

УДК 796.4

**Корягина Ю.В., Симонова К.Ю.**  
*Сибирский государственный университет физической культуры и спорта*  
*Омск, Россия*  
*koru@yandex.ru*

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИОЛОГИИ БЕГА НА ДЛИННЫЕ ДИСТАНЦИИ  
(АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ЗА 2010-2016 г.г.)**

Целью данной работы явилось выявление актуальных разработок и технологий ведущих научных лабораторий мира по проблеме совершенствования подготовки спортсменов в беге на длинные дистанции. Осуществлялись поиск и сбор источников информации за 2010-2016 гг. (статьи, материалы конференций, журналы). Найденные источники переводились на русский язык и подвергались научному редактированию и анализу.

Результаты исследования показали, что зарубежные ученые продолжают заниматься поиском физиологических предикторов успешности в видах спорта на выносливость. Ведутся исследования и дискуссии, касающиеся «кенийского феномена», связанного с генетическими особенностями и особым строением опорно-двигательного аппарата бегунов из Кении. Наибольшую перспективу в улучшении спортивных результатов легкоатлетов, специализирующихся в беге на длинные дистанции, зарубежные специалисты видят в повышении экономичности бега. Это может достигаться разными путями: оптимизацией темпа, особенностями отталкивания за счет применения специальной обуви, использованием или наоборот исключением определенных тренировочных средств. Однако, необходимо учитывать, что беговая экономичность является высокоспецифичной к бегу на определенной скорости или физиологической интенсивности (уровень которой определяется ЧСС, потреблением кислорода и вентиляционными порогами), а также зависит от гендерных особенностей.

**Ключевые слова:** *физиология спорта, легкая атлетика, стайерский бег, спорт высших достижений, потребление кислорода, опорно-двигательный аппарат, энергозатраты, экономичность.*

**Koriagina Y., Simonova K.**  
*Siberian state university of physical education and sports*  
*Omsk, Russia*  
*koru@yandex.ru*

**CURRENT PROBLEMS OF PHYSIOLOGY LONG-DISTANCE RUNNING  
(ANALYSIS OF FOREIGN RESEARCH LABORATORIES FOR PERIOD 2010-2016)**

The aim of this study was to identify current developments and technologies of the world's leading research laboratories on the problem of improving the training of athletes in long-distance running. Search and collection of information sources for the years 2010-2016. (Article, conference proceedings, journals). Found sources were translated into Russian and scientific editing and subjected to analysis.

The results showed that foreign scientists continue to search for the physiological predictors of success in sports endurance. Studies are under way and discussions on "Kenyan phenomenon" associated with genetic characteristics and the special structure of the musculoskeletal system of runners from Kenya. The most perspective in improving sports performance athletes, specializing in long-distance running, foreign experts see jogging in improving efficiency. This can be achieved in different ways: the optimization rate, especially repulsion due to the use of special shoes, or vice versa using the exception of certain training facilities. However, be aware that running economy is highly

specific to run at a certain speed or a physiological rate (the level of which is determined by heart rate, oxygen consumption and ventilation thresholds), and also depends on the gender-specific.

**Keywords:** *physiology, sports, athletics, long-distance running, elite sport, oxygen consumption, musculoskeletal system, energy consumption, efficiency.*

**Введение.** Постоянный рост спортивных результатов в беге на выносливость и отставание российских спортсменов в стайерских дисциплинах от ведущих мировых лидеров, требует качественных изменений в системе спортивной подготовки и делает актуальным обзор современных зарубежных работ по данному направлению исследований.

**Цель работы:** выявление актуальных разработок и технологий ведущих научных лабораторий мира по проблеме совершенствования подготовки спортсменов в беге на длинные дистанции.

Основанием для выполнения настоящей работы явился Государственный контракт с Министерством спорта РФ на выполнение НИР № 484 от 25.08.2016 г.

**Методы и организация исследования.** Осуществлялись поиск и сбор источников информации за 2010-2016 г.г. (статьи, материалы конференций, журналы). Найденные источники переводились на русский язык и подвергались научному редактированию и анализу.

**Результаты и их обсуждение.** Способность производить энергию аэробно является обязательным условием для хорошей производительности в беге на длинные дистанции и напрямую зависит от наличия кислорода, углеводов и способности мышечных митохондрий производить АТФ. В видах спорта на выносливость успешное выступление коррелирует с максимальным потреблением кислорода (МПК), который находится под влиянием определенных факторов, в том числе плотности мышц, гемоглобина, ударного объема крови, активности ферментов аэробного метаболизма, функции митохондрий, состава и типа мышечных волокон. Хотя в видах спорта на выносливость требуется высокая МПК, другие факторы играют важную роль в определении характеристик, таких как максимальная доля МПК, которая может поддерживаться в течение длительного бега, экономичность или эффективность [2] (рис. 1).



Рисунок 1 – Основные физиологические факторы, критические для работоспособности в беге на выносливость [2].

**Физиологические предикторы успешности в видах спорта на выносливость.** В настоящее время накоплено большое количество научных знаний, касающихся исследования функциональных возможностей организма бегунов стайеров. Исследователи университета Цюриха и Цюрихского центра интегративной физиологии человека (Швейцария) определили физиологические детерминанты специализации элитных бе-

гунов на средние и длинные дистанции [10]. Ученые экспериментально доказали и отнесли к физиологическим предикторам выносливости индекс массы тела, МПК, потребление кислорода на вентиляционном пороге 2 и скорость на вентиляционном пороге 2.

Учеными университета Виктория и Австралийского института спорта [2] было предпринято исследование по определению эф-

фективного тренировочного стимула. В соответствии с практикой элитных спортсменов для оптимальной производительности требуется сочетание тренировки в различных зонах. С другой стороны, есть также тренерское искусство, связанное с практическим опытом, накопленным в ходе подготовки и обучения от других спортсменов и тренеров. Даже с лучшей системой подготовки не каждый спортсмен реагирует на нагрузку должным образом, что зависит от многих факторов, определяющих изменчивость в ответ на тренировочный стимул (включая питание и генетические факторы) [2].

Ученые университета Гумбольдт [1] исследовали взаимосвязь между мышечно-сухожильными факторами и беговой экономичностью. Авторы обнаружили, что наиболее экономичные бегуны показали большую силу сокращений подошвенных сгибателей стопы и большую жесткость мышечно-сухожильного аппарата, что ведет к увеличению силового потенциала мышц во время бега, влияя на его экономичность.

Ученые из университета Калгари и Гумбольдт-университета [3] также подтвердили и продемонстрировали, что изменение жесткости ахиллова сухожилия коррелирует с изменением энергостойкости бега. Ученые предположили, что более жесткое сухожилие приводит к уменьшению укорочения и

замедлению темпов сокращения мышечных волокон икроножных мышц. С помощью ближней инфракрасной спектроскопии авторы показали, что большее и быстрое укорочение увеличивает мышечные энергозатраты. Это было определено путем оценки количества одновременных поперечных мостиков, необходимых для создания необходимой силы и количества половин саркомеров в серии из поперечных мостиков, необходимых для изменения длины.

Ранее было выявлено, что марафонский бег может вызвать обратимые повреждения мышечных клеток и изменить широкий спектр биохимических показателей в день после гонки. Специалисты университета Копенгагена (Дания) изучили биохимический и компонентный состав тела спортсменов при ежедневном марафоне в течение недели. Они выявили, что ежедневный марафон в течение 7 дней не оказывал негативные последствия на биохимию крови спортсменов и даже оказал некоторое благотворное влияние на традиционные маркеры риска сердечно-сосудистых заболеваний, это прослеживалось до 24 часов после забега. В целом были найдены обычные побочные эффекты, включая незначительные повреждения мышечных клеток и незначительное увеличение маркеров повреждения клеток печени [4] (рисунок 2).

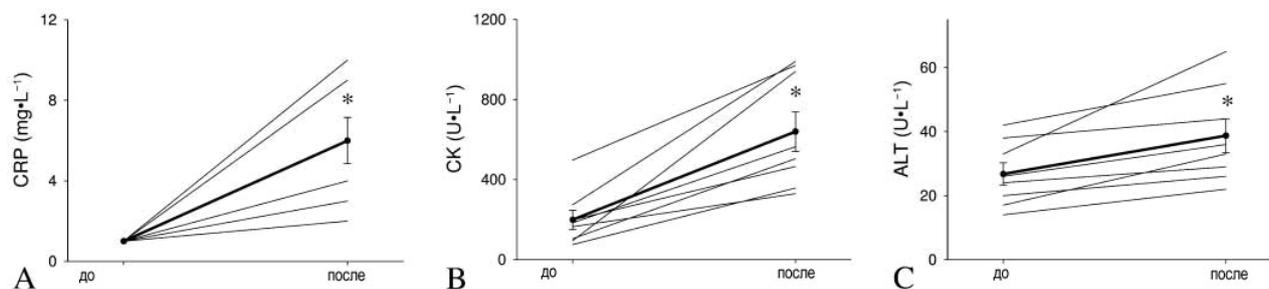


Рисунок 2 – Маркеры повреждения тканей измеряли до и на следующее утро после соревнований. Представлены изменения С-реактивного белка (CRP; А), креатинкиназы (СК; В) и аланин трансаминазы (ALT, С) для каждого испытуемого. Жирные линии показывают среднее значение ± ошибку средней (p < 0,05; парный t-тест) [4].

**Феномен кенийских бегунов.** При изучении «кенийского феномена» в беге на средние и на длинные дистанции нет никаких сомнений в том, что необходимо рассматривать взаимодействие между биологическими, мотивационными и социологиче-

скими факторами. Высокую экономичность бега восточно-африканских бегунов можно рассматривать, как один из ключевых факторов их успеха. Эти бегуны обладают действительно очень высокими, но не исключительно высокими, показателями аэробной

мощности. Следует отметить не только их выдающиеся физиологические аэробные возможности, но и анатомические, механические и функциональные свойства их нижних конечностей, все это, по-видимому, играет важную роль для достижения высокой экономичности бега [5,12].

Ученые национального института спорта университета города Парижа (Франция) исследовали причины улучшений результатов на марафонских дистанциях [9]. Авторы определили, что прогресс в результатах марафона обусловлен историческими, демографическими, физиологическими, сезонными и экологическими факторами. Результаты выступлений в марафонах улучшились на 10 %. В 2011 году 94 % из 100 лучших мужчин-спортсменов были африканские бегуны; среди женщин-спортсменок они составили 52 %. Морфологические показатели (рост, масса тела и индекс массы тела) сни-

зились. Авторы показывают параболическую функцию между индексом массы тела и скоростью бега. Сезонное распределение имеет два пика: весной (с 14 по 17 недели) и осенью (с 41 по 44 недели). Во время обоих периодов, средняя температура в городах, проводящих марафоны, была близка к оптимальным значениям для бега на длинные дистанции. Чаще всего доминируют на марафонах африканские бегуны.

Ученые Копенгагенского университета и университета Британской Колумбии [6] изучили предположительные причины доминирования кенийских бегунов на международной арене в беге на средние и длинные дистанции. На сегодняшний день доля европейских достижений снижается до 4,2 %, в то время как процент африканцев-бегунов высшего уровня увеличился до 91,7 %, из которых 53,3 % являются кенийцами (рисунок 3).

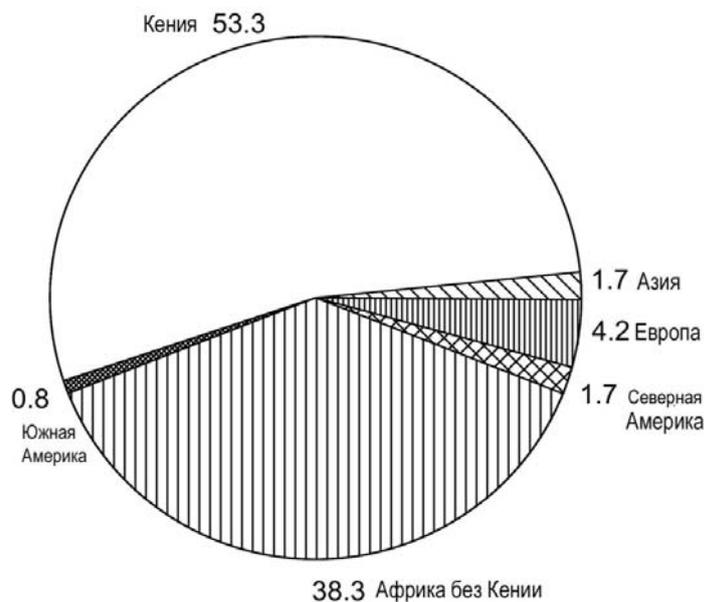


Рисунок 3 – Относительное распределение (%) между континентами всех времен 20 лучших выступлений в беге на средние и на длинные дистанции для мужчин на шести основных дистанциях от 800 м до марафона [6].

Элитным кенийским и некенийским бегунам удалось достичь очень высоких показателей МПК, причем величины МПК аналогичны у кенийских и некенийских бегунов. Кроме того, коэффициент экономичности также очень высок и похож у кенийских и европейских бегунов. Аналогичным образом, при сравнении кенийских элитных бегунов с другими спортсменами, не было об-

наружено никаких различий в пропорции медленных мышечных волокон.

В противоположность этому кислородная стоимость работы при беге на заданной скорости ниже у кенийских элитных бегунов по сравнению с другими элитными бегунами и есть некоторые признаки того, что это происходит из-за различий в размерах тела. У кенийских бегунов на-

блюдались ограничения легочной системы в виде артериальной гипоксемии, ограничении выдыхаемого потока и высоком уровне работы дыхательных мышц. Оказывается, что кенийские бегуны не обладают легочной системой, которая придает физиологическое преимущество.

Исследования ученых из университетов Осаки и университета Гумбольда [5,12] ясно показали, что элитные восточно-африканские бегуны на длинные дистанции обладают очень уникальными структурно-функциональными характеристиками мышц ног, которые могут быть связаны с повышением беговой экономичности. Кроме того, более длинное ахиллово сухожилие у элитных восточно-африканских бегунов связано с меньшей деформацией ахиллова сухожилия, мышечной активацией и укорочением отдельных фасций во время фазы отталкивания при беге. Эти результаты свидетельствуют о том, что уникальное нервно-мышечное взаимодействие с использованием присущих анатомических преимуществ для восточно-африканских бегунов на длинные дистанции может быть единственной альтернативой классической концепции цикла растяжения-укорочения для повышения беговой производительности за счет большего сохранения и высвобождения энергии упругой деформации.

**Роль экономичности на стайерских дистанциях.** Экономичность бега специалисты определяют как степень эффективности потребления кислорода и сжигания калорий. Измеряется в количестве кислорода на килограмм веса бегуна на километр дистанции (мл/кг/км) или калорий (ккал/кг/км). Этот же показатель называют «удельной энергостойкостью». Другие авторы для характеристики и обоснования экономичности бега предлагают оценивать потребление кислорода и ЧСС на определенной скорости [9], а также минимальную шаговую ЧСС, соотношенную с временем работы на постоянной скорости [11]. Обширные исследования показали, что с аналогичными значениями МПК спортсмены с более низкими энергетическими затратами во время бега в целом работают лучше [11].

Большую роль в повышении экономичности играет согласованность работы различных систем организма. Исследователи из Калифорнии [13] занимаются изучением адаптации темпа к синхронизации работы сердца и опорно-двигательного аппарата во время бега. Авторы изучили влияние эффективности соотношения темпа и ЧСС, кроме 1:1 (например, 1:2, 2:3, 3:2), на результат бегунов. Темп задавался с использованием звукового сигнала стимуляции шага по ЧСС. Результаты исследования свидетельствуют, что адаптивный темп сердечно-двигательной синхронизации может иметь положительное влияние на беговую результативность. У испытуемых наблюдалось улучшение времени бега на субмаксимальной скорости, увеличение временной константы в увеличении ЧСС, имелась тенденция к снижению вариабельности сердечного ритма. Авторы также отмечают, что условия стимуляции хоть и не коррелируют с временем бега, но способствуют более высокому темпу по сравнению с мнимыми условиями (при подаче ложных сигналов). Следовательно, данный метод может быть рекомендован для повышения беговой эффективности на субмаксимальной скорости.

Нахождение оптимальной длины и частоты шагов – необходимое условие технического совершенства бегуна. Целью ученых университета Амстердама (Нидерланды) было определить оптимальную частоту шага (минимальное потребление кислорода для пройденного расстояния) и сравнить ее с самостоятельным выбором частоты шага у опытных и начинающих бегунов. Результаты показывают, что при субмаксимальных скоростях опытные бегуны выбирают частоту шага ближе к минимуму для потребления кислорода, чем начинающие бегуны. Снижение было существенным и доходило до 3–5 % для некоторых начинающих бегунов и потенциально улучшалось примерно на 1 % у некоторых подготовленных бегунов. Также специалисты рекомендуют устанавливать оптимальную частоту шага бегуна путем нахождения минимальной шаговой ЧСС, соотношенной со временем работы на постоянной скорости [11].

Исследователи биологического факультета колледжа Санкт-Ансельм Манчестер (США) сравнили отталкивающие движения стопы у бегунов на длинные дистанции рекреационного и элитного уровня [7]. Авторы классифицировали отталкивающие движения левой и правой ног у 936 бегунов на длинные дистанции на 10-км отрезке полумарафонского и марафонского забега. Так, например, 88,9 % бегунов отталкивались задней частью стопы. Выявлено увеличение частоты отталкивающих движений стопы на отрезке 32 км. Следовательно, отталкивание задней частью стопы является более специфичным и экономичным и может быть рекомендовано спортсменам, соревнующимся на данных дистанциях. Тем не менее авторы не нашли значимой взаимосвязи между отталкивающими движениями стопы и результатом бегунов [7].

Следовательно, наиболее перспективным, по мнению ученых, направлением улучшения спортивных результатов легкоатлетов, специализирующихся в беге на длинные дистанции, является повышение экономичности бега. Это может достигаться разными путями: оптимизацией темпа, особенностями отталкивания за счет применения специальной обуви, использованием или наоборот исключением определенных тренировочных средств. Однако необходимо учитывать, что беговая экономичность является высокоспецифичной к бегу на определенной скорости или физиологической интенсивности (уровень которой определяется вентиляционными порогами, % от МПК, ЧСС), а также зависит от гендерных особенностей.

## References

1 Albracht K. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans / K. Albracht, A. Arampatzis // *European journal of applied physiology*. — 113.6. — 2013. — P. 1605-1615.

2 Bishop D. Endurance training: Lessons from the lab and the field – do they agree? / D. Bishop, P. Saunders // *Research to Practice 2016: Conference Proceedings (e-book)*. 4 April 2016, Exercise & Sports Science Australia, Qld, Australia. – P.16

3 Fletcher J.R. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners / J.R. Fletcher, P.E. Shane, B.R. Macintosh // *European journal of applied physiology*. – 110.5. – 2010. – P. 1037–1046.

4 Karstoft K. Daily marathon running for a week—the biochemical and body compositional effects of participation / K. Karstoft et al. // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2013. – V. 27, №11. – P. 2927–2933.

5 Kunimasa Y. Specific muscle-tendon architecture in elite Kenyan distance runners / Y. Kunimasa, K. Sano, T. Oda et al. // *Scandinavia Journal of Medicine and Science in Sports*. – 2014. – V. 24. – P. 269–274.

6 Larsen H.B. The Kenyan runners / H.B. Larsen, A.W. Sheel // *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. – 2015. – T. 25. – №. S4. – С. 110–118.

7 Larsona P. Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race / P.Larsona et al. // *Journal of Sports Sciences*. – 2011. – V. 29, I.15. – P. 1665–1673.

8 Marc A. Marathon progress: demography, morphology and environment / A. Marc et al. // *Journal of Sports Sciences*. -2014. – V. 32, № 6. – P. 524–532.

9 Mooses M. Running economy and body composition between competitive and recreational level distance runners / M. Mooses et al. // *Acta Physiologica Hungarica*. – 2013. – V. 100 (3). – P. 340–346.

10 Rabadán M. Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners / M. Rabadán // *Journal of Sports Sciences*. – 2011. – V. 29, I. 9. – P. 975–982.

11 Ruiters C.J. Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners / C.J. De Ruiters et al. // *European Journal of Sport Science*. – 2014. – Vol. 14. – № 3. – P. 251–258.

12 Sano K. Muscle-tendon interaction and EMG profiles of world class endurance runners during hopping / K. Sano, M. Ishikawa, A. Nobue et al. // *European Journal Applied Physiology*. – 2013. – 113. – P. 1395–403.

13 Phillips B. Effect of Adaptive Paced Cardiolocomotor Synchronization During Running: A Preliminary Study / B. Phillips, Y. Jin // *Journal of Sports Science; Medicine*. Sep 2013; 12(3)381–387.