

УДК 796.012

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАКТАТНОГО АНАЭРОБНОГО ПОРОГА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЧЕЛНОЧНОГО БЕГОВОГО ТЕСТА

© 2024 г. Е. М. Калинин^{1, 2, *}, В. А. Кузьмичёв^{1, **}

¹Российский футбольный союз, Москва, Россия

²Российский университет спорта “ГЦОЛИФК” Москва, Россия

*E-mail: emkalinin@gmail.com

**E-mail: kuzvas88@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2024 г.

После доработки 08.05.2024 г.

Принята к публикации 16.07.2024 г.

Целью исследования является определение лактатного анаэробного порога (LT_2) футболистов высокой квалификации при выполнении субмаксимального прерывистого интервального челночного теста со ступенчато повышающейся скоростью. В проведенном исследовании приняли участие 126 футболистов высокой квалификации. Во время выполнения теста и в период восстановления выполнялась непрерывная регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС), скорости бега и концентрации лактата. Для оценки LT_2 применялся метод фиксированной оценки лактата (La 4 ммоль/л) и метод $Dmod$ (LT_2 $Dmod$). Было выявлено, что между ЧСС и скоростью бега на уровне La 4 ммоль/л и LT_2 $Dmod$ имеется корреляция. Игроки, достигшие более высокой скорости на LT_2 $Dmod$ (м/с), имеют более низкие показатели концентрации лактата на 2-й мин восстановления. Для игроков, у которых концентрация лактата на 2-й мин восстановления была ниже, характерна более низкая величина ЧСС на первой минуте восстановления. У игроков, у которых ЧСС на 1-й мин восстановления выше, отмечается более высокая ЧСС на уровне LT_2 $Dmod$. Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, подтверждают возможность использования неопределенных челночных беговых тестов для определения анаэробного порога спортсменов.

Ключевые слова: футбол, лактат, анаэробный порог, работоспособность, челночный бег.

DOI: 10.31857/S0131164624050083, **EDN:** AODIEQ

Футбол представляет собой игровой вид спорта, где средне- и высокоинтенсивные действия на поле, такие как спринт, прыжки, ускорения, торможения, чередуются с низкоинтенсивными: трусцой, ходьбой, стоянием на месте [1]. В связи с этим очень важно между этими кратковременными активными действиями быстро восстанавливаться. Поэтому аэробная подготовленность футболистов является одной из ключевых сторон функциональной подготовки [2, 3], за счет которой можно повысить качество, интенсивность игровых действий [4].

Для определения аэробной подготовленности спортсменов, в том числе футболистов, принято проводить тестирование (которое продолжается до отказа) на беговой дорожке или велоэргометре со ступенчато повышающейся нагрузкой, осуществляя измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС), измерением лактата в крови и/

или газоанализом [5]. Для игровых видов спорта, в том числе для футбола, более специфичными считаются челночные тесты, поскольку они характеризуются изменением скорости в виде ускорений, торможений, смены направления движения, т. е. отражают кинематические характеристики двигательной деятельности, свойственной игровым видам спорта [6]. Они обычно проводятся до отказа, как и тесты в лаборатории. В качестве критерия аэробной подготовленности футболистов в тестах до отказа выступает скорость бега в конце и максимальное потребление кислорода (МПК или VO_{2max}) [7–9]. Однако во многих исследованиях показано, что именно анаэробный порог является наиболее информативным показателем аэробной подготовленности (LT_2) [3, 10], а периодическое выполнение максимальной тестовой нагрузки до отказа для футболистов неприемлемо, т. к. требует большой затраты сил и может противоречить задачам

текущего этапа спортивной подготовки [11]. При этом использование субмаксимальных челночных тестов вполне допустимо, если позволит измерять характеристики анаэробного порога как ведущего показателя аэробной производительности [12, 13]. В доступной литературе нет публикаций по определению LT_2 у футболистов в субмаксимальных челночных тестах.

Целью настоящего исследования было определение LT_2 футболистов высокой квалификации при выполнении субмаксимального прерывистого интервального челночного теста со ступенчато повышающейся скоростью.

МЕТОДИКА

Организация исследования заключалась в выполнении субмаксимального прерывистого челночного теста *interval shuttle run test (ISRT)* [14].

Методика проведения теста ISRT. Тест проводили на футбольном поле перед началом тренировочного занятия без предварительной разминки. До начала тренировочного занятия тренер команды должен был подготовить место для проведения теста: измерить длину дистанции, равную 20 м, расставить фишки или конусы по ширине линии старта с целью обозначения коридора для каждого игрока, а также на противоположной стороне.

Тест выполняется в бутсах. По готовности игроки выстраиваются в линию, далее тренер объясняет задание, включает специальный звуковой сигнал — “Бип”, который срабатывает по принципу таймера, обозначающего “старт”, смену направления движения — разворот, остановку, т. е. задает необходимую скорость движения. Каждая ступень состоит из разного числа повторов пробегаемых 20-метровых отрезков: от 4 до 6 повторов, что обусловлено сохранением продолжительности ступени нагрузки при возрастающей скорости во время выполнения теста. При завершении ступени, за 5 с подается голосовой сигнал, завершающийся сигналом “Бип”, после которого игроки должны остановиться на 15 с. В интервале отдыха 15 с игроки неподвижно стоят и не разговаривают. После каждой четной ступени происходит повышение скорости бега, которая задается звуковым сигналом “Бип” (табл. 1). Время между сигналом

“Бип” сокращается после каждой четной ступени. Задача игроков — не опережать и не отставать от звукового сигнала “Бип”. Тест состоит из 12 ступеней, включающих разное число пробеганий 20-метровых отрезков.

Характеристика группы испытуемых. Были обследованы 126 футболистов сборных команд России в возрасте 24.8 ± 2.5 (15–35) лет. В день проведения теста утром натошак проводили измерение массы тела, роста, массы жира и мышц модифицированным методом калиперометрии по Я. Матейке [15].

Инструментальные методы измерения. Регистрация скорости происходила во время выполнения теста с помощью специального трекингового датчика (*RealTrack System*, Испания) размером $81 \times 45 \times 19$ мм, весом менее 100 г, закрепленного в специальной манишке на игроке со встроенным модулем глобального позиционирования *GPS* (10 Гц) для точного измерения позиции, а также скорости за каждые 0.5 с, дистанции и времени. Данный метод был проверен на надежность, информативность и воспроизводимость [16]. В табл. 2 представлены измеренные показатели ускорений (м/с^2), торможений (м/с^2), а также средней (м/с) и максимальной скорости (м/с) во время выполнения теста. Непрерывную регистрацию частоты сердечных сокращений (ЧСС) проводили в режиме оценки каждого удара (*beat-to-beat*) с помощью нагрудного пульсометра *Polar H10* (Финляндия) как во время теста, так и в период восстановления на 1-й и 2-й мин. Определение концентрации лактата осуществляли перед началом теста и после каждой четной ступени в интервале отдыха 15 с, в период восстановления сразу после нагрузки и на второй минуте в цельной крови безымянного пальца с помощью анализатора *Biosen C-line* (Германия). Диапазон измерения лактата 0.5–40 ммоль/л, погрешность измерения лактата $< 2.5\%$. Перед началом и после обработки проводили калибровку прибора.

Определение анаэробного порога проводили двумя методами: 1) методом фиксированной оценки концентрации лактата крови, где интенсивность нагрузки соответствует концентрации лактата 2 (La 2 ммоль/л) и 4 (La 4 ммоль/л) ммоль/л [17, 18]; 2) графическим методом *Dmod* [18], модифицированный *Dmax* [19], где интенсивность нагрузки

Таблица 1. Антропометрические показатели футболистов

Показатели	Масса тела (кг)	Длина тела (см)	ИМТ (м/кг^2)	Масса мышц (%)	Масса жира (%)
$\bar{X}$	76,3	181,2	23,2	50,1	9,6
σ	7,1	5,9	1,5	2,6	2,7

Примечание: ИМТ — индекс массы тела.

Таблица 2. Программа выполнения субмаксимального прерывистого челночного теста со ступенчато повышающейся скоростью

№ отрезка	Время пробегания отрезка, мин : с	Уск. макс., м/с ²	Торм. макс., м/с ²	Ср. скорость отрезков, м/с	Макс. скорость отрезков, м/с	Число отрезков в ступени, 20 м
1	0:00–0:29	2,9±0,2	–2,7±0,2	2,4±0,1	3,6±0,3	4
2	0:44–1:12					4
3	1:27–1:53	2,9±0,2	–2,9±0,2	2,6±0,1	3,8±0,1	4
4	2:08–2:41					5
5	2:56–3:26	3,2±0,1	–3,4±0,2	2,9±0,1	4,2±0,2	5
6	3:41–4:11					5
7	4:26–4:54	3,4±0,1	–3,8±0,2	3,1±0,1	4,5±0,1	5
8	5:09–5:42					6
9	5:57–6:24	3,5±0,2	–3,9±0,2	3,1±0,1	4,6±0,2	5
10	6:39–7:11					6
11	7:26–7:57	3,7±0,2	–4,1±0,3	3,2±0,2	4,8±0,2	6
12	8:12–8:43					6

Примечание: Уск. – ускорения; Торм. – торможения; Ср. – средняя; Макс. – максимальная.

определяется по точке пересечения перпендикуляра с наибольшей длиной (LT_2 Dmod), путем соединения линий с момента начала возрастания лактата более чем на 0.4 ммоль/л (LT_1 Dmod) с конечной точкой в тесте. Для каждого игрока строили график зависимости между продолжительностью упражнения и концентрацией лактата. Далее определяли индивидуальные пороговые значения для показателей скорости бега и ЧСС.

Методы математической статистики. В качестве статистических показателей были рассчитаны $\bar{X}$ -среднее значение, σ -стандартное отклонение, медиана. Для оценки достоверности различий средних использовали t -критерий Стьюдента при уровне значимости $p < 0.05$. Взаимосвязь показателей определяли корреляционным анализом Пирсона. Статистическую обработку данных проводили с применением программного обеспечения Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Особенностью проведения челночного теста является его специфичность, т. е. соответствие кинематике движения соревновательной двигательной деятельности. Во время его выполнения игроки должны бежать в одну линию, не отставая и не опережая звуковой сигнал, который задает скорость перемещения игроков. Измерение скорости во время теста показало (табл. 2), что начальная средняя скорость составила

2.4 ± 0.1 м/с, максимальная – 3.6 ± 0.3 м/с, средняя ЧСС – 136 ± 11.6 уд./мин, концентрация лактата – 1.69 ± 0.43 ммоль/л. При завершении теста, на 12 ступени, средняя скорость составила 3.2 ± 0.2 м/с, максимальная 4.8 ± 0.2 м/с, среднее значение ЧСС достигло 177 ± 8.8 уд./мин, лактата – 6.50 ± 1.69 ммоль/л. Общая продолжительность теста составляет 8 мин 43 с для всех игроков команды.

Главным отличием челночного бега от бега по дорожке стадиона или на тредбане является наличие реверсов на отрезке 20 м, приводящих к изменению скорости на дистанции. Для достижения целевой скорости, соответствующей данной ступени нагрузки, игроки вынуждены быстрее ускоряться и выполнять торможение для смены направления, на что указывает возрастающая величина торможения, которая с середины теста характеризуется большим значением по сравнению с набором скорости – ускорением (табл. 2), что приводит к выраженной реакции ЧСС и концентрации лактата (рис. 1, А). Повышение концентрации лактата по сравнению с исходным после двух ступеней нагрузки составило 0.45 ± 0.28 ммоль/л, а после 8-й ступени – 1.30 ± 0.47 ммоль/л (рис. 1, Б). Анализ кривой изменения концентрации лактата и продолжительности позволяет определить показатели скорости и ЧСС на уровне La 2 и 4 ммоль/л.

Показатели лактатных порогов, определенные методом оценки фиксированной концентрации лактата. Показатели ЧСС на уровне La 2 ммоль/л и

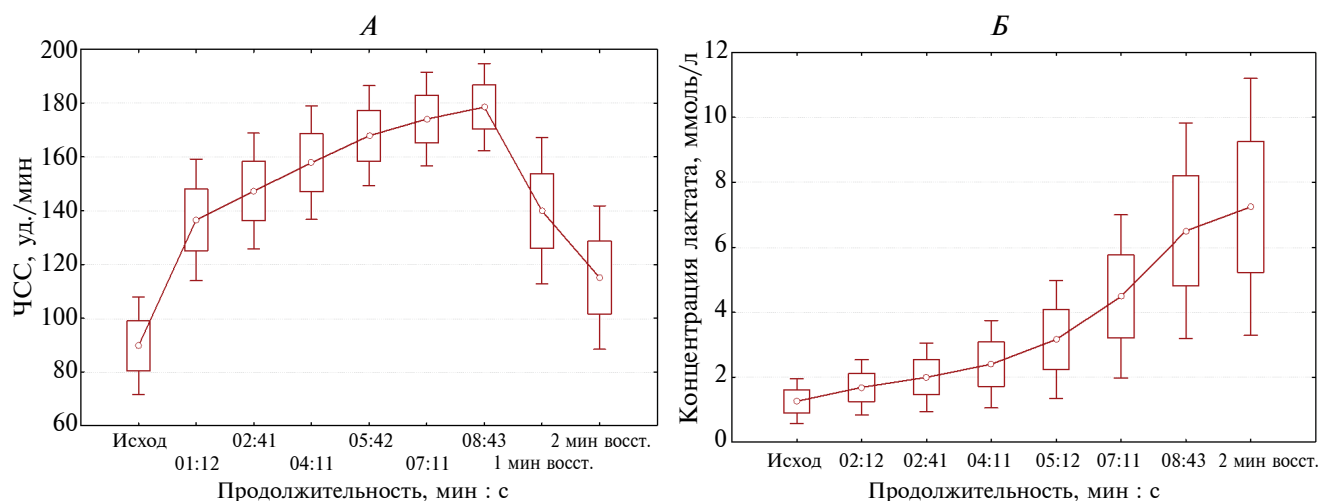


Рис. 1. Изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) (уд./мин) (А) и концентрации лактата (ммоль/л) (Б) при выполнении субмаксимального прерывистого челночного теста со ступенчато повышающейся скоростью.

La 4 ммоль/л составили 155 ± 9.2 и 173 ± 8.2 уд./мин соответственно (табл. 3). Вариативность изменения ЧСС на уровне пороговых значений свидетельствует о различном уровне тренированности спортсменов. Скорость бега на уровне La 2 ммоль/л составила 2.8 ± 0.2 м/с, на уровне La 4 ммоль/л — 3.2 ± 0.1 м/с (табл. 3). Наблюдения за динамикой изменения ЧСС и показателями скорости на уровне La 2 и La 4 ммоль/л позволит оценивать изменения аэробной подготовленности спортсменов.

Показатели лактатных порогов, определенные методом Dmod. Преимущество метода *Dmod* заключается в том, что он приближен по итоговому результату к эталонному методу максимального устойчивого состояния по лактату (*maximal lactate steady state, MLSS*) [18, 19], позволяет определить два пороговых значения: LT_1 и LT_2 (рис. 2, табл. 4). Графический метод анализа пороговых значений методом *Dmod* показал, что ЧСС на

уровне LT_1 и LT_2 составляет в среднем 153 ± 11.9 и 172 ± 8.6 уд./мин соответственно (табл. 4), что практически идентично средним значениям, определенным по фиксированной концентрации лактата (табл. 3). Аналогичное совпадение было обнаружено и по показателям скорости (м/с), соответствующим LT_1 и LT_2 — 2.7 ± 0.2 и 3.3 ± 0.1 м/с соответственно (табл. 4), на первый взгляд, практически не отличающимся от данных, представленных в табл. 3. Таким образом, получены результаты пороговых значений ЧСС и скорости бега (LT_1 и LT_2) для квалифицированных футболистов.

Проведенный корреляционный анализ позволил установить связь между показателями скорости (м/с) LT_1 *Dmod* и La 2 ммоль/л на уровне $r = 0.70$ ($p < 0.001$); LT_2 *Dmod* и La 4 ммоль/л, $r = 0.58$ ($p < 0.001$); более тесную взаимосвязь между ЧСС LT_1 *Dmod* и La 2 ммоль/л, $r = 0.78$ ($p < 0.001$); ЧСС LT_2 *Dmod* и La 4 ммоль/л, $r = 0.88$ ($p < 0.001$) соответственно (табл. 5). Таким образом,

Таблица 3. Показатели скорости бега (м/с) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) (уд./мин), определенные методом оценки фиксированной концентрации лактата 2 и 4 ммоль/л

Показатели	Скорость бега, м/с		ЧСС уд./мин	
	лактат 2 ммоль/л	лактат 4 ммоль/л	лактат 2 ммоль/л	лактат 4 ммоль/л
$\bar{X}$	2,8	3,2	155	173
σ	0,2	0,1	9,2	8,2
$V, \%$	8	3	6	5
Мин.	2,2	2,7	130	150
Макс.	3,3	3,5	173	191

Примечание: $V, \%$ — коэффициент вариации.

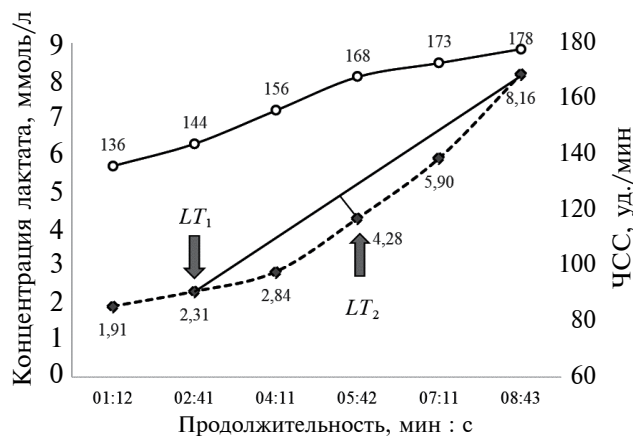


Рис. 2. Графический метод *Dmod* определения LT_1 и LT_2 .

между параметрами анаэробного порога, вычисленными двумя методами, наблюдается тесная взаимосвязь как для показателей пороговой ЧСС, так и для показателей пороговой скорости бега.

Изменение ЧСС и концентрации лактата у футболистов в период восстановления после выполнения субмаксимального интервального челночного теста. Выполнение субмаксимального прерывистого челночного теста приводит к повышению средней величины ЧСС с исходного значения 90 ± 9.4 до 179 ± 8.1 уд./мин, зафиксированному в конце теста, а также повышению концентрации лактата, зафиксированной на заключительной ступени беговой нагрузки, до 6.5 ± 1.7 ммоль/л (табл. 6). В период восстановления отмечается снижение ЧСС со 179 ± 8.1 до 142 ± 13.5 на 1-й мин и до 117 ± 12.6 уд./мин на второй минуте с одновременным повышением концентрации лактата с 6.5 ± 1.7 до

Таблица 4. Показатели скорости бега (м/с) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) (уд./мин) на уровне LT_1 и LT_2 , определенные методом *Dmod*

Показатели	LT_1		LT_2		ЧСС LT_1	ЧСС LT_2
	скорость, м/с	ммоль/л	скорость, м/с	ммоль/л	уд./мин	
Медиана	2.8	1.9	3.3	3.6	153	173
$\bar{X}$	2.7	2.0	3.3	3.7	153	172
σ	0,2	0.4	0.1	0.8	11.9	8.6
V , %	9	19	2	22	8	5
Мин.	2.4	1.3	3.1	2.4	120	151
Макс.	3.3	2.8	3.4	7.1	177	193

Примечание: см. табл. 3.

Таблица 5. Взаимосвязь параметров частоты сердечных сокращений (ЧСС) (уд./мин) и скорости бега (м/с) на уровне лактатного порога, полученных двумя разными методами

Показатель	La 2 ммоль/л, скорость, м/с	La 4 ммоль/л, скорость, м/с	La 2 ммоль/л, ЧСС, уд./мин	La 4 ммоль/л, ЧСС, уд./мин
LT_1 <i>Dmod</i> , скорость, м/с	0,70*	0,69*	0,27*	0,06
LT_1 , ммоль/л	−0,42*	−0,41*	−0,13	−0,01
LT_2 <i>Dmod</i> , скорость, м/с	0,57*	0,58*	0,22*	−0,01
LT_2 , ммоль/л	−0,72*	−0,89*	−0,25*	−0,11
LT_1 <i>Dmod</i> , ЧСС, уд./мин	0,23*	0,17	0,78*	0,73*
LT_2 <i>Dmod</i> , ЧСС, уд./мин	−0,20*	−0,25*	0,73*	0,88*

Примечание: * — различия достоверны при $p < 0.05$.

Таблица 6. Изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) (уд./мин) и концентрации лактата (ммоль/л) футболистов в период восстановления после выполнения субмаксимального интервального челночного теста

Показатель	ЧСС, уд./мин				Лактат, ммоль/л	
	исход	в конце теста	1 мин восст.	2 мин восст.	в конце теста	2 мин восст.
Медиана	88	179	142	116	6,3	7,0
<i>X</i>	90	179	142	117	6,5	7,3
σ	9,4	8,1	13,5	12,6	1,7	2,0
<i>V</i> , %	10	5	10	11	25	27
Мин.	75	158	95	88	3,6	3,5
Макс.	109	202	172	149	13,3	14,0

Примечание: см. табл. 3.

7.3 ± 2.0 ммоль/л на 2-й мин восстановления. Высокая вариативность индивидуальных значений измеряемых показателей у футболистов свидетельствует о разном уровне их аэробной подготовленности. Проведенный корреляционный анализ позволил установить (рис. 3), что игроки, достигшие более высокой скорости на LT_2 $Dmod$ (м/с), имеют более низкие показатели концентрации лактата (ммоль/л) на 2-й мин восстановления — $r = -0.58$, $p < 0.05$ (рис. 3, А). У игроков, у которых концентрация лактата на 2-й мин восстановления была ниже, обнаружена более низкая величина ЧСС (уд./мин) на первой минуте восстановления — $r = 0.61$, $p < 0.05$ (рис. 3, Б). У игроков, у которых ЧСС (уд./мин) на 1-й мин восстановления выше, более высокой оказывается и ЧСС (уд./мин) на уровне LT_2 $Dmod$ — $r = 0.66$, $p < 0.05$ (рис. 3, В). Таким образом, между вегетативным (ЧСС) и метаболическим состоянием организма (уровень лактата) выявляются значимые взаимосвязи, причем более экономичная реакция пульса отмечается у спортсменов, демонстрирующих меньший уровень закисления в восстановительном периоде, следовательно, большую эффективность кислородного снабжения. Практическая значимость представленных результатов исследования состоит в том, что предложенная методика позволит тренерам и медицинским сотрудникам команды получать объективную информацию об аэробной подготовленности без выполнения изнурительного максимального теста до отказа.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для оценки аэробной подготовленности футболистов обычно используются лабораторные тесты на тредбане либо тесты на футбольном поле в виде равномерного или челночного бега [6–9, 20–29]. Одним из типичных видов тестирования аэробной

подготовленности в футболе являются челночные беговые тесты — благодаря своей специфичности и адекватности по характеру нагрузки для футболистов [6]. Однако применение максимальных челночных тестов в тренировочном процессе проблематично, так как требует выполнения работы до изнеможения, что негативно сказывается на реализации других текущих задач тренировки. С другой стороны, в футболе широко применяются неопредельные челночные тесты, которые могут обеспечить определение показателей анаэробного порога (АнП) как наиболее информативного критерия аэробной подготовленности [30–32]. Наиболее распространенным методом определения АнП в футболе является измерение фиксированного значения лактата, равного 4 ммоль/л, методы $Dmax$ и $Dmod$ [20–28]. Мы попытались совместить в одном тесте достоинства челночного бегового неопредельного тестирования и возможности измерения лактатного порога по фиксированному значению или по алгоритму $Dmod$.

В результате исследования были определены скорость бега и ЧСС на уровне лактатных порогов с использованием двух методов: фиксированного значения лактата — $La 2$ и $La 4$ ммоль/л, а также метода $Dmod$. Сравнение полученных результатов исследования с литературными данными показало, что для футболистов большинства стран характерна большая величина скорости бега на уровне лактатного АнП, т. е. показатели аэробной подготовленности зарубежных футболистов выше, чем у футболистов России (табл. 7), тогда как показатели ЧСС на уровне лактатного АнП сопоставимы с данными литературы. Однако необходимо учесть, что для всех представленных данных характерно выполнение тестирования либо на беговой дорожке, либо на футбольном поле по кругу, где отсутствуют быстрые изменения направления движения, в том числе торможения и ускорения, которые

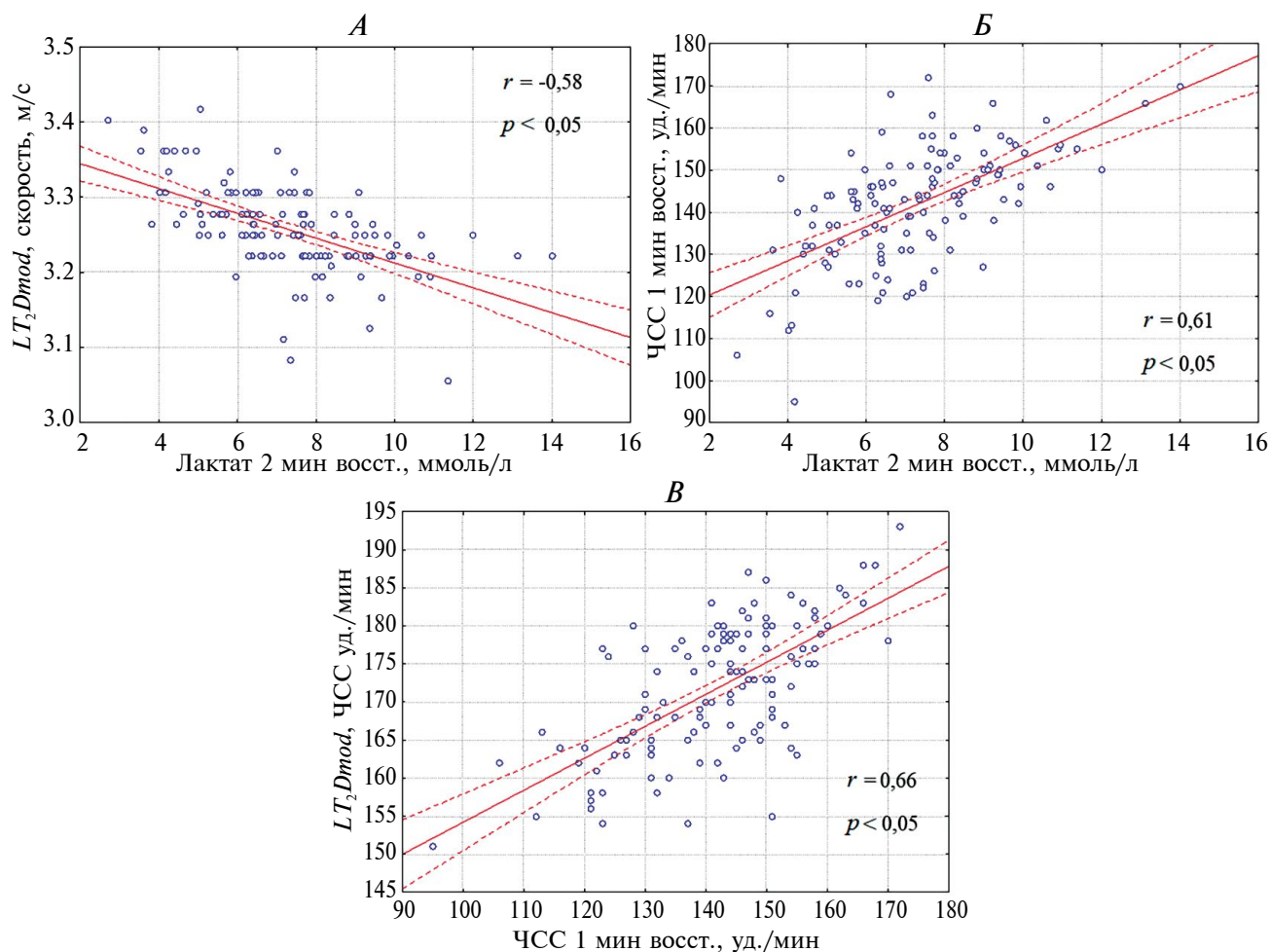


Рис. 3. Взаимосвязь между скоростью $LT_2 Dmod$ и лактатом на 2-й мин восстановления (А), частотой сердечных сокращений (ЧСС) на 1-й мин восстановления и лактатом на 2-й мин восстановления (Б); ЧСС $LT_2 Dmod$ и ЧСС на 1 мин восстановления (В).

сопровождаются, с одной стороны, большими механическими нагрузками, с другой стороны, большими метаболическими затратами, что в целом приводит к более быстрому утомлению по сравнению с равномерным бегом [33, 34]. Как следствие, могут быть показаны более низкие значения пороговых скоростей, что подтверждается полученными результатами.

При этом в работе [29], где использовался челночный беговой тест, определяли $MLSS$ (*maximum lactate steady state*), соответствующее концентрации лактата 4.4 ± 1.2 ммоль/л, что выше фиксированного значения лактата 4 ммоль/л и второго лактатного порога, определенного методом $Dmod$ (3.7 ± 0.8 ммоль/л). Как итог, пороговые значения скорости бега и ЧСС на уровне лактатного АнП в работе [29] выше, чем представленные в наших данных. Также немаловажное значение имеет, в какой период подготовки было выполнено тестирование,

поскольку пороговые значения в течение макроцикла могут изменяться значительно [5, 21–23, 27].

Таким образом, метод определения пороговых значений в субмаксимальном челночном тесте имеет тенденцию к более низким значениям скорости бега и близким значениям ЧСС, измеренным в лабораторных и полевых условиях в равномерном беге у футболистов. Вероятно, это связано с биомеханической спецификой челночного бега: наличием ускорений, торможений и изменений направления, которые усиливают наступление утомления и снижают показатели пороговой скорости относительно равномерных тестов. Полученные результаты могут применяться с целью планирования тренировочного процесса, в виде интервального бега [5], для повышения аэробной подготовленности. Длительные наблюдения за динамикой изменения скорости и ЧСС на уровне LT_1 и LT_2 позволят

Таблица 7. Сравнительный анализ показателей анаэробного порога (АнП), определенного разными методами у футболистов разных стран

Вид обследования	Страна	Метод определения АнП	Показатели		Источник
			ЧСС, уд./мин	скорость, м/с	
Тредбан, до отказа	Испания	<i>Vslope</i>	168	3,4—3,6	[5]
Тредбан, до отказа	Греция	<i>Dmax</i>	170	3,4—3,7	[21]
Тредбан, до отказа	Греция	<i>La</i> 4 ммоль/л	—	3,4—3,8	[22]
Тредбан, до отказа	Чили	<i>Dmod</i>	171	3,8	[24]
Тредбан, до отказа	Кипр	<i>Dmod</i>	179	3,9	[25]
Тредбан, до отказа	Германия	<i>La</i> 4 ммоль/л	168-172	3,8	[26]
Тредбан, до отказа	Англия	<i>La</i> 4 ммоль/л	—	3,8—4,1	[27]
Тредбан, до отказа	Германия	<i>La</i> 4 ммоль/л	—	4,2	[28]
Футбольное поле, до 4 ммоль/л	Бразилия	<i>La</i> 4 ммоль/л	176	3,6	[20]
Футбольное поле, до отказа	Польша	<i>La</i> 4 ммоль/л	179	3,4—4,0	[23]
Челночный тест, до отказа	Бразилия	<i>MLSS</i> (4.4 ± 1.2 ммоль/л)	180	3,7	[29]
Субмаксимальный челночный тест <i>ISRT</i>	Россия	<i>La</i> 4 ммоль/л	172	3,2	Калинин Е.М., Кузьмичев В.А. (Физиология человека. 2024. Т. 50. № 5. С. 76.)
		<i>Dmod</i>	173	3,3	

Примечание: ЧСС — частота сердечных сокращений. *Vslope* — метод определения АнП с использованием газоанализатора.

судить об изменении аэробной подготовленности футболистов [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение предложенного метода определения пороговых значений ЧСС и скорости бега по фиксированной оценке концентрации лактата в крови (*La* 2 для аэробного и 4 ммоль/л для анаэробного порога), а также методом *Dmod* (*LT*₁ и *LT*₂), позволяет получать близкие к данным мировой литературы значения для показателей ЧСС и скорости бега при достижении анаэробного порога. В результате проведенного исследования открываются возможности использования субмаксимальных челночных тестов для определения аэробной подготовленности, наблюдения за динамикой изменения скорости и ЧСС на уровне лактатных порогов (*LT*₁ и *LT*₂) вне зависимости от этапа тренировочного процесса, поскольку предложенные тесты не являются предельными и истощающими и могут применяться на любом этапе макроцикла.

Соблюдение этических стандартов. Все исследования проводились в соответствии с принципами

биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены Экспертной комиссией Этического комитета Российского университета спорта «ГЦОЛИФК» (Москва), протокол № 2355-08-13/1935 от 10.07.2024 г.

Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Вклад авторов в публикацию. Все авторы внесли равный вклад в выполнение данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Palucci Vieira L.H., Carling C., Barbieri F.A. et al.* Match running performance in young soccer players: A systematic review // *Sports Med.* 2019. V. 49. № 2. P. 289.
2. *Garcia-Tabar I., Rampinini E., Gorostiaga E.M.* Lactate equivalent for maximal lactate steady state

- determination in soccer // *Res. Q. Exerc. Sport*. 2019. V. 90. № 4. P. 678.
3. *Da Silva J.F., Dittrich N., Guglielmo L.G.A.* Aerobic evaluation in soccer // *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.* 2011. V. 13. № 5. P. 384.
 4. *Slimani M., Znazen H., Miarka B., Bragazzi N.* Maximum oxygen uptake of male soccer players according to their competitive level, playing position and age group: implication from a network meta-analysis // *J. Hum. Kinet.* 2019. V. 66. № 1. P. 233.
 5. *Casajus J.A.* Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players // *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2001. V. 41. № 4. P. 463.
 6. *Buchheit M., Dikmen U., Vasallo C.* The 30—15 Intermittent Fitness Test — two decades of learnings // *Sport Perform Sci. Rep.* 2021. V. 1. P. 148.
 7. *Алексеев В.М., Орлов А.В., Уколова А.Э. и др.* Работоспособность в непрерывных и интервальных челночных тестах с нарастающей нагрузкой // *Теория и практика физ. культуры*. 2017. № 7. С. 22.
 8. *Bangsbo J., Iaia F.M., Krstrup P.* The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports // *Sports Med.* 2008. V. 38. № 1. P. 37.
 9. *Krstrup P., Bradley P., Christensen J. et al.* The Yo-Yo IE2 test: physiological response for untrained men versus trained soccer players // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2015. V. 47. № 1. P. 100.
 10. *Modric T., Versic S., Sekulic D.* Aerobic fitness and game performance indicators in professional football players; playing position specifics and associations // *Heliyon*. 2020. V. 6. № 11. P. e05427.
 11. *Хомякова А.А., Кузьмичев В.А., Конров С.В. и др.* Оценка скорости восстановления футболистов после выполнения различных видов челночных беговых тестов // *Человек. Спорт. Медицина*. 2023. Т. 23. № 1. С. 19.
 12. *Селуянов В.Н., Сарсания С.К., Сарсания К.С. и др.* Контроль физической подготовленности в спортивной адаптологии // *Теория и практика физ. культуры*. 2008. № 5. С. 36, 55.
 13. *Shushan T., McLaren S.J., Buchheit M. et al.* Submaximal fitness tests in team sports: a theoretical framework for evaluating physiological state // *Sports Med.* 2022. V. 52. № 11. P. 2605.
 14. *Leger L.A., Lambert J.A.* A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_{2max} // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1982. V. 49. № 1. P. 1.
 15. *Абрамова Т.Ф., Никитина Т.М., Кочеткова Н.И.* Лабильные компоненты массы тела — критерии общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам: метод. рекомендации. М.: Скайпринт, 2013. 132 с.
 16. *Bastida-Castillo A., Gomez-Carmona C.D., Sanchez E., Pino-Ortega A.* Comparing accuracy between global positioning systems and ultra-wideband-based position tracking systems used for tactical analyses in soccer // *Eur. J. Sport Sci.* 2019. V. 19. № 9. P. 1157.
 17. *Faude O., Kindermann W., Meyer T.* Lactate threshold concepts, how valid are they? // *Sports Med.* 2009. V. 39. № 6. P. 469.
 18. *Спирун Т.С., Чукуров А.И., Радаева С.В.* Оптимальный метод определения второго лактатного (анаэробного) порога в циклических видах спорта // *Вестник Томского государственного университета*. 2023. № 489. С. 193.
 19. *Zwingmann L., Strütt S., Martin A. et al.* Modifications of the Dmax method in comparison to the maximal lactate steady state in young male athletes // *Phys. Sportsmed.* 2019. V. 47. № 2. P. 174.
 20. *Coelho D.B., Mortimer L.A., Condessa L.A. et al.* Anaerobic threshold in different categories of soccer players // *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.* 2009. V. 11. № 1. P. 81.
 21. *Ziogas G.G., Patras K.N., Stergiou N., Georgoulis A.D.* Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason // *J. Strength Cond. Res.* 2011. V. 25. № 2. P. 414.
 22. *Kalapotharakos V.I., Ziogas G., Tokmakidis S.P.* Seasonal aerobic performance variations in elite soccer players // *J. Strength Cond. Res.* 2011. V. 25. № 6. P. 1502.
 23. *Sliwowski R., Andrzejewski M., Wieczorek A. et al.* Changes in the anaerobic threshold in an annual cycle of sport training of young soccer players // *Biol. Sport*. 2013. V. 30. № 2. P. 137.
 24. *Cerda-Kohler H., Burgos C., Ramires-Campillo R. et al.* Analysis of agreement between four lactate threshold measurements methods in professional soccer players // *J. Strength Cond. Res.* 2016. V. 30. № 10. P. 2864.
 25. *Parpa K.M., Michaelides M.* Comparison of ventilatory and blood lactate thresholds in elite soccer players // *Sport Mont. J.* 2022. V. 20. № 3. P. 3.
 26. *Broich H., Sperlich B., Buitrago S., Mathes S.* Performance assessment in elite football players: field level test versus spiroergometry // *J. Hum. Sport Exerc.* 2012. V. 7. № 1. P. 287.
 27. *McMillan K., Helgerud J., Grant S.J. et al.* Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer // *Br. J. Sports Med.* 2005. V. 39. № 7. P. 432.
 28. *Altmann S., Kuberczyk M., Ringhof S. et al.* Relationships between performance test and match-related physical performance parameters // *Ger. J. Exerc. Sport Res.* 2018. V. 48. № 2. P. 218.
 29. *Carminatti L.J., Batista B.N., Silva J.F. et al.* Predicting maximal lactate steady state from Carminatti's shuttle run test in soccer players // *Int. J. Sports Med.* 2021. V. 42. № 2. P. 153.

30. *Abt G., Lovell R.* The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer // *J. Sports Sci.* 2009. V. 27. № 9. P. 893.
31. *Billat V.L., Morton R.H., Blondel N. et al.* Oxygen kinetics and modeling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000. V. 82. № 3. P. 178.
32. *Kalapotharakos V., Strimpakos N., Vithoulka I. et al.* Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2011. V. 46. № 4. P. 515.
33. *Di Prampero P.E., Botter A., Osgnach C.* The energy cost of sprint running and the role of metabolic power in setting top performances // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2015. V. 115. № 3. P. 451.
34. *Akenhead R., French D., Thompson K.G., Hayes P.R.* The physiological consequences of acceleration during shuttle running // *Int. J. Sports Med.* 2014. V. 36. № 4. P. 302.
35. *Buchheit M., Simpson B.M., Lacombe M.* Monitoring cardiorespiratory fitness in professional soccer players: Is it worth the prick? // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2020. V. 15. № 10. P. 1437.
9. *Krustrup P., Bradley P., Christensen J. et al.* The Yo-Yo IE2 test: physiological response for untrained men versus trained soccer players // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2015. V. 47. № 1. P. 100.
10. *Modric T., Versic S., Sekulic D.* Aerobic fitness and game performance indicators in professional football players; playing position specifics and associations // *Heliyon.* 2020. V. 6. № 11. P. e05427.
11. *Khomyakova A.A., Kuzmichev V.A., Koprov S.V. et al.* [Recovery rate in football players after different shuttle run test protocols] // *Hum. Sport. Med.* 2023. V. 23. № 1. P. 19.
12. *Seluyanov V.N., Sarsania S.K., Sarsania K.S. et al.* Control of physical fitness in sports adaptology // *Theory Pract. Phys. Cult.* 2008. № 5. P. 36, 55.
13. *Shushan T., McLaren S.J., Buchheit M. et al.* Submaximal fitness tests in team sports: a theoretical framework for evaluating physiological state // *Sports Med.* 2022. V. 52. № 11. P. 2605.
14. *Leger L.A., Lambert J.A.* A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict $\text{VO}_{2\text{max}}$ // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1982. V. 49. № 1. P. 1.
15. *Abramova T.F., Nikitina T.M., Kochetkova N.I.* [Labile components of body weight – criteria for general physical fitness and control of current and long-term adaptation to training loads: method. Recommendations]. Moscow: Skyprint, 2013. 132 p.
16. *Bastida-Castillo A., Gomez-Carmona C.D., Sanchez E., Pino-Ortega A.* Comparing accuracy between global positioning systems and ultra-wideband-based position tracking systems used for tactical analyses in soccer // *Eur. J. Sport Sci.* 2019. V. 19. № 9. P. 1157.
17. *Faude O., Kindermann W., Meyer T.* Lactate threshold concepts, how valid are they? // *Sports Med.* 2009. V. 39. № 6. P. 469.
18. *Spirin T.S., Chikurov A.I., Radaeva S.V.* [The optimal method for the determining the second lactate (anaerobic) threshold in cyclic sports] // *Tomsk State Univ. J.* V. 489. P. 193.
19. *Zwingmann L., Strütt S., Martin A. et al.* Modifications of the Dmax method in comparison to the maximal lactate steady state in young male athletes // *Phys. Sportsmed.* 2019. V. 47. № 2. P. 174.
20. *Coelho D.B., Mortimer L.A., Condessa L.A. et al.* Anaerobic threshold in different categories of soccer players // *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.* 2009. V. 11. № 1. P. 81.
21. *Ziogas G.G., Patras K.N., Stergiou N., Georgoulis A.D.* Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason // *J. Strength Cond. Res.* 2011. V. 25. № 2. P. 414.

REFERENCES

1. *Palucci Vieira L.H., Carling C., Barbieri F.A. et al.* Match running performance in young soccer players: A systematic review // *Sports Med.* 2019. V. 49. № 2. P. 289.
2. *Garcia-Tabar I., Rampinini E., Gorostiaga E.M.* Lactate equivalent for maximal lactate steady state determination in soccer // *Res. Q. Exerc. Sport.* 2019. V. 90. № 4. P. 678.
3. *Da Silva J.F., Dittrich N., Guglielmo L.G.A.* Aerobic evaluation in soccer // *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.* 2011. V. 13. № 5. P. 384.
4. *Slimani M., Znazen H., Miarka B., Bragazzi N.* Maximum oxygen uptake of male soccer players according to their competitive level, playing position and age group: implication from a network meta-analysis // *J. Hum. Kinet.* 2019. V. 66. № 1. P. 233.
5. *Casajus J.A.* Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2001. V. 41. № 4. P. 463.
6. *Buchheit M., Dikmen U., Vasallo C.* The 30–15 Intermittent Fitness Test – two decades of learnings // *Sport Perform Sci. Rep.* 2021. V. 1. P. 148.
7. *Alekseev V.M., Orlov A.V., Ukolova A.E. et al.* Performance in continuous and interval shuttle tests with increasing load // *Theory Pract. Phys. Cult.* 2017. № 7. P. 22.
8. *Bangsbo J., Iaia F.M., Krustrup P.* The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation

22. Kalapotharakos V.I., Ziogas G., Tokmakidis S.P. Seasonal aerobic performance variations in elite soccer players // J. Strength Cond. Res. 2011. V. 25. № 6. P. 1502.
23. Sliwowski R., Andrzejewski M., Wieczorek A. et al. Changes in the anaerobic threshold in an annual cycle of sport training of young soccer players // Biol. Sport. 2013. V. 30. № 2. P. 137.
24. Cerda-Kohler H., Burgos C., Ramires-Campillo R. et al. Analysis of agreement between four lactate threshold measurements methods in professional soccer players // J. Strength Cond. Res. 2016. V. 30. № 10. P. 2864.
25. Parpa K.M., Michaelides M. Comparison of ventilatory and blood lactate thresholds in elite soccer players // Sport Mont. J. 2022. V. 20. № 3. P. 3.
26. Broich H., Sperlich B., Buitrago S., Mathes S. Performance assessment in elite football players: field level test versus spiroergometry // J. Hum. Sport Exerc. 2012. V. 7. № 1. P. 287.
27. McMillan K., Helgerud J., Grant S.J. et al. Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer // Br. J. Sports Med. 2005. V. 39. № 7. P. 432.
28. Altmann S., Kuberczyk M., Ringhof S. et al. Relationships between performance test and match-related physical performance parameters // Ger. J. Exerc. Sport Res. 2018. V. 48. № 2. P. 218.
29. Carminatti L.J., Batista B.N., Silva J.F. et al. Predicting maximal lactate steady state from Carminatti's shuttle run test in soccer players // Int. J. Sports Med. 2021. V. 42. № 2. P. 153.
30. Abt G., Lovell R. The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer // J. Sports Sci. 2009. V. 27. № 9. P. 893.
31. Billat V.L., Morton R.H., Blondel N. et al. Oxygen kinetics and modeling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake // Eur. J. Appl. Physiol. 2000. V. 82. № 3. P. 178.
32. Kalapotharakos V., Strimpakos N., Vithoulka I. et al. Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking // J. Sports Med. Phys. Fitness. 2011. V. 46. № 4. P. 515.
33. Di Prampero P.E., Botter A., Osgnach C. The energy cost of sprint running and the role of metabolic power in setting top performances // Eur. J. Appl. Physiol. 2015. V. 115. № 3. P. 451.
34. Akenhead R., French D., Thompson K.G., Hayes P.R. The physiological consequences of acceleration during shuttle running // Int. J. Sports Med. 2014. V. 36. № 4. P. 302.
35. Buchheit M., Simpson B.M., Lacome M. Monitoring cardiorespiratory fitness in professional soccer players: Is it worth the prick? // Int. J. Sports Physiol. Perform. 2020. V. 15. № 10. P. 1437.

Method for Determining the Lactate Anaerobic Threshold during the Shuttle Run Test

E. M. Kalinin^{a, b, *}, V. A. Kuzmichev^{a, **}

^aRussian Football Union, Moscow, Russia

^bThe Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, Russia

*E-mail: emkalinin@gmail.com

**E-mail: kuzvas88@mail.ru

The aim of the study was to determine the lactate anaerobic threshold (LT₂) in elite football players during the submaximal multistage shuttle run test. 126 elite football players took part in the study. During the test and the recovery period monitoring of heart rate, running speed and lactate concentration was performed. To assess the level of LT₂ the method of fixed determination of lactate level (La 4 mmol/l) and the Dmod method (LT₂ Dmod) were used. It was found that there is a correlation between heart rate and running speed at the level of La 4 mmol/l and LT₂ Dmod. Players who achieve higher speeds on LT₂ Dmod (m/s) have a lower lactate concentration in the second minute of recovery. Players whose lactate concentration was lower in the second minute of recovery were characterized by a lower heart rate in the first minute of recovery. Players with a higher heart rate in the first minute of recovery have a higher heart rate at the level of LT₂ Dmod. The results of the study confirm the possibility of using submaximal shuttle run tests to determine the anaerobic threshold of athletes.

Keywords: football, lactate, anaerobic threshold, performance, shuttle run.