

# Марафон?

# Легко!

Н. В. КОХ, К. А. ВЛАСОВА

Марафон в его первоначальном смысле – спортивный бег на многокилометровую дистанцию – в последние годы становится все более популярным. Прошло время, когда марафон считался невероятно трудным видом спорта, доступным только физически одаренным людям. Сейчас бег на длинные дистанции – это увлечение миллионов, причем популярными стали забеги и на дистанции, намного длиннее марафонской. Это неудивительно: бег эмоционально приятен и при соблюдении простых правил малотравматичен, а беговую нагрузку легко менять. Однако всем желающим стать марафонцами нужно знать о процессах, происходящих в организме человека при длительных забегах, их влиянии на здоровье спортсмена и возможных проблемах адаптации к длительным интенсивным нагрузкам с учетом генетических факторов



Участники марафона в Гамбурге (ФРГ). Октябрь 2008 г.  
Фото В. Власова

**К**лассическая *марафонская дистанция* – 42 км 195 м: именно столько в 490 г. до нашей эры пробежал солдат Фидиппид от города Марафон до Афин, чтобы сообщить о победе греческой армии над персами. Сейчас в мире ежегодно проводится около 800 марафонских забегов. Помимо стандартных, практикуются забеги на половину (*полумарафон*) и четверть марафонской дистанции. Популярны и комбинации бега на длинные дистанции с плаванием и гонками на велосипедах – так называемый *триатлон*, который стал олимпийским видом спорта. Есть и варианты забегов в экстремальных условиях, например, международный Байкальский ледовый марафон, который проводится в феврале по льду оз. Байкал.

В последние годы набирают популярность такие модификации, как *ультрамарафоны* на дистанции 50 км, 50 миль (80,5 км), 100 км и 100 миль, а также многодневные забеги по пересеченной местности, некоторые из них – на тысячи километров.

*Трейлраннинг* – это бег в свободном темпе по природной местности: лесам, горам, пустыням. Сложность таких маршрутов и их протяженность могут быть самыми разными, от обычных дистанций до ультрамарафонских. В США наиболее известен 100-мильный марафон Вестерн Стейтс, маршрут которого проходит в горах Сьерра-Невады в Калифорнии, а в Европе – 166-километровый ультратрейл вокруг Монблана. Все больше

**Ключевые слова:** бег, марафон, выносливость, физиология, генетическое тестирование, гликолиз,  $VO_{2max}$ , лактатный порог, ACTN3.  
**Key words:** running, marathon, endurance, physiology, genetic testing, glycolysis,  $VO_{2max}$ , lactate threshold, ACTN3



КОХ Наталья Викторовна – терапевт-генетик, научный сотрудник лаборатории персонализированной медицины Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 29 научных работ



ВЛАСОВА Ксения Александровна – студентка медицинского колледжа Техасского университета А&М

массовых забегов, организованных по принципу трейлраннинга, проводится и в России.

Исследования последних лет развенчали ряд бытовавших поверий, связанных с марафоном. Так, оказалось, что тяжелые беговые нагрузки совместно с рекламируемыми диетами не всегда способствуют снижению веса, а результаты генетических исследований не могут дать точных предсказаний относительно чемпионской карьеры спортсмена. Удивительно, но специалисты до сих пор не могут прийти к общему мнению даже по поводу влияния длительных интенсивных физических нагрузок на продолжительность жизни и здоровье. А это непосредственно касается не только профессиональных спортсменов, но и огромного числа обычных людей, занимающихся марафонским бегом.

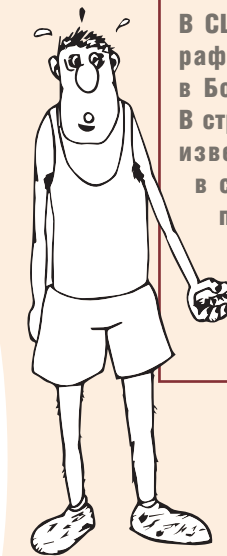
### Чтобы «сжечь» жир, бегай медленно

Как «правильно» бегать на длинные дистанции? Чтобы понять это, нужно обратиться к разделу биохимии, касающемуся метаболизма и энергетики нашего тела.

Известно, что человек, как и другие животные, движется за счет сокращения скелетных мышц, а источником энергии для них служит высокоэнергетическое химическое соединение *аденозинтрифосфат* (АТФ). В мышцах всегда присутствует некоторое количество этого быстро расходуемого вещества, синтез которого идет в организме постоянно.

В организме имеется три основных пути производства АТФ. Самый быстрый – его восстановление после распада. Другими словами, ресинтез из *аденозиндифосфата* (АДФ), который получается в результате отщепления от АТФ одного остатка фосфорной кислоты. Ресинтез осуществляется с помощью фермента *креатинкиназы*, которая переносит на АДФ остаток фосфорной кислоты с *креатинфосфата*, хранящегося в скелетных мышцах. Такое энергетическое депо подобно аккумулятору низкой емкости и способно обеспечить немедленный синтез АТФ для удовлетворения потребности организма в течение короткого (десятки секунд) времени – вплоть до истощения запасов креатинфосфата в мышцах. Этот путь производства АТФ важен при выполнении тяжелых кратковременных нагрузок, таких как поднятие тяжестей.

На втором месте по скорости синтеза АТФ – *гликолиз*, анаэробный (бескислородный) путь метаболизма углеводов. Исходным сырьем служит глюкоза, как свободная, так и получаемая из *гликогена* – резервного полисахарида, запасаемого в печени и мышечной ткани. В процессе гликолиза из одной молекулы глюкозы получаются две молекулы молочной кислоты (*лактата*)



В США проводится около 300 марафонов, наиболее массовые – в Бостоне, Нью-Йорке и Чикаго. В странах Европы и Азии наиболее известные марафоны проходят в столицах. В России ежегодно проводится около 50 марафонов, из которых наиболее известны Московский и международный Сибирский марафон в Омске

На классической марафонской дистанции в Корунье (Испания). © Jose Luis Cernadas Iglesias



Автор статьи Ксения Власова на финише марафонского забега в г. Остин (Техас, США). 2020 г. Фото А. Власова

© Н.В. Кох, К.А. Власова, 2021



НАУКА из первых рук <https://scfi.ru/papers/marafon-legkor>

Сентябрь • 2021 • № 1/2(91)



Фото George Tan. Public domain

**МИФЫ И ПРАВДА О БЕГЕ**

- «Жиры начинают расходоваться только после того, как в организме закончатся углеводы». Это не так: если тратить одно и то же количество энергии при беге с разной скоростью, то при медленном беге организм избавится от большего количества жировой ткани. И чем ниже нагрузка, тем больше будет вклад жиров.
- «Интенсивные нагрузки – главный способ похудеть». Это не так: динамика веса зависит не от величины нагрузок, а от соотношения полученной и затраченной энергии. Чтобы сбросить вес, нужен дефицит калорий. Заботясь о здоровье, необходимо сначала избавиться от лишнего веса, и потом уже бегать, чтобы не разрушить суставы ног высокой нагрузкой

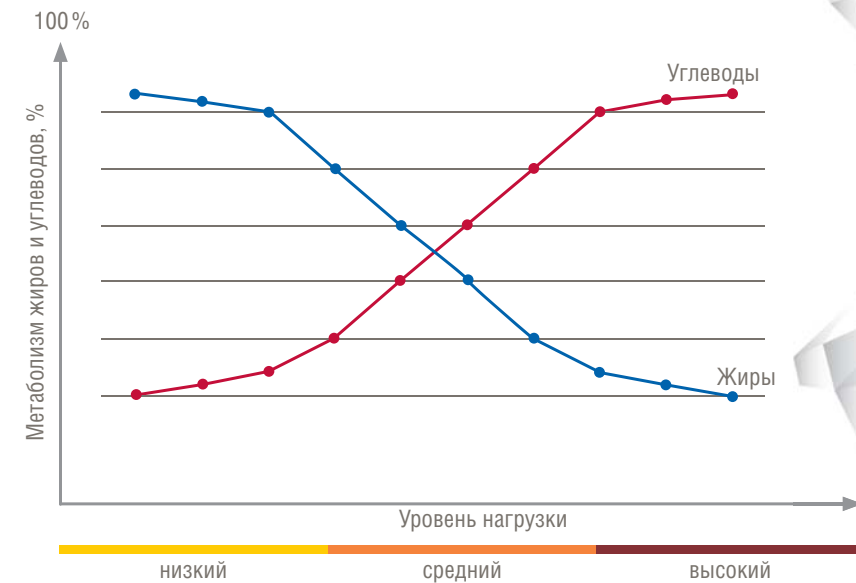


и две молекулы АТФ. Этот путь может обеспечить мышцы нужным количеством АТФ в условиях *гипоксии* (нехватки кислорода) на короткое время (например, при активной работе скелетных мышц) – до тех пор, пока не истощатся доступные запасы углеводов.

Третий способ – это полная переработка углеводов, жиров и белков в присутствии кислорода, т.е. их окисление до углекислого газа и воды. Такое *аэробное окисление* той же глюкозы происходит медленнее, чем гликолиз, но зато дает гораздо больше энергии (36 молекул АТФ в расчете на одну молекулу сахара). Наиболее «медленный», но и самый эффективный способ получения энергии в организме – это производство АТФ за счет окисления жирных кислот в результате ряда последовательных реакций (*цикл Кребса*). При окислении одной молекулы *капроновой* жирной кислоты, содержащей столько же атомов углерода, сколько и глюкоза, получается уже 42 молекулы АТФ.

У нетренированного человека в мышцах и печени содержится около 400 г гликогена (1600 ккал). При интенсивном беге с затратами энергии около 700 ккал/час этого запаса хватит примерно на 2 ч., т.е. на первые 30 км забега. У тренированных спортсменов общее содержание гликогена в организме вдвое больше, но они и бегут быстрее, и расход энергии у них выше. Так что при беге на большие дистанции одними запасенными углеводами не обойтись.

Жир, по сравнению с углеводами, более выгодное «топливо». Окисление 1 г углеводов дает 4,1 ккал, а 1 г жира – 9,3 ккал. Среднего запаса жира у человека (около 13 кг) могло бы хватить на несколько марафонов. Однако процесс извлечения энергии из этого субстрата более сложный и медленный, чем из углеводов. Кроме того, расходовать для производства энергии только жир не получится. Дело в том, что для функционирования



При быстром беге, как и при любой другой большой физической нагрузке, организм получает энергию только за счет углеводов, а жиры не расходуются

«жирожигающей печки» (цикла Кребса) необходим *оксалоацетат* – вещество, ферментативно получаемое из пирувата, образующегося из глюкозы. Недаром говорится: «Жиры сгорают в пламени углеводов». Таким образом, для слаженной работы энергетической системы марафонца необходимы и жиры, и углеводы.

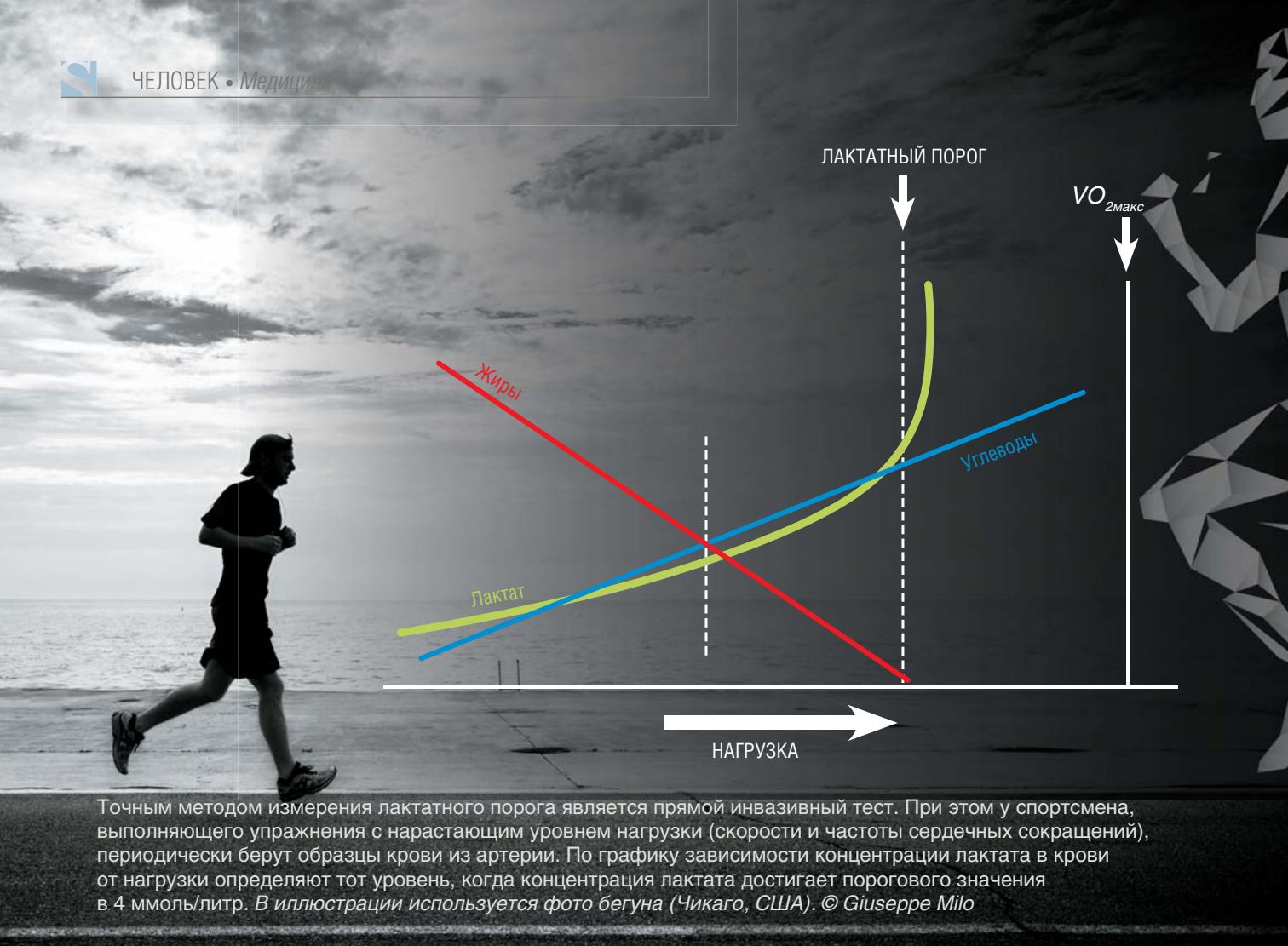
Поверхностное ознакомление с этой простой биохимией может привести к ошибочному заключению, что запас АТФ в мышцах расходуется только в первые секунды бега, затем в «расход» идут глюкоза и гликоген, которых хватает на 2–3 часа, и лишь после этого организм начинает использовать жиры. Отсюда и одно из поверий: жиры начинают сжигаться только тогда, когда закончились углеводы, поэтому, чтобы сбросить вес, нужны максимально тяжелые и долгие тренировки. В действительности же все не так.

Три механизма производства энергии работают одновременно и слаженно, при этом их вклад в производство энергии меняется в зависимости от уровня нагрузки, метаболизма и запасов энергетических веществ организма спортсмена.

При нагрузках низкой и средней интенсивности, когда организм обеспечен достаточным количеством кислорода (*аэробное дыхание*), процесс гликолиза тормозится и энергия производится в основном за счет окисления жиров и пировиноградной кислоты, получаемой из глюкозы. При повышении нагрузки и возникновении дефицита кислорода организм начинает все больше использовать легко мобилизуемые углеводы, поскольку в расчете на потребляемый кислород они дают больше энергии, чем жиры (5,05 и 4,7 ккал на литр поглощенного кислорода соответственно). В финале очень тяжелых тренировок или длительных забегов, когда запасы гликогена исчерпываются, в организме начинается синтез глюкозы за счет разложения белков, в том числе мышечной ткани, – процесс, явно нежелательный для спортсмена.

Участники марафона в Гамбурге (ФРГ). Октябрь 2008 г. Фото В. Власова





Точным методом измерения лактатного порога является прямой инвазивный тест. При этом у спортсмена, выполняющего упражнения с нарастающим уровнем нагрузки (скорости и частоты сердечных сокращений), периодически берут образцы крови из артерии. По графику зависимости концентрации лактата в крови от нагрузки определяют тот уровень, когда концентрация лактата достигает порогового значения в 4 ммоль/литр. В иллюстрации используется фото бегуна (Чикаго, США). © Giuseppe Milo

Участник марафона на улицах Гамбурга (ФРГ). 2008 г. Фото В. Власова

Скорее всего, именно проблемы переработки молочной кислоты лежат в основе феномена «второго дыхания», хорошо знакомого физически слабо подготовленным людям. Такие бегуны после начала интенсивного бега, с превышением знакомого им уровня нагрузки, начинают испытывать тяжелый дискомфорт: у них возникают боли в ногах, одышка, сильно ускоряется сердцебиение. Если они продолжают бежать, то через несколько минут после прохождения «мертвой точки» их состояние нормализуется – появляется «второе дыхание». Тренированные спортсмены не сталкиваются с такими проблемами.

Дело в том, что при резком начале интенсивной работы при недостаточно интенсивном дыхании организм переключает производство энергии на гликолиз, и спортсмен получает вброс большого количества лактата в кровь. В течение последующих минут бегун начинает адаптироваться к нагрузке, концентрация лактата в его крови падает за счет поглощения в печени, а активизация дыхания и сердечной деятельности помогает организму наладить производство энергии за счет окислительных процессов.

Спортсмен ощущает прилив сил, а мозг, получивший необходимое питание, вознаграждает его эндорфинами – сходными с опиатами веществами, вызывающими чувство удовольствия и обезболивание. Наступает состояние, известное как «эйфория бегуна».

При высоких нагрузках в кровь начинает поступать молочная кислота (лактат) – продукт анаэробного распада углеводов. Когда печень не справляется с утилизацией лактата, его уровень в крови растет. При превышении лактатного порога (4 ммоль/л) развивается утомление мышц. Этот показатель у нетренированных бегунов достигается при 65–76% от максимального потребления кислорода либо максимальной частоты пульса, у тренированных – при 85–90%. Фактически лактатный порог соответствует бегу в самом быстром темпе, при котором спортсмен еще способен разговаривать без затруднений

## Как дышится?

Аэробные процессы производства энергии идут у спортсмена тогда, когда интенсивность его дыхания позволяет без затруднения вести разговор, а пульс составляет около 60% от максимально возможного. Так что желающим укрепить здоровье не нужно бегать быстро. Специалисты рекомендуют с целью коррекции веса и укрепления здоровья 1–2 часа такого «легкого» бега или интенсивной ходьбы.

Тем же, кто нацелен на марафонский бег и кому небезразличен результат, бежать придется быстрее – в максимальном темпе, который спортсмен способен выдерживать долгое время. При повышенных нагрузках организм увеличивает поступление кислорода в кровь благодаря учащению дыхания и ритма сердечных сокращений. Когда вдыхаемого кислорода перестает хватать для производства энергии в окислительных процессах, организм переходит на анаэробный гликолиз.

Однако возможность использования этой «пиковой системы энергопроизводства» ограничена. Дело в том, что в результате гликолиза в крови накапливается молочная кислота (лактат), негативно влияющая на работу мышц. Она может утилизироваться в печени, но по мере увеличения нагрузки наступает момент (лактатный, или анаэробный, порог), когда печень уже не справляется и концентрация лактата в крови начинает расти.

Уровень лактата в крови можно измерить; при достижении 4 ммоль/л появляется жжение в мускулах и развивается утомление, мышцы

«затвердевают». Молочная кислота к тому же ингибирует ферменты, участвующие в процессах окисления жира, и тормозит работу третьей системы производства энергии. В результате гликолиз и производство молочной кислоты в мышцах идут еще интенсивнее.

С острой проблемой накопления молочной кислоты всегда сталкиваются спортсмены, бегущие на дистанции 400 и 800 м с максимальной нагрузкой, почти полностью в анаэробном режиме. В конце дистанции у них ярко проявляются негативные эффекты накопления лактата: упадок сил и тяжелая усталость, которые они образно описывают «как будто медведь на спине сел».

## Макароны за день до забега

Способность к длительному быстрому бегу определяется рядом особенностей организма, и важнейшая из них – способность обеспечить кислородом систему аэробного производства энергии.

Для оценки эффективности этой системы у спортсменов используют показатель  $VO_{2max}$ , равный максимальному количеству кислорода, которое спортсмен способен потребить в условиях максимальной нагрузки. Этот показатель характеризует верхний предел возможностей спортсмена, и никакой человек не способен бежать больше 3–5 минут в таком режиме. И чем короче дистанция, тем важнее будет вклад этого показателя: скорость «на уровне»  $VO_{2max}$  прекрасно подходит для финиша.

Марафонцы обычно бегут, потребляя кислород с интенсивностью 60–80% от своего максимального показателя  $VO_{2max}$ . У элитных спортсменов этот показатель равен 80–90%.

Способность выдерживать подобную нагрузку и определяет истинного марафонца, а зависит она от лактатного порога спортсмена, который диктует максимальную скорость, которую может длительное время поддерживать спортсмен. Чем эффективнее работает система аэробной продукции энергии и идет переработка лактата, чем выше переносимость закисления, тем больше скорость бега, которую может долго поддерживать спортсмен.

Результативность бега зависит и от того, насколько эффективно его организм расходует кислород на производство энергии и преобразует в мышцах полученную химическую энергию в механическую. Эта эффективность зависит от самых разных факторов. Например, от техники спортсмена (много энергии при беге расходуется на вертикальные перемещения), от свойств белков, обеспечивающих протекание химических реакций, скорости активирования и количества мышечных волокон, механических свойств сухожилий. Поэтому спортсмены даже с одинаковым  $VO_{2max}$  могут показывать разные результаты.

Для поддержания максимальной скорости в ходе длительного забега организм спортсмена одновременно задействует и окислительную систему производства энергии, и гликолиз. Установлено, что при марафонском забеге организм получает около 89% энергии за счет углеводов, 7% – за счет жиров, 4% – за счет белков. Чем больше дистанция и медленнее бег, тем в большей степени для производства энергии используются жиры. В ультрамарафонских многодневных забегах 62% энергии дают углеводы, 27 – жиры, и 11% – белки.

Однако, как мы видим, в любом случае жиров марафонцу более чем достаточно, это – лишний груз, чего нельзя сказать об углеводах. Поэтому неудивительно,



Участники марафона на улицах Гамбурга (ФРГ). 2008 г. Фото В. Власова

что все элитные марафонцы худые: много жира им не надо (жировой ткани также требуется кровоснабжение, и ее количество обратно пропорционально  $VO_{2max}$ ), а вот гликоген нужно запастись максимально – и в печени, и в мышцах ног. Недаром давняя традиция марафонцев – ужин из макарон за день до забега.

Но при всех стараниях запастись гликоген на всю марафонскую дистанцию не получится. В ультрамарафонских забегах спортсмены сталкиваются с тяжелым дефицитом «топлива», поэтому могут поддерживать высокую скорость бега только в течение первых 5–6 часов, а затем она постоянно снижается. Казалось бы, спортсмены могли бы пополнять запасы углеводов, питаясь в ходе забега, однако проблема в том, что у бегунов пропадает аппетит и нарушается пищеварение. Так что еще одна важная способность ультрамарафонца – есть и усваивать пищу буквально на ходу. Конечно, речь идет не о полноценной трапезе, а о приеме малых порций углеводов.

Еще одна тонкость: марафонец должен есть не позднее чем за два часа перед стартом. Дело в том, что повышение концентрации глюкозы в крови после еды способствует выбросу инсулина поджелудочной



железой, а повышенная концентрация этого гормона подавляет производство энергии из жира и стимулирует синтез гликогена из глюкозы. Так что какое-то время после трапезы концентрация глюкозы в крови даже падает ниже нормы, что снижает работоспособность.

Поэтому на старте спортсмен должен быть слегка проголодавшимся. Есть и маленькая хитрость: за несколько минут перед бегом выпить немного (не более 30 г) раствора глюкозы. Поскольку сразу за приемом углеводов последует интенсивная нагрузка и включатся системы производства энергии, такая порция не вызовет всплеска инсулина в крови.

## Лбом в стенку

Когда в процессе длительного забега запасы гликогена в организме подходят к концу, а в крови падает уровень глюкозы, мозг, остро нуждающийся в углеводах, включает сигналы тревоги. У спортсмена



«Марафонская стена» – состояние предельной усталости, наступающее обычно у спортсмена на 30–35 км марафонской дистанции. Его причина – физическое утомление и гипогликемия в связи с исчерпанием запасов гликогена и повреждением мышечной ткани. Физически тяжелое состояние усугубляется реакцией центральной нервной системы в ответ на недостаточное снабжение мозга глюкозой: она посылает сигналы о необходимости снизить нагрузку, включает чувство усталости. Без этого спортсмены могли бы, напрягая волю, бежать вплоть до возникновения необратимых повреждений организма. Когда наступает состояние «упора в стену», спортсмену приходится снизить темп или даже сойти с дистанции



появляются слабость, головокружение и острое желание съесть что-нибудь сладкое. Он ощущает резкий упадок сил – развивается состояние, получившее название «марафонская стена» (в английском языке есть менее приличное название *bonk*). Сгладить, причем лишь частично, этот эффект удастся за счет регулярного приема в ходе забега малых количеств продуктов, богатых углеводами. На практике это около 30–90 г фруктозы и глюкозы ежечасно в виде напитков с добавками солей и энергетических гелей.

Вероятность наступления «марафонской стены» для спортсмена может быть предсказана на основе данных о его аэробной способности, запасах гликогена и темпа бега. Если у спортсмена есть хороший запас гликогена и он не старается бежать изо всех сил, особенно в начале забега, то «марафонская стена» скорее всего не станет для него проблемой. Главное – правильно рассчитать темп бега, чтобы в первые часы марафона расходовать не только гликоген, но и жиры.

Хорошая новость в том, что тренировки на уровне, близком к лактатному порогу, могут существенно повысить выносливость спортсмена. Организм человека – замечательная живая машина, способная совершенствоваться под влиянием внешних условий и даже исправлять различные повреждения, если они не слишком масштабны.

Если тренироваться с целью развить выносливость, а именно бегать со скоростью, чуть превышающей комфортный темп, организм приспособится поглощать

больше кислорода за счет увеличения объема легких, сердечная мышца станет более мощной, улучшится система капилляров, благодаря чему мышечная ткань будет лучше снабжаться кислородом. Укрепятся мышцы, в них будет запасаться больше гликогена, будут более эффективно работать процессы аэробной продукции энергии. За счет этого спортсмен сможет повысить свой лактатный порог и развивать большую скорость на длинной дистанции без необходимости переключаться на анаэробный путь производства энергии.

Уже много лет предпринимаются и попытки разработать технологии, позволяющие организму спортсменов более эффективно использовать для производства энергии запасы жира, имеющегося в организме в избытке. Широко пропагандируются «кетогенные» диеты, поскольку было показано, что, если длительное время питаться продуктами, содержащими мало углеводов и много жиров, организм адаптируется к такому рациону и начинает при физической нагрузке более эффективно расходовать жиры.

При длительных умеренных нагрузках организм таких спортсменов действительно усиленно метаболизирует жиры, и некоторые из них могут улучшить свои результаты в беге с невысокой интенсивностью. Но эти спортсмены проигрывают при высоких нагрузках, обычных для соревнований, поскольку запасы «быстроуглеводного топлива» у них снижены и менее эффективно вовлекаются в метаболизм. Кроме того, у некоторых спортсменов адаптация к кетогенной диете сопровождается болезненными реакциями, что неудивительно, учитывая зависимость мозга от глюкозы.

На сегодня нет убедительных доказательств преимуществ использования «кетогенных» диет, иначе все спортсмены давно бы на них перешли. Практика показывает, что наиболее оптимально сбалансированное питание, включающее продукты, богатые витаминами.

## От генетики не убежать

В последние десятилетия в спорте начали учитывать еще один фактор – «генетику». Известно, что спортсмены различных «специализаций» различаются по внешнему виду: баскетболисты высоки, штангисты и метатели молота приземисты и могучи, марафонцы худощавы. И специалисты считают, что возможности спортсмена на 60–70% определяются именно наследственностью.

Сейчас множество организаций предоставляет услуги по генетическому тестированию. Тема эта модная, и коммерческие предприятия готовы искать у школьников «гены преступности» и берутся предсказать что угодно: на каком инструменте лучше играть начинающему музыканту и в каких видах спорта ребенок может стать чемпионом.



Увы, не все так просто. Множество исследований геномов «элитных» спортсменов показали, что нет каких-либо конкретных вариантов генов, позволяющих точно предсказать будущего рекордсмена. Во-первых, за каждую из характеристик организма спортсмена отвечает не один, а много генов, причем вклад каждого отдельного гена может быть очень небольшим. Во-вторых, за одно и то же качество могут отвечать разные наборы генов. Более того, гены лишь определяют возможность развития определенных способностей, а их реализация зависит от действия внешних факторов (в нашем случае – тренировок).

В реальности спортсмен с идеальными мышцами и выдающейся системой производства энергии может иметь низкий болевой порог или высокую возбудимость, лишаящую его сна, что мешает победе. А волевой спортсмен с неидеальными мышцами способен за счет упорных тренировок достигать высоких результатов.

Участник Лондонского марафона (*Virgin London Marathon*) Джон Сандху, столкнувшийся с «марафонской стеной», одолел последние несколько метров до финиша с помощью официальных помощников. 2014 г.  
© Dave Smith 1965

Поскольку комбинаций генетических факторов и схем тренировок множество, то предсказать, какая из них окажется победной, практически невозможно.

В настоящее время единого «стандарта» генетических маркеров для объективной оценки спортивного потенциала человека не существует. Используемый набор обычно включает небольшое (5–10) число маркеров, зачастую малозначимых, чтобы быть доступными по цене. А некоторые компании, напротив, предлагают дорогие исследования, с анализом максимального



Мате Раб бежит Данферmlinский марафон в Шотландии. © D. Sinclair Terrasidius

числа генетических маркеров, включая множество таких, для которых вклад не был оценен объективно (например, маркер упоминается лишь в одном исследовании на небольшой выборке).

Главное – это понять, что генетическое тестирование не может точно предсказать успехи в определенном виде спорта, но тем не менее дает важную информацию о биохимических особенностях конкретного человека. С его помощью можно с некоторой вероятностью оценить индивидуальный потенциал развития таких физических качеств, как выносливость, быстрота и сила. На основании оценки генов, ответственных за метаболизм, дают рекомендации для оптимизации стратегий тренировок и питания.

В целом же возможности человека в беге на длинные дистанции определяются множеством особенностей организма, связанных с образованием АТФ из жиров и глюкозы, эффективностью поглощения кислорода ( $VO_{2max}$ ), строением мышц и психологическими характеристиками, а также состоянием систем регенерации поврежденных, неизбежно возникающих под нагрузкой

в органах и тканях. И генетическое тестирование может дать полезную информацию о наследственных индивидуальных особенностях спортсмена.

### Через призму генома

Важный фактор для марафонца – структура скелетных мышц, в которых есть «медленные» и «быстрые» мышечные волокна. Первые (тип I) действительно сокращаются медленно, но могут работать долго – они обеспечивают выносливость. Эти клетки мышц обладают высокой аэробной и низкой анаэробной способностью. Волокна II типа быстро сокращаются и быстро утомляются; у них высокая анаэробная и низкая аэробная способность. У спринтеров соотношение этих волокон примерно равное, но у марафонцев до 90% всех мышечных волокон могут быть «медленными».

На скоростно-силовые характеристики спортсмена влияет ген ACTN3, кодирующий сократительный белок *актин-3* в «быстрых» мышечных волокнах. Одна из мутаций этого гена (577X; ее отсутствие – 577R) связана

с формированием функционально неполноценного актина, что выражается в снижении числа волокон II типа и, соответственно, скоростного потенциала бегуна.

Так как все мы имеем по две копии каждого гена, полученные от родителей, то всего могут существовать три генетические комбинации. И судя по исследованиям элитных спринтеров, среди них нет носителей сразу двух генов 577X, тогда как в популяции доля таких людей достаточно высока: 25% у азиатов, 18% – у европейцев, 11% – у эфиопов, 3% – у афроамериканцев Ямайки; у кенийцев и нигерийцев, среди которых много известных бегунов, таких людей около 1%.

Конечно, носительство сразу двух генов 577R не определяет человека автоматически в группу потенциальных олимпийцев, но повышает его шансы развить спринтерские качества. А вот носители генов 577X, возможно, более выносливы и могут иметь преимущество в беге на длинные дистанции.

Для работы мышц очень важен и ген DMD, кодирующий структурный белок мышечных клеток – *дистрофин*. Известны мутации, нарушающие работу этого гена, которые приводят к мышечной дистрофии (редкое генетическое заболевание), а также мутации, улучшающие его работу. Сравнение генетических профилей спортсменов показало, что вариант гена DMD, повышающий его активность, чаще встречается у тех спортсменов, для кого более важна сила, а не выносливость.

Для управления работой сердца и системами энергообеспечения важную роль играет гормональная регуляция. Так, гормоны *адреналин* и *норадреналин* повышают частоту сердечных сокращений, а связываясь со своими клеточными рецепторами, они мобилизуют запасы жиров для получения энергии. Оказалось, что носителям некоторых вариантов генов ADRB2 и ADRB3, кодирующих эти рецепторы, для стимуляции сжигания жира нужны большие дозы адреналина, чем обычно. Этим спортсменам с «энергосберегающим» типом метаболизма требуются тренировки переменной интенсивности – так называемые «интервальные».

Как известно, при тренировках происходит постепенная гипертрофия сердечной мышцы (*миокарда*), что способствует увеличению сердечного выброса. С одной стороны, это может повышать выносливость, с другой – представлять опасность: гипертрофированный

### ВЕТО НА «БЫСТРЫЕ» КРОССОВКИ

Международная ассоциация легкой атлетики в преддверии летней Олимпиады в Токио запретила спортсменам использовать спортивную обувь, созданную по новым технологиям, вплоть до окончания Олимпиады. Поводом к такому решению послужили результаты расследования мирового рекорда в марафоне, который в 2019 г. установил кенийский бегун Э. Кипчоге, пробежавший дистанцию менее чем за два часа. На ногах бегуна были кроссовки *Vaporfly Alphas* производства *Nike*, уже названные «технологическим допингом». Попыты показали, что за счет эффекта пружины и высокой устойчивости спортсмен может пробежать дистанцию на 5% быстрее. В спорте, где от победы зачастую отделяют доли секунды, это очень много.

Опасаясь, что решающим победным фактором в беге будет не физическая готовность спортсменов, а достоинства его обуви, Ассоциация запретила спортсменам с апреля 2021 г. использовать не только эти злополучные кроссовки, но и любую спортивную обувь, которая находилась в открытой продаже менее 4 месяцев. В будущем планируется контролировать каждого атлета, чья обувь будет вызывать подозрение в легитимности.

Кстати сказать, «технологический допинг» в спорте встречается далеко не впервые. К примеру, 98% всех медалей в плавании на Олимпиаде в Пекине в 2008 г. завоевали спортсмены, одетые в специальные плавательные костюмы *LZR Racer*. С помощью такой экипировки, уменьшавшей сопротивление воды, было побито 23 мировых рекорда в плавании. Через год эти костюмы официально запретили



© Fellya

**Примеры влияния разных генетических вариантов на характеристики организма показывают, что они определяют наши возможности не только в спорте, но и в других видах деятельности. Так что стоит поинтересоваться своим геномом, выбрав надежную компанию и грамотного специалиста, который поможет расшифровать результаты анализов.**

**Если говорить о спорте, то желательно дополнительно пройти обследования для оценки состояния организма в спортивном диспансере, при этом список необходимых диагностических процедур зависит от пола, возраста и цели – тренировки или участие в соревнованиях.**

**Один из важных тестов для тех, кто начинает спортивные занятия после 50 лет, – Тредмил, исследование состояния сердца при физической нагрузке для оценки сердечного ритма и артериального давления. В случае выявления противопоказаний кардиолог разработает стратегию их устранения и определит безопасный уровень интенсивности тренировок**



миокард требует более интенсивного кровоснабжения, что может повышать риск инфаркта у людей с нарушением обмена холестерина, в том числе генетически обусловленным. Большой риск гипертрофии как миокарда, так и скелетных мышц имеют носители мутации Del/Ins в регуляторной области гена ACE, кодирующего ангиотензинпревращающий фермент.

Важнейший показатель марафонца – максимальный объем поглощенного кислорода  $VO_{2max}$  – зависит от возможностей организма поглощать кислород и доставлять его в органы и ткани. Росту капиллярной сети в мышцах (и, соответственно, интенсивности кровотока), а также числа митохондрий (клеточных органелл, где синтезируется АТФ) способствует так называемый «фактор, индуцируемый гипоксией» – белковый продукт гена HIF-1. Когда содержание кислорода в крови и мышцах снижается из-за физической нагрузки или подъема на высоту, этот белок активизирует работу группы генов, усиливающих транспорт кислорода в ткани. Изменчивость гена HIF-1 связана с возможностью индивида справляться с гипоксией.

Генетический анализ может помочь не только в составлении режима тренировок, но и при профилактике возможных заболеваний спортсмена. Так, риск травматизации связочного аппарата возрастает при наличии наследственных факторов, способствующих формированию менее прочных коллагеновых волокон.

Речь идет о группе системных заболеваний соединительной ткани – дисплазии, или коллагенопатии. Одним из генетических маркеров этой патологии является дефицит коллагена 5-го типа, который кодируется геном COL1A5. Мутации в этом гене ассоциированы с развитием воспаления ахиллова сухожилия при интенсивных тренировках. А риск разрыва крестообразных связок коленного сустава повышается в случае носительства неблагоприятного варианта гена MMP12. При недостаточности крепких связок для поддержания здоровья, профилактики сколиоза и патологии суставов особенно необходимы укрепление мышечного каркаса и регулярные физические нагрузки умеренной интенсивности.

Бегуны в национальном парке Долина смерти (Калифорния, США). © Giuseppe Milo

### КТО ОН – ПОБЕДИТЕЛЬ?

Темперамент и целеустремленность спортсмена, его агрессивность зависят от множества факторов, включая химию мозга, окружающую среду и генетику. С эволюционной точки зрения агрессивное поведение способствует решению многих задач, важных для выживания, так что склонность к агрессии глубоко укоренилась в наследственности человека.

Свойства нервной системы, определяющие агрессивность, связаны с уровнем нейромедиаторов: катехоламинов (адреналина, норадреналина, дофамина), серотонина и др. Именно они определяют нашу скорость и характер реакции на внешние факторы, настроение и сон, тонус сосудов и рефлекс.

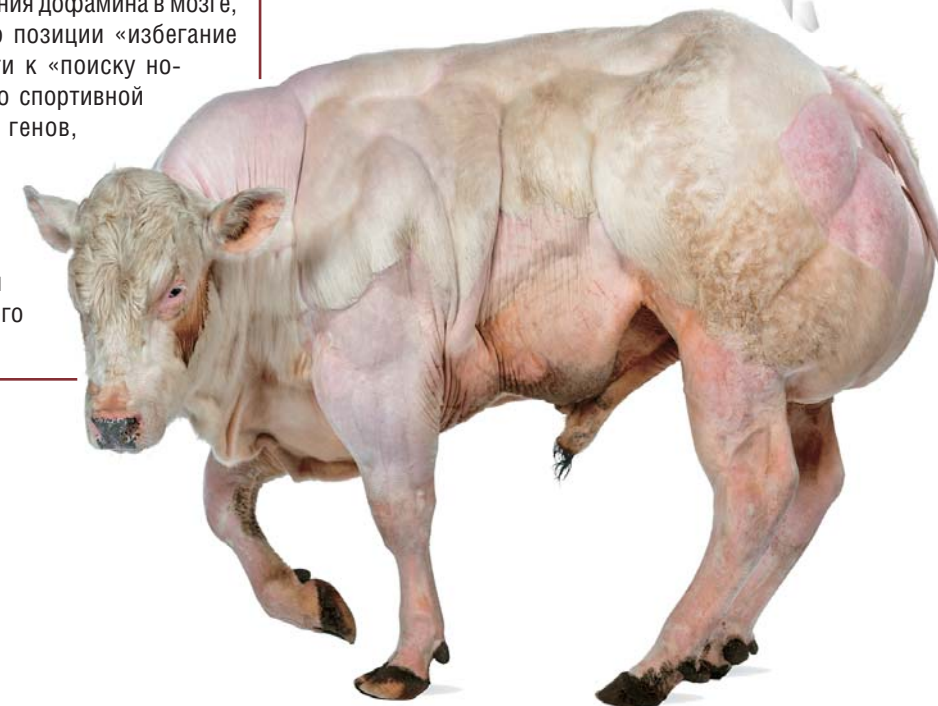
Норадреналин и дофамин снижают порог агрессивного ответа на раздражители окружающей среды. За разрушение этих нейротрансмиттеров в мозге ответственны два фермента: MAOA и COMT соответственно.

Низкая активность MAOA ассоциирована с повышенным уровнем агрессии на внешние раздражители. А низкая активность работы COMT приводит к снижению стрессоустойчивости, повышению чувствительности к боли и эмоциональной лабильности. В этом случае человек может получать больше удовольствия от жизни, но при этом увеличивается разброс эмоций и повышается риск возникновения алкогольной и никотиновой зависимостей (аддикций). Повышение активности работы COMT приводит к обратным результатам.

С формированием зависимостей связан и полиморфизм в регуляторной области гена DRD2, сопровождающийся уменьшением числа сайтов связывания дофамина в мозге, что приводит также к ослаблению позиции «избегание ущерба» и повышению склонности к «поиску новизны». При этом исследования по спортивной генетике показали, что варианты генов, ассоциированные с аддикцией, повышают вероятность добиться более высоких достижений в спорте за счет азарта, получения более сильных положительных эмоций от тренировок и более выраженного желания победить



«Сенечка, тебе определили способности к футболу? Это только некие «предрасположенности»! Я знаю людей, генетически совершенно не предрасположенных к умственной деятельности. Но они становятся ректорами университетов, президентами и руководят мировой экономикой. И я знаю умнейших людей, генетически предрасположенных быть гениями, которые с трудом зарабатывают себе на хлеб. Ты не будешь бегать с этими бездельниками футболистами по двору и огорчать свою маму. Ты будешь ходить в музыкальную школу и станешь известным скрипачом!»



Мышцы этого восьмимесячного быка породы бельгийская голубая почти вдвое больше, чем у обычных собратьев, благодаря блокировке гена, регулирующего синтез миостатина – белка, подавляющего рост мышечных тканей после определенного предела. © Eric Isselee



### МАРАФОНЦЫ-ЭКСТРЕМАЛЫ

Марафонская дистанция по плечу любому хорошо подготовленному человеку без серьезных заболеваний. Это подтверждают примеры людей, которые стали марафонцами, хотя в них трудно было предположить способности к подобным нагрузкам.

Эмбер Миллер пробежала полную дистанцию на марафоне в Чикаго в 2011 г., будучи на 39-й неделе беременности. Ее результат – 6 ч. 25 мин. и дочь, родившаяся почти сразу после прихода к финишу. Сумоист Келли Гнейтинг весом 204 кг успешно пробежал марафон в Лос-Анджелесе в 2011 г., пусть и не быстро – за 11 ч. 52 мин. Фауджа Сингх пробежал марафон в Гонконге в 2011 г. за 8 ч. 11 мин. в возрасте 101(!) год.

От взрослых не отстают и дети. Шестилетняя Килан Гласс пробежала полумарафонскую дистанцию в Техасе за 2 ч. 47 мин. А восьмилетняя Чжан Хуэйминь в 2007 г. преодолела супермарафонскую дистанцию в 3558 км через Китай за 55 дней.

Но абсолютным чемпионом среди марафонцев-экстремалов следует считать бельгийца Стефана Энгельса. В возрасте 49 лет он в течение года каждый день пробегал марафонскую дистанцию: 365 марафонов за 365 дней, 15 тыс. км через семь стран. Самое примечательное, что в детстве у него диагностировали астму и рекомендовали ни в коем случае не заниматься спортом!

Так кому можно бежать марафон?

Люди, чьи генетические особенности способны обеспечить высокую выносливость, могут без опасений выбрать для себя любую специализацию, в том числе бег на большие дистанции.

Но что делать тем, кому гены не обещают великих побед в беге? Делать то же самое – бегать! Бегать можно и нужно всем – чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть на список необычных участников марафонских забегов. Марафон доступен всем, нужно только правильно тренироваться и не стремиться к разрушающим организм непосильным нагрузкам.

Авторы этой статьи не являются сторонниками профессионального спорта – «спорт высоких достижений» не имеет никакого отношения к здоровью. Научные исследования и практика показывают, что бегать полезно всем, но и чрезмерно перенапрягаться никому не стоит.

Совет от умных людей для тех, кто хочет бегать и при этом быть здоровым: пройдите цикл подготовительных тренировок и участвуйте в марафонском забеге, но бегите в своем темпе, не старайтесь быть первым. Ведь главное здесь – не победа: говоря словами американской телеведущей Опры Уинфри, «бег – это величайшая метафора для жизни, потому что ты получаешь от него столько же, сколько в него вкладываешь».



© skynesher

### Литература

Ahmetov I.I., Fedotovskaya O.N. *Current Progress in Sports Genomics // Adv. Clin. Chem.* 2015. V. 70. P. 247–314.  
 Brace A.W., George K., Lovell G.P. *Mental toughness and Self-efficacy of Elite Ultramarathon Runners // PLoS ONE.* 2020. V. 15(11). P. e0241284.  
 Caret M., Dalip V., Yildirim D.S. *Genetics and Athletic Performance // Research in Physical Education, Sport and Health.* 2020. V. 9. N. 2. P. 65–76.

Higdon H. *The Ultimate Training Guide: Advice, Plans, and Programs for Half and Full Marathons.* Rodale Books New York, 2020. 352 p.

Hiller W.D., O'Toole M.L., Fortess E.E., et al. *Medical and Physiological Considerations in Triathlons // Am. J. Sports Med.* 1987. V. 15. P. 164–167.

Kerksick C.M., Arent S., et al. *International society of sports nutrition position stand: nutrient timing // Journal of the International Society of Sports Nutrition.* 2017. V. 14. P. 33–53.

Knechtle B., Nikolaidis P.T. *Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running // Front. Physiol.* 2018. V. 9. P. 634.

Papadimitriou I.D., Lockey S.J., Voisin S., et al. *No Association between ACTN3 R577X and ACE I/D Polymorphisms and Endurance Running Times in 698 Caucasian Athletes // BMC Genomics.* 2018. V. 19(1). P. 13.

Pickering C., Kiely J. *ACTN3: More than Just a Gene for Speed // Front. Physiol.* 2017. V. 8. P. 1080.

Rapoport B.I. *Metabolic Factors Limiting Performance in Marathon Runners // PLoS Comput. Biol.* 2010. V. 6(10). P. e1000960.

Sjodin B., Svendsen J. *Applied Physiology of Marathon Running // Sports Medicine.* 1985. V. 2. P. 83–99.