

Ralph Beneke¹, Renate M. Leithäuser², Volker Schwarz³, Hermann Heck⁴

Maximales Laktat-Steady-State bei Kindern und Erwachsenen

Maximal lactate steady state in children and adults

¹ Institut für Sportmedizin, Freie Universität, Berlin,

² LMC Labor, Berlin

³ Abteilung Sportmedizin, Institut für Sportwissenschaft, Humboldt Universität, Berlin

⁴ Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität, Bochum

Zusammenfassung

Der anaerobe Stoffwechsel soll vom Lebensalter abhängig sein. Dieses könnte das dynamische Gleichgewicht von Laktatproduktion und -elimination bei körperlicher Belastung beeinflussen. Das maximale Laktat Steady State (MLSS) kennzeichnet die höchste konstante Dauerleistung (DL), bei der die Laktatoxidation gleiche Raten wie die Laktatproduktion annehmen kann. Das Ziel dieser Untersuchung war, den Einfluss des Alters auf das MLSS bei 73 männlichen Probanden (Alter: 19.8 ± 5.5 Jahre, Bereich: 9 - 32 Jahre, Größe: 176.4 ± 12.3 cm, Bereich: 134 - 191 cm, Masse: 66.3 ± 13.4 kg, Bereich: 27 - 90 kg) zu analysieren. Auf dem Fahrradergometer wurden die Peak-Leistung mit einem Stufentest und das MLSS mit mehreren konstanten DL-Tests gemessen. MLSS (4.4 ± 1.1 mmol·l⁻¹, Bereich: 2.3 bis 7.5 mmol·l⁻¹) und MLSS-Intensität relativ zur Peak-Leistung (67.7 ± 6.7 %, Bereich: 50 bis 84 %) waren vom Alter unabhängig. Die MLSS-Herzfrequenz (172.5 ± 13.7 min⁻¹, Bereich: 139 bis 208 min⁻¹) korrelierte negativ linear ($p < 0.01$) mit dem Alter. Absolute (187.3 ± 57.2 W, Bereich: 65 bis 310 W) und relative MLSS-Leistung (2.8 ± 0.6 W·kg⁻¹, Bereich: 1.5 bis 4.1 W·kg⁻¹) und absolute (275.9 ± 77.1 W, Bereich: 100 bis 425 W) und relative Peak-Leistung (4.1 ± 0.7 W·kg⁻¹, Bereich: 2.7 bis 5.5 W·kg⁻¹) waren nichtlinear abhängig vom Alter ($p < 0.001$). Die Maxima der gemessenen Leistungen lagen am Beginn der dritten Lebensdekade. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das MLSS und die MLSS-Intensität unabhängig vom Lebensalter sind. Mögliche altersabhängige Änderungen der Muskelmasse und des Muskelstoffwechsels wie auch des Sauerstofftransports im Körper scheinen das Verhältnis zwischen Glykolyse- und Pyruvatoxidationsrate bei submaximaler Leistung nicht zu beeinflussen.

Schlüsselwörter: Blutlaktat, Lebensalter, aerob, anaerob, konstante Dauerleistung

Einleitung

Eine konstante Blutlaktatkonzentration (BLK) kennzeichnet bei konstanter Dauerleistung (DL) ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Laktatbildung und -elimination, auch Steady-State genannt. Ein Steady-State der BLK kann sich einstellen, wenn bei körperlicher Arbeit, nachdem sich die Sauerstoffaufnahme der Belastung angepasst hat, der Energiebedarf des Gesamtorganismus oxidativ gedeckt wird (20,29). Die höchste BLK, bei der sich ein Steady-State einstellt, wird maximales Laktat-Steady-State (MLSS) genannt.

Summary

Anaerobic metabolism has been reported to be affected by age. This may modulate the dynamic steady state between lactate production and elimination during exercise. The maximum lactate steady state (MLSS) corresponds to the highest constant workload that can be performed by oxidative metabolism. Aim of the present study was to evaluate the effect of age on MLSS in 73 male subjects (age: 19.8 ± 5.5 yrs, range: 9 to 32 yrs; height: 176.4 ± 12.3 cm, range: 134 to 191 cm; body mass: 66.3 ± 13.4 kg, range: 27 to 90 kg) performing an incremental load test for determination of peak workload and several constant load tests for MLSS-measurement on a cycle ergometer. MLSS (4.4 ± 1.1 mmol·l⁻¹, range: 2.3 to 7.5 mmol·l⁻¹) and MLSS intensity related to peak workload (67.7 ± 6.7 %, range: 50 to 84 %) were independent of age. MLSS heart rate (172.5 ± 13.7 min⁻¹, range: 139 to 208 min⁻¹) decreased linearly ($p < 0.01$) with increasing age, whereas absolute (187.3 ± 57.2 W, range: 65 to 310 W) and relative MLSS workload (2.8 ± 0.6 W·kg⁻¹, range: 1.5 to 4.1 W·kg⁻¹) and absolute (275.9 ± 77.1 W, range: 100 to 425 W) and relative peak workload (4.1 ± 0.7 W·kg⁻¹, range: 2.7 to 5.5 W·kg⁻¹) were nonlinearly correlated ($p < 0.001$) with age. In spite of workload maxima at the beginning of the third decade of life, age independence of MLSS supports the theory that possible age-related changes of muscle mass, muscle metabolism and oxygen transport do not seem to affect the maximum steady state of glycolytic and oxidative rate during submaximal constant workload.

Key words: blood lactate, age, aerobic, anaerobic, constant workload

Änderungen im Verhältnis zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung könnten das MLSS beeinflussen (20). Während der Pubertät wurden Änderungen im anaeroben Stoffwechsel vermutet (14,17,35). Die aerobe Leistungsfähigkeit ist bei Kindern und Erwachsenen weitgehend gleich (4). Während submaximaler und maximaler Leistung wurden für Kinder im Vergleich zu erwachsenen Probanden sowohl niedrigere (1,26,36) als auch gleich hohe (11,26) BLK-Werte beschrieben. Auch Untersuchungen zum MLSS bei Kindern führten zu widersprüchlichen Ergebnissen (8,21,32,33,42). Die Ergebnisse der genannten Studien geben aufgrund me-

thodischer Unterschiede jedoch keine eindeutigen Hinweise für einen Einfluß des Lebensalters auf das Verhalten der BLK bei konstanter DL (8). Ziel der vorliegenden Studie war, das MLSS in Abhängigkeit vom Alter, erstes bis viertes Lebensjahrzehnt, zu untersuchen.

Methodik

An dieser Studie nahmen 73 männliche Probanden (Alter: 19.8 ± 5.5 Jahre, Bereich: 9 - 32 Jahre, Größe: 176.4 ± 12.3 cm, Bereich: 134 - 191 cm, Masse: 66.3 ± 13.4 kg, Bereich: 27 - 90 kg) teil. Sie entsprachen bezüglich der anthropometrischen Daten einer alterstypischen Stichprobe (31,41). Die Probanden wurden aus der Schule und aus dem normalen Klientel einer sportmedizinischen Einrichtung rekrutiert. Es bestanden keine speziellen Auswahlkriterien. Dieses führte dazu, dass die Mehrzahl der Probanden zwar sportlich aktiv jedoch keine Leistungssportler waren. Lediglich drei Probanden des dritten Lebensjahrzehnt waren Ausdauerleistungssportler, die ein spezielles leistungsorientiertes Training auf dem Fahrrad durchführten.

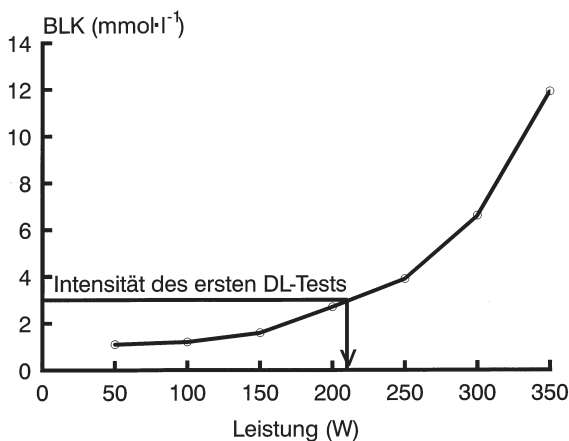


Abbildung 1: Laktatkonzentration im Blut (BLK) beim Stufentest und Festlegen der Leistung des ersten DL-Tests.

Jeder Proband absolvierte einen Stufentest und drei bis fünf Dauerleistungstests (DL-Tests) auf einem elektrodynamisch gebremsten Fahrradergometer (Fa. Elema Schönander bzw. Fa. Zimmermann). Die Probanden änderten während der gesamten Versuchsserie ihre Ernährungsgewohnheiten nicht. Kein Proband wurde medikamentös behandelt. Alle Tests wurden am Nachmittag nach minimaler Nahrungskarenz von 2 Stunden mit einer Kurbelfrequenz von ca. 60 min^{-1} durchgeführt. 48 Stunden vor einem Test durfte kein intensives oder langdauerndes Training absolviert werden. Bei Jungen bis zum vollendeten 14. Lebensjahr wurde die Leistung beginnend mit 25 W nach jeweils 2 min um 25 W, bei allen älteren Probanden ausgehend von 50 W nach jeweils 3 min um 50 W bis zur Erschöpfung des Probanden gesteigert (Abb. 1). Jeder DL-Test dauerte 30 min. Die Belastungsintensität der zuerst absolvierten DL entsprach der Leistung bei einer BLK von ca. $3.0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ während des Maximaltests. Nach jedem DL-Test wurde die Leistung für den nächsten

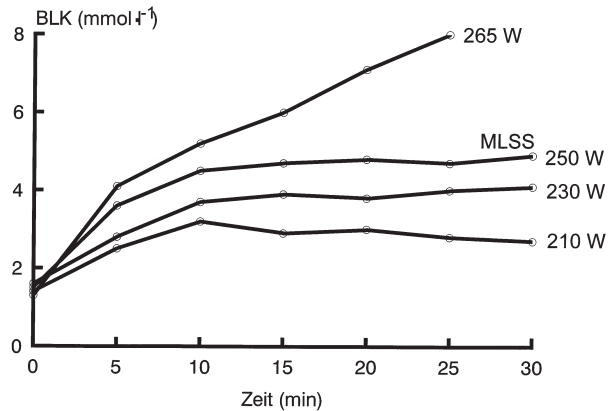


Abbildung 2: Bestimmung des Maximalen Laktat Steady State (MLSS) durch mehrere DL-Tests.

Test um 5 bis 10 % erhöht, bis eine Leistung erbracht wurde, bei der sich während der 30-minütigen konstanten DL kein Steady State der BLK einstellte (Abb. 2). Als MLSS-Leistung galt die höchste DL, bei der die BLK zwischen der 10. und 30. Belastungsminute um maximal $1.0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ anstieg. Das MLSS errechnete sich als Mittelwert der BLK der letzten vier Messzeitpunkte (6,20). Die BLK wurde vor jedem Test sowie bei den Stufentests am Ende jeder Belastungsstufe und bei den DL-Tests nach jeder fünften Testminute gemessen. Zur Bestimmung der BLK wurden aus dem hyperämisierten Ohr-läppchen mit einer kalibrierten Glaskapillare (Fa. Brand) $20 \mu\text{l}$ Kapillarblut gewonnen. Die Blutprobe wurde sofort in $200 \mu\text{l}$ Perchlorsäure hämolysiert und enteiweißt. Die Analyse erfolgte nach der enzymatisch-spektrophotometrischen Methode (Test-Combination Lactat, Fa. Boehringer). Die Herzfrequenz wurde mit dem Pulsmessgerät Sporttester PE 3000 (Fa. Polar Electro) gemessen.

Alle Ergebnisse sind als Mittelwerte und Standardabweichung dargestellt. Zusätzlich werden Minima und Maxima der gemessenen Werte angegeben. Zusammenhänge zwischen zwei Variablen wurden mittels linearer und nichtlinearer Regressionen getestet. Ein Ergebnis wurde bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $< 5 \%$ als signifikant gewertet.

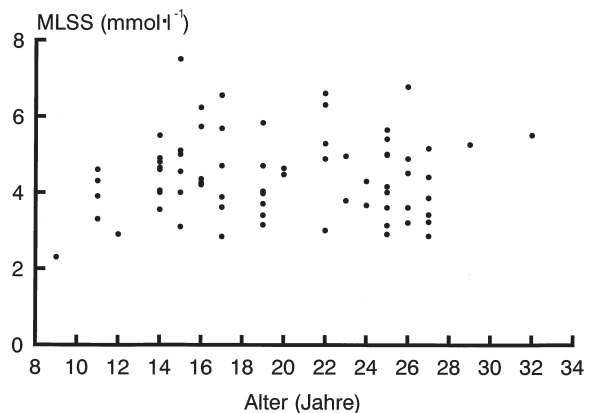


Abbildung 3: Das Maximale Laktat Steady State (MLSS) ist unabhängig vom Alter.

Ergebnisse

MLSS ($4.4 \pm 1.1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, Bereich: 2.3 bis $7.5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) und MLSS-Intensität relativ zur Peak-Leistung ($67.7 \pm 6.7 \%$, Bereich: 50 bis 84 %) waren vom Alter unabhängig (Abb.3 und 4). Die MLSS-Herzfrequenz ($172.5 \pm 13.7 \text{ min}^{-1}$, Bereich: 139

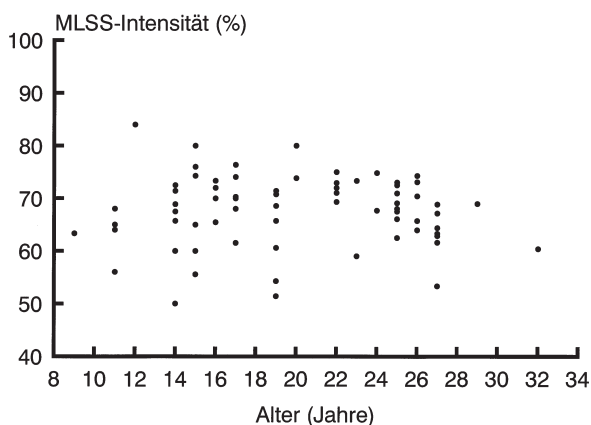


Abbildung 4: Die MLSS-Intensität ist unabhängig vom Alter.

bis 208 min^{-1}) korrelierte negativ linear ($p < 0.01$) mit dem Alter (Abb.5). Absolute ($187.3 \pm 57.2 \text{ W}$, Bereich: 65 bis 310 W) und relative MLSS-Leistung ($2.8 \pm 0.6 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, Bereich: 1.5 bis $4.1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) und absolute ($275.9 \pm 77.1 \text{ W}$, Bereich: 100 bis 425 W) und relative Peak-Leistung ($4.1 \pm 0.7 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, Bereich: 2.7 bis $5.5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) waren nichtlinear vom Alter abhängig ($p < 0.001$). Die Leistungsmaxima lagen am Beginn der dritten Lebensdekade (Abb.6 und 7).

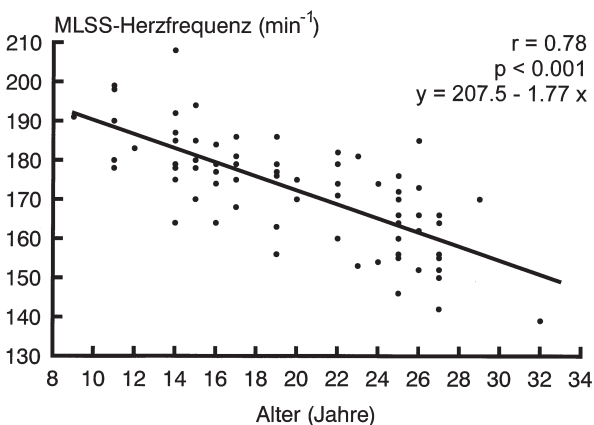


Abbildung 5: Die MLSS-Herzfrequenz wird mit zunehmendem Alter niedriger.

Diskussion

Das Alter wurde als mögliche Einflussgröße auf das MLSS und die MLSS-Intensität diskutiert (32,33,42). Im Widerspruch zu den vorliegenden Befunden und einer kürzlich publizierten Studie für Probanden in der zweiten Lebensdekade (6) wird zumeist angenommen, dass das MLSS in der

zweiten Lebensdekade mit zunehmendem Alter höhere und die MLSS-Intensität kleinere Werte annimmt (32,33,42). Eine Vielzahl altersabhängiger hormoneller, anthropometrischer, enzymatischer und kardiozirkulatorischer Veränderungen des menschlichen Organismus dienen dafür als Begründung.

Die mit der Pubertät verbundenen hormonellen Veränderungen bewirken einen Wandel der Körpergestalt. Speziell bei Jungen erreicht die Wachstumsgeschwindigkeit während dieser Zeit einen Peak. Mit geringer Verzögerung folgt auf diesen Wachstumsschub auch eine deutliche Zunahme der Muskelmasse (18,30,31,40). Eine im Verhältnis zur Körpermasse größere Muskelmasse könnte bei hoher Belastungsintensität das Verhältnis zwischen Glykolyse- und Oxidationsrate zugunsten der Laktatbildung verändern und somit bei gegebener Belastungsintensität höhere BLK-Werte bewirken.

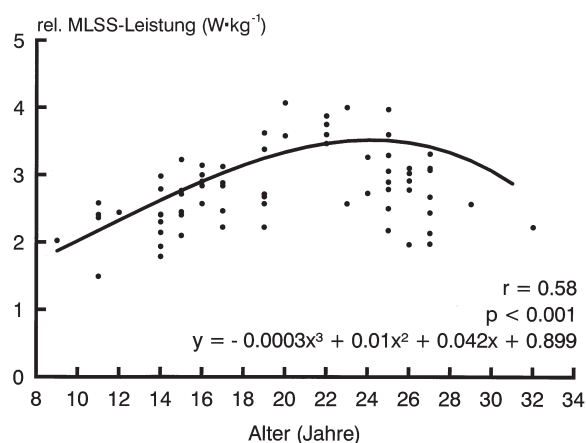


Abbildung 6: Die relative MLSS-Leistung hat ein Maximum am Beginn der dritten Lebensdekade.

Bei männlichen Probanden wurde auch beschrieben, dass Testosterongaben den Enzymsatz der Muskulatur erhöhen (38). Bei Schweinen konnte durch Testosterongaben auch eine Umwandlung von IIA-Fasern in IIB-Fasern hervorgerufen werden (23). In Übereinstimmung mit den letztgenannten Publikationen wurde während der Pubertät zusätzlich zur

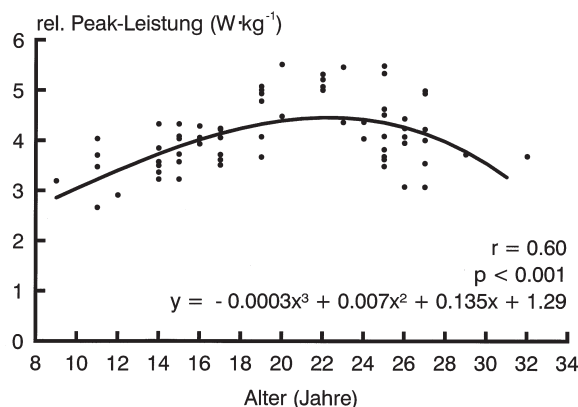


Abbildung 7: Die relative Peak-Leistung hat ein Maximum am Beginn der dritten Lebensdekade.

Muskelmasse auch eine Zunahme der anaeroben enzymatischen Kapazität beschrieben (2,4,14,16). Bei den Ergebnissen, die bei Kindern eine geringere anaerobe enzymatische Kapazität beschreiben, muß jedoch berücksichtigt werden, dass einige der Untersuchungen bei krankheitsbedingt dekonditionierten Kindern erhoben wurden (13,14,16). Andere Studien, die ausschließlich gesunde Kinder untersuchten, konnten keinen Zusammenhang zwischen Alter und glykolytischer Kapazität oder maximal erreichbarer BLK nachweisen (9,11,34). Zusätzlich könnte ein mit zunehmendem Alter beobachteter Anstieg der BLK bei Höchstleistung auch auf Trainingseinflüsse zurückgeführt werden (9,14,19,24,25). Auch für spezielle Rechnersimulationen, die bei Kindern zwischen 10 und 16 Jahren eine Altersabhängigkeit der maximalen Laktatbildungsrate zeigten (10), konnte ein Trainingseinfluss nicht ausgeschlossen werden. Vergleichende Untersuchungen mit Magnet-Resonanz-Spektroskopie zeigten, dass bei niedriger Belastungsintensität das Verhalten von muskulärem Phosphat, Kreatinphosphat, ATP und pH bei Erwachsenen (20 bis 42 Jahre) und Kindern (7 bis 10 Jahre) gleich war (43). Hohe Belastungsintensitäten erzeugten bei den Kindern jedoch einen geringeren pH-Abfall und einen niedrigeren Anstieg des Phosphat - Kreatinphosphat - Quotienten als bei den Erwachsenen (43). Diese Ergebnisse würden die These einer im Vergleich zu Erwachsenen bei Kindern geringeren maximalen glykolytischen Kapazität unterstützen. Andererseits könnten sie jedoch auch Ausdruck einer geringeren Belastungsintensität bei den Kindern sein. Neben den o.g. Faktoren des anaeroben Stoffwechsels werden bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zusätzlich kleinere Herzzeitvolumina, Kreislaufzeiten sowie größere Leber- und Muskeldurchblutung, arterio-venöse Sauerstoffdifferenzen, relative Mitochondrienvolumina und Fettoxidationsraten als mögliche, das Gleichgewicht zwischen Laktatbildung und -oxidation beeinflussende Faktoren, diskutiert (5,15,26,27,37).

Auch in der vorliegenden Untersuchung bestätigt zumindest die Abhängigkeit zwischen Herzfrequenz und Alter Unterschiede der kardialen Akutreaktion zwischen Kindern und Erwachsenen bei gegebenen Belastungsintensitäten. Zahlreiche Untersuchungsbefunde deuten auch darauf hin, dass die Kinetik der Sauerstoffaufnahme (2) bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen schneller ist (28,36,44). Eine modifizierte Sauerstoffkinetik würde jedoch lediglich ein mögliches Sauerstoffdefizit und die Zeitspanne, bis sich ein Steady-State der BLK einstellt, ändern. Die Pyruvatoxidationsrate unter Steady-State Bedingungen und damit das Steady-State der BLK bleiben dadurch jedoch unbeeinflusst (12,29).

In der vorliegenden Studie lag das Maximum der Leistungsfähigkeit in der ersten Hälfte der dritten Lebensdekade. Diese Altersabhängigkeit der MLSS- als auch der Peakleistung entsprach den Erwartungen (2,4,13,14,17,26,39). Die Steilheit der berechneten Ausgleichskurve ist bis zum Erreichen des Leistungsmaximums mit den Befunden anderer Autoren vergleichbar. Peak- wie auch MLSS-Leistung werden innerhalb der zweiten Lebensdekade ca. verdrei- bis vierfacht (3,6,22). Die Steigung der altersabhängigen Ab-

nahme der Leistungsfähigkeit war jedoch steiler als von anderen Autoren beschrieben (22). Letzteres ist dadurch begründet, dass in der vorliegenden Untersuchung die Altersgruppe der 18- bis 25- jährigen auch sehr leistungsfähige Sportler beinhaltete und dass sich in der Gesamtstichprobe keine Probanden befanden, die älter als 33 Jahre waren. Da jedoch die Ausdauerleistungsfähigkeit keinen Einfluss auf MLSS und MLSS-Intensität hat (7,20), kann diese Besonderheit der untersuchten Stichprobe vernachlässigt werden.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das MLSS und die MLSS-Intensität unabhängig vom Lebensalter sind. MLSS- und Peakleistung ändern sich mit dem Alter. Mögliche altersabhängige Änderungen der Muskelmasse und des Muskelstoffwechsels wie auch des Sauerstofftransportes im Körper scheinen das Verhältnis zwischen Glykolyse- und Pyruvatoxidationsrate bei submaximaler Leistung nicht zu beeinflussen. Ein Effekt auf das Laktatverhalten bei Maximalbelastungen kann jedoch durch die in der vorliegenden Studie erhobenen Daten nicht geklärt werden, weil die MLSS-Leistung nach einer kurzen initialen Phase aerob, d.h. ohne Nettolaktatbildung erbracht wird. Das MLSS ist im untersuchten Altersbereich unabhängig vom Lebensalter.

Literatur

1. *Astrand PO*: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Munksgaard, Copenhagen 1952
2. *Bareket F, Bar-Or O*: Longitudinal changes in peak anaerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys. *Ped Exer Sci* 5 (1993), 318-331
3. *Bar-Or O*: Die Praxis der Sportmedizin in der Kinderheilkunde. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1986
4. *Bar-Or O*: Belastungsuntersuchungen und Trainingsprogramme bei Kindern. In: Skinner JS (Hrsg.): *Rezepte für Sport und Bewegungstherapie*. Köln 1989, 75-94
5. *Bell RD, Mac Doughall JD, Billeter R, Howald H*: Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in 6 year old children. *Med Sci Sports Exerc* 12(1) (1980), 28-31
6. *Beneke R, Heck H, Schwarz V, Leithäuser R*: Maximal lactate steady state during the second decade of age. *Med Sci Sports Exerc* 28(12) (1996), 1474-1478.
7. *Beneke R, Leithäuser R*: Maximal lactate steady state is independent of the level of performance. *Clinical Science* 87(Suppl) (1994), 14
8. *Beneke R, Schwarz V, Leithäuser R, Hütler M, von Duvillard SP*: Maximal lactate steady-state in children. *Ped Exer Sci* 8 (1996), 328-336.
9. *Berg A, Kim SS, Keul J*: Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *Int J Sports Med* 7(4) (1986), 236-239
10. *Bleicher A*: Ein mehrfaktorieller Interpretationsansatz zur Entwicklung und Trainierbarkeit der Dauerleistungsfähigkeit bei 10- bis 16jährigen Jungen. Diss. Deutsche Sporthochschule Köln 1997
11. *Cumming GR, Hastman L, McCourt J, McCullough S*: High serum lactates occur in young children after maximal work. *Int J Sports Med* 1 (1980), 66-69
12. *Dost FH*: Grundlagen der Pharmakokinetik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1968, 29-62
13. *Eriksson BO*: Muscle metabolism in children - a review. *Acta Paediatr Scand* (Suppl) 283 (1980), 20-28
14. *Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B*: Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand* 87 (1973), 485-497
15. *Eriksson BO, Grimby G, Saltin B*: Cardiac output and arterial blood gases during exercise in pubertal boys. *J Appl Physiol* 31 (1971), 348-352
16. *Eriksson BO, Saltin B*: Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg* 28 (1974), 257-265

17. *Falgairrette G, Bedu M, Fellmann N, van Praagh E, Coudert J*: Bioenergetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol* 62 (1991), 151-156
18. *Florini JR*: Hormonal control of muscle growth. *Muscle Nerve* 10 (7) (1987), 577-598
19. *Fournier M, Ricci J, Taylor AW, Ferguson RJ, Montpetit RR, Chaitman BR*: Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 14 (1982), 453-456
20. *Heck H*: Laktat in der Leistungsdiagnostik. Wissenschaftliche Schriftenreihe des deutschen Sportbundes. Verlag Karl Hofmann, Schorndorf 1990
21. *Heck H, Reinhardt G, Mader A, Hollmann W*: Maximales Laktat-steady-state und Laktatschwelle bei Kindern. In: Rieckert H (Hrsg.): Sportmedizin-Kursbestimmung. Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag (1987), 482-487
22. *Hollmann W*: Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. Barth, München 1963
23. *Kelly A, Lyons G, Gambki B, Rubinstein N*: Influence of testosterone on contractile proteins of guinea pig temporalis muscle. *Adv Exp Med Biol* 182 (1983), 155-168
24. *Kindermann W, Huber G, Keul J*: Anaerobe Kapazität bei Kindern und Jugendlichen in Beziehung zum Erwachsenen. *Sportarzt Sportmed* 6 (1975), 112-115
25. *Kindermann W, Keul J, Simon G, Reindell H*: Anpassungserscheinungen durch Schul- und Leistungssport im Kindesalter. *Sportwissenschaft* 8 (1978), 222-234
26. *Klimt F*: Sportmedizin im Kindes und Jugendalter. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York 1992, 141-154
27. *Löllgen H, Winter UJ, Erdmann E*: Ergometrie -Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1995
28. *Macek M, Vavra J*: The adjustment of oxygen uptake at the onset of exercise: a comparison between prepubertal boys and young adults. *Int J Sports Med* 1 (1980), 70-72
29. *Mader A, Heck H*: A theory of the metabolic origin of „anaerobic threshold“. *Int J Sports Med* 7(Suppl 1) (1986), 45-65
30. *Malina RM*: Regional body composition: age, sex, and ethnic variation. In: Roche AF, S.B. Heymsfield, T.G. Lohman (Hrsg.): Human body composition. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1996, 217-225
31. *Malina RM, Bouchard C*: Growth, Maturation and Physical Activity. Human Kinetics, Champaign, Illinois 1991
32. *Mocellin RM, Heusgen M, Korsten-Reck U*: Maximal steady-state blood lactate levels in 11-year-old-boys. *Eur J Pediatr* 149 (1990), 771-773
33. *Mocellin R, Heusgen M, Gildein HP*: Anaerobic threshold and maximal steady-state blood lactate in prepubertal boys. *Eur J Appl Physiol* 62 (1991), 56-60
34. *Nagle JF, Hagberg J, Kamei S*: Maximal O₂ uptake of boys and girls aged 14-17. *Eur J Appl Physiol* 36 (1977), 75-80
35. *Paterson DH, Cunningham DA, Bumstead LA*: Recovery O₂ and blood lactic acid: longitudinal analysis in boys aged 11 to 15. *Eur J Appl Physiol* 55 (1986), 93-99
36. *Robinson S*: Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Int Z Angew Physiol Arbeitsphysiol* 10 (1938), 251-323
37. *Rowland Th, von Duvillard SP*: Exercise cardiac contractility in men and boys: A recovery echocardiographic study. *Int J Sports Med* 11(4) (1990), 308-311
38. *Saborido A, Vila J, Molano F, Megias A*: Effect of anabolic steroids on mitochondria and sarcotubular system of skeletal muscle. *J Appl Physiol* 70 (1991), 1038-1043
39. *Sjödín B, Svedenhag J*: Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol* 65 (1992), 150-157
40. *Tanner JM, Hughes PCR, Whitehouse RH*: Radiographically determined widths of bone, muscle and fat in the upper arm and calf from age 3-18 years. *Annals of human Biology* 8 (1981), 495-517.
41. *von Harnack G.A, G. Heimann*: Kinderheilkunde. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg Tokyo, 1990
42. *Williams JR, Armstrong N*: Relationship of maximal lactate steady-state to performance at fixed blood lactate reference values in children. *Ped Exer Sci* 3 (1991), 333-341
43. *Zanconato S, Buchthal S, Barstow TJ, Cooper DM*: 31P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol* 74(5) (1993), 2214-2218
44. *Zanconato S, Cooper DM, Armon Y*: Oxygen cost and oxygen uptake dynamics and recovery with 1 min of exercise in children and adults. *J Appl Physiol* 71 (1991), 993-998

Anschrift für die Verfasser:

Priv.-Doz. Dr. med. Dipl.-Sportl. Ralph Beneke
Sportmedizin, Freie Universität Berlin
Clayallee 229
14195 Berlin