
Новый взгляд на физику и физиологию бега

Таскаева Людмила Петровна

учитель физики и астрономии высшей категории №14 г. Гомеля, Беларусь

E-mail: sunny-tank@mail.ru

Бег — один из самых популярных способов локомоции (передвижения).

Ни один из видов спорта не оброс такими мифами, противоречиями и полезными секретами успешного и лёгкого финиширования, как бег. И если некоторые вопросы уже давно полностью прояснены—про низкий старт и шиповки для увеличения силы трения не знает, пожалуй, только ленивый, то некоторые аспекты бега до сих пор вызывают много противоречий— для успешности мероприятия лучше бегать через пятку или через переднюю часть стопы? А как будет полезнее для здоровья? Отдельным неизведанным для новичка аспектом в мире бега становится подбор «правильной обуви» в условиях массивированной рекламы различных кроссовок с амортизирующей системой, скрытой в пятке. Мы задались целью проверить правдивость рекламы. В нашей работе уделено также особое внимание наиболее распространённым беговым травмам с научной точки зрения, т.к. в медиапространстве по данному материалу фигурируют только расплывчатые понятия об их происхождении, такие как: «колени бегуна—это чёрная дыра ортопедии» или же высказывание о том, что воспаление надкостницы возникает от того, что вы много бегали—поэтому травмировались.

1. Бег с точки зрения эффективного достижения результатов.

– Влияние кроссовок на результат.

Кроссовки в современном виде—с толстой подошвой и перепадом пятка-носок появились на рынке в начале 70-х, на волне популяризации бега и, соответственно, роста конкуренции среди брендов-производителей обуви. История фирмы Наик началась с экспорта японских кроссовок (будущий Asics). После их размолвки Наик решил производить свои кроссовки. Но как их было вывести на рынок в условиях высокой конкуренции, ведь цветочное и дизайнерское решение—это не мощное конкурентное преимущество. И в Наик придумали, заявив, что в их кроссовках вы побежите быстрее!

«Научностью» оправдали спрос, цену и интерес, амортизация стала определяющим потребительским свойством. До 70-х годов классической обувью для бега считалась обувь на низкой подошве и только с изобретением толстой амортизирующей подошвы с перепадом уровня пятка-носок бег в таких кроссовках стал называться «классическим», однако... на данный момент ему нет и 50 лет...

– Влияние техники бега на результат.

При беге на пятку имеется отчётливый первый пик силы контакта с землёй, называемый первым ударом, а затем в фазе контакта с землёй—второй пик, называемый активным пиком. Во время бега на переднюю часть стопы (т.е. когда головки плюсневых костей первыми касаются поверхности земли) нет видимого первого пикового удара, но будет активный пик. Т.е. бег с ударом в середину или переднюю часть стопы существенно уменьшает появление вертикального пикового удара, т.е. уменьшает потери скорости на колебания по вертикали по сравнению с бегом на пятку. Попросту говоря, при беге на переднюю часть стопы вы меньше подпрыгиваете, теряя драгоценный кислород, а шаг становится более «стелющимся». Ссылки на это исследование приводит журнал *Medicine and science in sport and exercise* за 2015 год [5] [6], (рис 1)

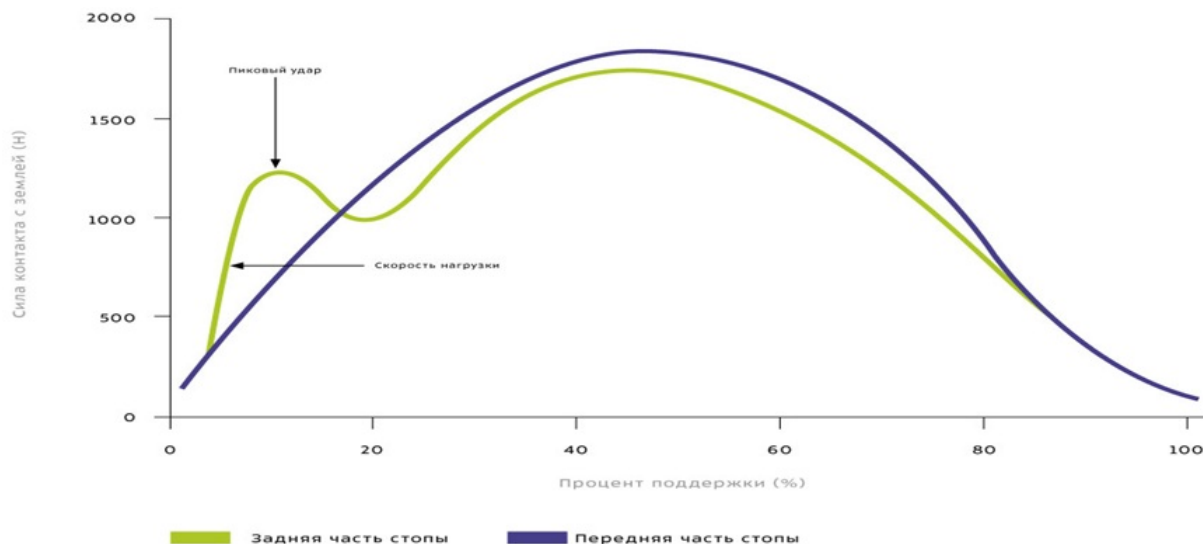


Рисунок 1. Графическое отображение пиков бега при различной технике постановки стопы.

Если говорить на языке обывателя, при беге через пятку—стопа выносится далеко вперед от центра тяжести бегуна (который располагается чуть ниже пупка), ломается прямая линия тела (рис.2) и каждое приземление сопровождается дополнительным микроторможением-вколачиванием, что также плохо сказывается на здоровье.



Рисунок 2. Излом прямой линии тела при беге через пятку

Выходит, что даже с точки зрения техники бега—бег с пятки проигрышный вариант. Но это теория.

А теперь к практике!

Дано: спортсмен-любитель, 4 дня исследований, 50-метровая асфальтированная стадионная дистанция, две пары кроссовок—на плоской и толстой амортизирующей подошве (рис.3), десять попыток на результат (с обязательным подсчетом каденса, т.е. частоты шага) в каждой из пары кроссовок различная методика бега: через пятку и приземлением на переднюю часть стопы.



Рисунок 3. Две пары кроссовок эксперимента—на толстой подошве с амортизирующей системой в пятке и на тонкой прорезиненной подошве.

Результаты:

Таблица 1 и 2: Время попыток бега «на результат» различными техниками и в различной обуви дистанции в 50 метров.

Бег в кроссовках с толстой подошвой (день 1 и день 2 исследований)	
Техника "с пятки", с	Техника «на переднюю часть стопы», с
1. 10,59	1. 9,88
2. 9,92	2. 10,14
3. 9,48	3. 9,49
4. 9,99	4. 9,92
5. 9,37	5. 9,83
6. 9,59	6. 9,45
7. 10,54	7. 10,11
8. 9,95	8. 9,53
9. 11,04	9. 9,82
10. 9,95	10. 10,17
Среднее 10,036	Среднее 9,834

Бег в кроссовках на тонкой подошве (день 3 и день 4 исследований)	
Техника "с пятки", с	Техника «на переднюю часть стопы», с
1. 10,37	1. 9,38
2. 9,79	2. 8,93

3. 9,69	3. 9,32
4. 10,15	4. 9,34
5. 9,88	5. 9,42
6. 9,80	6. 8,91
7. 9,74	7. 9,29
8. 9,77	8. 9,21
9. 9,67	9. 8,95
10. 9,78	10. 9,35
Среднее 9,863	Среднее 9,21

А теперь, исходя из средних данных времени, рассчитаем скорость перемещения: $V = S/\Delta t$.

Таблица 3. Наглядные результаты скорости при беге различными техниками и в различной обуви дистанции на 50 метров.

Техника	Скорость(Толстая подошва) м/с	Скорость(Тонкая подошва) м/с
«с пятки»	4,982	5,069
"на переднюю часть стопы"	5,084	5,429

Выводы: **При технике бега на переднюю часть стопы результат в любом случае лучше** по скоростным характеристикам, чем при технике бега с пятки.

При беге в кроссовках на тонкой подошве результат в любом случае лучше по скоростным характеристикам, чем при беге в кроссовках на толстой подошве с амортизирующей системой, скрытой в пятке.

Самый лучший результат—бег в кроссовках на тонкой подошве техникой на переднюю часть стопы.

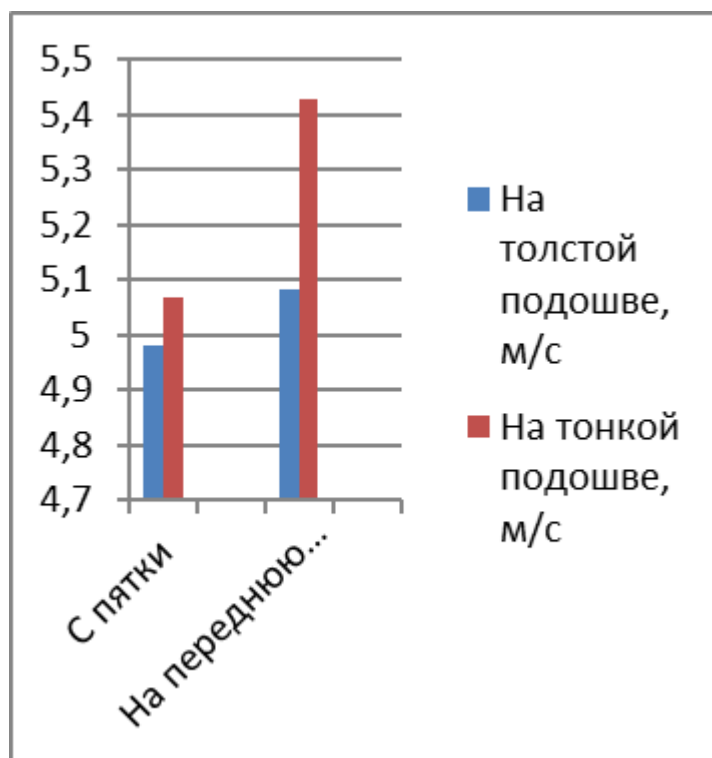
Таблицы 4 и 5—каденс при различной технике бега в разных видах обуви.

Каденс в кроссовках с толстой подошвой	
Техника " с пятки«, шагов	Техника «на переднюю часть стопы», шагов
1. 32	1. 35
2. 33	2. 33
3. 35	3. 35
4. 31	4. 35
5. 35	5. 35
6. 31	6. 36
7. 32	7. 34
8. 35	8. 35
9. 30	9. 34

10.33	10.32
Среднее 32,7	Среднее 34,4

Каденс в кроссовках на тонкой подошве	
Техника " с пятки«, шагов	Техника «на переднюю часть стопы», шагов
1. 32	1. 35
2. 33	2. 36
3. 34	3. 35
4. 34	4. 35
5. 33	5. 34
6. 33	6. 36
7. 35	7. 35
8. 33	8. 35
9. 33	9. 36
10.33	10. 34
Среднее 33,3	Среднее 35,1

Скорость бега, м/с



Каденс, шагов

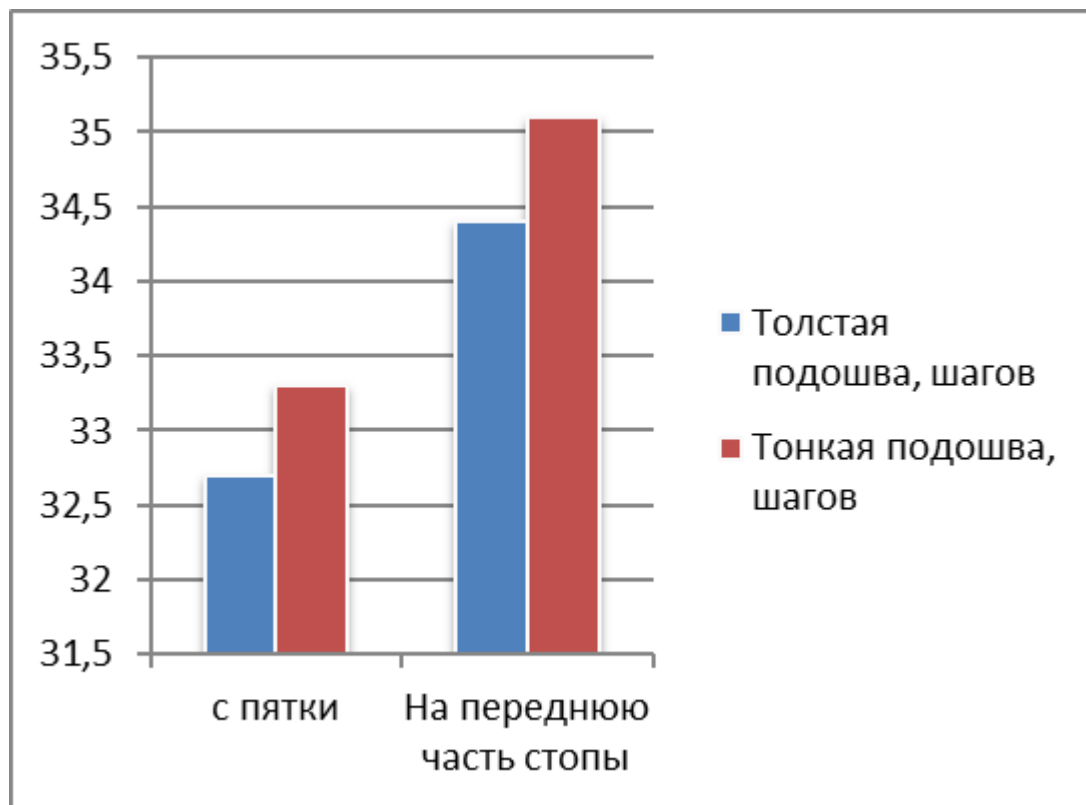


Рис.4 Наглядная зависимость быстроты результата от каденса

Практические выводы по первой части работы— бег с физической точки зрения эффективного достижения результатов:

– После практической части работы, мы убеждены, что **кроссовки с толстой подошвой по большей части лишь маркетинговый ход!**

– Если вы хотите бежать быстрее,— **выбирайте кроссовки на тонкой подошве!** И вот почему:

1)они легче сами по себе 2) в них удобнее (физиологичнее) постановка техники бега на переднюю часть стопы.

– Бегайте техникой постановки ноги на переднюю часть стопы!

1) данная техника уменьшает потери скорости на колебания по вертикали.

2) в них реальнее достичь высокого каденса, который на прямую связан с выигрышем в скорости.

3) стопа при более высоком каденсе ставится близ центра тяжести тела, в отличие от бега через пятку, где она выносится далеко за его пределы и каждый шаг сопровождается вынужденным микроторможением.

2. Бег с точки зрения здоровья.

– Влияние техники постановки стопы на здоровье и травматизацию.

У каждого популярного бегоблоггера есть ролик про беговые травмы, однако, практически нигде не освещены причины появления данных травм, обычно просто говорится: «Вы много бегали —поэтому травмировались...». Исследование о самых часто встречаемых травмах бегунов проводили американские медики Дуг Джексон и Джон Пальяно: в течение 10 лет они обследовали 3273 травмированных бегуна различного уровня подготовки. Их вердикт—наиболее часто встречаемые травмы: колено бегуна и воспаление надкостницы, а самые редкие травмы—стресс-

переломы и воспаление ахиллового сухожилия [3].

Мы хотим осветить механизм наиболее частых травм бегунов—воспаления надкостницы и «колена бегуна» с точки зрения физики и медицины в нашей работе.

Сухожилия любой мышцы крепятся к костям, покрытым надкостницей, что важно для понимания зависимости перегрузки мышц и возникающего за ним воспаления надкостницы—живой ткани, покрывающей и питающей кость.

При постановке стопы на пятку, в биомеханике бегового движения задействована передняя большеберцовая мышца, которая занимает лишь 1/3 пространства голени. Сухожилия данной мышцы достаточно слабые—берут своё начало от нижней трети голени и прикрепляется к центру подъёма стопы. При беге она обеспечивает тыльное разгибание стопы (а именно—постановку ноги на пятку).

Мышцы задней группы формируют два слоя — поверхностный и глубокий. Более сильно развита поверхностно лежащая трехглавая мышца голени, которая создает характерную для человека округлость голени, она состоит из двух мышц: икроножной и камбаловидной, лежащей под икроножной мышцей. На середине голени толстое сухожилие икроножной мышцы суживается и сливается с сухожилием камбаловидной мышцы, формируя единое пяточное (ахиллово) сухожилие (*tendo calcaneus, s. Achilli*), которое прикрепляется к пяточному бугру. Данное сухожилие (ахиллово) является самым прочным и выносливым сухожилием в организме человека [1].

Задняя группа мышц—основная, которая задействована в постановке ноги на переднюю часть стопы при беге. Также задняя группа мышц занимает 2/3 окружности голени по объёму.

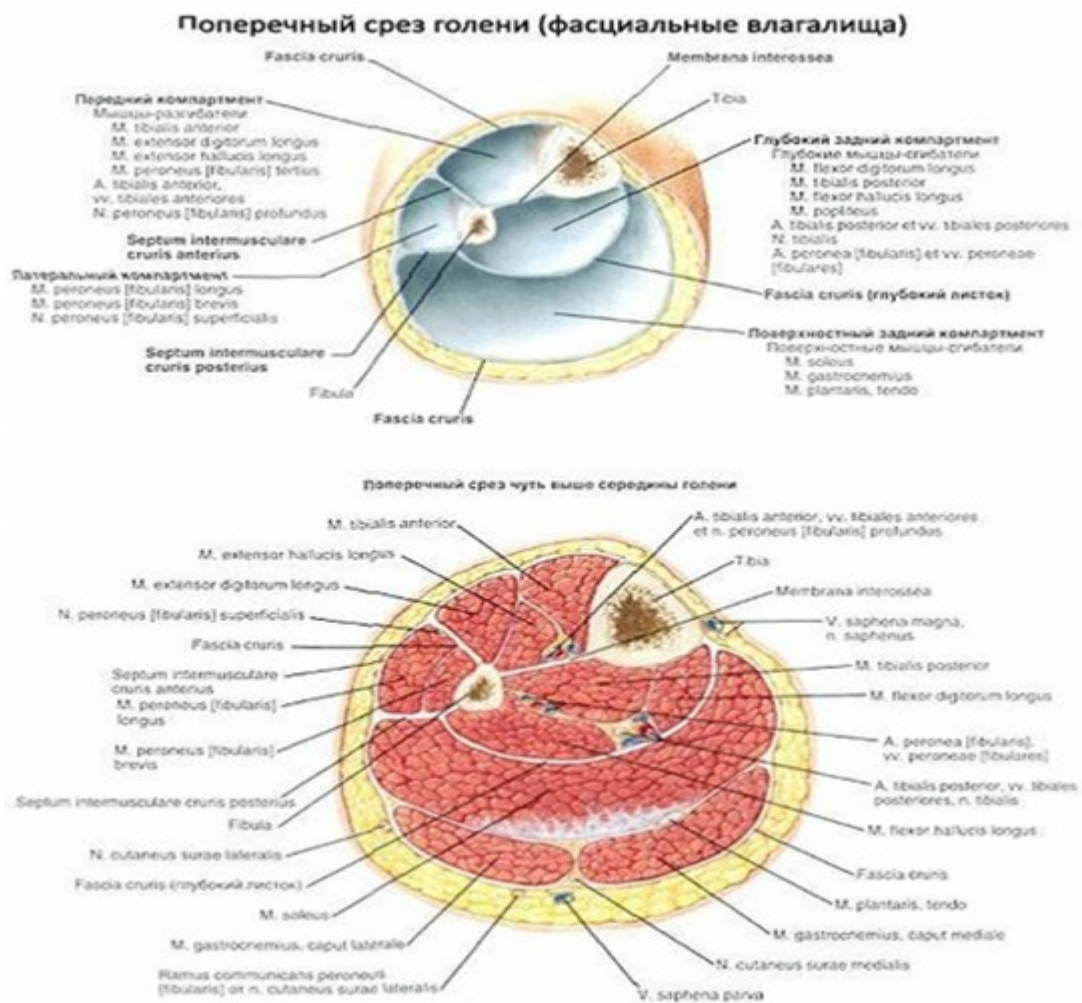


Рисунок 5. Соотношение передней и задней группы мышц (1/3 к 2/3) наглядно, при поперечном

срезе голени [4].

Почему важно знать поперечное сечение групп мышц? Потому что, чем больше площадь сечения мышц, тем мышцы сильнее.

Теперь рассчитаем давление на стопу в разных типах обуви при разных техниках постановки стопы.

В качестве маркера для подошв обуви использовался чёрный крем для обуви. Для подсчёта площади соприкосновения мы взяли миллиметровую бумагу, площадь соприкосновения рассчитывали по формуле Пика: общая площадь равна: сумма полных квадратов+ сумма неполных квадратов)/2. За единичный квадрат мы приняли формат 5*5 мм, т.е. 25 мм².

Давление на опорную часть стопы рассчитываем по формуле: $p = mg/S$.

Что из этого получилось отражено на рисунке 6:

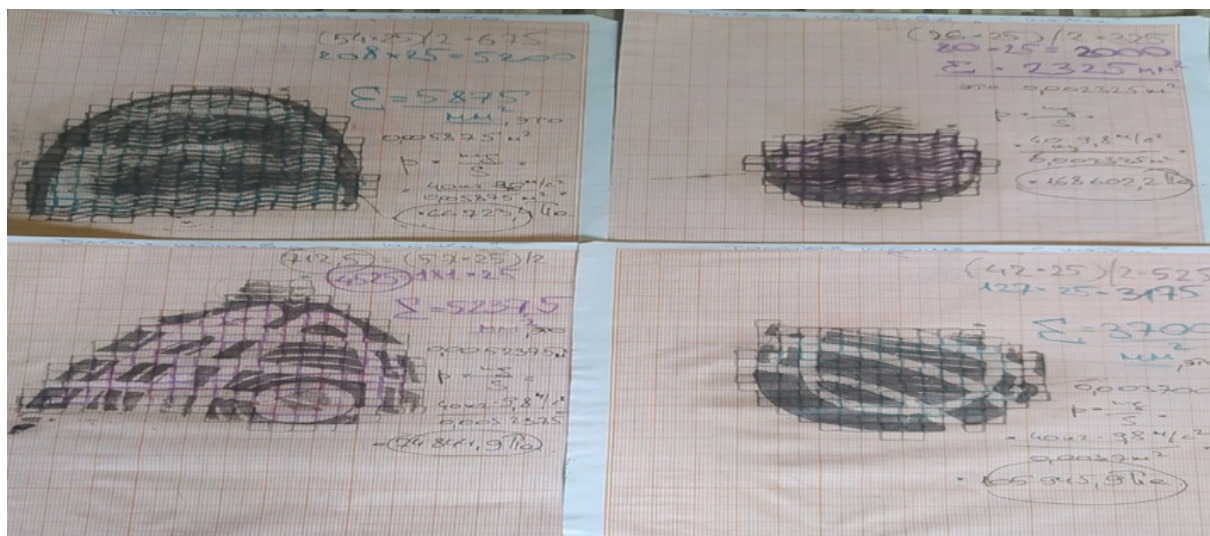


Рисунок 6: Фото эксперимента по нахождению площади контакта опорной части кроссовок с поверхностью при различных техниках бега.

Таблица 6. Давление на опорную часть стопы при различных техниках бега в различной обуви, Па.

Техника бега	Кроссовки с толстой подошвой	Кроссовки с тонкой подошвой	Среднее арифметическое давления.
«на переднюю часть стопы»	74844,9	66723,4	70784
«на пятку»	105945,9	168602,2	137274

Вывод: Давление при постановке ноги на пятку в 1,94 раза больше, чем при постановке ноги на переднюю часть стопы! Т.е. человек испытывает практически двойную нагрузку при беге через пятку!

Распределим полученные результаты давления при соприкосновении опорной частью стопы с землёй на мышцы передней и задней трети голени, зная, что передняя большеберцовая мышца занимает 1/3 окружности голени, а задняя группа мышц оставшиеся 2/3 объёма.

Давление обратно пропорционально площади опоры, в данном случае— сечению мышц.

При беге через переднюю часть стопы суммарное давление 70784 Па.

На слабую переднюю большеберцовую мышцу ложится 2/3 нагрузки—47189,3 Па, в то время как на мощную заднюю группу мышц голени лишь 1/3 нагрузки—23594,7 Па.

При беге через пятку мышцы перегружаются ещё больше, т.к. суммарное давление 137274 Па.

На слабую переднюю большеберцовую мышцу ложится 2/3 нагрузки—91516 Па, в то время как на мощную заднюю группу мышц голени лишь 1/3 нагрузки—45758 Па.

Вывод: в любом случае эксперимента, бег через пятку серьёзно перегружает переднюю большеберцовую мышцу, что приводит к самой распространённой травме бегунов—воспалению надкостницы!

У второй самой распространённой травмы бегунов— колена бегуна—в основе кроется та же самая причина.

Вспомним также указанный ранее излом линии тела (рис.2): при беге через пятку—стопа выносится далеко вперёд от центра тяжести бегуна (который располагается чуть ниже пупка), ломается прямая линия тела и каждое приземление сопровождается не только дополнительным микроторможением, но и **дополнительной ударной нагрузкой по типу вколачивания на кость и её живую часть—надкостницу, приводящей к её воспалению.**

– Влияние типа кроссовок на здоровье.

В ходе эволюции стопа человека выработала механизм жёсткости для успешной ходьбы на двух ногах. Это изменило наше понимание биомеханики стопы в процессе бега, показав, что продольная арка стопы функционирует как энергосберегающая пружина.

Бегущий человек, по сути, представляет собой подпружиненный перевёрнутый маятник (рис.7), в котором центр массы тела «падает» в первой фазе движения, растягивая сухожилия нижних конечностей, которые накапливают энергию при сгибании суставов. Во второй фазе движения накопленная энергия возвращается, помогая продвигать центр массы тела вверх и вперёд и одновременно экономя механическую энергию. Сжатие продольной арки стопы под нагрузкой обеспечивает уникальный механизм экономии энергии за счёт растяжения упругих конструкций в нашей стопе, которые при отталкивании возвращают эту накопленную энергию. Впервые этот феномен был продемонстрирован в 1987 году. Стопы человека с помощью специальной аппаратуры нагружались, создавая нагрузку на свод стопы, схожую с испытываемой человеком при беге со скоростью 4,5 м/с. Измеряя движение продольной арки во время этих циклов, авторы оценили, что энергия, «сэкономленная» пружинным механизмом арки свода стопы, составляет приблизительно 17% от энергии, необходимой для поддержания веса тела во время бега.

Последние данные подтверждают, что пружинная модель человеческой стопы играет важнейшую роль при беге, но не при ходьбе, и это имеет важное значение для понимания адаптивного значения формирования продольной арки в ходе эволюции. Скорее всего, основным преимуществом такой конструкции стопы может быть обеспечение возможности накопления и последующей отдачи упругой энергии во время бега.

Данная пружинная конструкция реализует полностью свою положительную функцию на благо здоровья только, если приземление во время бега осуществляется на переднюю часть стопы.

Кроссовки на толстой подошве с амортизирующей системой в пятке в корне меняют биомеханику бега, лишая стопу возможности правильно и физиологично функционировать, а это, вдумайтесь, 28 костей и 20 суставов, обладающие 24 степенями подвижности, а также мышцы,

сухожилия и связки стопы, из которых в кроссовках на толстой подошве с амортизирующей системой в пятке полноценно может функционировать лишь один сустав—голеностопный. Будьте здоровы!

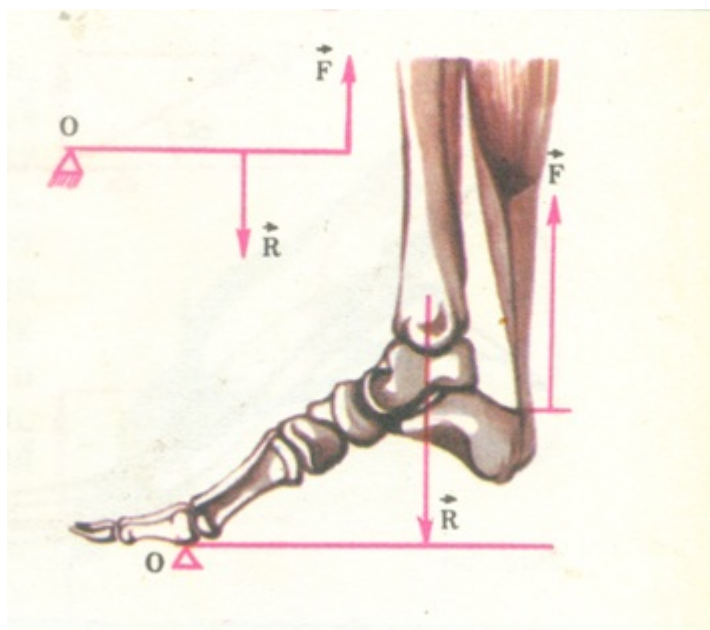


Рис.7 Стопа как амортизирующая система.

Опора O , через которую проходит ось вращения—это головки плюсневых костей (та самая передняя часть стопы, необходимая для успешного функционирования стопы как пружины в процессе бега), преодолеваемая сила R —вес всего тела—приложена к таранной кости. Действующая мышечная сила F , осуществляющая подъем тела, передаётся через ахиллово сухожилие и приложена к выступу пяточной кости [2].

Список использованных источников

1. Анук, М. Анатомия мышц голени [Электронный ресурс]. —Режим доступа: https://ilive.com.ua/health/myshcy-goleni_110328i16011.html. — Дата доступа: 25.06.2018
2. Варикаш, В.М. Физика в живой природе / Б.А. Кимбар, И.М. Варикаш. —Минск: НАРОДНАЯ АСВЕТА, 2016.
3. Джексон, Д. Природа различных беговых травм и причины, их вызывающие / Д. Пальяно // Лёгкая атлетика.— 1988.
4. Синельников, Р. Д. Атлас анатомии человека: в 4 т. —Т.1.— М.: МЕДИЦИНА, 2003.
5. Суборов, Е. Бег с носка или пятки? Что это такое и чем грозит [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sport-marafon.ru/article/beg/beg-s-noska-ili-pyatki-cto-eto-takoe-i-chem-grozit/>. — Дата доступа: 01.11.2019
6. Esculier, Dubois, Dionne, Leblond & Roy / Minimalist shoes do not absorb the impact of striking the ground in the same manner as cushioned shoes / Hamill, Russell, Gruber & Miller, Squadrone, Rodano, Hamill & Preatoni / Consequently, it may be painful and economically inconvenient for the runner to maintain a rearfoot strike at high speed for a long time // Medicine and science in sport and exercise, 2015 [Электронный ресурс].—Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/254237004_Impact_characteristics_in_shod_and_barefoot_runni.