



MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und
Krafftähigkeit bei Kindern

Verfasser

Roland Hudetschek, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaft (Mag.rer.nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt: Magisterstudium Sportwissenschaft

Betreuerin / Betreuer: o. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bachl

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn o. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bachl für die Betreuung der Magisterarbeit und für die Möglichkeit die Studie im „Österreichischen Institut für Sportmedizin“ durchzuführen.

Des Weiteren danke ich Univ.-Prof. Dr. Ramon Baron, Herrn Wolfgang Reith und dem gesamten Team des „Österreichischen Instituts für Sportmedizin“ für die Organisation der Testtermine und die Unterstützung bei den Untersuchungen.

Außerdem danke ich der Direktorin Frau Mag. Erika Thurnher und den Lehrer/innen des Gymnasiums auf der Schmelz für das Einverständnis und die Freigabe der Schüler für die Untersuchungen.

Natürlich bedanke ich mich auch bei den Schülern des Gymnasiums auf der Schmelz, die mir durch ihre Teilnahme an der Studie das Schreiben der Magisterarbeit ermöglichten.

Weiters danke ich meinem Bruder Manuel und meinen Studienkollegen Markus und Andreas für fachspezifische Diskussionen und Anregungen für die Studie.

Ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium ermöglichten und mir immer unterstützend zur Seite standen.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei meiner Freundin Michaela bedanken, die mich in allen Bereichen toll unterstützt und motiviert.

Abstract

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der isometrischen Maximalkraft auf die anaerobe Leistungsfähigkeit und Kapazität bei Kindern. Die anaerobe Leistungsfähigkeit und Kapazität wurde mittels eines modifizierten „Anaeroben Wingate Test“ an einem „Wattbike“ ermittelt. Die isometrische Maximalkraft der Beine und des Rumpfes wurde am „Easy Torque“ gemessen. An der Untersuchung nahmen 15 Buben im Alter von 11 bis 13 Jahren teil. Alle Probanden waren Hobbysportler und nahmen an keinen regelmäßigen Wettkämpfen teil. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der isometrischen Maximalkraft der Beine und der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern. Bei der Überprüfung der Korrelation zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und der anaeroben Kapazität zeigte sich allerdings ein signifikanter Zusammenhang sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht.

Abstract (English)

The present paper deals with the influence of maximum isometric force on anaerobic performance and capacity in children. The anaerobic power and capacity was determined by using a modified "Wingate Anaerobic Test" on a "watt bike". The maximum isometric strength of the legs and torso was measured at the "Easy Torque". The study included 15 boys aged 11 to 13 years. All subjects were hobby athletes and did not participate in regular competitions.

The results of the study did not show a clear correlation between the maximum isometric strength of the legs and anaerobic performance in children. In reviewing the correlation between isometric maximum strength of the legs and the anaerobic capacity, however, a significant relationship was shown absolute and relative to body weight.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Mechanismen der Energiebereitstellung	3
2.1. Die aerobe Energiebereitstellung	4
2.2. Die anaerobe Energiebereitstellung	5
2.2.1. Die anaerob- alaktazide Energiebereitstellung	5
2.2.2. Die anaerob- laktazide Energiebereitstellung	6
3. Aerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit im Kindesalter	6
4. Anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit im Kindesalter	7
4.1. Blutlaktat nach Belastung und methodologische Überlegungen	8
4.1.1. Säure- Basen Regulation	12
4.1.2. Abtransport von Stoffwechselprodukten	15
4.2. Muskelmetabolismus	16
4.2.1. Metabolische Enzymaktivität	20
5. Muskelcharakteristiken und Entwicklung der Kraft im Wachstum	23
5.1. Krafftigkeiten	23
5.1.1. Maximalkraft	24
5.1.2. Schnellkraft	24
5.1.2. Kraftausdauer	24
5.2. Muskelstruktur	24
5.3. Muskelgröße	26
5.3.1. Muskelfasergröße	26
5.3.2. Muskelquerschnittsfläche	27
5.3.3. Muskelmasse	29
5.3.4. Neuromuskuläres System	30
6. Der Einfluss von anthropometrischen Eigenschaften auf Muskelkraft- und Leistung	35
6.1. Einfluss der/des Bremskraft/Widerstand auf die maximale Leistung beim Anaeroben Wingate Test während des Wachstums	40
7. Aktuelle Untersuchungen zur anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern	41
8. Forschungskonzept	45
8.1. Probanden	46
8.2. Testdesign	46
8.3. Ergometrie	47
8.4. Anaerober Wingate Test	47
8.4.1. Testablauf	48

8.4.2. Wattbike	48
8.5. Isometrischer Krafttest	49
8.5.1. Testablauf	50
8.5.2. EasyTorque.....	50
8.6. Fragestellung und Hypothesen	51
8.7. Auswertung der Ergebnisse	54
9. Darstellung der Ergebnisse	55
9.1. Anthropometrische Daten und Testergebnisse	55
9.2. Prüfung der Ergebnisse auf signifikante Zusammenhänge	63
9.2.1. Zusammenhang zwischen anthropometrischen Eigenschaften und anaerober Leistungsfähigkeit	64
9.2.2. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und der anaeroben Leistungsfähigkeit	69
9.2.3. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und der anaeroben Kapazität	73
9.2.4. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft des Rumpfes und der anaeroben Leistungsfähigkeit	78
9.2.5. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft des Rumpfes und der anaeroben Kapazität	80
9.2.6. Zusammenhang zwischen maximaler Leistung bei der Ergometrie	
und der anaeroben Leistungsfähigkeit und – Kapazität.....	83
10. Interpretation der Ergebnisse	88
11. Zusammenfassung und Ausblick	92
12. Literaturverzeichnis	94
13. Abbildungsverzeichnis.....	103
14. Tabellenverzeichnis.....	104
15. Abkürzungsverzeichnis	107

1. Einleitung

Leistungsdiagnostische Untersuchungsverfahren zur Beurteilung des anaeroben Energiestoffwechsels haben bisher nicht den Stellenwert erreicht wie die Verfahren zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit. Sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen stellt die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme durch Spiroergometrie ein valides Verfahren zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit dar (Heck & Schultz, 2002). Anders ist die Situation bei den Testverfahren zur Ermittlung der anaeroben laktaziden und alaktaziden Kapazität und Leistungsfähigkeit. Obwohl bekannt ist, dass der natürliche Bewegungsdrang der Kinder keine langen monotonen Belastungen enthält, sondern eher kurz und intensiv ist, gibt es einen Mangel an Untersuchungen und viele offene Fragen zu den Veränderungen der anaeroben Leistungsfähigkeit während des Wachstums (Van Praagh & Dore, 2002). Eine wesentliche Ursache hierfür ist der Mangel an geeigneten Testverfahren bzw. das Fehlen eines „Golden Standards“. Ein entscheidender Grund dafür ist, dass alle für die Stoffwechselprozesse benötigten Substrate in der Muskelzelle vorliegen und diese nur durch aufwendige Verfahren wie z. B. muskelbiopsische Analysen und ³¹PMR-Spektroskopie direkt gemessen werden können. Aufgrund des Verbots dieser invasiven Messtechniken bei Kindern ist die direkte Messung des anaeroben Stoffwechsels während Belastung ethisch nicht möglich (Martin et al., 2004). Die Bestimmung von Zwischen- und Endprodukten wie z. B. Laktat und Brenztraubensäure im peripheren Blut lässt allerdings nur indirekte Aussagen aufgrund der komplexen Dynamik der Diffusions- und Eliminationsprozesse zu (Heck & Schultz, 2002).

Die meisten Studien, die die anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern untersuchten, konzentrierten sich auf kurze intensive (6-30 Sekunden) Fahrradergometrien. Als einer der aussagekräftigsten und weitverbreitetsten Tests hat sich dabei der „Wingate Anaerobic Test“ erwiesen, der die maximale Leistung (Peak Power) während der ersten fünf Sekunden und die mittlere Leistung (Mean power) über die Dauer von 30 Sekunden bestimmt (Armstrong et al., 2001). Im Widerspruch zu dem natürlichen Bewegungsverhalten der Kinder zeigte sich allerdings, dass sie eine geringere anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit als Erwachsene haben, sowohl absolut als auch in Relation zum Körpergewicht. Dies spiegelt sich auch in der Blutlaktatkinetik wieder, da Kinder deutlich geringere maximale Laktatwerte als Erwachsene aufweisen, ihr Maximum allerdings schneller erreichen und auch die Elimination des Laktats aus dem Blut schneller passiert (Beneke et al., 2005). Ein weiterer interessanter Aspekt den es zu berücksichtigen gibt ist, dass Kinder langsamer als Erwachsene ermüden, sich schneller

regenerieren und ihre Leistung bei wiederholten hochintensiven Belastungen länger halten können (Ratel et al., 2006).

Obwohl es einige konkrete Ansätze und Theorien für mögliche Ursachen der geringeren anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern gibt, sind die zugrunde liegenden Mechanismen noch nicht eindeutig geklärt (Beneke et al., 2007).

Diese Arbeit gliedert sich in einen hermeneutischen und empirischen Teil. Dabei wird der hermeneutische Teil die wichtigsten theoretischen Hintergründe liefern und erklären. Es handelt sich hierbei um die grundlegenden Mechanismen der Energiebereitstellung mit Hauptaugenmerk auf den anaeroben Energiestoffwechsel.

Im Weiteren werden die bedeutendsten bisherigen Untersuchungsergebnisse angeführt, die mögliche Ursachen und Erklärungen für die geringere anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern aufzeigen. Hierbei wird besonders auf den Einfluss der Muskelmasse und -struktur, der neuromuskulären Koordination und der damit verbundenen Krafftähigkeit auf die anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern eingegangen. Dies ist ein entscheidender Grund für die Studie, da von den wenigen Untersuchungen, die sich mit der anaeroben Kapazität und Leistungsfähigkeit bei Kindern beschäftigen, kaum bzw. nur vereinzelt auf den Zusammenhang zwischen der Krafftähigkeit und der anaeroben Leistungsfähigkeit eingegangen wird.

In an den hermeneutischen folgenden empirischen Teil der Arbeit wird die Untersuchung vorgestellt. Dabei wird das Forschungskonzept und Testdesign ausführlich beschrieben sowie Ergebnisse der Untersuchung präsentiert, interpretiert und diskutiert.

2. Mechanismen der Energiebereitstellung

Grundsätzlich gilt es unter dem Aspekt der muskulären Energiebereitstellung zwischen aerober und anaerober Ausdauer zu unterscheiden. Es gilt jedoch als gesichert, dass keine der beiden Ausdauerformen in reiner Form zu finden ist. Das bedeutet, dass jede Ausdauerleistung in einer Mischform der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung erbracht wird.

Von aerober Ausdauer spricht man, wenn dem Organismus ausreichend Sauerstoff zur oxidativen Verbrennung der Energieträger zur Verfügung steht. So stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffverbrauch ein.

Von anaerober Ausdauer spricht man, wenn die Sauerstoffzufuhr zur oxidativen Verbrennung aufgrund hoher Belastungsintensität unzureichend ist und die Energie unter dem Eingehen einer Sauerstoffschuld bereitgestellt wird (Gastin, 2001).

Die Energie für zelluläre Prozesse wie Muskelkontraktionen wird ausschließlich aus der Spaltung des energiereichen Adenosintriphosphats (ATP) in Adenosindiphosphat (ADP) und freies Phosphat (P) bereitgestellt und geliefert.

Der primäre Energielieferant ist das ATP (Adenosintriphosphat). Die chemisch gespeicherte Energie im Körper kann nur über das ATP freigesetzt werden, da alle anderen Energiespeicher (z.B. Glykogen, Tryglizerid) nicht direkt genutzt werden können. Sie dienen dazu, das verbrauchte ATP zu resynthetisieren, da intrazellulär im Muskel nur eine geringe Menge ATP vorhanden ist, die für maximal zwei Sekunden körperlicher Arbeit ausreichend ist (Glaister, 2005).

Dazu werden drei verschiedene, aber eng zusammenarbeitende Energiegewinnungssysteme unterschieden, die die energetischen Anforderungen der Muskulatur erfüllen:

- die aerobe Energiebereitstellung
- die anaerob- alaktazide Energiebereitstellung
- die anaerob- laktazide Energiebereitstellung

(Gastin, 2001).

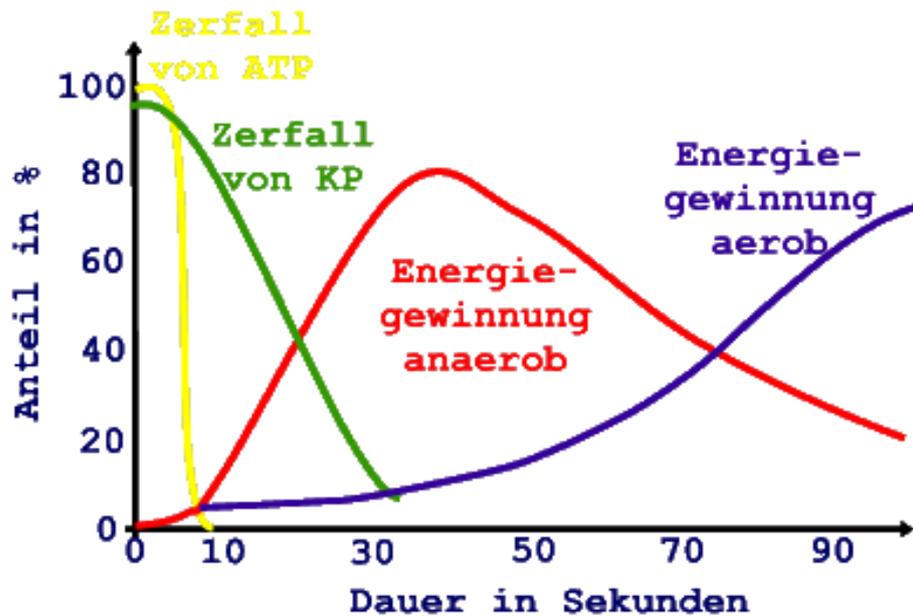


Abb. 1: Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsintensität und Belastungsdauer (<http://www.lauftipps.ch/laufernaehrung/energiestoffwechsel/anaerobe-energiegewinnung-> Zugriff am 10.5.2013).

Der Energiegewinnungsprozess ist abhängig von der Belastungsintensität, da die zur Verfügung stehenden Quellen unterschiedliche Energieflussraten haben und so unterschiedlich schnell neues ATP resynthetisieren (Gastin, 2001). In den drei folgenden Unterpunkten wird genauer auf die drei Energiegewinnungssysteme eingegangen um die oben angeführte Abbildung zu verdeutlichen.

2.1. Die aerobe Energiebereitstellung

Die aerobe Energiebereitstellung erfolgt durch die Oxidation von Fetten und Kohlenhydraten. Fette können nur unter Oxidation mit Sauerstoff abgebaut werden, während Kohlenhydrate aerob und anaerob abgebaut werden können. Bei der Oxidation der Fette werden vor allem Fettsäuren aus dem Subkutanfettgewebe und den Nahrungsfetten zur Energiegewinnung verwendet. Zusätzlich tragen die in der Muskelfaser gespeicherten Triglyzeride maßgeblich zur Energielieferung bei. Beim Abbau der Kohlenhydrate werden die Glykogendepots (Speicherform der Glucose) der Leber und Muskulatur sowie die Glukose aus der Nahrung zur Energielieferung herbeigezogen (Gastin, 2001).

Die Oxidation der Glukose und der Fettsäuren läuft im Mitochondrium der Zelle ab. Beim Prozess der aeroben Glykolyse wird aus Glykogen Traubenzucker abgespalten und zu Brenztraubensäure (Pyruvat) abgebaut. Der größte Teil der Brenztraubensäure wird durch

den Sauerstoff oxidiert. Dabei wird Essigsäure (Acetyl- CoA) gewonnen und aktiviert. Diese wird mit Oxalsäure zu Zitronensäure zusammengeführt. Diese Reaktion wird durch das Enzym Citratsynthetase ausgelöst (Citratzyklus). Über den aeroben Abbau zu Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) kann energiereiches Kreatinphosphat (CrP) wiederhergestellt und ATP resynthetisiert werden.

Dabei kann die größte Menge an ATP resynthetisiert werden. Allerdings haben die aeroben Stoffwechselprozesse aufgrund des aufwendigen biochemischen Ablaufes der Energiegewinnung über die Oxidation eine langsamere Energieflussrate und liefern somit weniger ATP pro Zeiteinheit als die anaeroben Prozesse (Hohmann et al., 2007, S 53).

Bei niedrig intensiven Belastungen werden die Glykogenspeicher geschont und die Energie über die aerobe Oxidation von Triglyzeriden (Speicherform von Fett) zu freien Fettsäuren bereitgestellt. Die aerobe Lipolyse von Triglyzerid führt über den Wiederaufbau energiereicher Phosphate zur Resynthese von ATP. Die Energieflussrate der aeroben Lipolyse ist allerdings nochmals deutlich geringer (Hohmann et al., 2007, S 54).

2.2. Die anaerobe Energiebereitstellung

Die anaerobe Resynthese von ATP findet grundsätzlich nur dann statt, wenn keine ausreichende aerobe Deckung des Energiebedarfs möglich ist.

Das anaerobe System wird getrennt in die anaerob- alaktazide (ATP- CrP) und anaerob-laktazide (anaerobe Glycolyse) Energiebereitstellung (Gastin, 2001).

2.2.1 Die anaerob- alaktazide Energiebereitstellung

Dauert eine Belastung länger als die zuvor erwähnten zwei Sekunden, setzt die sekundäre Energiebereitstellung ein. Der schnellste Weg zur Gewinnung von ATP für die Muskelkontraktion ist die anaerobe Aufspaltung von Kreatinphosphat (CrP), das in der Muskulatur gespeichert ist. Die Resynthese des ATP erfolgt durch die Reaktion zwischen CrP und ADP. Die Reaktion wird durch das Enzym Kreatinkinase ausgelöst und führt zur Bildung von ATP und freiem Kreatin (Cr). Diese Form der ATP Gewinnung besitzt eine sehr hohe Energieflussrate, die für etwa 10 Sekunden ausreicht. Man spricht von anaerob- alaktazider Energiebereitstellung, da sich in diesen ersten 10 Sekunden noch kein Laktat im Muskel ansammelt (Glaister, 2005).

2.2.2. Die anaerob- laktatide Energiebereitstellung

Wird durch hochintensive Belastung der Kreatinphosphatspeicher entleert, dann wird die benötigte Energie durch die anaerobe Spaltung von Glykogen gewonnen. Der biochemische Prozess ist bis zur Entstehung des Pyruvats der gleiche wie bei der aeroben Energiebereitstellung (Glaister, 2005). Da jedoch bei der sogenannten anaeroben Glykolyse die Kapazität der Mitochondrien nicht mehr ausreicht um den Sauerstoff zu verwerten, wird das Pyruvat nicht vollständig in aktivierte Essigsäure überführt. Dadurch wird das Pyruvat zu Laktat hydriert. Durch die Anhäufung des Laktats in der Muskelzelle, verändert sich der pH- Wert und die Muskulatur „übersäuert“. Wenn der pH- Wert auf 6,3 (Normalwert: 7,0) sinkt, dann stoppt die Glykolyse, wodurch die Belastung deutlich reduziert oder sogar abgebrochen werden muss. Die laktazide Kapazität ist somit im Wesentlichen durch die maximal tolerierbare Azidose limitiert. Die anaerobe Glykolyse wird durch das Schlüsselenzym Phosphofruktokinase (PFK) geregelt und aufrechterhalten. Dabei wird energiereiches Kreatinphosphat wiederhergestellt, aus dem wieder ATP resynthetisiert werden kann. Kommt es zu einer zu hohen Laktatkonzentration wird die Phosphofruktokinase gehemmt und dadurch unweigerlich ein Abfall der Bewegungsintensität herbeigeführt. Der Höhepunkt der anaeroben Glykolyse wird nach 45 Sekunden erreicht und dominiert die Energiebereitstellung bis etwa 2 Minuten hochintensiver Belastung. Danach lässt die Leistung deutlich nach und die aeroben Prozesse überwiegen (Hohmann et al., 2007, S 53).

3. Aerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit im Kindesalter

Die aerobe Leistungsfähigkeit hängt von Lungen-, Herz-Kreislauf- und hämatologischen Komponenten der Sauerstoffzufuhr sowie des oxidativen Mechanismus der arbeitenden Muskulatur ab (Armstrong & Welsman, 1994).

Die aerobe Leistungsfähigkeit wird bestimmt durch die maximale Oxidationsrate von Wasserstoff in der Atmungskette und ist damit identisch mit der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Sauerstoffaufnahme gilt als anerkanntes Maß der aeroben Leistungsfähigkeit und wird meist in Relation zur Körpermasse angegeben (Heck & Schulz, 2002).

In einer Studie zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Welsman et al. (1996) zeigte sich, dass es keine signifikanten Unterschiede in der relativen Sauerstoffaufnahme

zwischen Kindern und Erwachsenen gibt. Die Unterschiede in der absoluten Sauerstoffaufnahme zwischen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen sind durch die Verschiedenheit der aktiven Muskelmasse und die Ökonomisierung der Laufarbeit erklärbar.

Bei Jungen zwischen acht bis sechzehn Jahren zeigte sich ein linearer Anstieg der VO_2 (l/min) in Relation zum Alter. Bei Mädchen zeigte sich, dass die VO_{2max} bis zum 13. Lebensjahr progressiv ansteigt und danach abflacht (Armstrong, 2006).

4. Anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit im Kindesalter

Die anaeroben Eigenschaften von Kindern unterscheiden sich von denen der Erwachsenen und zeigen eine Entwicklungstendenz von der Kindheit bis zum Erreichen des postpuberalen Erwachsenenalters. Die Spiel und Sportaktivitäten von Kindern sind oft intermittierend und werden meist mit höheren Intensitäten durchgeführt. Doch entgegen dem natürlichen Bewegungsverhalten der Kinder zeigte sich eine geringere anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit als bei Erwachsenen, sowohl absolut als auch in Relation zum Körpergewicht (Beneke et al., 2007). Dies spiegelt sich auch in der Blutlaktatkinetik wider, da Kinder deutlich geringere maximale Laktatwerte als Erwachsene aufweisen, ihr Maximum allerdings schneller erreichen und auch die Elimination des Laktats aus dem Blut schneller passiert (Beneke et al., 2005). Während bei Erwachsenen in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Trainingszustand und Belastungsform Werte bis zu 24mmol/l Laktat im Blut gefunden wurden, erreichten Kinder bei Messungen unter Maximalbelastung nur Werte von 6 – 11mmol/l. Die genauen Hintergründe dafür sind aber noch unklar (Inbar & Bar-Or, 1986). Das Blutlaktat nach Belastung ist ein Indikator für den glykolytischen Stoffwechsel und gibt Auskunft in welchem Ausmaß das metabolische System während einer sportlichen Aktivität beansprucht wurde. Das ist allerdings keine exakte Messung und andere Faktoren wie Testart, Testprotokoll, Trainingszustand oder Motivation der Teilnehmer müssen bei der Interpretation von Testergebnissen berücksichtigt werden (Van Praagh & Dore, 2002).

Als einer der aussagekräftigsten und weitverbreitetsten Tests zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit hat sich der „Wingate Anaerobic Test“ (WAnT) erwiesen (Armstrong et al., 2001). Der WAnT ist auch Teil dieser Untersuchung und wird im Testdesign des empirischen Teils noch genauer beschrieben.

Sämtliche Querschnitts- und Längsschnittsstudien, die sich mit dem WAnT beschäftigen, zeigten geringere Werte sowohl in der maximalen (PP) als auch in der mittleren Leistung (MP) bei Kindern. Außerdem konnte eine altersbedingte Zunahme in PP und MP beobachtet werden (Duche et al., 1992; Armstrong et al., 2001; Martin et al., 2004). Dies wird unter anderem den Unterschieden in Muskelstruktur und Muskelgröße sowie Differenzen in der neuromuskulären Koordination zugeschrieben. Folglich wurde vorgeschlagen, dass Kinder besser für den oxidativen als den glykolytischen Energieumsatz geeignet sind (Beneke et al. 2007). Weitere Studien machten kleinere Glykogenspeicher bzw. niedrigere glykolytische Enzymkonzentration und –aktivität für die geringere anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit bei Kindern verantwortlich (Berg & Keul, 1988; Kaczor et al., 2005). Ältere Studien wiederum befürworteten einen Zusammenhang zwischen Testosteronspiegel und glykolytischer Kapazität bei Kindern (Inbar & Bar-Or, 1986). Eriksson et al. (1973) fanden einen Zusammenhang zwischen Hodengröße und Blutlaktatkonzentration nach Belastung.

Des Weiteren zeigte sich, dass Kinder langsamer als Erwachsene ermüden, sich schneller regenerieren und ihre Leistung bei wiederholten hochintensiven Belastungen länger halten können. Faktoren wie eine schnellere Phosphokreatin Resynthese, größere oxidative Kapazität, bessere Säure Basen Regulation, schnellere Anpassung an anfängliche kardiorespiratorische Parameter und schnellere Elimination von metabolischen Nebenprodukten bei Kindern könnten die schnellere Erholung nach hoch intensiven Belastungen erklären (Ratel et al. 2006).

Anhand dieser kurzen Auflistung ist gut zu erkennen, dass in den Literaturangaben weitestgehend Einigkeit über die geringere anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit bei Kindern herrscht. Allerdings zeigt sich auch, dass die zugrundeliegenden Ursachen dafür nicht eindeutig geklärt sind und so einige Theorien im Raum stehen. Des Weiteren werden die vielversprechendsten Ansätze genauer beleuchtet und besonders auf den Einfluss der Muskulatur und der damit verbundenen Krafftähigkeit auf die anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern eingegangen.

4.1. Blutlaktat nach Belastung und methodologische Überlegungen

Das Blutlaktat nach Belastung ist ein Indikator für den glykolytischen Stoffwechsel und gibt Auskunft in welchem Ausmaß das metabolische System während einer sportlichen Aktivität beansprucht wurde. Es ist allgemein anerkannt, dass sich eine geringere glykolytische Reaktion auf maximale und supramaximale Belastungen bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen im Muskel- und Blutlaktat zeigt (Van Praagh & Dore, 2002).

Hebestreit et al. (1993) untersuchten unter anderem die Blutlaktatkonzentrationen bei vorpubertären Buben und Erwachsenen nach einem Anaeroben Wingate Test. Die Ergebnisse zeigten eine Blutlaktatkonzentration von 5.7 mmol/l bei Kindern und 14.2 mmol/l bei Erwachsenen nach Belastung. Beneke et al. (2005) verglichen die Blutlaktatkonzentrationen und die Zeit bis zum Erreichen des maximalen Laktatwerts nach einem Anaeroben Wingate Test zwischen 15 vorpubertären Buben ($12 \pm 0,6$ Jahre), 12 männlichen Jugendlichen ($16,3 \pm 0,7$ Jahre) und 12 männlichen Erwachsenen ($27,2 \pm 4,5$). Zu Beginn mussten die Probanden einen ansteigenden Belastungstest am Radergometer (Start: 1 W/kg; Steigerung: jede zweite Minute um 0,5W/kg) absolvieren um die maximale Leistung (P_{Peak}), die maximale Sauerstoffaufnahme ($V_{\text{O}_2\text{peak}}$) und maximales Blutlaktat (BLC_{peak}) zu bestimmen. BLC_{peak} war definiert als der höchstgemessene Blutlaktatwert in der Nachtestphase. An einem weiteren Tag absolvierten die Probanden einen Anaeroben Wingate Test auf einem mechanisch gebremsten Radergometer. Nach einem 5- minütigen warm-up bei 0,5 W/kg Körpergewicht sollten die Probanden nach einer 10- minütigen Pause ihre Trittfrequenz bei einem Widerstand von 7,5% des individuellen Körpergewichts (nach einer 3 Sekunden Beschleunigungsphase) auf ihr Maximum erhöhen und möglichst für 30 Sekunden halten. Vor und direkt nach dem WAnT wurde minütlich bis zur 10. Minute und danach jede zweite Minute das Blutlaktat abgenommen. Dazu wurden die maximale Leistung (PP), die minimale Leistung (MP), die mittlere Leistung (AP) und der Leistungsabfall (PD), der sich aus der Differenz der PP und der MP ergibt, bestimmt. Für die Bestimmung der Muskelmasse (MM) wurde die Magermasse des Beines (LLV) herangezogen. Dazu wurden die absolute und relative Muskelmasse der Teilnehmer bestimmt. Die Blutlaktatantwort wurde mithilfe eines biexponentiellen 4- Parameter Modell (A , k_1 , k_2 , BLC_0) analysiert. A ist als der extravaskulärer Anstieg von Laktat während der Belastung, k_1 als gleichbleibende Invasion, k_2 als konstante Evasion von Laktat in und aus dem Blutkompartiment und BLC_0 als Laktat vor dem Test definiert. Die Ergebnisse beim Belastungstest zeigten, dass BLC_{peak} bei Kindern signifikant niedriger als bei Jugendlichen und Erwachsenen war. P_{peak} war bei Jugendlichen höher als bei Kindern und Erwachsenen, während die P_{peak} bezogen auf die Muskelmasse bei Erwachsenen niedriger als bei Kindern und Jugendlichen war. Keinen Unterschied gab es bei der $V_{\text{O}_2\text{peak}}$ zwischen den drei Gruppen. Erst im Bezug zur Muskelmasse hatten Erwachsene signifikant niedrigere Werte als Kinder und Jugendliche.

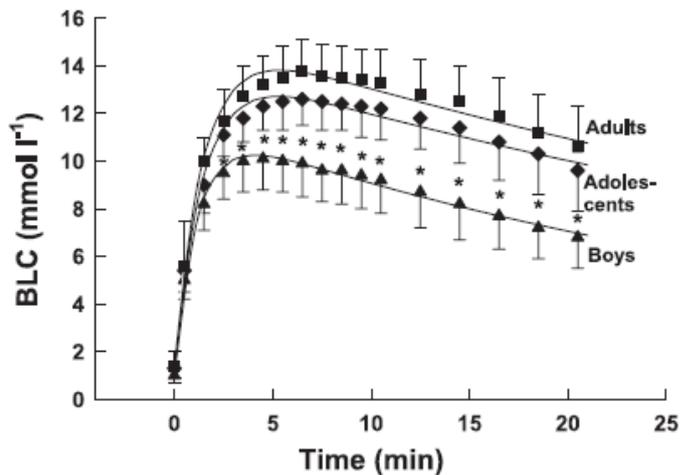


Abb. 2: Blutlaktatkonzentration nach WAnT bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen (nach Beneke, 2005).

Nach dem WAnT hatten Jugendliche und Erwachsene ab der zweiten Minute nach Belastungsende signifikant höhere BLC Werte als Kinder. Zwischen Jugendlichen und Erwachsenen gab es keine Unterschiede. Der extravaskuläre Anstieg des Blutlaktats (A), die maximale Blutlaktatkonzentration und die Zeit bis zum Erreichen des Maximums (BLC_{max} 10.2 ± 1.3 mmol/l, $TBLC_{max}$ 4.1 ± 0.4 min) waren bei Kindern signifikant geringer als bei Jugendlichen (12.7 ± 1.0 mmol/l, 5.5 ± 0.7 min) und Erwachsenen (13.7 ± 1.4 mmol/l, 5.7 ± 1.1 min). Zwischen den Jugendlichen und Erwachsenen gab es keine Unterschiede. Das k_2 war bei Buben höher als bei Jugendlichen und Erwachsenen. A, BLC_{max} und k_2 wurde mit dem Alter in Beziehung gesetzt. BLC_{max} war bei allen Probanden höher als BLC_{peak} , wobei die Differenz bei den Buben am höchsten war. Bei AP, MP und PP gab es bezogen auf die Muskelmasse keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Unterschiede in der BLC sowohl nach dem Belastungstest als auch nach dem WAnT zwischen Kindern und Erwachsenen größer sind als zwischen Jugendlichen und Erwachsenen. Die Ergebnisse der Studie des niedrigeren BLC_{max} als ein Resultat niedrigeren extravaskulären Anstiegs des Laktats belegen die Idee einer reduzierten Muskelglykogenrate bei Kindern nicht. Die Unterschiede in der Laktatreaktion nach dem Belastungstest und dem WAnT kombiniert mit einer niedrigeren V_{O2peak} und P_{peak} im Bezug zur Muskelmasse bei Erwachsenen, könnte indirekt darauf hinweisen, dass Kinder eine höhere aerobe Enzymaktivität und eine schnellere V_{O2} Kinetik als Erwachsene haben. Das Ergebnis, dass die BLC Elimination fast 30 % schneller bei den Buben ist, liefert einen weiteren Beleg für die Hypothese, dass verglichen mit Erwachsenen der BLC Abbau auch in Ruhe bei Kindern schneller ist, das auf eine höhere Stoffwechselrate in Ruhe bei Kindern hindeuten würde. Beneke et al. (2005) wiesen aber auch darauf hin, dass diese Ergebnisse aufgrund der niedrigeren BLC Werte der Kinder falsch interpretiert sein könnten.

Beneke et al. (2005) bestätigten damit die Ergebnisse zahlreicher Studien (Eriksson & Saltin, 1974; Mero, 1988; Falgairette et al., 1990; Williams & Armstrong, 1991), die ebenfalls signifikante Unterschiede in der Blutlaktatkonzentration zwischen Kindern und Erwachsenen nach intensiver Belastung feststellen konnten.

Van Praagh & Dore (2002) betonten aber auch, dass das Blutlaktat nach Belastung keine exakte Bestimmung der anaeroben Glykolyse zulässt, sondern nur einen qualitativen Hinweis auf den Grad der Beanspruchung des anaeroben Stoffwechsels gibt. Deswegen müssen bei der Untersuchung und Interpretation von Blutlaktatkonzentrationen nach Belastung, insbesondere bei Kindern, einige Faktoren berücksichtigt werden. So wurde der anaerobe Stoffwechsel mithilfe einer Vielzahl unterschiedlicher Untersuchungsprotokolle, Belastungsintensitäten und Bewertungsmethoden untersucht (Ratel et al., 2006). Abhängig von der Dauer und Intensität des Untersuchungsprotokolls wird das glykolytische System unterschiedlich beansprucht. Dies zeigte Mero (1988) in seiner Studie, als er die Blutlaktatkonzentration bei vorpubertären Jungen nach einem modifizierten 60 Sekunden Wingate Test, nach einem modifizierten 15 Sekunden Wingate Test und nach einem maximalen Sauerstoffaufnahmetest untersuchte. Es zeigte sich, dass nach dem 60 Sekunden Wingate Test die höchsten Blutlaktatkonzentrationen im Vergleich mit den beiden anderen Tests gemessen wurden. Außerdem erschweren morphologische Unterschiede, vor allem Muskelmasse und die entsprechende Muskelkraft, zwischen Kindern und Erwachsenen die Analyse der Ergebnisse (Ratel et al., 2010). Weiters gilt es auch zwischen dynamischen und statischen Kontraktionen zu unterscheiden, da Rückschlüsse aus statischen Bewegungen nicht für dynamische gültig sein könnten (Vollestad, 1997). Gleiches gilt für Labor und Feldtests, sowie wie für unterschiedliche Testgeräte (z.B. Laufband und Radergometer). Ratel et al. (2004) untersuchten die maximale Leistung und die Blutlaktatkonzentration nach zehn 10 Sekunden Sprints mit 15 Sekunden Erholung zwischen den Sprints sowohl am Laufband als auch auf einem Fahrradergometer bei vorpubertäre Buben und Erwachsenen. Sowohl am Laufband als auch am Ergometer hatten die Erwachsenen nach den Sprints signifikant höhere Laktatwerte als die Kinder. Es zeigte sich aber auch, dass die maximale Leistung bei den Kindern nach den Sprints am Laufband mehr als am Ergometer abnahm und signifikant höhere Laktatwerte nach der Belastung am Laufband als am Ergometer gemessen wurden.

Abgesehen davon spielen der Trainingszustand und vor allem die Motivation der Teilnehmer eine entscheidende Rolle. So könnten maximale isometrische Muskelkontraktionen, die länger als 30 Sekunden dauern, besonders bei Kindern zu einem Abfall der Motivation führen und somit das Ergebnis verfälschen (Halin et al.,

2003). Außerdem dürfen beim Vergleich von Studienergebnissen nicht auf das Alter, die Größe, das Gewicht, das Geschlecht und den Reifestatus der Teilnehmer vergessen werden (Ratel et al., 2010).

Allgemein gilt gesichert, dass die Blutlaktatkonzentration nach Belastung mit dem Alter zunimmt. Lange galt die Hypothese, dass die Zunahme der glykolytischen Fähigkeit mit den hormonellen Veränderungen während der sexuellen Reifung und des Wachstums zusammenhängt (Van Praagh & Dore, 2002). Falgairette et al. (1991), Mero (1988) und Inbar & Bar-Or (1986) fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen Blutlaktatkonzentration nach Belastung und Testosteronspiegel. Allerdings korreliert der Testosteronspiegel stark mit Körpergewicht und Körpergröße. Daher sollten diese Faktoren aufgeteilt werden, wenn man Beziehungen zwischen Testosteronspiegel und anaerober Leistungsfähigkeit aufstellt (Van Praagh & Dore, 2002). Welsman et al. (1994) und Armstrong et al. (1997) untersuchten den Einfluss der Körpergröße separat und konnten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Testosteronspiegel in den Speicheldrüsen und der Blutlaktatkonzentration nach maximalen und supramaximalen Belastungen finden.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Testosteronspiegel nur einen geringen Einfluss auf die anaerobe Leistungsfähigkeit hat und stellen somit die alte Hypothese sehr in Frage.

4.1.1. Säure- Basen Regulation

Die Säure- Basen Regulation spielt eine wichtige Rolle bei der anaeroben Glykolyse, da die Laktatkapazität im Wesentlichen durch die maximal tolerierbare Azidose limitiert ist (Hohmann et al., 2007, S 53). Matejkova et al. (1980) gingen davon aus, dass die geringere anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern aus einer geringeren Fähigkeit maximale Azidose Levels zu erreichen, resultiert. Sie untersuchten die pH Reaktion nach maximaler Belastung bei 103 Buben im Alter von 12-15 Jahren. Die Ergebnisse zeigten einen altersabhängigen Abfall der pH- Reaktion nach maximaler Belastung. Die Autoren deuteten darauf hin, dass das maximale Azidose Level mit dem Alter steigt. Hebestreit et al. (1996) untersuchten den venösen Blut pH Wert nach 30 Sekunden supramaximaler Belastung am Fahrradergometer bei 10- jährigen Buben und 25- jährigen Erwachsenen. Die Kinder erreichten einen pH- Wert von 7,32 und die Erwachsenen einen Wert von 7,18. Außerdem stellten sie fest, dass die Wasserstoff- Ionen Konzentration im Plasma bei Erwachsenen mehr anstieg, das wiederum auf eine geringere glykolytische Kapazität bei Kindern hindeutet. Aufgrund dieser Ergebnisse stellte Ratel et al. (2002) die Hypothese auf, dass bei Kindern der geringere pH Abfall verglichen mit dem Laktatanstieg aus einer

größeren Wasserstoff- Ionen (H^+) Pufferkapazität von Bicarbonat-Ionen (HCO_3) und Plasmaproteinen und/oder aus einem anderen zeitlichen Verlauf der Regulation des arteriellen Partialdrucks von Kohlendioxid (Pa_{CO_2}) durch Ventilation (V_E) resultieren könnte. Ziel der Studie von Ratel et al. (2002) war die Säure- Basen Balance während mehrerer wiederholter, kurzer, hochintensiver Belastungen mit kurzen Pausen dazwischen am Radergometer bei Buben und Männern zu untersuchen.

Dazu wurden 8- 10- jährige physisch aktive Buben und 19-21- jährige Männer ausgewählt, bei denen Körpergewicht, Körpergröße, Körperfettanteil und der Reifestatus bestimmt wurden. Die Probanden absolvierten zehn 10 Sekunden Sprints am Ergometer mit 30 Sekunden Erholungsintervallen zwischen den Belastungen. Dazu wurde in Ruhe, nach dem 2., 4., 6., 8. und 10. Sprint Blut abgenommen, um Laktat, H^+ , HCO_3 , Basenüberschuss Konzentration und Pa_{CO_2} zu bestimmen. Dazu wurden kontinuierlich V_E und CO_2 Ausstoß gemessen. Die Resultate zeigten, dass sich die VO_{2max} zwischen den Buben und Männern nicht signifikant unterschied. Bei den Buben blieb die maximale Leistung (PP) während den 10 Sprints unverändert, während die maximale Leistung bei den Erwachsenen vom ersten bis zum zehnten signifikant (28,5%) abnahm.

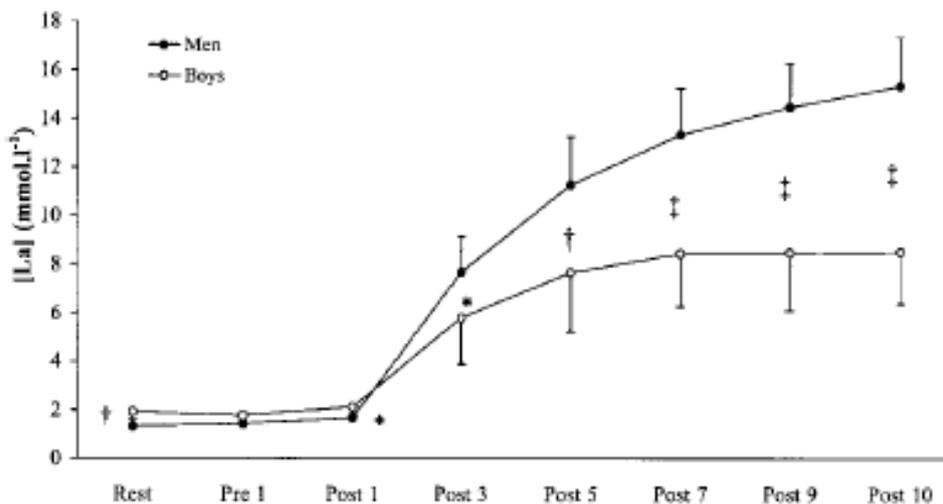


Abb. 3: Blutlaktatkurve während den 10 Sprints bei Buben und Männern (nach Ratel et al., 2002).

Bei den Buben stieg das Blutlaktat von 1.9 ± 0.3 mmol/l in Ruhe auf 8.1 ± 2.3 mmol/l nach dem 7. Sprint und blieb bis zum 10. Sprint (8.5 ± 2.1 mmol/l) unverändert. Bei den Männern stieg das Blutlaktat kontinuierlich von 1.3 ± 0.5 mmol/l auf 15.4 ± 2.0 mmol/l nach dem letzten Sprint. Nach dem ersten Sprint war das Blutlaktat bei den Buben leicht höher als bei den Männern, allerdings war es ab dem dritten bis zum zehnten Sprint signifikant geringer als bei den Männern.

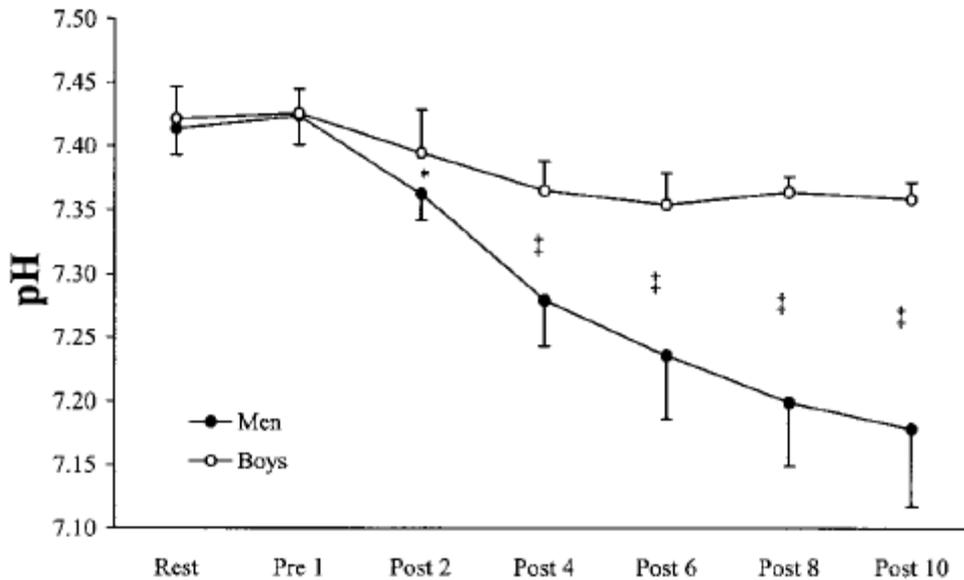


Abb. 4: Blut pH Verlauf während den 10 Sprints bei Buben und Männern (nach Ratel et al., 2002).

Bei den Buben erhöhte sich H^+ signifikant von 37.9 ± 2.2 nmol/l auf 44.3 ± 2.6 nmol/l nach den sechsten Sprint und blieb bis zum zehnten (43.8 ± 1.3 nmol/l) unverändert. Der pH Wert fiel von 7.42 ± 0.02 in Ruhe auf 7.36 ± 0.01 nach dem zehnten Sprint. Bei den Männern stieg H^+ auch signifikant an (von 38.6 ± 1.8 nmol/l auf 66.9 ± 9.9 nmol/l). Der pH Wert sank von 7.41 ± 0.02 auf 7.18 ± 0.06 und war nach dem zweiten bis zum zehnten Sprint signifikant niedriger als bei den Buben.

Außerdem zeigten signifikante Korrelationen, dass für eine vorhandene Laktatkonzentration, H^+ bei den Buben niedriger war als bei den Erwachsenen. Signifikante Korrelationen deuteten auch darauf hin, dass für eine vorhandene Laktatkonzentration, HCO_3^- und Basenüberschuss Konzentration bei beiden Gruppen ähnlich waren. Zudem war das Verhältnis von Ventilation zu CO_2 Ausstoß während den ersten fünf Regenerations- Intervallen bei den Buben und während den letzten fünf Sprints bei den Männern höher.

Die Ergebnisse zeigten, dass Kinder während wiederholten Sprints ihre Wasserstoffionen besser regulieren als Erwachsene. Die Autoren erklärten das mit der Tatsache, dass Kinder während den ersten fünf Pausen mehr als Erwachsene ventilieren, um die vorhandene Menge an Kohlendioxid auszuatmen, sodass sie ihren arteriellen Partialdruck von Kohlendioxid auf ein niedrigeres Level regulieren können. Dies bedeutet, dass die Regulierung der Ventilation bei der Veränderung der Säure- Basen Balance ausgelöst durch Azidose während den ersten fünf Pausen bei Kindern wichtiger als bei Erwachsenen ist.

Um nach kurzen intensiven Belastungen schnell wieder maximale Leistung erbringen zu können, spielt eine optimale Regeneration eine wichtige Rolle. Diese hängt auch stark von der CrP- Resynthese ab, die im Zusammenhang mit der oxidativen Muskelaktivität steht. Das heißt Personen mit einem hohen oxidativen Stoffwechsel (ausgeprägtes Kapillarnetz, hohe aerobe Enzymaktivität und größerer Anteil an Typ I- Fasern) können ihre CrP Speicher schneller wieder regenerieren und so der eintretenden Ermüdung bei wiederholten Sprints einfacher widerstehen. Bei gleicher relativer Belastungsintensität verlassen sich Kinder mehr als Erwachsene auf ihren aeroben Stoffwechsel, um den Energiebedarf zu decken (Bogdanis et al., 1996).

Taylor et al. (1997) zeigten mithilfe ^{31}P NMRS, dass die Dauer um 50% des ursprünglichen CrP Wertes nach intensiven Belastungen wiederzuerlangen bei Kindern signifikant geringer als bei Erwachsenen ist (12 ± 4 vs. 27 ± 8 Sekunden). Die Autoren berichteten auch von zweimal höheren Werten bei der Startgeschwindigkeit der CrP- Resynthese bei Kindern (63 ± 33 vs. 34 ± 13 mmol/L/min). Außerdem erhielten sie auch eine größere aerobe Kapazität bei den Kindern, das ebenfalls auf eine bessere Ausstattung für den oxidativen Stoffwechsel hindeutet. Aufgrund der höheren oxidativen Muskelaktivität der Kinder könnte die schnellere Regeneration durch die schnellere Wiederherstellung der CrP Speicher nach intensiven Belastungen erklärt werden.

4.1.2. Abtransport von Stoffwechselprodukten

Bei hohen glykolytischen Arbeitsraten steigen das Muskellaktat und die H^+ - Ionen bei Kindern und vor allem bei Erwachsenen stark an. Die Laktatansammlung und die gleichzeitige Abnahme des pH Wertes induzieren Muskelermüdung und sind teilweise mit einer abgeschwächten ATP Produktion verbunden. Deshalb sind der Abtransport von Muskellaktat und H^+ - Ionen von grundlegender Bedeutung für die Muskelfunktion und spielen eine entscheidende Rolle bei wiederholten supramaximalen Belastungen (Thomas et al., 2004). Kuno et al. (1995) und Petersen et al. (1999) deuteten darauf hin, dass der Abtransport von Laktat und H^+ - Ionen in den Muskeln von Kindern schneller sein könnte. Sie begründen dies mit einer geringeren Ansammlung von Laktat und H^+ - Ionen in der Muskulatur von Kindern. Juel (2001) widerlegte diese Hypothese und ging davon aus, dass eine höhere Laktatkonzentration bei Kindern in den Typ I- Fasern oxidiert wird und eine größere Ansammlung von H^+ - Ionen zur Produktion von ATP im aeroben Stoffwechsel verwendet wird. Pilegaard et al. (1999) zeigten nämlich in menschlichen Muskelproben, dass der Gehalt an Typ I Monocarboxylat Transportern (MCT1s) positiv mit dem Verhältnis von Typ I- Muskelfasern korreliert. Diese MCT1s sind Proteine, die den Membrantransport zwischen Laktat und H^+ - Ionen vermitteln. Da der Anteil an Typ I-

Fasern bei Kindern höher als bei Erwachsenen ist, ist es möglich, dass der Transport von Laktat und H^+ - Ionen durch MCT1s über die Membran von Typ I- Fasern bei Kindern höher ist. Dies würde bedeuten, dass die Oxidation von Laktat sowie die Nutzung von H^+ - Ionen in Typ I- Fasern bei Kindern höher als bei Erwachsenen sein könnte. Die Autoren führen aber auch an, dass viel auf Spekulation beruht und weitere Untersuchungen vonnöten sind (Pilegaard et al., 1999).

4.2. Muskelmetabolismus

Mehrere Untersuchungen zeigten, dass die körpereigenen ATP Speicher unabhängig von der Entwicklungsstufe sind und sich nicht zwischen Kindern und Erwachsenen unterscheiden (Ratel et al., 2006). So untersuchten bereits Lundberg et al. (1979) in ihrer Studie „Metabolic substrates, muscle fiber composition, and fiber size in late walking and normal children“ unter anderem die ATP Speicher bei Kindern. Dazu maßen sie die ATP Konzentration in der Oberschenkelmuskulatur bei 25 gesunden Kindern zwischen 2 Monaten und 11 Jahren und erhielten Werte von $4,47 \pm 0,92$ mmol/kg. Dabei konnten sie keinen Zusammenhang zwischen ATP und dem Alter feststellen. Im Vergleich dazu wurde bei einer Gruppe von 20 jährigen Männern eine Konzentration von $3,8 \pm 0,2$ mmol/kg gemessen und somit konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen festgestellt werden. Auch Eriksson und Saltin (1974) und Ferretti et al. (1994) berichteten von vergleichbaren ATP Konzentrationen in Ruhe bei Kindern und Erwachsenen unabhängig von Körpergröße, Entwicklung oder Kapazitäten des aeroben und anaeroben Metabolismus. Die Ruhewerte des CrP zeigten eine Tendenz zum Anstieg mit dem Alter. Dazu berichteten Eriksson und Saltin (1974) auch von einem Anstieg des Glykogenspeichers in der Oberschenkelmuskulatur und einer gesteigerten Glykogenutilisationsrate mit dem Alter während Belastung. Die angeführten Studien verwendeten alle Muskelbiopsien zur Untersuchung des Muskelstoffwechsels. Da diese Art der Untersuchung sehr aufwendig und invasiv war, wurden Muskelbiopsien durch nicht invasive Magnetresonanzspektroskopien (^{31}P NMRS) abgelöst. Mithilfe dieser neuen Untersuchungsmethode konnten intrazelluläre anorganische Phosphate (Pi), CrP, ATP und pH in Ruhe, sowie während und nach einer Belastung gemessen werden. Die folgende Studie von Zanconato et al. (1993) verwendete die neue ^{31}P NMRS Technologie. Sie verglichen die eben erwähnten intramuskulären Parameter in der Wadenmuskulatur in Ruhe, während und nach ansteigender Belastung zwischen 10 vorpubertären Kindern und 8 Erwachsenen. In Ruhe konnte kein signifikanter Unterschied bei pH, Pi/CrP und CrP/ATP zwischen Kindern und Erwachsenen festgestellt werden. Die Werte nach der Belastung zeigten allerdings, dass die Erwachsenen signifikant höhere Leistungen als die

Kinder erbrachten und der Pi/CrP Quotient sowie der pH Wert bei den Erwachsenen signifikant geringer waren. Die Untersucher teilten den Belastungstest in eine niedrig- und hoch- Intensitätsphase. Dabei konnte bei niedriger Intensität kein signifikanter Unterschied im Anstieg der Pi/CrP Werte zwischen Kindern und Erwachsenen beobachtet werden. In der Phase mit hoher Intensität zeigten sich signifikant höhere Pi/CrP Werte und ein signifikant höherer Abfall des pH Wertes bei Erwachsenen. Der Anstieg der Pi/CrP Werte ist bezeichnend für die anaerobe Glykolyse bei intensiver Belastung und der Abfall des pH Wertes weist auf eine deutlich höhere Übersäuerung bei Erwachsenen hin. Die Kinder erreichten während der Belastung nur 27% der Pi/CrP Werte der Erwachsenen und hatten lediglich einen geringen Abfall des pH Wertes. Die Autoren begründeten die ähnliche Reaktion bei niedriger Intensität mit einer ähnlichen Rate des oxidativen Stoffwechsels bei Kindern und Erwachsenen. Die Unterschiede bei höherer Intensität begründen Zanconato et al. (1993) mit einer möglicherweise höheren oxidativen Phosphorylierungsgeschwindigkeit im Muskel bei Kindern, die durch eine größere Sauerstoffzufuhr aus dem Kapillarblut und einer höheren Mitochondriendichte erklärbar sein könnte. All diese Faktoren weisen auf eine höhere sauerstoffabhängige ATP Erzeugung bei hochintensiven Belastungen bei Kindern hin. Daraus schlossen die Autoren, dass die glykolytische Fähigkeit von Kindern nicht ausreichend ist um die Energieanforderungen bei hochintensiven Belastungen zu erfüllen und sie folglich früher ermüden. Kuno et al. (1995) untersuchten ebenfalls mithilfe ^{31}P NMRS den Muskelstoffwechsel in der vorderen Oberschenkelmuskulatur. Sie verglichen 12 bis 15-jährige untrainierte und trainierte Buben mit untrainierten Erwachsenen nach Absolvierung eines Stufentests. Dabei wurden signifikant niedrigere pH und CrP Werte nach Belastung bei den Erwachsenen im Vergleich zu den beiden Bubengruppen gefunden und bestätigten somit die Ergebnisse von Zanconato et al. (1993). Zwischen den untrainierten und trainierten Buben gab es interessanterweise keine Unterschiede bei den metabolischen Ergebnissen.

Auch Taylor et al. (1997) untersuchten die metabolische Reaktion in der Wadenmuskulatur bei Kindern (6-12 Jahre), jungen Erwachsenen (20-29 Jahre) und Senioren (70-83 Jahre). Die Ergebnisse zeigten ebenfalls höhere pH- Werte und eine höhere oxidative Kapazität während Belastung und eine schnellere Regeneration des metabolischen Stoffwechsels nach Belastung bei Kindern im Vergleich zu den Erwachsenen. Die Autoren vermuteten, dass Kinder bei gleicher relativer Intensität ihre Energie mehr über den oxidativen Stoffwechsel, als über die anaerobe Glykolyse erhalten.

Der Reifestatus der Kinder wurde allerdings in den drei zuvor angeführten Studien nicht angegeben. Unter Berücksichtigung des chronologischen Alters (Bereich 6-15 Jahre) der Buben, sind signifikante Schwankungen im Reifestatus der Buben zu vermuten. So blieb der Einfluss der Reife auf den Muskelstoffwechsel weiterhin unbekannt (Petersen, 1999). Eine weitere Studie von Petersen et al. (1999) untersuchte vorpubertäre und pubertäre Schwimmerinnen, wobei hier auch mithilfe der Tanner- Klassifikation der Reifestatus der Kinder bestimmt wurde. Auch die anthropometrischen Daten, die die Körpergröße, das Gewicht, den Wadenumfang und die Muskelquerschnittsfläche des zweiköpfigen Wadenmuskels (m. gastrocnemius) beinhalteten, waren zwischen den beiden Gruppen signifikant unterschiedlich. Ziel der Studie war die Bioenergetik in der Wadenmuskulatur bei trainierten vorpubertären und pubertären Mädchen mithilfe ^{31}P NMRS zu untersuchen. Dazu wurde die maximale Leistung bei der Plantarflexion (100% MVC) mithilfe eines Stufentests bestimmt. Einige Tage später wurde die gleiche Übung zwei Minuten bei submaximaler (40% MVC) und zwei Minuten bei supramaximaler (140% MVC) Belastung durchgeführt. Die Ergebnisse konnten keine signifikanten Unterschiede bei Pi/CrP und pH in der Wadenmuskulatur zwischen vorpubertären und pubertären Schwimmerinnen feststellen. Die pubertären Schwimmerinnen hatten zwar eine größere absolute Leistung. Als die beiden Untersuchungsgruppen allerdings um die Muskelmasse bereinigt wurden, gab es weder bei submaximaler noch bei supramaximaler Belastung deutliche Unterschiede.

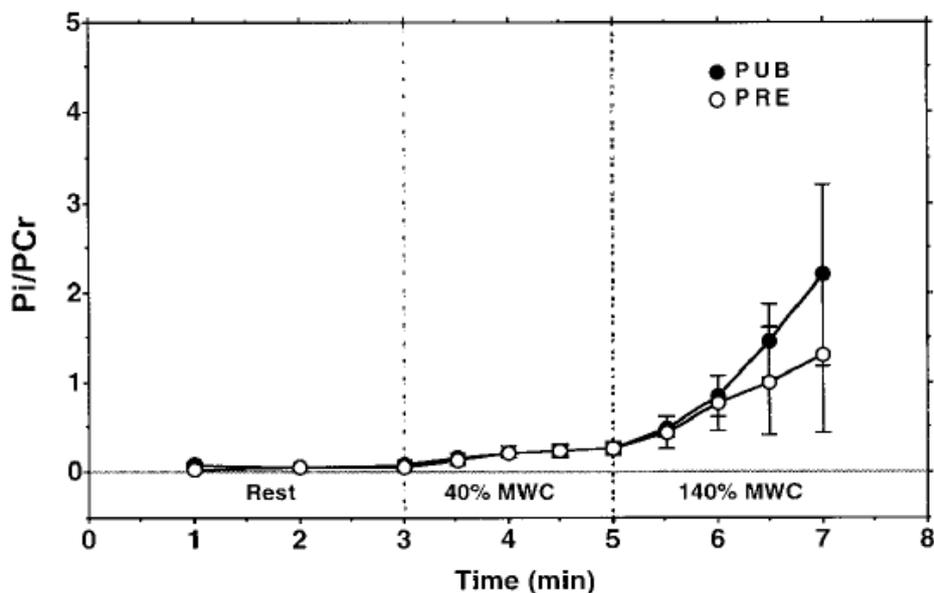


Abb. 5: Pi/CrP Werte in Ruhe, bei submaximaler (40% MVC) und supramaximaler (140% MVC) Belastung (nach Petersen et al., 1999).

Bei beiden Gruppen stiegen die Pi/CrP Werte langsam, aber kontinuierlich während submaximaler Belastung an. Die supramaximale Belastung löste einen steileren Anstieg der Pi/CrP Werte aus, welcher aber wiederum bei beiden Gruppen zu beobachten war.

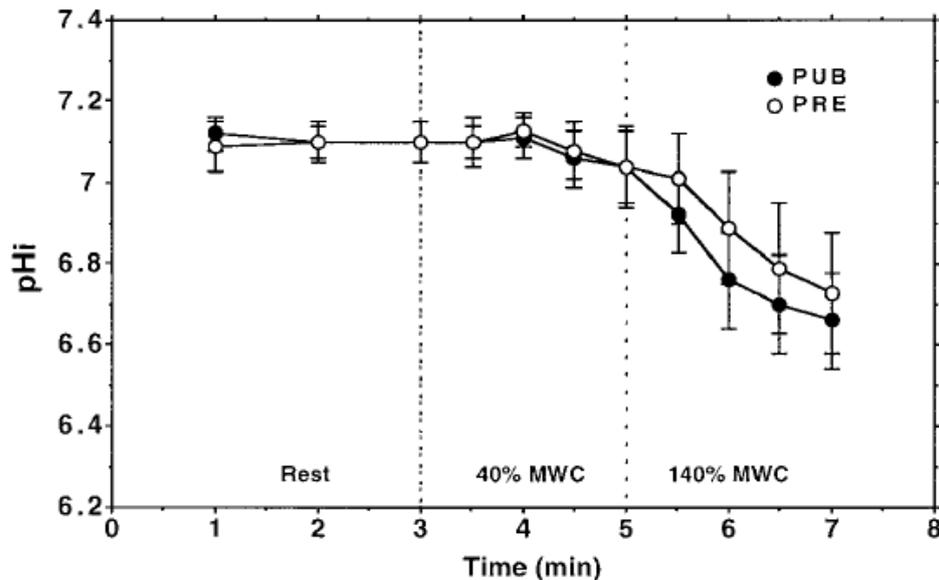


Abb. 6: pH Werte in Ruhe, bei submaximaler (40% MVC) und supramaximaler (140% MVC) Belastung (nach Petersen et al., 1999).

Bei den pH Werten zeigte sich ein ähnliches Bild. Bei submaximaler Belastung kam es zu einem minimalen Abfall des pH Wertes, während bei supramaximaler Belastung ein größerer Abfall in beiden Gruppen zu erkennen war. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass der anaerobe Stoffwechsel bei physisch aktiven Kindern unabhängig von der Reife ist.

Barker et al. (2010) jedoch äußerten methodologische Bedenken an den oben angeführten Studien, die die Wadenmuskulatur untersuchten. So kritisierten sie, dass bei den kleineren Teilnehmern das ^{31}P NMRS Signal mehr den Schollenmuskels (m. soleus) darstellt, der aus 80% bis 90% aus langsamen Muskelfasern besteht und somit das Ergebnis verzerrt wird. So untersuchten Barker et al. (2010) die Hypothese, dass der Muskelstoffwechsel bei Kindern (9-12 Jahre) und jungen Erwachsenen bei steigender Oberschenkelmuskelbelastung von Alter und Geschlecht abhängig ist. 15 Buben, 18 Mädchen, 8 Männer und 8 Frauen absolvierten einen Oberschenkel Stufentest bis zur Erschöpfung um die metabolische Reaktion mithilfe ^{31}P NMRS zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigten, dass alters- und geschlechtsabhängige Unterschiede im Muskelstoffwechsel zwischen Kindern und Erwachsenen bei steigender Belastung der Oberschenkelmuskulatur von der Intensität abhängig sind. So waren die oxidativen Kapazitäten der Oberschenkelmuskulatur bei niedriger Intensität zwischen Kindern und

Erwachsenen und auch zwischen den Geschlechtern auffallend ähnlich. Im Gegensatz dazu wurden bei hoch intensiven Belastungen alters- und geschlechtsabhängige Unterschiede im Muskel Phosphat und der pH Reaktion offenbart. Das äußerte sich in einem geringeren Anstieg des Pi/CrP Quotienten und einem geringeren Abfall des pH Wertes während intensiver Belastung bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich interessanterweise bei den Jungen verglichen mit den Mädchen, das mit der fortgeschrittenen Reife der Mädchen in diesem Alter erklärt wird. Die Mechanismen für die alters-und geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Muskel-Energetik sind weitestgehend unbekannt, könnten aber aus einer veränderten Sauerstoffversorgung der Muskeln und / oder veränderter Muskelfaser-Typ Rekrutierungsmuster während hoher Intensität resultieren (Barker et al., 2010).

Zusammenfassend zeigten die angeführten Studien, dass die ATP- und CrP Konzentrationen in der Muskulatur in Ruhe bei Kindern und Erwachsenen ähnlich sind. Nur Eriksson und Saltin (1974) berichteten von höheren CrP Werten in Ruhe und größeren Glykogenspeichern bei Erwachsenen. Des Weiteren zeigten die Untersuchungen, dass hohe Belastungsintensitäten bei Kindern einen geringeren pH Abfall erzeugen und der Pi/CrP Quotient während intensiver Belastungen bei Kindern weniger ansteigt als bei Erwachsenen. Dies deutet daraufhin, dass die anaerob alaktaziden Energiereserven bei Kindern weniger ausgeschöpft werden. Die Studien von Zanconato et al. (1993), Kuno et al. (1995) und Taylor et al. (1997) weisen auf einen Zusammenhang zwischen Stoffwechsel und Reifegrad hin, da ihre Ergebnisse eine geringere glykolytische Aktivität bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zeigten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die untersuchten Kinder nach chronologischem Alter zugeordnet und nicht der Reifestatus bestimmt wurde. Dies machten Petersen et al. (1999) und fanden keine signifikanten Unterschiede in der glykolytischen Aktivität zwischen vorpubertären und pubertären Schwimmerinnen. Im Gegensatz zu den oben angeführten Studien aber untersuchten Petersen et al. (1999) trainierte Mädchen. Die neueste Studie von Barker et al. (2010), die untrainierte Kinder untersuchte und auch den Reifestatus bestimmte, zeigte, dass alters-und geschlechtsspezifische Unterschiede von der Intensität abhängig sind.

4.2.1. Metabolische Enzymaktivität

Die anaerobe Enzymkonzentration- und aktivität wird in der Literatur als eine mögliche Ursache für die geringere anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit bei Kindern gesehen. Einige Studien untersuchten mittels Muskelbiopsien die Aktivität der metabolischen Enzyme, wobei die meisten ihr Hauptaugenmerk auf das Schlüsselenzym

der anaeroben Glykolyse, der Phosphofruktokinase (PFK) legten (Berg & Keul, 1988). So untersuchten bereits Eriksson et. al. (1973) die Ruheaktivität der Phosphofruktokinase und des oxidativen Enzyms Succinatdehydrogenase (SDH) bei 13 Buben im Alter von 11 bis 13 Jahren. Beim Vergleich ihrer Werte mit den Ergebnissen von Gollnick et. al. (1972), die inaktive Erwachsene untersuchten, zeigten sich deutliche Unterschiede. Die Ruheaktivität des SDH war um rund 20% höher bei den Jungen, wobei die Ruheaktivität des PFK um mehr als 50% höher bei den Erwachsenen war. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Berg & Keul in ihrer Studie „Biochemical changes during exercise in children“ im Jahr 1988. Sie untersuchten die biochemischen Unterschiede in den Muskeln von Kindern, die in drei verschiedene Altersgruppen (4-8 Jahre, 12-14 Jahre, 16-18 Jahre) unterteilt wurden. Dazu verwendeten sie Muskel-Biopsie-Proben vom vorderen Oberschenkelmuskel (vastus lateralis) und untersuchten die mit dem glykolytischen Stoffwechsel in Verbindung gebrachten Enzyme Aldolase, Pyruvatkinase und Laktatdehydrogenase. Die Ergebnisse zeigten, dass die Konzentration der oben genannten glykolytischen Enzyme bei den 4 bis 8-jährigen geringer als bei den beiden älteren Gruppen war.

Im Gegensatz zu diesen beiden Studien konnte Haralambie (1982) keine Unterschiede in der Konzentration von 10 glykolytischen Enzymen im vastus lateralis bei sieben Mädchen im Alter von 13-15 Jahren verglichen mit Erwachsenen feststellen. Dies könnte aber verglichen mit den Ergebnissen von Eriksson et al. (1973) auf den unterschiedlichen Reifestatus der beiden Gruppen zurückzuführen sein.

So untersuchten auch Kaczor et al. (2005) die Auswirkungen des Alters auf die Aktivität von Marker Enzymen des anaeroben und aeroben Stoffwechsels bei relativ inaktiven Kindern und Erwachsenen. Dazu wurde die seitliche Bauchmuskulatur (m. obliquus internus abdominis) auf anaerobe und aerobe Enzymaktivität bei 32 männlichen Probanden untersucht. Die Probanden wurden in eine Kindergruppe (3-11 Jahre, n=20) und in eine Erwachsenenengruppe (29-54 Jahre, n=12) aufgeteilt.

Anaerobe Enzyme waren Laktatdehydrogenase (LDH), Kreatinkinase (CK) und Adenylatkinase (AK). Aerobe Enzyme waren Karnitin Palmitoyltransferase (CPT) und 2-oxoglutarate Dehydrogenase (OGDH).

Anaerobe Enzymaktivität:

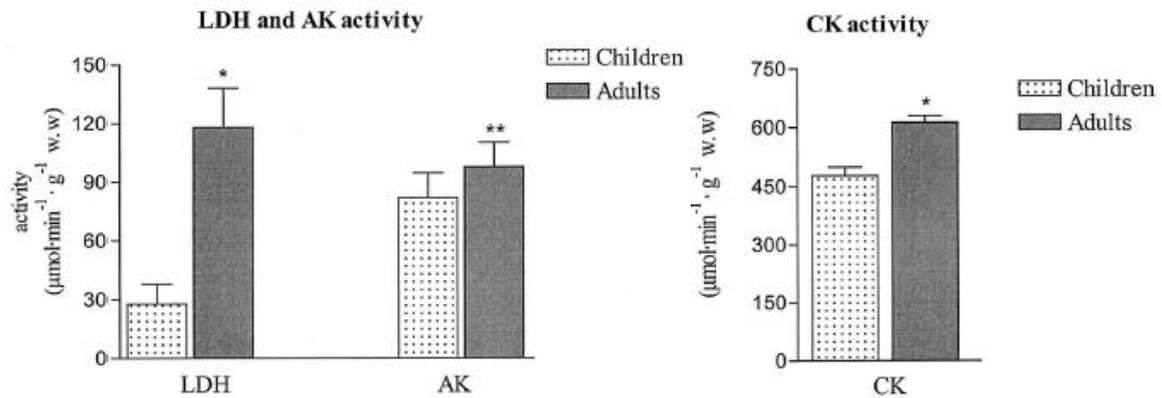


Abb. 7: LDH-, AK- und CK- Aktivität bei Kindern und Erwachsenen (nach Kaczor et al., 2005).

Die Ergebnisse zeigen, dass die LDH- Aktivität bei Erwachsenen vielmal höher als bei Kindern ist. Auch die AK- Aktivität war bei den Kindern um 20% und die CK- Aktivität um 28 % niedriger als bei den Erwachsenen. Somit konnte ein signifikanter Unterschied bei den drei anaeroben Enzymen zwischen Kindern und Erwachsenen festgestellt und die Zunahme der anaeroben Enzymaktivität mit dem Alter bestätigt werden.

Aerobe Enzymaktivität:

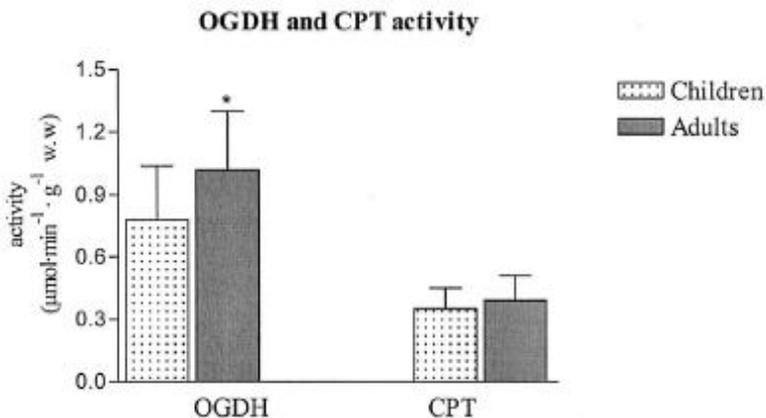


Abb. 8: OGDH- und CPT- Aktivität bei Kindern und Erwachsenen (nach Kaczor et al., 2005)

Die OGDH- Aktivität, die ein Schlüsselfaktor im Citratzyklus ist, war bei den Kindern signifikant geringer als bei der Erwachsenenengruppe. Die CPT- Aktivität, die für den mitochondrialen Lipidtransport verantwortlich ist, zeigte allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen. Somit wurde die Annahme von einer höheren CPT- Aktivität bei Kindern und einer ähnlichen OGDH- Aktivität in beiden Gruppen widerlegt. Dies war insofern überraschend, da bekannt ist, dass Kinder proportional mehr Fett als Erwachsene bei submaximalen Belastungen verbrennen.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden auch die Verhältnisse von CPT zu LDH und von CPT zu OGDH analysiert. Außerdem wurden die Proben bezogen auf den Proteingehalt relativiert.

Tab. 1: Verhältnisse von CPT/LDH und von CPT/OGDH bei Kindern und Erwachsenen

Ratio	Children (n = 16)	Adults (n = 12)
CPT/LDH	0.0132 ± 0.0048	0.0034 ± 0.0012*
CPT/OGDH	0.46 ± 0.13	0.39 ± 0.09

Quelle: Kaczor et al. (2005)

Hier zeigte sich, dass das Verhältnis von CPT zu LDH bei Kindern dreimal höher war und sich damit signifikant von den Erwachsenen unterschied. Auch das Verhältnis der beiden aeroben Enzyme (CPT/OGDH) war bei Kindern tendenziell höher (16%) als bei Erwachsenen, allerdings nicht signifikant.

Als die aeroben und anaeroben Enzymaktivitäten relativ zum Gesamtproteingehalt ausgedrückt wurden, blieb lediglich in der LDH- Aktivität ein signifikanter Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen. Dies wurde jedoch etwas in Frage gestellt, da angenommen wird, dass die Leistungsfähigkeit eher von der Muskelmasse als vom Proteingehalt abhängt.

Diese Ergebnisse zeigen eine geringere anaerobe Enzymaktivität bei Kindern und deuten darauf hin, dass Kinder mehr Fette während Belastung verbrennen.

Die angeführten Studien von Eriksson et al. (1973), Berg & Keul (1988) und Kaczor et al. (2005) weisen darauf hin, dass die geringere anaerobe Enzymaktivität bei Kindern eine Rolle für die geringere anaerobe Kapazität und Leistungsfähigkeit spielt, diese jedoch nicht allein dadurch erklärbar ist.

5. Muskelcharakteristiken und Entwicklung der Kraft im Wachstum

5.1. Krafftigkeiten

Kraft im biologischen Sinn ist die Fähigkeit des Nerven- und Muskelsystems durch Muskeltätigkeit Widerstände zu halten (statisch bzw. isometrisch), nachzugeben (dynamisch-exzentrisch) oder zu überwinden (dynamisch-konzentrisch). Die Krafftigkeit ist die energetische Basis für alle sportlichen Leistungen, bei denen die beanspruchten

Muskeln mehr als etwa 30 % ihrer maximal verfügbaren Kraft einsetzen müssen (Schnabel et al., 2011, S 158). Es werden verschiedene Krafftfähigkeiten unterschieden, die über die resultierende Muskelkraft bestimmt werden, die sich aus der Kontraktion der an einer Bewegung beteiligten Muskeln ergibt. Die Kraft erscheint als Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer, wobei jeder Erscheinungsform andere biologische Bedingungen zugrunde liegen (Hohmann et al., 2007, S 65).

5.1.1. Maximalkraft

Maximalkraft ist die höchstmögliche Kraft, die das neuromuskuläre System bei maximaler willkürlicher Kontraktion ausüben kann. Die Maximalkraft wird durch den physiologischen Muskelquerschnitt, die Muskelfaserzusammensetzung und die willkürliche Aktivierungsfähigkeit determiniert (Steinhöfer, 2003, S 170).

5.1.2. Schnellkraft

Schnellkraft ist die Fähigkeit einen möglichst hohen Impuls in möglichst kurzer Zeit zu entfalten. Somit besteht bei der Schnellkraft eine gewisse Abhängigkeit von der Maximalkraft, die jedoch umso geringer ist, je geringer der äußere Widerstand ist (Hohmann et al., 2007, S 78).

5.1.2. Kraftausdauer

Kraftausdauer ist die Fähigkeit einen Bewegungswiderstand andauernd oder wiederholt bewältigen zu können. Um von einer Kraftausdauerbelastung sprechen zu können, muss der andauernd oder wiederholt zu bewältigende Bewegungswiderstand mindestens 30 % der Maximalkraft betragen (Hohmann et al., 2007, S 83).

5.2. Muskelstruktur

Es wird angenommen, dass der Ermüdungswiderstand bei wiederholten maximalen willkürlichen Kontraktionen von der Muskelfasertypverteilung einer Person abhängt und vor allem bei hochintensiven intermittierenden Belastungen ein hoher Anteil an Typ II Fasern zu größerer Muskelermüdung führt (Hamada et al., 2003). Aufgrund der invasiven Untersuchungsmethoden wie Biopsien oder Autopsien liegen leider nur wenige Studien vor, die die Muskelfaserzusammensetzung untersuchten.

So zeigten Colliander et al. (1988) bei 26-jährigen Männern, die 3 Serien von 30 maximalen Knie-Streckungen bei einer Minute Erholung dazwischen absolvierten, dass die Abnahme des maximalen Drehmoments bei Personen mit einem höheren Anteil an

Typ II Fasern höher war als bei Personen mit einem höheren Anteil an Typ I Fasern (Ermüdungsindex: -28% vs. -10%). Die Autoren weisen darauf hin, dass die Ermüdung während dieser Art von Belastung mit der Unfähigkeit der Typ II Fasern, die erforderlichen sehr hohen ATP- Resyntheseraten aufrechtzuerhalten, zusammenhängen könnte.

Es wird allgemein angenommen, dass die Muskelfaserzusammensetzung genetisch bedingt ist. Elder & Kakulas (1993) meinen, dass es bei der Geburt einen relativ hohen Anteil (10-20%) an undifferenzierten Typ II Fasern gibt. Sie gehen davon aus, dass sich nach der Geburt der Anteil an Typ I Fasern sehr schnell erhöht, während der Anteil an Typ II Fasern abnimmt. So soll bereits im Alter von einem Jahr fast der gleiche Anteil an Typ I Fasern wie bei Erwachsenen erreicht werden. Nach Elder & Kakulas (1993) scheint die Muskelfasertypdifferenzierung bereits wenige Jahre nach der Geburt weitgehend abgeschlossen zu sein. Bell et al. (1980) demonstrierten, dass schon im Alter von 6 Jahren das histochemische Profil ähnlich eines jungen Erwachsenen ist und nur wenig Unterschied in der Muskelfaserverteilung in der Kindheit zwischen den Geschlechtern herrscht. Basierend auf den wenig verfügbaren Studien scheint es einen höheren Anteil an Typ I- und Typ II Fasern während der Adoleszenz im Vergleich zum Erwachsenenalter zu geben (Colling-Saltin, 1980). Im Gegensatz dazu berichtet Jansson (1996), dass Kinder einen höheren Anteil an Typ I Fasern besitzen. Dafür scheint der Anteil an Typ II Fasern in der Kindheit geringer zu sein und erst während des späten Jugendalters Erwachsenen Proportionen zu erreichen. Außerdem weist Jansson (1996) auch auf einen größeren Anteil an Typ IIa Fasern als Typ II Fasern während der Kindheit und Jugend hin.

Jansson (1996) überprüfte mehrere Studien und geht von einem umgekehrten U-Modell bei Männern von der Geburt bis zum 35. Lebensjahr aus. Dies zeigt nämlich einen signifikanten Anstieg im Anteil der Typ I Fasern von der Geburt bis zum 9. Lebensjahr. Danach aber scheint sich der Anteil an Typ I Fasern zu verringern und ist bei 19- jährigen Jugendlichen signifikant niedriger als bei 9- jährigen Kindern. Bei den Frauen konnte der Autor keine klare Korrelation zwischen Alter und Typ I Faser Anteil feststellen. Lexell et al. (1992) zeigten, dass der Anteil an Typ I Fasern von rund 65 Prozent im Alter von 5 Jahren auf 50 Prozent im Alter von 20 Jahren sinkt. Auch Oertel (1988) zeigte, dass der Anteil an Typ I Fasern im vastus lateralis von 54 Prozent im Alter von 6-10 Jahren auf 47 Prozent im Alter von 10-15 Jahren und auf 42 Prozent im Alter von 15-20 Jahren sinkt. Die Autoren vermuten, dass das Sinken des Anteils an Typ I Fasern durch eine Umwandlung von Typ I- in Typ II Fasern hervorgerufen werden könnte (Lexell et al., 1992). Sale & Spriet (1996) meinen, dass die Belege für Unterschiede in der Muskelfaserzusammensetzung mehrdeutig sind und von den Kriterien nach welchen der

Muskel untersucht wurde, abhängig sind. Weiters weisen sie auf die limitierte Anzahl an Untersuchungen hin, die unterschiedlich großen Teilnehmerzahlen, Muskelbiopsie Probe Fehlern und unzureichende Kontrolle des Aktivitätslevels bzw. des Trainingszustandes der Teilnehmer. Außerdem können inter- individuelle Variationen auch durch Vererbung und Geschlecht erklärt werden. So gibt es große Diskrepanzen in den Studienergebnissen bezüglich der altersbedingten Veränderungen der Muskelfasertyp Verteilung. So bleibt viel Raum für Spekulationen und offene Fragen.

5.3. Muskelgröße

5.3.1. Muskelfasergröße

Die pränatale Muskelwachstumsphase ist gekennzeichnet durch Muskelfaserhyperplasie, während nach der Geburt das Muskelwachstum vor allem auf Muskelhypertrophie zurückgeführt wird. Die Muskelfaserfläche vergrößert sich 15 bis 20- fach von der Kindheit über die Jugend bis zum jungen Erwachsenenalter, wobei die Hälfte des Wachstums bis zum 5. Lebensjahr erfolgt. So soll sich die Muskelfaserfläche in den unteren Extremitäten von der Kindheit bis zur Jugend 20- fach und in den oberen Extremitäten nur 7 bis 12 fach in der gleichen Periode erhöhen (Aherne et al., 1971). Die Muskelfasergröße steigt linear mit dem Alter von der Geburt bis zum Jugendalter an, nachdem Erwachsenenwerte erreicht werden. Einige Querschnittsstudien deuten darauf hin, dass die mittlere Muskelfaserfläche bei Männern bis zum Alter von 25 Jahren steigt (Lexell et al., 1992). Die Längsschnittstudie von Glenmark et al. (1992) wiederum berichtet, dass die maximale Fasergröße sowohl bei Männern als auch bei Frauen im Alter von 16 Jahren ein Plateau erreicht. Vogler & Bove (1985) waren der Meinung, dass die Muskelfaserfläche auch vom untersuchten Muskel abhängt. So waren die Muskelfaserflächen des m. vastus lateralis und des m. gastrocnemius von weiblichen Jugendlichen leicht kleiner als von männlichen Jugendlichen, aber ähnlich groß wie bei weiblichen Erwachsenen. Die Muskelfaserfläche des m. vastus lateralis allerdings vergrößerte sich bei Männern vom Jugendalter bis zum Erwachsenenalter. Während der Schwangerschaft und der frühen Kindheit gibt es eine hohe Korrelation zwischen Muskelfaserfläche und Faserdurchmesser. Colling-Saltin (1980) schrieb von einer Vergrößerung des Faserdurchmessers von der Geburt bis zum Alter von einem Jahr um über 75 Prozent. In weiterer Folge erreicht der Muskelfaserdurchmesser im Alter von einem Jahr 30 Prozent und im Alter von 5 Jahren 50 Prozent des Durchmessers von Erwachsenen. Bei Mädchen erreicht der Faserdurchmesser bereits in der Jugend das Maximum während Buben erst im frühen Erwachsenenalter ihren maximalen Faserdurchmesser erreichen. Natürlich spielen bei

der Fasergröße auch körperliche Inaktivität beziehungsweise körperliches Training eine entscheidende Rolle (Oertel, 1988). So berichtete Lundberg (1980), dass Kinder mit dissoziierter motorische Entwicklung ohne Anzeichen von Störungen des zentralen Nervensystems, niedrigere mittlere Durchmesser der Typ I Fasern und vor allem der Typ II Fasern als normal entwickelte Kinder in der Kontrollgruppe hatten. In der Studie von Jansson & Hedberg (1991) wurde der Zusammenhang zwischen Muskelfasertypen und körperlicher Aktivität bei Jugendlichen untersucht. Dabei hatten Buben eine größere durchschnittliche Muskelfaserfläche als Mädchen. Die Autoren vermuteten eine kombinierte Wirkung von Krafttraining und ein genetisch bedingt größeres Muskelwachstum bei Buben während der Pubertät.

5.3.2. Muskelquerschnittsfläche

Der Zusammenhang zwischen Muskelquerschnittsfläche und Kraftproduktion wurde bereits für viele Muskeln, sowohl unter maximaler willkürlicher Kontraktion als auch unter elektrisch stimulierter Kontraktion, untersucht (Van Praagh & Dore, 2002). Obwohl die Steigerung der Muskelkraft stark mit den Veränderungen der Muskelquerschnittsfläche korreliert, gibt es zahlreiche Fälle, in denen eine Steigerung der Kraft ohne Erhöhung der Muskelmasse auftrat (Blimkie & Sale, 1998). Weltman et al. (1986) untersuchten deshalb in ihrer Studie „The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males“ auch, ob es nach Beendigung des 14-wöchigen Trainingsprogrammes zu körperlichen Veränderungen bei den vorpubertären Jungen kam. Bei anthropometrischen und Körperzusammensetzungsmessungen konnten sie allerdings keine Veränderungen feststellen. Es gab keine signifikanten Unterschiede beim Körperumfang und Hautfaltenmessungen. Die Körperdichte, die mittels hydrostatischer Waage gemessen wurde, blieb ebenfalls unverändert. Auch Ramsey et al. untersuchten in ihrer Studie „Strength training effects in prepubescent boys“ im Jahr 1990 unter anderem, ob es zu anthropometrischen Veränderungen nach einem Krafttrainingsprogramm bei vorpubertären Jungen kam. Die Teilnehmer führten ein 20-wöchiges Krafttrainingsprogramm durch und unterzogen sich vor und nach dem Training einer anthropometrischen Untersuchung. Auch hier konnten keine statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Es gab keine Veränderungen bei der Muskelquerschnittsfläche, weder in der Mitte des Oberarms noch in der Mitte des Oberschenkels. Aufgrund des Mangels an Androgenen im Kindesalter, war es aber nicht überraschend, dass Muskelhypertrophie nicht der ausschlaggebende Grund für Kraftzuwächse im Zuge eines Krafttrainingsprogrammes ist. Deshalb müssen auch

Faktoren wie eine erhöhte Rekrutierung und Aktivierung der motorischen Einheiten sowie die Motivation der Teilnehmer berücksichtigt werden (Blimkie & Sale, 1998).

Kanehisa et al. (1995) zeigten, dass bei Männern die Querschnittsfläche exponentiell bis ins Alter von 17 Jahren ansteigt und im Alter von 20 Jahren ein Plateau erreicht. Bei Mädchen zeigte sich im Alter von 13 bis 17 Jahren eine geringere Zunahme der Querschnittsfläche als bei Buben, wobei die geschlechtsbezogenen Unterschiede mit zunehmendem Alter in den oberen Extremitäten markanter als in den unteren Extremitäten waren. Allerdings verschwanden die alters- und geschlechtsbedingten Unterschiede als die absolute Muskelkraft um die Querschnittsfläche normalisiert wurde. Davies (1985) behauptete, dass objektive Kraftmessungen unabhängig von der Motivation der Teilnehmer sein sollten. Dafür benützte er elektrisch stimulierte Muskelzuckungen und tetanische Spannungen bei supramaximalen Stromspannungen, um die kontraktile Eigenschaften der Wadenmuskulatur (*triceps surae*) bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu messen. Die Ergebnisse zeigten, dass vorpubertäre Buben und Mädchen (9-11 Jahre) die gleiche Kraft hatten und diese mit dem Alter zunahm. Die Jugendlichen waren signifikant stärker als die Kinder, aber schwächer als die Erwachsenen. Allerdings verschwanden die Geschlechts- und Altersunterschiede in der Muskelkraft nachdem sie um die Muskelquerschnittsfläche relativiert wurden. Der Autor schloss daraus, dass Veränderungen der Muskelkraft im Wachstum stark mit der Muskelmasse zusammenhängen und weniger auf entwicklungsbedingten Veränderungen der kontraktile Mechanismen beruht.

Blimkie & Sale (1998) schlossen daraus, dass die Querschnittsfläche, noch vor Alter und Geschlecht, der wichtigste Einflussfaktor für Muskelkraft während des Wachstums ist. Ferretti et al. (1994) untersuchten den Einfluss der Muskelgröße auf kurzzeitige Muskelkraft während des Wachstums. Dabei untersuchten sie die maximale Sprungkraft mit Hilfe einer Kraftmessplatte bei 8 bis 13-jährigen Kindern und 20 bis 35-jährigen inaktiven Erwachsenen. Wie erwartet waren die maximalen Werte bei den Kindern um 65 Prozent niedriger und die Muskelquerschnittsfläche um 45 Prozent geringer als bei den Erwachsenen. Dies wurde aber nicht mit weniger ATP im Muskel bei den Kindern in Verbindung gebracht. Auch die niedrigeren Maximalwerte schienen nicht auf eine reduzierte ATP-Hydrolyserate zurückzuführen zu sein, da bei den Kindern und Erwachsenen ähnliche maximale Kontraktionsgeschwindigkeiten gemessen wurden. Die Autoren vermuteten, dass ein Teil des ungeklärten Unterschieds in den Spitzenwerten der Sprungkraft zwischen Kindern und Erwachsenen auf hormonelle Veränderungen während der Pubertät zurückzuführen sein könnte. Sie nahmen an, dass vor der Pubertät die Zunahme der Muskelkraft mit dem Wachstum parallel mit der Zunahme der

Querschnittsfläche eintritt. Nach der Pubertät ist die Zunahme der Muskelkraft größer als die Zunahme der Querschnittsfläche, das die Autoren mit einer durch Testosteron induzierten Hypertrophie der Typ II Fasern verbinden. Darüber hinaus könnten von der Größe unabhängige Faktoren, wie neuronale Ansteuerung, nach der Pubertät verändert sein.

5.3.3. Muskelmasse

Der Anteil der Muskelmasse bei körperlicher Aktivität entspricht bei 5-jährigen Buben ungefähr 42 Prozent vom gesamten Körpergewicht. Bis zum Alter von 18 Jahren erreicht die Muskelmasse einen Anteil von 54 Prozent des Körpergewichts und steigert sich von rund 7.5 kg auf 37 kg während des Wachstums. So war auch das Verhältnis von Magermasse zu Körpergewicht bei Erwachsenen signifikant höher als bei Kindern (Dore et al., 2000). Bei den meisten um das Körpergewicht relativierten Studien zu kurzen intensiven Belastungen wurden auch niedrigere Maximalwerte bei Kindern und Jugendlichen im Vergleich mit Erwachsenen gemessen. So wurde auch die schnellere Regeneration bei Kindern nach intensiven Belastungen auf die niedrigeren Maximalwerte zurückgeführt. Das bedeutet, dass Kinder bei einem bestimmten Prozentanteil ihrer maximalen Leistung bei intensiven Sprints niedrigere absolute Werte wie Erwachsene erreichen (Van Praagh & Dore, 2002). Dore et al. (2000) gingen davon aus, wenn die Magermasse der Beine die signifikante Varianz der Leistung während des Wachstums erklärt, dann könnte der größere Ermüdungswiderstand der Kinder von der geringeren involvierten Magermasse bei maximalen Belastungen abhängig sein. So zeigten auch Ratel et al. (2004) während 10 wiederholten 10 Sekunden Fahrradergometer- und Laufbandsprints mit 15 Sekunden Erholung zwischen den Belastungen, dass der größere Abfall der mechanischen Leistung von den höheren Maximalwerten, relativ zur Magermasse der Beine, abhängig ist. Ähnliche Ergebnisse erhielten Zafeiridis et al. (2005), als sie Kinder, Jugendliche und Erwachsene während intermittierenden anaeroben Belastungen (4 x 30 Sekunden oder 2 x 60 Sekunden) untersuchten. So korrelierte der Prozentanteil der Erholung der Gesamtleistung (TW) und des maximalen Drehmoments der Beinbeuger (PTEX) relativ zum Körpergewicht negativ mit TW und PTEX der ersten Belastung. Diese Ergebnisse bestätigten, dass die Unterschiede in der anaeroben Leistungsfähigkeit und dem Ermüdungswiderstand zwischen Kindern und Erwachsenen auf qualitative Muskelfaktoren wie Muskelgröße, Muskelstruktur, Energiestoffwechsel und neuromuskuläre Aktivität zurückzuführen sein könnten.

5.3.4. Neuromuskuläres System

Ob erhöhte Muskelkraft während der Pubertät durch Muskelhypertrophie verursacht wird, bleibt weiter fraglich, da die morphologischen Anpassungen nur gering im Vergleich zu Erwachsenen sind (Blimkie & Sale, 1998). Deshalb müssen auch andere Faktoren neben Veränderungen der Muskelgröße berücksichtigt werden. So könnten neuronale Veränderungen wie der Prozess der Myelinisierung, eine verbesserte intermuskuläre Koordination sowie eine verbesserte Ansteuerung der motorischen Einheiten (intramuskuläre Koordination) die Muskelkraft beeinflussen (Kraemer et al., 1989). Paasuke et al. (2000) unterstützten die Behauptung, dass eine Steigerung der isometrischen Muskelkraft während und nach der Pubertät mit einer verbesserten Aktivierung der motorischen Einheiten bei maximaler willkürlicher Muskelkontraktion zusammenhängt.

Belanger und McComas (1981) untersuchten 10- jährige und 16- jährige Buben mit Hilfe der „twitch interpolation“ Technik. Die „twitch interpolation“ Technik wird eingesetzt um die Vollständigkeit einer Muskelaktivierung während einer willkürlichen Kontraktion zu beurteilen. Die Autoren berichteten, dass während isometrischer Belastung kein signifikanter Altersunterschied bei der Aktivierung der motorischen Einheiten in den Armbeugern zu finden war. In einer weiteren Untersuchung von Belanger und McComas (1989) zeigte sich, dass 2 von 10 vorpubertären Buben verglichen mit Jugendlichen den Motoneuronen- Pool der Plantarflexoren willkürlich nicht optimal während isometrischer Belastung aktivieren konnten. Allerdings konnten bei den anderen 8 Buben keine signifikanten Altersunterschiede in der Aktivierung der motorischen Einheiten bei den Dorsal- und Plantarflexoren des Fußes festgestellt werden. Blimkie (1989) hingegen untersuchte maximale willkürliche Kontraktionen in den Kniestreckern bei vorpubertären Buben (11 Jahre) und Jugendlichen (16 Jahre). Die 16- jährigen Buben konnten einen signifikant größeren Anteil der vorhandenen motorischen Einheiten der Kniestreckern bei maximaler willkürlicher Kontraktion aktivieren. Halin et al. (2002) untersuchten, ob es Unterschiede in der Maximalkraft zwischen vorpubertären Turnern und untrainierten Jungen im gleichen Alter (10-11 Jahre) gibt. Die Turner übten ihren Sport bereits über mehrere Jahre (3-5 Jahre) aus und trainierten 12 -15 Stunden pro Woche. Die untrainierte Gruppe bestand aus Jungen, die in den letzten 3 Jahren kein regelmäßiges Sporttraining absolvierten. Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, wählte man Jungen, die sich im mittleren Alter, im Körpergewicht und in der Körpergröße nicht signifikant voneinander unterschieden. Als zu untersuchender Muskel wurde der Bizeps Brachii gewählt. Primäres Ziel der Studie war das Verhalten des neuromuskulären Systems zu untersuchen, während es bei maximaler Kapazität, entweder während der kurzen (5 Sekunden) oder

ermüdenden (25 Sekunden) Anstrengungen bei maximaler willkürlicher isometrischer Kontraktion arbeitete. Die Ergebnisse zeigten, dass die Turnergruppe zwar einen größeren Oberarmumfang aufwies, die Unterschiede aber nicht signifikant waren. Beim Maximaltest hatte die Turnergruppe höhere Maximalkraftwerte als die untrainierte Gruppe, die Unterschiede waren aber wieder nicht signifikant. Allerdings war die mittlere Arbeitsfrequenz der Muskulatur beim Maximaltest bei der Turnergruppe signifikant höher. Beim Ermüdungstest bei maximaler willkürlicher Kontraktion fiel die mittlere Arbeitsfrequenz bei allen Teilnehmern ab. Der Steigungskoeffizient war jedoch bei der Turnergruppe signifikant höher als bei der untrainierten Gruppe. Außerdem war auch die prozentuelle Abnahme der mittleren Arbeitsfrequenz bei den Turnern zwischen Beginn und Ende der Analyse signifikant höher. Die Ergebnisse zeigten, dass Kinder mit mehr Kraft zu einer höheren mittleren Arbeitsfrequenz der Muskulatur neigen. Die Unterschiede in der Kraft zwischen den Turnern und den untrainierten Jungen lagen bei rund 20 Prozent. Aufgrund einer fehlenden oder nur minimalen Muskelhypertrophie sind die höheren Kraftwerte der Turner in erster Linie auf neurologische Anpassungen, wie verbesserte Aktivierung der motorischen Einheiten, zurückzuführen. Damit werden vor allem eine gesteigerte Rekrutierung und Frequenzierung der (schnellen) motorischen Einheiten in Verbindung gebracht. Somit ist die signifikant höhere mittlere Arbeitsfrequenz der Turner beim kurzen Maximaltest vor allem auf eine verbesserte Aktivierung der schnellen Muskelfasern (Typ II) zurückzuführen. Aufgrund der geringen Ermüdungsresistenz der schnellen Muskelfasern erklärt sich auch der größere Abfall der mittleren Arbeitsfrequenz der Turner beim ausdauernden Ermüdungstest. Ähnliche Ergebnisse erhielten Nordlund et al. (2004), als sie maximale willkürliche isometrische Plantarflexionen bei jungen Erwachsenen untersuchten. Die Probanden mit einer geringeren Fähigkeit maximal viele motorische Einheiten zu aktivieren, ermüdeten langsamer. Dennoch ist unklar, ob das neuromuskuläre System von Kindern ähnlich wie das der von Erwachsenen auf anhaltende maximale Kontraktionen reagiert (Paasuke et al., 2000). Deswegen untersuchten Halin et al. (2003) die neuromuskuläre Reaktion während anhaltender maximaler willkürlicher Kontraktionen bei Buben und Männern. Dazu verglichen sie 15 sportlich aktive Buben (10.5 ± 0.9 Jahre) mit 12 aktiven Männern (21.5 ± 4.5 Jahre), die alle Rechtshänder waren. Vor Testbeginn wurde die Querschnittsfläche des rechten Oberarms (CSA), sowie der Körperfettanteil und die Hautfaltendicke aller Teilnehmer erhoben. Mit einem speziellen Ergometer wurde die isometrische Maximalkraft (F_{max}) des rechten Oberarmbeugers (biceps brachii) bestimmt. Dazu absolvierten die Teilnehmer drei maximale 3 Sekunden Kontraktionen, wobei der beste Versuch als Maximalkraft genommen wurde. Drei Minuten nach dem Maximalkrafttest absolvierten die Teilnehmer einen 30 Sekunden isometrischen Krafttest

bei maximaler willkürlicher Kontraktion. Während der Tests wurden die mittlere Leistungsfrequenz (MPF) und die Muskelfaser Leitgeschwindigkeit (MFCV) mithilfe myoelektrischer Signale bestimmt. Ebenso wurden die Kraftwerte um die Querschnittsfläche des Oberarms relativiert. Die Anthropometrischen Messungen zeigten wenig überraschend eine signifikant geringere Querschnittsfläche des rechten Oberarms bei den Buben verglichen mit den Männern. Beim Körperfettanteil und der Hautfaltendicke gab es aber keinen entscheidenden Unterschied zwischen beiden Gruppen.

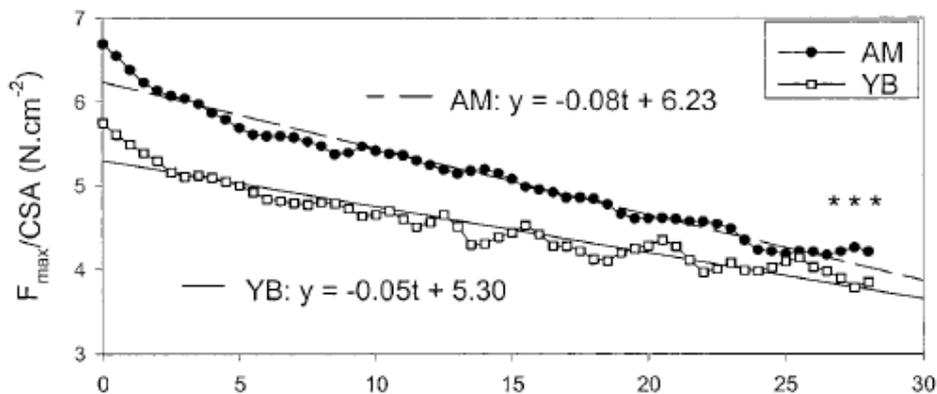


Abb. 9: Veränderung der F_{\max}/CSA während 30 Sekunden maximaler willkürlicher Kontraktion bei Männern (AM) und Jungen (YB) (nach Halin et. al., 2003).

Bei den Kraftmessungen erzielten die Männer ($309.36 \text{ N} \pm 30.86$) eine signifikant höhere F_{\max} als die Buben ($133.95 \text{ N} \pm 19.94$). Dieser Unterschied blieb auch signifikant als die F_{\max} im Verhältnis zur Querschnittsfläche des Oberarms dargestellt wurde. Außerdem verringerte sich die um die Querschnittsfläche des Oberarms bereinigte F_{\max} während der 30 Sekunden andauernden maximalen willkürlichen Kontraktion in beiden Gruppen. Allerdings stellte sich der Abfall bei den Männern signifikant größer dar als bei den Jungen.

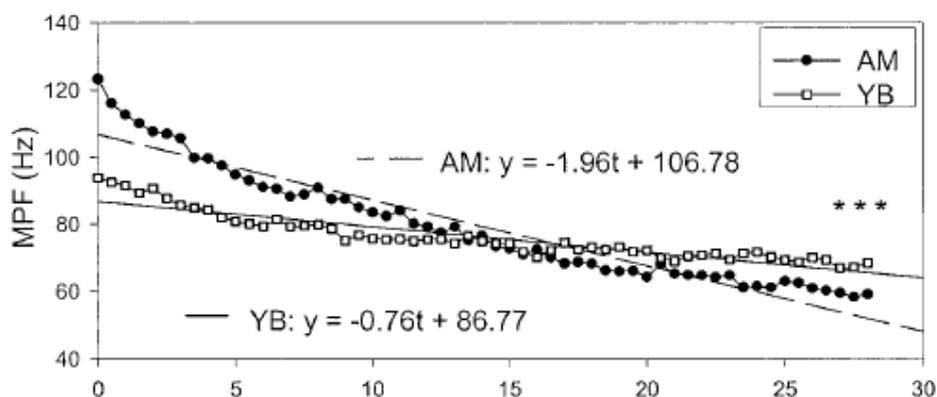


Abb. 10: Veränderung der MPF während 30 Sekunden maximaler willkürlicher Kontraktion bei Männern (AM) und Jungen (YB) (nach Halin et. al., 2003).

Die Werte der mittleren Leistungsfrequenz (MPF) waren bei den Buben ($86.77 \text{ Hz} \pm 14.02$) signifikant geringer als bei den Männern ($106.78 \text{ Hz} \pm 30.88$). Auch hier zeigte sich ein signifikant größerer Abfall in der MPF während der 30 Sekunden andauernden maximalen willkürlichen Kontraktion bei den Männern als bei den Buben.

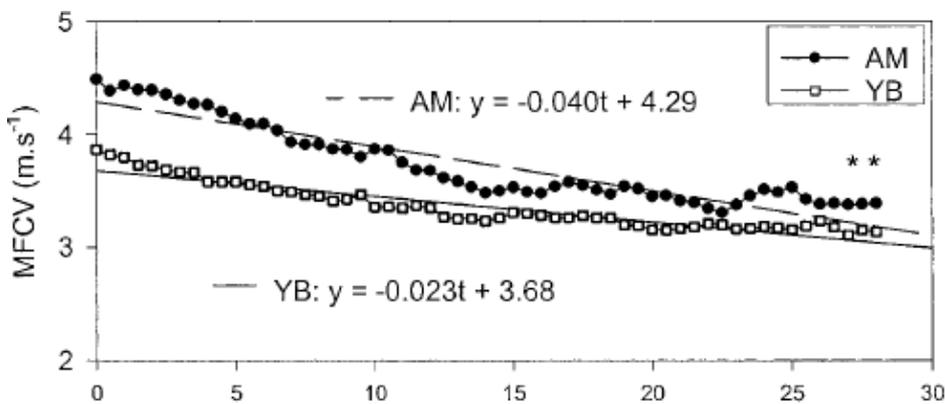


Abb. 11: Veränderung der MFCV während 30 Sekunden maximaler willkürlicher Kontraktion bei Männern (AM) und Jungen (YB) (nach Halin et. al., 2003).

Bei der Muskelfaserleitgeschwindigkeit (MFCV) zeigte sich ein ähnliches Muster. So war die MFCV bei den Männern ($4.29 \text{ m/s} \pm 0.62$) signifikant höher als bei den Buben ($3.68 \text{ m/s} \pm 0.41$). Ebenso war der Abfall der MFCV während der anhaltenden maximalen willkürlichen Kontraktion bei den Männern signifikant höher als bei den Buben. Außerdem wurde festgestellt, dass die MPF mehr als die MFCV in beiden Gruppen abnahm. Allerdings war der Abfall bei den Männern ausgeprägter.

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass die Kraft in den Armbeugern von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter zunimmt. Obwohl bereits mittlere bis hohe Korrelationen zwischen Muskelkraft und -größe gefunden wurden, weisen die Autoren auf andere Faktoren in der Entwicklung der Kraft während des Wachstums hin. So führen sie an, dass die Kraft auch vom Aktivitätslevel der motorischen Einheiten abhängt, das von der Entwicklung des zentralen Nervensystems beeinflusst wird. So führen Halin et al. die niedrigeren $F_{\text{max}}/\text{CSA}$ Werte bei den Buben auf eine geringere Fähigkeit die Armbeugermuskeln maximal zu aktivieren zurück. Aufgrund der Tatsache, dass die motorischen Einheiten Typ II eine höhere Muskelfaserleitgeschwindigkeit und Frequenzierung als motorische Einheiten Typ I aufweisen, könnten die höheren MPF- und MFCV Werte bei Männern teilweise durch die höhere Rekrutierung der motorischen Einheiten Typ II erklärt werden. Dennoch deuteten die Autoren auf zwei weitere wichtige Faktoren hin, die MPF und MFCV beeinflussen könnten und beim Vergleich zweier Gruppen berücksichtigt werden müssen. So wird der MPF-Wert auch durch das Volumen

und die Leiteigenschaften der subkutanen Fettschicht beeinflusst. Allerdings gab es keinen Unterschied in Körperfettanteil und Hautfaltendicke zwischen beiden Gruppen und kann daher den Unterschied in MPF zwischen Männern und Jungen nicht erklären. Zweitens könnten die schnelleren MFCV Werte bei Männern durch die größere Querschnittsfläche des Oberarms (größere Faserdurchmesser) begründet sein, da MFCV als proportional zum Faserdurchmesser gesehen wird und ein positiver Zusammenhang zwischen Extremitätenumfang und der durchschnittlichen Leitgeschwindigkeit gefunden wurde (Broman et al., 1985). Andere Autoren wiederum berichteten, dass MFCV unabhängig vom Muskelfaserdurchmesser ist und vom Anteil der Typ II Fasern abhängt (Linssen et al., 1991; Sadoyama et al., 1988). Deswegen könnte auch ein unterschiedlicher Anteil an aktiven motorischen Einheiten Typ II den Unterschied in MFCV zwischen den beiden Gruppen erklären.

Wie bereits weiter oben angeführt, zeigten die Ergebnisse von Halin et al. (2003), dass Kraft MPF und MFCV während anhaltender maximaler willkürlicher Kontraktion bei den Männern mehr als bei den Buben abnahm. Allerdings waren die Unterschiede zwischen Männern und Buben bei den EMG Parametern noch größer als bei der Kraft. Die Unterschiede im Kraftabfall könnten auf den größeren Anteil an initial aktivierten motorischen Einheiten Typ II bei Männern zurückzuführen sein. Diese motorischen Einheiten ermüden schneller und werden bei maximalen willkürlichen Kontraktionen schneller derekrutiert. Dieses „drop-out“ Verhalten der Muskelfasern könnte wiederum die größere Abnahme der EMG- Parameter bei Männern erklären. Außerdem erzeugen motorische Einheiten Typ II größere Metaboliten- und Ionenansammlungen, die ebenfalls eine größere Abnahme in MPF und MFCV induzieren könnten (Linssen et al., 1991). Ein weiteres Ergebnis zeigte, dass MPF in beiden Gruppen mehr abnahm als MFCV. Diese Abnahme jedoch bei Männern deutlicher war. De Luca (1997) verdeutlichte in einem mathematischen Modell, dass MPF stark von MFCV beeinflusst wird. Auch Arendt-Nielsen et al. (1985) und Eberstein et al. (1985) berichten von einem Zusammenhang von direkter Proportionalität zwischen MPF und MFCV. Andere Studien wiederum haben Ausnahmen gefunden, bei denen sich EMG Parameter verringerten ohne oder nur geringer gleichzeitiger Abnahme der MFCV (Van der Hoeven et al., 1993; Zwarts et al., 1987). Auch Halin et al. bestätigen diese Ergebnisse und deuten darauf hin, dass MFCV nicht der einzige Faktor sein kann, der die Verschiebung des Leistungsdichtespektrums zu niedrigeren Frequenzen bestimmt. Ein Teil der Unterschiede zwischen MPF- und MFCV- Veränderungen könnte durch Faktoren des zentralen Nervensystems erklärt werden. So könnte das zentrale Nervensystem während anhaltender maximaler willkürlicher Kontraktionen die Entladungsraten der motorischen Einheiten verringern. Es

wurde darauf hingewiesen, dass die Regulation der Frequenzierung durch einen peripheren Reflex, der empfindlich auf kontraktile Veränderungen reagiert und durch den metabolischen und ionischen Status der Muskulatur herbeigeführt wird (Macefield et al., 2000). Daher deuten die Ergebnisse von Halin et al. darauf hin, dass eine größere Anhäufung von Metaboliten und Ionen bei Ermüdung bei Männern zu einem gesteigerten afferenten Feedback für die Regulation der Frequenzierung von Motoneuronen verglichen mit Buben führen könnte. So könnten die Differenzen in der Ansammlung von Metaboliten und Ionen zwischen Männern und Buben Ergebnis der Unterschiede in Muskelfaserzusammensetzung, neuromuskulärer Aktivierung und/oder im anaeroben Metabolismus sein. Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Unterschiede in der Regulation der Frequenzierung auf einer weniger effektiven afferenten Reflexbahn bei Buben, aufgrund der Unreife ihres neuromuskulären Systems, beruhen. Das neuromuskuläre System hat die Fähigkeit sich an veränderte ökologische Anforderungen anzupassen und die Ergebnisse deuten darauf hin, dass dies zu Unterschieden im Ermüdungsverhalten zwischen Jungen und Männern führt.

6. Der Einfluss von anthropometrischen Eigenschaften auf Muskelkraft- und Leistung

Anthropometrische Merkmale, hauptsächlich Körpergröße und Körpergewicht, sind wichtige Faktoren, die die Muskelfunktion beeinflussen. Der Zusammenhang zwischen Körpergröße und Stoffwechselrate ist ein bekanntes Phänomen und wurde bereits im 19. Jahrhundert von Rubner entdeckt. Deshalb muss die Evaluation von Muskelkraft- und Leistung in Relation zu anthropometrischen Parametern betrachtet werden, um valide Aussagen treffen zu können. Mehrere Studien über die Sprungkraft von Kindern und Erwachsenen weisen auf die allometrische Beziehung zwischen Muskelkraft und Körpergröße hin. Der Einfluss von anthropometrischen Merkmalen auf die Muskelfunktion ist neben Krafttests auch für anaerobe Tests relevant (Fricke & Schönau, 2005). So zeigten Davies et al. (1985), dass bei Kindern Unterschiede in der maximalen Leistung verschwanden, als sie um die Körpergröße relativiert wurden. Die Autoren folgerten daraus, dass die absolute mechanische Leistung mit dem Alter hauptsächlich eine Funktion der Körpergröße und der Kraft bei optimaler Bewegungsfrequenz ist. Falk & BAROR (1993) untersuchten in einer Längsschnittstudie die anaerobe Leistung von 36 Buben und testeten sie viermal in 18 Monaten. Die Jungen wurden in Reifestadien nach Tanner klassifiziert und in vorpubertär (Tanner Stufe 1), pubertär (Tanner Stufen 2, 3, 4) und spätpubertär (Tanner Stufe 5) eingeteilt. Gemessen wurden die maximale- und die

mittlere Leistung bei einem Anaeroben Wingate Test. Die Ergebnisse zeigten keine deutlichen Veränderungen bei der mittleren Leistung bezogen auf das Körpergewicht während der Reifung. Allerdings zeigte sich eine markante Erhöhung der gewichtsbezogenen maximalen Leistung von vorpubertär zu pubertär und von pubertär zu spätpubertär. Bei dieser Untersuchung wurde aber auf statistische Analysen verzichtet.

Docherty & Gaul (1991) untersuchten den Zusammenhang von Körpergröße, Körpergewicht und Körperzusammensetzung zur körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern. Dazu testeten die Autoren aerobe-, anaerobe- und Kraftleistungen bei 52 Buben (10,8 Jahre) und Mädchen (11,1 Jahre), die anthropometrisch, mit Ausnahme der Körperfettmessung, sehr ähnlich waren. Dabei erreichten die Buben bessere Werte bei der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit. Auch bei der anaeroben Leistungsfähigkeit und Kraft erzielten die Jungen, speziell in Relation zum Körpergewicht beziehungsweise relativ zur Magermasse, bessere Werte. Da die Körpervmessungen bei Buben und Mädchen sehr ähnlich waren, konnten die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Leistung nicht auf anthropometrische Faktoren zurückgeführt werden. Die Autoren führten die unterschiedlichen Leistungen auf genetische Veranlagung und dadurch bedingte unterschiedliche Aktivitätsverhaltensmuster zurück. Dennoch wurde ein starker Zusammenhang zwischen den anthropometrischen- und den Leistungsvariablen sichtbar. So gab es bei den Buben einen starken Zusammenhang von Größe und Gewicht zur anaeroben Leistungsfähigkeit. Bei den Mädchen hingegen gab es eine starke Korrelation von Gewicht und Oberschenkelumfang zu allen Leistungsmessungen.

Eine weitere Längsschnittstudie von Armstrong et. al. (2000) untersuchte den Einfluss von Alter, Körpergröße, Hautfaldendicke, Geschlecht und Reife auf die anaerobe Leistungsfähigkeit von Kindern mit Hilfe einer Mehrebenenanalyse. Die Studie absolvierten 95 Buben und 80 Mädchen im Alter von $12,2 \pm 0,4$ Jahren, bei denen Körpergröße, Körpergewicht und Hautfaldendicke (Triceps, Subscapularregion) gemessen wurden. Der sexuelle Reifestatus der Kinder wurde nach Tanner Stufen bestimmt. Die mittlere- und maximale Leistung der Kinder wurde dreimal jeweils mit einem Jahr dazwischen mithilfe eines Anaeroben Wingate Test bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl die mittlere als auch die maximale Leistung bei den Mädchen signifikant kleiner war und die Geschlechtsunterschiede mit dem Alter zunahmen. Dennoch kennzeichnete das statistische Modell bei beiden Geschlechtern bei den zwei Leistungswerten Körpergewicht und Körpergröße als signifikante erklärende Variablen. Zusätzlich wurde ein positiver Effekt des Alters deutlich, der bei der mittleren Leistung bei Mädchen kleiner war. Eine erhebliche zusätzliche Wirkung der Reife bei spätpubertären Kindern (Tanner Stufe 4, 5) wurde nur für die mittlere Leistung identifiziert. Allerdings

lieferte das Modell bei der Einbringung der Summe der zwei Hautfaltendicken, die ebenfalls als zusätzliche erklärende Variable ausforscht wurde, signifikant negative Parameter für maximale- und mittlere Leistung und negierte sowohl den Effekt von Körpergröße als auch den Einfluss der Reifung auf die mittlere Leistung. Das Körpergewicht aber blieb eine signifikante Kovariate. Der Austausch von Körpergröße mit der Summe der Hautfaltendicken war für das Modell besser geeignet, das sich bei der gleichen Anzahl an Parametern auch in einer signifikanten Änderung der Devianz Statistik zeigte. Somit scheinen Körpergewicht und Hautfaltendicke die besten anthropometrischen Prädiktoren für die Leistung beim Anaeroben Wingate Test in dieser Altersgruppe zu sein. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Leistung könnten aber ein Artefakt bei der Berechnung des Widerstandes pro Körpergewicht darstellen. Eine weitere Studie von Armstrong et al. (2001) fügte zu den oben untersuchten Parameter noch den Einfluss von Oberschenkelmuskelvolumen und isokinetischer Beinkraft auf die anaerobe Leistung bei Kindern hinzu. Dabei wurde wieder die mittlere und maximale Leistung mittels Anaeroben Wingate Test bestimmt. 15 Buben und 19 Mädchen wurden zweimal getestet, das erste Mal im Alter von $10 \pm 0,3$ Jahren und das zweite Mal mit $11,8 \pm 0,3$ Jahren. Wie bei der zuvor angeführten Studie wurden Körpergewicht und Körpergröße als signifikante erklärende Variablen für mittlere- und maximale Leistung identifiziert, wobei sich beim Hinzufügen der Summe der Hautfaltendicken die Körpergröße wieder als nicht signifikant erwies. Für die mittlere Leistung zeigte sich auch ein Alterseffekt. Das Alter übt eine positive, aber nicht-lineare Auswirkung auf die Leistung unabhängig von Körpergröße und Körperfett aus. Die Reife allerdings hat weder auf die mittlere- noch auf die maximale Leistung einen signifikanten unabhängigen Einfluss. Als die neuen Variablen isokinetische Beinkraft und Oberschenkelmuskelvolumen im Modell hinzugefügt wurden, übte die letztere einen signifikanten Effekt auf die mittlere- und maximale Leistung aus. Die isokinetische Beinkraft hingegen war für beide keine signifikante erklärende Variable. Die Autoren schlossen daraus, dass das Oberschenkelmuskelvolumen, zusätzlich zu dem Effekt des Körpergewichts, der Summe der Hautfaltendicken und des Alters, einen positiven Einfluss auf die anaerobe Leistung bei Kindern hat.

Martin et al. (2004) kritisierten an den oben angeführten Studien, dass die maximale Leistung nicht um die beteiligte aktive Muskelmasse beim Anaeroben Wingate Test standardisiert wurde. Außerdem bemängelten sie das Fehlen von jüngeren Altersgruppen. Hinzu kommt, dass die Autoren weder die optimale Trittfrequenz noch den geeigneten Widerstand benützten wie es Martin et al. taten. Ziel ihrer Längsschnittstudie war den Einfluss von Alter, Körpergewicht und Magermasse des Beines auf die maximale Leistung bei Kindern während des Wachstums zu untersuchen. Dazu wurden die

maximale Leistung mithilfe eines „Force-Velocity Tests“, das Gewicht, die Magermasse des Beines und die Beinlänge bei 100 Mädchen und 109 Buben im Alter von 7,5 bis 17,5 Jahren bei zwei Messungen mit $3,8 \pm 0,4$ Jahren dazwischen bestimmt. Die Probanden absolvierten bei jeder Messung zwei 5 bis 8 Sekunden Sprints mit unterschiedlichen Widerständen (2,5% und 5% vom Körpergewicht) mit maximaler Geschwindigkeit am Ergometer. Zwischen den zwei Sprints musste mindestens drei Minuten pausiert werden. Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse erfolgte mithilfe einer Mehrebenen Regressionsanalyse. Dabei erwiesen sich Körpergewicht, Alter und Magermasse des Beines als signifikante erklärende Variablen. Das Geschlecht hingegen war kein signifikanter Parameter. Die Ergebnisse verdeutlichten auch eine signifikante negative Interaktion von Alter und Geschlecht, das sich in einem geringeren Anstieg der maximalen Leistung im Alter bei Mädchen reflektierte.

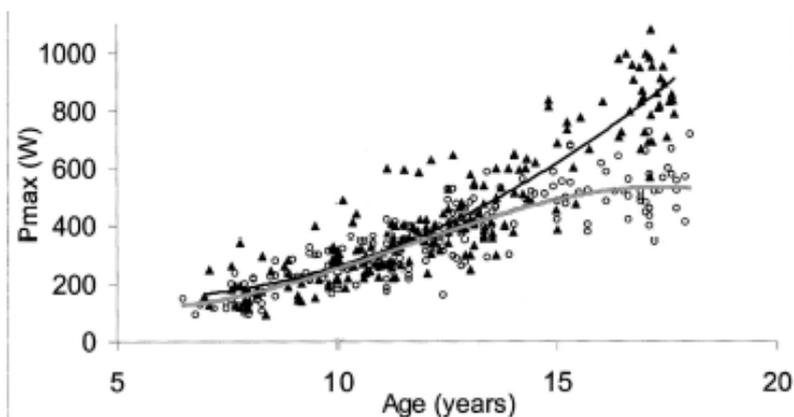


Abb. 12: Zusammenhang zwischen maximaler Leistung (P_{max}) und Alter bei Mädchen (grau) und Buben (schwarz) (nach Martin et al., 2004).

Bei Mädchen erhöhte sich die maximale Leistung um 273 % zwischen 7 und 16 Jahren und erreichte ein Plateau zwischen 16 und 17 Jahren. Bei den Buben erhöhte sich die maximale Leistung um 375 % zwischen 7 und 17 Jahren. Außerdem wurde beobachtet, dass der Anstieg der maximalen Leistung bis zum Alter von 14 Jahren nicht vom Geschlecht abhängt. Ab diesem Alter sind die maximalen Leistungswerte bei den Mädchen signifikant geringer als bei den Buben. Zudem zeigten die Ergebnisse der Mehrebenen Regressionsanalyse wie bereits weiter oben erwähnt, dass sowohl bei Mädchen als auch Buben das Körpergewicht, das Alter und die Magermasse des Beines signifikante erklärende Variablen sind. Dabei stellte sich bei den Mädchen die Magermasse des Beines als die Variable heraus, die die Varianz (68 %) der maximalen Leistung am besten erklärt. Bei den Jungen hingegen war das Alter (57 %) der Hauptprädiktor. Aufgrund der individuellen Veränderungen im Wachstum und der Entwicklung stellt die Analyse der Längsschnittdaten der maximalen Leistung eine Herausforderung in der Interpretation der Daten in Bezug auf Veränderungen der

Körpergröße und Komposition für den Forscher dar. Die Literatur zeigt nämlich, dass nur das Aufteilen der Leistung nach Körpermasse oft fehlschlägt um eine „size-free“ Variable zu erhalten (Winter & Nevill, 2001). Die Entwicklung von Menschen im Alter zwischen 7,5 und 17,5 Jahren ist vom Wachstum und der sexuellen Reifung abhängig. Dabei bezieht sich das Wachstum auf die Veränderung der Körpergröße als Ganzes oder auf die Zunahme des Volumens/Umfangs eines speziellen Muskels von der Empfängnis bis zum Erwachsenenalter. Das Wachstum steht also in Bezug mit quantitativen Muskelfaktoren. Die Reifung wiederum bezieht sich auf das Tempo und den Zeitpunkt des Fortschritts des biologischen Reifezustands des Muskels und wird als qualitativer Muskelfaktor betrachtet (Malina & Beunen, 1996). Da Martin et al. (2004) bei Mädchen die Magermasse des Beines als Hauptprädiktor für die Varianz der maximalen Leistung identifizierten, bedeutet das, dass der Anstieg der maximalen Leistung größten Teils von der Zunahme quantitativer Muskelfaktoren abhängt. Dies stimmte auch mit den Ergebnissen der Querschnittsstudie von Dore (1999) überein. Bei den Buben waren auch Magermasse des Beines, Alter und Körpergewicht signifikante erklärende Variablen, wobei hier das Alter als Hauptprädiktor herausgefiltert wurde. Dieses Ergebnis der Längsschnittstudie lieferte neue Erkenntnisse, da die Querschnittsstudie von Dore et al. (2000) das Alter nicht als Hauptprädiktor aufzeigte (Martin et al., 2004). Armstrong et al. (2001) hingegen beobachteten bei Mädchen und Buben einen signifikanten Effekt des Alters, der über denjenigen durch Kovariaten zu stellen ist, wobei keine Prozentzahl der Gesamtvarianz angeführt wurde. Im Gegensatz zu den quantitativen Muskelfaktoren Magermasse des Beines und Körpergewicht steht der Hauptprädiktor Alter bei Buben in Bezug mit qualitativen Muskelfaktoren. Diese stehen im Zusammenhang mit Anteil an Typ II- Fasern, glykolytischer Fähigkeit und Veränderungen in der Koordination und Aktivität motorischer Einheiten während des jugendlichen Wachstumsschubs (Martin et al., 2003). Die Ergebnisse von Martin et al. (2004) deuten also darauf hin, dass qualitative Muskelfaktoren eine Rolle bei den höheren Werten in der maximalen Leistung bei Buben spielen. Da die maximale Leistung Produkt aus maximaler Geschwindigkeit und maximaler Kraft ist und die maximale Geschwindigkeit bei gleicher Beinlänge bei Buben höher als bei Mädchen ist, könnten diese Unterschiede durch qualitative Muskelfaktoren wie Kontraktionsgeschwindigkeit- Parameter erklärt werden. Hautier et al. (1996) zeigte eine starke Korrelation zwischen Muskelfaserzusammensetzung im Muskel vastus lateralis und optimaler Geschwindigkeit. So könnten die geschlechtsspezifischen Unterschiede bei der maximalen Geschwindigkeit auf Differenzen im Anteil an- und/oder in der Rekrutierung der schnellen Muskelfasern zurückzuführen sein (Martin et al., 2004). Ein weiterer Ansatz brachte die geschlechtsspezifischen Unterschiede in Verbindung mit der Entwicklung der motorischen Koordination. So wurde gezeigt, dass die motorische

Koordination von der körperlichen Aktivität abhängt (Fagard, 1996). In der Studie von Martin et al. (2004) hatten die Jungen einen höheren Grad an körperlicher Aktivität als die Mädchen (2,6 h/Woche und 1,4 h/Woche).

6.1. Einfluss der/des Bremskraft/Widerstands auf die maximale Leistung beim Anaeroben Wingate Test während des Wachstums

Die anthropometrischen Merkmale spielen auch bei der Wahl der Bremskraft (F_B) beim Anaeroben Wingate Test eine entscheidende Rolle, da diese von der Körperkomposition abhängt und diese sich während des Wachstums stark verändert. Denn nur mit der optimalen Bremskraft kann auch die höchstmögliche Leistung beim Anaeroben Wingate Test ermittelt werden. Dennoch untersuchten bisher nur wenige Studien den optimalen Widerstand bei Kindern (Dore et al., 2000). Dotan und Bar-Or (1983) untersuchten 13- bis 14-jährige aktive Mädchen und Buben und berichteten von Widerständen von 0,66 N/kg bzw. 0,69 N/kg Körpergewicht. Bei Frauen und Männern errechneten die Autoren eine optimale F_B von 0,83 N/kg bzw. 0,86 N/kg Körpergewicht. Carlson und Naughton (1994) schlugen optimale F_B Werte zwischen 0,60 und 0,80 N/kg Körpergewicht bei 6- bis 12-jährigen Kindern vor. Die angeführten Studien berücksichtigten in ihren Berechnungen jedoch nicht die erforderliche Kraft, um die Schwungscheibe des mechanisch gebremsten Fahrradergometers (Trägheitskraft) zu beschleunigen und deshalb sind die berichteten Maximalleistungen mit Sicherheit zu niedrig (Lakomy, 1986). Um dieses Problem zu lösen, war das Ziel der Studie von Dore et. al (2000) den Zusammenhang zwischen maximaler Leistung (inklusive Schwungradträgheit) und Bremskraft auf einem mechanisch gebremsten Fahrradergometer bei nicht sportlichen männlichen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu untersuchen. Dazu wurden 520 freiwillige Probanden im Alter von 8-20 Jahren ausgewählt, bei denen Körpergewicht, Körpergröße und Magermasse des Beines bestimmt wurden. Die Teilnehmer absolvierten drei maximale Sprints mit einer vierminütigen Pause zwischen den Antritten. Dabei wurden bei jedem Probanden in einer zufälligen Reihenfolge drei verschiedene an das Körpergewicht angepasste Bremswiderstände (0.245, 0.491 und 0.736 N/kg Körpergewicht entspricht 25, 50 und 75 g/kg Körpergewicht) gewählt. Für jede F_B wurde die maximale Leistung (PP) bestimmt und die höchste PP wurde als CPP definiert. Dazu wurde die maximale Geschwindigkeit (V_{opt}) bei CPP und die Zeit bis zum Erreichen der PP gemessen. Die Ergebnisse zeigten wie erwartet, dass PP von F_B abhängig ist. Bei jungen Erwachsenen lag PP bei niedriger F_B mehr als 10% unter CPP, während PP bei hoher F_B nahe an CPP

war. Dazu erzielten die Erwachsenen eine V_{opt} von 130 Umdrehungen pro Minute. Bei allen verwendeten F_B in der Studie war die Geschwindigkeit bei PP naher der V_{opt} . Eine F_B von 25 g/kg Körpergewicht war bei den Erwachsenen jedoch zweifelsfrei zu gering um maximale Leistung zu erreichen. Die Ergebnisse zeigten, dass eine F_B niedriger 75 g/kg Körpergewicht für Erwachsene nicht hoch genug ist um maximale Leistungen zu erzielen. Linossier et al. (1996), die ebenfalls Untersuchungen an einem gleichen Ergometer durchführten, berichteten von einer optimalen Bremskraft von 86 g/kg (0,844 N/kg) Körpergewicht bei Erwachsenen. Im Gegensatz zu den Erwachsenen war die F_B von 75g/kg bei Kindern zu hoch und PP war um mehr als 15 % niedriger als CPP. Diese Beobachtung wurde auch durch die Geschwindigkeit bei PP bestätigt, die über 20 % unter V_{opt} bei 8- bis 13- jährigen bei diesem hohen Widerstand lag. Die Ergebnisse zeigten, dass eine F_B über 50 g/kg Körpergewicht für Kinder zu hoch ist, um eine optimale Geschwindigkeit zu erreichen und folglich nicht die höchstmöglichen Werte für die maximale Leistung erreicht werden können. Die optimale Bremskraft ist somit auch bei normalem Körpergewicht bei Kindern geringer als bei Erwachsenen (Dore et al., 2000). Dore et al. begründeten den Unterschied zum einem damit, dass die Schwungradträgheit unangepasst für vorpubertäre Kinder war und zum anderen könnten entwicklungsbedingte Veränderungen die Unterschiede erklären. So wiesen die Autoren auf Ergebnisse von Malina und Bouchard (1991) hin, die eine Erhöhung der Muskelmasse von 42 % auf 54 % im Alter von 5 bis 17,5 Jahren bei männlichen Probanden feststellten. Außerdem wurden auch wieder qualitative Veränderungen während des Wachstums, wie Muskelfasermassequantität, hormonelle Effekte und neuromotorische Entwicklung angeführt, die einen wichtigen Einfluss auf die Kraftkapazität der Muskeln haben könnten (Van Praagh, 1997). Dore et al. (2000) kamen zur Schlussfolgerung, dass der Unterschied zwischen PP_{50} und CPP vom Alter unabhängig ist und bei einer inkludierten Schwungradträgheit, eine F_B von 50 g/kg Körpergewicht sowohl für Kinder und Jugendliche als auch für junge Erwachsene ein praktikabler Widerstand ist.

7. Aktuelle Untersuchungen zur anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern

Beneke et al. (2007) untersuchten in ihrer Studie „Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents“ die anaerobe Leistungsfähigkeit von zehn männlichen Kindern ($11,8 \pm 0,5$ Jahre) und zehn männlichen Jugendlichen ($16,3 \pm 0,7$ Jahre). Dazu absolvierten die Probanden einen Anaeroben Wingate Test auf einem mechanisch

gebremsten Radergometer. Nach einem 5- minütigen Warm-up bei 0,5 W/kg Körpergewicht sollten die Probanden nach einer 10- minütigen Pause ihre Trittfrequenz bei einem Widerstand von 7,5% des individuellen Körpergewichts (nach einer 3 Sekunden Beschleunigungsphase) auf ihr Maximum erhöhen und möglichst für 30 Sekunden halten. Vor und direkt nach dem WAnT wurde minütlich bis zur 10. Minute und danach jede zweite Minute Blut abgenommen um die Laktatkonzentration zu bestimmen. Die mechanische Kraft, die während der Beschleunigungsphase vor der Bremskraftapplikation (Bremskraft IP) erzeugt wurde, wurde durch die Trittfrequenz bei der Beschleunigung des Widerstands und dem Moment der Massenträgheit des Schwungrads kalkuliert. Dazu wurden die maximale Leistung (PP), die minimale Leistung (MP), die mittlere Leistung (AP) und der Leistungsabfall (PD), der sich aus der Differenz der PP und der MP ergibt, bestimmt. Zusätzlich wurden der Ermüdungsindex (FI) und der Beschleunigungsindex (AI) ermittelt, die den Grad des PD angeben und in Prozent der PP ausgedrückt werden. Für die Bestimmung der Muskelmasse (MM) wurde die Magermasse des Beines (LLV) herangezogen. Dazu wurden die absolute und relative Muskelmasse der Teilnehmer bestimmt. Die Blutlaktatkonzentrationen wurden mithilfe eines 3- Parameter Modell (A, k1, k2) bestimmt. Dazu wurde auch noch die Sauerstoffaufnahme bestimmt und mit einem biexponentiellen 4- Parameter Modell analysiert.

Tab. 2: Körpergewichtsbezogene Leistung beim WAnT bei Kindern und Jugendlichen

	Boys (N = 10)	Adolescents (N = 10)	t	Effect size (η^2)
v (min ⁻¹)	97.3 (13.2)	153.5 (12.3)	-9.859***	0.844
IP (W kg ⁻¹)	6.0 (1.6)	8.1 (1.1)	-3.367**	0.386
PP (W kg ⁻¹)	10.8 (0.7)	11.5 (0.6)	-2.556*	0.265
MP (W kg ⁻¹)	6.1 (0.7)	6.9 (0.9)	-2.518**	0.261
AP (W kg ⁻¹)	7.9 (0.5)	8.9 (0.7)	-3.754***	0.439
PD (W kg ⁻¹)	4.7 (0.9)	4.6 (0.9)	0.240	0.003
AI (%)	56.0 (14.9)	70.2 (9.4)	-2.556**	0.267
FI (%)	43.5 (6.6)	39.8 (7.4)	1.165	0.070

Quelle: Beneke et al. (2007)

Die Ergebnisse zeigten, dass v (Umdrehungen/Minute), IP, PP, MP, AP und AI bei den Kindern signifikant geringer als bei den Jugendlichen waren. Die Indikatoren für Ermüdung FI und PD waren nicht signifikant unterschiedlich. Die großen Unterschiede in v, IP und AI und eine längere Beschleunigungsphase um PP zu erreichen, deuten darauf hin, dass die geringere Leistung in Bezug auf PP und besonders AP teilweise vom Nachteil der Kinder die Schwungradträgheit zu überwinden kommt.

Tab. 3: Leistung beim WAnT bezogen auf die Muskelmasse bei Kindern und Jugendlichen

	Boys (N = 10)	Adolescents (N = 10)	t	Effect size (η^2)
MIP (W kg _{MM} ⁻¹)	17.0 (4.6)	19.3 (2.6)	-1.361	0.095
MPP (W kg _{MM} ⁻¹)	30.5 (2.6)	27.5 (1.7)	3.044**	0.340
MMP (W kg _{MM} ⁻¹)	17.2 (2.0)	16.5 (2.1)	0.700	0.027
MAP (W kg _{MM} ⁻¹)	22.5 (1.8)	21.3 (1.6)	1.576	0.121
MPD (W kg _{MM} ⁻¹)	13.3 (2.7)	11.0 (2.3)	2.111*	0.197

Quelle: Beneke et al. (2007)

Allerdings waren PP und PD bezogen auf die Muskelmasse bei den Buben signifikant höher als bei den Jugendlichen. Dieser Unterschied reflektiert eine höhere muskuläre Leistungsfähigkeit nach zehn Sekunden Bremskraftanwendung bei Kindern. Bei IP, MP und AP zeigten sich hinsichtlich der Muskelmasse keine relevanten Unterschiede. Außerdem zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Blutlaktat, das bei Kindern (10.2 ± 1.3 mmol/l) geringer als bei Jugendlichen (12.7 ± 1.1 mmol/l) war. Dies unterstützt die Hypothese einer geringeren Blutlaktatansammlung nach kurzen hochintensiven Belastungen bei Kindern verglichen mit Jugendlichen. Die Bremskraft von 7,5 % des Körpergewichts war kein Problem für die Teilnehmer. Bezogen auf die Muskelmasse war die Bremskraft bei den Kindern sogar um rund 18 % höher als bei den Jugendlichen. Dies könnte auch die höheren Werte der PP und PD bezogen auf die Muskelmasse bei den Kindern, trotz des Handicaps aufgrund der Schwungradträgheit, erklären.

Die Kombination von niedrigerem A (extravaskulärer Anstieg von Laktat während der Belastung) und Δ BLCmax (maximales Blutlaktat), ähnlicher aeroben Energie bezogen auf die Körpermasse (W_{AER}), höherer relativer W_{AER} und schnellerer Laktatelimination aus dem Blutkompartiment sind einheitlich mit der niedrigeren relativen Muskelmasse und günstigeren Bedingungen für die muskulöse Sauerstoffversorgung und den aeroben Stoffwechsel bei Kindern verglichen mit Erwachsenen.

Es gab keine Unterschiede im PCr Abfall und im Laktatvorkommen zwischen Kindern und Jugendlichen. Das war mit einer höheren aeroben Rate resultierend aus der höheren Kraft hinsichtlich der Muskelmasse bei Kindern als Jugendlichen verbunden.

Diese Ergebnisse befürworten die Hypothese, dass die niedrigeren Blutlaktatwerte bei Kindern eine geringere relative Muskelmasse in Kombination mit günstigeren Voraussetzungen für den aeroben Stoffwechsel reflektieren. Außerdem deuten die ähnlichen Werte der biomechanischen Effizienz nicht auf Unterschiede in der neuromuskulären Koordination hin und werden somit nicht als Ursache für die geringere

Leistung von Kindern beim WAnT gesehen. Allerdings weisen die Autoren darauf hin, dass die Unterschiede bedingt durch eine niedrigere Trittfrequenz nicht ausgeschlossen werden können.

Eine andere Studie von Rankovic et al. (2007) untersuchte altersbedingte Unterschiede in der anaeroben Leistungsfähigkeit bei 21 vorpubertären Jungen (11,1 ± 0,3 Jahre) und 23 männlichen Erwachsenen (20,2 ± 0,6 Jahre). Die Teilnehmer waren alle sportlich inaktiv bzw. absolvierten kein gezieltes körperliches Training in einem Verein. Vor Testbeginn wurden die Körpergröße und das Körpergewicht, sowie Fettmasse und Magermasse (FFM) der Probanden mittels Bioelektrischer Impedanzanalyse bestimmt. Danach absolvierten die Teilnehmer zweimal den Anaeroben Wingate Test mit 45 Minuten Erholung dazwischen zur Bestimmung der maximalen- (PP) und mittleren Leistung (MP).

Tab. 4: PP und MP absolut und relativ zum Körpergewicht und zur Magermasse

	Preadolescent boys (n=21)		Adult males (n=23)		P value
Peak power (W)	347.48 ± 90.75		755.88 ± 116.91		<0.001
Mean power (W)	300.82 ± 74.66		643.97 ± 93.54		<0.001
Peak power (W·kg ⁻¹)	8.16 ± 1.18		10.26 ± 2.84		<0.01
Mean power (W·kg ⁻¹)	7.06 ± 1.04		8.74 ± 1.66		<0.05
Peak power (W·kg ⁻¹ FFM)	10.07 ± 2.14		12.06 ± 2.78		<0.05
Mean power (W·kg ⁻¹ FFM)	8.71 ± 1.48		10.27 ± 1.96		<0.01

Quelle: Rankovic et. al. (2007)

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen deutlich, dass PP und MP bei den vorpubertären Jungen signifikant niedriger als bei den erwachsenen Männern sind. Erwartungsgemäß zeigten sich bei den absoluten Werten die größten Unterschiede. Allerdings waren auch PP und MP relativ zum Körpergewicht und zur Magermasse bei den Buben signifikant niedriger. Dies widerspricht zum Teil den Ergebnissen von Beneke et al. (2007), die ebenfalls den gleichen Test bei gleichaltrigen Buben durchführten. Zwar kamen sie ebenfalls zum Ergebnis, dass PP und MP relativ zum Körpergewicht bei den Buben signifikant niedriger sind, fanden aber im Gegensatz zu Rankovic et al. (2007) eine signifikant höhere PP bezogen auf die Muskelmasse bei Buben verglichen mit Erwachsenen. Ein Grund dafür könnten die unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung der Muskelmasse sein. Außerdem waren die Probanden von Rankovic et al. auch größer, schwerer und hatten einen höheren Fettanteil verglichen mit den Probanden von Beneke et al.

Die meisten Untersuchungen deuten auf eine geringere anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern hin. Oft werden qualitative Muskelfaktoren wie neuromuskuläre Aktivierung als möglicher Grund dafür angeführt. Andere Studien wiederum machen eine niedrigere Konzentration des Schlüsselenzyms der anaeroben Glykolyse, die Phosphofruktokinase für die niedrigeren Laktatkonzentrationen bei Kindern sowohl im Blut als auch im Muskel nach hochintensiven Belastungen verantwortlich (Froberg & Lammert, 1996). Wird die Laktatschwelle jedoch als Prozentsatz der $V_{O_{2max}}$ ausgedrückt, scheint dies kein limitierender Faktor bei Kindern zu sein, da die Laktatschwelle bei Kindern ähnlich oder sogar höher als bei ähnlich trainierten Erwachsenen ist (Washington, 1989). Manche Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass sich die biochemischen Eigenschaften der kindlichen Muskulatur von den der Erwachsenen unterscheiden. Die ATP Konzentration im ruhenden Muskel sowie die Verwertung während intensiver Belastungen scheint bei Kindern und Erwachsenen ähnlich zu sein. Im Gegensatz dazu scheint die Phosphokreatin Konzentration bei Kindern in Ruhe etwas niedriger und die Aktivierungsrate gleich oder etwas niedriger im Vergleich zu Erwachsenen zu sein. Der wichtigste altersbedingte Unterschied dürfte die Konzentration und Verwertung des Muskelglykogens sein. Beide Faktoren scheinen nämlich bei Kindern deutlich niedriger zu sein (Armstrong et al., 2001). Obwohl die genannten Ansätze und Ergebnisse im Einklang mit einer niedrigeren anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern stehen, können sie den Mechanismus dieses Defizits nicht eindeutig erklären. Dazu sind Studien auf zellulärer Ebene notwendig um alters- oder reifebedingte Unterschiede in den Muskelfasertypen, die bei hochintensiven Belastungen rekrutiert werden, feststellen zu können (Rankovic et al., 2007). Es besteht die Notwendigkeit mehrere Längsschnittstudien mit größeren Stichprobenzahlen mit Kindern beider Geschlechter durchzuführen, um die Forschungsergebnisse in Relation zu den Veränderungen der Körperdimensionen und der biologischen Entwicklung der anaeroben Leistungsfähigkeit bestmöglich interpretieren zu können.

8. Forschungskonzept

Im folgenden Kapitel werden die Vorgehensweise und das Testdesign der vorliegenden Untersuchung beschrieben. Ziel der Untersuchung war den Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und Krafftähigkeit bei Kindern zu erforschen. Dazu wurde eine medizinische Grunduntersuchung bei den Kindern durchgeführt, die anthropometrischen Daten gemessen und mittels eines Fragebogens gesammelt. Die

eigentliche Testung beinhaltete eine Ergometrie, den Anaeroben Wingate Test und einen isometrischen Krafttest.

8.1. Probanden

An der Untersuchung nahmen 15 Buben im Alter von 11 bis 13 Jahren teil, die alle die zweite bzw. dritte Schulstufe des Gymnasiums auf der Schmelz in Wien besuchten. Alle Teilnehmer waren Hobbysportler und nahmen an keinen regelmäßigen Wettkämpfen teil. Leider konnten aus unterschiedlichen Gründen nicht alle Buben beide Tests durchführen, sodass schließlich insgesamt 13 Teilnehmer für die komplette Untersuchung zur Verfügung standen. Vor der Untersuchung wurden alle Probanden, deren Erziehungsberechtigten, Sportlehrer und Direktorin über das Ziel, Testdesign und Ablauf sowie über alle damit verbundenen Risiken aufgeklärt. Nachdem Einverständnis der Direktion und der zuständigen Lehrer unterschrieben alle Eltern eine Einverständniserklärung und einen Revers des Österreichischen Instituts für Sportmedizin.

8.2. Testdesign

Die Untersuchung wurde im Juni 2013 innerhalb von zwei Wochen durchgeführt. Vor den physischen Testungen wurde eine medizinische Grunduntersuchung, die Ruhe- EKG, Blutdruck- und arterielle Gefäßsteifigkeitsmessung und einen orthopädischen Check beinhaltete, durchgeführt. Zusätzlich wurden die anthropometrischen Daten der Buben aufgenommen und eine Sportanamnese erhoben. Dabei wurden Alter, Größe, Gewicht sowie die ausgeübten Sportarten und die Ausübungshäufigkeit in Tagen und Stunden pro Woche erfasst.

Nach positiver Absolvierung der medizinischen Untersuchung wurde an einem anderen Tag eine Ergometrie zur Ermittlung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit durchgeführt. An einem weiteren Testtag wurden ein „Anaerober Wingate Test“ und ein isometrischer Krafttest durchgeführt. Zwischen den beiden Testungen hatten die Kinder 20 Minuten Erholungszeit. Alle Untersuchungen wurden in klimatisierten Räumlichkeiten unter Aufsicht eines Arztes im Österreichischen Institut für Sportmedizin durchgeführt, sodass für alle Probanden gleiche Bedingungen herrschten. Die durchgeführten Tests sowie die verwendeten Testgeräte werden im Anschluss genauer beschrieben.

8.3. Ergometrie

Die Ergometrie wurde jeweils in Dreiergruppen auf einem drehzahlunabhängigen, elektrisch gebremsten Fahrradergometer durchgeführt. Alle Teilnehmer trugen Sportkleidung, Sportschuhe und einen Pulsgurt zur Bestimmung der Herzfrequenz. Die richtige Sattelhöhe wurde mit der Ferse des gestreckten Beines auf dem unteren Pedal ermittelt. Als Belastungsprotokoll wurde ein Stufenprotokoll mit folgendem Belastungsincrement gewählt: Steigerung um 10 Watt pro Minute bei einem Startwiderstand von 20 Watt. Als Umdrehungszahl wurden 70 Umdrehungen pro Minute vorgegeben, die über die gesamte Untersuchungsdauer konstant (± 5 Umdrehungen/Minute) gehalten werden sollte. Dazu wurde bei jeder Belastungsstufe die Herzfrequenz notiert. Am Monitor konnten die Probanden die aktuelle Belastungsstufe sehen und ihre Umdrehungszahl kontrollieren. Bei subjektiver Erschöpfung oder Abfall der vorgegebenen Umdrehungszahl wurde der Test abgebrochen und die aktuelle Belastungsstufe (Watt und Zeit) sowie die Herzfrequenz notiert.

8.4. Anaerober Wingate Test

Der Anaerobe Wingate Test (WAnT) ist der am häufigsten eingesetzte Test zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Gesunden und gilt als gut evaluiert (Beneke et al., 2007; Inbar et al., 1996). Beim WAnT handelt es sich um einen Maximalbelastungstest, der seit den 1970er Jahren zu den anaeroben Testverfahren der Leistungsdiagnostik gehört. Als limitierender Faktor wird bei der supramaximalen Belastung die Fähigkeit anaerob chemische Energie in mechanische Energie zu überführen gesehen. Diese mechanische Energie wird gemessen und daraus kann die maximale anaerobe Leistung erfasst werden (Bar-Or, 1987; Inbar et al., 1996). Es zeigte sich, dass 70-80% der metabolischen Energie durch anaerobe Stoffwechselwege bereitgestellt werden (Beneke et al., 2002). In der Regel wird der Proband 30 Sekunden, in Abhängigkeit seines Körpergewichts drehzahlabhängig belastet. Aufgrund des nicht unerheblichen aeroben Energiebereitstellungsanteils von 20-30% findet man in der Literatur aber auch einige modifizierte Varianten des WAnT mit kürzeren und längeren Belastungszeiten (Laurent et al., 2007; Mero, 1988). Unabhängig von der Belastungsdauer gilt es bei einer an das Körpergewicht angepassten Bremskraft eine maximale Trittfrequenz zu erreichen und diese wenn möglich zu halten. Die maximale Leistung (Peak Power PP) wird bei der maximal erbrachten Trittfrequenz gemessen und in der Regel nach ca. 3-5 Sekunden erreicht. Die „Peak Power“ soll identisch mit der maximalen alaktaziden Leistungsfähigkeit sein. Nach dem Erreichen der maximalen

Leistung ist ein stetiger Leistungsabfall bis zum Ende des Tests zu beobachten. Bei der Testdurchführung muss beachtet werden, dass die Testergebnisse wesentlich von der Dauer des Tests und der eingestellten Belastung abhängig sind (Heck & Schulz, 2002).

Testergebnisse:

- Maximale Leistung
- Mittlere Leistung (mittlere Leistung aus den sechs 5 Sekunden Segmenten)
- Ermüdungsindex (Höhe des Leistungsabfalls während des Tests ausgedrückt als Prozentsatz der maximalen Leistung)

(Beneke et al, 2002).

8.4.1. Testablauf

In der Untersuchung wurde ein modifizierter 25 Sekunden WAnT auf einem „Wattbike“ (siehe 8.4.2.) durchgeführt. Diese modifizierte Variante wurde in Anlehnung an einen Wattbike- Experten gewählt, da sich in vorangegangenen Untersuchungen zeigte, dass Kinder kaum oder nur schwer die üblichen 30 Sekunden bewältigen können. Während der Tests war das Wattbike mit der auf einem Laptop befindlichen dazugehörigen Software verbunden, die die Leistungsdaten speicherte. Nach Empfehlung eines Wattbike-Experten wurden der Magnet- und Luftwiderstand bei allen Probanden auf Stufe 1 eingestellt. Die richtige Sattelhöhe wurde wie bei der Ergometrie ermittelt. Nach einem 5-minütigen Aufwärmen beschleunigten die Probanden aus einem fliegenden Start heraus auf die maximal mögliche Umdrehungsgeschwindigkeit. Als Startkommando wurde bei allen Teilnehmern: „3, 2, 1, Los“ gewählt. Während der 25 Sekunden andauernden Belastung mussten die Probanden fest auf dem Sattel sitzend die maximal mögliche Trittfrequenz erbringen, welche elektronisch aufgezeichnet wurde. Während der gesamten Testdauer wurden die Teilnehmer zur maximalen Ausbelastung motiviert.

8.4.2. Wattbike

In enger Zusammenarbeit mit British Cycling (Britischer Radsportverband) hat Wattbike den ersten Fahrradergometer entwickelt, der eine Leistungsmessung ermöglicht. Ähnlich dem bei Straßenrennern eingesetzten SRM-System werden Leistungsdaten gemessen, gespeichert und auf einem Monitor am Lenker in Echtzeit grafisch aufgezeichnet. Wichtigster Parameter ist dabei die eingesetzte Leistung in Watt. Sie gibt Aufschluss darüber, wie viel Kraft der Fahrer bei einem eingestellten Widerstand tatsächlich auf die Pedale bringt. Ebenfalls gespeichert werden Geschwindigkeit und Herzfrequenz. Dazu kann auch die Tretmotorik des Fahrers gemessen und graphisch dargestellt werden, das für diese Untersuchung allerdings keine wesentliche Rolle spielt.

Das Wattbike hat zwei frei einstellbare Widerstände am Schwungrad. Neben einer Magnetbremse lassen sich auf den Fahrer ausgerichtete Lüftungsclappen öffnen. Durch das Schwungrad entstehende Verwirbelungen strömen nun dem Fahrer entgegen und simulieren realistische Bedingungen wie Gegenwind beim Straßentraining.

Ein Wägezellen Messsystem (Kraftsensoren) befindet sich auf der Kette und arbeitet mit einem Magnetsystem zusammen, das die Pedale verfolgt. Die Wägezelle misst direkt die Kraft, die der Fahrer über die Kurbeln auf die Kette ausübt. Die produzierte Energie wird dabei 100-mal pro Sekunde vom Messsystem erfasst und kann sowohl am Monitor als auch am Laptop mitverfolgt und analysiert werden. Aufgrund der hohen Datenrate können sowohl die Tritttechnik als auch die Leistung zu jedem Zeitpunkt jeder Umdrehung gezeigt werden. Das Messsystem wird dabei nicht vom Luft- und Magnetwiderstand beeinflusst. (<http://wattbike.com/uk/wattbike>- Zugriff am 12.10.2013).



Abb.13: Wattbike

(http://www.tri juice.com/2011/09/gear_review_wattbike_the_new_standard_for_indoor_power-based_cycling.htm- Zugriff am 12.10.2013).

8.5. Isometrischer Krafttest

Nach einer 20- minütigen Erholungsphase vom WANt absolvierten die Probanden einen isometrischen Krafttest am EasyTorque (siehe 8.5.2.) zur Bestimmung der Maximal- und relativen Maximalkraft.

Gemessen wurden:

- Knie- Extension (vordere Oberschenkelmuskulatur)
- Knie- Flexion (hintere Oberschenkelmuskulatur)
- Rumpf- Extension (Rückenmuskulatur)
- Rumpf- Flexion (Bauchmuskulatur)

Bei den Beinen wurde sowohl bei Extension als auch bei Flexion rechtes und linkes Bein einzeln und auch beidbeinig gemessen.

8.5.1. Testablauf

Wie bei den vorangegangenen Tests wurden die Buben in Dreiergruppen untersucht. Während einer den Test absolvierte, unterstützten und motivierten ihn die beiden anderen mit Anfeuerungen. Die Probanden mussten am EasyTorque Platz nehmen, während Name, Geburtsdatum, Körpergröße und Gewicht in die Software eingegeben wurden. Die Messpolster wurden so eingestellt, dass Hüft- und Kniewinkel 90 Grad betragen, der Oberkörper aufgerichtet war und die Arme seitlich neben dem Körper hängen. Die restlichen Polster wurden nach Angabe der Software spezifisch auf die getestete Muskelgruppe eingestellt. Die streng fixierten Polster und die vorgegebene Sitzposition sollten dafür sorgen, dass nur die Zielmuskulatur isoliert aktiviert und getestet wird. Auf das Kommando „3, 2, 1, Los“ mussten die Probanden 5 Sekunden mit größtmöglicher Kraft gegen den vorgegebenen Messpolster drücken. Zuerst wurde die Extension des rechten und linken Knies einzeln und danach beidbeinig getestet. Das gleiche Prozedere wurde bei der Knie- Flexion durchgeführt. Zum Abschluss wurden Rumpf- Flexion und Rumpf- Extension untersucht. Im Anschluss gab es noch einen 2. Durchgang in der gleichen Reihenfolge, wobei die besseren Werte gezählt wurden. Während der gesamten Testdauer wurden die Teilnehmer wieder zur maximalen Ausbelastung motiviert.

8.5.2. EasyTorque

EasyTorque ist ein Gerät zur Diagnostik der muskulären Kraft. Mit Hilfe computerunterstützter Kraftdiagnostik können alle Hauptmuskelgruppen getestet sowie eine unilaterale Betrachtung der unteren und oberen Extremitäten gemacht werden. So können Seitenvergleichsmessungen, Gegenüberstellungen der Agonisten / Antagonisten-Kraft-Leistung zur Überprüfung von muskulären Dysbalancen oder zur Überprüfung der aktuellen Kraft-Leistung im Vergleich zu vorhandenen Referenzwerten wie in der vorliegenden Untersuchung durchgeführt werden. Insgesamt gibt es 14 standardisierte Messungen der großen Muskelgruppen. Gemessen wird dabei das Drehmoment und die Angabe erfolgt als Kraft in Kilogramm. Dazu zeigt die Software die Kraft relativ zum

Körpergewicht und einen Vergleich mit den vorhandenen Referenzwerten. Im Rahmen eines isometrischen Maximalkrafttests wie in der vorliegenden Untersuchung, wird biomechanisch analysiert welches Kraftniveau vorliegt (<http://www.tonus-online.de/index.php/easytorque.html>)



Abb. 14: Proband am EasyTorque bei beidbeiniger Knie- Extension (<http://www.tonus-online.de/index.php/easytorque.html>- Zugriff 14.10.2013).

8.6. Fragestellung und Hypothesen

Die Fragestellung befasst sich mit dem Einfluss der Krafftähigkeit auf die anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern. So soll die Untersuchung aufzeigen, ob zwischen den untersuchten Parametern der Ergometrie, des Anaeroben Wingate Test und des isometrischen Krafttests Zusammenhänge bestehen. Dazu werden auch Zusammenhänge zwischen den anthropometrischen Werten und der isometrischen Maximalkraft sowie der anaeroben Leistung untersucht.

H1: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit (PP).

H2: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Leistungsfähigkeit.

H3: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Leistungsfähigkeit.

H4: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität (MP).

H5: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Kapazität.

H6: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Kapazität.

H7: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion.

H8: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht.

H9: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension.

H10: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht.

H11: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion.

H12: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht.

H13: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension.

H14: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht.

H15: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion.

H16: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht.

H17: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension.

H18: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht.

H19: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion.

H20: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht.

H21: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension.

H22: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht.

H23: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit.

H24: Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit in Relation zum Körpergewicht.

H25: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität

H26: Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität in Relation zum Körpergewicht.

8.7. Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse sowie die Erstellung der Diagramme und Tabellen wurden mithilfe des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics 19 durchgeführt. Es wurde dabei sowohl mit deskriptiver Statistik als auch mit Inferenzstatistik gearbeitet. Die Deskriptivstatistik beschreibt bestimmte Charakteristika einer Stichprobe, ohne den Anspruch etwas über die Population auszusagen. Ziel ist Daten übersichtlich und informativ zu organisieren und darzustellen. Mit der Inferenzstatistik lassen sich von Stichprobendaten Schlussfolgerungen auf Eigenschaften einer Population ziehen. Dies ermöglicht allgemeingültige Aussagen über die dahinterstehende Population. Dieser so genannte Induktionsschluss lässt allerdings nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu, die ungenau sein können. Diese Ungenauigkeit wird durch die statistische Absicherung auf einem festgelegten Signifikanzniveau α angegeben (Bamberg et al., 2011).

Im Rahmen dieser Untersuchung erfolgte die Signifikanzprüfung mit einem α -Niveau von 5 %. Das bedeutet, dass die Irrtumswahrscheinlichkeit bei fünf Prozent liegt.

9. Darstellung der Ergebnisse

9.1. Anthropometrische Daten und Testergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die anthropometrischen Daten der Probanden, Größe, Gewicht und Body Mass Index sowie die Ergebnisse der Ergometrie, des Anaeroben Wingate Tests und des isometrischen Maximalkrafttests dargestellt.

Tab. 5: Alter, Größe, Gewicht und Body Mass Index (BMI) der Teilnehmer

Name	Alter	Größe (m)	Gewicht (kg)	BMI
Eick M.	11	1,50	45	20,00
Hof P.	11	1,54	45	18,97
Köp A.	11	1,63	62	23,34
Be M.	12	1,48	47	21,46
Kar P.	12	1,49	39	17,57
Jov A.	12	1,51	41	17,98
Hell P.	12	1,53	37	15,81
Kies N.	13	1,47	37,5	17,35
Helm P.	13	1,74	59	19,49
Dorf J.	13	1,49	36,5	16,44
Nik F.	13	1,63	45	16,94
Nik M.	13	1,55	38	15,82
Reit M.	13	1,57	46	18,66

Tab. 6: Deskriptive Statistik der Körpergröße, des Körpergewichts und des BMI

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Größe in m	13	1,47	1,74	1,5485	,07766
Gewicht in kg	13	36,50	62,00	44,4615	8,06087
BMI	13	15,81	23,34	18,3615	2,27938
Gültige Werte (Listenweise)	13				

Die Tabellen 5 und 6 zeigen Körpergröße, Körpergewicht und BMI, sowie den Mittelwert, Minimum und Maximum der einzelnen Faktoren der Probanden. Obwohl der Altersunterschied der Probanden nur ein bis zwei Jahre beträgt, zeigen sich sowohl bei der Körpergröße, dem Körpergewicht als auch dem BMI relativ große Unterschiede. Betrachtet man allerdings bei der Körpergröße den Mittelwert und die Standardabweichung (1,55 bzw. 0,08), wird das ganze relativiert und deutet auf zwei Ausreißer und eine relativ homogene Stichprobe hinsichtlich der Körpergröße hin. Bei

Körpergewicht und BMI bleiben aber auch bei der Betrachtung des Mittelwerts und der Standardabweichung relativ deutliche Unterschiede bestehen. Der Body Mass Index setzt das Körpergewicht in Relation zur Körpergröße und ist somit aussagekräftiger als die alleinige Beurteilung des Körpergewichts. Zur Berechnung des BMI sind bei Kindern neben dem Körpergewicht und der Körpergröße auch das Alter und das Geschlecht entscheidend, da die Grenzwerte zwischen Normal- und Übergewicht nach diesen beiden Merkmalen variieren. Um die geschlechts- und altersspezifischen Grenzwerte für das Übergewicht zu berechnen, kann das Modell von Cole et al. (2000) verwendet werden. 11-jährige Knaben mit einem BMI über 20,4 kg/m, 12-jährige Buben mit einem BMI über 21,4 kg/m und 13-jährige Buben mit einem BMI über 22 kg/m werden nach diesem System als übergewichtig klassifiziert (Cole et al., 2000). Beim Vergleich der Grenzwerte nach dem Modell von Cole et al. (2000) mit den Daten der Stichprobe zeigt sich, dass ein paar Probanden übergewichtig bzw. im oberen Bereich des Normalgewichts sind.

Tab. 7: Max. Watt und max. Herzfrequenz bei Ausbelastung bei der Ergometrie

Name	max. Watt	Watt/kg	max. Hf
Eick M.	140	3,11	209
Hell P.	160	4,32	189
Be M.	160	3,40	206
Jov A.	170	4,15	188
Köp A.	160	2,58	190
Kies N.	110	2,93	181
Helm P.	230	3,90	203
Kar P.	140	3,59	213
Dorf J.	140	3,84	199
Hof P.	180	4,00	183
Nik F.	180	4,00	183
Nik M.	170	4,47	190
Reit M.	140	3,04	181

Tab. 8: Deskriptive Statistik der erreichten Watt und Watt/kg bei der Ergometrie

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
max. Watt Ergometrie	13	110	230	160,00	28,868
max. Watt Ergometrie (Watt/kg)	13	2,58	4,47	3,6408	,58501
Gültige Werte (Listenweise)	13				

Die Tabellen 7 und 8 zeigen die erreichte Wattstufe und die maximale Herzfrequenz der Probanden bei Ausbelastung. Die Probanden absolvierten alle das gleiche Belastungsprotokoll, wobei der Schlechteste 110 Watt und der Beste 230 Watt erreichte. Der Mittelwert lag bei 160 Watt bei Belastungsende. In Relation zum Körpergewicht lag der niedrigste Wert bei 2,58 Watt/kg und der höchste bei 4,47 Watt/kg bei einem Mittelwert von 3,64 Watt/kg. Auffällig war, dass durchwegs kleinere Probanden muskuläre Erschöpfung der Beine als Abbruchkriterium angaben. Dies ist ein Indiz dafür, dass möglicherweise die Körpergröße oder auch das Körpergewicht sowie die Muskelkraft der Probanden einen Einfluss sowohl auf die aerobe als auch auf die anaerobe Leistungsfähigkeit haben und die aufgestellten Hypothesen bestätigen.

Tab. 9: PP und MP beim Anaeroben Wingate Test

Name	Peak Power-PP (Watt)	PP relativ (Watt/kg)	Mean Power-MP (Watt)	MP reaktiv (Watt/kg)
Eick M.	351,00	7,80	182,00	4,04
Hell P.	392,00	10,59	278,00	7,51
Be M.	277,00	5,89	221,00	4,70
Jov A.	430,00	10,49	308,00	7,51
Käp A.	408,00	6,58	281,00	4,53
Kies N.	311,00	8,29	168,00	4,48
Helm P.	450,00	7,63	318,00	5,39
Kar P.	322,00	8,25	231,00	5,92
Dorf J.	258,00	7,07	205,00	5,62
Hof P.	545,00	12,10	334,00	7,42
Nik F.	386,00	8,58	305,00	6,78
Nik M.	278,00	7,32	242,00	6,37
Reit M.	372,00	8,09	292,00	6,35

Tab. 10: Deskriptive Statistik PP, MP, PPr und MPPr

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Peak Power (Watt) (Wingate Test)	13	258,00	545,00	367,6923	80,90466
Peak Power relativ (Watt/kg)	13	5,89	12,10	8,3600	1,74397
Mean Power (Watt) (Wingate Test)	13	168,00	334,00	258,8462	54,16002
Mean Power reaktiv (Watt/kg)	13	4,04	7,51	5,8938	1,21873
Gültige Werte (Listenweise)	13				

Die Tabellen 9 und 10 zeigen die maximale- (PP) und mittlere Leistung (MP) sowie die Leistung relativ zum Körpergewicht (PPr und MPr) beim Anaeroben Wingate Test. PP bzw. PPr spiegeln dabei die anaerobe Leistungsfähigkeit wider. MP bzw. MPr zeigen die anaerobe Kapazität. Bei der Betrachtung der absoluten Werte (PP, MP) zeigt sich eine relativ breite Streuung bei einem Minimum von 258 Watt und einem Maximum von 545 Watt (PP) bzw. 168 Watt und 334 Watt (MP). Dies bestätigt auch der Mittelwert von 367,69 Watt (PP) mit einer Standardabweichung von 80,90 bzw. der Mittelwert von 258,84 Watt (MP) mit einer Standardabweichung von 54,16. Bei der Betrachtung der Leistung relativ zum Körpergewicht zeigte sich allerdings ein stark verändertes Bild. So lag der Mittelwert der PPr bei 8,36 Watt/kg bei einer Standardabweichung von 1,74 und der Mittelwert der MPr bei 5,89 Watt/kg bei einer Standardabweichung von 1,21. Dies deutet auf eine relativ geringe Streuung der Werte hin und hat auch aufgrund der Relation zum Körpergewicht eine höhere Aussagekraft als die absoluten Werte. Beim Vergleich mit den Ergebnissen von Rankovic et al. (2007) und Beneke et al. (2007), die Buben in einem Alter von 11-12 Jahren untersuchten, zeigten sich relativ ähnliche Werte für PP, MP, PPr und MPr. So erreichten die Probanden in der Studie von Rankovic et al. (2007) eine durchschnittliche PP von $347,48 \pm 90,75$ Watt (PPr $8,16 \pm 1,18$ Watt/kg) und eine mittlere MP von $300,82 \pm 74,66$ Watt (MPr $7,06 \pm 1,04$ Watt/kg). Beneke et al. (2007) publizierten eine PPr von $10,8 \pm 0,7$ Watt/kg und eine MPr von $6,1 \pm 0,7$ Watt/kg. Durch den Vergleich mit den beiden angeführten Studien zeigt sich, dass die WAnT Ergebnisse dieser Untersuchung im Normwertbereich für Kinder in diesem Alter liegen.

Tab. 11: Knieflexion (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest

Name	KFB (kg)	KFBr (kg/kg)	KFL (kg)	KFLr (kg/kg)	KFR (kg)	KFRr (kg/kg)
Eick M.	18,20	0,40	9,70	0,20	10,40	0,20
Hell P.	24,30	0,70	13,10	0,40	14,30	0,40
Be M.	25,10	0,50	13,10	0,30	14,30	0,30
Jov A.	34,80	0,80	17,00	0,40	15,80	0,40
Käp A.	25,90	0,40	13,50	0,20	18,20	0,30
Kies N.	17,80	0,50	11,60	0,30	12,80	0,30
Helm P.	36,30	0,60	24,00	0,40	25,10	0,40
Kar P.	21,60	0,60	9,70	0,20	13,90	0,40
Dorf J.	30,50	0,80	15,80	0,40	15,10	0,40
Hof P.	37,10	0,80	18,90	0,40	21,60	0,50
Nik F.	35,20	0,80	15,10	0,30	19,30	0,40
Nik M.	27,40	0,70	16,60	0,40	23,60	0,60
Reit M.	29,40	0,60	13,10	0,30	12,80	0,30

Tab. 12: Deskriptive Statistik Knieflexion (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
max. Kraft Knieflexion beide (kg)	13	17,80	37,10	27,9692	6,61997
max. Kraft Knieflexion beide relativ (kg/kg)	13	,40	,80	,6308	,14936
max. Kraft Knieflexion links (kg)	13	9,70	24,00	14,7077	3,90650
max. Kraft Knieflexion links relativ (kg/kg)	13	,20	,40	,3231	,08321
max. Kraft Knieflexion rechts (kg)	13	10,40	25,10	16,7077	4,50952
max. Kraft Knieflexion rechts relativ (kg/kg)	13	,20	,60	,3769	,10127
Gültige Werte (Listenweise)	13				

Die Tabellen 11 und 12 stellen die isometrische und relative isometrische Maximalkraft bei der Knieflexion dar. Getestet wurde sowohl beidbeinig als auch rechtes und linkes Bein einzeln. Bei der beidbeinigen Knieflexion zeigt sich ein Mittelwert von 27,97 kg \pm 6,62, wobei ein Maximalwert von 37,10 kg erreicht wurde. Bei der unilateralen Betrachtung fällt auf, dass bei der Flexion des rechten Knies sowohl höhere absolute (re. 25,10 kg bzw. li. 24,00 kg) als auch relative Maximalwerte (0,60 kg/kg bzw. 0,40 kg/kg) erzielt wurden. Auch der Mittelwert von 16,71 kg \pm 4,51 gegenüber 14,71 kg \pm 3,91 spricht für eine etwas kräftigere rechte als linke hintere Oberschenkelmuskulatur bei den Probanden. Verglichen mit den Referenzwerten von Beenakker et al. (2001) für isometrische Maximalkraft bei der Knieflexion liegen die Werte der vorliegenden Untersuchung in einem vergleichbaren Bereich. Die Autoren publizierten Referenzwerte für 11 Muskelgruppen für Kinder von 4 bis 16 Jahren. Gemessen wurde die Muskelkraft (in Newton) mit einem in der Hand gehaltenen Kraftmessgerät (Dynamometer Typ CT 3001). Dabei erhielten Beenakker et al. (2001) einen Mittelwert von 218 N \pm 64 (22,23 kg \pm 6,52) bei 11-jährigen Buben bei der Knieflexion. Bei 12-Jährigen erhielten sie einen Mittelwert von 201 N \pm 34 (20,50 kg \pm 3,47) und bei den 13-Jährigen einen Mittelwert von 273 N \pm 53 (27,84 kg \pm 5,40). Obwohl ein anderes Kraftmessgerät als in der vorliegenden Untersuchung verwendet wurde, scheinen die Messwerte bei der Knieflexion übereinzustimmen bzw. in einem ähnlichen Bereich zu liegen.

Tab. 13: Knieextension (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest

Name	KEB (kg)	KEBr (kg/kg)	KEL (kg)	KELr (kg/kg)	KER (kg)	KERr (kg/kg)
Eick M.	47,50	1,10	22,80	0,50	19,70	0,40
Hell P.	52,60	1,40	34,40	0,90	30,10	0,80
Be M.	71,10	1,50	35,20	0,70	36,30	0,80
Jov A.	83,10	2,00	32,80	0,80	45,20	1,10
Köp A.	57,00	0,90	30,10	0,50	24,30	0,40
Kies N.	24,30	0,70	23,60	0,60	20,90	0,60
Helm P.	89,30	1,50	58,40	1,00	52,60	0,90
Kar P.	57,20	1,10	27,80	0,70	25,90	0,70
Dorf J.	51,00	1,40	22,80	0,60	25,90	0,70
Hof P.	68,30	1,50	35,60	0,80	35,80	0,80
Nik F.	69,90	1,60	33,60	0,70	35,90	0,80
Nik M.	52,20	1,40	27,80	0,70	23,20	0,60
Reit M.	50,20	1,00	22,40	0,50	28,20	0,60

Tab. 14: Deskriptive Statistik Knieextension (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
max. Kraft Knieextension beide (kg)	13	24,30	89,30	59,5154	16,88041
max. Kraft Knieextension beide relativ (kg/kg)	13	,70	2,00	1,3154	,34362
max. Kraft Knieextension links (kg)	13	22,40	58,40	31,3308	9,54894
max. Kraft Knieextension links relativ (kg/kg)	13	,50	1,00	,6923	,15525
max. Kraft Knieextension rechts (kg)	13	19,70	52,60	31,0769	9,74407
max. Kraft Knieextension rechts relativ (kg/kg)	13	,40	1,10	,7077	,19348
Gültige Werte (Listenweise)	13				

Die Tabellen 13 und 14 zeigen die Ergebnisse der Knieextension und beurteilen somit die isometrische und relative isometrische Maximalkraft der Oberschenkel Extensoren. Der erreichte Maximalwert bei der beidbeinigen Knieextension liegt bei 89,30 kg (2,00 kg relativ) und der Mittelwert bei 59,52 kg \pm 16,88 (1,32 kg \pm 0,34 relativ). Diese Werte liegen

deutlich über denen der Knieflexion und deuten bei der Gegenüberstellung von Agonisten und Antagonisten auf muskuläre Dysbalancen in der Oberschenkelmuskulatur hin. Bei der unilateralen Betrachtung zeigt sich ein recht ausgeglichenes Kraftniveau zwischen rechten und linken Oberschenkel Extensoren. Rechts liegt der Mittelwert bei $31,08 \text{ kg} \pm 9,74$ und links bei $31,33 \text{ kg} \pm 9,55$. Beim Vergleich mit den Referenzwerten für die Knieextension von Beenakker et al. (2001) zeigt sich allerdings, dass die erhaltenen Messwerte der vorliegenden Untersuchung recht deutlich über denen von Beenakker et al. liegen. So wurde in der angeführten Studie ein Mittelwert von $239 \text{ N} \pm 65$ ($24,37 \text{ kg} \pm 6,63$) für 11- jährige Buben, ein Mittelwert von $225 \text{ N} \pm 43$ ($22,95 \text{ kg} \pm 4,38$) für 12- Jährige und ein Mittelwert von $296 \text{ N} \pm 70$ ($30,18 \text{ kg} \pm 7,14$) für 13- Jährige publiziert. Diese Werte liegen alle weit unter dem in der vorliegenden Untersuchung erreichten Mittelwert von $59,52 \text{ kg} \pm 16,88$. Da das Körpergewicht und die Körpergröße der Buben in der Studie von Beenakker et al. ähnlich dem der in der vorliegenden Untersuchung sind, sind die Unterschiede im Kraftniveau auch nicht auf anthropometrische Unterschiede zurückzuführen. Neben den unterschiedlichen Kraftmessgeräten könnten auch die unterschiedlichen Sitzpositionen ein Grund für die großen Differenzen in den Messwerten sein. Deshalb wurde in der Studie von Beenakker et al. bei der Knieextension ein Kniewinkel von 90 Grad und bei der Flexion ein Winkel von 45 Grad gewählt.

Tab. 15: Rumpfextension und Rumpfflexion und relativ zum Körpergewicht beim isometrischen Maximalkrafttest

Name	RF (kg)	RFr (kg/kg)	RE (kg)	REr (kg/kg)
Eick M.	27,50	0,60	45,10	1,00
Hell P.	26,60	0,70	51,90	1,40
Be M.	37,70	0,80	70,20	1,50
Jov A.	22,90	0,60	68,00	1,70
Käp A.	39,30	0,60	77,30	1,10
Kies N.	13,00	0,40	30,60	0,80
Helm P.	45,10	0,80	87,80	1,50
Kar P.	20,10	0,50	54,70	1,40
Dorf J.	26,90	0,70	52,60	1,50
Hof P.	32,90	0,70	66,70	1,50
Nik F.	33,40	0,70	66,50	1,50
Nik M.	30,30	0,80	62,40	1,60
Reit M.	27,80	0,60	63,70	1,30

Tab. 16: Deskriptive Statistik Rumpfextension und Rumpfflexion und relativ zum Körpergewicht beim isometrischen Maximalkrafttest

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
max. Kraft Rumpfflexion (kg)	13	13,00	45,10	29,5000	8,46699
max. Kraft Rumpfflexion relativ (kg/kg)	13	,40	,80	,6538	,11983
max. Kraft Rumpfextension (kg)	13	30,60	87,80	61,3462	14,60032
max. Kraft Rumpfextension relativ (kg/kg)	13	,80	1,70	1,3692	,25621
Gültige Werte (Listenweise)	13				

Neben Knieflexion und –extension wurde auch die isometrische Maximalkraft bei Rumpfflexion und –extension gemessen und die Ergebnisse in den Tabellen 15 und 16 dargestellt. Diese zeigen deutlich höhere Werte bei der Rumpfextension mit einem Mittelwert von 61,35 kg \pm 14,60 (1,37 kg \pm 0,26 relativ) gegenüber der Rumpfflexion mit einem Mittelwert von 29,50 kg \pm 8,47 (0,65 kg \pm 0,12). Nur die Rumpfflexion konnte mit den Referenzwerten verglichen werden, da die Rumpfextension in der Studie von Beenakker et al. (2001) nicht durchgeführt wurde. Für die Rumpfflexion wurde ein Mittelwert von 245 N \pm 65 (24,98 kg \pm 6,63) für 11- jährige Jungen, ein Mittelwert von 198 N \pm 38 (20,19 kg \pm 3,87) für 12- Jährige und ein Mittelwert von 289 N \pm 60 (29,47 kg \pm 6,12) für 13- Jährige angeführt. Wie bei der Knieflexion liegen die Referenzwerte für die Rumpfflexion in einem ähnlichen Bereich wie die Messwerte in der vorliegenden Untersuchung. Allerdings ist die Vergleichbarkeit der Werte zu hinterfragen, da Beenakker et al. eine liegende Ausgangsposition mit einem Hüft- und Kniewinkel von 45 Grad wählten.

Inwieweit bzw. ob die Muskelkraft des Rumpfes überhaupt einen Einfluss auf die anaerobe Leistungsfähigkeit beim WAnT hat, wird sich bei der Überprüfung der Hypothesen herausstellen.

9.2. Prüfung der Ergebnisse auf signifikante Zusammenhänge

Alle Variablen, die in den Hypothesen auf Zusammenhänge geprüft werden, weisen zumindest eine Intervallskalierung auf. Aufgrund der relativ kleinen Stichprobe ($n=13$) ist allerdings keine Normalverteilung der zu überprüfenden Variablen gegeben und so muss für die Überprüfung der Zusammenhangshypothesen der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (Spearman's Rho) bzw. Kendall Tau verwendet werden. Kendalls Tau erweist sich auch für intervallskalierte Daten als hilfreich, wenn die Daten nicht normalverteilt sind, die Skalen ungleiche Teilungen aufweisen oder bei sehr kleinen Stichprobengrößen.

Der Koeffizient hat Werte zwischen 1 und -1. Aus der Größe des Wertes kann die Stärke und aus dem Vorzeichen die Richtung des Zusammenhangs entnommen werden.

$r = -1$ drückt ein streng lineares Gegensatzverhältnis aus. Hohe Messwerte von X treten immer mit niedrigen Y-Werten auf (negativer Zusammenhang).

$r = 1$ drückt einen positiven, streng linearen Zusammenhang aus. Hohen Messwerten von X sind immer hohen Messwerte von Y zugeordnet.

$r = 0$ besagt: Beide Variablen stehen in keinem Zusammenhang, sondern streuen unabhängig voneinander (Bamberg et al., 2011).

Als Richtwerte für die Interpretation des Korrelationskoeffizienten geben Bamberg et al. (2011) folgende vor:

$r = 0$	kein Zusammenhang
$0 < r \leq 0,4$	niedriger Zusammenhang
$0,4 < r \leq 0,7$	mittlerer Zusammenhang
$0,7 < r < 1,0$	hoher Zusammenhang
$r = 1$	vollständiger Zusammenhang

9.2.1. Zusammenhang zwischen anthropometrischen Eigenschaften und anaerober Leistungsfähigkeit

Die Fragestellungen 1 bis 6 überprüfen den Einfluss von anthropometrischen Merkmalen (Körpergröße, Körpergewicht, BMI) auf die anaerobe Leistungsfähigkeit (PP) und die anaerobe Kapazität (MP). Aufgrund der angeführten Studien unter Punkt 6: „Der Einfluss von anthropometrischen Eigenschaften auf Muskelkraft- und Leistung“ wurden folgende Hypothesen aufgestellt.

Die zu prüfende Nullhypothese 1 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit (PP).

Tab. 17: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit

Korrelationen				
			Größe in m	Peak Power (Watt) (Wingate Test)
Kendall-Tau-b	Größe in m	Korrelationskoeffizient	1,000	,494*
		Sig. (2-seitig)	.	,020
		N	13	13
	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	,494*	1,000
		Sig. (2-seitig)	,020	.
		N	13	13

Die Tabelle 17 und Abbildung 15 zeigen einen signifikanten Zusammenhang ($p < 0,02$) zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit. Da der Korrelationskoeffizient bei 0,494 liegt, ist von einem mittleren Zusammenhang auszugehen und die Nullhypothese 1 kann angenommen werden. Somit können auch die weiter oben angeführten Ergebnisse von Davies et al. (1985), Docherty & Gaul (1991), Armstrong et. al. (2000) und Fricke & Schönau (2005) bestätigt werden.

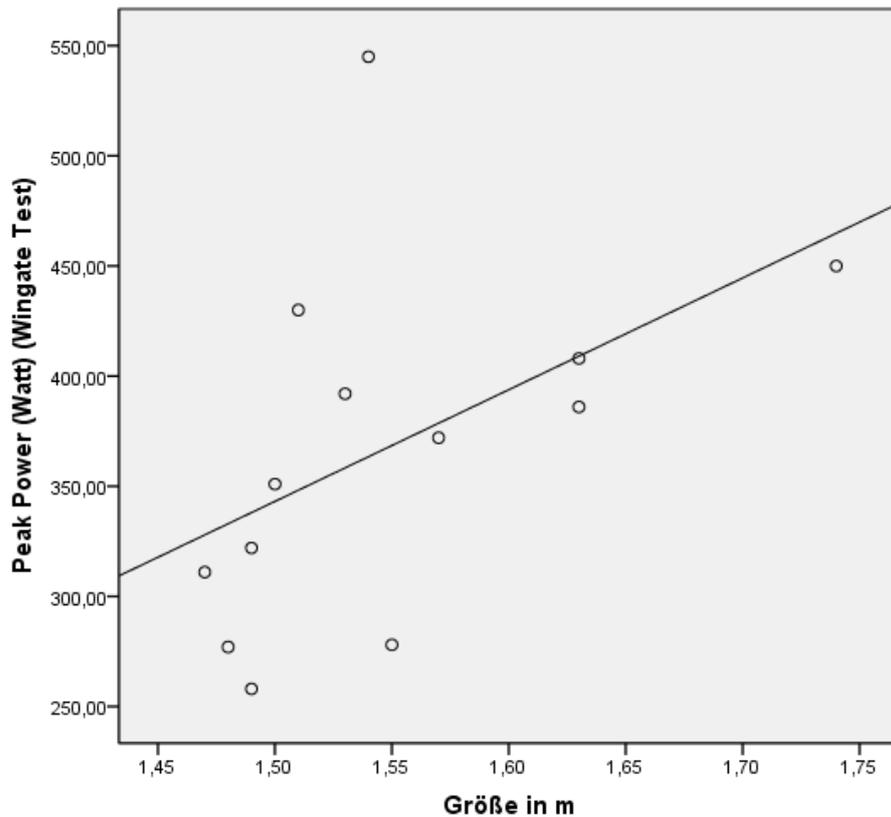


Abb. 15: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit

Die zu prüfende Nullhypothese 2 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Leistungsfähigkeit.

Tab. 18: Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Leistungsfähigkeit

Korrelationen				Peak Power (Watt) (Wingate Test)
			Gewicht in kg	
Kendall-Tau-b	Gewicht in kg	Korrelationskoeffizient	1,000	,327
		Sig. (2-seitig)	.	,125
		N	13	13
			Peak Power (Watt) (Wingate Test)	
	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	,327	1,000
		Sig. (2-seitig)	,125	.
		N	13	13

Die Tabelle 18 zeigt einen Korrelationskoeffizienten $r = 0,327$ und deutet auf einen niedrigen Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Leistungsfähigkeit hin. Dieser ist allerdings nicht signifikant, da $p > 0,05$ ist und somit muss Nullhypothese 2

verworfen werden. Dies widerspricht allen Ergebnissen aus Kapitel 6 und ist möglicherweise auf die kleine Stichprobe zurückzuführen.

Die zu prüfende Nullhypothese 3 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Leistungsfähigkeit.

Tab. 19: Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Leistungsfähigkeit

Korrelationen				Peak Power (Watt) (Wingate Test)
			BMI	
Kendall-Tau-b	BMI	Korrelationskoeffizient	1,000	,194
		Sig. (2-seitig)	.	,359
		N	13	13
	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	,194	1,000
		Sig. (2-seitig)	,359	.
		N	13	13

Der Korrelationskoeffizient $r = 0,194$ deutet wieder auf einen niedrigen Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Leistungsfähigkeit hin. Jedoch zeigt sich wie beim Körpergewicht, dass dieser nicht statistisch signifikant ($p = 0,359$) ist und daher Nullhypothese 3 verworfen werden muss.

Die zu prüfende Nullhypothese 4 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität (MP).

Tab. 20: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität

Korrelationen				Mean Power (Watt) (Wingate Test)
			Größe in m	
Kendall-Tau-b	Größe in m	Korrelationskoeffizient	1,000	,571**
		Sig. (2-seitig)	.	,007
		N	13	13
	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	,571**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,007	.
		N	13	13

Spearman-Rho	Größe in m	Korrelationskoeffizient	1,000	,749**
		Sig. (2-seitig)	.	,003
		N	13	13
Mean Power (Watt) (Wingate Test)		Korrelationskoeffizient	,749**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,003	.
		N	13	13

Die Tabelle 20 und Abbildung 16 zeigen, dass ein signifikanter Zusammenhang ($p < 0,003$) zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität besteht. Dieser Zusammenhang ist mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,571$ nach Kendall- Tau als Mittel und mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,749$ nach Spearman- Rho sogar als hoch einzustufen. Dies bedeutet, dass sowohl zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit als auch zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität ein signifikanter Zusammenhang besteht und mit den Studien aus Kapitel 6 übereinstimmt. Damit kann Nullhypothese 4 angenommen werden.

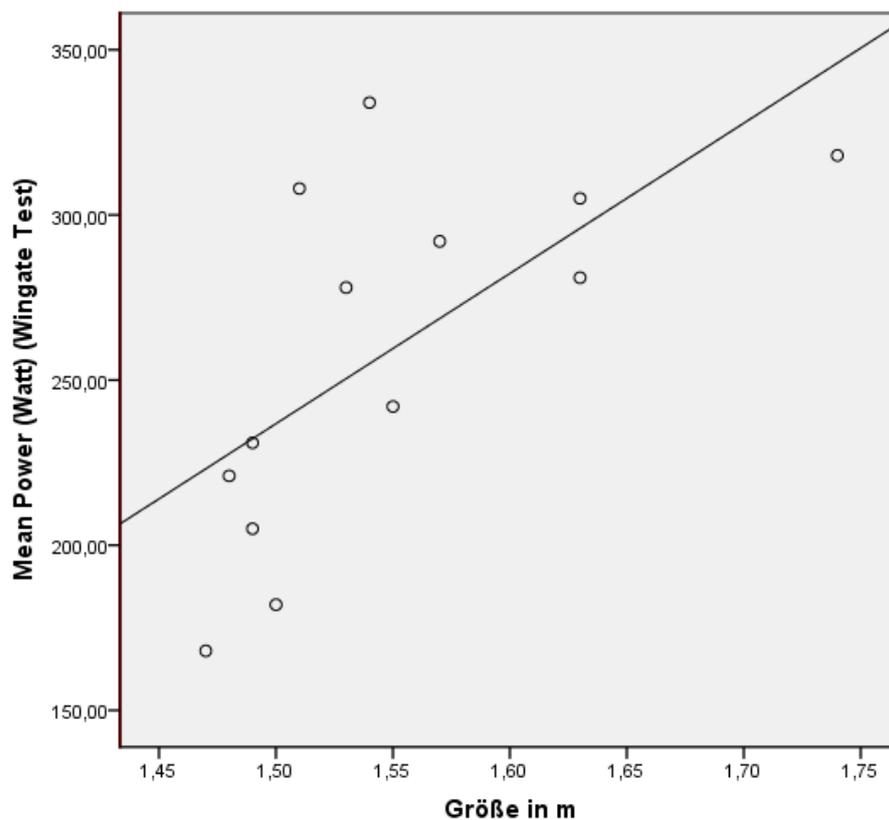


Abb. 16: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität

Die zu prüfende Nullhypothese 5 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Kapazität.

Tab. 21: Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Kapazität

Korrelationen				Mean Power (Watt) (Wingate Test)
			Gewicht in kg	
Kendall-Tau-b	Gewicht in kg	Korrelationskoeffizient	1,000	,275
		Sig. (2-seitig)	.	,197
		N	13	13
	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	,275	1,000
		Sig. (2-seitig)	,197	.
		N	13	13

Der Korrelationskoeffizient $r = 0,275$ in Tabelle 21 deutet auf einen niedrigen Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Kapazität hin. Allerdings ist dieser nicht statistisch signifikant und somit wird die Nullhypothese 5 verworfen.

Die zu prüfende Nullhypothese 6 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Kapazität.

Tab. 22: Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Kapazität

Korrelationen				Mean Power (Watt) (Wingate Test)
			BMI	
Kendall-Tau-b	BMI	Korrelationskoeffizient	1,000	,090
		Sig. (2-seitig)	.	,669
		N	13	13
	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	,090	1,000
		Sig. (2-seitig)	,669	.
		N	13	13

Tabelle 22 zeigt, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Kapazität besteht. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,09$ und somit stehen die beiden Faktoren in keiner Beziehung zueinander. Die Nullhypothese 6 muss daher verworfen werden. Die Ergebnisse machen sichtbar, dass nur bei der Körpergröße signifikante

Zusammenhänge mit der anaeroben Leistungsfähigkeit und der anaeroben Kapazität nachgewiesen werden konnten. Auch beim Körpergewicht deutet der Korrelationskoeffizient auf einen niedrigen Zusammenhang mit den beiden untersuchten Faktoren hin. Allerdings sind die Ergebnisse nicht statistisch signifikant, das vermutlich auf die kleine Stichprobe zurückzuführen ist. Diese Vermutung liegt nahe, da Docherty & Gaul (1991), Armstrong et al. (2000), Armstrong et al. (2001) und Martin et al. (2004) ähnliche Altersgruppen untersuchten und das Körpergewicht als signifikante erklärende Variable anführten.

9.2.2. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und der anaeroben Leistungsfähigkeit

Die Fragestellungen 7 bis 10 überprüfen, ob die anaerobe Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit zur isometrischen Maximalkraft der Beine steht. Dabei wird die Korrelation zwischen anaerober Leistungsfähigkeit (PP) und Kraft der Oberschenkel Flexoren sowie Oberschenkel Extensoren sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht überprüft.

Wenige Studien haben bisher den Zusammenhang zwischen WAnT Ergebnissen und isometrischen bzw. isokinetischen Kraftwerten untersucht. Arslan (2005) fand einen signifikanten Zusammenhang zwischen explosiver Beinkraft bzw. isometrischer Beinkraft und anaerober Leistungsfähigkeit. Auch Kin- Isler et al. (2008) und Alemdaroğlu (2012) berichteten von einem signifikanten Zusammenhang zwischen maximaler isokinetischer konzentrischer Kniestreckung und Peak Power beim WAnT. Allerdings wurden diese Untersuchungen an Erwachsenen durchgeführt und nur Arslan (2005) untersuchte unter anderem die isometrische Beinkraft. Basierend auf den wenig verfügbaren Studien zu Muskelcharakteristiken (siehe Kapitel 5) scheint es während der Kindheit und Adoleszenz einen höheren Anteil an Typ I Fasern im Vergleich zum Erwachsenenalter zu geben. Dafür scheint der Anteil an Typ II Fasern in der Kindheit geringer zu sein und erst während des späten Jugendalters Erwachsenen Proportionen zu erreichen (Colling-Saltin, 1980; Jansson, 1996). Der Ermüdungswiderstand bei wiederholten maximalen willkürlichen Kontraktionen hängt von der Muskelfasertypverteilung einer Person ab und so scheint vor allem bei hochintensiven intermittierenden Belastungen ein hoher Anteil an Typ II Fasern zu größerer Muskelermüdung zu führen. Des Weiteren ist auch die Maximalkraft unter anderem vom Anteil an Typ II Fasern abhängig (Hamada et al., 2003; Elder & Kakulas, 1993). Daher wird bei den Hypothesen 7-10 ein signifikanter Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und anaerober Leistungsfähigkeit bei Kindern angenommen.

Die zu prüfende Nullhypothese 7 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion.

Tab. 23: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion

Korrelationen

		Peak Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Knieflexion beide
Kendall-Tau-b	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	1,000	,410
	Korrelationskoeffizient	.	,051
	Sig. (2-seitig)		
	N	13	13
	max. Kraft Knieflexion beide	,410	1,000
	Korrelationskoeffizient	,051	.
	Sig. (2-seitig)		
	N	13	13

Der Korrelationskoeffizient $r = 0,410$ in Tabelle 23 deutet auf einen mittleren Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Oberschenkelflexoren und der anaeroben Leistungsfähigkeit hin. Jedoch wird bei der Betrachtung des p- Wertes ($p > 0,05$) deutlich, dass dieser nicht statistisch signifikant ist. Somit muss Nullhypothese 7 verworfen werden.

Die zu prüfende Nullhypothese 8 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 24: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen

		Peak Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Knieflexion beide relativ
Kendall-Tau-b	Peak Power relativ (Watt/kg)	1,000	,362
	Korrelationskoeffizient	.	,102
	Sig. (2-seitig)		
	N	13	13
	max. Kraft Knieflexion beide relativ	,362	1,000
	Korrelationskoeffizient	,102	.
	Sig. (2-seitig)		
	N	13	13

Auch bei der Betrachtung der beiden Faktoren relativ zum Körpergewicht bestätigt Tabelle 24, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion gibt. Daher kann auch Nullhypothese 8 verworfen werden.

Die zu prüfende Nullhypothese 9 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension.

Tab. 25: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension

Korrelationen			
	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Knieextension beide	
Kendall-Tau-b	Korrelationskoeffizient	,385	
	Sig. (2-seitig)	,067	
	N	13	
	max. Kraft Knieextension	1,000	
	Korrelationskoeffizient	,385	
	Sig. (2-seitig)	,067	
	N	13	

Die Tabelle 25 veranschaulicht, dass auch zwischen isometrischer Maximalkraft der Oberschenkelextensoren und anaerober Leistungsfähigkeit kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,06$) besteht, obwohl der Korrelationskoeffizient $r = 0,385$ auf eine niedrige Korrelation hindeutet. Somit wird Nullhypothese 9 verworfen.

Die zu prüfende Nullhypothese 10 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 26: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen

			Peak Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Knieextension beide relativ
Kendall-Tau-b	Peak Power relativ (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	1,000	,148
		Sig. (2-seitig)	.	,495
		N	13	13
	max. Kraft Knieextension beide relativ	Korrelationskoeffizient	,148	1,000
		Sig. (2-seitig)	,495	.
		N	13	13

Die Tabelle 26 verdeutlicht, dass auch relativ zum Körpergewicht kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,49$) zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft der Beine besteht. Damit kann auch Nullhypothese 10 verworfen werden.

Die Untersuchungsergebnisse widerlegen die Nullhypothesen 7 bis 10 und deuten darauf hin, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und anaerober Leistungsfähigkeit (PP) bei Kindern, weder absolut noch in Relation zum Körpergewicht, besteht. Somit konnten die Untersuchungen von Arslan (2005), Kinlsler et al. (2008) und Alemdaroğlu (2012), die allerdings an Erwachsenen durchgeführt wurden, nicht bestätigt werden. Dies wird vor allem auf eine geringere Größe und einen geringeren Anteil an Typ II Fasern zurückgeführt, die sowohl für die anaerobe Leistungsfähigkeit als auch für die Maximalkraft ein entscheidender Faktor sind. Außerdem wird neben einer geringeren Abhängigkeit vom glykolytischen Stoffwechsel eine schlechtere neuromuskuläre Ansteuerung und geringere Fähigkeit die Typ II Fasern zu aktivieren vermutet (Ratel et al. 2006; Falk & Dotan, 2006).

9.2.3. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und der anaeroben Kapazität

Die Fragestellungen 11 bis 14 befassen sich damit, ob die anaerobe Kapazität (MP) in Abhängigkeit zur isometrischen Maximalkraft der Beine steht. Dabei wird der Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und Kraft der Oberschenkel Flexoren sowie Oberschenkel Extensoren überprüft (absolut und relativ zum Körpergewicht).

Ratel et al. (2006) kamen in ihrer Untersuchung zu dem Schluss, dass Kinder langsamer als Erwachsene ermüden, sich schneller regenerieren und ihre Leistung bei wiederholten hochintensiven Belastungen länger halten können. Dies führen sie vor allem auf einen höheren oxidativen Stoffwechsel (ausgeprägtes Kapillarnetz, hohe aerobe Enzymaktivität und größerer Anteil an Typ I- Fasern) bei Kindern als bei Erwachsenen zurück. Aufgrund dieser Ergebnisse und Annahmen wurden folgende Nullhypothesen erstellt.

Die zu prüfende Nullhypothese 11 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion.

Tab. 27: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion

		Mean Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Knieflexion beide
Kendall-Tau-b Test	Korrelationskoeffizient	1,000	,718**
	Sig. (2-seitig)	.	,001
	N	13	13
max. Kraft Knieflexion beide	Korrelationskoeffizient	,718**	1,000
	Sig. (2-seitig)	,001	.
	N	13	13

Die Tabelle 27 und Abbildung 17 zeigen einen signifikante Korrelation ($p=0,001$) zwischen anaerober Kapazität und der isometrischen Maximalkraft der Knieflexoren. Der Korrelationskoeffizient $r=0,718$ deutet sogar auf einen hohen Zusammenhang zwischen den beiden Testfaktoren hin. Somit kann Nullhypothese 11 bestätigt und angenommen werden.

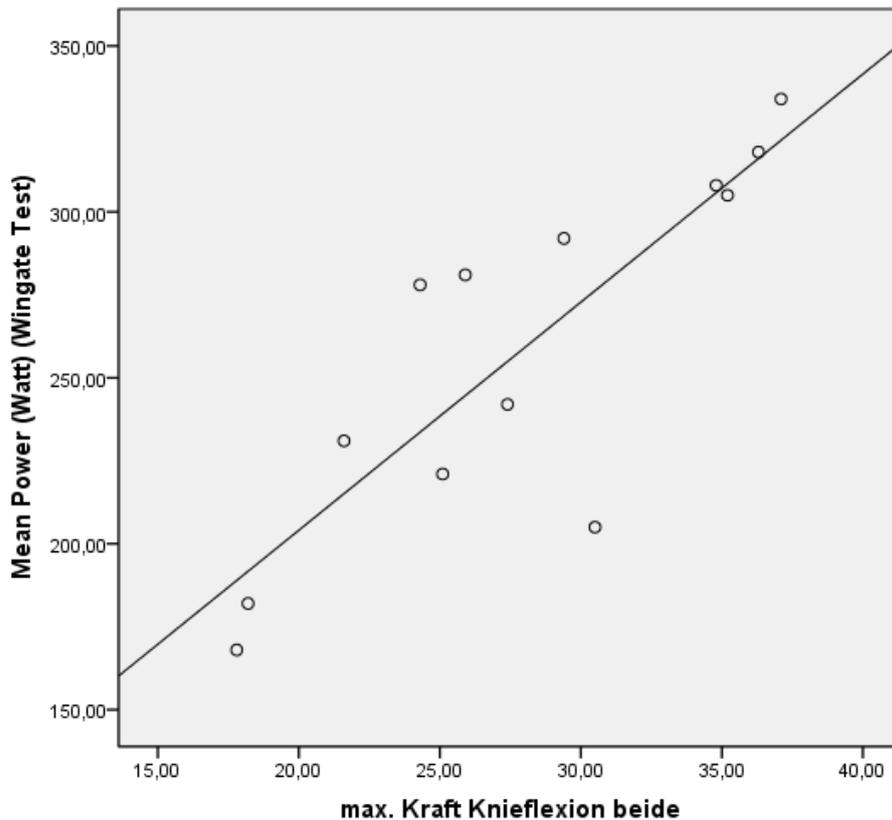


Abb. 17: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion

Die zu prüfende Nullhypothese 12 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 28: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen

		Mean Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Knieflexion beide relativ
Kendall-Tau-b	Mean Power relativ (Watt/kg)	1,000	,715**
	Korrelationskoeffizient	.	,001
	Sig. (2-seitig)	13	13
max. Kraft Knieflexion beide relativ	max. Kraft Knieflexion beide relativ	,715**	1,000
	Korrelationskoeffizient	,001	.
	Sig. (2-seitig)	13	13
		N	N

Die Ergebnisse in Tabelle 28 und Abbildung 18 zeigen auch in Relation zum Körpergewicht einen eindeutigen Zusammenhang ($p=0,001$) zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft der Knieflexoren. Wiederum deutet auch der

Korrelationskoeffizient $r=0,715$ auf einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Testfaktoren hin. Das bedeutet Nullhypothese 12 kann angenommen werden.

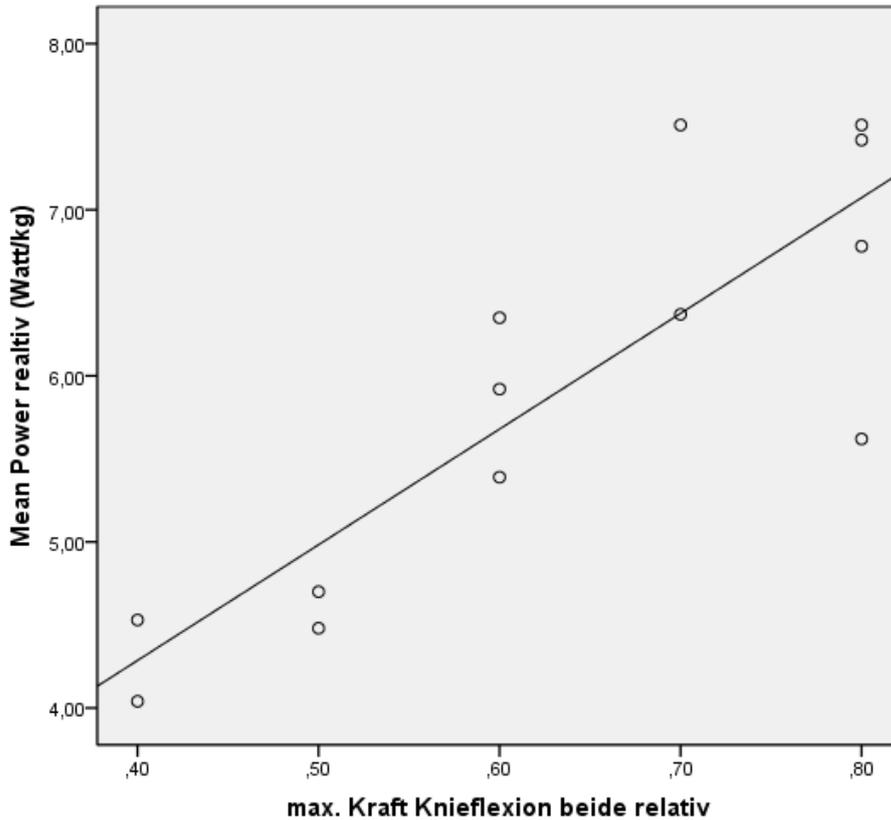


Abb. 18: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht

Die zu prüfende Nullhypothese 13 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension.

Tab. 29: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension

Korrelationen			
	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Knieextension beide	
Kendall-Tau-b	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	1,000
		Sig. (2-seitig)	,538*
		N	,010
			13
	max. Kraft Knieextension beide	Korrelationskoeffizient	,538*
		Sig. (2-seitig)	,010
		N	,010
			13

Tabelle 29 und Abbildung 19 verdeutlichen, dass auch zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft der Oberschenkelextensoren ein signifikanter Zusammenhang besteht. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,538$ weist auf einen mittleren Zusammenhang zwischen den beiden Testfaktoren hin und ist durch $p = 0,01$ statistisch signifikant abgesichert. Die Nullhypothese 13 kann daher angenommen werden.

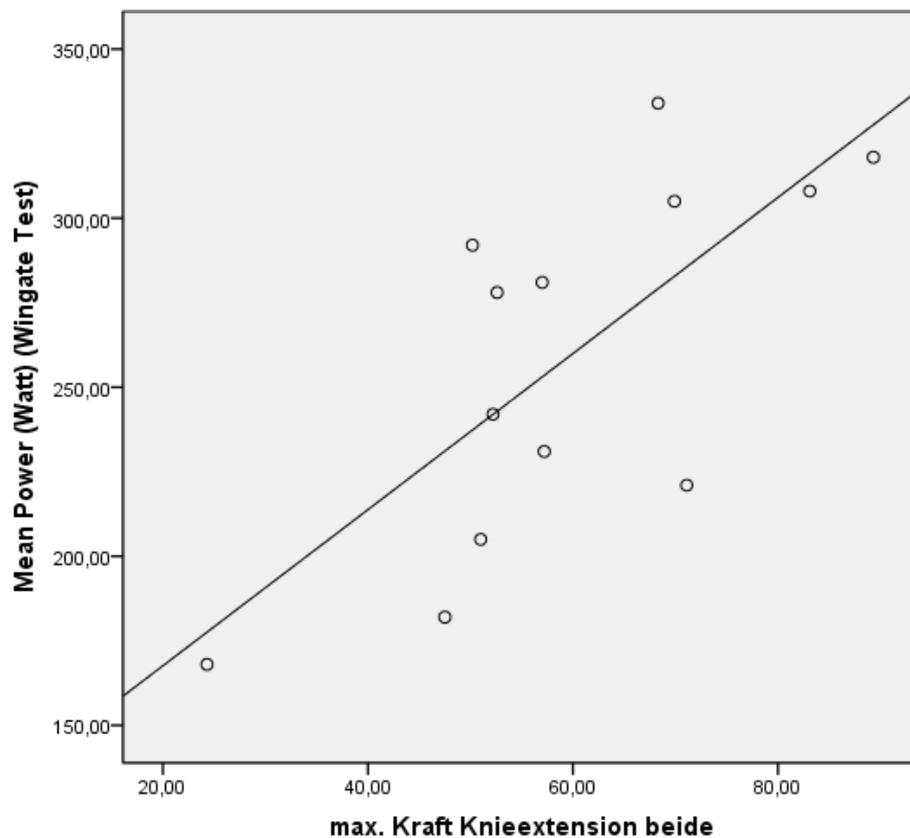


Abb. 19: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension

Die zu prüfende Nullhypothese 14 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 30: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen			
		Mean Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Knieextension beide relativ
Kendall-Tau-b	Mean Power relativ (Watt/kg)	1,000	,433*
	Korrelationskoeffizient	.	,047
	Sig. (2-seitig)	13	13
<hr/>			
	max. Kraft Knieextension beide relativ	,433*	1,000
	Korrelationskoeffizient	,047	.
	Sig. (2-seitig)	13	13
<hr/>			
	N	13	13

Der Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft der Knieextensoren wurde ebenfalls in Relation zum Körpergewicht untersucht. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,433$ in Tabelle 30 und die Abbildung 20 deuten auf einen mittleren Zusammenhang zwischen den beiden Testfaktoren hin. Dieser ist auch durch $p = 0,047$ statistisch signifikant abgesichert. Somit wird Nullhypothese 14 betätigt und kann angenommen werden.

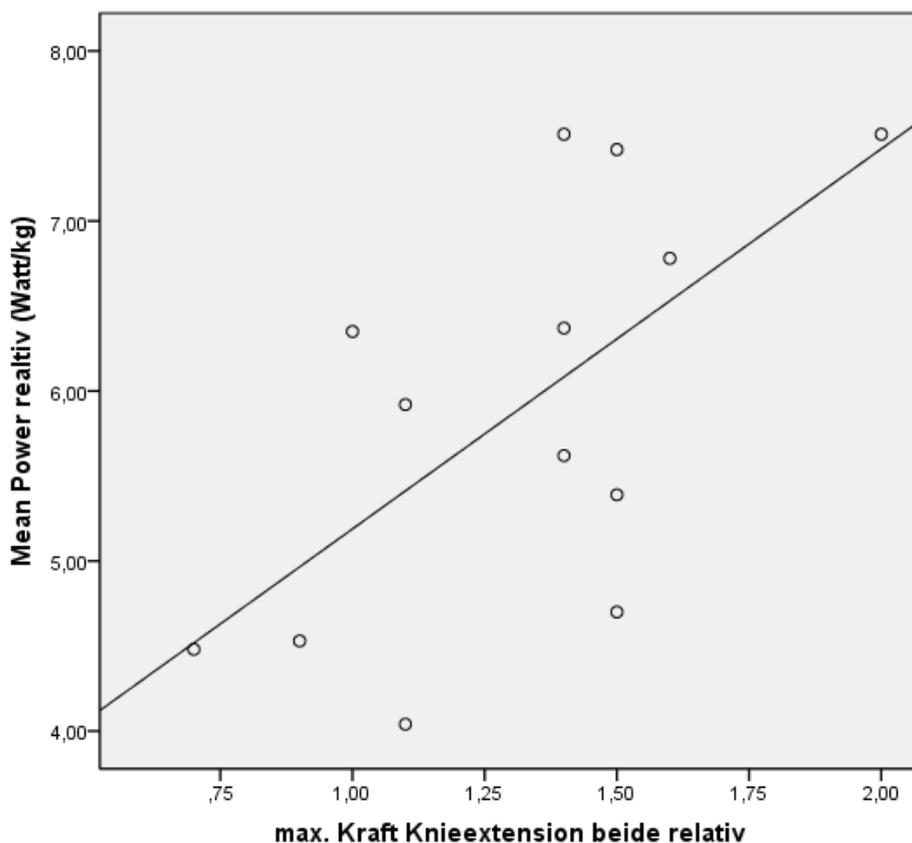


Abb. 20: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht

Bei den Fragestellungen 11 bis 14 wurde aufgrund des höheren Anteils an oxidativen Typ I Fasern bei Kindern ein Zusammenhang zwischen der anaeroben Kapazität (MP) und der isometrischen Maximalkraft vermutet. Hier bestätigen die Untersuchungsergebnisse die aufgestellten Hypothesen und deuten auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft der Beine hin. Wie schon bei den Untersuchungen zur anaeroben Leistungsfähigkeit wurden auch bei der anaeroben Kapazität die Ergebnisse relativ zum Körpergewicht untersucht und konnten die absoluten Werte bestätigen.

9.2.4. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft des Rumpfes und der anaeroben Leistungsfähigkeit

Die Fragestellungen 15 bis 18 überprüfen, ob die isometrische Maximalkraft des Rumpfes einen Einfluss auf die anaerobe Leistungsfähigkeit hat. Wieder werden die Ergebnisse absolut und relativ zum Körpergewicht untersucht.

Die zu prüfende Nullhypothese 15 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion.

Tab. 31: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion

Korrelationen			
		Peak Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Rumpfflexion
Kendall-Tau-b Test)	Peak Power (Watt) (Wingate Korrelationskoeffizient	1,000	,231
	Sig. (2-seitig)	.	,272
N		13	13
max. Kraft Rumpfflexion	Korrelationskoeffizient	,231	1,000
	Sig. (2-seitig)	,272	.
N		13	13

Die Tabelle 31 zeigt, dass kein signifikanter Zusammenhang ($p= 0,272$) zwischen isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion und der anaeroben Leistungsfähigkeit besteht. Nullhypothese 15 kann somit angenommen werden.

Die zu prüfende Nullhypothese 16 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 32: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen			Peak Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Rumpfflexion relativ
Kendall-Tau-b	Peak Power relativ (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	1,000	-,214
		Sig. (2-seitig)	.	,341
		N	13	13
	max. Kraft Rumpfflexion relativ	Korrelationskoeffizient	-,214	1,000
		Sig. (2-seitig)	,341	.
		N	13	13

Tabelle 32 verdeutlicht, dass auch in Relation zum Körpergewicht kein signifikanter Zusammenhang ($p= 0,341$) zwischen den beiden Faktoren besteht und damit auch Nullhypothese 16 angenommen werden kann.

Die zu prüfende Nullhypothese 17 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension.

Tab. 33: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension

Korrelationen			Peak Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Rumpfextension
Kendall-Tau-b	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	1,000	,385
		Sig. (2-seitig)	.	,067
		N	13	13
	max. Kraft Rumpfextension	Korrelationskoeffizient	,385	1,000
		Sig. (2-seitig)	,067	.
		N	13	13

Tabelle 33 veranschaulicht, dass auch die Maximalkraft der Rumpfextension keinen bedeutenden Einfluss ($p= 0,067$) auf die anaerobe Leistungsfähigkeit hat und Nullhypothese 17 angenommen werden darf.

Die zu prüfende Nullhypothese 18 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 34: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen			Peak Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Rumpfextension relativ
Kendall-Tau-b	Peak Power relativ (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	1,000	,041
		Sig. (2-seitig)	.	,850
		N	13	13
	max. Kraft Rumpfextension relativ	Korrelationskoeffizient	,041	1,000
		Sig. (2-seitig)	,850	.
		N	13	13

Tabelle 34 verdeutlicht, dass die beiden Faktoren auch in Relation zum Körpergewicht in keiner Beziehung zueinander stehen und Nullhypothese 18 angenommen werden darf.

Die Fragestellungen 15 bis 18 offenbaren, dass keine Korrelation zwischen isometrischer Maximalkraft des Rumpfes und anaerober Leistungsfähigkeit besteht.

9.2.5. Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft des Rumpfes und der anaeroben Kapazität

Die Fragestellungen 19 bis 22 untersuchen, ob eine Abhängigkeit zwischen isometrischer Maximalkraft des Rumpfes und anaerober Kapazität besteht.

Die zu prüfende Nullhypothese 19 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion.

Tab. 35: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion

Korrelationen			Mean Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Rumpfflexion
Kendall-Tau-b	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	1,000	,333
		Sig. (2-seitig)	.	,113
		N	13	13
	max. Kraft Rumpfflexion	Korrelationskoeffizient	,333	1,000
		Sig. (2-seitig)	,113	.
		N	13	13

In Tabelle 35 ist zu sehen, dass die isometrische Maximalkraft des Rumpfes ebenso keinen Einfluss auf die anaerobe Kapazität zu haben scheint und somit Nullhypothese 19 bestätigt wird.

Die zu prüfende Nullhypothese 20 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 36: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen			Mean Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Rumpfflexion relativ
Kendall-Tau-b	Mean Power relativ (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	1,000	,144
		Sig. (2-seitig)	.	,524
		N	13	13
	max. Kraft Rumpfflexion relativ	Korrelationskoeffizient	,144	1,000
		Sig. (2-seitig)	,524	.
		N	13	13

Tabelle 36 zeigt die Ergebnisse relativ zum Körpergewicht und verdeutlicht, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren besteht. Deshalb wird Nullhypothese 20 angenommen.

Die zu prüfende Nullhypothese 21 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension.

Tab. 37 Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension

Korrelationen				Mean Power (Watt) (Wingate Test)	max. Kraft Rumpfextension
Kendall-Tau-b Test)	Mean Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	1,000	,590**	
		Sig. (2-seitig)	.	,005	
		N	13	13	
	max. Kraft Rumpfextension	Korrelationskoeffizient	,590**	1,000	
		Sig. (2-seitig)	,005	.	
		N	13	13	

Die Tabelle 37 beschäftigt sich mit der Korrelation zwischen der isometrischen Maximalkraft der Rumpfextension und der anaeroben Kapazität. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,590$ deutet auf einen mittleren Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren hin. Dieser ist auch statistisch signifikant ($p = 0,005$) und somit muss Nullhypothese 21 verworfen werden.

Die zu prüfende Nullhypothese 22 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 38: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen				Mean Power relativ (Watt/kg)	max. Kraft Rumpfextension relativ
Kendall-Tau-b Test)	Mean Power (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	1,000	,473 ⁺	
		Sig. (2-seitig)	.	,032	
		N	13	13	
	max. Kraft Rumpfextension relativ	Korrelationskoeffizient	,473 ⁺	1,000	
		Sig. (2-seitig)	,032	.	
		N	13	13	

Der signifikante Zusammenhang ($p= 0,032$) zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension wird auch in Relation zum Körpergewicht bestätigt, wie in Tabelle 38 zu sehen ist. Nullhypothese 22 muss daher verworfen werden.

Die Untersuchungsergebnisse weisen sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht keine Korrelation zwischen isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion und der anaeroben Kapazität auf. Bei der isometrischen Maximalkraft der Rumpfextension wurde allerdings ein Zusammenhang mit der anaeroben Kapazität festgestellt. Dieses Ergebnis wurde auch in Relation zum Körpergewicht bestätigt.

9.2.6. Zusammenhang zwischen maximaler Leistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit und Kapazität

Die Fragestellungen 23 bis 26 untersuchen den Einfluss der maximalen Leistung bei der Ergometrie, als Maß für die Ausdauerleistungsfähigkeit, auf die anaerobe Leistungsfähigkeit. Koziris et al. (1996) untersuchten ebenfalls das Abhängigkeitsverhältnis zwischen den beiden Faktoren, wobei die anaerobe Leistungsfähigkeit auch mit Hilfe eines WAnT ermittelt wurde. Die Ergebnisse zeigten einen niedrigen, aber signifikanten Zusammenhang zwischen der aeroben Leistungsfähigkeit und der anaeroben Kapazität (MP). Zur anaeroben Leistungsfähigkeit (PP) allerdings konnte keine Korrelation festgestellt werden. Die Autoren fügten hinzu, dass mit abnehmender Dauer der maximalen Leistung auch die Rolle der aeroben Leistungsfähigkeit abnimmt. Dies bestätigten auch Häkkinen et al. (1987), die einen niedrigen Zusammenhang zwischen WAnT (ab der 15.- 30. Sekunde) und der aeroben Leistungsfähigkeit feststellten, der mit zunehmender Belastungsdauer größer wurde. Daher wurden folgende Hypothesen formuliert:

Die zu prüfende Nullhypothese 23 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit.

Tab. 39: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit

Korrelationen			Peak Power (Watt) (Wingate Test)	max. Watt Ergometrie
Kendall-Tau-b Test)	Peak Power (Watt) (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	1,000	,512*
		Sig. (2-seitig)	.	,020
		N	13	13
	max. Watt Ergometrie	Korrelationskoeffizient	,512*	1,000
		Sig. (2-seitig)	,020	.
		N	13	13

Der Korrelationskoeffizient $r = 0,512$ in Tabelle 39 zeigt einen mittleren Zusammenhang zwischen der Peak Power und der maximalen Leistung bei der Ergometrie, der auch statistisch signifikant ($p = 0,02$) ist. Dies widerspricht den oben angeführten Studien und somit muss Nullhypothese 23 verworfen werden.

Die zu prüfende Nullhypothese 24 lautet:

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 40: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen			Peak Power relativ (Watt/kg)	max. Watt Ergometrie (Watt/kg)
Kendall-Tau-b Test)	Peak Power relativ (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	1,000	,297
		Sig. (2-seitig)	.	,160
		N	13	13
	max. Watt Ergometrie (Watt/kg)	Korrelationskoeffizient	,297	1,000
		Sig. (2-seitig)	,160	.
		N	13	13

Bei der Betrachtung der Ergebnisse in Relation zum Körpergewicht in Tabelle 40 zeigt sich allerdings, dass kein signifikanter Zusammenhang ($p = 0,16$) zwischen den beiden Faktoren besteht und somit die Ergebnisse von Koziris et al. (1996) und Häkkinen et al. (1987) bestätigt werden. Nullhypothese 24 kann daher angenommen werden.

Die zu prüfende Nullhypothese 25 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität

Tab. 41: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität

Korrelationen				Mean Power (Watt) (Wingate Test)	max. Watt Ergometrie
Kendall-Tau-b	Mean Power (Wingate Test)	Korrelationskoeffizient	1,000	,678**	
		Sig. (2-seitig)	.	,002	
		N	13	13	
	max. Watt Ergometrie	Korrelationskoeffizient	,678**	1,000	
		Sig. (2-seitig)	,002	.	
		N	13	13	

Tabelle 41 und Abbildung 21 beschäftigen sich mit der Korrelation zwischen der maximalen Leistung bei der Ergometrie und der Mean Power. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,678$ deutet auf einen mittleren Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren hin. Dieser ist auch statistisch hochsignifikant ($p = 0,002$) und somit wird Nullhypothese 25 bestätigt.

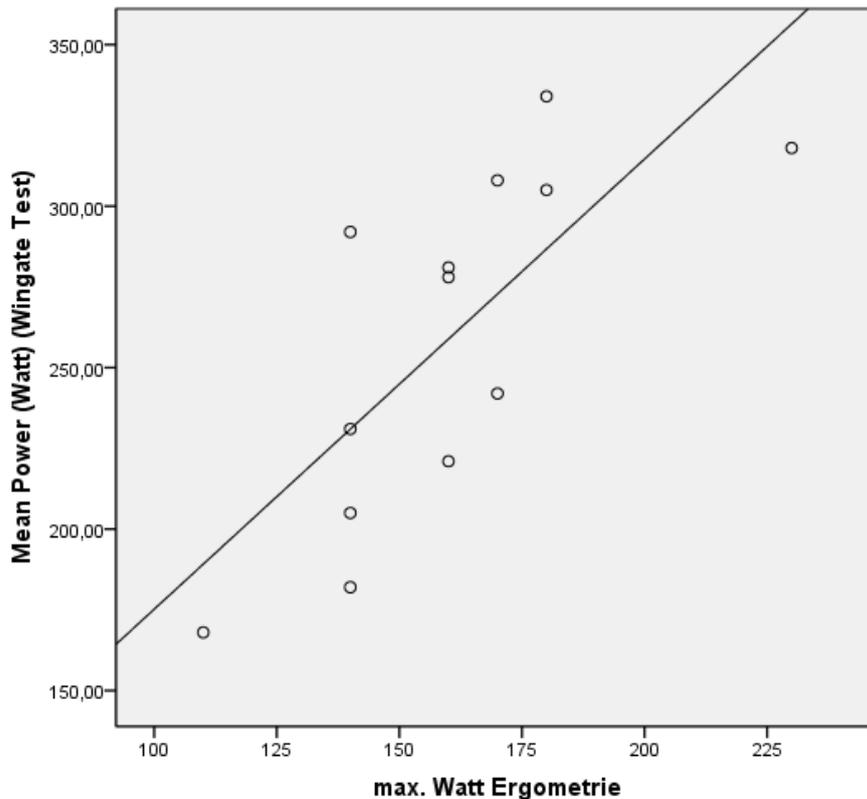


Abb. 21: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität

Die zu prüfende Nullhypothese 26 lautet:

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität in Relation zum Körpergewicht.

Tab. 42: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität in Relation zum Körpergewicht

Korrelationen

				Mean Power relativ (Watt/kg)	max. Watt Ergometrie (Watt/kg)
Kendall-Tau-b	Mean Power (Watt/kg)	relativ	Korrelationskoeffizient	1,000	,597**
			Sig. (2-seitig)	.	,005
			N	13	13
	max. Watt (Watt/kg)	Ergometrie	Korrelationskoeffizient	,597**	1,000
			Sig. (2-seitig)	,005	.
			N	13	13

In Tabelle 42 und Abbildung 22 wird dieses Ergebnis auch in Relation zum Körpergewicht bestätigt. Der Korrelationskoeffizient $r = 0,597$ zeigt einen mittleren Zusammenhang

zwischen der maximalen Leistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität, der statistisch signifikant ($p=0,005$) ist.

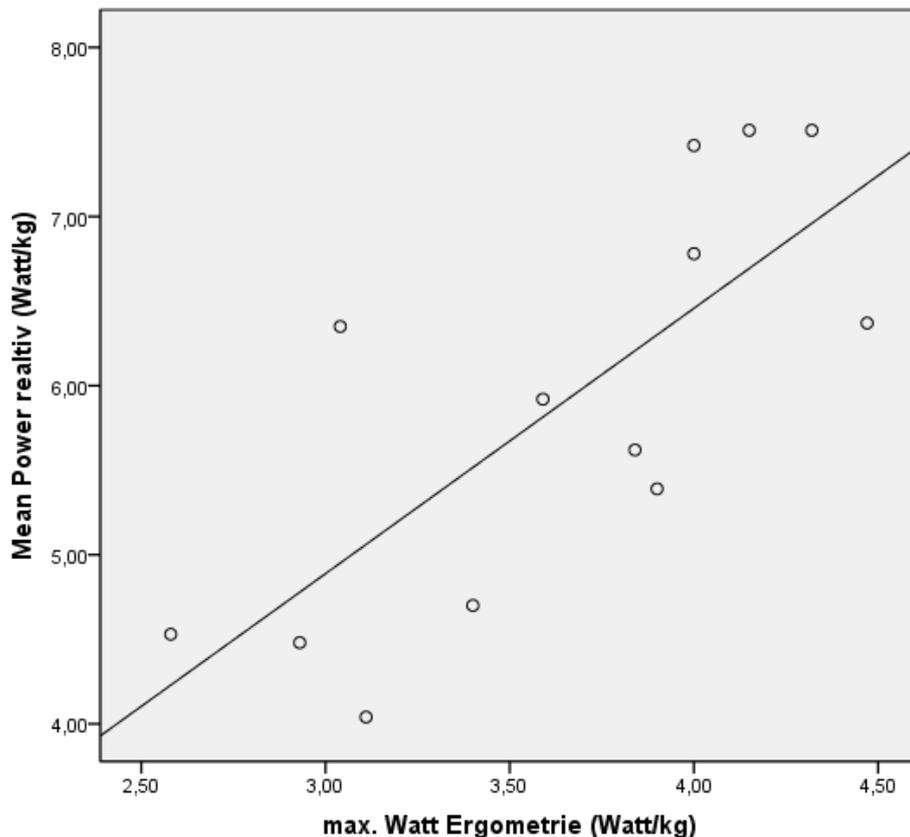


Abb. 22: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität in Relation zum Körpergewicht.

Die Untersuchungsergebnisse deuten auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen maximaler Leistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit hin. In Relation zum Körpergewicht konnte dieses Ergebnis allerdings nicht bestätigt werden. Dies bedeutet, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren festgestellt werden konnte. Bei den Zusammenhangsprüfungen zwischen der Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität konnte sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht ein statistisch signifikanter mittlerer Zusammenhang nachgewiesen werden. Dies deutet darauf hin, dass der Anteil der aeroben Energiebereitstellung erst mit steigender Dauer anaerober Leistungstests zunimmt. So zeigte sich, dass der aerobe Metabolismus nur 3 % bei einem 10 Sekunden Test und 9 bis 28 % der produzierten Energie bei einem 30 Sekunden Test ausmacht. Höhere Werte von 46 bis 50 % wurden bei längeren Tests von 60 bis 90 Sekunden gefunden (Gastin et al. 1991; Serresse et al. 1988).

10. Interpretation der Ergebnisse

Betrachtet man die Ergebnisse allgemein so lässt sich feststellen, dass kein Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und Krafftähigkeit bei Kindern besteht. Das bedeutet, dass weder die isometrische Maximalkraft der Beine (Oberschenkeextensoren und Oberschenkelflexoren) noch die Maximalkraft des Rumpfes in Abhängigkeit zur anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern stehen. Aufgrund einer höheren Aussagekraft wurden die Ergebnisse auch in Relation zum Körpergewicht untersucht. Wiederum konnte bei allen untersuchten Hypothesen kein signifikanter Einfluss der isometrischen Maximalkraft auf die anaerobe Leistungsfähigkeit gefunden werden. Das bedeutet konkret auf diese Untersuchung bezogen, dass eine hohe isometrische Maximalkraft der Beine bzw. des Rumpfes nicht automatisch mit einer hohen Peak Power beim Anaeroben Wingate Test bei Kindern einhergeht. Im Gegensatz zu Erwachsenen scheint die anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern weniger von der Maximalkraft abhängig zu sein und mehr von anderen Faktoren beeinflusst zu werden.

Dabei könnte die Muskelfasertypverteilung bei Kindern eine entscheidende Rolle spielen, da ein höherer Anteil an Typ I Fasern im Kindes- und Jugendalter im Vergleich zu Erwachsenen angenommen wird. So könnte bei kurzen hochintensiven Belastungen aufgrund einer höheren Mitochondriendichte und größerer Sauerstoffzufuhr aus dem Kapillarblut eine höhere oxidative Phosphorylierungsgeschwindigkeit in der Muskulatur von Kindern auftreten, die die geringere anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern zum Teil erklären könnte (Zanconato et al., 1993). Weniger Einfluss dürften die maximalen Kontraktionsgeschwindigkeiten der Muskelfasern haben, da ähnliche Werte bei Kindern und Erwachsenen gemessen wurden und somit auch die ATP- Hydrolyserate sich nicht deutlich zu unterscheiden scheint (Ferretti et al., 1994).

Eher könnten hormonelle Veränderungen während der Pubertät die Unterschiede in der anaeroben Leistungsfähigkeit erklären. Ferretti et al. (1994) nahmen an, dass vor der Pubertät, die Zunahme der Muskelkraft mit dem Wachstum parallel mit der Zunahme der Querschnittsfläche eintritt. Nach der Pubertät ist die Zunahme der Muskelkraft größer als die Zunahme der Querschnittsfläche, das die Autoren auf eine durch Testosteron induzierte Hypertrophie der Typ II Fasern zurückführen. Darüber hinaus könnten von der Größe unabhängige Faktoren, wie neuronale Ansteuerung, nach der Pubertät verändert sein.

Andere Studien wiederum machen eine niedrigere Konzentration des Schlüsselenzyms der anaeroben Glykolyse, die Phosphofruktokinase für die niedrigeren Laktatkonzentrationen bei Kindern sowohl im Blut als auch im Muskel nach

hochintensiven Belastungen verantwortlich (Froberg & Lammert, 1996). Neben der geringeren Glykogenkonzentration in der Muskulatur von Kindern scheint aber vor allem die Glykogenumsatzrate aufgrund einer niedrigeren Konzentration und geringeren Aktivität der Phosphofruktokinase deutlich niedriger als bei Erwachsenen zu sein (Eriksson & Saltin, 1974). Generell scheint die anaerobe Enzymaktivität bei Kindern geringer zu sein und dies deutet darauf hin, dass Kinder mehr Fette während Belastung verbrennen (Berg & Keul, 1988; Kaczor et al., 2005).

Weitere Untersuchungen, die die biochemischen Eigenschaften der kindlichen Muskulatur untersuchten bestätigten, dass die ATP Konzentration im ruhenden Muskel sowie die Verwertung während intensiver Belastungen bei Kindern und Erwachsenen ähnlich zu sein scheint. Im Gegensatz dazu dürfte die Phosphokreatin- Konzentration bei Kindern in Ruhe etwas niedriger und die Aktivierungsrate gleich oder etwas niedriger im Vergleich zu Erwachsenen sein. Der wichtigste altersbedingte Unterschied dürfte jedoch die Konzentration und Verwertung des Muskelglykogens sein. Beide Faktoren scheinen nämlich bei Kindern deutlich geringer zu sein (Armstrong et al., 2001). Dies bestätigt die Ergebnisse von Eriksson & Saltin (1974), Berg & Keul (1988) und Kaczor et al. (2005).

Bei erster Betrachtung der Abhängigkeit der anaeroben Kapazität zur isometrischen Maximalkraft der Oberschenkelextensoren und –flexoren war festzustellen, dass die Buben mit den höchsten Kraftwerten auch die besten Werte bei der Mean Power beim WAnT erreichten. Dies bestätigte sich bei der Korrelationsprüfung, da signifikante Zusammenhänge zwischen den beiden Faktoren sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht festgestellt werden konnten. Dazu zeigte sich auch ein signifikanter Einfluss der isometrischen Maximalkraft bei der Rumpfextension auf die anaerobe Kapazität. Bei der Rumpfflexion konnte hingegen kein Zusammenhang mit der anaeroben Kapazität nachgewiesen werden. Die Studien von Arslan (2005), Kin- Isler et al. (2008) und Alemdaroğlu (2012) untersuchten neben dem Zusammenhang der Kraftwerte mit der Peak Power auch die Korrelation zur Mean Power beim WAnT. Dabei stellte Arslan (2005) einen signifikanten Zusammenhang zwischen isometrischer bzw. explosiver Beinkraft und anaerober Kapazität (MP) sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht fest. Bei den isokinetischen Krafttests von Kin- Isler et al. (2008) und Alemdaroğlu (2012) konnten nur bei der Kniestreckung signifikante Korrelationen zur Mean Power nachgewiesen werden. Obwohl die genannten Studien an Erwachsenen durchgeführt wurden, konnten bei dieser Untersuchung mit Kindern ähnliche Ergebnisse festgestellt werden.

Eine mögliche Ursache dafür könnte sein, dass Kinder bei kurzen intensiven Belastungen geringere Maximalleistungen erbringen, der aerobe Stoffwechsel aber wiederum bei

Kindern gleich oder sogar besser als bei Erwachsenen ausgeprägt ist (Welsman et al., 1996; Falk & Dotan, 2006). Das ist nach Falk & Dotan (2006) auch der Grund warum sich Kinder nach kurzen intensiven Belastungen schneller erholen und einen erhöhten Ermüdungswiderstand gegenüber Erwachsenen haben. Auch andere pädiatrische Studien bestätigen eine hohe inverse Korrelation zwischen anaerober Kapazität bzw. Ermüdungswiderstand und dynamischen Maximalleistungen/Kraft und Laktatkonzentration (Kanehisa et al., 1995; Yanagiya et al., 2003; Zafeiridis et al., 2005). Die Autoren begründen diese Tatsache mit einem höheren Anteil an Typ I Muskelfasern oder geringerer Größe der Typ II Fasern und einer geringeren Fähigkeit die Typ II Fasern zu aktivieren. Außerdem vermuten sie eine geringere glykolytischen Enzymaktivität, geringere Abhängigkeit vom glykolytischen Stoffwechsel, geringere neuromuskuläre Aktivierung und eine bessere Säure- Basen Regulation bei Kindern. Das heißt Personen mit einem hohen oxidativen Stoffwechsel (ausgeprägtes Kapillarnetz, hohe aerobe Enzymaktivität und größerer Anteil an Typ I- Fasern) können ihre CrP Speicher schneller wieder regenerieren und so der eintretenden Ermüdung bei intensiven Belastungen einfacher bzw. länger widerstehen (Ratel et al., 2006).

In weiterer Folge wurde auch der Einfluss der Ausdauerleistungsfähigkeit auf die anaerobe Leistungsfähigkeit und Kapazität untersucht. Ältere Studien von Häkkinen et al. (1987) und Koziris et al. (1996) fanden einen niedrigen, aber signifikanten Zusammenhang zwischen der aeroben Leistungsfähigkeit und der anaeroben Kapazität (MP) bei jungen Erwachsenen. Zur anaeroben Leistungsfähigkeit (PP) allerdings konnte keine Korrelation festgestellt werden. Bei der Betrachtung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass jene Probanden, die die besten Werte bei der Ergometrie aufwiesen, auch die besten Werte bei der Mean Power beim WAnT erzielten. Dieser Eindruck bestätigte sich bei der Korrelationsprüfung, da ein statistisch signifikanter mittlerer Zusammenhang zwischen der Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht nachgewiesen werden konnte. Auch das Abhängigkeitsverhältnis zwischen maximaler Leistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit deutete auf einen signifikanten Zusammenhang bei den Kindern hin. Dieses Ergebnis wurde allerdings bei der Korrelationsprüfung relativ zum Körpergewicht entkräftet und bestätigte die Ergebnisse der angeführten Studien. Dies deutet darauf hin, dass der Anteil der aeroben Energiebereitstellung erst mit steigender Dauer anaerober Leistungstests zunimmt. So zeigte sich, dass der aerobe Metabolismus nur 3 % bei einem 10 Sekunden Test und 9 bis 28 % der produzierten Energie bei einem 30 Sekunden Test ausmacht (Gastin et al., 1991; Serresse et al., 1988). Daraus folgt, dass die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit

sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen Grundvoraussetzung für die Verträglichkeit von intensiven Belastungen ist und die Bedeutung mit steigender Belastungsdauer zunimmt.

Neben den konditionellen Eigenschaften wurde auch der Einfluss von anthropometrischen Charakteristiken auf die anaerobe Leistungsfähigkeit und Kapazität untersucht. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass nur bei der Körpergröße signifikante Zusammenhänge mit der anaeroben Leistungsfähigkeit und der anaeroben Kapazität nachgewiesen werden konnten. Auch beim Körpergewicht deutet der Korrelationskoeffizient auf einen niedrigen Zusammenhang mit den beiden untersuchten Faktoren hin. Allerdings sind die Ergebnisse nicht statistisch signifikant, das vermutlich auf die kleine Stichprobe zurückzuführen ist. Diese Vermutung liegt nahe, da Docherty & Gaul (1991), Armstrong et. al. (2000), Armstrong et al. (2001) und Martin et al. (2004) ähnliche Altersgruppen untersuchten und das Körpergewicht als signifikante erklärende Variable anführten. Zudem waren bei den Buben neben dem Körpergewicht, die Magermasse des Beines, die Hautfaltendicke und das Alter signifikante erklärende Variablen, wobei hier das Alter als Hauptprädiktor herausgefiltert wurde. Das Alter übt eine positive, aber nicht-lineare Wirkung auf die Leistung unabhängig von Körpergröße und Körperfett aus (Armstrong et al., 2001; Martin et al., 2004). Im Gegensatz zu den quantitativen Muskelfaktoren, Magermasse des Beines und Körpergewicht, steht der Hauptprädiktor Alter bei Buben in Bezug zu qualitativen Muskelfaktoren. Diese stehen im Zusammenhang mit Anteil an Typ II- Fasern, glykolytischer Fähigkeit und Veränderungen in der Koordination und Aktivität motorischer Einheiten während des jugendlichen Wachstumsschubs (Martin et al., 2003).

11. Zusammenfassung und Ausblick

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war den Einfluss der isometrischen Maximalkraft auf die anaerobe Leistungsfähigkeit und Kapazität bei Kindern zu prüfen. Zur Ermittlung der anaeroben Leistungsfähigkeit und Kapazität wurde ein modifizierter „Anaerober Wingate Test“ an einem Wattbike durchgeführt. Die isometrische Maximalkraft der Beine und des Rumpfes wurde am „Easy Torque“ gemessen. Die Testgruppe bestand aus 15 Buben im Alter von 11 bis 13 Jahren. Alle Teilnehmer waren Hobbysportler und nahmen an keinen regelmäßigen Wettkämpfen teil. Leider konnten aus unterschiedlichen Gründen nicht alle Buben beide Tests durchführen, sodass schließlich insgesamt 13 Teilnehmer für die komplette Untersuchung zur Verfügung standen.

Im ersten Teil der Arbeit wurden die theoretischen Hintergründe mittels Literaturrecherche mit Hauptaugenmerk auf den anaeroben Energiestoffwechsel ausgearbeitet. Dazu wurde besonders auf den Einfluss der Muskelmasse und -struktur, der neuromuskulären Koordination und der damit verbundenen Kraftfähigkeit auf die anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern eingegangen.

Im folgenden empirischen Teil der Arbeit wird die Untersuchung vorgestellt. Dabei wurde das Forschungskonzept und Testdesign ausführlich beschrieben sowie Ergebnisse der Untersuchung präsentiert und interpretiert.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der isometrischen Maximalkraft der Beine und der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Kindern. Bei der Überprüfung der Korrelation zwischen isometrischer Maximalkraft der Beine und der anaeroben Kapazität zeigte sich allerdings ein signifikanter Zusammenhang sowohl absolut als auch relativ zum Körpergewicht. Hier stellt sich die Frage inwieweit statische Bewegungen auch für dynamische gültig sein könnten. Größtenteils aber decken sich die Ergebnisse mit der gefundenen Literatur. Leider wurden im Zuge der Recherche bei Kindern aber nur wenige adäquate Vergleichsergebnisse gefunden, wogegen für Erwachsene ausreichend Studien zur selben bzw. ähnlichen Fragestellungen vorhanden sind.

Zudem wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der aeroben Leistungsfähigkeit und der anaeroben Kapazität festgestellt, der mit abnehmender Belastungsdauer schwindet und auf die anaerobe Leistungsfähigkeit einen deutlich geringeren Einfluss haben dürfte.

In der vorliegenden Untersuchung konnte bei den anthropometrischen Faktoren nur bei der Körpergröße ein signifikanter Einfluss zur anaeroben Leistungsfähigkeit und Kapazität

festgestellt werden. In der gefundenen Literatur wurden allerdings das Körpergewicht, die Magermasse des Beines, die Hautfaltendicke und das Alter als signifikanter Einflussfaktor herausgefiltert.

Für zukünftige Untersuchungen gilt es die Beziehung zwischen anaeroben Stoffwechsel, Resultate der Leistungstests und der körperlichen Entwicklung zu interpretieren. Nach wie vor ist nicht klar wie Untersuchungsergebnisse am besten in Relation zu den Veränderungen der Körperdimensionen und der biologischen Entwicklung der anaeroben Leistungsfähigkeit ausgedrückt werden können. Die Untersuchungsergebnisse und die Literaturrecherche deuten darauf hin, dass intensive Kurzzeitbelastungen von der glykolytischen Leistungsfähigkeit und der Muskelfaserzusammensetzung abhängig sind sowie von neuromuskulären und anthropometrischen Faktoren beeinflusst werden.

Obwohl die genannten Ansätze die niedrigere anaerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern teilweise begründen, können sie den Mechanismus dieses Defizits nicht eindeutig erklären. Dazu sind Studien auf zellulärer Ebene notwendig um alters- oder reifebedingte Unterschiede in den Muskelfasertypen, die bei hochintensiven Belastungen rekrutiert werden, feststellen zu können (Rankovic et al., 2007).

12. Literaturverzeichnis

- Aherne, W., Ayyar, D.R., Clarke, P.A., et al. (1971). Muscle fibre size in normal infants, children and adolescents: an autopsy study. *Journal of Neurological Sciences*, 14, 171-182.
- Alemdaroğlu, U. (2012). The relationship between muscle strength, anaerobic performance, agility, sprint ability and vertical jump performance in professional basketball players. *Journal of Human Kinetics*, 31, 149-158.
- Arendt- Nielsen, L., Mills, K.R., Ills, S.(1985). The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fibre conduction velocity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 130-134.
- Armstrong, N., Welsman, J.R. (1994). Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 435-476.
- Armstrong, N., Welsman, J.R., Kirby, B.J. (1997). Performance on the Wingate anaerobic test and maturation. *Pediatric Exercise Science*, 9, 253-261.
- Armstrong, N., Welsman, J.R., Kirby, B.J. (2000). Longitudinal changes in young people's short-term power output. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32 (6), 1140-1145.
- Armstrong, N., Welsman, J.R., Chia, M.Y.H. (2001). Short term power output in relation to growth and maturation. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 118-124.
- Armstrong, N. (2006). Aerobic fitness of children and adolescents. *Journal de Pedeatrria*, 82, 406-408.
- Arslan, C. (2005). Relationship between the 30-second Wingate test and characteristics of isometric and explosive leg strength in young subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (3),658–666.
- Bamberg, G., Baur, F., Krapp, M. (2011). *Statistik*. 16. Auflage, München- Wien, Oldenbourg Verlag.
- Barker, A. R., Welsman, J.R., Fulford, J., Welford, D., Armstrong, N. (2010). Quadriceps muscle energetics during incremental exercise in children and adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, (7), 1303–1313.
- Beenakker, E.A.C., Van der Hoeven, J.H., Fock, J.M., Maurits, N.M. (2001). Reference values of maximum isometric muscle force obtained in 270 children aged 4±16 years by hand-held dynamometry. *Neuromuscular Disorders*, 11, 441-446.
- Belanger, A.Y., McComas, A.J. (1981). Extent of motor unit activation during effort. *Journal of Applied Physiology*, 51, 1131-1135.
- Belanger, A.Y., McComas, A.J. (1989). Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. *European Journal of Applied Physiology*, 58, 563-567.
- Bell, R.D., MacDougall, J.D., Billeter, R. et al. (1980). Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six-year-old children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 28-31.

- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithauser, R. M., Hutler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European Journal of Applied Physiology*, 87, 388-392.
- Beneke, R., Hutler, M., Leithauser, R. M. (2005). Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents, and adults. *Journal of Applied Physiology*, 99, 499-504.
- Beneke, R., Hutler, M., Leithauser, R. M. (2007). Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. *European Journal of Applied Physiology*, 101 (6), 671-677.
- Berg, A. & Keul, J. (1988). Biochemical changes during exercise in children. In: R.M. Malina (Ed.), *Young athletes, biological, physiological and educational perspectives* (63-77).
- Blimkie, C.J.R. (1989). Age- and sex-associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanic, endocrinologic, genetic and physical activity correlates. In: C.V. Gisolfi, D.R. Lamb (Ed.), *Perspectives in exercise science and sport medicine: youth, exercise and sport* (99-163). 2. Indianapolis (IN): Benchmark Press.
- Blimkie, C.J.R., Sale, D.G. (1998). Strength development and trainability during childhood. In: E. Van Praagh (Ed.), *Pediatric anaerobic performance* (193-224). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H. et al. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80, 876-884.
- Broman, H., Bilotto, G., De Luca, C.J. (1985). Myoelectric signal conduction velocity and spectral parameters: influence of force and time. *Journal of Applied Physiology*, 58, 1428–1437.
- Carlson, J. S. & Naughton, G. A. (1994). Performance characteristics of children using various braking resistances on the Wingate anaerobic test. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34, 362-369.
- Cole, T.J., Bellizzi, M.C., Flegal, K.M., Dietz, W.H. (2000). Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *British Medical Journal*, 320, 1240-1243.
- Colliander, E.B., Dudley, G.A., Tesch, P.A. (1988). Skeletal muscle fiber type composition and performance during repeated bouts of maximal, concentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 58, 81-86.
- Colling-Saltin, A.S. (1980). Skeletal muscle development in the human fetus and during childhood. In: Berg, K., Eriksson, B.O., editors. *Children and exercise*. Baltimore (MD): University Park Press, 193-207.
- Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W. et al. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, 40, 149-154.

- Davies, C.T.M. (1985). Strength and mechanical properties of muscle in children and young adults. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 7, 11-5.
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 135–163.
- Docherty, D., Gaul, C.A. (1991). Relationship of body size, physique, and composition to physical performance in young boys and girls. *International Journal of Sports Medicine*, 12(6), 525–532.
- Dore, E. (1999). Evolution of maximal anaerobic power in a population of boys and girls aged 7 to 21 years old. Blaise Pascale University, U. F. R. STAPS, Clermont-Ferrand, 1-210.
- Doré, E., Bedu, M., França, N.M. et al. (2000). Testing peak cycling performance: effects of braking force during growth. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32, 493-498.
- Dore, E., Diallo, O., Franca, N.M., Bedu, M., Van Praagh, E. (2000). Dimensional changes cannot account for all differences in short term cycling power during growth. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 360-365.
- Dotan, R. & Bar-Or, O. (1983). Load optimization for the Wingate anaerobic test. *European Journal of Applied Physiology*, 51, 409-417.
- Eberstein, A., Beattie, B. (1985). Simultaneous measurement of muscle conduction velocity and EMG power spectrum changes during fatigue. *Muscle Nerve*, 8, 768–773.
- Elder, G.C.B., Kakulas, B.A. (1993). Histochemical and contractile property changes during human development. *Muscle Nerve*, 16, 1246-1253.
- Eriksson, B., Saltin, B., Gollnick, P. D. (1973). Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiologica Scandinavica*, 87, 485-497.
- Eriksson, B. & Saltin, B. (1974). Muscle metabolism during exercise in boys aged 11-16 years compared to adults. *Acta Paediatrica Belgica*, 28, 257-265.
- Fagard, J. (1996). Skill acquisition in children: a historical perspective. In: *The Child and Adolescent Athlete*, Bar-Or, O. editor. Oxford: Blackwell Science Ltd., 74-91.
- Falgairette, G., Bedu, M., Fellman, N. , Van Praagh, E., Jarrige, J. F., Coudert, J. (1990). Modifications of aerobic and anaerobic metabolisms in active boys during puberty. In *Children and Exercise: Pediatric Work Physiology*. Beunen, G., Ghesquiere, J., Reybrouck, J., Claessens, A. L., editors. Enke, Stuttgart, 42-49.
- Falgairette, G., Bedu, M., Fellmann, N. et al. (1991). Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *European Journal of Applied Physiology*, 62, 151-156.
- Falk, B. & Bar-Or, O. (1993). Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys. *Pediatric Exercise Science*, 5, 318-331.
- Falk, B. & Dotan, R. (2006). Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 34 (3), 107-112.

- Ferretti, G., Narici, M.V., Binzoni, T. et al. (1994). Determinants of peak muscle power: effects of age and physical conditioning. *European Journal of Applied Physiology*, 68, 111-115.
- Fournier, M., Ricca, J., Taylor, A.W. et al. (1982). Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14 (6), 453-456.
- Fricke, O. & Schoenau, E. (2005). Examining the developing skeletal muscle. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 5 (3), 225-231.
- Froberg, K. & Lammert, O. (1996). Development of muscle strength during childhood. In: O. Bar-Or (Ed.), *The child and adolescent athlete (25-40)*. Blackwell Science, London.
- Gastin, P.B., Lawson, D., Hargraves, M., Carey, M., Fairweather, I. (1991). Variable resistance loadings in anaerobic power testing. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 513-518.
- Gastin, P.B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31 (10), 725-741.
- Glaister, M. (2005). Multiple Sprint Work Physiological Responses, Mechanisms of Fatigue and the Influence of Aerobic Fitness *Sports Medicine*, 35 (9), 757-777.
- Glenmark, B., Hedberg, G., Jansson, E. (1992). Changes in muscle fibre type from adolescence to adulthood in women and men. *Acta Physiologica Scandinavica*, 146, 251-259.
- Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert, C.W., Piehl, K., Saltin, B. (1972). Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *Journal of Applied Physiology*, 33 (3), 312-319.
- Hakkinen, K., Kauhanen, H., Komi, P.Y. (1987). Aerobic, anaerobic, assistant exercise and weightlifting performance capacities in elite weightlifters. *Journal of Sports Medicine*, 27, 240-246.
- Halin, R., Germain, P., Bercier, S., et al. (2003). Neuromuscular response of young boys versus men during sustained maximal contraction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 1042-1048.
- Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D. et al. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 178, 165-173.
- Haralambie, G. (1982). Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 year old adolescents. *Bull Europ. Physiopath.*, 18, 65-84.
- Hautier, C. A., Linossier, M. T., Belli, A., Lacour, J. R., Arsac, L. M. (1996). Optimal velocity for maximal power production in nonisokinetic cycling is related to muscle fibre type composition. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74, 114-118.
- Hebestreit, H., Mimura, K., Bar-Or, O. (1993). Recovery of anaerobic muscle power following 30-s supramaximal exercise: comparison between boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 74, 2875-2880.

- Hebestreit, H., Meyer, F., Htay, H., Heigenhauser, G.J., Bar-Or, O. (1996). Plasma metabolites, volume and electrolytes following 30-s high-intensity exercise in boys and men. *European Journal of Applied Physiology*, 72, 563–569.
- Heck, H. & Schulz, H. (2002). Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53, (7+8), 1-11.
- Hedberg, G. & Jansson, E. (1976). Skeletal muscle fibre distribution, capacity and interest in different physical activities among students in high school. *Pedagogiska Rapporter*, 54, Umea.
- Hohmann, A., Lames, M., Letzelter, M. (2007). Einführung in die Trainingswissenschaft. 4. Auflage, Wiebelsheim, Limpert Verlag.
- Inbar, O. & Bar-Or, O. (1986). Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18 (3), 264-269.
- Inbar, O., Bar-Or, O., Skinner, J.S. (1996). *The Wingate Anaerobic Test*; Human Kinetics, Champaign, IL.
- Jansson, E., Hedberg, G. (1991). Skeletal muscle fibre types in teenagers: relationship to physical performance and activity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 1, 31-44.
- Jansson, E. (1996). Age-related fiber type changes in human skeletal muscle. In: Maughan, R.J., Shirreffs, S.M., editors. *Biochemistry of exercise IX*. Champaign (IL): Human Kinetics, 297-307.
- Juel, C. (2001). Current aspects of lactate exchange: lactate/H⁺ transport in human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 86, 12-16.
- Kaczor, J.J., Ziolkowski, W., Popinigis, J., Tarnopolsky, M.A. (2005). Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *International Pediatric Research Foundation*, 57 (3), 331-335.
- Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N. et al. (1995). Strength and crosssectional area of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 54-60.
- Kin-İşler, A., Ariburuna, B., Ozkana, A., Aytarb, A., Tandogan, R. (2008). The relationship between anaerobic performance, muscle strength and sprint ability in American football players. *Isokinetics and Exercise Science*, 16, 87–92.
- Koziris, L.P., Kraemer, W.J., Patton, J.E., Triplett, N.T., Fry, A.C., Gordon, S.E., Knuttgen, H.G. (1996). Relationship of aerobic power to anaerobic performance indices. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (1), 35-39.
- Kraemer, W.J., Fry, A.C., Frykman, P.N. et al. (1989). Resistance training and youth. *Pediatric Exercise Science*, 1, 336-350.
- Kuno, S., Takahashi, H., Fujimoto, K., et al. (1995). Muscle metabolism during exercise using phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy in adolescents. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70, 301–304.

- Lakomy, H. K. (1986). Measurement of work and power output using friction-loaded cycle ergometers. *Ergonomics*, 29, 509-517.
- Laurent, C. M., Meyers, M. C., Robinson, C. A., Green, J. M. (2007). Crossvalidation of the 20- versus 30-s Wingate anaerobic test, *European Journal of Applied Physiology*, 100 (6), 645-651.
- Lexell, J., Sjoström, M., Nordlund, A.S. (1992). Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve*, 15, 404-409.
- Linossier, M. T., Dormois, D., Fouquet, R., Geysant, A., Denis, C. (1996). Use of the force-velocity test to determine the optimal braking force for a sprint exercise on a friction-loaded cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology*, 74, 420-427.
- Linssen, W. H., Stegeman, D.F., Joosten, E. M. et al. (1991). Fatigue in type I fiber predominance: a muscle force and surface EMG study on the relative role of type I and type II muscle fibers. *Muscle Nerve*, 14, 829-837.
- Lundberg, A., Eriksson, B.O., Mellgren, G. (1979). Metabolic substrates, muscle fiber composition, and fiber size in late walking and normal children. *European Journal of Pediatrics*, 130, 79-92.
- Lundberg, A.E. (1980). Normal and delayed walking age: a clinical and muscle morphological and metabolic study. In: K. Berg, B.O. Eriksson (Ed), *Children and exercise* (23-31). Baltimore (MD): University Park Press,.
- Macfield, V. G., Fuglevand, A. J., Howell, J. N., Bigland-Ritchie, B. (2000). Discharge behaviour of single motor units during maximal voluntary contractions of a human toe extensor. *The Journal of Physiology*, 528, 227-234.
- Malina, R. M. & Bouchard, C. (1991). *Growth, maturation and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 115-132.
- Malina, R. M. & Beunen, G. (1996). Monitoring of growth and maturation. In: O. Bar-Or (Ed.), *The Child and Adolescent Athlete* (647-672). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Marsden, C. D., Meadows, J. C., Merton, P. A. (1983). "Muscular wisdom" that minimizes fatigue during prolonged effort in man: peak rates of motoneuron discharge and slowing of discharge during fatigue. *Advancies in Neurology*, 39, 169-211.
- Martin, R. J. F., Dore, E., Hautier, C. A., Van Praagh, E., Bedu, M. (2003). Peak power changes in adolescent groups of similar anthropometric characteristics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35, 1436-1440.
- Martin, R. J. F., Dore, E., Hautier, C. A., Van Praagh, E., Bedu, M., Twisk, E. (2004). Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 (3), 498-503.
- Matejkova, J., Koprivova, Z., Placheta, Z. (1980). Changes in acid-base balance after maximal exercise. In: Z. Placheta, J.E. Brno (Ed.), *Youth and physical activity* (191-200).
- Mero, A. (1988). Blood lactate production and recovery from anaerobic exercise in trained and untrained boys. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 660-666.

- Nordlund, M.M., Thorstensson, A., Cresswell, A.G. (2004). Central and peripheral contributions to fatigue in relation to level of activation during repeated maximal voluntary isometric plantar flexions. *Journal of Applied Physiology*, 96, 218-225.
- Oertel, G. (1988). Morphometric analysis of normal skeletal muscles in infancy, childhood, and adolescence: an autopsy study. *Journal of Neurological Sciences*, 88, 303-313.
- Paasuke, M., Ereline, J., Gapeyeva, H. (2000). Twitch contraction properties of plantar flexor muscles in pre- and post-pubertal boys and men. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 459-464.
- Petersen, S.R., Gaul, C.A., Stanton, M.M., Hanstock, C.C. (1999). Skeletal muscle metabolism during short-term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls. *Journal of Applied Physiology*, 87, 2151-2156.
- Pilegaard, H., Terzis, G., Halestrap, A.P. et al. (1999). Distribution of the lactate/H⁺ transporter isoforms MCT1 and MCT4 in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 276, 843-848.
- Ramsay, J., Blimkie, C.J., Smith, K. et al. (1990). Strength training effects in prepubescent boys. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22, 605-614.
- Ranković, G., Radovanović, D., Ranković, B. (2007). Comparison of anaerobic mean power and peak Power outputs in preadolescent boys and adult males. *Medicine and Biology*, 14 (1), 38-42.
- Ratel, S., Duche, B., Hennegrave, A., Van Praagh, E., Bedu, M. (2002). Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 92, 479-485.
- Ratel, S., Lazaar, N., Williams, C.A., Bedu, M., Duche, P. (2003). Age differences in human skeletal muscle fatigue during high-intensity intermittent exercise. *Acta Paediatrica*, 92, 1248-1254.
- Ratel, S., Williams, C.A., Oliver, J. et al. (2004). Effects of age and mode of exercise on power output profiles during repeated sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 204-210.
- Ratel, S., Duche, P., Craig, A. Williams, C.A. (2006). Muscle Fatigue during High-Intensity Exercise in Children. *Sports Medicine*, 36 (12), 1031-1065.
- Ratel, S., Tonson, A., Patrick, J., Bendahan, D. (2010). Do oxidative and anaerobic energy production in exercising muscle change throughout growth and maturation? *Journal of Applied Physiology*, 109, 1562-1564.
- Sadoyama, T., Masuda, T., Miyata, H., Katsuta, S. (1988). Fibre conduction velocity and fibre composition in human vastus lateralis. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57, 767-771.
- Sale, D.G. (1989). Strength training in children. In: C.V. Gisolfi, D.R. Lamb (Ed.), *Perspectives in exercise science and sports medicine*, 2. Youth, exercise and sport (165-222). Indianapolis (IN): Benchmark Press.

- Sale, D.G. & Spriet, L.L. (1996). Skeletal muscle function and energy metabolism. In: O. Bar-Or, D.R. Lamb, P.M. Clarkson (Ed.), *Exercise and the female: a life span approach. Perspectives in exercise science and sports medicine*, 9 (289-359). Carmel (IN).Cooper Publishing Group.
- Schnabel, G., Krug, J., Harre, H.D. (2011). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung-Training-Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Serresse, O., Lortie, G., Bouchard, E., Boulay, M.K. (1988). Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *International Journal of Sports Medicine*, 9, 456-460.
- Steinhöfer, D. (2003). *Grundlagen des Athletiktrainings: Theorie und Praxis zu Kondition, Koordination und Trainingssteuerung im Sportspiel*. Münster: Philippka-Sportverlag.
- Taylor, D.J., Kemp, G.J., Thompson, C.H. et al. (1997). Ageing: effects on oxidative function of skeletal muscle in vivo. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 174, 321-324.
- Thomas, C., Sirvent, P., Perrey, S., et al. (2004). Relationships between maximal muscle oxidative capacity and blood lactate removal after supramaximal exercise and fatigue indexes in humans. *Journal of Applied Physiology*, 97, 2132-2138.
- Van der Hoeven, J. H., Van Weerden, T. W., Zwarts, M. J. (1993). Long-lasting supernormal conduction velocity after sustained maximal isometric contraction in human muscle. *Muscle Nerve*, 16, 312–320.
- Van Praagh, E. (1997). Developmental aspects of anaerobic function. In: N. Armstrong, B. Kirby, J. Welsman (Ed.), *Children and Exercise*, 19, (269-290). London: E & FN Spon.
- Van Praagh, E. (2000). Development of anaerobic function during childhood and adolescence. *Pediatric Exercise Science*, 12 (2), 150-173.
- Van Praagh, E. (2000). Development of anaerobic function during childhood and adolescence. *Pediatric Exercise Science*, 12 (2), S. 150-173.
- Van Praagh, E. & Doré, E. (2002). Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Medicine*, 32 (11), 1-28.
- Vogler, C., Bove, K.E. (1985). Morphology of skeletal muscles in children. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 109, 238-242.
- Vollestad, N.K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*, 74, 219-227.
- Washington, R.L. (1989). Anaerobic threshold in children. *Pediatric Exercise Science*, 1, 244-256.
- Welsman, J.R., Armstrong, N., Kirby, B.J. (1994). Serumtestosterone is not related to peak VO₂ and submaximal lactate responses in 12- to 16-year-old males. *Pediatric Exercise Science*, 6, 120-127.
- Welsman, J.R., Armstrong, N., Nevill, A.M., Winter, A.M., Kirby, B.J. (1996). Scaling peak VO₂ for differences in body size. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 259-265.

Weltman, A., Janney, C., Rians, C.B. et al. (1986). The effects of hydraulic resistance strength training in pre-pubertal males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18, 629-638.

Williams, J.R. & Armstrong, N. (1991). The influence of age and sexual maturation on children's blood lactate responses to exercise. *Pediatric Exercise Science*, 3, 111-120.

Winter, E.M. & Nevill, A. M. (2001). Scaling: adjusting for differences in body size. In: R.G. Eston & T. Reilly (Ed.), *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, Procedures and Data* (275-293). London: Routledge,.

Zafeiridis, A., Dalamitros, A., Dipla, K., et al. (2005). Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens, and men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, 505-512.

Zanconato, S., Buchthal, S., Barstow, T.J., Cooper, D.M. (1993). ³¹P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 74, 2214-2218.

Zwarts, M. J., Van Weerden, T. W., Haenen, H. T. (1987). Relationship between average muscle fibre conduction velocity and EMG power spectra during isometric contraction, recovery and applied ischemia. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56, 212–216.

Internet:

<http://www.lauftipps.ch/laufernaehrung/energiestoffwechsel/anaerobe-energiegewinnung->
Zugriff am 10.5.2013

<http://wattbike.com/uk/wattbike-> Zugriff am 12.10.2013

[http://www.tri juice.com/2011/09/gear_review_wattbike_the_new_standard_for_indoor_po-
wer-based_cycling.htm-](http://www.tri juice.com/2011/09/gear_review_wattbike_the_new_standard_for_indoor_power-based_cycling.htm-) Zugriff am 12.10.2013

<http://www.tonus-online.de/index.php/easytorque.html-> Zugriff 14.10.2013

13. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsintensität und Belastungsdauer (http://www.lauftipps.ch/laufernaehrung/energiestoffwechsel/anaerobe-energiegewinnung- Zugriff am 10.5.2013).....	4
Abb. 2: Blutlaktatkonzentration nach WAnT bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen (nach Beneke, 2005)	10
Abb. 3: Blutlaktatkurve während den 10 Sprints bei Buben und Männern (nach Ratel et al., 2002).....	13
Abb. 4: Blut pH Verlauf während den 10 Sprints bei Buben und Männern (nach Ratel et al., 2002).....	14
Abb. 5: Pi/CrP Werte in Ruhe, bei submaximaler (40% MVC) und supramaximaler (140% MVC) Belastung (nach Petersen et al., 1999)	18
Abb. 6: pH Werte in Ruhe, bei submaximaler (40% MVC) und supramaximaler (140% MVC) Belastung (nach Petersen et al., 1999)	19
Abb. 7: LDH-, AK- und CK- Aktivität bei Kindern und Erwachsenen (nach Kaczor et al., 2005).....	22
Abb. 8: OGDH- und CPT- Aktivität bei Kindern und Erwachsenen (nach Kaczor et al., 2005).....	22
Abb. 9: Veränderung der Fmax/CSA während 30 Sekunden maximaler willkürlicher Kontraktion bei Männern (AM) und Jungen (YB) (nach Halin et. al., 2003)	32
Abb. 10: Veränderung der MPF während 30 Sekunden maximaler willkürlicher Kontraktion bei Männern (AM) und Jungen (YB) (nach Halin et. al., 2003).....	32
Abb. 11: Veränderung der MFCV während 30 Sekunden maximaler willkürlicher Kontraktion bei Männern (AM) und Jungen (YB) (nach Halin et. al., 2003)....	33
Abb. 12: Zusammenhang zwischen maximaler Leistung (Pmax) und Alter bei Mädchen (grau) und Buben (schwarz) (nach Martin et al., 2004)	38
Abb. 13: Wattbike (http://www.tri juice.com/2011/09/gear_review_wattbike_the_new_standard_for_indoor_power-based_cycling.htm - Zugriff am 12.10.2013).....	49
Abb. 14: Proband am EasyTorque bei beidbeiniger Knie- Extension (http://www.tonus-online.de/index.php/easytorque.html - Zugriff 14.10.2013).....	51
Abb. 15: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit	65
Abb. 16: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität	67
Abb. 17: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion	74

Abb. 18: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht.....	75
Abb. 19: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension	76
Abb. 20: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht.....	77
Abb. 21: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität.....	86
Abb. 22: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität in Relation zum Körpergewicht	87

14. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verhältnisse von CPT/LDH und von CPT/OGDH bei Kindern und Erwachsenen (nach Kaczor et al., 2005)	23
Tab. 2: Körpergewichtsbezogene Leistung beim WAnT bei Kindern und Jugendlichen (nach Beneke et al., 2007)	42
Tab. 3: Leistung beim WAnT bezogen auf die Muskelmasse bei Kindern und Jugendlichen (nach Beneke et al., 2007)	43
Tab. 4: PP und MP absolut und relativ zum Körpergewicht und zur Magermasse (nach Rankovic et. al., 2007).....	44
Tab. 5: Alter, Größe, Gewicht und Body Mass Index (BMI) der Teilnehmer.....	55
Tab. 6: Deskriptive Statistik der Körpergröße, des Körpergewichts und des BMI.....	55
Tab. 7: Max. Watt und max. Herzfrequenz bei Ausbelastung bei der Ergometrie.....	56
Tab. 8: Deskriptive Statistik der erreichten Watt und Watt/kg bei der Ergometrie.....	56
Tab. 9: PP und MP beim Anaeroben Wingate Test.....	57
Tab. 10: Deskriptive Statistik PP, MP, PPr und MPPr	57
Tab. 11: Knieflexion (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest.....	58
Tab. 12: Deskriptive Statistik Knieflexion (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest	59
Tab. 13: Knieextension (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest.....	60
Tab. 14: Deskriptive Statistik Knieextension (beidbeinig, rechts, links und relativ zum Körpergewicht) beim isometrischen Maximalkrafttest	60
Tab. 15: Rumpfextension und Rumpfflexion und relativ zum Körpergewicht beim isometrischen Maximalkrafttest.....	61

Tab. 16: Deskreptive Statistik Rumpfextension und Rumpfflexion und relativ zum Körpergewicht beim isometrischen Maximalkrafttest	62
Tab. 17: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Leistungsfähigkeit	64
Tab. 18: Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Leistungsfähigkeit	65
Tab. 19: Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Leistungsfähigkeit	66
Tab. 20: Zusammenhang zwischen Körpergröße und anaerober Kapazität	66
Tab. 21: Zusammenhang zwischen Körpergewicht und anaerober Kapazität.....	68
Tab. 22: Zusammenhang zwischen BMI und anaerober Kapazität	68
Tab. 23: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion	70
Tab. 24: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht	70
Tab. 25: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension	71
Tab. 26: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht	72
Tab. 27: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion	73
Tab. 28: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieflexion in Relation zum Körpergewicht	74
Tab. 29: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension	75
Tab. 30: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Knieextension in Relation zum Körpergewicht	77
Tab. 31: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion.....	78
Tab. 32: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht.....	79
Tab. 33: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension	79
Tab. 34: Zusammenhang zwischen anaerober Leistungsfähigkeit und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht.....	80
Tab. 35: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion	81
Tab. 36: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfflexion in Relation zum Körpergewicht.....	81

Tab. 37: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension	82
Tab. 38: Zusammenhang zwischen anaerober Kapazität und isometrischer Maximalkraft bei der Rumpfextension in Relation zum Körpergewicht	82
Tab. 39: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit	84
Tab. 40: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Leistungsfähigkeit in Relation zum Körpergewicht	84
Tab. 41: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität	85
Tab. 42: Zusammenhang zwischen Maximalleistung bei der Ergometrie und der anaeroben Kapazität in Relation zum Körpergewicht	86

15. Abkürzungsverzeichnis

ATP	Adenosintriphosphats
ADP	Adenosindiphosphat
Pi	freies Phosphat
CrP	Kreatinphosphat
PFK	Phosphofructokinase
SDH	Succinatdehydrogenase
LDH	Laktatdehydrogenase oxoglutarate
CK	Kreatinkinase
AK	Adenylatkinase
CPT	Karnitin Palmitoyltransferase
OGDH	oxoglutarate Dehydrogenase
VO _{2max}	Maximale Sauerstoffaufnahme
WAnT	Wingate Anaerobic Test
PP	Peak Power
MP	Mean Power
BLC	Blutlaktat
H ⁺	Wasserstoff
HCO ₃	Bicarbonat
Pa _{CO2}	arteriellen Partialdrucks von Kohlendioxid
V _E	Ventilation
³¹ PNMRS	³¹ Phosphor-Magnet-Resonanz Spektroskopie
MCT1s	Monocarboxylat Transporter
MVC	Maximale willkürliche Kontraktion
Fmax	Maximalkraft
MPF	mittlere Leistungsfrequenz
MFCV	Muskelfaser Leitgeschwindigkeit



Europass Lebenslauf

Angaben zur Person

Nachname(n) / Vorname(n)	Hudetschek Roland
Adresse	Dürnleis 38, 2033 Nappersdorf- Kammersdorf (Österreich)
Staatsangehörigkeit	Österreich
Geburtsdatum	24/11/1988
Geschlecht	Männlich

Schul- und Berufsbildung

Zeitraum	01/10/2011 –
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Magister der Naturwissenschaften
Zeitraum	01/10/2008 - 30/06/2011
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Bachelor of Sports Science
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Sportwissenschaft/Gesundheitssport
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport (Universität) Auf der Schmelz 6, 1150 Wien (Österreich)
Zeitraum	02/05/2010 - 30/09/2010
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Diplomierter Masseur
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Massageschule Herricht (Institut) Herrengasse 14, 1010 Wien (Österreich)
Zeitraum	01/09/1999 - 15/06/2007
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Matura
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Deutsch, Englisch, Mathematik, Biologie, Geografie und Wirtschaftskunde, Psychologie und Philosophie,
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Bundesrealgymnasium Hollabrunn (Allgemeinbildende höhere Schule) Reucklstraße 9, 2020 Hollabrunn (Österreich)
Zeitraum	01/09/1995 - 30/06/1999
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Volksschulabschluss
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Volksschule Nappersdorf (Volksschule) 152, 2023 Nappersdorf (Österreich)

Persönliche Urheberschaft

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit *selbstständig verfasst habe* und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde daher 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, 2014

Hudetschek Roland, Bakk.