

Техника бега: новый взгляд на старую проблему

Николай Романов

АННОТАЦИЯ

Цель. Рассмотреть эволюцию взглядов на биомеханические аспекты техники бега для построения оптимальной методики.

Методы. Анализ и обобщение научно-методической литературы, опрос спортсменов и тренеров.

Результаты. Рассмотрены биомеханические аспекты эволюции взглядов на технику бега с критикой несостоятельности некоторых общепринятых положений и моделей механизма движений, недостаточных для ясного понимания и построения оптимальной техники бега. Предлагаются новые концепции техники бега: Позы и силы тяжести, объясняющие основные «парадоксы» и позволяющие построить более эффективную модель и метод обучения на единой методологической основе.

Заключение. Концепции Позы и силы тяжести позволяют рассматривать бег на едином основании как одну и ту же технику с единым механизмом без разделения по скорости и специфичности. Такой подход позволяет унифицировать систему обучения технике бега, ее анализа, исправления ошибок, предупреждения травматизма на основе единого и фундаментального стандарта – силы гравитации.

Ключевые слова: биомеханика, техника бега, модель, метод, обучение, поза, гравитация.

ABSTRACT

Objective. To examine the evolution of views on biomechanical aspects of running technique for building optimal running technique.

Methods. Analysis, comparison, matching, synthesis, polling.

Results. The paper discusses biomechanical aspects of evolution of views on running technique along with the critics of inconsistency of certain generally accepted statements and models of movement mechanism, which are insufficient for clear understanding and building optimal running technique. New concepts of running techniques are proposed: poses and gravity force explaining the main «paradoxes» and allowing to build more efficient model and teaching method on a common methodological basis.

Conclusion. Concepts of pose and gravity force allow to consider running on the common uniform basis as a single technique with a uniform mechanism without separation by speed and specificity. This approach allows ones unify system of running technique teaching, its analysis, error correction, and injury prevention on the basis of common and fundamental standard – gravity force.

Key words: biomechanics, running technique, model, method, teaching, pose, gravity.

«Пережившая период расцвета и дряхлая теория может разрушиться и выйти из строя, прежде всего, в том случае, когда она вступит в непримиримое противоречие с потоком новых фактов и отношений, выявляющихся в экспериментах» [6].

Приведенное высказывание профессора Н.А. Бернштейна звучит как нельзя актуально и в настоящее время и в полной мере относится к технике движения, являющейся основной темой данной статьи.

Казалось бы, нет ничего более простого, чем бег. Когда мы смотрим на движения мирового рекордсмена и олимпийского чемпиона в беге на короткие дистанции Усэйна Болта или выдающихся кенийских бегунов на длинные дистанции, нам кажется, что они воплощают это представление о простоте бега. Действительно, для элитных спортсменов, в самом первом приближении, свойственны какие-то общие характеристики эффективного бега [29], однако на уровне любителей эта общность практически размывается и превращается в индивидуальное разнообразие.

То, что элитные бегуны бегут «как надо», несколько не означает, что они «знают», как они бегают [28, 37]. В этой среде бытует понимание техники бега как нечто данное «от Бога», чему невозможно обучить [68].

Мнение большинства специалистов сводилось, по существу, к тому, что было высказано норвежским ученым, утверждавшим, что «не существует научно обоснованной и идеальной техники, подходящей для всех... Абсолютные утверждения о том, что «это правильно» или «это неправильно», только раскрывают недостаток знания тренера в оценке техники...» [58].

Если с первой частью этого утверждения можно согласиться, то это ни в коей мере не относится ко второй, поскольку тогда техника бега не имеет и даже не может иметь какого-либо стандарта, эталона и становится чем-то бесконечно варьируемым от одного бегуна к другому, и обучение превращается в непредсказуемый процесс.

О сомнительности такого подхода свидетельствует природа высокого травматизма бегунов всех уровней, как высококвалифицированных [2], так и любителей [35]. При этом

следует отметить, что это является практически прямым следствием игнорирования необходимости обучения технике бега, как это случилось, например, в США [26].

Неполное знание и понимание существа и закономерностей техники бега – давняя проблема, о которой еще в 1930-е годы выдающийся советский ученый профессор Н.А. Бернштейн писал, что «еще очень мало объективно известно о том, как именно протекает бег» [3]. 30 лет спустя известный английский ученый в области биомеханики спорта Н.Г. Dyson [32] вторил ему, что бег может считаться одновременно простым и трудным из-за его механической сложности. Позднее по этому поводу еще более определенно выразился профессор В.Т. Назаров, говоря, что: «налицо парадоксальная ситуация: имеется обильный фактический материал, обсуждаются тонкости движения, а достоверно не установлен основной механизм, благодаря которому человек перемещается по твердой поверхности» [14].

Во многих научных работах [24, 48] было накоплено огромное количество информации, которая, тем не менее, не привела к существенному прогрессу в создании общепринятой концепции и модели техники бега, вследствие чего осталась практически на описательном уровне. Оказалось, что «полученные данные почти невозможно приложить к совершенствованию спортивной техники» [14].

Простой факт, что один и тот же бег, observable разными людьми, предстает для них совершенно неодинаковым, кажется вполне понятным, поскольку эта разность видения, чувствования и восприятия бега во многом зависит от уровня знаний, опыта этих людей. Так, согласно исследованиям [7], проведенным среди тренеров, которым было предложено сделать оценку технических элементов бега в спринте, было обнаружено, что даже самые опытные тренеры показали низкий уровень зрительной оценки.

Укоренившийся миф о технике бега, что это простое и «естественное» упражнение, практически означающее, что мы знаем, как надо бегать, и, как следствие, нет никакой особой необходимости обучать этому, является в настоящее время, по нашему мнению, анахронизмом.

За этими представлениями стоят определенные и сообразно доминирующим взглядам истолкованные объективные факты. Так, например, общеизвестная модель: передний толчок–момент вертикали–задний толчок [8, 11, 15, 19, 39] построена на том, что ее главными постулатами являются активность и лидерство мышц, производящих усилия по продвижению совместно с маховыми движениями бегуна вперед. В этом свете, казалось бы, все наши ощущения – визуальные, тактильные и проприоцептивные – говорят в пользу этого предположения.

Однако сомнения в отношении отдельных положений и утверждений этой модели техники бегового шага высказывались довольно-таки давно [8, 15, 20], но стали особенно явными в последние годы [18], когда стало очевидным, что знания биомеханических аспектов бега отходят от того, что известно в целом о физических упражнениях [12]. Так, еще в 1970-х годах Д. Донской говорил, что «традиционное деление на названные фазы не имеет реального смысла для раскрытия механизма движений, так как не дает истинной картины взаимодействия тела человека с опорой» [8].

Какова истинная картина этих взаимодействий, так и не было найдено, что, естественно, вызвало проблемы в обучении, предупреждении травматизма, создании научной концепции и модели техники бега. Самым простым практическим решением при этом, при отсутствии модели, стандартов и концепции движения, казалось простое копирование техники выдающихся мастеров [23, 45].

Естественно предположить, что споры о том, должна ли быть и есть ли идеальная техника бега [23, 28], возникли не вчера и вряд ли утихнут в ближайшее время, если только не будет найдено и общепринято как общий знаменатель, что есть правильная техника и критерии для ее оценки. Коренной же вопрос о технике бега, как это известно, есть вопрос о том, как бегун перемещается вперед по поверхности [14].

Попытки сформулировать ответ на этот вопрос не изобилуют разнообразием и находятся в основном в пределах логики мышечных усилий, которые рассматриваются как источник движущих сил в беге [3, 11, 32]. Если мы рассматриваем наши движения как результат мышечных усилий спортсмена и оперируем этой логикой для объяснения их координации, идущей от нашего понимания, как они «должны» работать, хотя это и практически непредсказуемо, даже с опорой на современные данные научных исследований [21, 25], мы неминуемо

придем к ложным посылам. Д. Донской описал их следующим образом: «... теперь появилось столь же ошибочное представление о том, что движения исполняются только благодаря сокращению мышц» [10]. И если он прав, то каков же реальный механизм движений в беге?

Если движение человека есть результат взаимодействия внешних и внутренних сил, то, соответственно, встает вопрос о том, какие это силы и как происходит их взаимодействие. Каждая из них, казалось бы, имеет свое значение и функцию, место и логику использования, но в современной парадигме бега их сущность не совсем ясна. В частности, не ясно взаимодействие этих сил как системы, обеспечивающей продвижение вперед.

Список их короткий и включает силы гравитации, или силы тяжести, упругой деформации мышц и сухожилий, активных мышечных сокращений, реакции опоры, инерции, реактивных и сил трения, из которых последние четыре по определению не могут быть движущими [13]. Из оставшихся трех сила тяжести традиционно воспринималась только как нейтральная, не изменяющая горизонтальную скорость движения, но изменяющая его направление [16]. Таким образом, «активная» и доминирующая роль в движениях человека, кажется, без сомнения, принадлежит мышцам, но при этом образуется несколько серьезных противоречий для принятия такого предположения.

Согласно законам механики, тело перемещается внешними силами, тогда как внутренние силы (мышцы) перемещают части тела относительно друг друга и для изменения кинематического момента системы необходимо приложение внешней силы [8, 9]. В свете сказанного блестящее определение Н. Бернштейна: «... неоспоримо, что движение тем экономичнее, а следовательно, и рациональнее, чем в большей мере организм использует для его выполнения реактивные и внешние силы и чем меньше ему приходится приносить активных мышечных добавок» [5] может служить приемлемой и логичной основой для создания альтернативной модели и теории техники бега.

С этой точки зрения, вполне определенно следует, что сила тяжести и есть та, по его выражению, «даровая» сила, использование которой и должно было бы определять экономичность и рациональность движений. К сожалению, даже сам Н. Бернштейн не избежал противоречия в своем видении этой проблемы, говоря о ходьбе и беге и указывая, «... что никакого участия в этой динамике ни сила веса, ни работа опускания ОЦТ не принимают» [4].

Если принять это положение о «нейтральности» силы тяжести для горизонтальных перемещений бегуна, то действительно остается только «приоритет» мышечных усилий без особого вклада даровых сил. Соответственно техника бега, таким образом, несмотря на видимую простоту, будет представлять собой не очень понятную систему действующих сил без возможности объяснения многих парадоксов [18, 39, 50], связанных с работой мышц при отталкивании, частотой и длиной шагов, вертикальных колебаний ОЦМТ.

Электрмиографические исследования [27, 44, 46, 54, 57, 60, 65] мышц ноги в опорном периоде показали, что электрическая активность мышц, ответственных за разгибание коленного сустава, практически сразу исчезала после прохождения ОЦТ момента вертикали. Этот феномен стал известен как «парадокс разгибателей» [50]. Одновременно с этим происходило снижение вертикальной составляющей силы реакции опоры. Однако эти факты никогда не были объяснены. Хотя такое совпадение, как выключение электрической активности мышц и уменьшение вертикальной составляющей реакции опоры после прохождения ОЦТ вертикали, есть хороший повод для размышления о том, что же ускоряет тело при движении вперед.

Как известно, силы реакции опоры лишь отражают приложенные силы тяжести тела и ускорения ОЦТ [9, 52], но не ускоряют его движение. Тем не менее взгляды некоторых ученых, базирующихся на традиционной теории бега, построены на постулировании применения увеличенной силы реакции опоры (отталкивания) для увеличения ускорения центра масс [56, 69] и повышения скорости бега в результате большего приложения силы к опоре.

В других исследованиях [41] было обнаружено отсутствие преимущества в наличии большого вертикального импульса в фазе ускорения в спринте. Фактически самые быстрые бегуны развивали только относительно средние вертикальные импульсы. Более того, утверждение исследователей [41], что разгибание ноги при отталкивании с носка является причиной более высокого проталкивающего эффекта, противоречило обнаруженным данным, что эффект проталкивания связан со средними значениями скорости разгибания бедра [41, 71].

На ненужность и даже бесполезность разгибания опорной ноги было указано в нескольких работах [18, 20], вплоть до того, что некоторые авторы [12] пришли, правда с оговоркой об осторожности подхода, к выводу, «что вы-

прямление ноги в коленном и голеностопном суставах – это следствие отталкивания, а не его причина». Тогда в этом случае возникает вопрос: что же есть отталкивание?

Отвечая на этот вопрос, автор другой версии биомеханического обоснования техники бегового шага приходит к выводу, что «так как стопа жестко закреплена на дорожке трением и шипами туфель, то возникает момент силы в проксимальном сочленении – тазобедренном суставе. Этот момент силы вызывает продвижение таза (а вместе с ним и всего тела) вперед» [12]. Продолжая эти рассуждения и рассматривая тело бегуна как перевернутый маятник с двумя центрами вращения – в точке приложения стопы к грунту и в тазобедренном суставе, – он приходит к выводу, что продвижение ОЦТ происходит за счет работы мышц тазобедренного сустава, более определенно – подвздошно-поясничных мышц.

Эта мысль сама по себе заманчива, но не нова и отличается только тем, что некоторые авторы [27, 47, 70], основываясь на электромиографических данных и, по всей видимости, чтобы обойти противоречия модели: передний толчок – момент вертикали – задний толчок, а также парадокса разгибателей, пытались объяснить продвижение бегуна вперед работой группы мышц задней поверхности бедра и большой ягодичной. Все это было бы хорошо, если бы опять не закон механики о перемещении тела за счет внешних сил, который не согласуется с логикой о приоритетности мышечных усилий для перемещения тела.

В этой противоречивой ситуации естественны были попытки по созданию иерархической модели бега [40, 51, 59], однако они все имели недостаток в ясности понимания интеграции сил, взаимодействующих в беге. Например, в их моделях гравитация недействительна во время опоры и не имеет отношения к проявляющимся силам во время их действия, несмотря на то что гравитация – постоянно действующая сила. Более того, она есть начало всех остальных сил, которые являются ее производными. И это относится как к внешним, так и к внутренним силам. И в этом свете сила гравитации стоит на первом месте в иерархии взаимодействующих сил для всех движений, включая и бег. Отсюда следует необходимость понимания этой иерархичности как системы сил, обеспечивающих продвижение бегуна.

Принимая во внимание огромное влияние гравитации на все уровни жизни на Земле [55], трудно поверить, что она не влияет существен-

но на движение человека и не только как сила, прижимающая тело к опоре. Естественно встает вопрос о том, каким образом сила тяжести осуществляет перемещение человека и животных в беге в «содружестве» с другими силами?

Одним из первых с гениальными догадками о силе тяжести как о движущей силе в беге высказался Леонардо да Винчи [42]. 400 лет спустя шотландец Т. Graham-Brown, поддержал мнение о гравитации как мотивирующей силе в движениях, когда «центр масс тела может падать вперед и вниз под действием гравитации...» [38]. Эти одинокие вначале догадки и предположения позже стали подкрепляться все большим количеством фактов [1, 19, 30, 31, 33, 34, 43, 49, 52, 53, 66, 71] (труднообъяснимых с традиционной точки зрения и потому не воспринятых) о том, что в беге, в противовес традиционным взглядам, именно гравитация, а не отталкивание, в смысле активных мышечных усилий по проталкиванию бегуна вперед, вызывает ускорение тела вперед. При этом противоречия в понимании отталкивания сводились к следующему.

- Во-первых, если отталкивание есть активный процесс с разгибательными усилиями в трех основных суставах ног, то каким образом регулируется угол отталкивания и координируется работа всех суставов, усилия всех мышц в каждом шаге, и в частности, когда скорость бега увеличивается, а время опоры (особенно в спринте) уменьшается?

- Во-вторых, если с ростом скорости вертикальные колебания – общий центр тяжести (ОЦТ) и вертикальная работа уменьшаются [1, 9, 19, 28, 39, 71], то, опять-таки, как и чем это регулируется?

- В-третьих, каким образом угол вылета ОЦТ с ростом скорости бега также уменьшается [1, 53]?

- В-четвертых, что «выключает» электрическую активность мышц-разгибателей колена [27, 44, 50] столь точно по времени и месту в цикле шага?

Это все указывает на существенные противоречия между желанием произвести контролируемые действия в беге и невозможностью их выполнения в реальных условиях.

Д. Донской [9] указывал на невозможность произведения отталкивания под определенным углом, и в этом, по нашему мнению, он был прав, но в таком случае логично возникает вопрос о том, как контролируется угол отталкивания, происходит ли это вообще в том смысле, в котором мы понимаем его? К тому же существуют анатомические и геометрические

ограничения [71], не позволяющие произвести усилия по полной амплитуде с максимальной скоростью и с наивысшими усилиями в конце разгибания суставов опорной ноги.

Вопрос может быть сформулирован следующим образом: как можно выполнить (управлять) отталкивание, в котором неизвестны угол отталкивания, время его завершения и, более того, электрическая активность мышц-разгибателей коленного сустава «исчезает» в момент, казалось бы, наивысшей необходимости произвести отталкивание, реакция опоры и усилия не контролируются, не говоря о том, что существуют анатомические и геометрические ограничения [71], не позволяющие произвести усилия по полной амплитуде и с наивысшими усилиями в конце разгибания. И это касается только одного шага, который необходимо повторить много раз.

Для разрешения описанных противоречий была предложена Позная теория и модель бега [17, 22, 36, 61–64], в основу которой положены концепции позы и иерархии силы тяжести. Первая концепция исходит из предположения, что все движения есть чередования поз, среди которых имеются главные, определяющие все предшествующие и последующие движения и интегрирующие их в единую (целостную) систему. В беге была определена одна такая поза – положение тела в момент вертикали на опоре.

При этом предполагается, что механизм движений одиночного шага в беге сводится к переходу из позы на одной ноге в другую в результате «падения» тела вперед в этой позе. При этом, согласно второй концепции, лидирующей силой для перемещения тела бегуна является сила тяжести, а точнее, ее момент, под действием которого тело вращается (падает вперед) и перемещается также в горизонтальном направлении с преобразованием вращательного движения в поступательное.

Сила тяжести, как известно, всегда работает вертикально вниз. Однако в момент, когда тело касается опоры и движение вниз останавливается и при условии, что его ОЦТ расположен выше опоры так, чтобы представлять его положение в виде стержня или перевернутого маятника, оно легко вращается вокруг своей оси под действием момента силы тяжести, если не имеется сил, уравновешивающих его.

Тело человека есть ярко выраженный маятник с пропорционально большей массой верхней части, где туловище вместе с головой и руками составляет 62%. Дополнительно в момент вертикали на опоре ОЦТ занимает даже более высокое положение благодаря сти-

банию маховой ноги в колене под тазом. Все это вместе создает наиболее благоприятные условия для возможности вращения тела на опоре под действием силы тяжести.

Из этого предположения также следует, что вращение тела вокруг точки опоры с момента вертикали есть движение, практически целиком зависящее от момента силы тяжести и угла отклонения ОЦТ тела от вертикали:

$$G_{\text{мст}} = mgr \cdot \sin \alpha,$$

где $G_{\text{мст}}$ – момент силы тяжести, m – масса тела, g – гравитационное ускорение, r – радиус вращения тела (длина ноги), $\sin \alpha$ – синус угла вращения тела.

Согласно этой концепции, мышцы осуществляют функцию удержания тела в наиболее благоприятной позе для падения и ее смены в каждом шаге, тогда как угловое и линейное ускорения тела при вращении его вокруг опоры зависят от величины угла вращения (падения) от момента вертикали до конца опоры. В таком случае, если принять логику трансформации вращательного движения бегуна в поступательное, т.е. обратное тому, что принято в традиционной картине понимания техники бега, где поступательное движение осуществляется разгибательными усилиями толчковой ноги, а вращение является следствием этого, то все встает на свои места. По существу, мы имеем дело с трансформацией вращательного движения в линейное (поступательное), которое в наиболее простом виде математически выражается уравнением (формулой):

$$v = \omega r,$$

где v – скорость поступательного движения тела (ОЦТ), ω – угловая скорость вращения тела вокруг оси, r – радиус вращения.

И тогда будет логичнее говорить об обратной функциональной зависимости поступательного движения от вращательного:

$$\omega r = v.$$

В свете изложенного становится понятным уменьшение вертикальных колебаний ОЦТ и вертикальной работы с ростом скорости бега, поскольку момент силы тяжести становится главным вектором в движении тела. Отсюда следует и объяснение парадокса разгибателей, исходящего из ненужности проталкивающих усилий опорной ноги при доминировании момента силы тяжести в горизонтальном направлении, что и было закреплено в эволюционном развитии мышц в «автоматическом» выключении их после прохождения ОЦТ момента вертикали. Становится понятным значение числа Froude (Fr) [67] (безразмерная единица пропорциональности, характеризующая соотношение между скоростью перемещения и размером животных и человека) при рассмотрении геометрической схожести животных различного размера, движущихся с одинаковым числом Froude:

$$Fr = v^2/gL,$$

где v – скорость движения, g – гравитационное ускорение, L – длина ноги), указывающего на зависимость скорости перемещения от гравитации и длины опорной конечности.

Заключение. Резюмируя все сказанное, можно со всей определенностью прийти к следующим выводам:

1) бег есть перемещение по горизонтали в Позе бега с одной ноги на другую;

2) перемещение из одной позы в другую как цикл одиночного шага осуществляется как падение (вращение) вперед на опоре за счет действия момента силы тяжести ($G_{\text{мст}} = mgr \cdot \sin \alpha$);

3) угловая скорость и ускорение тела при вращении на опоре напрямую зависят от величины угла падения тела;

4) поступательное движение ОЦТ есть трансформация и следствие вращательного движения тела на опоре;

5) мышцы выполняют очень важную роль по удержанию тела в Позе падения и смены

опор (Поз) за счет подтягивания опорной стопы под таз для восстановления Позы бега в следующем шаге;

6) уменьшение вертикальных колебаний ОЦТ и работы с ростом скорости бега связано с увеличением угла падения тела вперед и, соответственно, с увеличением горизонтального вектора момента силы тяжести;

7) исчезновение электрической активности мышц-разгибателей колена продиктовано действием момента силы тяжести в горизонтальном направлении, исключающим необходимость подъема тела по вертикали более той величины, что необходима для смены опоры.

Говоря о практической стороне обсуждаемой проблемы, хотелось бы отметить следующее:

1) концепции Позы и силы тяжести позволяют рассматривать бег на едином основании как одну и ту же технику с единым механизмом без разделения по скорости и специфичности;

2) такой подход позволяет унифицировать систему обучения технике бега, ее анализа, исправления ошибок, предупреждения травматизма на основе единого и фундаментального стандарта – силы гравитации;

3) это позволяет также направить научные исследования (как в биомеханике, так и в физиологии) в единое русло изучения и объяснения движений в беге как результат нашего взаимодействия со средой – гравитационным полем Земли.

В заключение хотелось бы отметить, что многие важные вопросы, такие, как частота и длина шагов в беге, углы падения и скорость бега, роль и место мышечных усилий, закономерности начала и окончания опоры, вытекающие из обсуждаемых концепций, к сожалению, остались за пределами данной статьи и автор надеется вернуться к ним в последующих публикациях.

■ Литература

1. Аракелян Е. Е. Вертикальная механическая работа в аспекте оценки техники бега / Е. Е. Аракелян, Ю. Н. Примаков, А. А. Умаров, В. В. Тюпа // Теория и практика физ. культуры. – 1998. – № 2. – С. 46–47.
2. Башкиров С. Травмы у легкоатлетов / С. Башкиров // Легкая атлетика. – 1978. – № 3.
3. Бернштейн Н. А. Некоторые данные по динамике бега выдающихся мастеров / Н. А. Бернштейн // Теория и практика физ. культуры. – 1937. – Т. 1. – № 3. – С. 250–261.
4. Бернштейн Н. А. Биодинамика стартовых движений / Н. А. Бернштейн // Теория и практика физ. культуры. – 1937. – Т. 10. – Вып. 8. – С. 357–372.
5. Бернштейн Н. А. О построении движений / Н. А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. – С. 31–32.
6. Бернштейн Н. А. Предисловие к книге Чхаидзе Л. В. «Об управлении движениями человека» / Н. А. Бернштейн. – М.: Физкультура и спорт, 1970.
7. Джалилов А. Техника спринта глазами тренера / А. Джалилов, В. Мансветов, В. Озеров и др. // Легкая атлетика. – 1989. – № 11. – С. 8–9.

■ References

1. Arakelian E.E. et al. Vertical mechanical work in aspect of running technique assessment / E.E. Arakelian, Yu.N.Primakov, A.A.Umarov, V.V.Tiupa // Teoriia i praktika fizicheskoj kultury. – 1998. – № 2. – P. 46–47.
2. Bashkirov S. Traumas in track and field athletes / S. Bashkirov // Legkaya atletika. – 1978. – № 3.
3. Bernstein N.A. Some data on running dynamics in great masters / N.A. Bernstein // Teoriia i praktika fizicheskoj kultury. – 1937. – V. 1. – № 3. – P. 250–261.
4. Bernstein N.A. Biodynamics of start movement / N.A. Bernstein // Teoriia i praktika fizicheskoj kultury. – 1937. – V. 10. – Issue 8. – P. 357–372.
5. Bernstein N.A. About building of movement / N.A. Bernstein. – M.: Medgiz, 1947. – P. 31–32.
6. Bernstein N.A. Preface for L.V. Chaidze's book «About management of human movements» / N.A. Bernstein. – Moscow: Fizkultura i sport, 1970.

8. Донской Д.Д. Биомеханика с основами спортивной техники / Д.Д. Донской. — М.: Физкультура и спорт, 1971.
9. Донской Д.Д. Биомеханика / Д.Д. Донской. — М.: Просвещение, 1975. — 97 с.
10. Донской Д.Д. Основы антропоцентрической биомеханики (методология, теория, практика) / Д.Д. Донской, С.В. Дмитриев. — Нижний Новгород, 1993. — С. 21.
11. Легкая атлетика / под общ. ред. Н.Г. Озолина, В.И. Воронкина, Ю.Н. Примакова. — М.: Физкультура и спорт, 1987. — С. 41, 417.
12. Майский А. Секреты спринтерского бега / А. Майский // Легкая атлетика. — 2011. — № 4–5, 6, 7.
13. Михайлина Т.М. Основы биомеханики физических упражнений: учеб. пособие для высш. учеб. заведений физ. культуры / Т.М. Михайлина. — Краснодар: КГАФК, 2002. — С. 98.
14. Назаров В.Т. Движения спортсмена / В.Т. Назаров. — Минск: Польша, 1984. — 176 с.
15. Остапенко А.Н. Легкая атлетика: учеб. пособие для вузов / А.Н. Остапенко, Б.И. Селиверстов, Ю.Н. Чистяков. — М.: Высш. шк., 1979. — 208 с.
16. Примаков Ю.Н. Основы техники бега. Легкая атлетика / под общ. ред. Н.Г. Озолина, В.И. Воронкина, Ю.Н. Примакова. — М.: Физкультура и спорт, 1989. — С. 4.
17. Романов Н.С. Позный метод обучения технике бега / Н.С. Романов. — Чебоксары, 1988.
18. Тюпа В. Спринт — биомеханика отталкивания / В. Тюпа, В. Чистяков, С. Аleshинский и др. // Легкая атлетика. — 1981. — № 9. — С. 10–12.
19. Уилт Ф. Основные движения в беге / Ф. Уилт // Бег, бег, бег... — М.: Физкультура и спорт, 1967. — С. 362.
20. Фесенко Н.А. Экспериментальное обоснование путей овладения рациональной техникой скоростного бега на основе естественных двигательных координаций: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. пед. наук / Н.А. Фесенко. — Тарту, 1973. — 22 с.
21. Физиология движений: руководство по физиологии. — Л.: Наука, 1976.
22. Arendse R.E. Reduced Eccentric loading of the Knee with the Pose Running Method / R.E. Arendse, T.D. Noakes, L.B. Azevedo et al. // Med. Sci. Sports Exerc. — 2004. — Vol. 36. — № 2. — P. 272–277.
23. Athletes In Action: the official International Amateur Athletic Federation (IAAF) book of track and field techniques / editor H. Payne. — Pelham Books, 1985.
24. Biomechanics of Distance Running / editor P. Cavanagh. — Human Kinetics Books, 1990.
25. Bosch F. Running. Biomechanics and Exerciser Physiology in Practice / F. Bosch, R. Klomp. — Elsevier, 2005.
26. Bowerman W.J. Jogging / W.J. Bowerman, W.E. Harris. — New York: Grosset & Dunlap, 1967.
27. Brandell B.R. An analysis of muscle coordination in walking and running gates / B.R. Brandell // Medicine and Sport: Biomechanics III (edited by S. Cerquiglini, A. Venerando, J. Wartenweiler). — Basel, Switzerland: Karger, 1973. — P. 278–287.
28. Cavanagh P.R. A biomechanical comparison of elite and good distance runners / P.R. Cavanagh, M.J. Pollock, J. Landa // Annals New York Academia Science. — 1977. — № 301. — P. 328–345.
29. Cavanagh P.R. An Approach to Biomechanical Profiling of Elite Distance Runners / P.R. Cavanagh, G.C. Andrew, R. Kram et al. // International Journal of Sports Biomechanics. — 1985. — № 13. — P. 397–406.
30. Cavagna G.A. Effect of an increase in gravity on the power output and the rebound of the body in human running / G.A. Cavagna, N.C. Heglund, P.A. Williams // The Journal of experimental biology. — 2005. — № 208. — P. 2333–2346.
31. Chang Y.-H. The Independent effects of gravity and inertia on running mechanics / Y.-H. Chang, H.-W.C. Huang, C.M. Hamerski, R. Kram // The Journal of experimental biology. — 2000. — № 203. — P. 229–238.
32. Dyson H.G. The Mechanics of Athletics / H.G. Dyson. — London: University of London Press, 1967. — P. 109.
33. Ecker T. Basic Track and Field Biomechanics / T. Ecker. — Tafnews Press, 1985. — P. 69–77.
34. Fenn W.O. Work against gravity and work due to velocity changes in running / W.O. Fenn // American Journal of Physiology. — 1930. — № 92. — P. 433–462.
35. Fields K.B. Evaluating the Injured Runner / K.B. Fields // 52nd Annual Meeting of ACSM. Nashville, Tennessee, June 1–4. — 2005.
36. Fletcher G. The Pose® Method: a biomechanical and physiological comparison with heel-toe running: Ph.D. / G. Fletcher. — UK: Sheffield Hallam University.
37. Gordon Pirie. Running fast and injury free (edited by John S. Gilbody). 1996–2004. Dr. John S. Gilbody.
38. Graham-Brown T. Note on some dynamic principles involved in progression / T. Graham-Brown // British Medical Journal. — 1912. — P. 875–876.
39. Hay J.G. The Biomechanics of Sports Techniques / J.G. Hay. — New Jersey: Prentice / Hall International Inc., Englewood Cliffs, 1985.
40. Hay J.G. Anatomy, mechanics, and human motion / J.G. Hay, J.G. Reid. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1988.
41. Hunter J.P. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration / J.P. Hunter, R.N. Marshall, P.J. McNair // Journal of Applied Biomechanics. — 2005. — № 21. — P. 31–43.
42. Dzhililov A. Sprint technique in coach's eyes / A. Dzhililov, V. Mansvetov, V. Ozerov et al. // Legkaia atletika. — 1989. — № 11. — P. 8–9.
43. Donskoy D.D. Biomechanics with basics of sports technique / D.D. Donskoy. — M.: Fizkultura i sport, 1971.
44. Donskoy D.D. Biomechanics / D.D. Donskoy. — M.: Prosveshchenie, 1975. — 97 p.
45. Donskoy D.D. Basics of anthropocentric biomechanics (methodology, theory, practices) / D.D. Donskoy, S.V. Dmitriev. — Nizhnii Novgorod, 1993. — P. 21.
46. Track and field / ed. by N.G. Ozolin et al. — M.: Fizkultura i sport, 1987. — P. 41, 417.
47. Maiskii A. Secrets of sprint running / A. Maiskii // Legkaia atletika. — 2011. — № 4–5, 6, 7.
48. Mikhailina T.M. Basics of sports exercise biomechanics: textbook for sports education institutions / T.M. Mikhailina. — Krasnodar: KGAFK, 2002. — P. 98.
49. Nazarov V.T. Movements of an athlete / V.T. Nazarov. — Minsk: Polymya, 1984. — 176 p.
50. Ostapenko A.N. et al. Track and field: textbook for institutes / A.N. Ostapenko, B.I. Seliverstov, Yu.N. Chistiakov. — M.: Vyshchaya shkola, 1979. — 208 p.
51. Primakov Ju. N. Basics of running technique. Track and field. / ed. by N.G. Ozolin et al. — M.: Fizkultura i sport, 1989. — P. 4.
52. Pomanov N. Pose method for teaching the running technique / N. Pomanov. — Cheboksary, 1988.
53. Tiupa V. et al. Sprint — push out technique / V. Tiupa, V. Chistiakov, S. Aleshinskii et al. // Legkaia atletika. — 1981. — № 9. — P. 10–12.
54. Wilt F. Basic movements in running // Beg, beg, beg... — M.: Fizkultura i sport, 1967. — P. 362.
55. Fesenko N.A. Experimental substantiation of pathways towards rational learning of sprint running technique based on natural movement coordinations: Autoref. of the diss. ... Cand. ped. sci / N.A. Fesenko. — Tartu, 1973. — 22 p.
56. Movement physiology: manual on physiology. — L.: Nauka, 1976
57. Arendse R.E. Reduced eccentric loading of the knee with the pose running method / R.E. Arendse, T.D. Noakes, L.B. Azevedo et al. // Med. Sci. Sports Exerc. — 2004. — Vol. 36. — № 2. — P. 272–277.
58. Athletes In Action: the official International Amateur Athletic Federation (IAAF) book of track and field techniques / Ed. by H. Payne. — Pelham Books, 1985.
59. Biomechanics of distance running / Ed. by P. Cavanagh. — Human Kinetics Books, 1990.
60. Bosch F. Running. Biomechanics and exerciser physiology in practice / F. Bosch, R. Klomp. — Elsevier, 2005.
61. Bowerman W.J. Jogging / W.J. Bowerman, W.E. Harris. — New York: Grosset & Dunlap, 1967.
62. Brandell B.R. An analysis of muscle coordination in walking and running gates / B.R. Brandell // Medicine and Sport: Biomechanics III (edited by S. Cerquiglini, A. Venerando, J. Wartenweiler). — Basel, Switzerland: Karger, 1973. — P. 278–287.
63. Cavanagh P.R. A biomechanical comparison of elite and good distance runners / P.R. Cavanagh, M.J. Pollock, J. Landa // Annals New York Academia Science. — 1977. — № 301. — P. 328–345.
64. Cavanagh P.R. An approach to biomechanical profiling of elite distance runners / P.R. Cavanagh, G.C. Andrew, R. Kram et al. // Int. J. Sports Biomech. — 1985. — № 13. — P. 397–406.
65. Cavagna G.A. Effect of an increase in gravity on the power output and the rebound of the body in human running / G.A. Cavagna, N.C. Heglund, P.A. Williams // The Journal of experimental biology. — 2005. — № 208. — P. 2333–2346.
66. Chang Y.-H. The independent effects of gravity and inertia on running mechanics / Y.-H. Chang, H.-W.C. Huang, C.M. Hamerski, R. Kram // The Journal of experimental biology. — 2000. — № 203. — P. 229–238.
67. Dyson H.G. The mechanics of athletics / H.G. Dyson. — London: University of London Press, 1967. — P. 109.
68. Ecker T. Basic track and field biomechanics / T. Ecker. — Tafnews Press, 1985. — P. 69–77.
69. Fenn W.O. Work against gravity and work due to velocity changes in running / W.O. Fenn // American Journal of Physiology. — 1930. — № 92. — P. 433–462.
70. Fields K.B. Evaluating the Injured Runner / K.B. Fields // 52nd Annual Meeting of ACSM. Nashville, Tennessee, June 1–4. — 2005.
71. Fletcher G. The Pose® Method: a biomechanical and physiological comparison with heel-toe running: Ph.D. / G. Fletcher. — UK: Sheffield Hallam University.
72. Gordon Pirie. Running fast and injury free (edited by John S. Gilbody). 1996–2004. Dr. John S. Gilbody.
73. Graham-Brown T. Note on some dynamic principles involved in progression / T. Graham-Brown // British Medical Journal. — 1912. — P. 875–876.
74. Hay J.G. The biomechanics of sports techniques / J.G. Hay. — New Jersey: Prentice / Hall International Inc., Englewood Cliffs, 1985.
75. Hay J.G. Anatomy, mechanics, and human motion / J.G. Hay, J.G. Reid. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1988.
76. Hunter J.P. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration / J.P. Hunter, R.N. Marshall, P.J. McNair // Journal of Applied Biomechanics. — 2005. — № 21. — P. 31–43.
77. Keele K.D. Leonardo da Vinci's elements of the science of man / K.D. Keele. — New York: Academic Press, 1983. — P. 173.

42. Keele K.D. Leonardo da Vinci's elements of the science of man / K.D. Keele. — New York: Academic Press, 1983. — P. 173.
43. Kugler F. Body position determines propulsive forces in accelerated running / F. Kugler, L. Janshen // *Journal of Biomechanics*. — 2010. — № 43. — P. 343–348.
44. Kyröläinen H. Biomechanical factors affecting running economy / H. Kyröläinen, A. Belli, P.V. Komi // *Medicine and Science of Sports Exercises*. — 2001. — Vol. 33. — № 8. — P. 1330–1337.
45. Maglischo E. Newton to Bernoulli and Back Again. Advanced Freestyle School / E. Maglischo // *Modern History of Articles in Freestyle*. From Past ASC World Clinic's and Related Sources. — 1995. — P. 19–29.
46. Mann R.A. Biomechanics of walking, running and sprinting / R.A. Mann, J. Hagy // *American Journal of Sports Medicine*. — 1980. — № 8. — P. 345–349.
47. Mann R.A. Running, jogging and walking: a comparative electromyographic and biomechanical study / R.A. Mann, J.L. Hagy // *The foot and ankle*. — New York: Thieme-Stratton, 1980. — P. 167–175.
48. Marey E.J. *Movement* / E.J. Marey. — New York: Arno Press & The New York Times, 1972.
49. Margaria R. *Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise* / R. Margaria. — Oxford University Press, 1976.
50. McClay I.S. The Extensor Paradox Experiment / I.S. McClay, M.J. Lake, P.R. Cavanagh // *Biomechanics of Distance Running*. Editor P. Cavanagh. — Human Kinetics Books, 1990. — P. 179–186.
51. McGinnis P.M. *Biomechanics of Sport and Exercise* / P.M. McGinnis. — Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. — P. 311.
52. Miller D.I. Ground reaction forces in distance running / D. I. Miller // *Biomechanics of distance running*. — Champaign, IL, 1990. — P. 203–224.
53. Miura M. Experimental Studies on Biomechanics in Long Distance Running / M. Miura, K. Kobayashi, M. Miyashita et al. — Department of Phys. Education, Univer. of Nagoya, Japan, 1973. — P. 46–56.
54. Montgomery W.H. Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running / W.H. Montgomery, M. Pink, J. Perry // *American Journal of Sports Medicine*. — 1994. — № 22. — P. 272–278.
55. Morey-Holton E.R. The Impact of Gravity on Life / E.R. Morey-Holton // *Rothchild. Evolution on Planet Earth*. — Elsevier, 2003. — P. 143–159.
56. Munro C.F. Ground reaction forces in running: a re-examination / C.F. Munro, D.I. Miller, A.J. Fuglevand // *Journal of Biomechanics*. — 1987. — № 20. — P. 147–156.
57. Nilsson J. Adaptability in frequency and amplitude of leg movements during locomotion at different speeds / J. Nilsson, A. Thorstensson // *10th International Congress of Biomechanics Abstract Book*. — Solna, Sweden: Arbetar-Skydd Sverket, 1985. — № 20. — P. 194.
58. Nitro A. What is Correct Technique? / A. Nitro // *Track Technique*. — 1987. — Summer. — Vol. 100. — P. 3195–3205.
59. Paradise's G.P. Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces / G.P. Paradise's, C.B. Cooke // *Journal of Sports Sciences*. — 2001. — № 19. — P. 149–159.
60. Paré E.B. Functional differentiation with the tensor fasciae latae / E.B. Paré, J.T. Stern, J.M. Schwartz // *Journal of Bone and Joint Surgery*. — 1981. — № 63. — P. 1457–1471.
61. Romanov N. In Search of a 10k PR: Part Two / N. Romanov // *Florida Sports*. — 1998. — Vol. 12. — № 1. — February. — P. 20–21.
62. Romanov N. *Pose Method of Running* / N. Romanov. — Pose Tech Press, 2002.
63. Romanov N.S. Geometry of running / N.S. Romanov, A.I. Pianzin // *Book of Abstracts of the 11th Annual Congress of the European College of Sport Science*. — Lausanne, 2006. — P. 582.
64. Romanov N. Runners do not push off the ground but fall forwards via a gravitational torque / N. Romanov, G. Fletcher // *Sports Biomechanics*. — 2007. — Vol. 6. — Issue 3. — September. — P. 434–452.
65. Schwab G.H. Lower extremity electromyographic analysis of running gait / G.H. Schwab, D.R. Moynes, F.W. Jobe, J. Perry // *Clinical Orthopaedics*. — 1983. — № 176. — P. 166–170.
66. Slocum D.B. Biomechanics of running / D.B. Slocum, S.L. James // *Journal American Medical Association*. — 1968. — Vol. 205. — № 11. — P. 97–104.
67. Vaughan C.L. Froude and the contribution of naval architecture to our understanding of bipedal locomotion. *Gait and Posture* 21 / C.L. Vaughan, M.J. O'Malley. — Elsevier, 2005. — P. 350–362.
68. Wallack R. Save Your Knees / R. Wallack // *Runner's World*. — 2004. — № 109. — P. 68–73.
69. Weyand P.G. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements / P.G. Weyand, D.B. Sternlight, M.J. Belizzi, S. Wright // *Journal of Applied Physiology*. — 2000. — № 89. — P. 1991–1999.
70. Wiemann K. Relative activity of hip and knee extensors in sprinting — implications for training / K. Wiemann, G. Tidow // *New Studies in Athletics*. — 1995. — № 10:1. — P. 29–49.
71. Zatsiorsky V.M. Kinematics of Human Motion / V.M. Zatsiorsky. — Human Kinetics, 1998. — P. 160.
43. Kugler F. Body position determines propulsive forces in accelerated running / F. Kugler, L. Janshen // *Journal of Biomechanics*. — 2010. — № 43. — P. 343–348.
44. Kyröläinen H. Biomechanical factors affecting running economy / H. Kyröläinen, A. Belli, P.V. Komi // *Medicine and Science of Sports Exercises*. — 2001. — Vol. 33. — № 8. — P. 1330–1337.
45. Maglischo E. Newton to Bernoulli and back again. Advanced freestyle school / E. Maglischo // *Modern History of Articles in Freestyle*. From Past ASC World Clinic's and Related Sources. — 1995. — P. 19–29.
46. Mann R.A. Biomechanics of walking, running and sprinting / R.A. Mann, J. Hagy // *American Journal of Sports Medicine*. — 1980. — № 8. — P. 345–349.
47. Mann R.A. Running, jogging and walking: a comparative electromyographic and biomechanical study / R.A. Mann, J.L. Hagy // *The foot and ankle*. — New York: Thieme-Stratton, 1980. — P. 167–175.
48. Marey E.J. *Movement* / E.J. Marey. — New York: Arno Press & The New York Times, 1972.
49. Margaria R. *Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise* / R. Margaria. — Oxford University Press, 1976.
50. McClay I.S. The Extensor Paradox Experiment / I.S. McClay, M.J. Lake, P.R. Cavanagh // *Biomechanics of Distance Running*. Editor P. Cavanagh. — Human Kinetics Books, 1990. — P. 179–186.
51. McGinnis P.M. *Biomechanics of Sport and Exercise* / P.M. McGinnis. — Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. — P. 311.
52. Miller D.I. Ground reaction forces in distance running / D. I. Miller // *Biomechanics of distance running*. — Champaign, IL, 1990. — P. 203–224.
53. Miura M. Experimental Studies on Biomechanics in Long Distance Running / M. Miura, K. Kobayashi, M. Miyashita, H. Matsui et al. — Department of Phys. Education, Univer. of Nagoya, Japan, 1973. — P. 46–56.
54. Montgomery W.H. Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running / W.H. Montgomery, M. Pink, J. Perry // *American Journal of Sports Medicine*. — 1994. — № 22. — P. 272–278.
55. Morey-Holton E.R. The Impact of Gravity on Life / E.R. Morey-Holton // *Rothchild. Evolution on Planet Earth*. — Elsevier, 2003. — P. 143–159.
56. Munro C.F. Ground reaction forces in running: a re-examination / C.F. Munro, D.I. Miller, A.J. Fuglevand // *Journal of Biomechanics*. — 1987. — № 20. — P. 147–156.
57. Nilsson J. Adaptability in frequency and amplitude of leg movements during locomotion at different speeds / J. Nilsson, A. Thorstensson // *10th International Congress of Biomechanics Abstract Book*. — Solna, Sweden: Arbetar-Skydd Sverket, 1985. — № 20. — P. 194.
58. Nitro A. What is Correct Technique? / A. Nitro // *Track Technique*. — 1987. — Summer. — Vol. 100. — P. 3195–3205.
59. Paradise's G.P. Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces / G.P. Paradise's, C.B. Cooke // *Journal of Sports Sciences*. — 2001. — № 19. — P. 149–159.
60. Paré E.B. Functional differentiation with the tensor fasciae latae / E.B. Paré, J.T. Stern, J.M. Schwartz // *Journal of Bone and Joint Surgery*. — 1981. — № 63. — P. 1457–1471.
61. Romanov N. In Search of a 10k PR: Part Two / N. Romanov // *Florida Sports*. — 1998. — Vol. 12. — № 1. — February. — P. 20–21.
62. Romanov N. *Pose Method of Running* / N. Romanov. — Pose Tech Press, 2002.
63. Romanov N.S. Geometry of running / N.S. Romanov, A.I. Pianzin // *Book of Abstracts of the 11th Annual Congress of the European College of Sport Science*. — Lausanne, 2006. — P. 582.
64. Romanov N. Runners do not push off the ground but fall forwards via a gravitational torque / N. Romanov, G. Fletcher // *Sports Biomechanics*. — 2007. — Vol. 6. — Issue 3. — September. — P. 434–452.
65. Schwab G.H. Lower extremity electromyographic analysis of running gait / G.H. Schwab, D.R. Moynes, F.W. Jobe, J. Perry // *Clinical Orthopaedics*. — 1983. — № 176. — P. 166–170.
66. Slocum D.B. Biomechanics of running / D.B. Slocum, S.L. James // *Journal American Medical Association*. — 1968. — Vol. 205. — № 11. — P. 97–104.
67. Vaughan C.L. Froude and the contribution of naval architecture to our understanding of bipedal locomotion. *Gait and Posture* 21 / C.L. Vaughan, M.J. O'Malley. — Elsevier, 2005. — P. 350–362.
68. Wallack R. Save Your Knees / R. Wallack // *Runner's World*. — 2004. — № 109. — P. 68–73.
69. Weyand P.G. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements / P.G. Weyand, D.B. Sternlight, M.J. Belizzi, S. Wright // *Journal of Applied Physiology*. — 2000. — № 89. — P. 1991–1999.
70. Wiemann K. Relative activity of hip and knee extensors in sprinting — implications for training / K. Wiemann, G. Tidow // *New Studies in Athletics*. — 1995. — № 10:1. — P. 29–49.
71. Zatsiorsky V.M. Kinematics of Human Motion / V.M. Zatsiorsky. — Human Kinetics, 1998. — P. 160.

Статья из журнала "Вестник спортивной науки", № 1–2012
 "Pose Tech", Майами, США
 DrRomanov@aol.com

Поступила 10.03.2013