

DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.7>

УДК: 53.088.3

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



Оценка точности измерения лактата в крови спортсменов с использованием трех портативных анализаторов

Дикунец М.А.¹, Дудко Г.А.^{1*}, Архипкин А.А.², Крючков А.С.¹, Абалян А.Г.¹

¹ ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Москва, Россия

² ООО «Научный центр ЭФиС», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: оценить точность измерения концентрации лактата в крови тремя портативными анализаторами по сравнению со стационарным эталонным прибором.

Материалы и методы. Образцы капиллярной крови отбирались у высококвалифицированных спортсменов во время проведения этапного комплексного обследования в лабораторных условиях. Концентрация лактата в крови в состоянии покоя и после проведения теста со ступенчато-возрастающей нагрузкой на лыжном эргометре, велоэргометре или беговой дорожке определялась тремя портативными анализаторами лактата (Lactate Plus, YST и Eaglenos) и с использованием полуавтоматического фотометрического анализатора (BTS-350).

Результаты. Пределы согласованности результатов измерения лактата анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos и эталонным прибором превышали допустимый интервал, установленный на уровне $\pm 2,1$ ммоль/л. Все портативные лактометры систематически занижали концентрации лактата на 2,0–4,0 ммоль/л относительно эталонного анализатора, что критически искажает оценку интенсивности нагрузки. Стандартные ошибки оценки измерения концентраций лактата во всем диапазоне анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos составили 0,95, 0,63 и 0,91 ммоль/л соответственно и увеличивались с ростом концентрации лактата в крови.

Заключение. Рассматриваемые в исследовании портативные лактометры не могут быть рекомендованы для точного измерения лактата в крови спортсменов в полевых и лабораторных условиях.

Ключевые слова: лактат, спортсмены, системы экспресс-диагностики, нагрузочный тест, методы лабораторных измерений

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дикунец М.А., Дудко Г.А., Архипкин А.А., Крючков А.С., Абалян А.Г. Оценка точности измерения лактата в крови спортсменов с использованием трех портативных анализаторов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026;16(1):12–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.7>

Поступила в редакцию: 16.01.2026

Принята к публикации: 31.03.26

Online first: 07.06.2026

Опубликована: 20.06.2026

* Автор, ответственный за переписку

Assessment of blood lactate measurement accuracy in athletes using three portable analyzers

Marina A. Dikunets¹, Grigory A. Dudko^{1,*}, Alexander A. Arkhipkin², Andrey S. Kryuchkov¹, Avak G. Abalyan¹

¹ Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), Moscow, Russia

² LLC Scientific Center EFIS

ABSTRACT

Objective. To evaluate the accuracy of blood lactate concentration measurements using three portable analyzers compared to a stationary reference instrument.

Materials and methods. Capillary blood samples were collected from highly qualified athletes during staged comprehensive examinations under laboratory conditions. Blood lactate concentrations at rest and following incremental exercise tests on a ski ergometer, cycle ergometer or treadmill were determined using three portable lactate analyzers (Lactate Plus, YST and Eaglenos) and a semi-automatic photometric analyzer (BTS-350).

Results. The limits of agreement for lactate measurements by the Lactate Plus, YST and Eaglenos analyzers compared to the reference instrument exceeded the acceptable interval set at ± 2.1 mmol/L. All portable lactometers systematically underestimated lactate concentrations by 2.0–4.0 mmol/L relative to the reference analyzer, which critically distorts the assessment of exercise intensity. Standard errors of estimate of lactate concentration measurements across the entire range were 0.95, 0.63 and 0.91 mmol/L for Lactate Plus, YST and Eaglenos, respectively, and increased with rising blood lactate concentration.

Conclusion. The portable lactometers examined cannot be recommended for accurate blood lactate measurement in athletes under field or laboratory conditions.

Keywords: blood lactate, athletes, point-of-care systems, exercise test, clinical laboratory techniques

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Dikunets M., Dudko G., Arkhipkin A., Kryuchkov A., Abalyan A. Assessment of blood lactate measurement accuracy in athletes using three portable analyzers. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026;16(1):12–23. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.1.7>

Received: 16 January 2026

Accepted: 31 March 2026

Online first: 07 June 2026

Published: 20 June 2026

*Corresponding author

1. Введение

Мониторинг концентрации лактата в крови спортсменов во время физической нагрузки в лабораторных и полевых условиях является широко распространенной практикой физиологического обследования спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость. Это обусловлено простотой отбора капиллярной крови и прогностической значимостью реакции лактата в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой [1]. Стандартные условия проведения ступенчатого теста с возрастающей нагрузкой в лабораторных условиях включают измерение интенсивности, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и потребления кислорода (ПК), тогда как концентрация лактата используется для определения перехода от аэробного к анаэробному энергообеспечению работы мышц и, следовательно, оценки выносливости и потенциала работоспособности спортсмена [2]. Кроме того, уровень лактата в крови используется в качестве индикатора адаптации спортсмена к тренировкам и эффективного прогностического инструмента контроля интенсивности нагрузки и мониторинга метаболических процессов, связанных с изменением характеристик энергетического метаболизма митохондрий в зависимости от тренировочного цикла подготовки. Продemonстрировано,

что концентрация энергетического субстрата хорошо коррелирует с показателями выносливости во время нагрузки, а его пороговые значения (lactate threshold, LT) обладают большей диагностической ценностью по сравнению с максимальным потреблением кислорода (МПК) при оценке выносливости у высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость [3].

Однако информативность анализа лактата в крови зависит от ряда факторов, включая значительную биологическую вариабельность [4], место отбора крови [5], протокол ступенчатого теста с возрастающей нагрузкой [6] и выбор расчетных методов определения LT и МПК [7, 8]. Оценка уровня лактата в крови в значительной степени определяется метрологическими характеристиками анализаторов, в частности точностью. Однако в научной литературе представлены противоречивые результаты оценки точности портативных лактометров. Так, в ряде исследований продемонстрировано, что портативные анализаторы (ПА) обладают меньшей точностью по сравнению со стационарными аналогами [9, 10], а также демонстрируют тенденцию к занижению результатов измерений относительно эталонного прибора [11]. В то же время другие исследования выявили

хорошую надежность и точность портативных лактометров по сравнению с эталонным лабораторным анализаторами. Показано, что ПА дают аналогичные значения лактата по сравнению со своими настольными аналогами, при этом средние различия варьируются от $-0,8$ до $1,0$ ммоль/л [12, 13, 14, 15]. Более того, метрологические характеристики портативных приборов могут быть сопоставимы со стационарными анализаторами [16], а полученные с их помощью результаты удовлетворительны для решения задач спортивной биохимии, в частности для оценки интенсивности тренировок на уровне LT.

Несмотря на вероятные ошибки измерения, мониторинг лактата в крови спортсменов в циклических видах спорта остается популярным методом срочного контроля интенсивности нагрузки непосредственно в процессе выполнения физических упражнений. Простота работы портативных приборов и интуитивно понятные тренеру уровни лактата позволяют не только программировать интенсивность мышечной работы, но и оперативно принимать решения по коррекции скорости передвижения спортсмена в рамках тренировочных занятий.

Значимость и важность контроля нагрузок, основанного на мониторинге лактата в крови спортсменов циклических видов спорта, подтверждается тем фактом, что в видах спорта на выносливость чрезмерно частое превышение объема нагрузок с высокой степенью закисления скелетных мышц провоцирует риск снижения аэробной производительности и скорости преодоления соревновательной дистанции. В то же время недостаточный объем работы в рамках подготовительного периода с соревновательной и сверхсоревновательной скоростью не позволяет сформировать требуемую морфофункциональную специализацию нервно-мышечного аппарата, позволяющую эффективно развивать и поддерживать должную соревновательную скорость на дистанции. Вышеуказанные особенности подчеркивают актуальность измерения концентрации лактата в полевых условиях с использованием ПА.

Вне зависимости от места проведения физиологического тестирования спортсменов достоверность измерения уровня лактата в крови определяется точностью, линейностью и надежностью используемого оборудования. Кроме того, для практического использования в лабораторных и полевых условиях анализаторы лактата должны соответствовать ряду требований: портативность; автономное питание; устойчивость к условиям окружающей среды (температура воздуха, относительная влажность, высота над уровнем моря); быстрое, простое и точное проведение анализа. В последние несколько лет на рынке появились новые модели ПА лактата, однако информация об их надежности и точности измерения по сравнению с эталонным лабораторным анализатором отсутствует. Целью данного исследования было оценить пригодность использования ПА лактата Lactate Plus (Nova Biomedika), YST (Shenzhen Dumbo Medical

Technology Co., Ltd.) и Eaglenos (Chizhou Zunyou Import & Export Trade Co., Ltd.) для тестирования спортсменов в полевых и лабораторных условиях. В контексте данного пилотного исследования (YST и Eaglenos оцениваются впервые) под пригодностью понималась точность определения концентрации лактата в крови, то есть способность ПА в среднем предсказывать истинное значение, измеренное эталонным анализатором BTS-350 (BioSystems S. A.). То есть задача исследования заключалась в определении того, какие из рассматриваемых ПА могут быть рекомендованы к использованию в сборных командах, тем самым предоставляя рекомендации тренерам и спортивным врачам, полагающимся на результаты измерения уровня лактата в крови с их помощью.

2. Материалы и методы

Участники

В исследовании приняли участие 12 высококвалифицированных спортсменов (11 женщин, 1 мужчина), специализирующихся в лыжных гонках ($n = 3$, $24,0 \pm 4,6$ года) и горнолыжном спорте ($n = 9$, $20,5 \pm 5,0$ года), среди них 6 кандидатов в мастера спорта, 5 мастеров спорта и 2 мастера спорта международного класса. Все участники подписали информированное согласие в соответствии с политикой научного учреждения, проводящего исследование. Форма согласия подтверждала добровольное участие, понимание протокола исследования и право отказаться от участия в эксперименте в любое время. Протокол исследования соответствовал этическим принципам Хельсинкской декларации и был одобрен этическим комитетом научного учреждения, проводящего исследование.

Оборудование

Для проведения исследования помимо указанных выше портативных и эталонных анализаторов лактата использовались: велоэргометр Lode Excalibur Sport (Lode BV), беговая дорожка HP Cosmos Venus (Cosmed), лыжный эргометр Concept 2 (Concept2 Inc.) и портативный кардиомонитор Polar Vantage V2 HR в комплекте с кардиодатчиком H10 (Polar Electro Oy) и программным обеспечением Polar Flow.

Анализ концентрации лактата

Во всех задействованных в данном исследовании ПА лактата реализован ферментативный амперометрический метод детектирования субстрата. Принцип метода заключается в окислении содержащегося в крови лактата иммобилизованным на тест-полосках катализирующим ферментом лактатоксидазой с образованием пирувата и перекиси водорода. Высвобождающиеся в результате последующего окисления перекиси водорода электроны создают электрический ток, величина которого прямо пропорциональна концентрации лактата. Более подробные обзоры этого и других методов измерения концентрации лактата в крови представлены в обзоре [17].

Для анализа ПА YST требуется образец крови объемом 0,7 мкл, время анализа составляет 20 секунд. Кодированные тест-полоски заполняются капиллярным действием непосредственно из места отбора образца. Для анализа ПА Eaglenos требуется образец крови объемом 0,8 мкл, время анализа составляет 10 секунд. В тест-полосках используются золотые электроды, повышающие точность результатов анализа за счет улучшения и стандартизации электрической передачи от зоны реакции тест-полоски к анализатору. Тест-полоски заполняются капиллярным путем непосредственно из места отбора образца и оснащены интеллектуальным кодом, передающим анализатору информацию о характеристиках полосок, поскольку каждая партия тест-полосок имеет уникальный калибровочный код. Для анализа ПА Lactate Plus требуется образец крови объемом 0,7 мкл, время анализа составляет 13 секунд. Тест-полоски не требуют калибровочных кодов или полосок. Все ПА лактата эксплуатировались в соответствии с инструкциями производителя, их технические характеристики представлены в таблице 1.

Количественное определение лактата в цельной крови в эталонном анализаторе BTS-350 осуществлялось энзиматическим колориметрическим методом с использованием набора реагентов В 19.01 Лактат-Витал (АО «Витал Девелопмент Корпорэйшн», Россия), пробоподготовку образцов проводили согласно инструкции производителя набора реагентов. Ниже приведены аналитические характеристики набора реагентов В 19.01 Лактат-Витал:

- диапазон линейности — 0,3–15,5 ммоль/л;
- чувствительность определения — 0,3 ммоль/л;
- коэффициент вариации результатов определения лактата — 1,14%.

Дизайн эксперимента

Концентрация лактата в капиллярной крови спортсменов, отобранной из пальца во время проведения этапного комплексного обследования, измерялась тремя ПА. Для минимизации времени измерения уровня лактата *in vitro* три исследователя одновременно анализировали образцы крови с помощью ПА, время между проколом кожного покрова и нанесением образца на тест-полоску не превышало 20 секунд. Четвертый исследователь осуществлял отбор образца капиллярной крови объемом 20 мкл для последующего анализа на BTS-350. Концентрации лактата в крови, измеренные ПА, сравнивались с концентрацией, измеренной на BTS-350, который для целей данного исследования был принят за эталонный. Общее количество образцов составило 42.

Горнолыжный спорт

Для определения аэробной и анаэробной подготовленности горнолыжниц использовали тест со ступенчатовозрастающей нагрузкой на велоэргометре Lode Excalibur Sport. Начальная мощность нагрузки составляла 50 Вт (2 минуты), каждую последующую минуту нагрузка увеличивалась на 12 Вт, частота педалирования была постоянной и составляла 75 ± 1 об./мин. Работа выполнялась до достижения анаэробного порога (АнП) + 1 ступень. После 5 минут пассивного отдыха проводилось определение максимального потребления кислорода (МПК). Начальная мощность нагрузки у спортсменок составляла 100 Вт (2 минуты), далее каждые 30 секунд она увеличивалась на 20 Вт. Частота педалирования на протяжении всего теста составляла 75 ± 1 об./мин. Процедура продолжалась до тех пор, пока ПК не достигало устойчивого максимального значения,

Таблица 1

Технические характеристики портативных анализаторов лактата для экспресс-диагностики

Table 1

Technical specifications of portable lactate analyzers for point-of-care diagnostics

Производитель	YST	Eaglenos	Lactate Plus
	Shenzhen Dumbo Medical Technology Co., Ltd., Китай	Chizhou Zunyou Import & Export Trade Co., Ltd., Китай	Nova Biomedical, США
Тип биосенсора	Амперометрический	Амперометрический	Электрохимический биосенсор лактатоксидазы
объем образца, мкл	0,7	0,8	0,7
Время анализа, с	20	10	13
Диапазон определяемых концентраций, ммоль/л	0,5–25,0	0,5–28,0	0,3–25,0
Предел обнаружения, ммоль/л	0,5	0,325	0,12
Срок использования элемента питания, кол-во тестов	информация отсутствует	1000	600
Вес, г	~60	~100	~80
Температура воздуха, °С	5–45	10–35	5–45
Относительная влажность, %	20–80	10–85	10–90

или участник не мог больше поддерживать заданную скорость, или самостоятельно отказывалась от дальнейшей работы. Концентрацию лактата в крови определяли до оценки аэробных и анаэробных подготовленности спортсменок (в покое) и после завершения теста на АНП и МПК на первой и третьей минуте восстановления соответственно.

Лыжные гонки

Спортсмены выполняли ступенчатый тест на лыжном эргометре Concept 2 с преимущественным задействованием мышцы плечевого пояса, живота и спины. Исходная мощность для женщин и мужчин составляла 60 и 80 Вт соответственно и была постоянной в течение 2 минут. Далее мощность увеличивалась со скоростью 12 и 15 Вт/мин для женщин и мужчин соответственно. ЧСС и частота движений спортсмена фиксировались за 5 секунд до конца каждой ступени. Работа выполнялась до достижения АНП + 1 ступень. Концентрация лактата в крови определяли до начала (в покое) и после (вторая минута восстановления) тестирования.

Для определения аэробных возможностей спортсменов с задействованием мышц нижних конечностей использовали тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой на беговой дорожке HP Cosmos Venus, во время которого спортсмены выполняли бег с лыжными палками, имитируя классический ход на лыжах. Начальные условия: угол полотна дорожки — 10%; скорость — 6 км/ч у мужчин и 4,5 км/ч у женщин; продолжительность работы на первой ступени — 2 минуты. Далее нагрузка увеличивалась каждую минуту на 0,5 км/ч. Тестирование проводили до АНП + 1 ступень. После 5 минут пассивного отдыха проводилось определение МПК. Начальная скорость бега в данной процедуре составляла 6 км/ч и поддерживалась постоянной на протяжении 45 секунд, за это время угол полотна беговой дорожки повышался до 16°. Затем скорость движения полотна тредбана увеличивалась до 8 и 9 км/ч для женщин и мужчин соответственно и сохранялась в течение 1 мин 15 секунд. Заключительная рабочая скорость бега устанавливалась к моменту времени, равному 1 минуте 16 секундам, и составляла 11 и 12 км/ч для лыжниц и лыжников соответственно. Процедура продолжалась до тех пор, пока ПК не достигало устойчивого максимального значения или до момента, когда тестируемый самостоятельно отказывался от дальнейшей работы. Концентрация лактата в крови определяли до оценки аэробной и анаэробной подготовленности спортсменов (в покое) и на первой и третьей минутах восстановления после завершения теста на АНП и МПК соответственно.

Тестирование спортсменов проводилось в контролируемых лабораторных условиях, соответствующих установленным требованиям к микроклимату помещений; параметры окружающей среды поддерживались в диапазоне, обеспечивающем стабильность измерений, воспроизводимость результатов и комфорт

для спортсменов. Температура в помещении составляла 22 ± 1 °С, относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне 50 ± 2 %, атмосферное давление во время тестирования — 1000 мбар. Перед началом тестирования параметры микроклимата фиксировались с использованием поверенных средств измерений. Контроль условий осуществлялся на протяжении всего эксперимента, отклонений заданных параметров не отмечалось.

Статистический анализ

Точность определения лактата ПА относительно эталонного оценивалась методом Бланда — Альтмана [18], тогда как коэффициент корреляции Пирсона использовался для оценки силы линейной связи между измерениями сравниваемых лактометров и BTS-350. Среднее смещение рассчитывали как среднюю разность между измерениями ПА и BTS-350. Пределы согласованности определяли, как среднее смещение $\pm 1,96 \times$ стандартное отклонение разностей, а для расчета 95 % доверительных интервалов пределов согласованности использовали распределение χ^2 [19]. Точность определения энергетического субстрата ПА и эталонным методом оценивали во всем диапазоне концентраций лактата и в трех его сегментах ($< 4,0$, $4,0-8,0$ и $> 8,0$ ммоль/л). Такая категоризация основана на информации об увеличении вариабельности между измерениями по мере повышения концентрации лактата в крови [11]. Критерием точности определения лактата ПА являлся предел согласованности результатов измерения уровня субстрата данным прибором и эталонным BTS-350 на всем диапазоне его концентраций, установленный на уровне $\pm 2,1$ ммоль/л [11]. Статистический анализ данных осуществляли при помощи пакета программ IBM Statistica для Windows, версия 10.0 (StatSoft. Inc, США). Расчет стандартной ошибки оценки и построение диаграмм Бланда—Альтмана выполняли в Python 3.13 с применением библиотек pandas (2.3.3), NumPy (2.2.6), SciPy (1.14.1) и Matplotlib (3.10.8).

3. Результаты

Результаты сравнения ПА Lactate Plus, YST и Eaglenos с BTS-350 представлены на рисунках 1–2 и в таблице 2. Линейная регрессия представлена сплошной красной линией, пределы согласованности — пунктирными. Стандартные ошибки оценки измерения концентраций лактата во всем диапазоне анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos составили 0,95, 0,63 и 0,91 ммоль/л соответственно. Коэффициенты корреляции между концентрациями лактата в крови, измеренными BTS-350 и анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos, составили $r = 0,980$, $r = 0,912$ и $r = 0,971$ соответственно. Нижний и верхний пределы согласованности Lactate Plus, YST и Eaglenos во всем диапазоне измеряемых концентраций лактата, а также в отдельных его сегментах представлены в таблице 3.

В среднем анализаторы Lactate Plus, YST и Eaglenos по сравнению с BTS-350 занижали уровни лактата в крови на 2,07, 4,08 и 2,14 ммоль/л соответственно (рис. 3, табл. 2). Lactate Plus по сравнению с BTS-350 занижал концентрации на $0,77 \pm 0,53$ ммоль/л в диапазоне $< 4,0$ ммоль/л, на $1,43 \pm 0,48$ ммоль/л в диапазоне 4,0–8,0 ммоль/л и на $3,47 \pm 1,62$ ммоль/л в диапазоне $> 8,0$ ммоль/л.

Среднее смещение результатов определения лактата YST и Eaglenos по сравнению с BTS-350 при концентрациях субстрата в крови менее 4,0 ммоль/л составило $0,18 \pm 0,60$ и $-0,07 \pm 0,57$ ммоль/л, а в диапазоне 4,0–8,0 ммоль/л — $-1,61 \pm 0,60$ и $-0,68 \pm 1,64$ соответственно. В диапазоне высоких концентраций лактата (> 8 ммоль/л) средние смещения значений, измеренных YST и Eaglenos по сравнению с BTS-350, составили $-7,83$

(от $-11,06$ до $-4,09$) и $-4,04$ (от $-6,09$ до $-2,00$) соответственно. Коэффициент корреляции результатов измерения концентрации лактата BTS-350 и YST уменьшался с 0,914 (в диапазоне менее 4,0 ммоль/л) до 0,491 (в диапазоне свыше 8 ммоль/л).

На рисунке 4 представлено изменение стандартной ошибки оценки, отражающей точность предсказания линейной регрессии, трех ПА в зависимости от измеренной концентрации лактата.

Минимальная стандартная ошибка оценки YST зафиксирована в диапазоне концентраций лактата менее 4,0 ммоль/л. На этом же концентрационном уровне все сравниваемые анализаторы продемонстрировали минимальные значения ошибок. Также следует отметить, что стандартные ошибки оценки ПА не увеличивались с ростом концентрации в крови

Таблица 2

Данные о точности количественного измерения лактата в крови спортсменов портативными анализаторами Lactate Plus, YST и Eaglenos по сравнению с эталонным BTS-350

Table 2

Accuracy data for quantitative blood lactate measurement in athletes using portable analyzers Lactate Plus, YST and Eaglenos compared to the reference instrument BTS-350

		BTS-350 vs		
		Lactate Plus	YST	Eaglenos
Min–Max, ммоль/л		0.40–16.30	2.10–6.70	1.30–13.20
Среднее смещение, ммоль/л ($\pm 95\%$ ДИ)		-2,07 (-2,59...-1,55)	-4,08 (-5,54...-2,63)	-2,14 (-2,92...-1,37)
Стандартная ошибка оценки, ммоль/л ($\pm 95\%$ ДИ)	во всем диапазоне	0,95 (0,78...1,21)	0,63 (0,52...0,80)	0,91 (0,75...1,17)
	$< 4,0$	0,53 (0,39...0,86)	0,20 (0,14...0,32)	0,52 (0,38...0,84)
	4,0–8,0	0,38 (0,24...0,94)	0,63 (0,39...1,54)	1,67 (1,04...4,09)
	$> 8,0$	1,27 (0,96...1,88)	0,57 (0,43...0,85)	0,66 (0,50...0,97)
Коэффициент корреляции, усл. ед.	во всем диапазоне	0,980	0,912	0,971
	$< 4,0$	0,857	0,914	0,821
	4,0–8,0	0,958	0,743	0,638
	$> 8,0$	0,915	0,491	0,951

Таблица 3

Пределы согласованности (LoA) трех портативных анализаторов лактата

Table 3

Limits of agreement (LoA) for three portable lactometers

LoA, ммоль/л ($\pm 95\%$ ДИ)	Lactate Plus		YST		Eaglenos	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
Во всем диапазоне	-5,35 (-6,05...-4,64)	1,21 (0,50...1,91)	-13,22 (-15,19...-11,25)	5,06 (3,08...7,03)	-7,03 (-8,08...-5,98)	2,74 (1,69...3,80)
$< 4,0$	-1,82 (-2,20...-1,44)	0,27 (-0,11...0,65)	-1,00 (-1,43...-0,57)	1,36 (0,93...1,79)	-1,19 (-1,60...-0,78)	1,05 (0,64...1,46)
4,0–8,0	-2,37 (-2,89...-1,86)	-0,49 (-1,00...-0,42)	-2,79 (-3,44...-2,15)	-0,43 (-1,08...0,22)	-3,90 (-5,84...-1,99)	2,54 (0,63...4,48)
$> 8,0$	-6,66 (-7,66...-5,65)	-0,29 (-1,29...0,72)	-15,17 (-17,48...-12,86)	-0,50 (-2,81...1,81)	-8,05 (-9,28...-6,82)	-0,04 (-1,27...1,19)

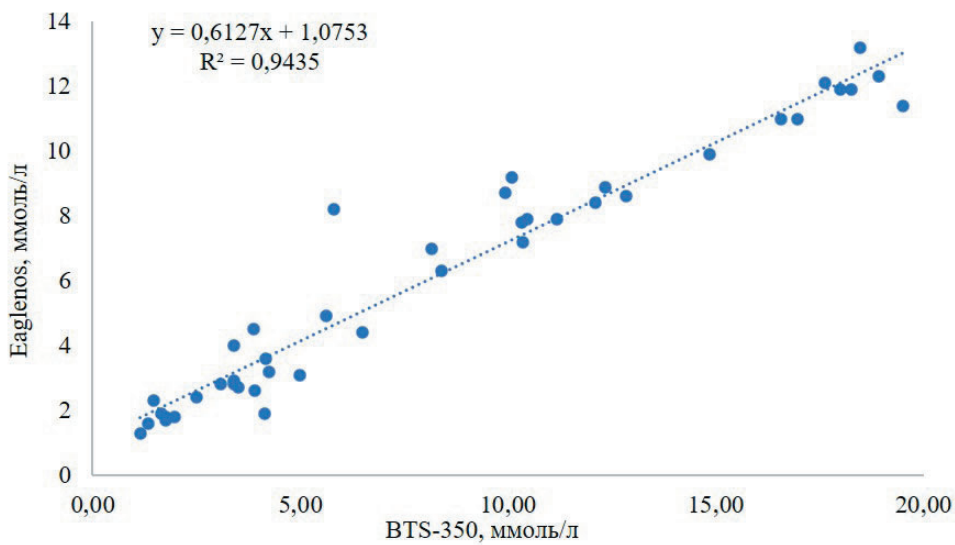
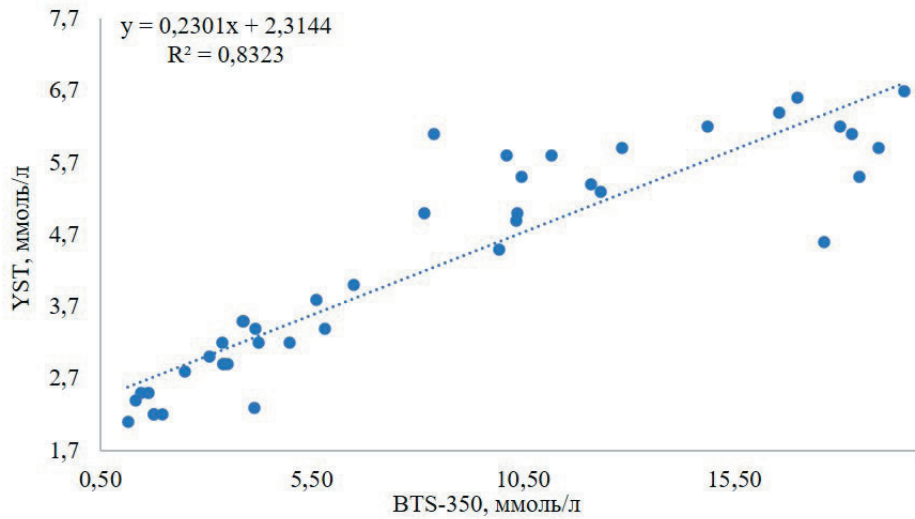
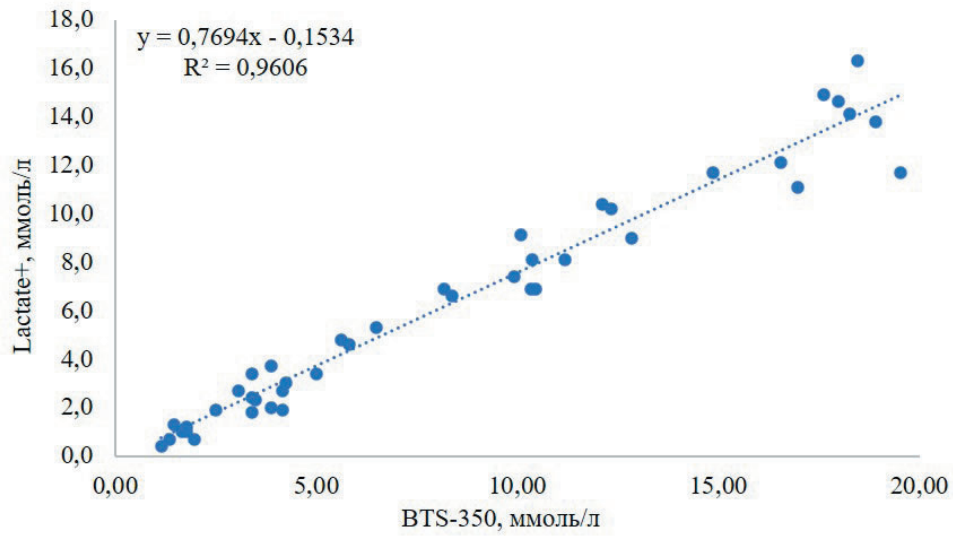


Рис. 1. Ассоциация результатов количественного определения лактата в крови спортсменов, полученных с использованием BTS-350 и портативных анализаторов Lactate Plus (1), YST (2) и Eaglenos (3)
 Fig. 1. Association of blood lactate levels in athletes measured by BTS-350 and portable analyzers Lactate Plus (1), YST (2), and Eaglenos (3)

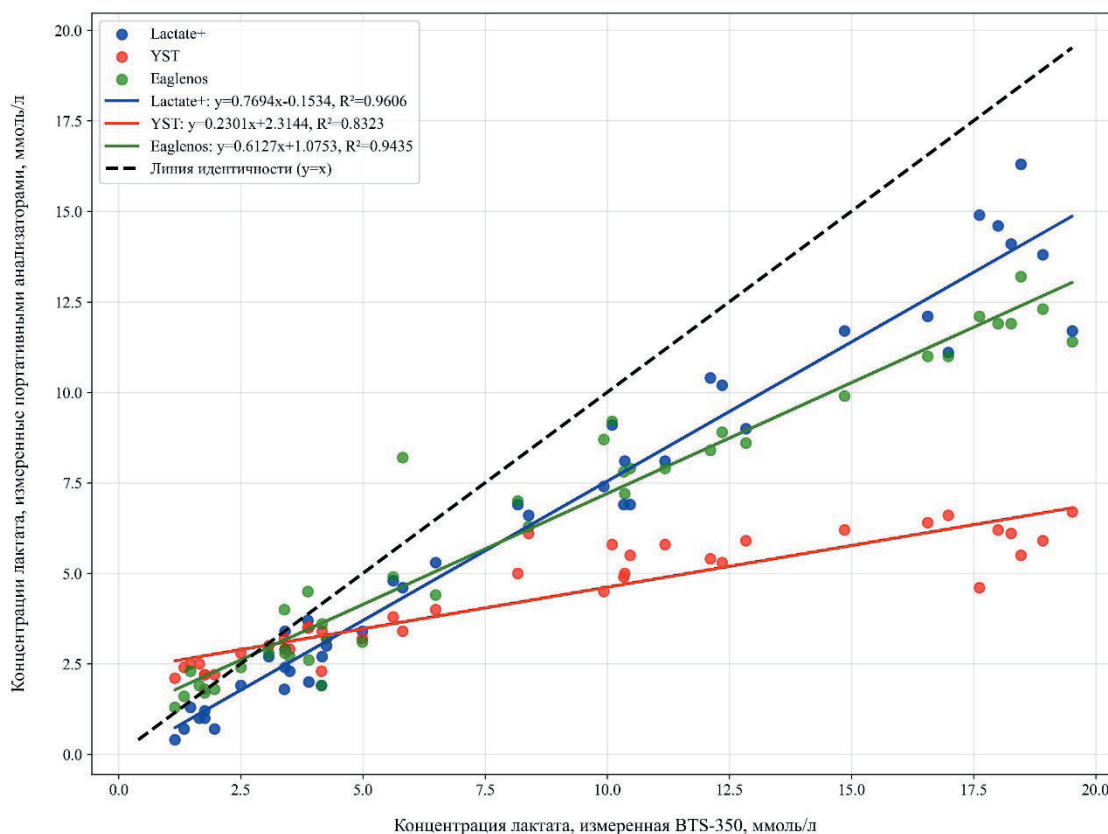


Рис. 2. Диаграмма рассеяния результатов измерения концентрации лактата портативными анализаторами относительно эталонного BTS-350

Fig. 2. Scatter plot of blood lactate levels measured by portable analyzers compared to reference instrument BTS-350

спортсменов — их динамика носила волнообразный характер.

4. Обсуждение

Фиксация концентрации лактата в крови в рамках текущего контроля не только предоставляет тренеру информацию о функциональном состоянии спортсмена, протекании срочных адаптационных процессов и развертывании механизмов энергообеспечения, но и может служить основанием для коррекции тренировочного процесса, например снижения или повышения интенсивности используемых тренирующих средств с целью повышения энергетического потенциала мышечных волокон. В связи с этим для планирования индивидуальных тренировок с целью повышения работоспособности спортсменов решающее значение играет использование ПА лактата, обеспечивающих высокую надежность измерения.

Сравнительный анализ результатов количественного определения лактата эталонным и ПА выявил критические ограничения в применимости последних. С одной стороны, наблюдались высокие двухсторонние корреляции уровней лактата, измеренных с использованием BTS-350 и трех ПА во всем диапазоне концентраций. С другой стороны, пределы согласованности результатов измерения лактата всеми ПА превышали

установленный лимит в $\pm 2,1$ ммоль/л. Кроме того, все сравниваемые лактометры продемонстрировали занижение определения уровня энергетического субстрата на всем диапазоне его концентраций по сравнению с BTS-350. Такая картина может объясняться различиями методов измерения лактата в образце крови, реализованных в портативных и стационарном приборах.

Необходимо отметить расширение пределов согласованности определения лактата портативными приборами относительно BTS-350 с увеличением его концентрации в крови. Так, Lactate Plus в диапазоне низких концентраций субстрата ($< 4,0$ ммоль/л) продемонстрировал минимальный предел согласованности относительно прочих ПА — от $-1,82$ ($-2,20 \dots -1,44$) до $0,27$ ммоль/л ($-0,11 \dots 0,65$). Наиболее широкий предел согласованности результатов определения лактата среди всех ПА и концентрационных сегментов отмечен у YST в диапазоне концентрации субстрата $4,0 \text{--} 8,0$ ммоль/л — от $-15,17$ ($-17,48 \dots -12,86$) до $-0,50$ ммоль/л ($-2,81 \dots 1,81$).

Таким образом, при использовании сравниваемых нами портативных лактометров наблюдается отсутствие согласованности результатов измерения лактата относительно эталонного прибора и недооценка его концентраций, то есть практическое применение полученных значений может исказить оценку интенсивности

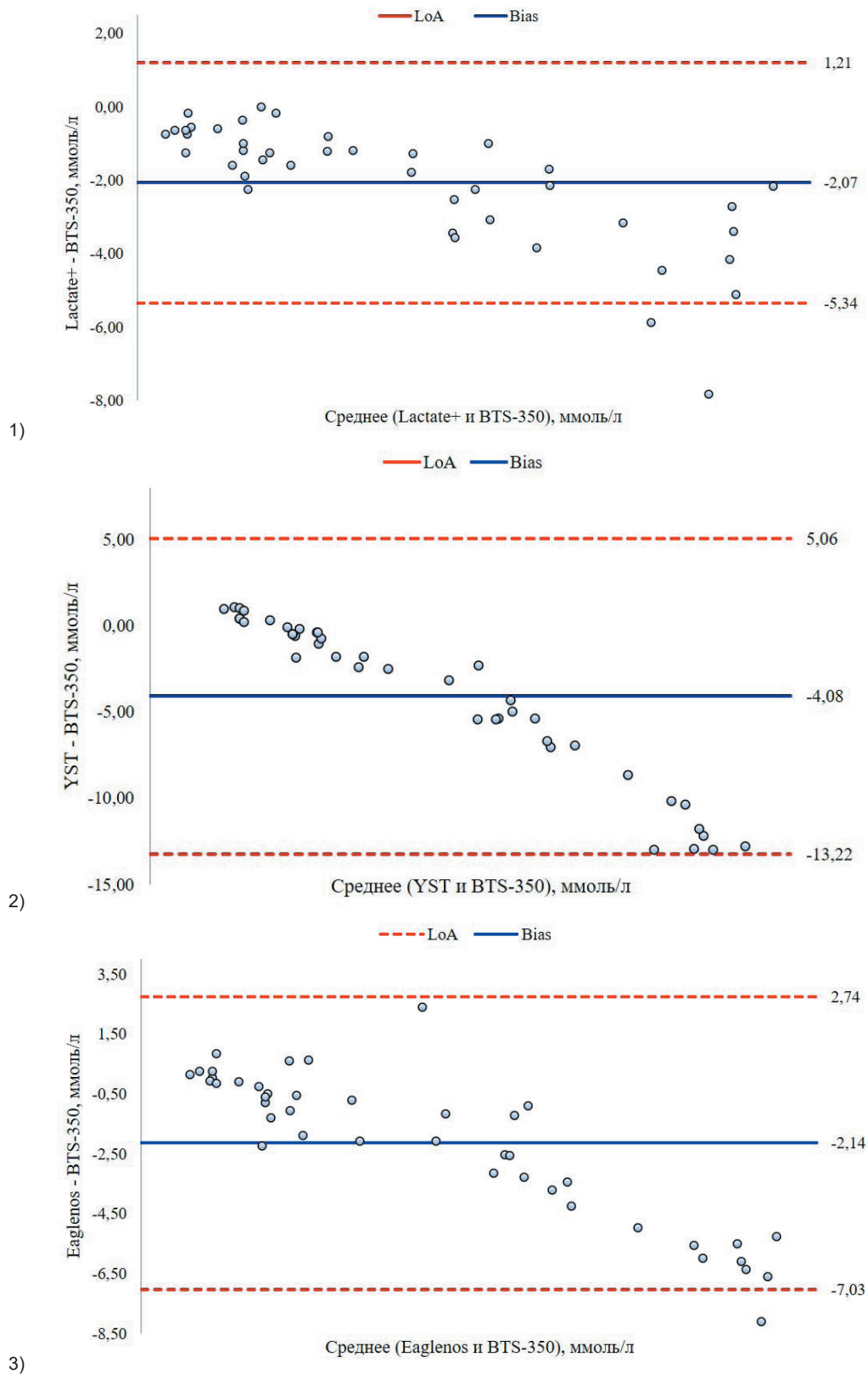


Рис. 3. Графики согласованности (Бланда — Альтмана) концентраций лактата в крови спортсменов ($n = 42$), измеренных BTS-350 и портативными анализаторами Lactate Plus (1), YST (2) и Eaglenos (3). Синяя сплошная линия — среднее смещение (Bias), красные пунктирные линии — пределы согласованности (LoA)

Fig. 3. Bland-Altman plots of blood lactate concentrations in athletes ($n = 42$) measured by BTS-350 and portable analyzers Lactate Plus (1), YST (2) and Eaglenos (3). Solid blue line — mean bias (Bias), dashed red lines — limits of agreement (LoA)

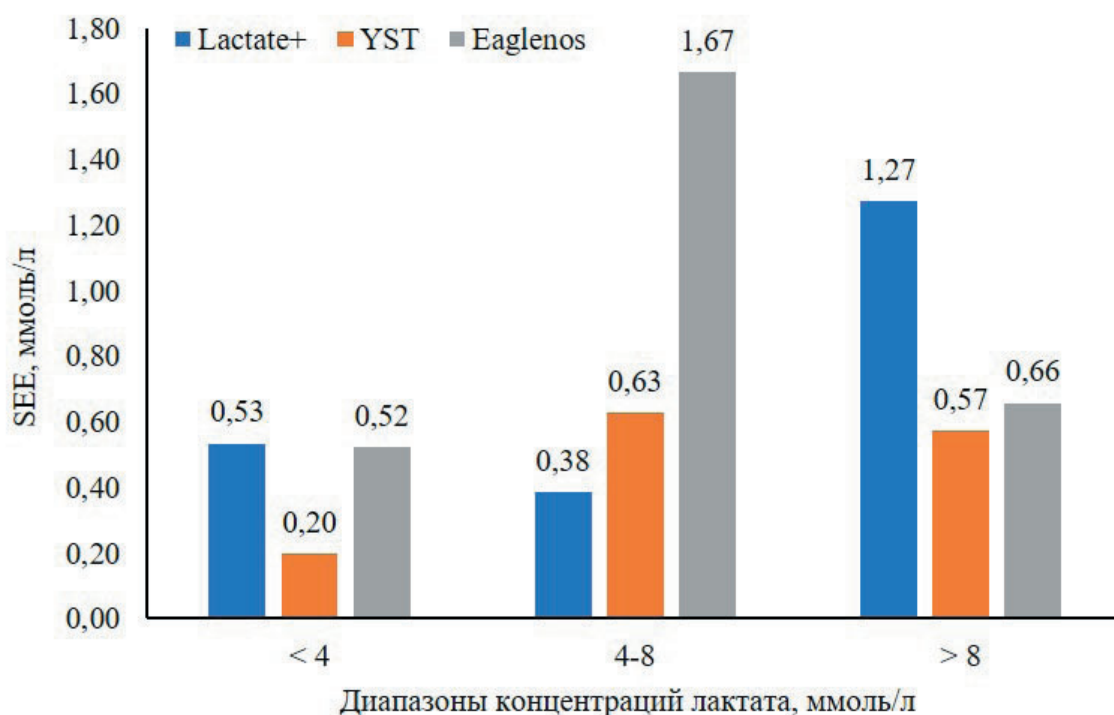


Рис. 4. Стандартная ошибка оценки (SEE) трех портативных лактометров в зависимости от концентрации лактата в крови ($n = 42$)
Fig. 4. Standard error of estimate (SEE) of three portable lactometers depending on blood lactate level ($n = 42$)

физической нагрузки, осуществляемой на основе концентрации энергетического субстрата. Пониженная точность может быть приемлемой только при наличии информации о систематической ошибке и возможности ее математической коррекции. Специалистам следует учитывать, что использование анализаторов различных производителей может привести к значительным расхождениям результатов определения лактата, обусловленным различиями в методологии между лабораторными и портативными системами, а также возможным влиянием запатентованных алгоритмов преобразования напряжения при мониторинге лактата в крови амперометрическим методом.

Большинство портативных лактометров функционируют в диапазоне температур от $+10$ до $+40$ °С, следовательно, их использование в зимних видах спорта (лыжные гонки, биатлон, конькобежном спорте) ограничено и приводит либо к отказу в работе приборов, либо к значительной погрешности измерений. Поэтому использование этих приборов в зимних видах спорта при низких температурах воздуха допускается только при условии соблюдения вышеуказанного температурного режима, например в отапливаемом помещении. Необходимо принимать во внимание, что в случае нарушения температурного режима использования ПА и измерения высоких концентраций лактата в крови спортсменов (> 8 ммоль/л) величина ошибки измерения критически возрастает.

Ограничением нашего исследования является использование одного устройства каждой рассматриваемой модели ПА лактата. Данное исследование представляло собой лабораторное сравнение образцов капиллярной крови, отобранной и проанализированной в контролируемых условиях окружающей среды. Исследование, проведенное в полевых условиях и при низких температурах, может дать иные результаты. В эксперимент включены серийно выпускаемые портативные лактометры, доступные для приобретения на территории Российской Федерации.

5. Заключение

Результаты данного исследования показали, что ни один из сравниваемых портативных лактометров не обладает высокой точностью определения лактата в крови в диапазоне $\sim 1-25$ ммоль/л. По сравнению с эталонным все ПА демонстрировали тенденцию к занижению концентрации лактата в крови (отрицательное смещение), наиболее выраженную при его содержании свыше 4 ммоль/л. Практическое применение таких искаженных значений способно привести к переоценке возможностей спортсмена и назначению тренером нагрузок повышенной интенсивности. Невысокая точность и чувствительность ПА лактата к условиям окружающей среды делают их непригодными к использованию в лабораторных и полевых условиях по сравнению со стабильными альтернативами.

Вклад авторов:

Дикунец Марина Александровна — написание первоначального текста.

Дудко Григорий Алексеевич — формальный анализ, визуализация.

Архипкин Александр Алексеевич — исследование, ресурсы.

Крючков Андрей Сергеевич — курация данных, написание — рецензирование и редактирование.

Абалян Авак Геньевич — научное руководство, администрирование проекта.

Список литературы / References

1. Wasserman K., Whipp B.J., Koyl S.N., Beaver W.L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1973;35(2):236-243. <https://doi.org/10.1152/jap-1973.35.2.236>

2. Faude O., Kindermann W., Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med.* 2009;39(6):469-490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>

3. Bentley D.J., Newell J., Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med.* 2007;37(7):575-586. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737070-00002>

4. Bagger M., Petersen P.H., Pedersen P.K. Biological variation in variables associated with exercise training. *Int. J. Sports Med.* 2003;24(6):433-440. <https://doi.org/10.1055/s-2003-41180>

5. Raa A., Sunde G.A., Bolann B., Kvåle R., Bjerkvig C., Eliassen H.S., Wentzel-Larsen T., Heltne J.-K. Validation of a point-of-care capillary lactate measuring device (Lactate Pro 2). *Scand. J. Trauma Resuscit. Emerg. Med.* 2020;28(1):83. <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00776-z>

6. Bourdon P.C., Woolford S.M., Buckley J.D. Effects of varying the step duration on the determination of lactate thresholds in elite rowers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2018;13(6):687-693. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0258>

7. Jamnick N.A., Botella J., Pyne D.B., Bishop D.J. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO₂peak. *PLoS One.* 2018;13(7):e0199794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199794>

8. Ploszczyca 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(1):70. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00219-3>

9. Bonaventura J.M., Sharpe K., Knight E., Fuller K.L., Tanner R.K., Gore C.J. Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *J. Sports Sci. Med.* 2015;14(1):203-214.

Информация об авторах:

Дикунец Марина Александровна, к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifk.ru)

Дудко Григорий Алексеевич*, старший научный сотрудник лаборатории биохимии ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

Архипкин Александр Алексеевич, к.б.н., заведующий клинико-диагностической лабораторией, врач КЛД ООО «Научный Центр ЭФИС», Россия, 1050662, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 16-18. ORCID: 0000-0001-7814-8409 (arkhipkin@efis.ru)

Крючков Андрей Сергеевич, к.п.н., начальник национального центра спорта ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0001-9423-8092 (kriuchkov.a.s@vniifk.ru)

Абалян Авак Геньевич, д.п.н., доцент, генеральный директор ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», Россия, 105005, Москва, Елизаветинский переулок, д. 10, стр. 1. ORCID: 0000-0002-6732-6991 (director@vniifk.ru)

Authors' contributions:

Marina A. Dikunets — conceptualization, writing - original draft.

Grigory A. Dudko — formal analysis, visualization.

Alexander A. Arkhipkin — investigation, resources.

Andrey S. Kryuchkov — data curation, writing — review & editing.

Avak G. Abalyan — supervision, project administration.

10. Mentzoni F., Skaugen M., Eythorsdottir I., Roterud S., Johansen E.S., Losnegard T. Precision and accuracy of four handheld blood lactate analyzers across low to high exercise intensities. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2024;124(12):3781-3788. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05572-6>

11. Tanner R.K., Fuller K.L., Ross M.L.R. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010;109(3):551-559. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1379-9>

12. Pyne D.B., Boston T., Martin D.T., Logan A. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000;82(1-2):112-116. <https://doi.org/10.1007/s004210050659>

13. Baldari C., Bonavolonta V., Emerenziani G.P., Gallotta M.C., Silva A.J., Guidetti L. Accuracy, reliability, linearity of Accutrend and Lactate Pro versus EBIO plus analyzer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2009;107(1):105-111. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1107-5>

14. Hart S., Drevets K., Alford M., Salacinski A., Hunt B.E. A method-comparison study regarding the validity and reliability of the Lactate Plus analyzer. *BMJ Open.* 2013;3(2):e001899. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001899>

15. Crotty N.M., Boland M., Mahony N., Donne B., Fleming N. Reliability and validity of the Lactate Pro 2 analyzer. *Meas. Phys. Educ. Exerc. Sci.* 2021;25(3):202-211. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2020.1865966>

16. Medbo J.I., Mamen A., Holt Olsen O., Evertsen E. Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 2000;60(5):367-380. <https://doi.org/10.1080/003655100750019279>

17. Rathee K., Dhull V., Dhull R., Singh S. Biosensors based on electrochemical lactate detection: a comprehensive review. *Biochem. Biophys. Rep.* 2015;5:35-54. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2015.11.010>

18. Bland J.M., Altman D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307-310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)

19. Bland J.M., Altman D.G. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat. Methods Med. Res.* 1999;8(2):135-160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>

Information about the authors:

Marina A. Dikunets, Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Biochemistry Laboratory, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-5945-0722 (dikunets.m.a@vniifk.ru)

Grigory A. Dudko*, Senior Researcher, Biochemistry Laboratory, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-1064-3283 (dudko.g.a@vniifk.ru)

Alexander A. Arkhipkin, Cand. Sci. (Bio.), Head of Clinical Diagnostic Laboratory, LLC Scientific Center EFIS, 16–18, Sadovaya-Chernogryazskaya, Moscow, 1050662, Russia. ORCID: 0000-0001-7814-8409 (arkhipkin@efis.ru)

Andrey S. Kryuchkov, Cand. Sci. (Pedagogy), Head of National Sports Center, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0001-9423-8092 (kriuchkov.a.s@vniifk.ru)

Avak G. Abalyan, Dr. Sci. (Pedagogy), Associate Professor, Director General, Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), 10, bldg. 1 Elizavetinsky Lane, Moscow, 105005, Russia. ORCID: 0000-0002-6732-6991 (director@vniifk.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author