



Экономичность бега и эффективность вело- педалирования: стратегии улучшения

Михаил Виноградов Анатольевич

Ведущий специалист ЦСТ Москомспорта

«Необходимо прикладывать все больше усилий для постоянного улучшения результатов российских спортсменов. Ещё одна тема – развитие спортивной науки. В этой сфере у нас решены лишь первоочередные вопросы медико-биологического обеспечения спортсменов. Слава богу, конечно, что и эти шаги сделаны. Но всё-таки ещё здесь многое нужно предпринять для того, чтобы быть на самом высоком, требуемом сегодня уровне... Нужно проанализировать и положение дел в сфере научных исследований. Их результаты напрямую связаны с совершенствованием методики подготовки спортсменов, а также с развитием спортивных технологий, что особенно важно для паралимпийцев. Мы здесь, к сожалению, пока отстаём, в том числе и по причине недостаточного финансирования этих направлений...»

В.В. Путин

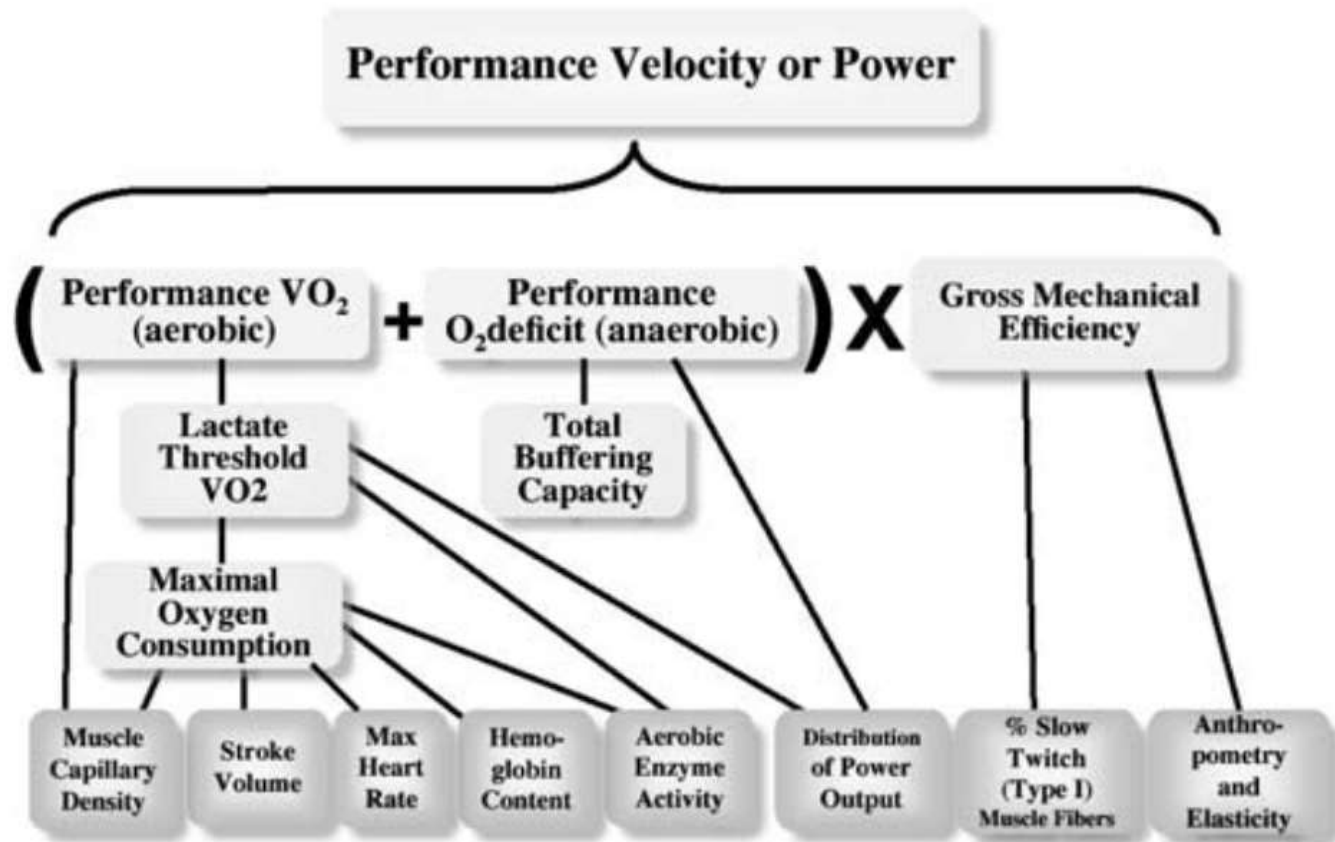
выступление на заседании Совета при Президенте
по развитию физической культуры и спорта
6 ноября 2012 года



В данном семинаре вы узнаете:

1. Оценка экономичности и эффективности в беге и велоспорте.
2. Общая эффективность, чистая эффективность, рабочая эффективность, дельта-эффективность.
3. Силовые воздействия.
4. Гипоксические и термальные воздействия на показатели экономичности.
5. Диетологические воздействия на показатели экономичности.

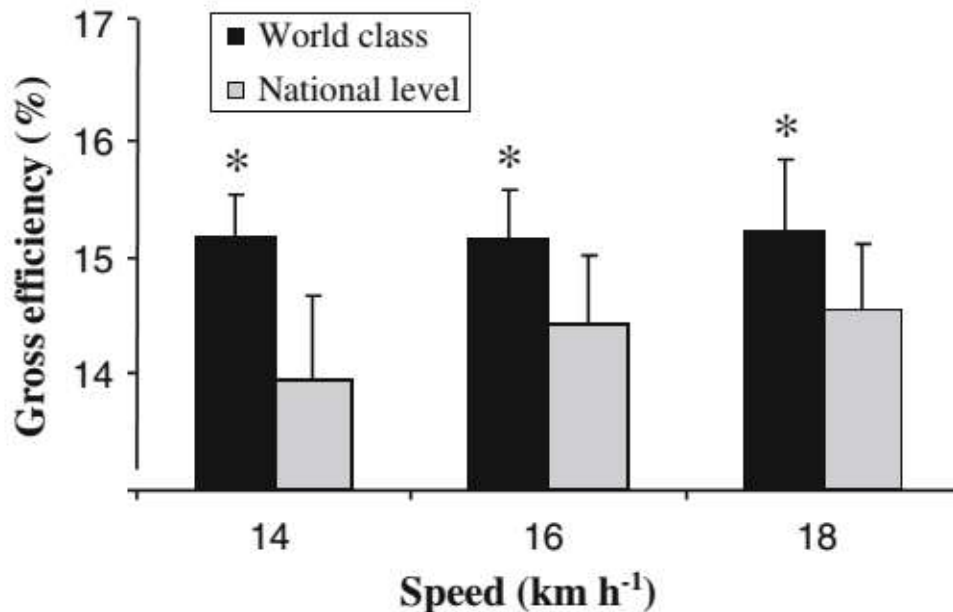
Детерминанты спортивных достижений в видах спорта на выносливость



Joyner, M. J. and E. F. Coyle (2008). "Endurance exercise performance: the physiology of champions." The Journal of Physiology **586(1): 35-44.**

Ключевые детерминанты спортивных достижений в видах спорта на ВЫНОСЛИВОСТЬ

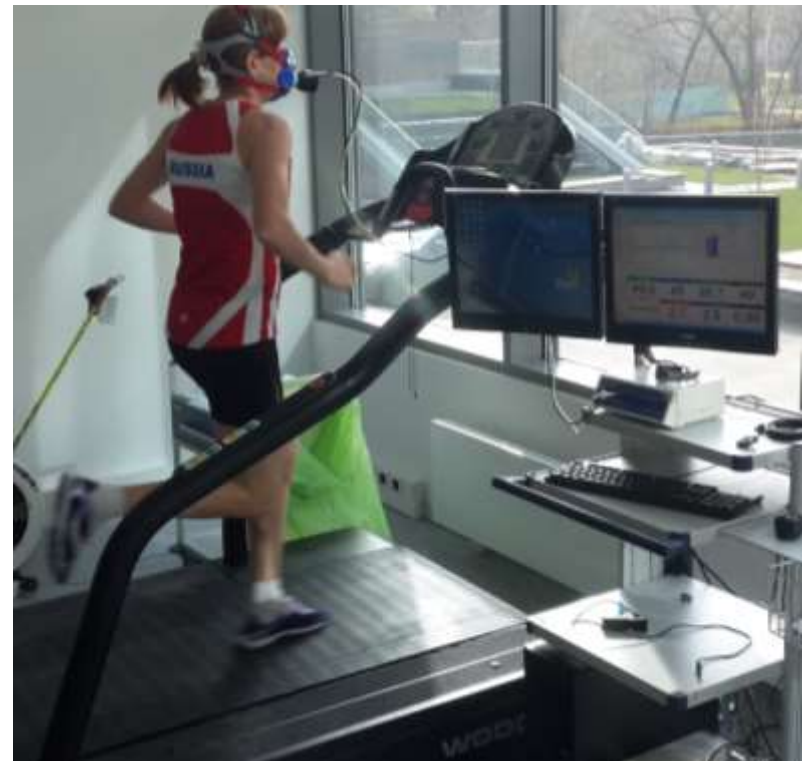
- **Экономичность спортивного передвижения**



- Для оценки требуются субмаксимальные тестовые ступени 4-8 минут

Мониторинг: оценка эффективности соревновательного передвижения

- Пример расчёта GE
- Бег 16 км/час – потребление кислорода 3,055 л/мин. RER=1,0.
- Энергетический эквивалент ПК при этом RER = 5,189 ккал/л.
Расход ккал в минуту бега = 5,189 x 3,055 = 15,85
- Переводим в джоули 15,85 x 4,1868 = 66,37 килоджоулей
- Мощность бега на этой скорости 262 Ватт. Переводим в килоджоули за минуту 262 x 60 /1000 = 15,72
- GE = 15,72/66,37 = 23,7%



Общая эффективность: велоспорт

- Пример расчёта GE
- Педальирование 200 ватт – потребление кислорода 3,354 л/мин. RER=0,83.
- Энергетический эквивалент ПК при этом RER = 20,943 кДж/л. Расход энергии за минуту педальирования = $20,943 \times 3,354 = 70,2$ кДж
- Мощность переводим в килоджоули за минуту $200 \times 60 / 1000 = 12$ кДж
- $GE = (12/70,2) \times 100 = 17,1\%$



Чистая эффективность

- Чистая эффективность (net efficiency, NE) = (выполненная работа / (затраченная энергия – базальный метаболизм)) x 100

Вычисление чистой эффективности нуждаются в знании о базальном уровне метаболизма спортсмена. Следует использовать газоанализ в спокойном состоянии. Зафиксированные значения позволяют вычлени в затратах метаболической энергии тот уровень, который требуется для поддержания жизнедеятельности человека и тот уровень, который соответствует выполняемой физической нагрузке.



Рабочая эффективность

- Рабочая эффективность (work efficiency, WE) = (выполненная работа / (затраченная энергия – базальный метаболизм – работа, связанная с перемещением конечностей)) x 100

Рабочая эффективность для своего расчета нуждается в элиминировании не только базального метаболизма, но и «пустой» работы, связанной с перемещением конечностей. Для того, чтобы определить энергии, связанной с движениями ног при велопедальровании, следует записать данные газообмена при выполнении pedalирования, заданной частоты (что и в последующем нагрузочном тесте) без сопротивления.



Дельта-эффективность

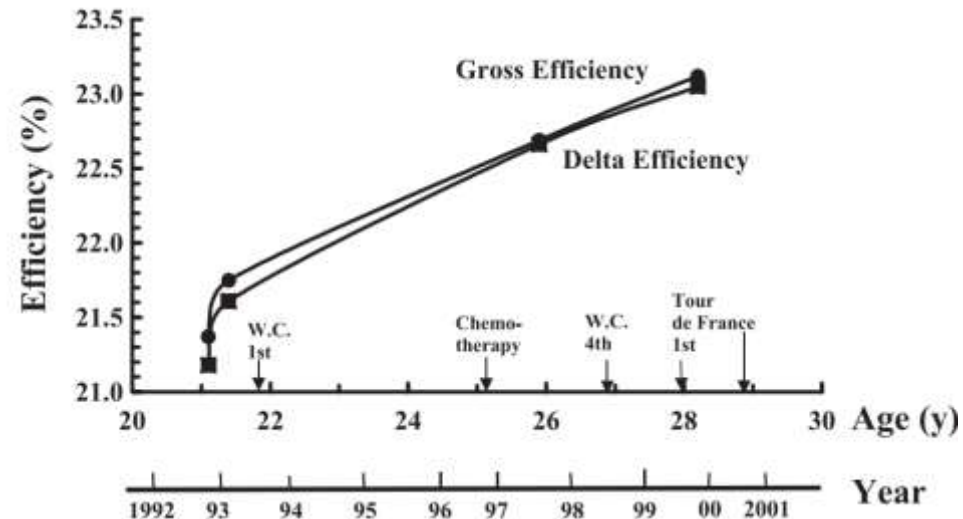
- Дельта-эффективность (delta efficiency, DE) = (прирост выполненной работы / прирост затраченной энергии) x 100

Если мы будем учитывать не абсолютные величины, а величины прироста затрат и производства энергии, то это позволит решить проблемы точных оценок базового метаболизма и затрат энергии на перемещение конечностей



Общая и дельта-эффективность

- GE – общая эффективность показывает с какой пропорцией метаболическая энергия трансформируется в механическую (18-23% велосипед).
- Дельта-эффективность – отношение прироста механической энергии к приросту затрат метаболической энергии (~25% в велоспорте, ~45% в беге)



Общая и дельта-эффективность чемпиона мира, победителя Тур де Франс в разные годы, Coyle, 2005

Экономичность вело- педалирования

Category	Trained cyclists	Well-trained	Élite	World Class
Training and race status				
Training frequency	2-3 times a week	3-7 times a week	5-8 times a week	5-8 times a week
Training duration	30-60 min	60-240 min	60-360 min	60-360 min
Training background	1 year	3-5 years	5-15 years	5-30 years
Race days per year	0-10	0-20	50-100	90-110
UCI ranking	-	-	first 2000	first 200
Economy (W/L/min)	72-74	74-75	76-77	>78

Jeukendrup, A. E., et al. (2000). "The bioenergetics of world class cycling." Journal of Science and Medicine in Sport **3(4): 414-433.**

Показатели экономичности бега у бегунов мирового класса

Спортсмены	Экономичность бега (мл/кг/км)
Tadesse Zerisenay	150
Henrik Ingebrigtsen (чемпион Европы 2012 на 1500 м)	190
Frank Shorter (олимпийский чемпион 1972 в марафоне)	192
Элитные кенийские бегуны (включая медалистов ОИ)	192

Тренировки на выносливость

- Как показано в ряде исследований (Dubouchaud H, Butterfield GE, Wolfel EE, et al., 2000) многолетние тренировки на выносливость способствуют росту доли мышечных волокон типа I.
- Волокна типа I более механически эффективны, в результате снижаются затраты энергии при заданном уровне силы.

Интервальные тренировки

- Для слаботренированных спортсменов интервальные тренировки ассоциируются с улучшением экономичности соревновательного передвижения.
- Улучшения происходят главным образом за счет физиологических, а не биомеханических факторов.
- Для тренированных спортсменов данные исследований по этому вопросу противоречивы.

Силовая максимальная: велоспорт

- Соревновательные велосипедисты
- 8 недель, 3 силовых в неделю, полуприсяд, 4 подхода по 4 повтора, 4RM, 3 минут отдых. Если получалось сделать 5 повторов, добавлялся вес 2,5 кг

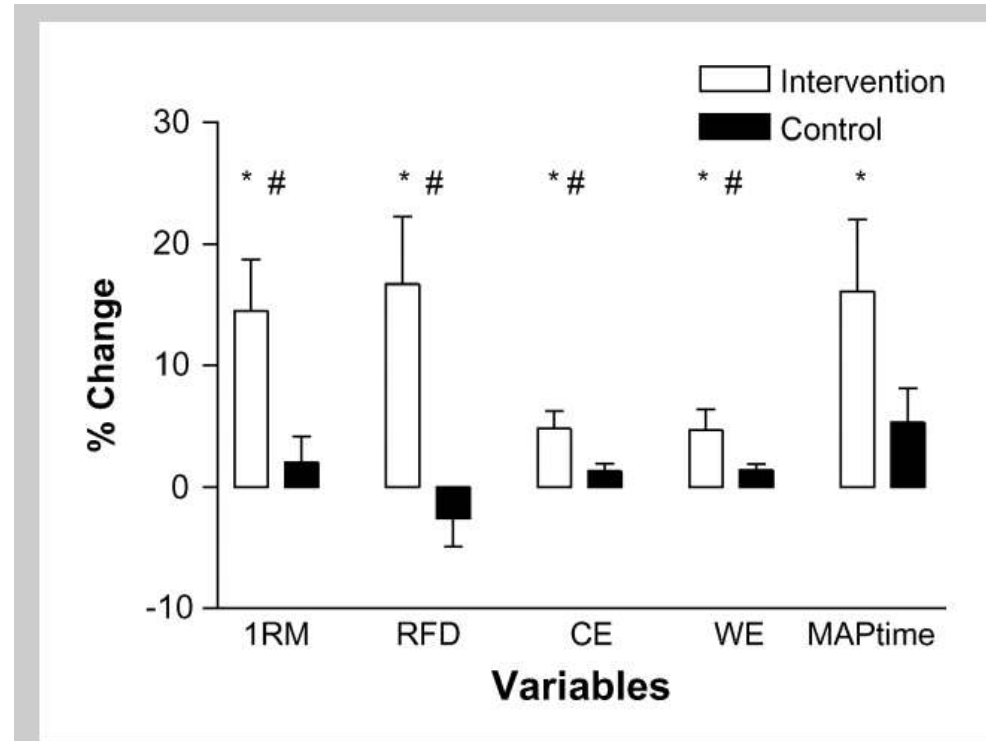


Figure 1. Percent changes from before to after intervention in the intervention group ($n = 8$) and the control group ($n = 5$). 1RM = 1 repetition maximum half-squat; RFD = rate of force development half-squat; CE = cycling economy ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-0.67}\cdot\text{W}^{-1}$); WE = work efficiency; tMAP = time to exhaustion at pre-intervention maximal aerobic power.

Sunde, A., et al. (2010). "Maximal Strength Training Improves Cycling Economy in Competitive Cyclists." *The Journal of Strength & Conditioning Research* **24(8)**: 2157-2165.

Силовая максимальная: бег

- Многочисленные исследования (Johnston et al., 1997; Hoff & Helgerud, 2002; Millet et al., 2002; Storen et al., 2008; Guglielmo et al., 2009; Taipale et al., 2010) подтверждают улучшение экономичности бега под влиянием силовой (по протоколу максимальная сила) за 8-14 недель
- Механизм: позитивные нейромышечные адаптации



Силовая максимальная: бег

- 8 недель, 3 силовых в неделю, полуприсяд, 4 подхода по 4 повтора, 4RM, 3 минут отдых. Если получалось сделать 5 повторов, добавлялся вес 2,5 кг

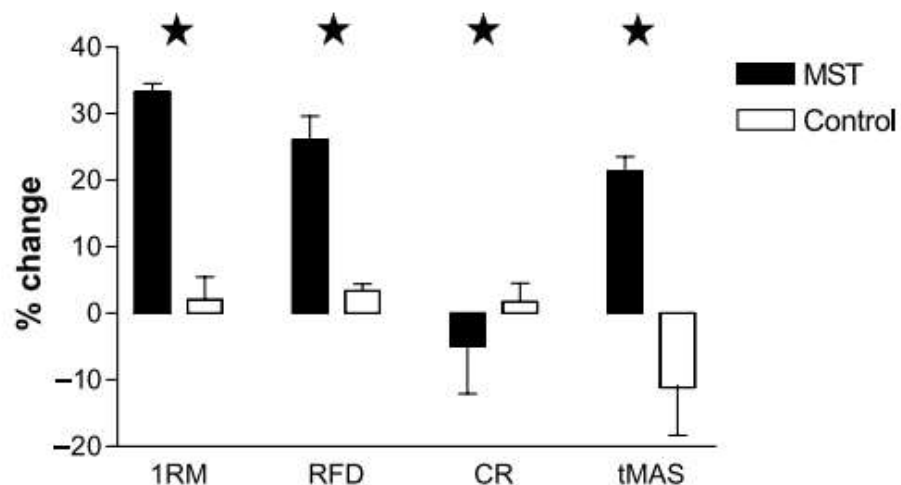


FIGURE 1—Percent changes from pre- to postintervention in the training group and the control group. * $P < 0.05$, between-group differences. 1RM, one repetition maximum half-squat; RFD, RFD half-squat; CR, cost of running; tMAS, time to exhaustion at MAS.

Storen, O., et al. (2008). "Maximal strength training improves running economy in distance runners." MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE **40(6): 1087-1092.**

Силовая взрывная: бег

- Серия исследований показала улучшение экономичности бега под влиянием тренировок на взрывную силу (Paavolainen et al., 1999; Spurrs et al., 2003; Turner et al., 2003; Saunders et al., 2006; Taipale et al., 2010).
- Не менее 2-3 тренировок в неделю!
- Пример протокола: 3-5 сета до отказа (12RM), отдых 3 минуты (5 упражнений на ноги)

Силовая взрывная: велоспорт

- Для велосипедных видов спорта в исследованиях (Bastiaans et al., 2001; Rønnestad et al., 2010a, b; Aagaard et al., 2011) показаны незначительные изменения в показателях экономичности велопедалирования под влиянием протоколов взрывной силы.

Силовая и экономичность бега

- Хотя силовая выносливость также обладает потенциалом улучшать экономичность, но силовая по протоколу максимальной силы показывает в сравнительных исследованиях большую эффективность.
- Силовая по протоколам максимальной силы в сравнительных исследованиях показывает большую эффективность по сравнению с плиометрическими/взрывными протоколами.

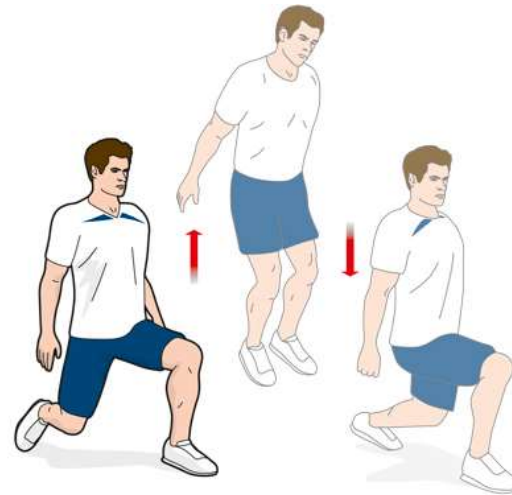
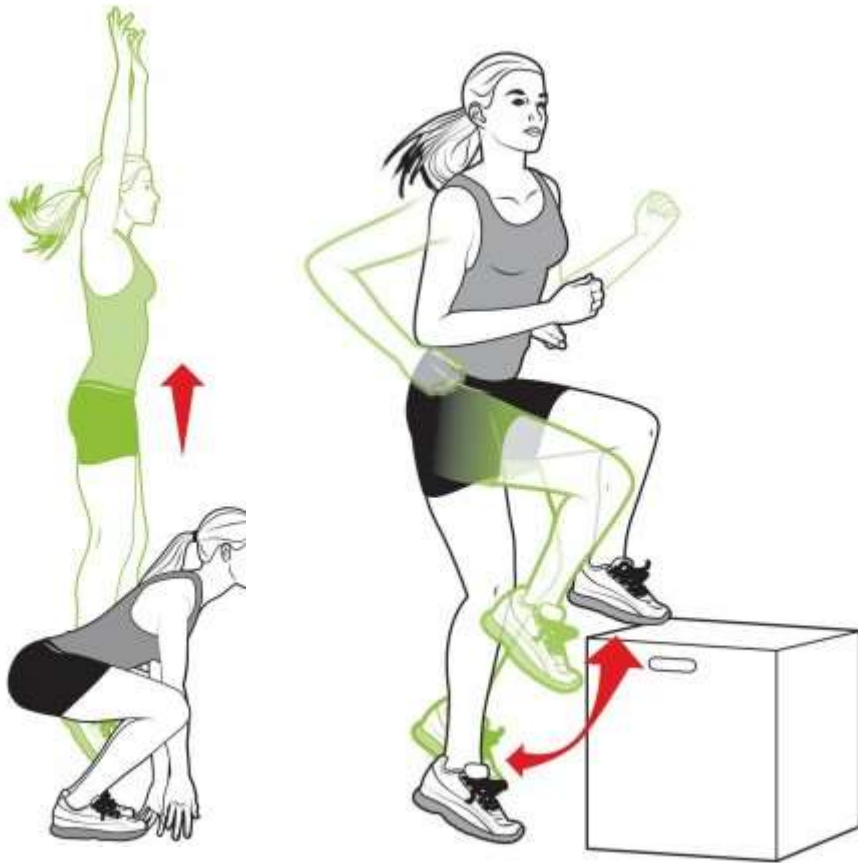
Плиометрика

- Взрывные прыжковые усилия, отдых 30-60 секунд. Количество повторов определяется сохранением «свежести» в ногах.
- В исследовании [Pavolainen, 1999] высококвалифицированных спортсменов 32% времени, отводимом на тренировки на выносливость, было замещено упражнениями взрывного характера и плиометрическими упражнениями, специфичными для бега.

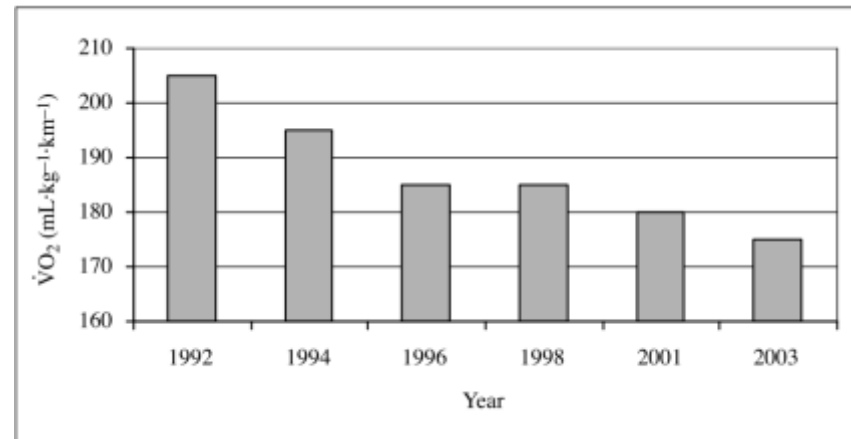
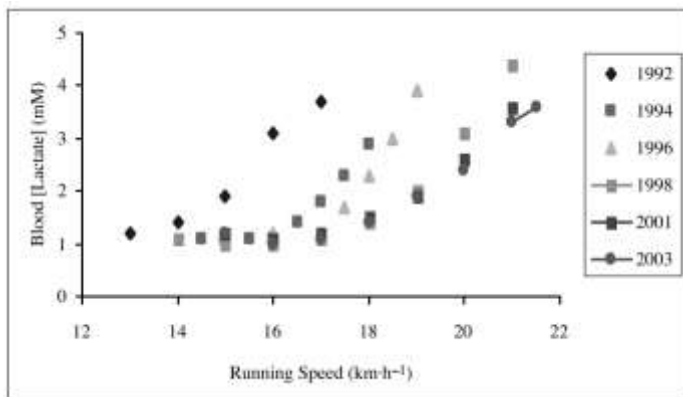
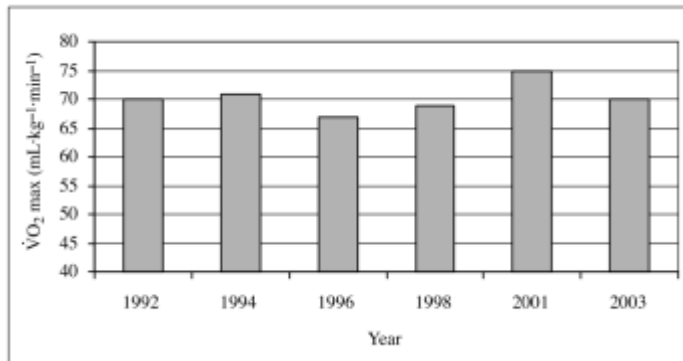
Плиометрия

- В результате улучшились соответствующие нейромышечные механизмы (↓ время 20 метров с ходу (3,4%), ↑ 5х прыжка с места с ноги на ногу (4,6%), ↓ снижением времени опоры во время соревновательного бега).
- Экономичность бега улучшилась на 8,1%, а соревновательные результаты на 5000 м – на 3,1%.

Плиометрика: Упражнения



Пример успешного использования плиометрики: Пола Рэдклифф



- МПК (1992-2003) ~ 70 мл/кг/мин
- Скорость АНП – с 16,0 км/час (1992) до 20,0 км/час (2003)

Экономичность бега с 205 мл/кг/км (1992) до 165 (2005)
Вертикальный прыжок с 29 см (1996) до 38 см (2003)

Изометрика

- Здоровые велосипедисты 7 недель, 4 р/неделю изометрика (разгибатель колена), 10 макс. сокращений на каждую ногу за сессию по 5 сек каждая, 30 сек. отдых, 2 серии, 3 мин м/у сериями
- MVC ↑ 15% (после 1 недели), ↑ 19% (после 7 недель).
- ↓ экономичность ~7%!

Zoladz, J., et al. (2012). "Isometric strength training lowers the O₂ cost of cycling during moderate-intensity exercise." European Journal of Applied Physiology **112(12): 4151-4161.**

Биомеханические аспекты: Бег

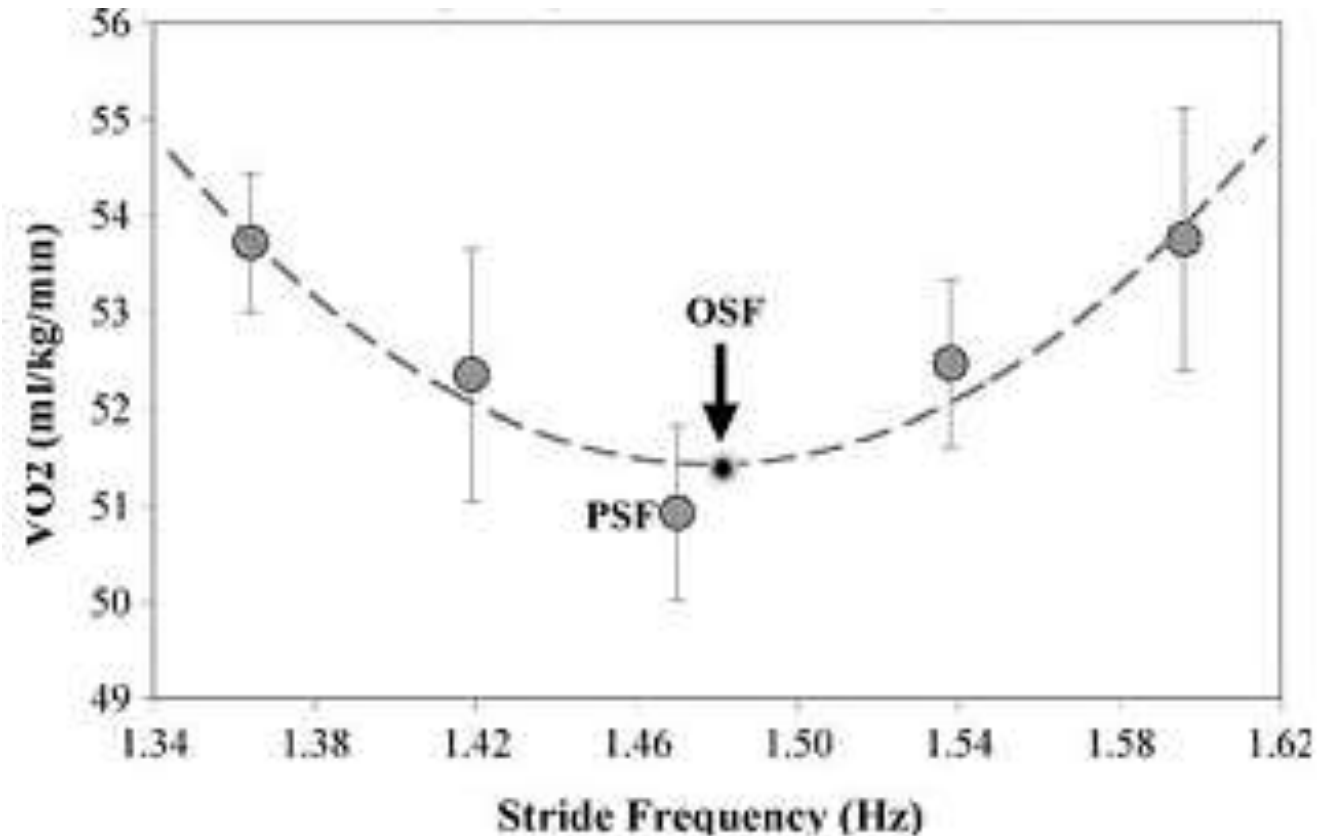
- Длина тела бегуна.
- Весовой индекс (масса тела спортсмена, деленная на длину тела в кубе)
- Доля жира в составе тела.
- Морфология ног.
- Строение таза.
- Длина стопы.
- Соревновательная обувь.
- Вертикальные колебания центра масс.
- Угол в коленном суставе при «складывании» ноги в маховом движении.
- Движения рук.
- Угловая скорость и диапазон движения стопы при «съеме»
- Силы реакции опоры.
- Использование энергии упругой деформации.
- Покрытие, по которому осуществляет бег.
- Характер совместного движения бедер и плечей.

Биомеханические аспекты: Бег

- Более выгодно иметь распределение масс в теле, ближе к центру масс. Так аэробный запрос от лишнего килограмма, расположенного на туловище, увеличивается на 1%, в то время как каждый дополнительный килограмм, расположенный на обуви, увеличивает аэробный запрос на 10%

Биомеханические аспекты: Бег

PSF –
предпочитаемая
частота шагов;
OSF –
оптимальная
частота шагов



Hunter, I. and G. A. Smith (2007). "Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run." European Journal of Applied Physiology **100(6): 653-661.**

Биомеханические аспекты: велоспорт

- Как продемонстрировано в работах [Price, 1997; Neil, 1995], угол подседельной трубы и высота седла влияют на показатель общей эффективности. В частности, было вычислено, что энергетически оптимальной комбинацией угла подседельной трубы и высоты седла являются значения в 70° и 100% высоты положения вертела бедренной кости. Изменения же данных значений сопряжены с различными неблагоприятными изменениями в натяжении-расслаблении рабочих мышц и угловых паттернов педалирования.



Адаптация к жаре и экономичность бега

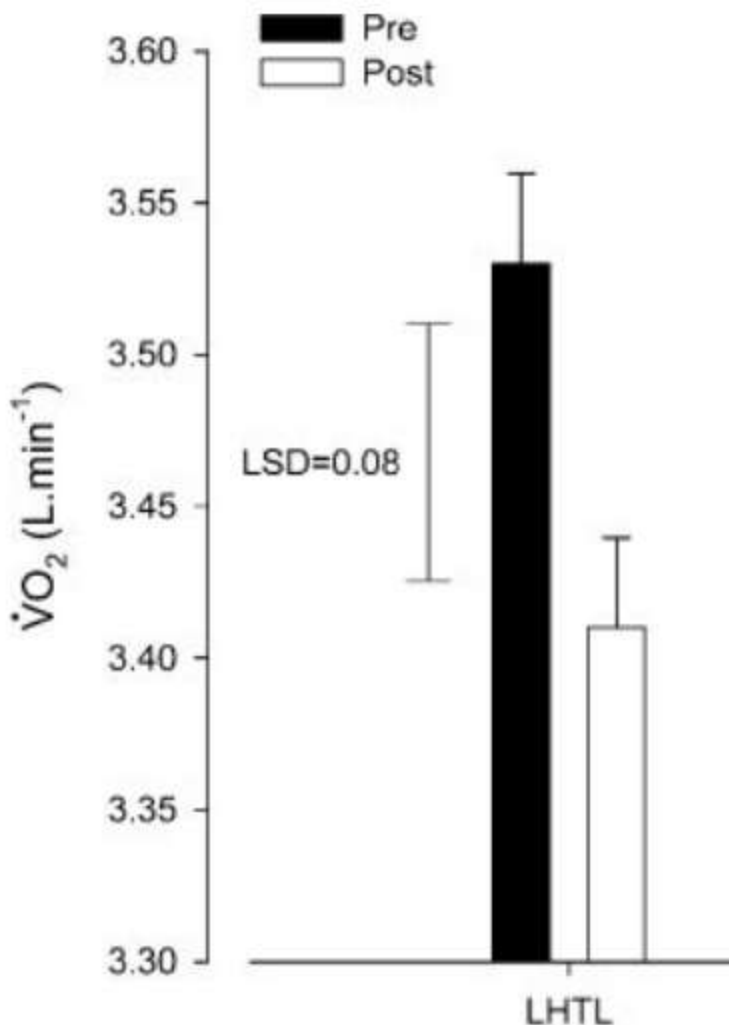
- Исследования подтверждают улучшение экономичности при акклиматизации к жаре
- 7-14 дней
- Тренировки по 60-90 минут



- Живи-высоко-тренируйся-низко (LHTL) – одна из наиболее оптимальных современных схем использования гипоксии
 - Спуск на более низкие высоты для выполнения высокоинтенсивных тренировок
 - Использование дополнительного кислорода
 - Проживание в гипоксическом тенте/доме.3-10% улучшение экономичности.



Адаптация к гипоксии



Saunders, P. U., et al. (2004). "Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure." *Journal of Applied Physiology* **96(3): 931-937.**

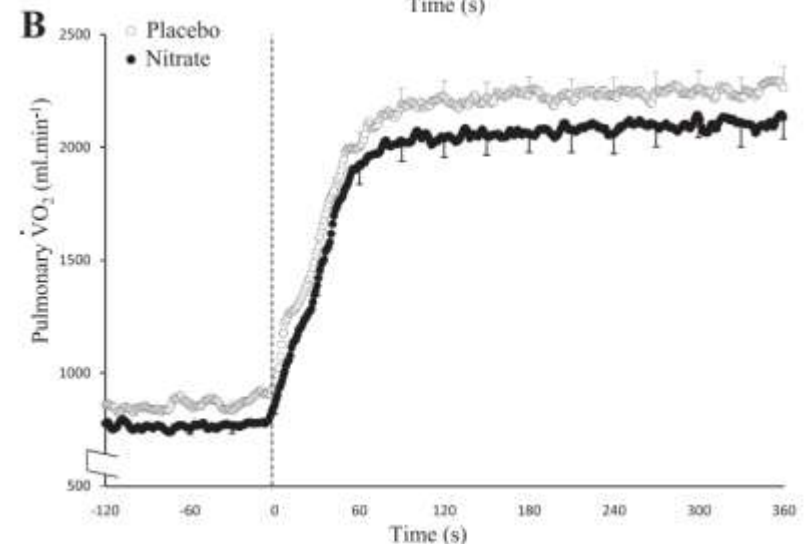
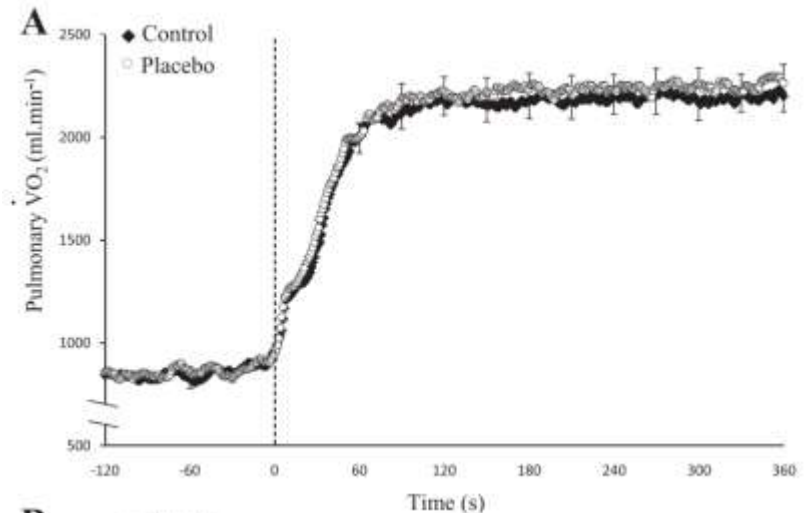
Скорости 14, 16, 18 км/час для оценки экономичности бега

Table 2. *LHTL simulated altitude protocol*

Week	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1	600	2,000	2,000	2,200	2,500	600	600
2	2,500	2,500	2,500	2,500	2,700	600	600
3	2,500	2,700	2,800	2,800	3,000	600	600
4	2,700	2,900	3,000	3,000	3,100	600	600

Улучшение экономичности: прием донаторов оксида азота

- Прием продуктов питания и БАД на основе оксида азота (L-аргинин, цитрулина малат, свекольный сок, нитрит натрия, шпинат и т.д.) способен снизить потребления кислорода (без компенсаторного роста анаэробных процессов).
- Происходит это за счет:
 - Повышения эффективности респирирования в митохондриях (снижение потребления кислорода для заданного уровня окислительного ресинтеза АТФ)
 - Улучшения эффективности сокращения мышечных волокон (снижение затрат АТФ при заданной мощности мышечных сокращений)



До и после 6 дней приема свекольного сока

Практические вопросы

- Прием с продуктами питания и БАД 5-7 ммол нитрата ($\sim 0,1$ ммол/кг массы тела) приводит к существенному росту концентрации нитрата в плазме крови и ассоциируется с улучшением экономичности соревновательных передвижений. Эта доза может быть получена потреблением 0.5 литра свекольного сока или эквивалентным потреблением овощей (шпинат, салат кресс и т.д.).
- L-аргинин: малая доза 2 г/день; пиковая доза 14 г/день.
- Пик концентрации нитратов в плазме крови (после приема) составляет 2-3 часа и остается повышенным в течение 6-8 часов, возвращаясь к норме в течение 24 часов. Обычная рекомендация: прием до соревнований или тренировок – за 3 часа.
- Курсовой прием варьируется от 3 до 28 дней



- Самостоятельное применение данных рекомендаций может нанести вред вашему здоровью.
- Для грамотного применения данных рекомендаций обращайтесь к специалистам ***Центра спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд***

Резюме

- Экономичность бега и эффективность вело-педалирования представляют собой ключевые детерминанты спортивных достижений
- В распоряжении тренера и спортсмена существует набор стратегий по улучшению этих показателей, в т.ч. Силовые тренировки, гипоксические воздействия, термальные воздействия, прием донаторов оксида азота и некоторые другие.

Михаил Виноградов



- vinogradov.coach@gmail.com
- Instagram: [@vinogradovcoach](https://www.instagram.com/vinogradovcoach)