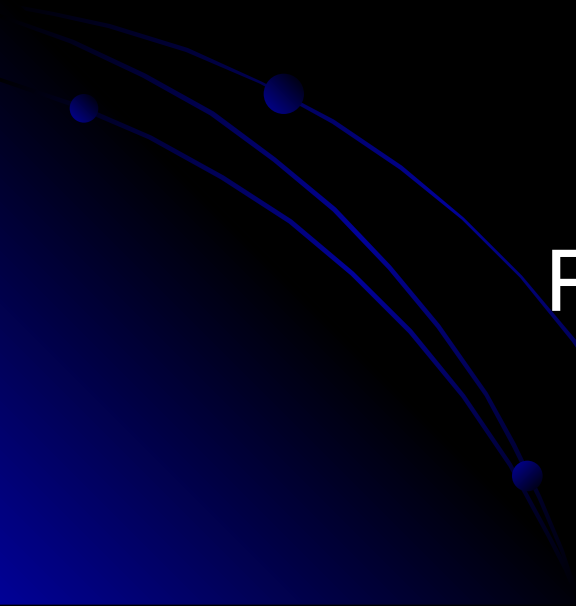


БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫНОСЛИВОСТИ СПОРТСМЕНОВ

д.б.н., профессор
Тамбовцева Р.В.
РГУФКСМиТ, Москва



ВЫНОСЛИВОСТЬ

- **Выносливость определяет уровень работоспособности спортсмена.**
- **Выносливость характеризуется продолжительностью работы на заданном уровне мощности до первых признаков выраженного утомления, которое приводит к снижению уровня работоспособности.**
- **Выносливость определяется продолжительностью работы, выполненной до отказа, то есть предельным временем (t_{пр.})**

БИОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВЫНОСЛИВОСТИ

- Выносливость можно охарактеризовать отношением величины энергетических резервов, доступных для использования, к скорости расходования энергии при выполнении данного вида упражнений:
- **Выносливость (tпр, мин) = $\frac{\text{Запасы энергии (Дж)}}{\text{скорость расхода энергии (Дж.мин-1)}}$**
- Выносливость определяется временем функционирования с заданной интенсивностью до полного исчерпания имеющихся энергетических ресурсов.
- Конкретное проявление выносливости всегда носит специфический характер, который зависит от использования в качестве источников энергии различных метаболических процессов.
- В соответствии с наличием трех различных механизмов энергообразования выделяются три составных компонента выносливости – алактатный, гликолитический и аэробный
- Общее проявление выносливости, оцениваемое по времени работы до отказа представлена как сумма различного сочетания параметров мощности, емкости и эффективности аэробного и анаэробного процессов.

Биохимические факторы выносливости

$$\begin{aligned} \text{выносливость} = & \alpha_1 \frac{\text{алактатная емкость } (E_{\text{ал}}, \text{ кал})}{\text{алактатная мощность } (V_{\text{ал}}, \text{ кал} \cdot \text{мин}^{-1})} + \\ & + \alpha_2 \frac{\text{гликолитическая емкость } (E_{\text{гл}}, \text{ кал})}{\text{гликолитическая мощность } (V_{\text{гл}}, \text{ кал} \cdot \text{мин}^{-1})} + \\ & + \alpha_3 \frac{\text{аэробная емкость } (E_{\text{аз}}, \text{ кал})}{\text{аэробная мощность } (V_{\text{аз}}, \text{ кал} \cdot \text{мин}^{-1})} . \end{aligned}$$

Биохимические основы выносливости

- **Разнообразные проявления выносливости могут быть количественно оценены с помощью девяти биоэнергетических критериев:**
 - – **трех критериев мощности (алактатной, гликолитической, аэробной)**
 - - **трех критериев емкости (алактатной, гликолитической, аэробной)**
 - - **трех критериев эффективности (алактатной, гликолитической, аэробной)**

Биоэнергетические критерии аэробного и анаэробного компонентов выносливости

Критерии	Показатели биоэнергетических систем		
	аэробные	гликолитические анаэробные	алактатные анаэробные
Мощность	Максимальное потребление O_2 , критическая мощность	Максимальный прирост молочной кислоты в крови, максимальное "избыточное" выделение CO_2 , мощность истощения	Скорость распада КрФ, максимальная анаэробная мощность
Емкость	Время удержания ($t_{уд}$) максимального потребления O_2 , максимальный O_2 -приход	Максимальное накопление молочной кислоты, общий O_2 -долг, наибольший сдвиг pH	Размеры алактатного O_2 -долга, максимальный расход КрФ, накопление креатина
Эффективность	Кислородный эквивалент работы, ПАНО и др.	Молочнокислый эквивалент работы, $\Delta pH/\Delta W$	Скорость оплаты алактатного O_2 -долга, $\Delta КрФ/\Delta W$

Биохимические основы выносливости

- В умеренных упражнениях, где уровень общих затрат энергии не превышает значений максимального усиления скорости аэробного образования энергии, выносливость представлена преимущественно ее аэробным компонентом.
- С увеличением мощности упражнения выше критического уровня, соответствующего максимальному потреблению кислорода, роль аэробного компонента выносливости постепенно уменьшается и в такой же степени возрастает значение анаэробных компонентов.
- В кратковременных упражнениях максимальной мощности проявления выносливости носят преимущественно анаэробный характер с равным представительством алактатного и гликолитического компонентов.

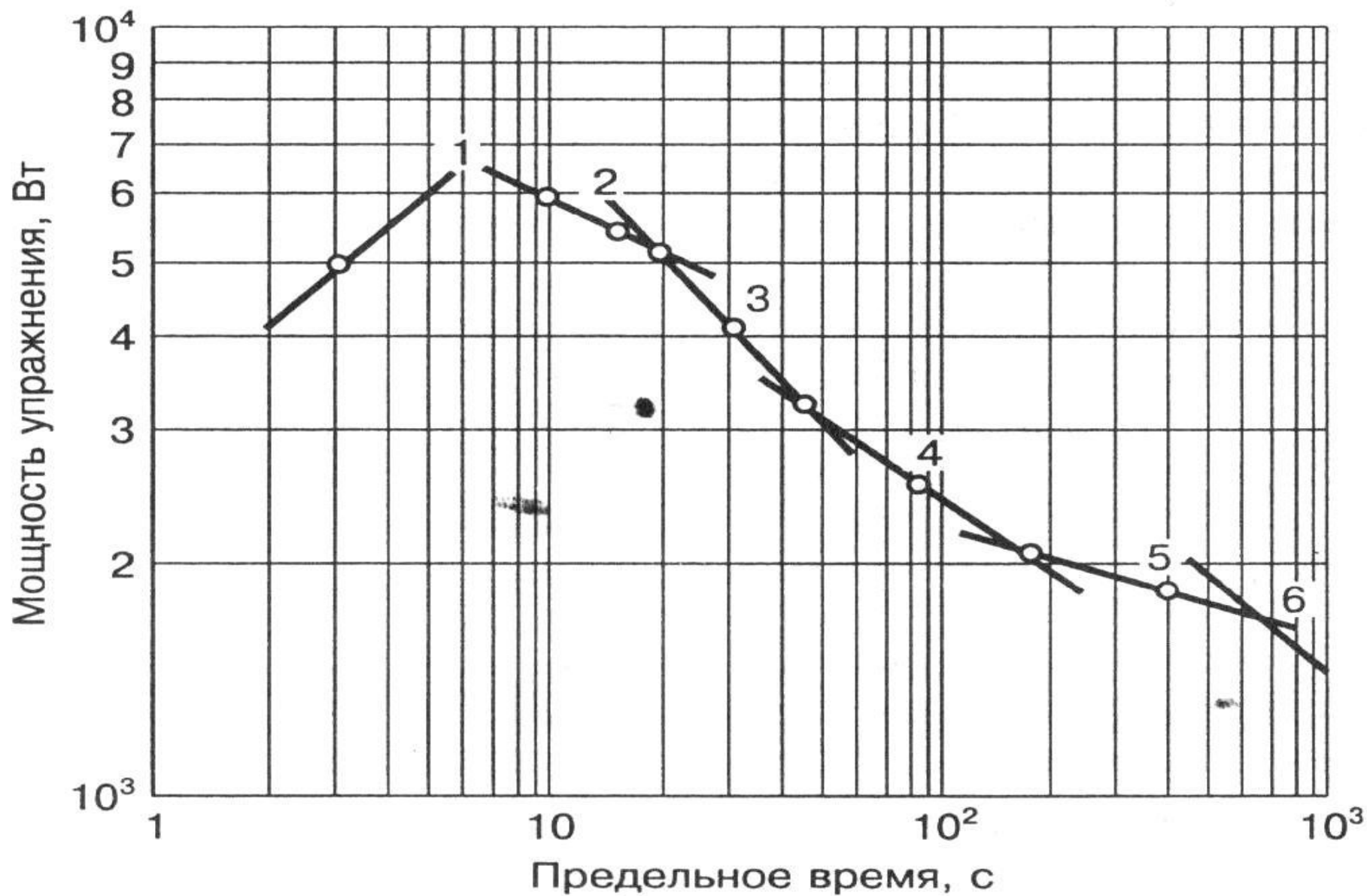
Биохимические основы выносливости

- Дифференцированная оценка выносливости по параметрам мощности, емкости и эффективности может быть выполнена на основе измерений показателей внешне выполняемой работы (эргометрические критерии) или путем прямых физиологических и биохимических измерений в упражнениях, когда может достигнуть максимальных значений для биоэнергетических параметров.
- В качестве эргометрических критериев выносливости, имеющих высокую прогностическую значимость, наряду с показателями предельного времени и предельного количества выполненной работы используются показатели критической скорости, порога анаэробного обмена, дистанции анаэробных резервов, максимальной анаэробной мощности и т.д.
- Эргометрические критерии для количественной оценки выносливости спортсменов могут быть разделены на частные (парциальные), отражающие особенности проявления выносливости в каком-либо одном виде упражнений, и обобщенные (зональные), характеризующие особенности проявления выносливости в определенной группе упражнений, сходных по какому-либо признаку.
- К частным показателям выносливости относится предельное время работы с заданной интенсивностью, рекордное время преодоления заданной дистанции в циклических упражнениях, индекс выносливости по Куретену и т.д.
- Обобщенные показатели выносливости обычно выводятся путем математического анализа результатов эргометрических определений различных упражнений.
- Наиболее часто для этих целей используется анализ зависимостей мощность – предельное время и работа – предельное время

Эргометрические критерии выносливости

- Обобщенным показателем выносливости, выводимым из анализа этой зависимости, служит относительная скорость падения степенной кривой, которая выражается коэффициентом выносливости P .
- Этот коэффициент можно определить по зависимости мощность – время с логарифмическими координатами, где сплошная кривая разделяется на несколько линейных отрезков, каждому из которых соответствует уравнение:
 - $Lg W = Lg W_{max} - p Lg t$
- При логарифмическом преобразовании степенной зависимости коэффициент выносливости P становится равным тангенсу угла наклона каждого отрезка кривой.
- Наличие на графике нескольких прямолинейных отрезков, различающихся по углу наклона, свидетельствует о том, что в каждом временном диапазоне упражнений действуют свои, отличные друг от друга причины, обуславливающие развитие утомления и определяющие проявление выносливости в данном типе упражнения.
- Основными причинами наблюдаемых различий в характере проявления выносливости являются особенности энергообеспечения в данном типе упражнений и, в частности, соотношение аэробного и анаэробных процессов в общем энергетическом балансе работы

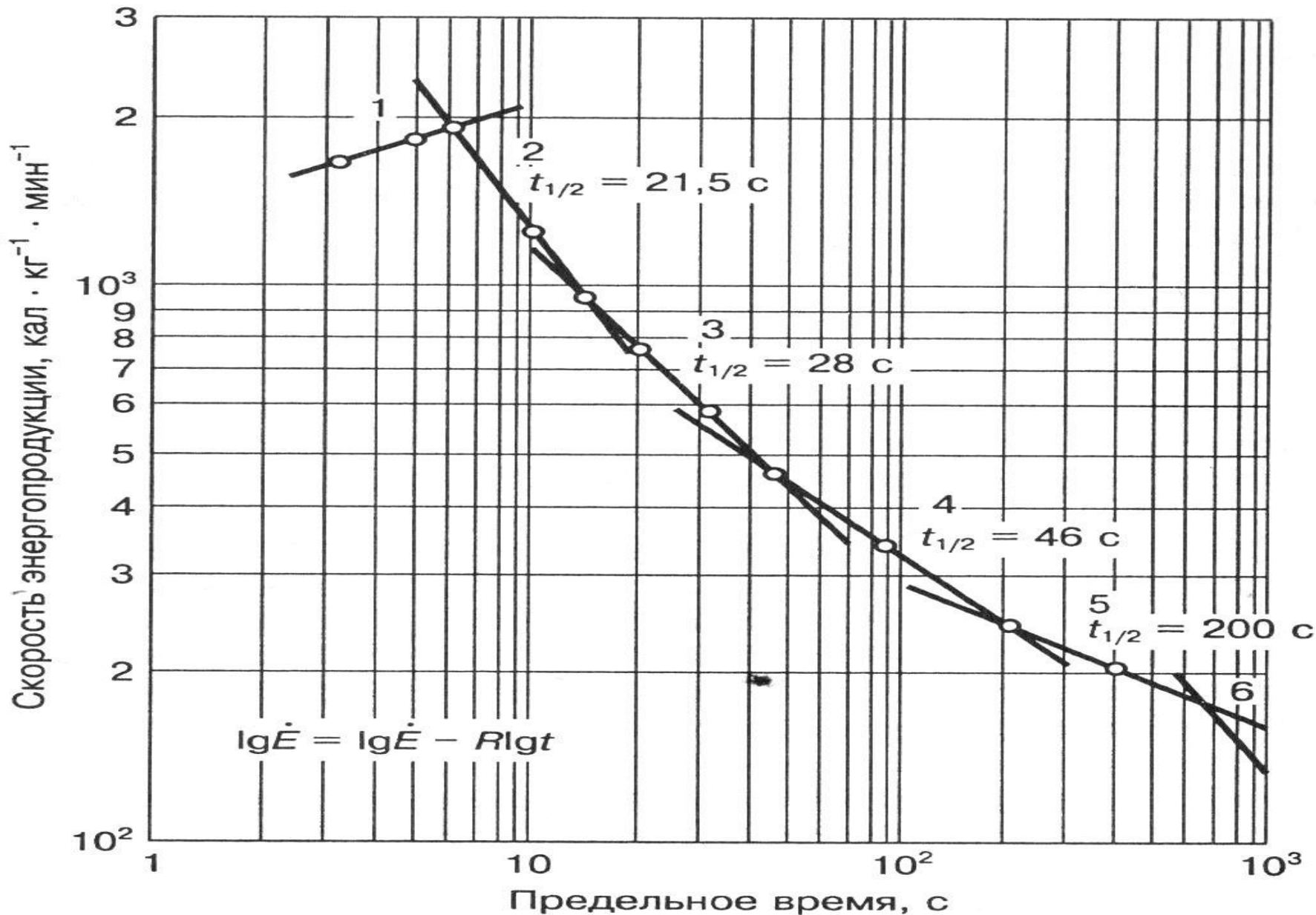
Логарифмический график зависимости мощности упражнения от предельного времени его выполнения



Эргометрические критерии выносливости

- Различия кинетических констант указывает на смену метаболических состояний с увеличением предельной продолжительности упражнения.
- В диапазоне значений предельного времени до 16 минут (1000 с) выделено 6 различных зон, отличающихся по характеру энергетического обеспечения работы.
- При выполнении упражнений максимальной мощности с предельной продолжительностью до 6 секунд увеличивающаяся скорость энергопродукции обеспечивается в основном за счет максимальной активации алактатного анаэробного процесса в работающих мышцах.
- В следующем временном диапазоне выполнения упражнений от 6 до 20 секунд наблюдается быстрое снижение скорости энергопродукции с константой половинного времени $t_{1/2} = 21,5$ с. Этот диапазон характеризуется смешанным алактатно-гликолитическим анаэробным энергообеспечением со значительным истощением емкости алактатного анаэробного источника.
- В диапазоне предельного времени от 20 до 45 секунд скорость энергопродукции определяется максимальным усилением анаэробного гликолитического процесса в работающих мышцах.
- Наибольшие размеры анаэробных изменений в организме при одновременном развертывании до максимального уровня аэробного энергообразования в работающих мышцах наблюдается в диапазоне предельного времени выполнения упражнений от 45 до 180 с. Максимальное увеличение вклада аэробной энергетики достигается в диапазоне предельного времени 600 секунд.
- В дальнейшем изменения скорости энергопродукции связаны в основном с факторами, лимитирующими емкость и эффективность аэробного преобразования энергии.

Логарифмический график зависимости уровня энергопродукции от предельного времени выполнения упражнения



Таким образом

- **Показатели выносливости зависят как от аэробных, так и анаэробных энергетических возможностей спортсменов, поэтому система тренировки на выносливость должна быть ориентирована прежде всего на повышение этих биоэнергетических свойств организма**

Методы тренировки, способствующие развитию выносливости

- Применяемые для развития выносливости методы тренировки оказывают избирательное воздействие на отдельные биоэнергетические функции.
- Наиболее эффективными методами развития выносливости являются метод длительной непрерывной работы (равномерной и переменной), а также методы повторной и интервальной тренировки.
- Обычно их разделяют по направленности на развитие аэробного или анаэробного компонента выносливости.
- В тренировке, направленной на развитие алактатного анаэробного компонента выносливости, чаще всего используют методы повторной и интервальной работы (интервальный спринт).
- Основная цель такого рода тренировки – добиться максимального истощения алактатных анаэробных резервов в работающих мышцах и повысить устойчивость ключевых ферментов алактатной анаэробной системы (миозиновой АТФ-азы и саркоплазматической креатинфосфокиназы) в условиях накопления продуктов анаэробного распада (АДФ, H_3PO_4 , молочной кислоты и т.д.).
- Решить эту задачу возможно только путем большого числа повторений кратковременных (продолжительностью не более 10-15 секунд) упражнений высокой интенсивности (90-95% W_{max}).
- При использовании метода повторной тренировки выносливости, когда применяются упражнения максимальной мощности, паузы отдыха между ними должны обеспечивать достаточно полное восстановление растрачиваемых при работе алактатных анаэробных резервов, то есть должны соответствовать времени оплаты быстрой фракции O_2 -долга и составлять не более 2,5-3 минут.

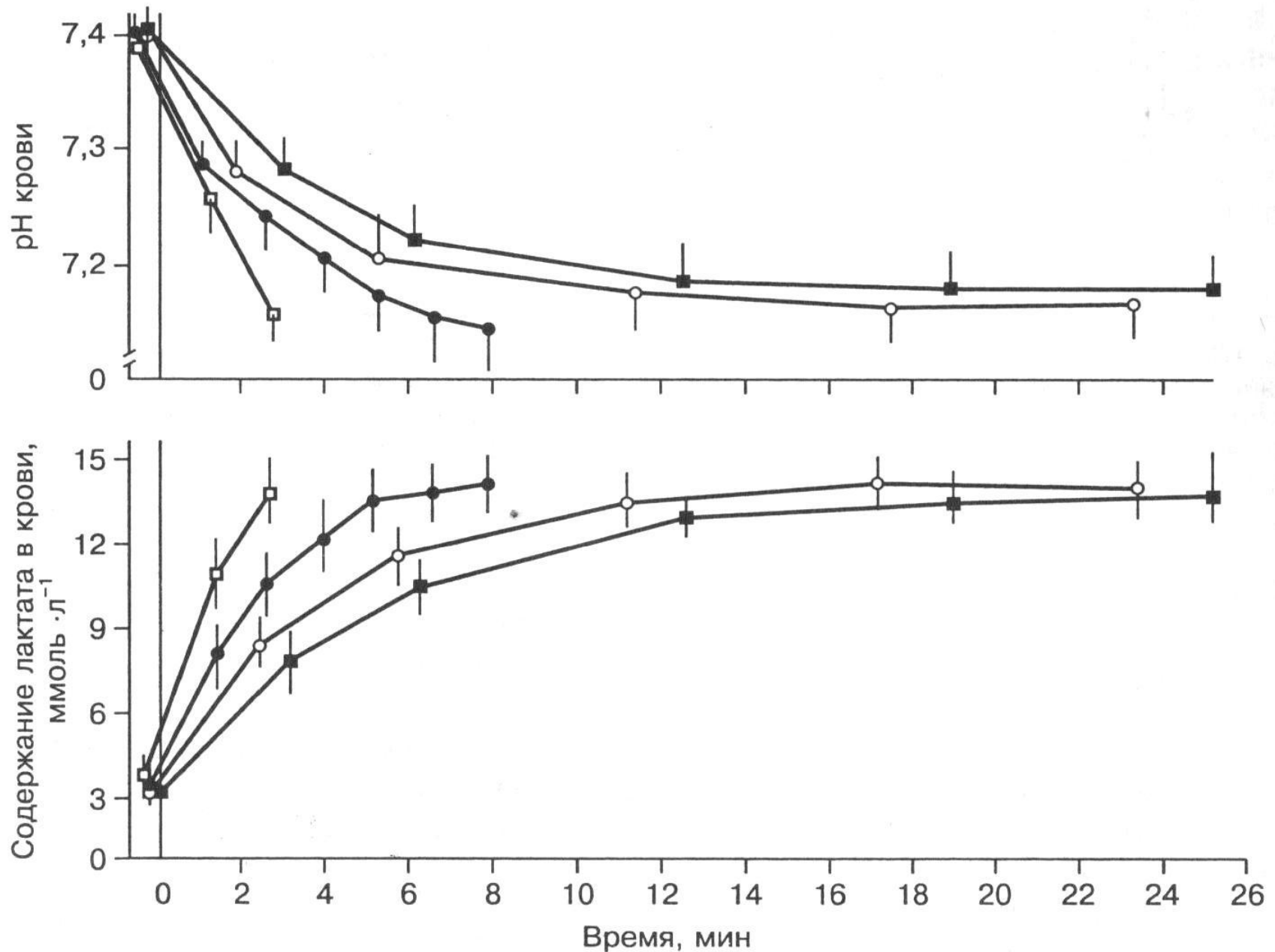
Методы тренировки, способствующие развитию выносливости

- **Расщепление фосфатных макроэргов (АТФ + КрФ) при выполнении упражнений максимальной мощности приводит к резкому увеличению скорости потребления O_2 в первые секунды после работы, когда осуществляется окислительный ресинтез КрФ в работающих мышцах.**
- **Наибольшая скорость этого процесса соответствует оставленному максимуму в кривой потребления O_2 , который наблюдается на 1-й минуте восстановления после завершения упражнения.**
- **Значения «пикового» потребления O_2 и накопление молочной кислоты в крови непрерывно возрастает вплоть до 5-6-го повторения упражнения, что свидетельствует о постепенном исчерпании емкости алактатных анаэробных резервов.**
- **Как только будет достигнута критическая величина исчерпания запасов КрФ в работающих мышцах, сразу же снизится максимальная мощность. Обычно такое состояние достигается к 8-10-му повторению упражнения. Это число повторений следует признать оптимальным для данного метода тренировки алактатного компонента выносливости.**
- **В отличие от метода повторной тренировки, где интервалы отдыха не регламентируются, в интервальном методе величина их подбирается таким образом, чтобы обеспечить наиболее выраженное воздействие на тренируемую функцию. Изменение этой величины при повторном выполнении упражнений максимальной мощности влияет на динамику биохимических сдвигов в организме.**
- **При уменьшении интервалов отдыха между упражнениями до 1 минуты еще наблюдается оставленный максимум потребления O_2 , что свидетельствует об активизации процессов восполнения алактатных анаэробных резервов с каждым очередным повторением максимального усилия.**
- **Однако он исчезает, когда продолжительность интервалов отдыха сокращается до 30 секунд. Вместо этого появляется пилообразная кривая с наивысшими значениями скорости потребления O_2 в конце каждого повторения максимального усилия и небольшим снижением в паузах отдыха.**

Методы тренировки на развитие выносливости

- Вместо этого появляется пилообразная кривая с наивысшими значениями скорости потребления O_2 в конце каждого повторения максимального усилия и небольшим снижением в паузах отдыха.
- После первых 5-6 повторений упражнения и дальше скорость потребления O_2 не изменяется, устанавливаясь на определенном уровне, соответствующем тяжести выполняемой интервальной работы, что в данных условиях зависит от величины избранных интервалов отдыха.
- Если интервалы отдыха сокращаются до 10 секунд, уровень пикового потребления O_2 при выполнении упражнений сравнивается с величиной МПК.
- Сокращение интервалов отдыха в этих условиях сопровождается усилением при первых 5-6 повторениях избыточного выделения CO_2 , быстрым накоплением молочной кислоты и снижением рН крови.
- Значительное закисление внутренних сред организма в результате накопления молочной кислоты в крови (более 10 ммоль.л⁻¹) ведет к снижению скорости креатинфосфокиназной реакции и максимальной мощности.
- Дальнейшее увеличение числа повторений приводит к изменению тренировочного эффекта интервальной работы: он приобретает смешанный аэробно-анаэробный характер.
- Поэтому если в интервальном методе применяются кратковременные максимальные усилия, чередуемые с короткими интервалами отдыха (менее 30 секунд), то для создания алактатного анаэробного эффекта тренировки такую работу следует выполнять сериями по 5-6 повторений в каждой с интервалами отдыха между сериями не менее 3 минут.

Изменение содержания лактата и рН крови при тренировке в интервале спринта



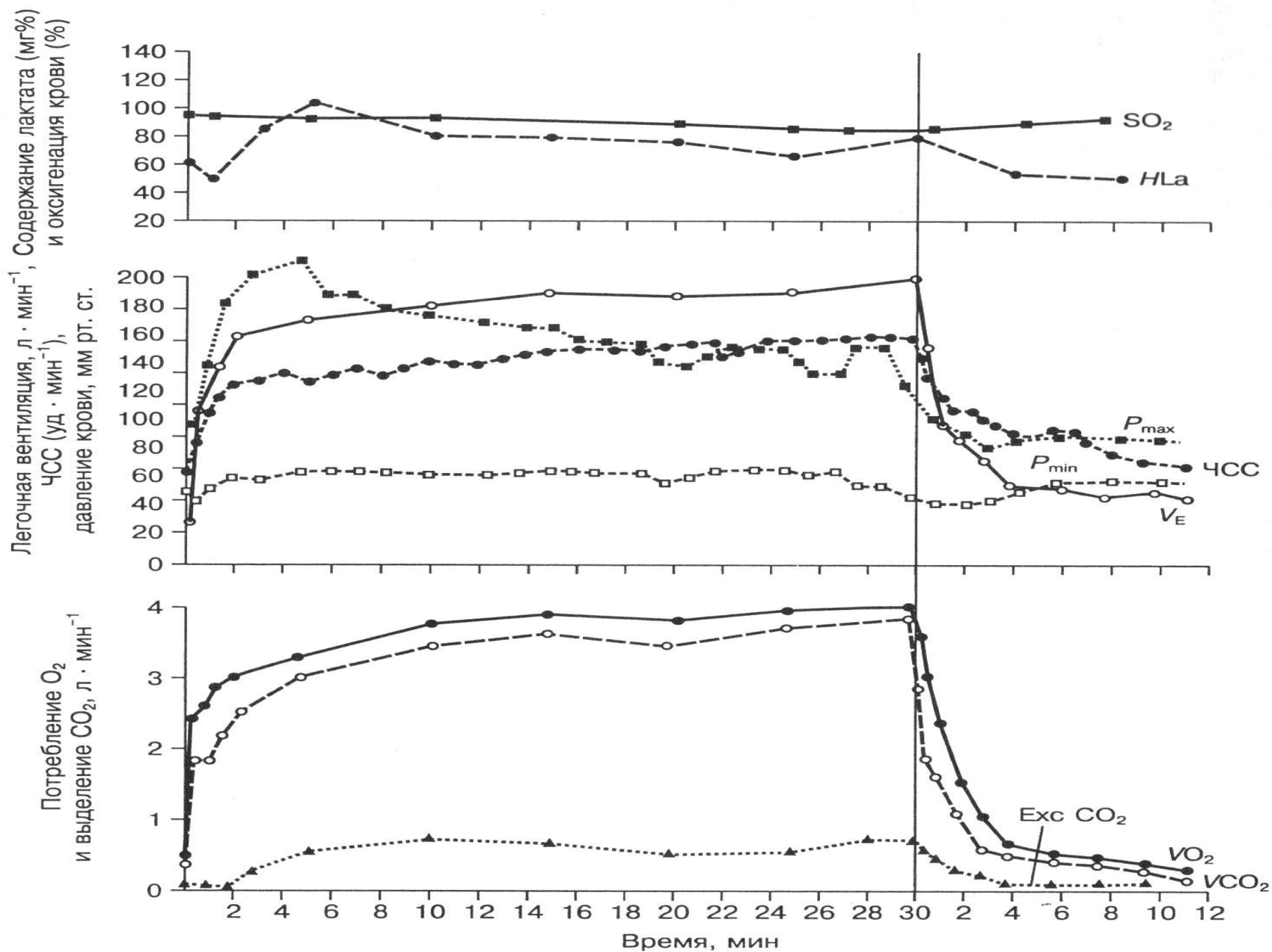
Методы тренировки на развитие выносливости

- При развитии гликолитического анаэробного компонента выносливости могут использоваться методы однократной предельной, повторной и интервальной работы.
- Избираемые характеристики упражнения должны обеспечить предельное усиление анаэробных гликолитических превращений в работающих мышцах.
- Таким условиям соответствует выполнение предельных усилий в интервале от 30 до 2,5 минут.
- Повторное выполнение упражнений гликолитического анаэробного характера через большие и нерегулируемые интервалы отдыха позволяет с каждым новым повторением воспроизводить программируемый тренировочный эффект. Предельное число повторений упражнения в этом случае зависит от снижения запасов гликогена в работающих мышцах и достижения предельных величин закисления (как правило, на 6-8-м повторении предельного усилия).
- При интервальной тренировке гликолитического анаэробного характера сокращение пауз отдыха не изменяет уровень пикового потребления O_2 (в этих упражнениях он достигает максимальных значений), но ведет к быстрому увеличению восстановительных «излишков» потребления O_2 , повышению скорости накопления молочной кислоты в крови и развитию выраженного утомления).
- Если интервалы отдыха соотносятся с длительностью рабочих периодов как 1:1 или 1:1,5, то есть составляют менее 1,5-2 минут, общее число повторений упражнения сокращается из-за быстро развивающегося утомления до 3-4 раз. При этом достигается наибольшая скорость анаэробного гликолиза в работающих мышцах и самые высокие значения накопления молочной кислоты в крови.
- Чтобы выполнить необходимый объем работы, достаточный для закрепления тренировочного эффекта, интервальная работа с короткими паузами отдыха обычно выполняется сериями по 3-4 повторения, разделенными 10-15-минутным отдыхом, который необходим для восстановления работоспособности после предельной анаэробной работы.

Методы тренировки развития выносливости

- В тренировке, направленной на развитие аэробного компонента выносливости, используются методы однократной непрерывной, повторной и несколько вариантов интервальной работы.
- Чтобы обеспечить достаточное воздействие на аэробный обмен при использовании методов однократной непрерывной и повторной работы, общая продолжительность упражнения должна составлять не менее 3 минут, достаточных для вработывания и выхода на стационарный уровень потребления O_2 . В однократной непрерывной работе объем нагрузки, вызывающий соответствующие адаптационные перестройки в организме, составляет обычно не менее 30 минут (пример на рисунке).
- Интенсивность выполняемого упражнения при однократной непрерывной работе должна обеспечить значительную активацию процессов окисления в тканях. После начального периода вработывания уровень потребления O_2 устанавливается вблизи его максимальных значений. Выполнение такой работы требует значительного напряжения кардиореспираторной системы, ответственной за доставку O_2 работающим мышцам.
- По ходу работы непрерывно увеличиваются показатели легочной вентиляции, ЧСС и кровяного давления.
- Реакция со стороны систем вегетативного обслуживания зависит от увеличения показателей анаэробного обмена. Поскольку уровень нагрузки выше порога анаэробного обмена, по ходу выполнения упражнения значительно усиливается выделение «неметаболического излишка» CO_2 и накопление молочной кислоты в крови.
- Квалифицированные спортсмены способны выполнять такого рода непрерывную работу в течение 2,5-3 часов.
- Напряженность реакции со стороны систем аэробного обмена в ответ на непрерывную длительную работу заметно увеличивается при переменном режиме упражнения.

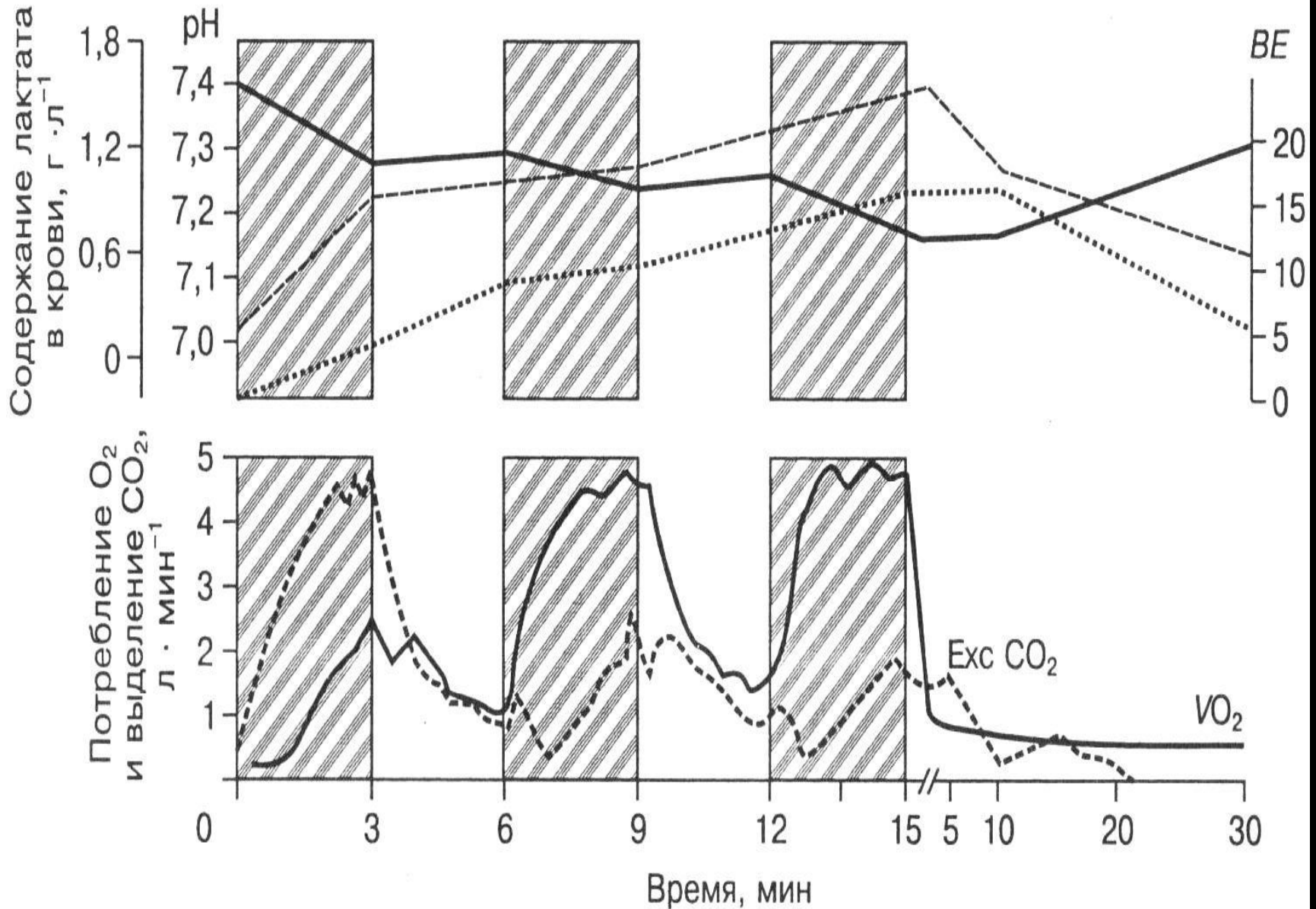
Динамика биохимических изменений у спортсменов при длительной непрерывной работе



Методы тренировки развития выносливости

- Причина этого – это максимальное увеличение аэробного метаболизма в тканях.
- При каждом повторении интенсивного упражнения, длительность выполнения которого превышает период вработывания, уровень потребления O₂ быстро нарастает в начале упражнения, а затем поддерживается максимальным вплоть до окончания работы. Общая продолжительность упражнения должна примерно соответствовать времени удержания МПК, что обычно составляет 3-6 минут.
- Повторение таких серий заставляет организм работать в режиме переключений, то вработываясь (в начале выполнения упражнений), то восстанавливаясь (в паузах отдыха).
- Столь резкие перепады в уровне аэробного метаболизма служат стимулом для совершенствования деятельности систем вегетативного обслуживания.
- Поэтому как повторная, так и переменная работа в данном режиме способствует повышению аэробной мощности и эффективности.
- Наиболее выраженное воздействие на аэробный обмен оказывает специальные режимы интервальной работы.
- Один из наиболее изученных режимов такой работы получил название «интервальная тренировка по фрайбургскому правилу». Заключается он в чередовании относительно кратковременных периодов работы (длительностью от 30 до 90 секунд) с интервалами отдыха такой же продолжительности.
- Такая работа создает достаточный стимул для развертывания аэробных процессов в тканях, особенно для улучшения циркулярных показателей, и вызывает выраженную гипертрофию сердца.
- Поэтому данный режим интервальной работы называют «циркуляторной» интервальной тренировкой.

Биохимические изменения у спортсменов при повторной работе смешанного аэробно-анаэробного воздействия



Методы тренировки развития выносливости

- В интервальной тренировке по фрайбурскому правилу прослеживаются небольшие колебания уровня потребления O₂ в процессе выполнения работы при отсутствии выраженных изменений со стороны анаэробного метаболизма. Незначительное усиление анаэробного гликолиза в работающих мышцах ограничивается начальной стадией, охватывающей первые 5-6 повторений упражнений. В дальнейшем содержание молочной кислоты в крови обнаруживает тенденцию к понижению.
- Хорошим средством для повышения показателей аэробной мощности служит интервальная тренировка на коротких отрезках.
- Можно использовать также модификацию интервальной тренировки на коротких отрезках – миоглобиновую интервальную тренировку, включающую очень короткие (не более 5-10 секунд) периоды работы, чередуемые со столь же короткими паузами отдыха. Интенсивность упражнения достаточно высокая, но не максимальная (упражнения выполняются свободно, без напряжения).
- В короткие периоды работы расходуются внутримышечные запасы O₂, связанного с миоглобином, однако они быстро восполняются в коротких паузах отдыха.
- Эта работа может выполняться в большом объеме с поддержанием высокого уровня потребления O₂ и способствовать развитию аэробной эффективности.
- Высокий уровень развития выносливости может быть достигнут лишь при одновременном совершенствовании всех ее основных компонентов с помощью комплекса разнообразных средств и методов, обеспечивающих избирательное воздействие на соответствующие функции и качества спортсмена.
- Применение всех этих средств и методов должно базироваться на знании основных закономерностей биохимической адаптации в процессе тренировки.

- **Благодарю**
 - **За**
- **Внимание**

