



ORIGINAL PAPER / SPECIAL ISSUE

Referenzwerte für die Leistung an der Laktatschwelle 2 und zur Detektion eines erhöhten kardiometabolischen Risikos auf dem Fahrradergometer für Jugendliche in Deutschland

Reference Values for Performance at Lactate Threshold 2 and for the Detection of Increased Cardiometabolic Risk on the Bicycle Ergometer for Adolescents in Germany

Janis Fiedler^{a,*}, Maximiliane Thron^a, Stefan Altmann^{a,b}, Sascha Härtel^b, Friedrich Barsch^c, Lars Schlenker^a, Susanne Krug^d, Klaus Bös^a, Alexander Woll^a

^aKarlsruher Institut für Technologie, Institut für Sport und Sportwissenschaft, Deutschland

^bTSG ResearchLab gGmbH, Zuzenhausen, Deutschland

^cMedical Center – Universität Freiburg, Institut für Bewegungs- und Arbeitsmedizin, Deutschland

^dRobert Koch-Institut, Berlin, Deutschland

Received 17 December 2025; revised 17 February 2026; accepted 19 February 2026

Available online



SCHLÜSSELWÖRTER:
Kardiorespiratorischer
Fitness test;
Aerobe Ausdauer;
Fitness;
Perzentile

Zusammenfassung

Hintergrund: Submaximale Parameter wie Laktatschwellen ermöglichen eine präzise und sichere Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit und unterstützen die gezielte Trainingssteuerung. Ziel dieser Arbeit ist es, Referenzwerte für die Leistungsfähigkeit an der Laktatschwelle 2 beim Radfahren sowie Grenzwerte zur Identifikation eines erhöhten kardiometabolischen Risikos am 10. Perzentil bei 14- bis 17-jährigen Jugendlichen in Deutschland zu erstellen.

Material und Methoden: Die Leistungsdiagnostik erfolgte auf kalibrierten Fahrradergometern nach WHO-Protokoll mit stufenweiser Belastungssteigerung. Die Laktatschwelle 2 wurde mittels Kapillarblut bestimmt, der Test bei Erschöpfung oder Abbruchkriterium beendet. Die Referenzwerte wurden mittels GAMLSS berechnet.

E-mail: janis.fiedler@kit.edu (J. Fiedler).

* Korrespondenzadresse. Janis Fiedler, Engler-Bunte-Ring 15, Gebäude 40.40, 76131 Karlsruhe, Germany.

<https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2026.02.009>

Ergebnisse: Es wurden 1.714 Jugendliche (869 Jungen, 845 Mädchen, 14–17 Jahre) untersucht. Die relative Leistung an der Laktatschwelle 2 nimmt mit dem Alter ab (Jungen: $-0,033$ W/kg/Jahr; Mädchen: $-0,013$ W/kg/Jahr), ist aber bei Jungen höher (Mittelwert: 1,70 vs. 1,42 W/kg; 10. Perzentil: 1,21 W/kg vs. 1,03 W/kg). Die absolute Leistung bleibt von 14 bis 17 Jahren stabil (Jungen: 110,7–113,2 W; Mädchen: 84,5–84,6 W); das 10. Perzentil liegt bei durchschnittlich 80,55 W (Jungen) bzw. 63,09 W (Mädchen).

Schlussfolgerungen: Da die Ergebnisse einen altersabhängigen Rückgang sowie Geschlechtsunterschiede in der relativen Leistung an der Laktatschwelle 2 zwischen 14 und 17 Jahren belegen, sind alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für eine valide Beurteilung der individuellen Ausdauerleistungsfähigkeit und des kardiometabolischen Risikos im Jugendalter unerlässlich.

Evidenzebene: Querschnittsstudie.

[10.1016/j.orthtr.2026.02.009](https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2026.02.009)

KEYWORDS:

Cardiorespiratory
exercise testing;
Aerobic endurance;
Fitness;
Percentiles

Summary

Background: Submaximal parameters such as lactate thresholds allow for a precise and safe assessment of cardiorespiratory fitness and support targeted training management. The aim of this study was to establish reference values for cycling performance at the lactate threshold 2 and cut-off values to identify increased cardiometabolic risk in 14- to 17-year-old adolescents in Germany.

Material and methods: Performance diagnostics were conducted on calibrated cycle ergometers following the WHO protocol with incremental workload increases. Lactate threshold 2 was assessed via capillary blood samples, and the test was terminated upon exhaustion or reaching a termination criterion. Reference values were calculated using GAMLSS.

Results: A total of 1714 adolescents (869 boys, 845 girls, aged 14–17 years) were analyzed. Relative power at the lactate threshold 2 decreases with age (boys: -0.033 W/kg/year; girls: -0.013 W/kg/year), but is higher in boys (mean: 1.70 vs. 1.42 W/kg; 10th percentile: 1.21 W/kg vs. 1.03 W/kg). Absolute power remains stable from age 14 to 17 (boys: 110.7–113.2 W; girls: 84.5–84.6 W); the 10th percentile is on average 80.55 W (boys) and 63.09 W (girls).

Conclusions: Since the results demonstrate an age-dependent decline in the relative lactate threshold 2 between 14 and 17 years, age- and sex-specific reference values are essential for a valid assessment of individual endurance capacity during adolescence.

Level of evidence: Cross sectional study.

Einleitung

Die regelmäßige Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen ist entscheidend, um frühzeitig Defizite zu erkennen und gezielte Maßnahmen zur Gesundheitsförderung einzuleiten. Während die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max) der wichtigste Parameter zur Beurteilung der aeroben Ausdauer ist [7], sind submaximale Parameter wie die Laktatschwelle 2 (LT2) für diese Altersgruppe relevant, da sie eine risikofreie und präzise Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit ermöglichen [11]. Ein niedriger Fitnessstatus im Kindes- und Jugendalter ist sowohl mit einem erhöhten Risiko für körperliche Erkrankungen im kardiometabolischen Bereich als auch mit psychischen Erkrankungen wie Depression ver-

bunden und beeinträchtigt die Lebensqualität beträchtlich [15]. Dies kann mittels der 10. Perzentile in der allgemeinen Bevölkerung mit hoher Spezifität diagnostiziert werden [1]. Studien zeigen, dass viele Kinder und Jugendliche die Bewegungsempfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) nicht erfüllen und die körperliche Fitness in den letzten Jahren weiter abgenommen hat [20,21]. Die Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit kann in diesem Kontext durch nicht-invasive Methoden wie dem Cooper-, Conconi-Test oder 6-Minuten-Lauf geschehen, welche allerdings methodische sowie praxisbezogene Nachteile mit sich ziehen. Die Bestimmung der LT2 etwa aus standardisierten Fahrradergometertests, erlaubt dabei genauere Rückschlüsse auf metabolische Leistungsgrenzen. Dies ist wichtig, um die individuelle Leis-

tungsfähigkeit objektiv einzuordnen, ein erhöhtes Risiko für kardiometabolische Erkrankungen zu detektieren und gezielte Trainings- und Interventionsmaßnahmen abzuleiten.

Zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit sowie zur Trainingsteuerung im Leistungssport wurden verschiedene Laktatschwellenkonzepte entwickelt [18]. In dem Zusammenhang definiert die LT2 den Punkt, bei dem die Leistung über längere Zeit durch ein Gleichgewicht von Laktatbildung und -abbau aufrechterhalten werden kann. Dies entspricht dem maximalen Laktat-Steady-State, der höchsten konstanten Arbeitsrate bei erhöhten, aber stabilen Blutlaktatkonzentrationen [19]. Zur Berücksichtigung interindividueller Unterschiede entwickelten Coyle et al., [4] die individuelle LT 2, die als 1 mmol/L oberhalb des minimalen Laktatäquivalentes (LT1) definiert ist. Alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für die LT2 bei Jugendlichen sind für die Praxis und Forschung unerlässlich, um Screening, Frühintervention und Trainingsplanung evidenzbasiert zu gestalten.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, die bereits für zusammengefasste Altersgruppen publizierten Ergebnisse zur Leistung an der LT 2 [6] detaillierter darzustellen und alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für Deutschland für die absoluten (W) und relativen (W/kg) Leistungswerte an der LT 2 beim Radfahren zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich sollen Grenzwerte für das 10. Perzentil als Referenz [1] zur Detektion eines erhöhten Risikos für kardiometabolische Erkrankungen in dieser Population erstellt werden.

Material und Methoden

Studiendesign

Die „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ (KiGGS Welle 2) ist Teil des Gesundheitsmonitorings am Robert Koch-Institut (RKI) und wurde von 2014 bis 2017 als kombinierte Interview- und Untersuchungserhebung durchgeführt. Teilnehmende wurden deutschlandweit in Clustern rekrutiert; Details zum Studiendesign sind publiziert [8]. Der Fahrradergometertest mit Laktatbestimmung wurde bei Teilnehmenden ab 14 Jahren aus der Untersuchungsstichprobe von KiGGS Welle 2 durchgeführt.

Teilnahmebedingungen und Ethikvotum

Die Teilnahme am Fahrradergometertest in KiGGS Welle 2 war nach Freigabe durch den „Physical

Activity Readiness Questionnaire“ (PAR-Q) möglich. Zusätzlich mussten weitere medizinische und physiologische Kontraindikationen, insbesondere beim Ruheblutdruck, in Absprache mit einer Ärztin oder einem Arzt ausgeschlossen werden. Die Studie entspricht den Vorgaben der Deklaration von Helsinki und dem Bundesdatenschutzgesetz. Die Ethikkommission der Medizinischen Hochschule Hannover hat KiGGS Welle 2 genehmigt (Nr. 2275-2014). Die Teilnahme war freiwillig; Teilnehmende bzw. deren Sorgeberechtigte wurden umfassend informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis.

Messinstrumente

Der Fahrradergometertest wurde auf einem kalibrierten Fahrradergometer (ERG 911S Ergosana, Bitz, Deutschland) mit integrierter Blutdruckmessung und Polar-Herzfrequenzmonitor nach dem standardisierten WHO-Protokoll [10] durchgeführt (Start bei 25 W, Steigerung um 25 W alle 2 Minuten). In den letzten Sekunden jeder Stufe wurde Kapillarblut aus dem Ohrläppchen entnommen und die Laktatkonzentration mit dem Biosen C-Line Sport (EKF-diagnostic GmbH, Barleben) bestimmt. Der Test wurde bei subjektiver Erschöpfung oder Erreichen eines Abbruchkriteriums beendet wie z.B. Erreichen einer Herzfrequenz von 180 Schlägen pro Minute, auffälligen Symptomen (z. B. Blässe, Schwindel, Atemnot, Herzbeschwerden) oder kritischen Blutdruckwerten.

Teilnehmende

An der Untersuchungserhebung der KiGGS Welle 2 nahmen 9.877 Personen teil, von denen 4.914 als testtauglich galten und davon 4.837 Jugendliche am Ergometertest teilnahmen. Nach systematischer Datenbereinigung (z.B. Ausreißerbeseitigung, Entfernung unvollständiger Datensätze) wurden 1.714 Jugendliche (869 Jungen und 845 Mädchen) im Alter ab 14 bis zum vollendeten 17. Lebensjahr in die Analyse eingeschlossen.

Datenverarbeitung und Statistik

Die gesamte Datenaufbereitung und -verarbeitung erfolgte in R und RStudio. Die Laktatschwellen wurden mit dem Paket lactater [12] berechnet. Im Fokus stand hierbei die LT2, die auf verschiedene Weisen errechnet werden kann [5]. Da es sich in dieser Studie um einen Fahrradergometertest handelt, wurde die LT2 als minimales Laktatäquivalent + 1 mmol/l bestimmt [4,16]. Dafür wurden

die Ruhewerte (Stufe 0) einbezogen und eine Anpassung der Einzelwerte mit einem Polynom dritten Grades durchgeführt. Für die Referenzwerte wurden sowohl die absolute Leistung (W) als auch die auf das Körpergewicht der Teilnehmenden bezogene Leistung (W/kg) verwendet. Die Errechnung der Referenzwerte erfolgte mit dem GAMLSS-Paket (Generalized Additive Models for Location, Scale, and Shape), wie von der WHO empfohlen. Die Referenzwerte wurden mithilfe der Funktion „centiles.pred()“ für das 5., 10., 15., 25., 50., 75., 85., 90. und 95. Perzentil für jedes Lebensjahr (14. bis 17. Lebensjahr) ermittelt. Das kardiometabolische Risiko wurde auf der Basis von publizierten Cut-Off Werten beim 10. Perzentil festgelegt um eine hohe Spezifität zu ermöglichen und falsch-positive Ergebnisse zu minimieren [1].

Ergebnisse

Die Referenzwerte für die LT 2 zeigen, dass die relative Leistung bei beiden Geschlechtern mit 14 Jahren am höchsten ist und danach in jeder weiteren Altersstufe jeweils bei den Jungen um ca. – 0,033 W/kg und bei den Mädchen um ca. – 0,013 W/kg geringer ist. Im 50. Perzentil erreichen Jungen durchschnittlich eine relative Leistungsfähigkeit von 1,70 W/kg und weisen damit höhere Werte auf als Mädchen, die im gleichen Perzentil einen Wert von 1,42 W/kg erzielen. Das 10. Perzen-

til befindet sich im Schnitt bei 1,21 W/kg für Jungen und 1,03 W/kg für Mädchen (siehe [Tabelle 1](#)). Die absolute Leistung bleibt in der Adoleszenz stabil und ist bei Jungen (im Mittel 112,0 W) höher als bei Mädchen (im Mittel 84,6 W) (siehe [Tabelle 2](#)). Das 10. Perzentil befindet sich im Schnitt bei 80,55 W für Jungen und bei 63,09 W für Mädchen.

Diskussion

Diese Arbeit präsentiert alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für die LT 2 auf dem Fahrradergometer als Indikator für die Ausdauerleistungsfähigkeit bei 1.714 Jugendlichen im Alter von 14 bis 17 Jahren aus Deutschland, die zur Einschätzung eines erhöhten Risikos für kardiometabolische Erkrankungen verwendet werden können. Die absolute Leistung (W) an der LT 2 zeigte sich über die Altersspanne hinweg relativ stabil, während die relative Leistung (W/kg) im jüngsten Alter am höchsten war und danach abnahm. Dieser Rückgang ist vor allem auf die altersbedingte Körpergewichtszunahme bei stagnierender absoluter Leistung zurückzuführen und spricht für eine Betrachtung der relativen Leistungsfähigkeit. Die Stagnation der Leistungsfähigkeit hängt dabei insbesondere durch die geringere körperliche Aktivität ab 13 Jahren [17] zusammen, die wiederum prädiktiv für motorische Fitness ist [3]. Die vorliegenden Referenzwerte ermöglichen eine differenzierte Einordnung der Leistungsfähigkeit an der LT 2 und können so zur Identifikation von Risikogruppen für kardiome-

Tabelle 1 Referenzwerte für die relative Leistung (W/kg) an der Laktatschwelle 2 für Jungen und Mädchen vom 14. bis zum vollendeten 17. Lebensjahr. Dargestellt ist die Leistung pro Lebensjahr für die Perzentile von 5 bis 95. Orange oder Rot markierte Stellen zeigen Bereiche mit erhöhtem Risiko für kardiometabolische Erkrankungen.

	Jungen								
Lebensjahr (n)	5	10	15	25	50	75	85	90	95
14 (218)	1,13	1,24	1,33	1,46	1,75	2,08	2,28	2,43	2,67
15 (240)	1,10	1,22	1,30	1,43	1,71	2,04	2,24	2,38	2,62
16 (207)	1,08	1,19	1,28	1,41	1,68	2,00	2,19	2,34	2,57
17 (204)	1,06	1,17	1,25	1,38	1,65	1,96	2,15	2,29	2,52
	Mädchen								
Lebensjahr (n)	5	10	15	25	50	75	85	90	95
14 (189)	0,95	1,05	1,12	1,23	1,44	1,68	1,83	1,93	2,09
15 (218)	0,94	1,04	1,11	1,21	1,43	1,67	1,81	1,91	2,06
16 (228)	0,93	1,02	1,09	1,20	1,41	1,65	1,79	1,88	2,04
17 (210)	0,92	1,01	1,08	1,19	1,40	1,63	1,77	1,86	2,02

Tabelle 2 Referenzwerte für die absolute Leistung (W) an der Laktatschwelle 2 für Jungen und Mädchen vom 14. Bis zum vollendeten 17. Lebensjahr. Dargestellt ist die Leistung pro Lebensjahr für die Perzentile von 5 bis 95. Orange oder Rot markierte Stellen zeigen Bereiche mit erhöhtem Risiko für kardiometabolische Erkrankungen.

	Jungen								
Lebensjahr (n)	5	10	15	25	50	75	85	90	95
14 (218)	72,57	79,62	84,76	93,01	110,67	131,64	144,37	153,63	168,39
15 (240)	73,17	80,27	85,46	93,77	111,58	132,72	145,56	154,89	169,78
16 (207)	73,73	80,88	86,11	94,49	112,43	133,74	146,67	156,08	171,07
17 (204)	74,22	81,43	86,69	95,13	113,19	134,64	147,66	157,13	172,23
	Mädchen								
Lebensjahr (n)	5	10	15	25	50	75	85	90	95
14 (189)	57,89	63,05	66,75	72,55	84,51	98,14	106,22	112,02	121,13
15 (218)	57,91	63,07	66,77	72,57	84,54	98,17	106,26	112,06	121,17
16 (228)	57,94	63,10	66,80	72,61	84,58	98,22	106,31	112,11	121,22
17 (210)	57,98	63,15	66,86	72,66	84,64	98,30	106,39	112,20	121,32

tabolische Erkrankungen [1] und zur frühzeitigen Intervention im klinischen Kontext beitragen. Jungen erzielten in allen Altersgruppen sowohl absolut als auch relativ höhere Schwellenleistungen als Mädchen. Dies ist überwiegend auf biologische Unterschiede, wie z.B. Blutvolumen, Kapillardichte und Mitochondriengehalt und insbesondere hormonelle Faktoren wie Testosteron zurückzuführen (eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Thema findet sich unter [9]). Dieser Geschlechtsunterschied entspricht Beobachtungen aus anderen etablierten Leistungstests im Kindes- und Jugendalter [13,14]. Bei der Interpretation und dem Vergleich der Werte sind methodische Unterschiede, wie Testprotokoll, Ergometertyp, Blutabnahmetechnik und Ernährungsstatus, zu berücksichtigen. Die kürzere Stufendauer von 2 Minuten, im Vergleich zu der normalerweise empfohlenen Mindestdauer von 3 Minuten zur Erfassung von metabolischen Zuständen, im Protokoll dieser Studie ist der Stichprobengröße geschuldet und stellt eine Limitation der Studie dar. Eine weiteren Limitationen bestehen im Fokus auf die LT2, ohne dabei andere Parameter wie die LT1, die maximale Leistungsfähigkeit, die Bewegungsökonomie sowie Kenngrößen aus der Spiroergometrie zu berücksichtigen, die in dieser Studie nicht adressiert werden. Schlussendlich muss darauf hingewiesen werden, dass die Risikoklassifikation auf einer großen Querschnittsstudie zu Risikofaktoren beruht [1] und somit einer gängigen Praxis entspricht [2]. Allerdings stellt sie in unserer Studie lediglich ein statistisches und kein gemessenes bzw. kausales Risiko dar.

Schlussfolgerung

Die alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte für die absolute und relative Leistungsfähigkeit an der LT2 zeigen höhere Leistungswerte bei Jungen im Vergleich zu Mädchen sowie eine Abnahme der relativen Leistung über die verschiedenen Altersstufen hinweg. Die in dieser Studie bereitgestellten Referenzwerte liefern eine wichtige Grundlage für Forschung, Überprüfung der Fitness und die klinische Praxis.

Förderung

KiGGS wurde finanziert durch das Bundesministerium für Gesundheit und dem RKI.

Danksagung

Die Autor*innen danken dem Forschungsdatenzentrum des RKI für die Bereitstellung der Daten sowie Jonas Finger für seine vorbereitenden wissenschaftlichen Arbeiten. Weiterhin danken die Autor*innen Felipe Mattioni Maturana für seine Unterstützung und die Implementierung der Basal-Laktat + 1 mmol/l-Schwelle im „lactater“-Paket.

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen. Der Förderer BMG hatte keinen Einfluss auf Studiendesign, Datenerhebung, -analyse

oder -interpretation, sowie auf das Verfassen des Manuskripts und die Entscheidung zur Veröffentlichung der Ergebnisse.

Autor*innenschaft

Janis Fiedler: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Data Curation, Writing - Original Draft; Maximiliane Thron: Writing - Review & Editing, Conceptualization Stefan Altmann: Writing - Review & Editing Sascha Härtel: Investigation, Supervision Friedrich Barsch: Writing - Review & Editing Lars Schlenker: Investigation Susanne Krug: Writing - Review & Editing, Funding acquisition Klaus Börs: Writing - Review & Editing, Supervision Alexander Woll: Writing - Review & Editing, Supervision.

Literatur

- [1] Adegbeye AR, Anderssen SA, Froberg K, Sardinha LB, Heitmann BL, Steene-Johannessen J, et al. Recommended aerobic fitness level for metabolic health in children and adolescents: a study of diagnostic accuracy. *Br J Sports Med* 2011;45:722–728. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.068346>.
- [2] Altman DG. *Practical statistics for medical research*. London: Chapman and Hall/ CRC; 1991.
- [3] Bouchard C, Blair S, Haskell W. *Physical activity and health*. Hum Kinet 2012.
- [4] Coyle EF, Martin WH, Ehsani AA, Hagberg JM, Bloomfield SA, Sinacore DR, et al. Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J Appl Physiol* 1983;54:18–23. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.1.18>.
- [5] Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med* 2009;39:469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>.
- [6] Fiedler J, Thron M, Altmann S, Härtel S, Barsch F, Schlenker L, et al. Reference standards for power at the lactate threshold 2 for cycle ergometry throughout the lifespan in Germany. *J Sports Sci* 2025;1–11. <https://doi.org/10.1080/02640414.2025.2517913>.
- [7] Hill AV, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM* 1923;16:135–171.
- [8] Hölling H, Schlack R, Kamtsiuris P, Butschalowsky H, Schlaud M, Kurth BM. The KiGGS-study: nationwide representative longitudinal and cross-sectional study on the health of children and adolescents within the framework of health monitoring at the Robert Koch Institute. *Bundesgesundheitsbl* 2012;55:836–842. <https://doi.org/10.1007/s00103-012-1486-3>.
- [9] Hunter SK, Angadi SS, Bhargava A, Harper J, Hirschberg AL, Levine BD, et al. The biological basis of sex differences in athletic performance: consensus statement for the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exercise* 2023;55:2328–2360. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003300>.
- [10] Lange Andersen K, Shephard RJ, Denolin H, Varnauskas E, Masironi R. *Fundamentals of exercise testing*. Geneva: World Health Organization; 1971.
- [11] Löllgen H, Leyk D. Exercise testing in sports medicine. *Dtsch Arztebl Int* 2018;115:409–416. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>.
- [12] Maturana FM. *Lactate: Tools for Analyzing Lactate Thresholds*, 2022.
- [13] Niessner C, Utesch T, Oriwol D, Hanssen-Doose A, Schmidt SCE, Woll A, et al. Representative percentile curves of physical fitness from early childhood to early adulthood: the MoMo study. *Front Public Health* 2020;8:458. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00458>.
- [14] Ortega FB, Leskošek B, Blagus R, Gil-Cosano JJ, Mäestu J, Tomkinson GR, et al. European fitness landscape for children and adolescents: updated reference values, fitness maps and country rankings based on nearly 8 million test results from 34 countries gathered by the FitBack network. *Br J Sports Med* 2023;57:299–310. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106176>.
- [15] Ortega FB, Ruiz JR, Castillo MJ, Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes* 2008;32:1–11. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774>.
- [16] Płoszczyca K, Jazic D, Piotrowicz Z, Chalimoniuk M, Langfort J, Czuba M. Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2020;12:70. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00219-3>.
- [17] Schmidt SCE, Anedda B, Burchartz A, Oriwol D, Kolb S, Wäsche H, et al. The physical activity of children and adolescents in Germany 2003–2017: the MoMo-study. *PLoS ONE* 2020;15:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236117>.
- [18] Wackerhage H, Gehlert S, Schulz H, Weber S, Ring-Dimitriou S, Heine O. Lactate thresholds and the simulation of human energy metabolism: contributions by the Cologne Sports Medicine Group in the 1970s and 1980s. *Front Physiol* 2022;13:. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.899670>.
- [19] Wasserman K. *The anaerobic threshold: definition, physiological significance and identification*. *Adv Cardiol* 1986;35:1–23.
- [20] Wilhite K, Booker B, Huang B-H, Antczak D, Corbett L, Parker P, et al. Combinations of physical activity,

sedentary behavior, and sleep and their associations with physical, psychological, and educational outcomes in children and adolescents: a systematic review. *Am J Epidemiol* 2022;. <https://doi.org/10.1093/aje/kwac212>kwac212.

[21] Woll A, Kurth B-M, Opper E, Worth A, Bös K. The 'Motorik-Modul' (MoMo): physical fitness and physical activity in German children and adolescents. *Eur J Pediatr* 2011;170:1129–1142. <https://doi.org/10.1007/s00431-010-1391-4>.