

Уважаемые тренеры!

Вашему вниманию предлагается аналитический материал, основанный на литературном обзоре публикаций из зарубежных источников, выполненный д.п.н. В.Д. Кряжевым. Моя, более чем скромная роль в подготовке этого материала, сводилась к редактированию текста и его экспертной оценки.

Данный материал, на мой взгляд, наиболее ценен тем, что дает понимание базовых причин феноменального успеха голландских конькобежцев на протяжении последних 20 лет в коньках, а в последние годы и в шорт-треке. Помимо этого, вы найдете в этом материале подтверждение законов и закономерностей, существующих в живой природе, включая человеческую жизнь.

Отдельные факты, изложенные в представленном здесь анализе (например связь потребления O₂ в беге на коньках на уровне максимальных значений, определяемых не в в/э тесте, а непосредственно в беге на коньках) подтверждают хорошо известные явления описанные в т.н. «Эффекте Пастера». Точно так же связь фактов биомеханических условий, обеспечивающих рост скорости бега на коньках, так же известна человечеству на протяжении нескольких веков, и описанных в известном всему миру 2-ом законе Ньютона. А соединение этих двух неопровержимых законов и составляет существо современного подхода, обеспечивающего рост СТР в беге на коньках. И только на их основе тренер и должен выстраивать методику подготовки в конькобежном спорте. А отдельные элементы этой методики так же были хорошо изучены, апробированы, несут доказательный характер, опубликованы в огромном количестве уже в период 70-х, 80-х годов прошлого века. И предлагаемый вам материал лишний раз все это подтверждает. Иного быть в теории и методике тренировочного процесса в скоростном беге на коньках на современном этапе, и в рамках действующей программы и правил соревнований и быть не может.

Вместе с этим, данный материал органически связан с ранее опубликованными на нашем сайте сведениями, полученными мною в ходе работы в отечественном конькобежном спорте.

Я настоятельно рекомендую вам, как минимум, ознакомиться с работой, выполненной уважаемым доктором Кряжевым. Поверьте, у вас на многие стоящие перед вами вопросы найдется ответ после ее прочтения.

А я, как всегда, открыт для ваших вопросов, обсуждений, дискуссий. Звоните, пишите!

ФАКТОРЫ СПОРТИВНОЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СПОРТСМЕНОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ В СКОРОСТНОМ БЕГЕ НА КОНЬКАХ

*Драбкин Борис Фалкович, приглашаемый профессор, руководитель КНГ
ФГБУ ЦСП, Общероссийская общественная организация конькобежного
спорта «Союз конькобежцев России», г. Москва*

*Кряжев Валерий Дмитриевич, д.п.н, ведущий научный сотрудник,
Федеральный научный центр физической культуры и спорта (ФНЦ
ВНИИФК), г. Москва*

Аннотация. В работе на основе изучения данных зарубежных научных исследований, представленных в поисковых системах PubMed и Google Scholar проведен анализ факторов спортивной результативности в скоростном беге на коньках. Показано, что спортивная результативность определяется мощностью аэробных и анаэробных механизмов образования метаболической энергии, обеспечивающий мышечное сокращение и эффективность её трансформации в скорость бега. Эффективность скоростного бега на коньках объясняется использованием уникальной спортивной техники, позволяющий спортсмену скользить по льду и развивать высокую скорость за счет отталкивания в перпендикулярном направлении. Движение спортсмена в низкой посадке обеспечивает высокую выходную мощность и минимизацию сил аэродинамического сопротивления, но снижает оксигенацию мышц нижних конечностей, что переопределяет ограничение использования отдельных тренировочных средств. Анализ элементов структуры спортивной результативности позволяет определить особенности и направление спортивной подготовки спортсменов высшей квалификации в скоростном беге на коньках.

Введение. Конькобежный спорт является зимним видом спорта с долгой историей и славными традициями. Международный союз конькобежцев, основанный в 1893 году, является старейшей международной спортивной федерацией. Конькобежный спорт на длинной дорожке является олимпийским

видом спорта с 1924 года, и в настоящее время дает стране возможность выиграть 14 золотых медалей на зимних Олимпийских играх. Индивидуальные соревнования по конькобежному спорту подразделяются на спринт (500 и 1000 м), среднюю дистанцию (1500 м) и длинные дистанции (3000, 5000 и 1000 м) [1]. Кроме того, существуют также чемпионаты по многоборью, где результаты на четырех различных дистанциях суммируются для определения общего лучшего результата.

В соревнованиях по скоростному бегу на коньках спортсмены проходят заданные дистанции за кратчайшее время по трассе длиной 400 м, которая состоит из двух прямых и двух криволинейных участков. В «двухдорожечном забеге» два конькобежца бегут по внутренней и внешней дорожкам шириной 4 м и переходят с одной дорожки на другую на каждом круге. Для дорожек типа С, т. е. наиболее часто используемых дорожек в официальных соревнованиях, внутренние линии дорожки для криволинейных участков устанавливаются с радиусами 26 м и 30 м для внутренней и внешней дорожек соответственно [2].

Скоростной бег на коньках характеризуется тем, что движущая сила вперед создается конькобежцем за счет отталкивания под прямым углом относительно скользящего движения конька (рис.1). Такая биомеханически благоприятная техника катания в приседе с малым углом в коленном суставе и минимальным наклоном туловища обеспечивает минимальную площадь лобового сопротивления набегающему потоку воздуха и позволяет развивать большую механическую мощность. Но использование такой техники физиологически невыгодно, так как такое положение тела препятствует кровотоку в нижних конечностях, что увеличивает деоксигенацию работающих мышц. Это влияет на темп и тактику в конькобежном спорте, а также на особенности применения тренировочных нагрузок.

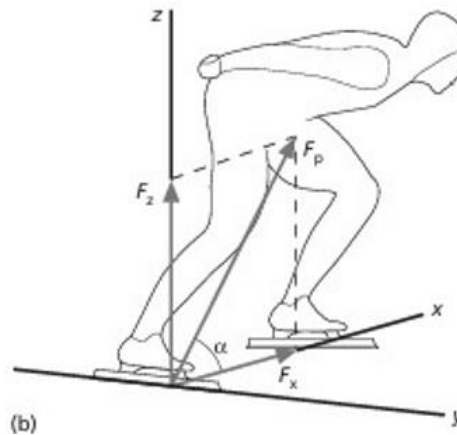


Рисунок 1- Движущая сила создается конькобежцем за счет отталкивания под прямым углом относительно скользящего движения конька [3].

Считается, что повышение спортивной результативности скоростного бега на коньках обусловлено повышением мощности, развиваемой спортсменом и снижением сил сопротивления [1]. При этом необходимо определить и уточнить структуру и содержание основных детерминантов спортивная результативность в скоростном беге на коньках. Для этого используются два подхода. Первый основан на использовании биомеханической модели потока энергии, продуцируемой мышцами спортсмена [3]. Второй подход реализуется на основе многомерной модели производительности, включающий анализ физиологических, антропологических характеристик спортсменов, характеристик спортивной техники и особенностей соревновательной и тренировочной деятельности [1].

Цель работы - определение факторов спортивной результативности в скоростном беге на коньках спортсменов высшей квалификации.

Метод исследования. Анализ результатов научных исследований, посвящённых изучению детерминантов спортивной результативности сильнейших спортсменов мира в скоростном беге на коньках, размещенных в поисковых системах PubMed и Google Scholar

Результаты. В соответствии со сложившимися представлениями блок-схему фактов, определяющих спортивный результат в скоростном беге на коньках, можно представить в следующем виде

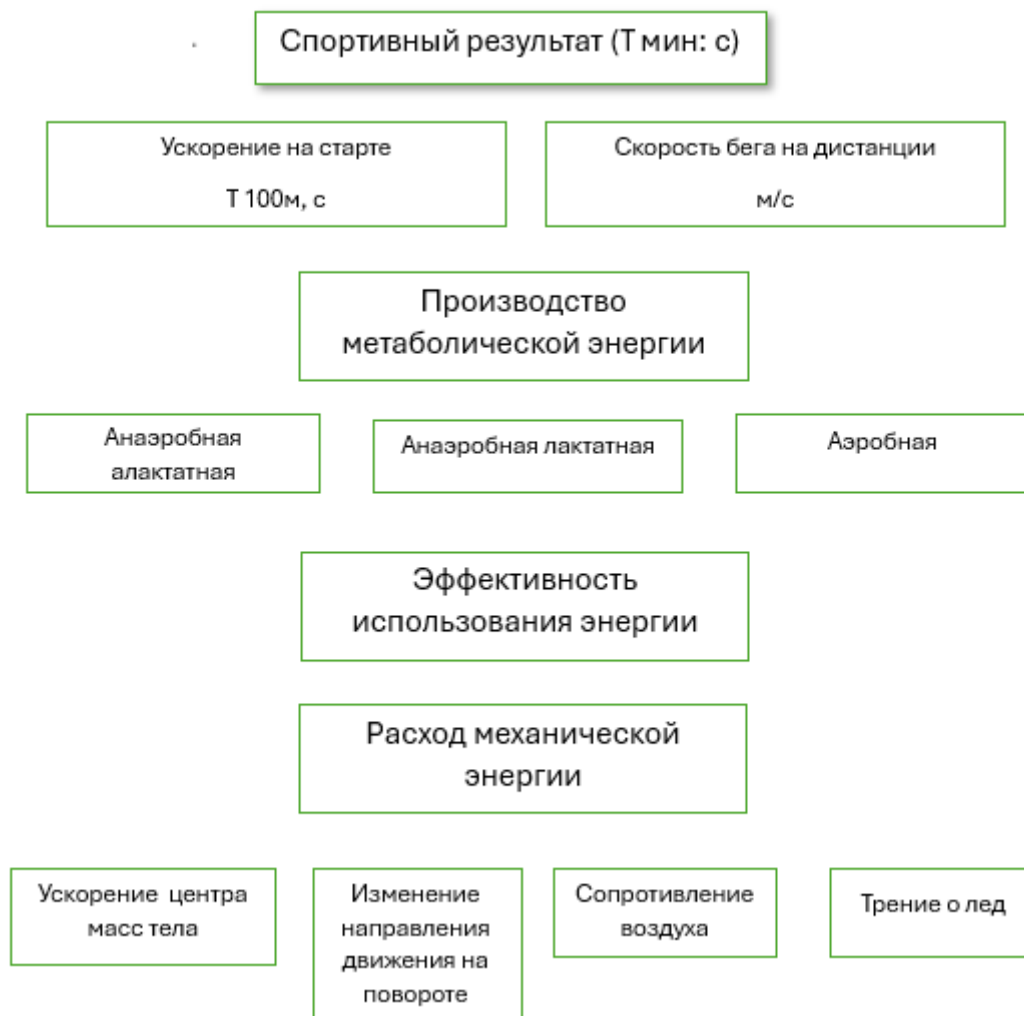


Рисунок 1- Блок схема факторов спортивной результативности в скоростном беге на коньках

В соответствии с моделью, предложенной De Koning J. J. and van Ingen Schönaau G. J. [3], построенной на основе распределения потока продуцированной мышцами спортсмена энергии, ускорение на старте определяется мощностью креатин фосфатного механизма производства метаболической энергии, а скорость на дистанции зависит от величины мощности лактатно-анаэробного и аэробного механизмов образования энергии, а так же от эффективности преобразования метаболической энергии в скорость передвижения или от его экономичности, которая измеряется энергетической стоимостью метра пути.

В отличие от большинства энергоемких видов спорта (бег, езда на велосипеде, катание на лыжах), где аэробная энергетическая система имеет первостепенное значение, в конькобежном спорте, где спортивная техника предполагает выполнение движений в низкой посадке, увеличивается важность энергетической системы, вырабатывающей лактат.

Во время высокоинтенсивных упражнений поглощение кислорода быстро увеличивается (в течении 1-1.5 минут) до почти максимальных значений (рис. 2). Напротив, кинетика анаэробного энергоснабжения показывает, что после начального пика анаэробной энергопродукции со временем она снижается. Уменьшение анаэробной выходной мощности больше, чем увеличение аэробной мощности, что приводит к постепенному уменьшению общей выходной мощности со временем (рис.2).

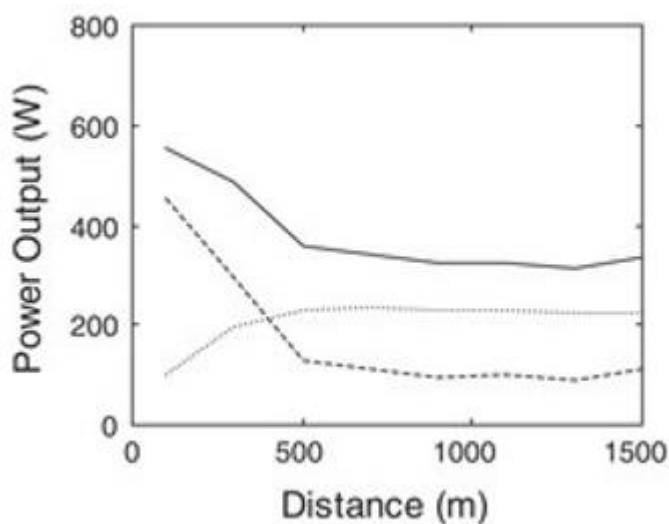


Рисунок 2 - Общая мощность (сплошные линии), аэробная мощность (пунктирные линии) и анаэробная мощность (прерывистые линии) во время забега на 1500 м [4].

Процентное соотношение аэробного и анаэробного энергетического метаболизма быстро меняется по мере увеличения продолжительности дистанции. В таблице 2 представлен относительный вклад аэробных и анаэробных путей в общую выработку энергии на расстояние.

Таблица 1 - Относительный вклад анаэробной и аэробной энергетической системы в общие энергозатраты на различных дистанциях скоростного бега на коньках по [3].

Энергетическая система	Дистанция (время мин: с)		
	500м (0:39,16)	1000м (1:16,30)	1500м (1:58,97)
Анаэробная	70%	49%	36%
Аэробная	30%	51%	64%

Моделирование показывает, что повышение VO_{2max} на 5% улучшает спортивный результат на дистанции 500 м всего на 0,8%, а на дистанции 1500 м на 2,2%. Повышение максимальной анаэробной емкости на 7,5% повышает спортивный результат на дистанции 500 м на 2,3% (на 0,91 с), а на дистанции 1500м на 1,9% или на 2,25 с [3].

Для хорошего стартового разгона требуется высокая энергетическая мощность. При этом задействуется креатин фосфатный механизм, который длится не более 5–6 секунд, и мощность которого определяет взрывную силу мышц. Это подтверждается тем, что прыжок вверх в контр движении с 30% массы тела, и прыжок в длину с 15% массы тела продемонстрировали наиболее сильную связь с максимальной способностью к ускорению с максимальной скоростью и временем на дистанции 100 м ($r = 0,84-0,97$, $P < 0,001$) ($r = 0,83$, $P < 0,001$) [5].

Математическое моделирование показало, что быстрое ускорение (высокая начальная выходная мощность) имеет решающее значение для спринтерских дистанций. Это подтверждается значительной корреляцией между пиковой анаэробной выходной мощностью, измеренной на велоэргометрах, и личными рекордами на коньках на 500 м [3]. Среднее ускорение в первой секунде бега, рассчитанное по увеличению скорости, показало сильную связь со временем на дистанциях 100 м и 500 м. Коэффициенты корреляции между средним начальным ускорением и результатом на 100 и 500 м составили $-0,76$ и $-0,75$ соответственно [3]. Эта первоначальная выходная мощность была даже более важной, чем общее

количество энергии, доступной для забега на 500 и 1000 метров. Лучшие спринтеры смогли выдать значительно больше энергии на старте гонки, чем конькобежцы с более низким уровнем производительности при том же количестве анаэробной энергии [1].

Для длинных дистанций за стартовым ускорением должен следовать бег на коньках с постоянной выходной мощностью, тем самым минимизируя потери на преодоление сопротивления воздуха [1]. Как было показано выше результативность на дистанции более 1500 м в конькобежном спорте зависит как от аэробной, так и от анаэробной производительности.

Позитивная стратегия бега (т.е. быстрый старт с уменьшающейся выходной мощностью на протяжении всей дистанции) все равно должна привести к лучшим конечным результатам на дистанциях до 1500 м [4].

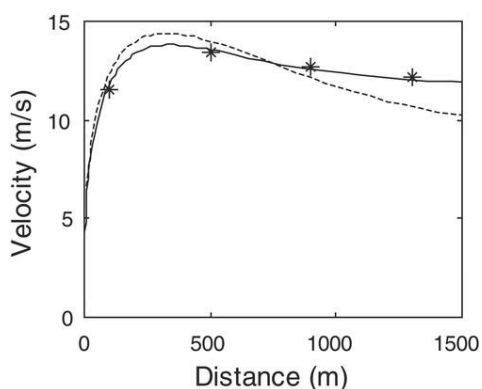


Рисунок 3 - Оптимальная динамика скорости на дистанции 1500м, рассчитанная при моделировании на велоэргометре (пунктирная линия), при моделировании в скоростном беге на коньках (сплошная линия), и экспериментальные данные для спортсменов высокой квалификации (*) по [4].

Эффективность использования энергии наравне с величиной вырабатываемой спортсменом метаболической мощности является одним из главных факторов спортивной результативности в циклических видах спорта. Оценка этого фактора осуществляется по двум показателям. Традиционно эффективность преобразования энергии рассчитывается как отношение внешней механической мощности к общему метаболическим затратам.

Общая эффективность в скоростном беге на коньках, оцененная по отношению механических энергозатрат на преодоление трения о лед и

сопротивление воздуха к уровню метаболической энергии, продуцируемой спортсменом при движении с субмаксимальной скоростью по данным de Koning JJ et. al [4] составила $15,8 \pm 1,8\%$. Однако, эта величина несколько занижена, так как в общих затратах механической мощности не учитывается работа, связанная с перемещением звеньев и общего центра массы тела (ОЦМТ) поперек направления движения, и затраты на изменение направления вектора направления движения в повороте, что особенно заметно в спринте [4]. По данным [6] поперечные перемещения ОЦМТ в беге на 500 м составляют 6-8 см, скорость достигает 1,5 м/с. Вертикальные колебания ОЦМТ достигают 2-4 см, амплитуда колебания вертикальной скорости от -0,25 до + 0,25 м/с. Исследования техники бега конькобежков мирового класса на дистанции 3000м показали, что для прохождения поворота по наименьшей дуге и с наименьшими потерями времени, спортсменки должны развивать значимое центростремительное ускорения ($5-7\text{ м/с}^2$) за счет значительного наклона корпуса внутрь круга, что требует дополнительных усилий [7]. Другим показателем эффективности использования метаболической энергии является экономичность передвижения, которая измеряется энергетической стоимостью преодоления метра пути. Среднее значение для экономичности движения на коньках у современных спортсменов составляет $73,4 \pm 6,4$ мл $\text{O}_2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$ [8].

Экономичность бега на коньках значительно улучшилась за последние ~50 лет. Снижение энергетической стоимости преодоления метра пути в скоростном беге на коньках, измеряемое потреблением кислорода составило в среднем $0,57$ мл $\text{O}_2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$ в год, или 5.7 мл O_2 на кг массы тела на преодоление 1км пути каждое десятилетие [8]. Такое заметное повышение экономичности, по мнению авторов, происходило за счет совершенствования спортивной техники и повышения эффективности спортивной подготовки, так как влияние технологических и экологических факторов в исследовании было учтено.

Развиваемая конькобежцами механическая мощность идет в основном на преодоление сопротивления воздуха и на преодоление сил трения коньков о лед.

Исследование, приведённое с помощью имитационной модели, показало, что конькобежцам для минимизации сил сопротивления воздуха необходимо бежать с положением туловища максимально приближенному горизонтальному и с сильным сгибанием ноги в коленном суставе [3]. Так при уменьшении угла наклона туловища на 5 градусов (с $13,7^{\circ}$ до $8,7^{\circ}$) спортивный результат на дистанции 500 м может улучшаться с 0:38,98 до 0:38,54 или на 0,44 с, а на дистанции 1500м на 1,58 с. Это происходит за счет снижения площади лобового сопротивления и как следствие к снижению потерь энергии на преодоление сопротивления воздушной среды.

Уменьшение угла в коленном суставе на 10 градусов дает примерно такой же прирост спортивной результативности. Снижение угла в коленном суставе не только уменьшает сопротивления воздуха, но позволяет уменьшить угол отталкивания, что повышает эффективность спортивной техники, так как при более остром угле отталкивания сила, развиваемая мышцами спортсмена больше направлена на продвижение вперед, а не вверх. Исследования показали, что при каждом уменьшении угла отталкивания на 1° скорость бега на коньках увеличивается на 0,011 м/с [9]. В конькобежном спорте, где спортсмен двигается со скоростью выше 50 км/ч разница между первым и вторым местом часто составляет от 0,01 до 0,02 с, поэтому изменение угла отталкивания может оказывать непосредственное влияние на выступление спортсмена и его дальнейшие успехи в соревнованиях [1]. Таким образом было высказано предположение, что снижение угла отталкивания может способствовать увеличению скорости бега на коньках. Однако слишком малый угол отталкивания увеличивает риск травмы стопы, что в итоге может вообще свести на ноль перспективы роста спортивной результативности [10].

По мнению специалистов из-за анатомических ограничений конькобежец не может полностью свободно выбирать каждое положение

колена и туловища, не изменяя горизонтальное положение своего центра тяжести по отношению к голеностопному суставу. Это может объяснить, почему, особенно на коротких дистанциях, не все конькобежцы высокой квалификации могут быть обучены удерживать туловище в горизонтальном положении [3].

Коэффициент трения конька о лед может сильно варьироваться между турнирами, а также во время турниров. Измерения показали, что, особенно на открытых катках, коэффициент трения льда может увеличиваться более чем на 50% между подготовками льда. Эффект от 50%-го увеличения этого коэффициента на 1500 м составит 2,8 с на дистанции на 1500 м. Итоговое время для бега на более длинные дистанции (5 и 10 км) еще более чувствительно к такому изменению качества льда [3].

На основе многомерной модели спортивной результативности были рассмотрены антропометрические, технические, физиологические, тактические факторы, и параметры тренировочной нагрузки [1].

Антропометрические исследования показывают, что элитные конькобежцы имеют нормальный рост и массу тела, характерные для участников зимних олимпийских игр в видах спорта требующих проявления высоких гликолитических возможностей [1]. Конькобежцы национальной команды юниоров Нидерландов, победителей и призеров чемпионатов мира характеризуются следующими антропометрическими показателями: мужчины - рост 186 ± 6 см, масса тела - $78,2 \pm 4,8$ кг; женщины – рост 172 ± 3 см, масса тела - $62,6 \pm 4,2$ кг [8]. Сильнейшие взрослые голландские конькобежцы в возрасте 26 ± 3 года, которые выиграли в общей сложности 8 медалей на чемпионате мира 2003 и 2004 годов имели рост 182 ± 6 см и массу тела $79,8 \pm 6,3$ кг у мужчин и 167 см и 63 кг у женщины [8]. Таким образом начинает проявляться тенденция к повышению антропометрических показателей элитных конькобежцев.

В обзоре [1] так же были показаны различия в оптимальных показателях антропометрии для спортсменов, специализирующихся на коротких и

длинных дистанциях. Хотя выступление талантливых конькобежцев не было связано с антропометрическими характеристиками, а выходная мощность казалась независимой от размеров тела, элитные конькобежцы имели более короткие ноги и более длинное туловище, чем спортсмены-студенты. Кроме того, бедра элитных конькобежцев были более развиты по сравнению со спортсменами-студентами: спринтерами, бегунами, марафонцами, а также не элитными конькобежцами, отражая важность разгибателей бедра и колена в конькобежном спорте [1].

Высокая экономичность скоростного бега на коньках, которая позволяет конькобежцам развивать высокую скорость (выше 15 м/с), обеспечивается уникальной техникой, которая основана на скользящем шаге с отталкиванием в направлении перпендикулярном вектору движения, которое выполняется в положении низкого приседа и наклона корпуса. Такое положение позволяет мышцам бедра работать в условиях оптимального растяжения для развития высокой выходной мощности [11]. В скоростном беге на коньках общая выходная мощность является произведением работы, выполненной в одном скользящем шаге и частоты шагов [1,3,6]. Более быстрые и медленные конькобежцы различались в основном по величине механической работы в отталкивании, но не по частоте шагов. Поэтому работа за шаг оказалась относительно более важной, чем частота шагов. Хотя частота шагов не определяет спортивную результативность, она является механизмом регулирования скорости бега на коньках [1].

В течение одного скользящего шага различают три различные фазы: фазу скольжения, отталкивания и фазу изменения положения [1,9]. Кроме того, сообщается о трех кинематических характеристиках, которые преимущественно определяют выходную мощность: угол колена, угол туловища и угол отталкивания, которые представлены на рисунке 4 [1,3,4].

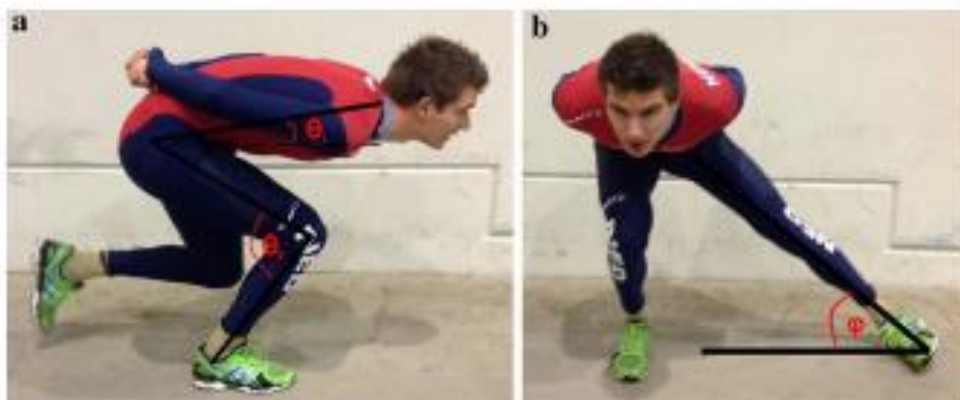


Рисунок 4 - Три важных особенности двигательного навыка бега на коньках. Угол колена и угол туловища в у–z плоскости; угол отталкивания в х–z плоскости.

Помимо технических навыков, физиологические характеристики спортсмена являются важным фактором, влияющим на выходную мощность. Для обеспечения высокой выходной мощности решающее значение имеют как аэробные, так и анаэробные ресурсы. В обзоре [1] показано, что уровни гемоглобина, играющего важную роль в переносе кислорода у олимпийских конькобежцев ($15,7 \pm 0,8$ и $14,0 \pm 0,7$ г/дл для мужчин и женщин) были аналогичны показателям других элитных спортсменов на выносливость. Хотя не было обнаружено никакой связи этого показателя с соревновательным успехом у элитных конькобежцев, он очень важен для оценки общего физического состояния спортсмена.

По данным, представленным в обзоре [1] максимальное потребление кислорода (VO_{2max}) не является ограничивающим фактором на элитном уровне. Также интересными оказались относительно низкие значения VO_{2max} у элитных конькобежцев, полученные в ходе тестирования на велоэргометре (соответственно 57,2–62,0 для мужчин и 52,2–54,9 мл/кг/мин для женщин) по сравнению с другими видами спорта с проявлением выносливости. Относительно низкие значения VO_{2max} могут быть связаны с физиологическими последствиями низкой посадки, используемой в скоростном беге на коньках [1]. В то время как положение на коньках в позиции традиционной посадки конькобежца является биомеханически выгодным, оно

оказалось физиологически невыгодным. Показатели аэробной работоспособности спортсменов, полученные во время тестирования конькобежцев в низкой посадке на льду были на 8–16% ниже, чем в тесте на велоэргометре. Тем не менее скорость бега на уровне VO_{2max} и на уровне вентиляционного порога хорошо коррелировали с личным лучшим результатами спортсменов на дистанциях 1500–5000 м. ЧСС на уровне вентиляционного порога, зарегистрированное в низкой посадке в тесте на льду было в среднем на 15 уд/мин ниже, чем на велоэргометре [12].

Снижение снабжения работающих мышц кислородом (деоксигенация) в позе конькобежца может привести к более быстрому нарастания утомления, чем в других видах спорта, что влияет на технику конькобежца в конце дистанции, что проявляется в увеличении угла в коленном суставе и в увеличении угла отталкивания [1]. Чтобы снизить негативное влияние деоксигенации на развитие мышечного утомления на длинных дистанциях конькобежцы используют менее взрывной и более растянутый старт по сравнению с велоспортом [1].

Из-за снижения кровотока, связанного с низкой посадкой конькобежца при выполнении тренировочной и соревновательной нагрузки происходит повышенное задействование быстро сокращающихся волокон. Это отражается в относительно высоких концентрациях лактата в крови конькобежцев по сравнению со спортсменами в других видах спорта [1].

Поэтому специфическую тренировку в низкой посадке конькобежцы могут проводить только в зонах повышенной интенсивности и в ограниченном объёме (рис. 3)

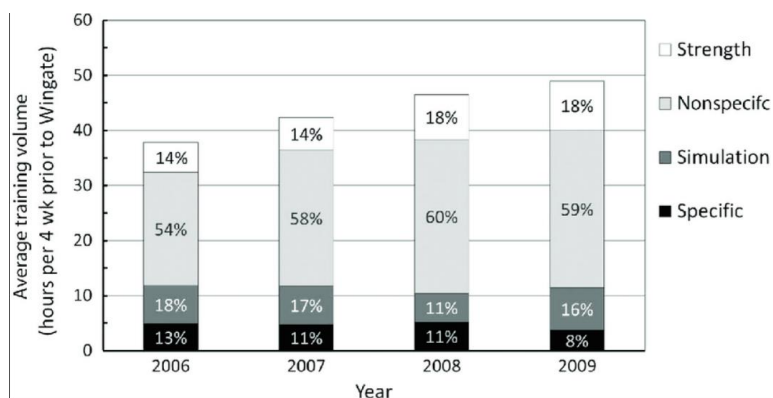


Рисунок 3 - Объем тренировок на этапе подготовки в течение нескольких лет, предшествовавших золотой медали на Олимпийских играх 2010 года. Для каждого года показывается средний объем (в часах) тренировочной нагрузки, выполненный в течение 4 недель до проведения теста Вингейта [13].

Современные элитные конькобежцы, добивающиеся высоких спортивных результатов, 82.2% тренировочной нагрузки выполняют в зонах низкой интенсивности (лактат $<2,4$ ммоль/л), 11.2% в зоне средней интенсивности (лактат $2,5-4$ ммоль/л) и 6,6% в зоне высокой интенсивности (лактат >4 ммоль/л) [14].

По данным Sandbakk Ø, et. Al [15] норвежские конькобежцы выполняют всего 150–200 часов специфических тренировок в низкой посадке в год из-за высокой мышечной нагрузки (расчетно - это может привести к суммарной величине в беге на коньках = 4500-5000 км. в сезон. Это совпадающая с эмпирикой величина), которая затрудняет выполнение тренировок в зонах низкой интенсивности. Поэтому специфические тренировки в основном проводятся в 4 и 5 зонах и являются анаэробной тренировкой выносливости. Тренировки аэробной выносливости в 1–3 зонах в основном состоят из езды на велосипеде. В меньшей степени используются роликовые коньки, а также имитационные упражнения.

Заключение.

Повышение спортивной результативности в скоростном беге на коньках обусловлено повышением мощности, развиваемой спортсменом и снижением сил сопротивления, что обеспечивается совершенствованием спортивной техники, когда движущая сила создается конькобежцем за счет отталкивания под прямым углом относительно скользящего движения конька в условиях низкой посадки и горизонтального расположения туловища.

Бег конькобежца в низкой посадке снижает возможности использования аэробной энергии, но позволяет двигаться спортсменам с высокой экономичностью.

Особенности техники скоростного бега на коньках ограничивает использование специфических тренировок, которые дополняются упражнениями в низкоинтенсивных зонах, заимствованными из других видов спорта.

Литература

1. Konings, M.J., Elferink-Gemser, M.T., Stoter, I.K., van der Meer, D., Otten, E., Hettinga, F.J. Tactical and technical characteristics of skaters on a long track: a review of literature. *Sports Med.* 2015 April; 45(4):505-16. DOI: 10.1007/S40279-014-0298-Z. PMID: 25547998
2. Kimura Y, Yokozawa T. Skating techniques of ladies' world-class long-distance speed skaters to shorten curved-section time during the official 3,000 m race. *Front Sports Act Living.* 2024 May 23;6:1396219. doi: 10.3389/fspor.2024.1396219. PMID: 38846019; PMCID: PMC11153739.
3. De Koning J. J. and van Ingen Schönau G. J. Factors Determining Performance in Speed Skating. In *Biomechanics in Sport*, edited by Zatsiorsky VM, Oxford, UK: Blackwell Science, 2000, pp. 232–246
4. de Koning JJ, Foster C, Lampen J, Hettinga F, Bobbert MF. Experimental evaluation of the power balance model of speed skating. *J Appl Physiol* 2005 Jan;98(1):227-33. doi: 10.1152/japplphysiol.01095.2003. PMID: 15591304
5. Zukowski M, Herzog W, Jordan MJ. Velocity-Load Jump Testing Predicts Acceleration Performance in Elite Speed Skaters: But Does Movement Specificity Matter? *Int J Sports Physiol Perform.* 2024 May 31;19(8):757-764. doi: 10.1123/ijsp.2023-0373. PMID: 38823795.
6. Zhu Q, Yang C, Ke P, Yang H, Hong P. A ground reaction force model of speed skating based on non-contact measurement system. *iScience.* 2023 Nov 22;27(1):108513. doi: 10.1016/j.isci.2023.108513. PMID: 38188521; PMCID: PMC10770484.
7. Kimura Y, Yokozawa T. Skating techniques of ladies' world-class long-distance speed skaters to shorten curved-section time during the official 3,000 m race. *Front Sports Act Living.* 2024 May 23;6:1396219. doi: 10.3389/fspor.2024.1396219. PMID: 38846019; PMCID: PMC11153739.
8. Noordhof DA, van Tok E, Joosten FS, Hettinga FJ, Hoozemans MJ, Foster C, de Koning JJ. Historical Improvement in Speed Skating Economy. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017 Feb;12(2):175-181. doi: 10.1123/ijsp.2015-0709. Epub 2016 Aug 24. PMID: 27197024
9. Stoter I.K., Hettinga F.J., Otten E., Visscher C., Elferink-Gemser M.T. Changes in technique throughout a 1500-m speed skating time-trial in junior elite athletes: Differences between sexes, performance levels and

- competitive seasons. PLoS ONE. 2020;15:e0237331. doi: 10.1371/journal.pone.0237331.
10. Wang H, Wu Y, Liu J, Zhu X. Investigation of the Mechanical Response of the Foot Structure Considering Push-Off Angles in Speed Skating. Bioengineering (Basel). 2023 Oct 18;10(10):1218. doi: 10.3390/bioengineering10101218. PMID: 37892948; PMCID: PMC10604206.
 11. Yu B, Herzog W. In vivo vastus lateralis fascicle excursion during speed skating imitation. J Biomech. 2023 Nov;160:111814. doi: 10.1016/j.jbiomech.2023.111814. Epub 2023 Oct 5. PMID: 37832489.]
 12. Kong Z, Zhang H, Zhang M, Jia X, Yu J, Feng J, Zhang S. How to Test the On-Ice Aerobic Capacity of Speed Skaters? An On-Ice Incremental Skating Test for Young Skaters. Int J Environ Res Public Health. 2023 Feb 8;20(4):2995. doi: 10.3390/ijerph20042995. PMID: 36833692; PMCID: PMC9959978.
 13. Orie J, Hofman N, Meerhoff LA, Knobbe A. Training Distribution in 1500-m Speed Skating: A Case Study of an Olympic Gold Medalist. Int J Sports Physiol Perform. 2021 Jan 1;16(1):149-153. doi: 10.1123/ijsp.2019-0544. Epub 2020 Oct 1. PMID: 33004683
 14. Sperlich B, Matzka M, Holmberg HC. The proportional distribution of training by elite endurance athletes at different intensities during different phases of the season. Front Sports Act Living. 2023 Oct 27;5:1258585. doi: 10.3389/fspor.2023.1258585. PMID: 37964776; PMCID: PMC10641476
 15. Sandbakk Ø, Tønnessen E, Sandbakk SB, Losnegard T, Seiler S, Haugen T. Best-Practice Training Characteristics Within Olympic Endurance Sports as Described by Norwegian World-Class Coaches. Sports Med Open. 2025 Apr 25;11(1):45. doi: 10.1186/s40798-025-00848-3. PMID: 40278987; PMCID: PMC12031707]

Сведения об авторах

*Кряжев В.Д. д.п.н, ведущий научный сотрудник,
Федеральный научный центр физической культуры и спорта
(ФНЦ ВНИИФК), г. Москва
Тел. +7-905531-03-49 kryzev@mail.ru*

*Драбкин Борис Федорович, к.п.н., профессор, руководитель КНГ,
ФГБУ ЦСП, Общероссийская общественная организация
конькобежного спорта «Союз конькобежцев России», г. Москва
Тел. +7(915)2872925 drabkin2010@yandex.ru*