2012). Insbesondere bei Frauen konnte ein beschleunigter Verlust der Muskelmasse und Muskelkraft in einem früheren Alter beobachtet werden (Lindle et al., 1997). Die körperlichen Veränderungen im Alter zwischen Männern und Frauen sind vielschichtig, haben jedoch in diesem Review weniger Bedeutung, da die Testpersonen vorwiegend zwischen 18 und 30 Jahren sind.

Die Anzahl an Testpersonen variiert zwischen den Studien, wobei bei der Studie von Coratella et al. (2018) die wenigsten Testpersonen mit einer Anzahl von 26 rekrutiert wurden. Die Studien von Latella et al. (2020) und Ahtiainen et al. (2016) haben zwar viele Testpersonen, jedoch weisen diese ein anderes Studiendesign auf. Die Autoren der zweitgenannten Studie untersuchten in einer retrospektiven Analyse Studiendaten, die unter ihrer Führung erhoben wurden. Die Anzahl an Testpersonen, die miteinander verglichen werden konnte, war somit deutlich höher als bei den anderen sechs Studien. Insgesamt wurden 287 Personen in einem Zeitraum von 1996 und 2011 miteinander verglichen. Hingegen weist die Studie von Latella et al. (2020) ein ganz anderes Design auf. Es wurden nicht die geschlechterspezifischen Unterschiede nach einer Trainingsintervention miteinander verglichen, sondern die Wettkampfergebnisse. Speziell wurden Wettkampfdaten im Kraftdreikampf von Männern und Frauen in einem Zeitraum von 15 Jahren von 1897 Testpersonen in Relation gebracht. Der Vergleich mit den restlichen Studien ist also nur bedingt zulässig, unter anderem, weil es die einzige Studie mit Leistungssportlern und Leistungssportlerinnen ist. Ausgenommen der Studie von Cosgrove et al. (2019) hatten die Testpersonen entweder keine Erfahrung im Krafttraining oder durften sechs Monate vor der Trainingsintervention kein Krafttraining absolvieren. Bei der Studie von Schmidt et al. (2016) war zwar kein Krafttraining erlaubt, jedoch mussten die Testpersonen mindestens zwei bis drei Tage sportlich aktiv sein. Der Einfluss des Trainingsstatus auf die Muskelkraft innerhalb der ersten Wochen einer Trainingsintervention ist inkonsistent. Einerseits kann dies auf die Modalitäten, die in den jeweiligen Studien angewandt wurde, zurückzuführen sein. Das bedeutet, dass Personen, die als vermeintlich trainiert deklariert wurden andere Muskelgruppen oder in

anderen Intensitätsbereichen trainierten, wodurch eine Verzerrung der Ergebnisse entstehen kann (Buckner et al., 2017). Andererseits konnten einige Metaanalysen (Krieger, 2009; Rhea et al., 2003; Wolfe et al., 2004) eindeutige Ergebnisse hinsichtlich des Trainingsstatus liefern, jedoch gab es bei der Beziehung zwischen Dosis und Wirkung Widersprüche. Rhea et al. (2003) berichteten über signifikante Zuwächse der Muskelkraft bei trainierten als auch untrainierten Personen. Die Effektgröße für Männer und Frauen war, unabhängig vom Trainingszustand, bei beiden Geschlechtern ähnlich. Darüber hinaus war die Dosis-Wirkungs-Beziehung für alle Altersgruppen vergleichbar, wobei die Testpersonen bei drei Sätzen im Vergleich zu einem Satz einen wesentlich höheren Kraftzuwachs beim Bankdrücken erzielten (+20% vs. +33%). Bei der Beinpresse waren die Unterschiede exorbitant hoch, wobei sich diese Steigerung in keinem anderen Review bisher nachweisen ließ. Die Kraftzunahme bei einem Satz belief sich auf 25,4% und bei drei Sätzen auf 52,1%. Diese Metaanalyse wurde aufgrund der Ergebnisse von Otto et al. (2006) hinterfragt. Die Autoren konnten mehrere Störfaktoren und Ungenauigkeiten identifizieren, die die Zuverlässigkeit der Metaanalyse beeinflussten. Einerseits berichteten die Autoren über falsche Angaben von Effektgrößen und andererseits wurde eine Studie von Rhea et al. (2002) einbezogen, die zu Verzerrungen des Ergebnisses der Metaanalyse geführt hatte.

Wolfe et al. (2004) konnten bei trainierten und untrainierten Personen keinen Unterschied auf die Muskelkraft nach einer Trainingsintervention mit mehreren Sätzen, die zwischen 6-15 Wochen und 17-40 Wochen dauerte, feststellen. Krieger (2009) untersuchte die Effekte von einem bzw. mehreren Sätzen auf die Muskelkraft bei trainierten und untrainierten Personen. Der Autor konnte in seiner Metaanalyse keinen signifikanten Unterschied zwischen einem und vier bis sechs Sätze feststellen. Jedoch waren bei zwei bis drei Sätzen bei trainierten als auch untrainierten Personen der größte Zuwachs von 46% zu verzeichnen. Die Metaanalyse von Krieger (2009) wurde einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, die einen Publikationsbias nachweisen konnte. Darüber hinaus wurden wenig bis gar keine einflussreichen Studien für die Metaanalyse einbezogen (Ralston et al., 2017). Eine aktuelle Metaanalyse von Ralston et al. (2017) kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Autoren verglichen in ihrer Analyse Trainingsinterventionen mit einer niedrigen Anzahl, mittleren Anzahl und hohen Anzahl an Sätzen pro Woche auf die Verbesserung der Muskelkraft. Sie kamen zu dem Schluss, dass eine mittlere Anzahl bzw. hohe Anzahl an Sätzen pro Woche zu einem größeren Muskelkraftzuwachs beitragen kann als wenige Sätze. Dieser Effekt konnte insbesondere bei Isolationsübungen beobachtet werden. Hinsichtlich des Trainingszustandes konnten kaum bis keine Aussagen getroffen werden, da kontrollierte Studien eine Beziehung kaum untersuchten. Es konnte lediglich eine Tendenz abgeleitet

werden, dass Personen mit kaum bis wenig Trainingserfahrung vergleichbare Kraftzuwächse anhand von Mehrgelenksübungen, die mit einer mittleren bis hohe Anzahl an Sätzen pro Woche trainieren, erzielen können. Hintergrund für ähnliche Verbesserungen bei trainierten und untrainierten Personen sind die unterschiedlichen Anpassungsmöglichkeiten des Körpers auf ein Widerstandstraining. Zu Beginn sind neurologische Adaptationen und bei fortschreitender Trainingsdauer morphologische Adaptationen für die Verbesserung der Muskelkraft verantwortlich (Roberts et al., 2020). Die Frequenz der Studien ist mit zwei bis dreimal pro Woche sehr ähnlich. Drei Studien untersuchten geschlechterspezifische Unterschiede mittels einer Frequenz von zwei Trainingseinheiten pro Woche (Ahtiainen et al., 2016; Coratella et al., 2018; Gentil et al., 2016), wohingegen drei Studien die Unterschiede mittels einer Frequenz von drei Trainingseinheiten pro Woche untersuchten (Cyrino et al., 2019; Ribeiro et al., 2015; Schmidt et al., 2016). Die Studie von Cosgrove et al. (2019) hatte ein vorgegebenes Trainingsprotokoll, jedoch wurde den Testpersonen nicht vorgeschrieben, wie oft sie dieses in einer Woche ausführen mussten. Die letzte Studie verwendet ein anderes Studiendesign, denn es wurden Wettkampfdaten ausgewertet und keine Trainingsintervention durchgeführt (Latella et al., 2020). Die aktuellen Richtlinien des American College of Sports Medicine (ACSM) empfehlen für Anfänger als auch für Fortgeschrittene jede Muskelgruppe zwei- bis dreimal pro Woche zu trainieren, um die Muskelkraft zu verbessern. Es wird entweder ein Ganzkörpertraining oder ein Split-Training, das bedeutet Ober- und Unterkörper pro Einheit getrennt zu trainieren, empfohlen. Für trainierte Personen wird ein Split-Training, bei dem eine bis drei Muskelgruppen pro Trainingseinheit trainiert werden, vorgeschlagen (American College of Sports, 2009).

Ähnliche Ergebnisse werden in der Metaanalyse von Borde et al. (2015) dargelegt. Die Autoren konnten bei einer Trainingsfrequenz von zwei Tagen pro Woche die effizientesten Ergebnisse nachweisen. Ergänzend muss erwähnt werden, dass diese Metaanalyse nicht explizit für die Bewertung der Trainingsfrequenz konzipiert wurde, da die Parameter für das Widerstandstraining nicht konstant gehalten wurden, wodurch keine konkreten Schlüsse abzuleiten sind. Dennoch geben einige Studien eine Tendenz ab, dass eine niedrigere Frequenz bei älteren Personen zielführend sein kann. Es konnte innerhalb zweier Studien nachgewiesen werden, dass bei einer Trainingsfrequenz von einmal pro Woche Zunahmen der Muskeldicke, der Muskelkraft und einer verbesserten Funktionalität die Folge waren (Barbalho et al., 2017; Izquierdo et al., 2004). Hingegen wird bei jungen Erwachsenen eine höhere Trainingsfrequenz empfohlen, da diese aufgrund der schnelleren Erholung einen höheren Zuwachs erzielen können (Schoenfeld et al., 2016). Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass ältere Frauen im

Vergleich zu jüngeren Frauen größere Muskelschäden nach einem Krafttraining aufweisen, was eine erhöhte Regenerationszeit zur Folge hat (Stephen et al., 2000).
Hinsichtlich der Muskelhypertrophie empfiehlt das ASCM für gesunde Erwachsene eine Frequenz von zwei- bis dreimal bei Anfängern, zwei- bis viermal bei Fortgeschrittenen und vier- bis sechsmal bei langjährigen Athleten (American College of Sports, 2009). Hinsichtlich der Trainingsintensität konnten Schoenfeld et al. (2017) in ihrer Metaanalyse einen ähnlichen Effekt von niedrigen Lasten, das heißt unter 60% des 1-RM, im Vergleich zu hohen Lasten, also Lasten über 60% des 1-RM, auf die Zunahme der Muskelhypertrophie feststellen. Darüber hinaus ist nicht die Wiederholungsanzahl bzw. die Intensität, sondern das gesamte Volumen eines Trainings für die Zunahme der Muskelhypertrophie entscheidend (Schoenfeld, 2013; Schoenfeld et al., 2016; Wernbom et al., 2007). In Bezug auf die Muskelkraft konnten ebenfalls Vorteile von höheren Lasten im Vergleich zu niedrigeren Lasten gefunden werden. Beispielsweise konnten Schoenfeld et al. (2017) einen höheren Zuwachs der Muskelkraft mit höheren Lasten als mit niedrigeren Lasten nachweisen. Ein Zuwachs konnte auch mit niedrigeren Lastern erzielt werden, jedoch lag der entscheidende Vorteil bei den höheren Lasten. Das bedeutet, je spezifischer und genauer die ausgeführte Übung der Zielanforderung entspricht, desto größeres Potential lässt sich entfalten (Haff et al., 2016). Die Trainingsintensitäten der untersuchen Studien waren konträr, denn nur zwei Studien (Cyrino et al., 2019; Ribeiro et al., 2015) legten die Belastung mit 80% des 1-RM fest, die anderen verwendeten andere Belastungen für ihre Trainingsintervention. Schmidt et al. (2016) setzten die Trainingsbelastung nicht nach Wiederholungen, sondern mit einem Zeitlimit fest. Außerdem testeten sie nicht das 1-RM, wodurch ein Vergleich mit den anderen Studien, die die Maximalkraft testeten, kaum möglich ist. Demgegenüber verwendeten Gentil et al. (2016) und Coratella et al. (2018) deutlich höhere Belastungen während des Trainings. Die zweitgenannten Autoren verwendeten Trainingslasten von 120% des 1-RM, die die Testpersonen zehnmal in einem Dynamometer exzentrisch bewältigen mussten. Gentil et al. (2016) ließ die Testpersonen mit einem Dynamometer zwei Sätze mit maximal vier Wiederholungen ausführen. Bei den anderen Studien waren keine genauen Angaben der Trainingsbelastung vorhanden, wodurch eine Aussage hinsichtlich der Trainingsform bzw. Belastung und somit der Beantwortung der ersten Fragestellung kaum getroffen werden kann. Nichtsdestotrotz gibt es unterschiedliche Parameter, die einen Einfluss auf die geschlechterspezifische Trainierbarkeit von Muskelkraft und Muskelhypertrophie haben und berücksichtigt werden müssen, um Aussagen treffen zu können. Da Männer und Frauen aufgrund der unterschiedlichen Konstitutionen unterschiedlich auf gewisse Trainingsbelastungen regieren, müssen die Trainingseinheiten unterschiedlich konzipiert werden. Ein Beispiel dafür wären die

Unterschiede bei den Ermüdungserscheinungen bei Männern und Frauen nach einem Krafttraining. Frauen weisen weniger Ermüdungserscheinungen nach einer dynamischen oder isometrischen Belastung auf (Hunter, 2016; Metcalf et al., 2019). Das könnte auf eine verbesserte Muskeldurchblutung bei einigen Muskeln zurückzuführen sein. Gründe dafür könnte ein Unterschied in der Vasodilatation, einer stärkeren Kapillarisierung des Muskelbettes oder einem Unterschied der mechanischen Kompression von gewissen Arterien bei anhaltenden isometrischen Kontraktionen mit geringer Kraft, sein (Hunter, 2014). Außerdem konnten Unterschiede in der Erholung zwischen Männern und Frauen festgestellt werden. Männer und Frauen hatten zwar nach einem hoch intensiven Krafttraining gleiche akute Verluste der Muskelkraft, jedoch unterschiedliche Erholungszeiträume. Nach einer viertägigen Erholungsphase konnten Frauen bei einer erneuten Testung bessere Werte der Muskelkraft erzielen als Männer (Flores et al., 2011). Des Weiteren konnten Unterschiede in der Größe und der Zusammensetzung der Muskelfasern in verschiedenen Muskeln festgestellt werden (Haizlip et al., 2015; Horwath et al., 2021). Zum Beispiel wurden Muskeln wie der Soleus, Plantaris und Tibialis anterior des Unterschenkels oder des Vastus Lateralis des Oberschenkels untersucht. Männer wiesen in der Analyse eine höhere Dichte des Muskelfasertyps-IIa des Soleus (58% bei Männern und 36% bei Frauen) sowie des tibialis anterior (39% bei Männern und 25% bei Frauen) auf. Frauen hatten demgegenüber eine höhere Dichte des Muskelfasertyps IIa des Plantaris (37% bei Frauen und 16% bei Männern) im Vergleich zu Männern (Haizlip et al., 2015). Im Vastus Lateralis des Oberschenkelmuskels konnten ebenfalls Unterschiede in der Muskelfaserverteilung festgestellt werden. Männer hatten einen höheren Anteil an Typ-II-Fasern sowie größere mittlere Faserflächen von Typ-I und Typ-II im Vergleich zu Frauen (Horwath et al., 2021).

Die erste These dieses Reviews geht der Frage nach, welche Trainingsform sich sowohl bei Männern als auch bei Frauen zur Verbesserung der Muskelkraft und Muskelhypertrophie eignet. Aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns der analysierten Studien gibt es keine Hinweise, die eine spezielle Trainingsform empfehlen könnte. Eine differenzierte Vorgehensweise muss aufgrund der unterschiedlichen körperlichen Konstitutionen zwischen Männern und Frauen angestrebt werden. Gleiche Trainingsinterventionen für Männer und Frauen innerhalb einer Studie könnte zu nachteiligen Ergebnissen eines Geschlechts führen, wodurch falsche Annahmen für die Zukunft getroffen werden könnten.

Bezogen auf die zweite These dieses Reviews, die die geschlechterspezifischen Unterschiede von verschiedenen Trainingsinterventionen auf Kraft und Muskelmasse

untersuchten, kann ebenfalls keine konkrete Aussage getroffen werden. Die unterschiedlichen Studiendesigns der analysierten Artikel variieren stark, weshalb sich, aufgrund einzelner Parameter, Ergebnisse verändern könnten. Einige Parameter wurden weiter oben diskutiert, jedoch haben insbesondere die Dauer und das Volumen sowie die trainierten Muskelgruppen einen entscheidenden Einfluss.

Die Dauer der analysierten Studien war bei der Hälfte der Studien mit acht Wochen bzw. zweimal acht Wochen ähnlich. Lediglich die Studien mit einem anderen Studiendesign von Ahtiainen et al. (2016), der eine retrospektive Analyse durchgeführtet und Latella et al. (2020) mit einer Analyse der Wettkampfwerte in einem Zeitraum von 15 Jahren, unterscheiden sich deutlich. Cosgrove et al. (2019) untersuchten in einem Zeitraum von sechs Monaten, also einem deutlich längeren Zeitraum als bei den anderen Studien, die geschlechterspezifischen Unterschiede hinsichtlich Muskelkraft bzw. Muskelhypertrophie. Gentil et al. (2016) verwendeten ein zehnwöchiges Studiendesign, um Unterschiede zwischen Männern und Frauen herauszufinden. Schoenfeld et al. (2017) konnten zum Beispiel in ihrer Metaanalyse einen signifikanten Dosis-Wirkungseffekt nachweisen. Jeder zusätzliche wöchentliche Satz war mit einem Anstieg der Effektgröße von 0,02 assoziiert, was einem Muskeldickenwachstum von 0,36% entspricht. Diese Ergebnisse wurden mittels Magnetresonanztomographie und Ultraschall ermittelt. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass ein höheres Volumen zu einem größeren hypertrophen Reiz des Muskels führen kann. Sie empfehlen mindestens zehn Sätze pro Muskelgruppe in der Woche, um eine größtmögliche Muskelhypertrophie zu erreichen. Hingegen konnten diese Ergebnisse mittels der Metaanalyse von Hagstrom et al. (2020), die die Auswirkungen eines Krafttrainings auf die dynamische Kraft und die Muskelhypertrophie bei Frauen analysierte, nur teilweise bestätigt werden. Die Autoren konnten zwar einen signifikanten Effekt des Krafttrainings auf die Muskelkraft und Muskelhypertrophie feststellen, jedoch konnte kein Unterschied zwischen den unterschiedlichen Moderatoren, wie Belastung und Volumen für den Oberkörper gefunden werden. Für den Unterkörper wird demgegenüber ein hohes Volumen an zwei bis vier Trainingstagen empfohlen. Diese Metaanalyse schloss unter anderem auch Studien ein, die nicht darauf ausgelegt waren, den Einfluss verschiedener Parameter, wie beispielsweise Belastung und Volumen, miteinander zu vergleichen. Eine konkrete Aussage über das Volumen einer Trainingsintervention auf Basis dieser Metaanalyse wäre somit nicht gerechtfertigt, da nur Literatur mit mäßiger Qualität einbezogen wurde.

Die Autoren empfehlen drei bis vier Sätze pro Übung an zwei bis vier Trainingstagen pro Woche für den Oberkörper durchzuführen, um den besten Kraftzuwachs zu erzielen. Unabhängig von Belastung und Volumen konnte eine durchschnittliche Zunahme der

fettfreien Masse von 3,3%, was absolut ungefähr 1,45kg entspricht, festgestellt werden. Die Zunahme der Muskelkraft betrug für den Oberkörper etwa 25% und für den Unterkörper 27%. Diese Anpassungen traten nach der Teilnahme an Trainingsinterventionen mit einer durchschnittlichen Dauer von 15 Wochen auf.

Die Inkonsistenz der analysierten Studien in diesem Review führt dementsprechend zu keinem konkreten Ergebnis hinsichtlich der Trainierbarkeit der Muskelmasse und Muskelhypertrophie bei Männern und Frauen. Insbesondere bei der Muskelhypertrophie ist die Datenlage zu gering, da nur zwei Studien diese mittels Magnetresonanztomographie bzw. Ultraschall untersuchten (Ahtiainen et al., 2016; Coratella et al., 2018). Beide Studien konnten keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen hinsichtlich der Trainierbarkeit von Muskelmasse feststellen. Der Studie von Ahtiainen et al. (2016) muss insgesamt mehr Bedeutung zugeschrieben werden, da diese eine retrospektive Analyse von insgesamt 22 Studien ist. Dennoch ist aufgrund der Datenlage eine konkrete Aussage zur Muskelhypertrophie nicht zulässig. Zwei Studien untersuchten nur das Körpergewicht vor und nach der Trainingsintervention, jedoch ist dies kein eindeutiges Indiz für die Zunahme der Muskelmasse (Ribeiro et al., 2015; Schmidt et al., 2016). Alle anderen analysierten Studien untersuchten nur die Unterschiede zwischen Männern und Frauen hinsichtlich der Muskelkraft (Cosgrove et al., 2019; Cyrino et al., 2019; Gentil et al., 2016; Latella et al., 2020).

Die Ergebnisse der Muskelkraft sind unterschiedlich, wobei eine Tendenz für die Verbesserung der Muskelkraft bei Frauen zu sehen ist. Drei Studien konnten eine signifikante Verbesserung der relativen Muskelkraftzunahme bei Frauen im Vergleich zu Männern feststellen (Ahtiainen et al., 2016; Cyrino et al., 2019; Ribeiro et al., 2015). Ribeiro et al. (2015) konnten nach den ersten acht Wochen eine deutliche Verbesserung der relativen Muskelkraft für obere und untere Extremität und nach den zweiten acht Wochen eine weitere Verbesserung der relativen Muskelkraft der oberen Extremität bei Frauen im Vergleich zu Männern nachweisen. Ein ähnliches Ergebnis konnte in einer älteren Studie von Wilmore et al. (1974) nachgewiesen werden. Frauen konnten nach einem zehnwöchigen Krafttraining die relative Muskelkraft der oberen Extremität um 29% steigern. Hingegen konnten Männer lediglich eine Zunahme der Muskelkraft um 17% erreichen, wobei die Unterschiede der unteren Extremität nicht statistisch auffällig waren. Eine größer angelegte Studie von Hubal et al. (2005) mit 342 Frauen und 243 Männer kam zu einem ähnlichen Schluss. Frauen konnten nach der Trainingsintervention eine statisch signifikante Zunahme der Muskelkraft der oberen Extremität im Vergleich zu Männern realisieren. Demgegenüber konnte bei trainierten Personen kein Unterschied bei der isometrischen Muskelkraft des Armstreckers relativ zum Muskelvolumen gefunden werden (Merrigan et al., 2018). Eine Erklärung für die

unterschiedliche Zunahme der relativen Kraftzuwächse bei Männern und Frauen könnte die neuromuskuläre Ermüdung sein, die insbesondere bei Studien mit kurzer Dauer einen Einfluss haben könnten (Hunter, 2016; Metcalf et al., 2019).

Es ist zwar belegt, dass die absolute Hypertrophie sowie die absoluten Kraftzuwächse bei Männern nach einem Widerstandstraining größer sind, jedoch deutet die Literatur darauf hin, dass die relativen Zunahmen der Muskelkraft bei Frauen und Männern speziell der unteren Extremitäten ähnlich sind. Zudem gibt es Tendenzen, dass die relative Zunahme der Muskelkraft der oberen Extremitäten bei Frauen nach einem Krafttraining größer sein könnte (Roberts et al., 2020). Die Unterschiede zwischen Männern und Frauen könnten zum Beispiel auf den hormonellen Haushalt zurückzuführen sein. Frauen verfügen im Vergleich zu Männern über niedrigere Werte von Testosteron, freiem Testosteron und des insulinähnlichen Wachstumsfaktor-bindenden Protein 1 (IGF -1) (Roberts et al., 2018). Der Testosteronspiegel ist dementsprechend nach dem Training bei Frauen im Vergleich zu Männern nicht erhöht (Daniel et al., 2012; Satoshi et al., 2007). Außerdem kann ein intensives Krafttraining die Pulsatilität des gonadroptin-freisetzenden Hormons bei Frauen reduzieren (Rogol, 1992). Dies könnte auf die verschiedenen Adaptationen von Männern und Frauen hinweisen, jedoch konnte dies in einer Metaanalyse von Schoenfeld (2010) nicht bestätigt werden.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Verteilung der Muskelmasse von Ober- und Unterkörper, denn Männer besitzen mehr Muskelmasse am Oberkörper, weshalb auch mehr Androgenrezeptoren vorhanden sind (Kadi et al., 2000). Dies könnte jedoch bei Frauen durch ein anderes wichtiges anaboles Hormon kompensiert werden. Es gibt Hinweise darauf, dass Progesteron ähnliche Anpassungen zwischen den Geschlechtern ermöglichen könnte (Sakamaki et al., 2012; Smith et al., 2014). Sakamaki et al. (2012) untersuchten das Muskelvolumen des Armstreckers sowie isometrische Kraftveränderungen bei untrainierten Frauen während der lutealen und follikulären Phase. Sie konnten größere isometrische Kraftzuwächse während der lutealen Phase, also in jener Phase, wo die Progesteronkonzentration höher war, nachweisen. Smith et al. (2014) verglich drei unterschiedliche Gruppen, die Hormonsupplemente verabreicht bekommen hatten, mit einer Kontrollgruppe. Es wurden entweder Testosteron, Estradiol oder Progesteron an postmenopausalen Frauen, während bestimmter Phasen des Menstruationszyklus, verabreicht. Die Ergebnisse zeigten ausgelöst durch Progesteron und Testosteron eine signifikante Erhöhung, der fraktionierten Syntheserate des Muskelproteins um etwa 50%. Zudem konnte nur in der Gruppe, in der Progesteron verabreicht wurde, ein signifikanter Anstieg eines regulierenden Wachstumsfaktors, der im Zusammenhang mit der Aktivierung von Satellitenzellen steht, festgestellt werden.

Der unterschiedliche hormonelle Haushalt bei Frauen muss in weiteren Trainingsinterventionen berücksichtigt werden, um gültige Aussagen treffen zu können.
Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass dieses Review aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns sowie der unterschiedlichen Ergebnislage keine konkrete Aussage bezüglich der geschlechterspezifischen Unterschiede der Trainierbarkeit von Muskelmasse und Muskelkraft bei Männern und Frauen getroffen werden kann. Vier Studien konnten keine Ergebnisse hinsichtlich der Muskelkraft zwischen Männern und Frauen liefern, drei Studien konnten einen Unterschied zugunsten von Frauen nachweisen. Eine Studie konnte eine Zunahme der Griffkraft bei Männern im Vergleich zu Frauen feststellen, jedoch weist diese Studie ein anderes Design auf. Es wurde lediglich dreimal pro Woche entweder sieben Minuten oder zweimal sieben Minuten trainiert und nicht explizit die Griffkraft. Aus diesem Grund ist ein Vergleich mit den anderen Studien nicht zielführend.
Die Heterogenität der Studiendesigns lässt dementsprechend die Schwächen für dieses Review erkennen. Die unterschiedliche Dauer der Trainingsintervention zwischen den Studien sowie dem Trainingsvolumen lassen kaum eine Schlussfolgerung der untersuchten Parameter, wie Muskelkraft und Muskelmasse bei Frauen und Männern zu. Daher kann auch keine Trainingsform für eine Verbesserung der Parameter vorgeschlagen werden. Wichtig für weitere Studien ist, dass die Trainingsinterventionen differenziert konzipiert werden, sodass Frauen aufgrund einer unterschiedlichen Konstitution keinen Nachteil erfahren. Zusätzlich ist es wichtig, die Forschung für Frauen zu erweitern, da Männer nach wie vor in Studien überrepräsentiert sind und das Interesse an Krafttraining in den letzten zwei Jahrzehnten, insbesondere bei Frauen, stark angestiegen ist. Eine weitere Schwäche war die geringe Anzahl an Studien, die anhand von Ein- und Ausschlusskriterien für die Beantwortung der Forschungsfragen ausgewählt wurden. Im Vergleich zu anderen Reviews ist die Aussagekraft daher leider sehr gering.
Dass Krafttraining bei Männern und Frauen zu einer Verbesserung von Muskelmasse und Muskelkraft führen, ist bekannt, jedoch müssen weitere Studien die Unterschiede zwischen Frauen und Männer weiter beleuchtet werden. Welche Trainingsform Frauen im Vergleich zu Männern begünstigen könnte, ist derzeit noch nicht bekannt, jedoch muss eine Differenzierung stattfinden, um einen Vergleich aufstellen zu können.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Reviews war es, die geschlechterspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Muskelkraft und Muskelmasse zu analysieren. Außerdem sollte Trainingsformen zwischen Männern und Frauen verglichen werden, die insbesondere für den Aufbau von Kraft sowie Muskelmasse dienen.

Krafttraining hat in den letzten Jahrzehnten, insbesondere bei Frauen immer mehr an Bedeutung gewonnen und ist für beide Geschlechter ein adäquates Mittel zur Steigerung der Kraft sowie der Muskelmasse. Außerdem kann mithilfe von Krafttraining sowohl das Wohlbefinden als auch unzählige physiologische, morphologische, neurologische und metabolische Anpassungserscheinungen erzielt werden. Ein Großteil an Empfehlungen für einen optimalen Trainingsreiz basieren auf Studien, die hauptsächlich an Männer untersucht wurden, obwohl Männer und Frauen unterschiedliche körperliche Voraussetzungen und Anpassungserscheinungen aufweisen. Die Analyse der Studien sowie einer Recherche der aktuellen Literatur konnten zeigen, dass Männer und Frauen verschiedene Trainingsformen für einen optimalen Leistungsfortschritt benötigen, wobei die Unterschiede der Anpassungsreaktionen sowie deren Auswirkungen noch nicht vollständig geklärt sind. Für einen optimalen Aufbau der Muskelmasse wird bei Männern ein hohes Volumen mit niedrigen oder hohen Lasten empfohlen. Für die Steigerung der Muskelkraft wird eine hohe Last, ähnlich des 1-RM empfohlen, wobei etwas niedrigere Effekte auch bei niedrigeren Lasten erzielt werden konnten. Konkrete Aussagen können hingegen bei Frauen nicht getroffen werden, wobei ähnliche Tendenzen vermutet werden, die jedoch für die untere und obere Extremität variieren könnten. Insgesamt kann anhand dieses Reviews bei einem Vergleich von Männern und Frauen keine Trainingsempfehlungen ausgesprochen werden.

Hinsichtlich der Trainierbarkeit von Muskelmasse und Muskelkraft konnte ebenfalls nur eine gewisse Tendenz erkannt werden. Bei drei analysierten Studien hatten Frauen einen höheren Zuwachs der Muskelkraft, wohingegen vier Studien keinen Unterschied messen konnten. Männer hatten zwar absolut einen höheren Zuwachs, jedoch konnten Frauen relativ einen höheren Zuwachs erzielen.

Die Datenlage ist bei der Steigerung der Muskelmasse sehr inkonsistent und sie geben keinen Aufschluss über konkrete Unterschiede. Männer und Frauen haben eine unterschiedliche Körperzusammensetzung, hormonelle Regulation, Muskelarchitektur, Ermüdungserscheinungen, etc., weshalb unterschiedliche Trainingsformen für einen bestmöglichen Effekt unabdingbar sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Frauen als auch Männer Muskelmasse sowie Muskelkraft aufbauen können, jedoch war es nicht möglich die Unterschiede der Geschlechter anhand der Daten herauszuarbeiten. Es zeigte sich, dass Männer zwar die absoluten Kraftwerte verbessern können, wobei es Tendenzen gibt, dass Frauen eine höhere relative Kraftzunahme aufweisen könnten als Männer. Offen bleibt, welche Trainingsformen bei Frauen zum optimalen Aufbau von Kraft und Muskelmasse dienen könnten.

Literaturverzeichnis

ACSM. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 41*(3).

Adams, G. R., & Bamman, M. M. (2012). Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Compr Physiol, 2*(4), 2829-2870. doi:10.1002/cphy.c110066

Ahtiainen, J. P., Walker, S., Peltonen, H., Holviala, J., Sillanpää, E., Karavirta, L., et al. (2016). Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age (Dordr), 38*(1), 10. doi:10.1007/s11357-015-9870-1

Alegre, L. M., Jiménez, F., Gonzalo-Orden, J. M., Martín-Acero, R., & Aguado, X. (2006). Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *J Sports Sci, 24*, 508. doi:10.1080/02640410500189322

American College of Sports, M. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc, 41*, 708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670

Avin, K. G., Naughton, M. R., Ford, B. W., Moore, H. E., Monitto-Webber, M. N., Stark, A. M., et al. (2010). Sex differences in fatigue resistance are muscle group dependent. *Med Sci Sports Exerc, 42*(10), 1943-1950. doi:10.1249/MSS.0b013e3181d8f8fa

Barbalho, M. d. S. M., Gentil, P., Izquierdo, M., Fisher, J., Steele, J., & Raiol, R. d. A. (2017). There are no no-responders to low or high resistance training volumes among older women. *Exp Gerontol, 99*, 26. doi:10.1016/j.exger.2017.09.003

Bareja, A., Holt, J. A., Luo, G., Chang, C., Lin, J., Hinken, A. C., et al. (2014). Human and mouse skeletal muscle stem cells: Convergent and divergent mechanisms of myogenesis. *PLoS ONE, 9*, e90398. doi:10.1371/journal.pone.0090398

Barton-Davis, Shoturma, & Sweeney. (1999). Contribution of satellite cells to IGF-I induced hypertrophy of skeletal muscle. *Acta Physiol Scand, 167*, 305. doi:10.1046/j.1365-201x.1999.00618.x

Bellamy, L. M., Joanisse, S., Grubb, A., Mitchell, C. J., McKay, B. R., Phillips, S. M., et al. (2014). The acute satellite cell response and skeletal muscle hypertrophy following resistance training. *PLoS ONE, 9*(10), e109739. doi:10.1371/journal.pone.0109739

Bhasin, S., Storer, T. W., Berman, N., Callegari, C., Clevenger, B., Phillips, J., et al. (1996). The Effects of Supraphysiologic Doses of Testosterone on Muscle Size and Strength in Normal Men. *N Engl J Med, 335*, 7. doi:10.1056/NEJM199607043350101

Blazevich, A. J., Gill, N. D., Bronks, R., & Newton, R. U. (2003). Training-Specific Muscle Architecture Adaptation after 5-wk Training in Athletes. *Med Sci Sports Exerc, 35*, 2022. doi:10.1249/01.MSS.0000099092.83611.20

Borde, R., Hortobagyi, T., & Granacher, U. (2015). Dose-Response Relationships of Resistance Training in Healthy Old Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med, 45*, 1720. doi:10.1007/s40279-015-0385-9

Brian, D. H., Matthew, C. K., Robert, E. F., Matthew, J. D., Larry, W. D., Stephen, M. R., et al. (2007). Influence of promoter region variants of insulin-like growth factor pathway genes on the strength-training response of muscle phenotypes in older adults. *J Appl Physiol (1985), 103*, 1687. doi:10.1152/japplphysiol.00420.2007

Broholm, C., & Pedersen, B. K. (2010). Leukaemia inhibitory factor - An exercise-induced myokine. *Exerc Immunol Rev, 16*, 85.

Buckner, S. L., Mouser, J. G., Jessee, M. B., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., & Loenneke, J. P. (2017). What does individual strength say about resistance training status? *Muscle Nerve, 55*, 457. doi:10.1002/mus.25461

Burd, N. A., Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., & Phillips, S. M. (2012). Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab, 37*, 554. doi:10.1139/h2012-022

Burd, N. A., West, D. W. D., Staples, A. W., Atherton, P. J., Baker, J. M., Moore, D. R., et al. (2010). Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PLoS ONE, 5*, e12033. doi:10.1371/journal.pone.0012033

Buresh, R., Berg, K., & French, J. (2009). The Effect of Resistive Exercise Rest Interval on Hormonal Response, Strength, and Hypertrophy With Training. *J Strength Cond Res, 23*, 71. doi:10.1519/JSC.0b013e318185f14a

CEBP. (2020). PEDro Skala. Zugriff am 02.04.2021 unter http://www.pedro.org.au/german/downloads/pedro-scale/

Christer Ehrnborg Thord, R. (2008). Physiological and pharmacological basis for the ergogenic effects of growth hormone in elite sports. *Asian Journal of Andrology, 10*, 383. doi:10.1111/j.1745-7262.2008.00403.x

Christian, J., Lawrence, J., Saltiel, A., & Pessin, J. (2007). Control of Protein Synthesis by Insulin. In (pp. 71-89).

Coen, A. C. O., & Henk, G. (2010). Lifting the Nebula: Novel Insights into Skeletal Muscle Contractility. *Physiology (Bethesda), 25*, 310. doi:10.1152/physiol.00016.2010

Cooper, K. H. (1968). *Aerobics* (8. print.. ed.). New York, NY: Bantam Books.

Coratella, G., Longo, S., Ce, E., Limonta, E., Rampichini, S., Bisconti, A. V., et al. (2018). Sex-Related Responses to Eccentric-Only Resistance Training in Knee-Extensors Muscle Strength and Architecture. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 89*(3), 347-353. doi:10.1080/02701367.2018.1472734

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Influence of Strength on Magnitude and Mechanisms of Adaptation to Power Training. *42*(8), 1566-1581. doi:10.1249/MSS.0b013e3181cf818d

Cosgrove, S. J., Crawford, D. A., & Heinrich, K. M. (2019). Multiple Fitness Improvements Found after 6-Months of High Intensity Functional Training. *Sports (Basel), 7*(9). doi:10.3390/sports7090203

Cyrino, L. T., Cyrino, E. S., Silv, E., Avelar, A., Trindade, M. C. D., & da Silva, D. R. P. (2019). EFFECT OF 16 WEEKS OF RESISTANCE TRAINING ON STRENGTH ENDURANCE IN MEN AND WOMEN. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte, 25*(5), 399-403. doi:10.1590/1517-869220192505126869

Dahl, R., Larsen, S., Dohlmann, T. L., Qvortrup, K., Helge, J. W., Dela, F., et al. (2015). Three-dimensional reconstruction of the human skeletal muscle mitochondrial network as a tool to assess mitochondrial content and structural organization. *213*(1), 145-155. doi:https://doi.org/10.1111/apha.12289

Daniel, W. D. W., Nicholas, A. B., Tyler, A. C.-V., Donny, M. C., Cameron, J. M., Steven, K. B., et al. (2012). Sex-based comparisons of myofibrillar protein synthesis after resistance exercise in the fed state. *J Appl Physiol (1985), 112*, 1813. doi:10.1152/japplphysiol.00170.2012

Dela, F., & Kjaer, M. (2006). Resistance training, insulin sensitivity and muscle function in the elderly. *Essays Biochem, 42*, 75-88. doi:10.1042/bse0420075

Dickhuth, H.-H., & Mayer, F. (2011). Muskuläres System. In H.-H. Dickhuth & F. Mayer (Eds.), *Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin*. Paderborn: Hofmann.

Elisabeth, R. B. (2006). Viral expression of insulin-like growth factor-I isoforms promotes different responses in skeletal muscle. *J Appl Physiol (1985), 100*, 1784. doi:10.1152/japplphysiol.01405.2005

Evans, W. J. (2001). Protein nutrition and resistance exercise. *Can J Appl Physiol, 26 Suppl*, S152. doi:10.1139/h2001-049

Feigenspan, A. (2017). *Prinzipien der Physiologie : Grundlegende Mechanismen und evolutionäre Strategien*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Spektrum.

Fleck, S., & Kraemer, W. (2014). Designing resistance training programs. *Champaign, IL: Human Kinetics.*, 322–323.

Flores, D. F., Gentil, P., Brown, L. E., Pinto, R. S., Carregaro, R. L., & Bottaro, M. (2011). Dissociated Time Course of Recovery Between Genders After Resistance Exercise. *25*(11), 3039-3044. doi:10.1519/JSC.0b013e318212dea4

Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified tissue international, 96*(3), 183-195. doi:http://dx.doi.org/10.1007/s00223-014-9915-y

Fry, C. S., Kirby, T. J., Kosmac, K., McCarthy, J. J., & Peterson, C. A. (2017). Myogenic Progenitor Cells Control Extracellular Matrix Production by Fibroblasts during Skeletal Muscle Hypertrophy. *Cell Stem Cell, 20*, 69. doi:10.1016/j.stem.2016.09.010

Gentil, P., Steele, J., Pereira, M. C., Castanheira, R. P., Paoli, A., & Bottaro, M. (2016). Comparison of upper body strength gains between men and women after 10 weeks of resistance training. *Peerj, 4*, e1627. doi:10.7717/peerj.1627

Going, S. B., & Laudermilk, M. (2009). Osteoporosis and Strength Training. *American Journal of Lifestyle Medicine, 3*, 319. doi:10.1177/1559827609334979

Goodpaster, B. H., Park, S. W., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Nevitt, M., Schwartz, A. V., et al. (2006). The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 61*, 64. doi:10.1093/gerona/61.10.1059

Guh, D. P., Zhang, W., Bansback, N., Amarsi, Z., Birmingham, C. L., & Anis, A. H. (2009). The incidence of co-morbidities related to obesity and overweight: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health, 9*, 88. doi:10.1186/1471-2458-9-88

Güllich, A., & Krüger, M. (2013). *Sport : Das Lehrbuch für das Sportstudium* (1st ed. 2013.. ed.). Berlin, Heidelberg :: Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer Spektrum.

Güllich, A., & Krüger, M. (2020). *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit : Handbuch Sport und Sportwissenschaft*. Berlin, Heidelberg :: Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer.

Gutschlhofer, T., Kandolf W., Mrkvicka G., Reiterer E., Vock A., Wolf M. & Zeilinger M. (2017). *Angewandte Trainingslehre. Eine Expertise der Bundessportakademie.* Wolkersdorf: Paul Gerin GmbH & CoKG.

Haff, G., & , & Triplett, N. T. (2016). Essentials of strength training and conditioning. *Champaign, IL: Human Kinetics., Fourth edition*.

Hagstrom, A. D., Marshall, P. W., Halaki, M., & Hackett, D. A. (2020). The Effect of Resistance Training in Women on Dynamic Strength and Muscular Hypertrophy: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Med, 50*, 1093. doi:10.1007/s40279-019-01247-x

Haizlip, K. M., Harrison, B. C., & Leinwand, L. A. (2015). Sex-based differences in skeletal muscle kinetics and fiber-type composition. *Physiology (Bethesda), 30*, 39. doi:10.1152/physiol.00024.2014

Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (2000). Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol, 83*, 62. doi:10.1007/s004210000248

Häkkinen, K., & Pakarinen, A. (1993). Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol (1985), 74*(2), 882-887. doi:10.1152/jappl.1993.74.2.882

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Newton, R. U., & Alen, M. (2000). Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 55*, B105.

Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., Mumford, P. W., Roberson, P. A., Romero, M. A., et al. (2019). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *PLoS ONE, 14*, e0215267. doi:10.1371/journal.pone.0215267

Hedayatpour, N., & Falla, D. (2015). Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *Biomed Res Int, 2015*, 7. doi:10.1155/2015/193741

Heslin, M. J., Newman, E., Wolf, R. F., Pisters, P. W., & Brennan, M. F. (1992). Effect of hyperinsulinemia on whole body and skeletal muscle leucine carbon kinetics in humans. *Am J Physiol, 262*(6 Pt 1), E911-918. doi:10.1152/ajpendo.1992.262.6.E911

Hikida, R. S. (2011). Aging changes in satellite cells and their functions. *Curr Aging Sci, 4*(3), 279-297. doi:10.2174/1874609811104030279

Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance* (2nd ed. ed.). Champaign: Human Kinetics.

Hoppeler, H., Lüthi, P., Claassen, H., Weibel, E. R., & Howald, H. (1973). The ultrastructure of the normal human skeletal muscle - A morphometric analysis on untrained men, women and well-trained orienteers. *Pflugers Arch, 344*, 232. doi:10.1007/BF00588462

Horstman, A. M., Dillon, E. L., Urban, R. J., & Sheffield-Moore, M. (2012). The role of androgens and estrogens on healthy aging and longevity. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 67*, 1152. doi:10.1093/gerona/gls068

Horwath, O., Moberg, M., Larsen, F. J., Philp, A., Apró, W., & Ekblom, B. (2021). Influence of sex and fiber type on the satellite cell pool in human skeletal muscle. *Scand J Med Sci Sports, 31*, 312. doi:10.1111/sms.13848

Hottenrott, K., Seidel, I., Alfermann, D., Hofmann Gmb, H., & Co, K. G. (2017). *Handbuch Trainingswissenschaft - Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.

Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., et al. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc, 37*(6), 964-972.

Huey, K. A. (2018). Potential Roles of Vascular Endothelial Growth Factor during Skeletal Muscle Hypertrophy. *Exerc Sport Sci Rev, 46*, 202. doi:10.1249/JES.0000000000000152

Hunter, S. K. (2014). Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiol (Oxf), 210*, 789. doi:10.1111/apha.12234

Hunter, S. K. (2016). Sex differences in fatigability of dynamic contractions: Sex differences in skeletal muscle fatigue. *Experimental physiology, 101*, 255. doi:10.1113/EP085370

Ian, J., Steven, B. H., ZiMian, W., & Robert, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J Appl Physiol (1985), 89*, 88. doi:10.1152/jappl.2000.89.1.81

Izquierdo, M., Ibañez, J., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Larrión, J. L., & Gorostiaga, E. M. (2004). Once Weekly Combined Resistance and Cardiovascular Training in Healthy Older Men. *Med Sci Sports Exerc, 36*, 443. doi:10.1249/01.MSS.0000117897.55226.9A

Javan, R., Horvath, J. J., Case, L. E., Austin, S., Corderi, J., Dubrovsky, A., et al. (2013). Generating color-coded anatomic muscle maps for correlation of quantitative magnetic resonance imaging analysis with clinical examination in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve, 48*, 295. doi:10.1002/mus.23780

Jayasinghe, I. D., & Launikonis, B. S. (2013). Three-dimensional reconstruction and analysis of the tubular system of vertebrate skeletal muscle. *J Cell Sci, 126*, 4058. doi:10.1242/jcs.131565

Kadi, F., Bonnerud, P., Eriksson, A., & Thornell, L.-E. (2000). The expression of androgen receptors in human neck and limb muscles: effects of training and self-administration of androgenic-anabolic steroids. In (Vol. 113).

Keiji, I., Emina, I., Dong-Sun, K., Juan, P. d. R., Karen, T. C., John, J. K., et al. (2004). Muscle mechano growth factor is preferentially induced by growth hormone in growth hormone-deficient lit/lit mice. *J Physiol, 560*, 349. doi:10.1113/jphysiol.2004.069500

Kell, R. T. (2011). The Influence of Periodized Resistance Training on Strength Changes in Men and Women. *25*(3), 735-744. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c69f22

Kerr, J. P., Ward, C. W., & Bloch, R. J. (2014). Dysferlin at transverse tubules regulates Ca2+ homeostasis in skeletal muscle. *Frontiers in Physiology, 5*. doi:10.3389/fphys.2014.00089

Koch-Remmele, C. (2012). Muskelanatomie. In J. Jäger & K. Krüger (Eds.), *Der Muskel im Sport*. Berlin: KVM.

Krieger, J. W. (2009). Single Versus Multiple Sets of Resistance Exercise: A Meta-Regression. *J Strength Cond Res, 23*, 1901. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b370be

Kyle, D. F., Kevin, P. D., Matthew, W. H., Richard, A. W., Madlyn, I. F., & Brenda, M. D. (2011). Aging, Resistance Training, and Diabetes Prevention. *J Aging Res, 2011*, 12. doi:10.4061/2011/127315

Lamboley, C. R., Murphy, R. M., McKenna, M. J., & Lamb, G. D. (2014). Sarcoplasmic reticulum Ca2+ uptake and leak properties, and SERCA isoform expression, in

type I and type II fibres of human skeletal muscle. *J Physiol, 592*, 1395. doi:10.1113/jphysiol.2013.269373

Latella, C., Teo, W. P., Spathis, J., & van den Hoek, D. (2020). Long-Term Strength Adaptation: A 15-Year Analysis of Powerlifting Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research, 34*(9), 2412-2418. doi:10.1519/jsc.0000000000003657

Lindle, R. S., Metter, E. J., Lynch, N. A., Fleg, J. L., Fozard, J. L., Tobin, J., et al. (1997). Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J Appl Physiol (1985), 83*, 1587. doi:10.1152/jappl.1997.83.5.1581

Linke, W., & Pfitzer, G. (2010). Kontraktionsmechanismen. In R. F. Schmidt, F. Lang, & M. H. (Hrsg) (Eds.), *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Ludyga, S., Gronwald, T., & Hottenrott, K. (2015). Effects of high vs. low cadence training on cyclists' brain cortical activity during exercise. *J Sci Med Sport, 19*, 347. doi:10.1016/j.jsams.2015.04.003

Macaluso, F., & Myburgh, K. H. (2012). Current evidence that exercise can increase the number of adult stem cells. *J Muscle Res Cell Motil, 33*, 198. doi:10.1007/s10974-012-9302-0

MacDougall, J. D., & Sale, D. (2014). *The physiology of training for high performance*. New York: Oxford University Press.

Malafarina, V., Úriz-Otano, F., Iniesta, R., & Gil-Guerrero, L. (2011). Sarcopenia in the elderly: Diagnosis, physiopathology and treatment. *Maturitas, 71*, 114. doi:10.1016/j.maturitas.2011.11.012

Marcell, T. J. (2003). Sarcopenia: causes, consequences, and preventions. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 58*, M916.

Merrigan, J. J., White, J. B., Hu, Y. E., Stone, J. D., Oliver, J. M., & Jones, M. T. (2018). Differences in elbow extensor muscle characteristics between resistance-trained men and women. *Eur J Appl Physiol, 118*(11), 2359-2366. doi:http://dx.doi.org/10.1007/s00421-018-3962-4

Metcalf, E., Metcalf, E., Hagstrom, A. D., Hagstrom, A. D., Marshall, P. W., & Marshall, P. W. (2019). Trained females exhibit less fatigability than trained males after a heavy knee extensor resistance exercise session. *Eur J Appl Physiol, 119*, 190. doi:10.1007/s00421-018-4013-x

Monroy, J. A., Powers, K. L., Gilmore, L. A., Uyeno, T. A., Lindstedt, S. L., & Nishikawa, K. C. (2012). What is the role of titin in active muscle? *Exerc Sport Sci Rev, 40*, 78. doi:10.1097/JES.0b013e31824580c6

Morton, R. W., Traylor, D. A., Weijs, P. J. M., & Phillips, S. M. (2018). Defining anabolic resistance: implications for delivery of clinical care nutrition. *Curr Opin Crit Care, 24*(2), 124-130. doi:10.1097/mcc.0000000000000488

Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, B. B. L., van Kranenburg, J., Verdijk, L. B., et al. (2013). The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol, 48*, 498. doi:10.1016/j.exger.2013.02.012

O'Connor, P. J., Herring, M. P., & Caravalho, A. (2010). Mental Health Benefits of Strength Training in Adults. *American Journal of Lifestyle Medicine, 4*, 396. doi:10.1177/1559827610368771

Otto, R. M., & Carpinelli, R. N. (2006). A critical analysis of the single versus multiple set debate. *Journal of exercise physiology online, 9*, 57.

Pan, B., Ge, L., Xun, Y.-Q., Chen, Y.-J., Gao, C.-Y., Han, X., et al. (2018). Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity, 15*(1), 72. doi:http://dx.doi.org/10.1186/s12966-018-0703-3

Pauls, J. (2015). *Das große Buch vom Krafttraining* (2.überarbeitete Neuauflage. ed.). München: Stiebner Verlag.

Raeder, C., Vuong, J.-L., & Ferrauti, A. (2020). Krafttraining. In A. Ferrauti (Ed.), *Trainingswissenschaft für die Sportpraxis: Lehrbuch für Studium, Ausbildung und Unterricht im Sport* (pp. 187-252). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Ralston, G. W., Kilgore, L., Wyatt, F. B., & Baker, J. S. (2017). The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain: A Meta-Analysis. *Sports Med, 47*, 2601. doi:10.1007/s40279-017-0762-7

Rebbeck, R. T., Karunasekara, Y., Board, P. G., Beard, N. A., Casarotto, M. G., & Dulhunty, A. F. (2014). Skeletal muscle excitation–contraction coupling: Who are the dancing partners? *Int J Biochem Cell Biol, 48*, 38. doi:10.1016/j.biocel.2013.12.001

Rhea, M. R., Alvar, B. A., & Burkett, L. N. (2002). Single versus Multiple Sets for Strength: A Meta-Analysis to Address the Controversy. *Res Q Exerc Sport, 73*, 488. doi:10.1080/02701367.2002.10609050

Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc, 35*, 464. doi:10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4

Ribeiro, A., Avelar, A., Amarante do Nascimento, M., Mayhew, J., Filho, M., Eches, E., et al. (2014). What is the actual relative intensity of a resistance training program for men and women? *Isokinetics and Exercise Science, 22*, 217-224. doi:10.3233/IES-140542

Ribeiro, A. S., Avelar, A., Schoenfeld, B. J., Fleck, S. J., Souza, M. F., Padilha, C. S., et al. (2015). Analysis of the training load during a hypertrophy-type resistance training programme in men and women. *European journal of sport science, 15*(4), 256-264. doi:10.1080/17461391.2014.940559

Ribeiro, A. S., Avelar, A., Schoenfeld, B. J., Trindade, M. C., Ritti-Dias, R. M., Altimari, L. R., et al. (2014). Effect of 16 weeks of resistance training on fatigue resistance in men and women. *J Hum Kinet, 42*, 165-174. doi:10.2478/hukin-2014-0071

Roberts, B. M., Lavin, K. M., Many, G. M., Thalacker-Mercer, A., Merritt, E. K., Bickel, C. S., et al. (2018). Human neuromuscular aging: Sex differences revealed at the myocellular level. *Exp Gerontol, 106*, 116-124. doi:10.1016/j.exger.2018.02.023

Roberts, B. M., Nuckols, G., & Krieger, J. W. (2020). Sex Differences in Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research, 34*(5), 1448-1460. doi:10.1519/JSC.0000000000003521

Rogol, A. D. (1992). Growth and growth hormone secretion at puberty: the role of gonadal steroid hormones. *Acta Paediatr Suppl, 383*, 15-20; discussion 21.

Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., et al. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol, 265*(3 Pt 1), E380-391. doi:10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380

Sakamaki, M., Yasuda, T., & Abe, T. (2012). Comparison of low-intensity blood flow-restricted training-induced muscular hypertrophy in eumenorrheic women in the

follicular phase and luteal phase and age-matched men. *Clin Physiol Funct Imaging, 32*, 191. doi:10.1111/j.1475-097X.2011.01075.x

Salvador, E., Cyrino, E., Gurjão, A., Ritti-Dias, R., Nakamura, F., & Oliveira, A. (2005). A comparison of motor performance between men and women in multiple sets of weight exercises. *Revista Brasileira De Medicina Do Esporte, 11*, 242e-245e.

Salvador, E., Ritti-Dias, R., Gurjão, A., Avelar, A., Pinto, G., & Cyrino, E. (2009). Effect of eight weeks of strength training on fatigue resistance in men and women. *Isokinetics and Exercise Science, 17*, 101-106. doi:10.3233/IES-2009-0340

Satoshi, F., Blake, B. R., Jerson, G. C., Micah, J. D., Erin, L. G., Fred, R. S., et al. (2007). Aerobic Exercise Overcomes the Age-Related Insulin Resistance of Muscle Protein Metabolism by Improving Endothelial Function and Akt/Mammalian Target of Rapamycin Signaling. *Diabetes, 56*, 1622. doi:10.2337/db06-1566

Schiaffino, S., & Reggiani, C. (2012). Skeletal Muscle Fiber Types. In J. A. Hill & E. N. Olson (Eds.), (Vol. 2, pp. 867).

Schmidt, D., Anderson, K., Graff, M., & Strutz, V. (2016). The effect of high-intensity circuit training on physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness, 56*(5), 534-540.

Schoenfeld, B. (2020). *Science and Development of Muscle Hypertrophy*. Champaign.

Schoenfeld, B. J. (2010). The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *24*(10), 2857-2872. doi:10.1519/JSC.0b013e3181e840f3

Schoenfeld, B. J. (2013). Is There a Minimum Intensity Threshold for Resistance Training-Induced Hypertrophic Adaptations? *Sports Med, 43*, 1288. doi:10.1007/s40279-013-0088-z

Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res, 31*(12), 3508-3523. doi:10.1519/jsc.0000000000002200

Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. High-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res, 31*, 3523. doi:10.1519/JSC.0000000000002200

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med, 46*(11), 1689-1697. doi:10.1007/s40279-016-0543-8

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci, 35*, 1082. doi:10.1080/02640414.2016.1210197

Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2016). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci, 16*(1), 1-10. doi:10.1080/17461391.2014.989922

Sink, K. M., Espeland, M. A., Castro, C. M., Church, T., Cohen, R., Dodson, J. A., et al. (2015). Effect of a 24-Month Physical Activity Intervention vs Health Education on Cognitive Outcomes in Sedentary Older Adults: The LIFE Randomized Trial. *Jama, 314*(8), 781-790. doi:10.1001/jama.2015.9617

Smith, G. I., Yoshino, J., Reeds, D. N., Bradley, D., Burrows, R. E., Heisey, H. D., et al. (2014). Testosterone and Progesterone, But Not Estradiol, Stimulate Muscle Protein Synthesis in Postmenopausal Women. *J Clin Endocrinol Metab, 99*, 265. doi:10.1210/jc.2013-2835

Stanley, C., & Arthur, F. K. (2003). Fitness Effects on the Cognitive Function of Older Adults: A Meta-Analytic Study. *Psychol Sci, 14*, 130. doi:10.1111/1467-9280.t01-1-01430

Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., Murray, T. F., Hostler, D. P., Crill, M. T., et al. (2000). Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem, 48*(5), 623-629. doi:10.1177/002215540004800506

Steinhöfer, D. (2015). *Athletiktraining im Sportspiel : Theorie und Praxis zu Kondition, Koordination und Trainingssteuerung* (3., durchgesehene Auflage. ed.). Münster, Westf: Philippka.

Stephen, M. R., Gregory, F. M., Frederick, M. I., Jeffrey, T. L., Metter, E. J., Ben, F. H., et al. (2000). High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J Appl Physiol (1985), 88*, 1118. doi:10.1152/jappl.2000.88.3.1112

Strasser, B., & Schobersberger, W. (2011). Evidence for Resistance Training as a Treatment Therapy in Obesity. *J Obes, 2011*, 9. doi:10.1155/2011/482564

Toigo, M. (2014). *MuskelRevolution: Konzepte und Rezepte Zum Muskel- und Kraftaufbau* (2015 ed.). Berlin, Heidelberg.

Walter, R. F., Kieran, F. R., Edward, M. P., Lisa, S. K., Virginia, A. H., Ronenn, R., et al. (2008). Muscle fiber size and function in elderly humans: a longitudinal study. *J Appl Physiol (1985), 105*, 642. doi:10.1152/japplphysiol.90332.2008

Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomee, R. (2007). The Influence of Frequency, Intensity, Volume and Mode of Strength Training on Whole Muscle Cross-Sectional Area in Humans. *Sports Med, 37*, 264. doi:10.2165/00007256-200737030-00004

Westcott, W. L. (2012). Resistance Training is Medicine: Effects of Strength Training on Health. *11*(4), 209-216. doi:10.1249/JSR.0b013e31825dabb8

Wilkins, J. T., Krivickas, L. S., Goldstein, R., Suh, D., & Frontera, W. R. (2001). Contractile properties of adjacent segments of single human muscle fibers. *Muscle Nerve, 24*(10), 1319-1326. doi:10.1002/mus.1150

Wilmore, J. H., & Wilmore, J. H. (1974). Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10 week weight training program. *Med Sci Sports Exerc, 6*, 138. doi:10.1249/00005768-197400620-00025

Wolfe, B. L., Lemura, L. M., & Cole, P. J. (2004). Quantitative Analysis of Single- vs. Multiple-Set Programs in Resistance Training. *J Strength Cond Res, 18*, 47. doi:10.1519/00124278-200402000-00005

Wolfe, R. R. (2006). The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr, 84*, 482. doi:10.1093/ajcn/84.3.475

Wu, R., Delahunt, E., Ditroilo, M., Lowery, M., & De Vito, G. (2016). Effects of age and sex on neuromuscular-mechanical determinants of muscle strength. *Age (Dordr), 38*(3), 57. doi:10.1007/s11357-016-9921-2

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Morphologische Struktur der Skelettmuskulatur 10

Abb. 2: Theorie der ineinandergleitenden Filamente während einer Muskelkontraktion ...11

Abb. 3: Chronologische Abfolge der Erzeugung von Kraft.....12

Abb. 4: Internes Membransystem einer Muskelzelle und eine sogenannte Triade 13

Abb. 5: Elektromechanische Kopplung: (a) Aktivierung einer motorischen Einheit; (b) Zusammenspiel eines Dihydropyridin- und Ryanodinrezeptor; (c) Ablauf einer Relaxation.....15

Abb. 6: Aufbau eines Sarkomers.....17

Abb. 7: (a) Kraft-Geschwindigkeitsrelation und (b) Kraft-Leistungsrelation der unterschiedlichen Muskelfasern 19

Abb. 8: Kraft-Längen-Relation.....21

Abb. 9: Kraftentwicklung einer schnellen und langsamen motorischen Einheit.....23

Abb. 10: Strukturierung der Kraft nach Kontraktionsformen 25

Abb. 11: Struktur der motorischen Basiseigenschaften von Kraft mit deren Bedingungen, Komponenten, Formen und Muskelarbeitsweisen und Beziehungen zueinander 26

Abb. 12: Kraft-Geschwindigkeits-Beziehung bei exzentrischer, isometrischer und konzentrischer Arbeitsweise.....27

Abb. 13: Komponenten und Eigenschaften der Belastungsnormative für Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitstraining 30

Abb. 14: Belastungskennwerte als Empfehlung zur Steigerung der Muskelhypertrophie..33

Abb. 15: Belastungskennwerte als Empfehlung zur Steigerung der Maximalkraft 34

Abb. 16: Altersbedingter Verlust der Muskelmasse.....35

Abb. 17: Effekt der Menopause auf die Entwicklung der Muskelmasse. MBAL = Muskelprotein-Gleichgewicht; MPS = Muskelproteinsynthese; MPB = Muskelproteinabbau.....38

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Eigenschaften der verschiedenen Muskelfasern 20

Tab. 2: Relative Zunahme (%) der Trainingsbelastung während der ersten 8 Trainingswochen bei Männern 45

Tab. 3: Relative Zunahme (%) der Trainingsbelastung während den zweiten 8 Trainingswochen bei Männern 45

Tab. 4: Ellbogenflexionsspitzendrehmoment des Armes vor und nach der Trainingsintervention 47

Tab. 5: Physische Eigenschaften der Testpersonen zu Beginn der Studie (Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzintervall) 48

Tab. 6: 1-RM und Gesamtvolumen von Männern und Frauen am Anfang, nach 8 Wochen und nach 16 Wochen 50

Tab. 7: Physische Eigenschaften der Testpersonen zu Beginn der Studie 51

Tab. 8: Prä- und Post-Test der Muskelkraft und der muskulären Ausdauer bei Frauen 53

Tab. 9: Prä- und Post-Test der Muskelkraft und der muskulären Ausdauer bei Männern 53

Tab. 10: Trainingsbedingte Anpassungen der trainierten Extremität 56

Tab. 11: Physische Eigenschaften der Probanden zu Studienbeginn 57

Tab. 12: Physische Eigenschaft der Probandinnen zu Studienbeginn 57

Tab. 13: Veränderungen der Muskelkraft, der muskulären Ausdauer und der aeroben Fitness nach 8 Wochen 59

Tab. 14: Veränderungen des BMI und der Körperzusammensetzung nach 8 Wochen 59

Tab. 15: Gesamtlast zu Beginn und Maximal bei Frauen (A) und bei Männern (B) 61

Tab. 16: Relative Muskelkraft maximal und zu Beginn und bei Frauen (A) und Männern (B) .62

Tab. 17: Histogramm der Veränderungen der Muskelkraft (a) und der Muskeldicke (b) bei Männern und Frauen in der Trainingsgruppe 64

Tab. 18: Charakteristik der Testpersonen sowie der Muskelkraft der Beinstrecker zu Beginn und am Ende der Intervention (Mittelwert ± SD) 66

Eidestaatliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

Wien, Mai 2021 Leeb Sebastian