

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ДЕТСКО-ЮНОШЕСКОГО СПОРТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ БЕГОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВЫНОСЛИВОСТИ У ЮНЫХ ЛЕГКОАТЛЕТОВ С УЧЕТОМ УРОВНЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

*И.А. КРИВОЛАПЧУК,
ГАОУ ВО МГУСиТ, ФГБНУ «ИРЗАР», г. Москва;
М.Б. ЧЕРНОВА,
ФГБНУ «ИРЗАР», г. Москва;
В.В. МЫШЬЯКОВ,
ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь;
А.Т. БОЙША,
ГОКЦОР, г. Гродно, Республика Беларусь*

Аннотация

Выявлена линейная зависимость между изменениями скорости бега и частотой сердечных сокращений. Установлено, что у легкоатлетов с высокой работоспособностью длительность выполнения работы заданной физиологической интенсивности значительно выше, чем у юных спортсменов с относительно низким уровнем физического состояния. Разработана номограмма, отражающая зависимость продолжительности бега от интенсивности нагрузки. Она может быть использована для экспресс-определения эффективной продолжительности нагрузки, направленной на улучшение выносливости с учетом исходного уровня физической работоспособности.

Ключевые слова: беговые упражнения, зависимость «доза нагрузки – физиологический эффект», номограмма, уровень работоспособности.

PERFORMANCE-BASED DETERMINATION OF THE EFFECTIVE DURATION OF RUNNING TO IMPROVE ENDURANCE IN YOUNG TRACK AND FIELD ATHLETES

*I.A. KRIVOLAPCHUK,
MSUST, FSBSI "ICDHA", Moscow city;
M.B. CHERNOVA,
FSBSI "ICDHA", Moscow city;
V.V. MYSHYAKOV,
YKSUG, Grodno city, Republic of Belarus;
A.T. BOYSHA,
GOKTSOR, Grodno city, Republic of Belarus*

Abstract

A linear relationship was revealed between changes in running speed and heart rate. Track and field athletes with high performance were shown to be able to exercise at a given intensity significantly longer than young athletes with relatively poor physical condition. A nomogram plotting running time against exercise intensity was developed. It can be used for the rapid determination of the effective training load based on the baseline physical performance of beginner athletes.

Keywords: running exercise, load – effect relationship, nomogram, level of performance.



Введение

Циклические виды спорта, как известно, относятся к наиболее массовым, а упражнения циклического характера – к наиболее действенным средствам физической подготовки. Одним из таких видов спорта является легкая атлетика в ее беговой части. Среди проблем физической подготовки юных легкоатлетов на начальных этапах спортивного совершенствования выделяют использование неадекватных возрастным и индивидуальным особенностям занимающихся режимов беговой тренировки, что может вызывать отрицательные изменения в функциональном состоянии организма, особенно в период полового созревания [3, 9, 4]. В связи с этим рациональное нормирование беговых нагрузок, реализация которых базируется на проявлении общей выносливости, является весьма важной и одновременно одной из сложных задач тренировки начинающих легкоатлетов.

В подростковом возрасте изменяется активность гипоталамо-гипофизарной системы – центрального звена регуляции эндокринных функций, опосредующей перестройку функционирования других физиологических систем [7, 14]. В этот период среди спортсменов-подростков одного паспортного возраста наблюдаются существенные расхождения по темпам полового созревания. В результате может изменяться функциональное состояние организма, что необходимо учитывать при нормировании тренировочных нагрузок преимущественно аэробного характера и выборе эффективных режимов направленной спортивной подготовки начинающих легкоатлетов. Особенно это касается юных спортсменов с негармоничной акселерацией, у которых часто наблюдается замедление приростов физической работоспособности и менее совершенная адаптация организма к физическим нагрузкам на фоне ускорения процессов роста [8, 4, 10].

Различают внешнюю и внутреннюю стороны тренировочной и соревновательной нагрузки. Индивидуальная физическая нагрузка наиболее полно характеризуется с внутренней стороны и оценивается по величине реакции организма на выполняемую работу [5, 4]. В практике спортивной подготовки широкое применение для нормирования физиологической интенсивности глобальной физической нагрузки циклического характера нашла частота сердечных сокращений (ЧСС) [15, 11, 12, 9 и др.]. Линейный характер связи ЧСС и мощности нагрузки позволяет относительно просто осуществлять прогнозирование одного из этих показателей на основе данных о динамике другого [1, 13, 11, 18]. Вместе с тем недостаточно информации о характере взаимосвязи физиологической интенсивности беговой нагрузки и ее предельной продолжительности в зависимости от исходного уровня физической работоспособности (ФР).

Цель исследования – разработка способа экспресс-оценки эффективной продолжительности беговой нагрузки при заданной её физиологической интенсивности для улучшения выносливости юных легкоатлетов с разной физической работоспособностью.

Методика и организация исследования

В исследовании приняли участие юные легкоатлеты 13–14 лет ($n = 108$), посещающие группы начальной подготовки.

Работа проходила в несколько этапов:

1. Рассчитывалась комплексная оценка ФР. Для ее диагностики определяли интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД), время удержания «до отказа» велоэргометрической нагрузки мощностью 5 Вт/кг ($t_{5\text{Вт/кг}}$), мощность нагрузки при пульсе 170 уд./мин (беговой тест «PWC170») [1].

2. Находили линии регрессии, отражающие индивидуальные варианты зависимости «скорость бега – ЧСС». В целях оценки динамики ЧСС при беге с различной скоростью и построения номограммы юные спортсмены выполняли ступенчатую беговую нагрузку в режиме «4 мин работы/4 мин отдыха». Такой протокол тестирования позволяет достичь равновесия между кардиореспираторной и метаболической системами, с одной стороны, и интенсивностью нагрузки в условиях устойчивого состояния, с другой [16, 17, 18]. Тестирование проводилось индивидуально. В ходе исследования занимающиеся пробегали 5 отрезков с нарастающей скоростью: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 м/с. Длина круга – 400 м. Рассчитывалось время пробегания отрезков по 100 м с заданной скоростью, которое служило ориентиром для корректировки скорости бега. Предварительно испытуемые в серии занятий по специальной методике обучались способности поддерживать требуемую скорость передвижения. В процессе тестирования отклонения от расчетного времени преодоления дистанций, пробегаемых за 4 мин с разной скоростью, в большинстве случаев не превышали 1%. При такой организации тестирования испытуемые с учетом указанной погрешности пробегали за 4 мин: 360 м при скорости 1,5 м/с; 480 м – при 2 м/с; 600 м – при 2,5 м/с; 720 м – при 3 м/с; 840 м – при 3,5 м/с. Средняя скорость бега определялась посредством деления дистанции на время. При ручном хронометрировании погрешность измерения при беге длительностью более 4 мин весьма приемлема [2]. В нашем исследовании она составляет 0,2/240 или 0,08%.

3. Изучалась зависимость «интенсивность нагрузки – время». Анализировались данные выполнения «до отказа» работы большой и субмаксимальной мощности. Наличие линейной зависимости между скоростью бега и его продолжительностью в логарифмической системе координат позволяет с помощью двух экспериментальных точек построить индивидуальный график, отражающий эту зависимость, и на основании уравнения Мюллера [6] найти предельную продолжительность работы по величине её мощности при ЧСС в устойчивом состоянии от 130 до 190 уд./мин:

$$t_{lim} = e^b / W^{-a},$$

где t_{lim} – предельное время удержания заданной нагрузки; W (V) – скорость бега, e – основание натуральных логарифмов, a и b – индивидуальные константы.

4. Разрабатывалась номограмма, отражающая зависимость продолжительности нагрузки от рабочей



ЧСС у юных легкоатлетов с различной работоспособностью.

Регистрацию сердечного ритма проводили в состоянии покоя, во время нагрузки и в период восстановления. Для этого использовали нагрудный датчик "Polar H10". Записи параметров сердечного ритма переводили на смартфон с функцией "Bluetooth" с установленными спортивными мобильными приложениями "Polar Beat" и "Polar Flow".

Обработка полученных данных осуществлялась с использованием стандартных программ в пакете "Statistica" и "MS Excel".

Результаты исследования и их обсуждение

У юных легкоатлетов 13–14 лет выявлена существенная вариативность индивидуальных показателей PWC_{170} , ИППД, $t_{5Вг/кг}$ и комплексной оценки работоспособности, на основе которой юные спортсмены были подразделены на 5 групп: с низкой ($< M - 1,0 \sigma$), ниже среднего (от $M - 1,0 \sigma$ до $M - 0,5 \sigma$), средней ($M \pm 0,5 \sigma$), выше среднего (от $M + 0,5 \sigma$ до $M + 1,0 \sigma$) и высокой ($> M + 1,0 \sigma$) работоспособностью.

Затем они выполняли беговые нагрузки в соответствии с описанным выше режимом работы. Как и ожидалось, была выявлена линейная зависимость между ЧСС и скоростью бега (рис. 1). Установлено, что линейный характер этой взаимосвязи сохраняется вплоть до пульса 190–200 уд./мин. На этой основе находили индивидуальную интенсивность бега, соответствующую ЧСС в диапазоне 130–180 уд./мин. Для каждого отдельного тренирующегося рассчитывали уравнение линейной регрессии ($y = a + bx$) и определяли величины мощности нагрузки, соответствующие ЧСС: 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190 уд./мин.

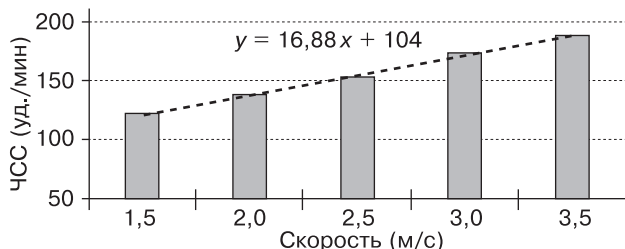


Рис. 1. Зависимость ЧСС от скорости бега у легкоатлетов-подростков 13–14 лет

В ходе дальнейшей работы выполнялось удержание «до отказа» беговой нагрузки со скоростью 1,5 и 2,5 м/с. После падения скорости на 10–15% бег прекращался.

Выявлено, что у юных бегунов 13–14 лет при беге со скоростью 1,5 м/с величины показателей, характеризующих предельную продолжительность работы, многократно отличаются от значений, полученных в беге со скоростью 2,5 м/с. Сопоставление длительности удержания нагрузки позволило установить, что различия между легкоатлетами с высокой и низкой ФР достигают внушительных величин.

Анализ результатов исследования показал, что чем выше комплексная оценка ФР спортсменов, тем больше отличается время удержания беговых нагрузок при высокой и низкой ЧСС (табл. 1, рис. 2). Полученные

данные свидетельствуют о том, что с увеличением ЧСС в пределах от 130 до 180 уд./мин скорость бега у юных спортсменов с низкой работоспособностью может возрасти в среднем в 3 раза, при этом предельная продолжительность работы у них уменьшается в 15 раз, а у легкоатлетов с высокой работоспособностью – в 45 раз и более. Эти сведения указывают на то, что в рамках оптимального диапазона интенсивности могут многократно изменяться колебания допустимого времени работы в зависимости от уровня работоспособности. Таким образом, у юных спортсменов с высоким уровнем ФР наблюдается значительно более широкий диапазон изменений предельной продолжительности работы при ЧСС в границах 130–180 уд./мин.

Установлено, что у юных спортсменов с высокой и низкой работоспособностью различия в предельной продолжительности беговой нагрузки могут достигать 6 раз при ЧСС = 130 уд./мин и 1,9 раза при ЧСС = 180 уд./мин. В ряде работ содержатся сведения, подтверждающие наличие столь выраженных изменений времени удержания нагрузки «до отказа» детьми и подростками вследствие «незначительной» трансформации показателей интенсивности, выраженных в физических единицах [1, 6, 8]. Представленные данные хорошо согласуются с информацией о том, что подростки с высокой работоспособностью опережают испытуемых с низким уровнем физического состояния по объему выполненной работы в 4–6 раз, а в отдельных случаях различия в отношении переменных, характеризующих аэробную емкость, могут достигать 20 раз и более [1, 6, 8].

Существенная внутригрупповая вариативность выраженности реакций срочной адаптации (ЧСС при беге 1,5 и 2,5 м/с составляла в среднем $139,2 \pm 2,3$ и $165,6 \pm 2,6$ уд./мин соответственно) и длительности удержания нагрузок «до отказа» (в среднем $121,3 \pm 13,2$ и $27,8 \pm 2,9$ мин) у легкоатлетов-подростков 13–14 лет, вероятно, с одной стороны, в значительной степени обусловлена темпами полового созревания, а с другой – индивидуально-типологическими особенностями развития двигательных способностей, определяющими предрасположенность к занятиям определенными видами спортивной деятельности.

Таблица 1

Теоретические показатели предельной продолжительности нагрузки при ЧСС в устойчивом состоянии у юных легкоатлетов 13–14 лет с высокой (УФВ 5) и низкой (УФВ 1) работоспособностью (получены на основе расчетных индивидуальных значений)

ЧСС (уд./мин)	Время, мин ($M \pm m$)	
	УФВ 5	УФВ 1
130	$517,04 \pm 83,8$	$90,9 \pm 18,2$
140	$246,8 \pm 37,4$	$46,6 \pm 7,7$
150	$106,1 \pm 19,2$	$26,6 \pm 3,7$
160	$54,9 \pm 10,7$	$16,3 \pm 1,9$
170	$24,9 \pm 6,4$	$10,6 \pm 1,1$
180	$11,2 \pm 2,7$	$5,9 \pm 0,9$



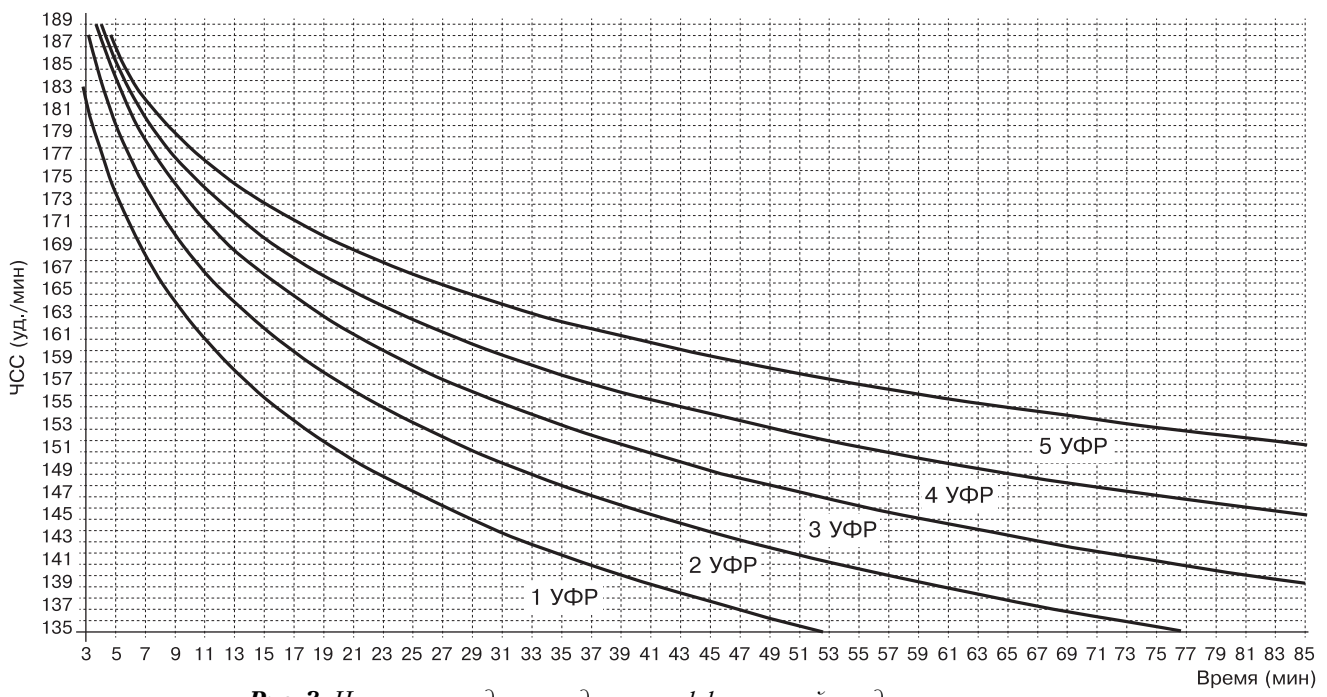
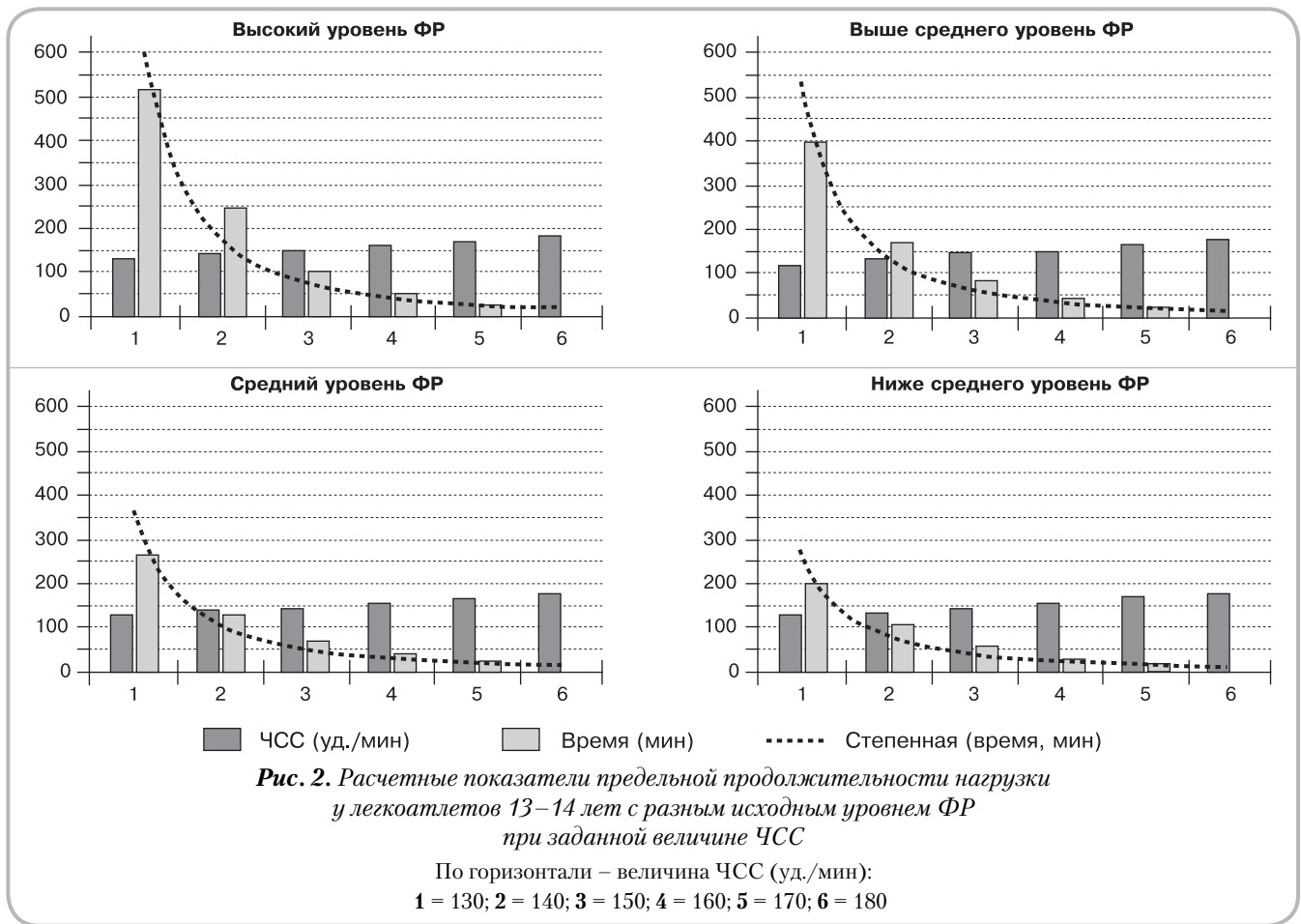


Рис. 3. Номограмма для определения эффективной продолжительности тренировочной нагрузки в зависимости от пульсового режима юных спортсменов с разным исходным уровнем физической работоспособности

По горизонтали:
 диапазон продолжительности непрерывной беговой тренировочной нагрузки.



Полученные результаты послужили основой для разработки номограммы, предназначенной для определения величины циклической нагрузки (прежде всего беговой) на начальном этапе спортивного совершенствования в зависимости от уровня ФР (рис. 3). В соответствии с имеющимися данными за оптимальную длительность тренировочной нагрузки принималась работа, составляющая 50% предельной при каждом пульсовом режиме. Кривыми представлены соотношения физиологической интенсивности и предельного времени выполнения упражнений для юных спортсменов с различной оценкой работоспособности.

В процессе использования данной номограммы необходимо учитывать, что у юных спортсменов при вы-

полнении беговых нагрузок интенсивностью более 50% пульсового резерва (или соответствующего % МПК) в состоянии устойчивой работоспособности ЧСС медленно нарастает. Средние величины «дрейфа» ЧСС за 60–90 мин работы в устойчивом состоянии находятся в пределах 10–15 уд./мин.

Сопоставление данных, полученных при помощи номограммы, с фактически измеренными показало достаточную точность представленного способа (ошибка измерений не превышала 9%; коэффициенты корреляции фактических и расчетных данных: $r = 0,88$), что свидетельствует о практической ценности предлагаемого метода.

Заключение

У юных легкоатлетов 13–14 лет выявлена линейная зависимость между изменениями скорости бега и частотой сердечных сокращений. В период полового созревания эта зависимость сохраняется вплоть до пульса 190–200 уд./мин.

Обнаружена выраженная неоднородность обследуемых юных спортсменов по предельному времени выполнения беговой нагрузки при заданной частоте сердечных сокращений, что вызывает необходимость учета в процессе дозирования нагрузки не только пульсового режима работы, но и уровня физической работоспособности тренирующихся.

Анализ взаимосвязи между физиологической интенсивностью бега и его продолжительностью у юных бегунов на средние и длинные дистанции показал, что относитель-

но небольшие сдвиги интенсивности работы обуславливают многократное изменение допустимого времени выполнения беговой нагрузки. При этом у легкоатлетов с высокой физической работоспособностью длительность работы при заданной физиологической интенсивности была значительно выше, чем у юных спортсменов с относительно низкой работоспособностью: в 6 раз – при ЧСС = 130 уд./мин, в 1,9 раза – при ЧСС = 180 уд./мин.

Разработана номограмма, отражающая зависимость продолжительности бега от физиологической интенсивности нагрузки у юных легкоатлетов. Она может быть использована для экспресс-определения эффективной продолжительности нагрузки, направленной на улучшение выносливости с учетом исходного уровня их физической работоспособности.

Литература

1. Белоцерковский, З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов / З.Б. Белоцерковский. – М.: Советский спорт, 2009. – 348 с.
2. Кряжев, В.Д. Методы и технические средства регистрации скорости бега спортсмена / В.Д. Кряжев, С.В. Кряжев, В.М. Скуднов // Вестник спортивной науки. – 2021. – № 3. – С. 21–26.
3. Озолин, Н.Г. Настольная книга тренера: наука побеждать / Н.Г. Озолин. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2004. – 863 с.
4. Платонов, В.Н. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов / В.Н. Платонов. – М.: Спорт, 2022. – 656 с.
5. Современная система спортивной подготовки / под общ. ред. Б.Н. Шустина. – М.: Спорт, 2021. – 440 с.
6. Сонькин, В.Д. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе / В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2022. – 368 с.
7. Физиология развития ребенка: руководство по возрастной физиологии / под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М.: Изд-во Московского психологического социального института, 2010. – 768 с.
8. Bompa, T.O. Periodization: Theory and Methodology of Training / T. Bompa, G.G. Haff. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2009. – 382 p.
9. Brown, R.L. Fitness Running / R.L. Brown. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2014. – 243 p.
10. Ferrauti, A. (Ed.) Trainings-wissenschaft für die Sportpraxis / A. Ferrauti. – Berlin Heidelberg: Springer, 2020. – 668 p.
11. Guimarães, G.C. Relationship between Percentages of Heart Rate Reserve and Oxygen Uptake Reserve during Cycling and Running: A Validation Study / G.C. Guimarães, P.T.V. Farinatti, A.W. Midgley, F. Vasconcellos, P. Vigário, F.A. Cunha // J. Strength Cond. Res. – 2019. – 3 (7). – Pp. 1954–1962.
12. Jamnick, N.A. An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity / N.A. Jamnick, R.W. Pettitt, C. Granata, D.B. Pyne, D.J. Bishop // Sports Med. – 2020. – Vol. 50 (10). – Pp. 1729–1756.
13. Kenney, W.L. Physiology of Sport and Exercise / W.L. Kenney, J. Wilmore, D. Costill. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2015. – 640 p.
14. Lightfoot, C. The Development of Children / C. Lightfoot, M. Cole, S.R. Cole. – NY: Worth Publishers, 2018. – 1262 p.



15. Mann, T. Methods of Prescribing Relative Exercise Intensity: Physiological and Practical Considerations / T. Mann, R.P. Lamberts, M.I. Lambert // *Sports Med.* – 2013. – 43 (7). – Pp. 613–625.
16. Poole, D.C. Oxygen Uptake Kinetics / D.C. Poole, A.M. Jones // *Compr. Physiol.* – 2012. – 2 (2). – Pp. 933–996.
17. Riboli, A. Training Status Affects Between-Protocols Differences in the Assessment of Maximal Aerobic Velo-

city / A. Riboli, S. Rampichini, E. Cè, E. Limonta, M. Borrelli, G. Coratella, F. Esposito // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2021. – 121 (11). – Pp. 3083–3093.

18. Van Hooren, B. Reliability of Correlation Properties of Heart Rate Variability during Running / B. Van Hooren, B.C. Bongers, B. Rogers, T. Gronwald // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2023. – 48 (4). – Pp. 453–460.

References

1. Belotserkovskiy, Z.B. (2009), *Ergometric and cardiological criteria of physical performance in athletes*, Moscow: Sovetskiy Sport, 348 p.
2. Kryazhev, V.D., Kryazhev, S.V. and Skudnov, V.M. (2021), Methods and technical means of recording an athlete's running speed, *Vestnik sportivnoy nauki*, no. 3, pp. 21–26.
3. Ozolin, N.G. (2004), *Coach's handbook: the science of winning*, Moscow: AST Publishing House LLC, 863 p.
4. Platonov, V.N. (2022), *Motor qualities and physical training of athletes*, Moscow: Sport, 656 p.
5. Shustin, B.N. (General ed.) (2021), *Modern system of sports training*, Moscow: Sport, 440 p.
6. Sonkin, V.D. and Tambovtseva, R.V. (2022), *Development of muscular energy and working capacity in ontogenesis*, Moscow: Publishing House "LIBROKOM", 368 p.
7. Bezrukikh, M.M. and Farber, D.A. (Eds.) (2010), *Physiology of child development: A guide to age-related physiology*, Moscow: Publishing House of the Moscow Psychological and Social Institute, 768 p.
8. Bompa, T.O. and Haff, G.G. (2019), *Periodization: theory and methodology of training*, Champaign, IL: Human Kinetics, 382 p.
9. Brown, R.L. (2014), *Fitness running*, Champaign, IL: Human Kinetics, 243 p.
10. Ferrauti, A. (2020), *Trainings-wissenschaft für die Sportpraxis*, Berlin-Heidelberg: Springer, 668 p.
11. Guimarães, G.C., Farinatti, P.T.V., Midgley, A.W., Vasconcellos, F., Vigário, P. and Cunha, F.A. (2019), Relationship between Percentages of Heart Rate Reserve and Oxygen Uptake Reserve during Cycling and Running: A Validation Study, *J. Strength Cond. Res.*, vol. 33 (7), pp. 1954–1962.
12. Jamnick, N.A., Pettitt, R.W., Granata, C., Pyne, D.B. and Bishop, D.J. (2020), An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity, *Sports Med.*, vol. 50 (10), pp. 1729–1756.
13. Kenney, W.L., Wilmore, J. and Costill, D. (2015), *Physiology of Sport and Exercise*, Champaign, IL: Human Kinetics, 640 p.
14. Lightfoot, C., Cole, M. and Cole, S.R. (2018), *Development of Children*, NY: Worth Publishers, 1262 p.
15. Mann, T., Lamberts, R.P. and Lambert, M.I. (2013), Methods of Prescribing Relative Exercise Intensity: Physiological and Practical Considerations, *Sports Med.*, 43 (7), pp. 613–625.
16. Poole, D.C. and Jones, A.M. (2012), Oxygen Uptake Kinetics, *Compr. Physiol.*, 2 (2), pp. 933–996.
17. Riboli, A., Rampichini, S., Cè, E., Limont, E., Borrelli, M., Coratella, G. and Esposito, F. (2021), Training Status Affects Between-Protocols Differences in the Assessment of Maximal Aerobic Velocity, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 121 (11), pp. 3083–3093.
18. Van Hooren, B., Bongers, B.C., Rogers, B. and Gronwald, T. (2023), Between-Day Reliability of Correlation Properties of Heart Rate Variability during Running, *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, 48 (4), pp. 453–460.

