



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
ПАНО ДЛЯ КОНТРОЛЯ
АЭРОБНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
СПОРТСМЕНОВ**



ПАНО (порог анаэробного обмена) – мощность механической работы, требующая участия анаэробных механизмов энергообеспечения

$W_{\text{ПАНО}}$ $W_{\text{АТ}}$

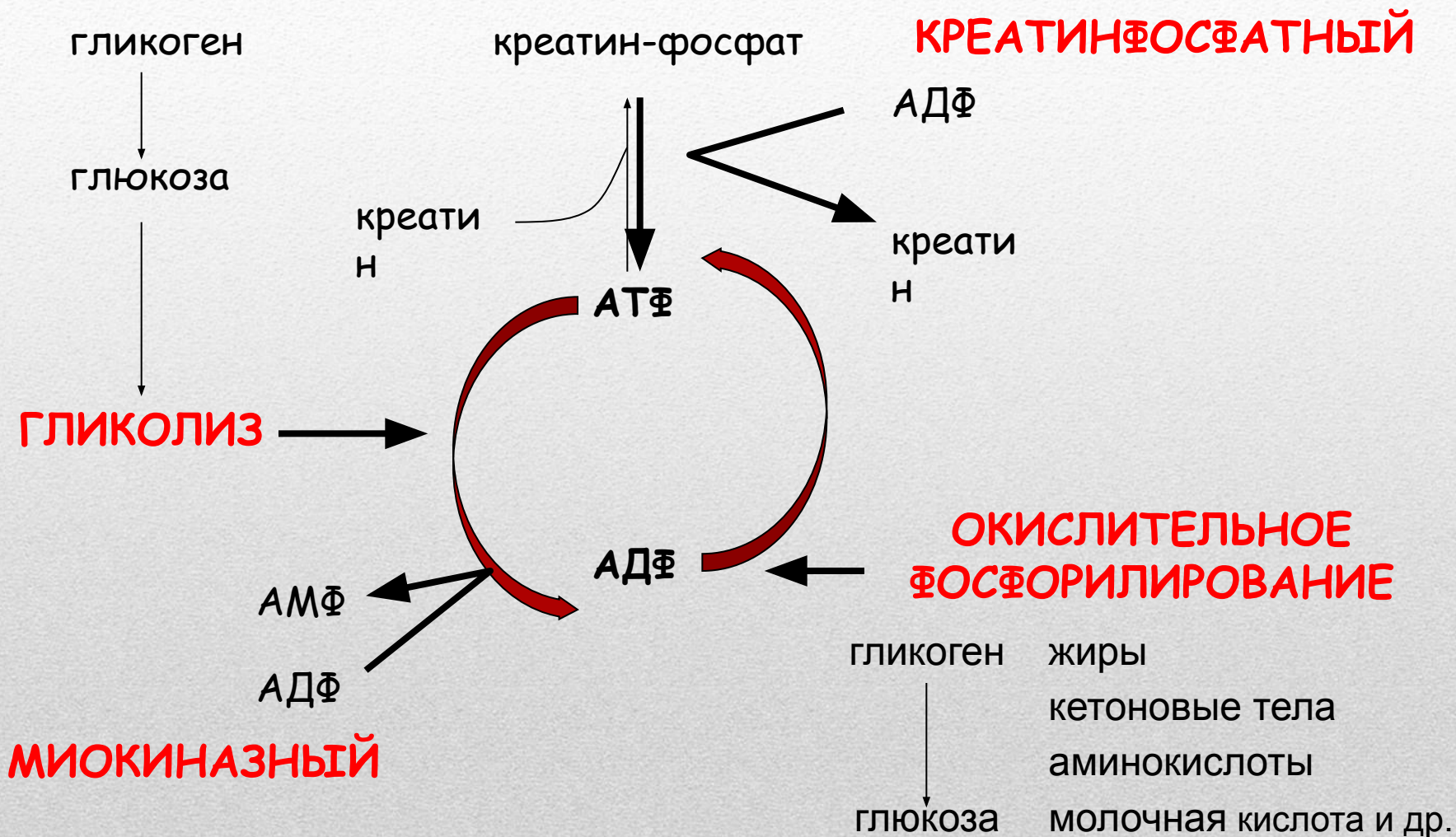
- 1. ПАНО является истинным критерием аэробной мощности.**
 - 2. ПАНО определяется в одном тесте – со ступенчато-повышающейся мощностью (в «полевых» условиях применяют интервальные нагрузки) что значительно упрощает процедуру оценки подготовленности.**
 - 3. ПАНО является наиболее объективным критерием выделения зон интенсивности тренировочных нагрузок.**
 - 4. Существует как минимум 5 способов регистрации ПАНО – по лактатному порогу или OB_{LA}^1 ; по вентиляторному порогу; по пульсовому порогу; по критерию $MLSS^2$; по эксцессу CO_2 .**
 - 5. ПАНО имеет выраженную динамику в течение периода подготовки (при условии правильного развития).**
 - 6. ПАНО с высокой достоверностью отражает специальную работоспособность спортсменов.**
-

ПАНО является основной характеристикой состояния организма, известного как аэробно-анаэробный переход, в связи с чем выделяют «точки» ПАНО₁ (начало перехода) и ПАНО₂ (завершение перехода).

**Модель аэробно-анаэробного перехода
(В.И. Дубровский, 2005)**

Показатель	Аэробный порог (ПАНО ₁)		Анаэробный порог (ПАНО ₂)
	I фаза	II фаза	III фаза
Доминирующие мышечные волокна	I	I, IIa	I, IIa, IIb
Доминирующие пути метаболизма	аэробный		анаэробный гликолитический
Доминирующий субстрат	жиры	углеводы	углеводы
Относительная интенсивность нагрузки (% VO _{2max})	40-60		65-90
Диапазон ЧСС (1·мин ⁻¹)	130-160		165-185
Концентрация лактата в крови (ммоль·л ⁻¹)	около 2		4-6

СИСТЕМА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЦ



ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОТРАЖАЮЩИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЫШЦ

композиционный состав мышц;

запасы энергетических субстратов и эффективность их использования;

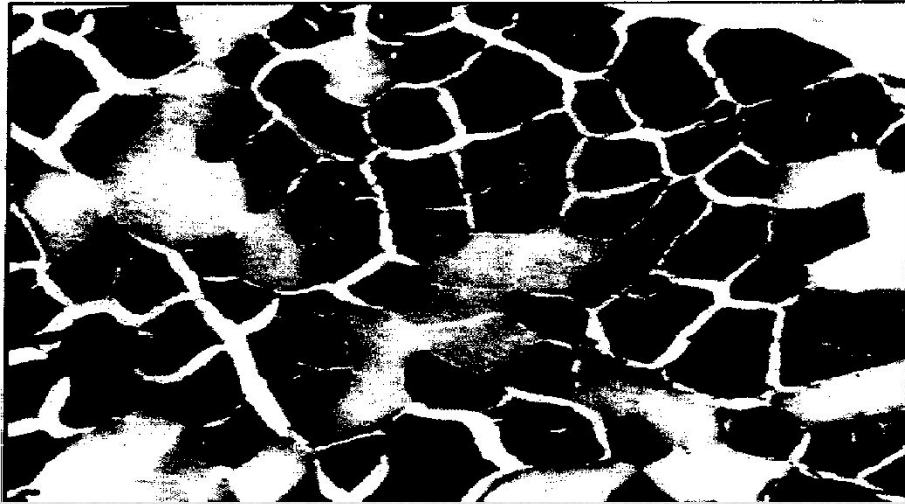
активность ферментов, регулирующих энергообразование;

капилляризация и механизмы транспорта O_2 в мышце;

эффективность использования O_2 в мышце;

Композиционный состав скелетных мышц –

это генетически детерминированное соотношение двигательных единиц (волокон) с различным метаболическим профилем в отдельной мышце человека



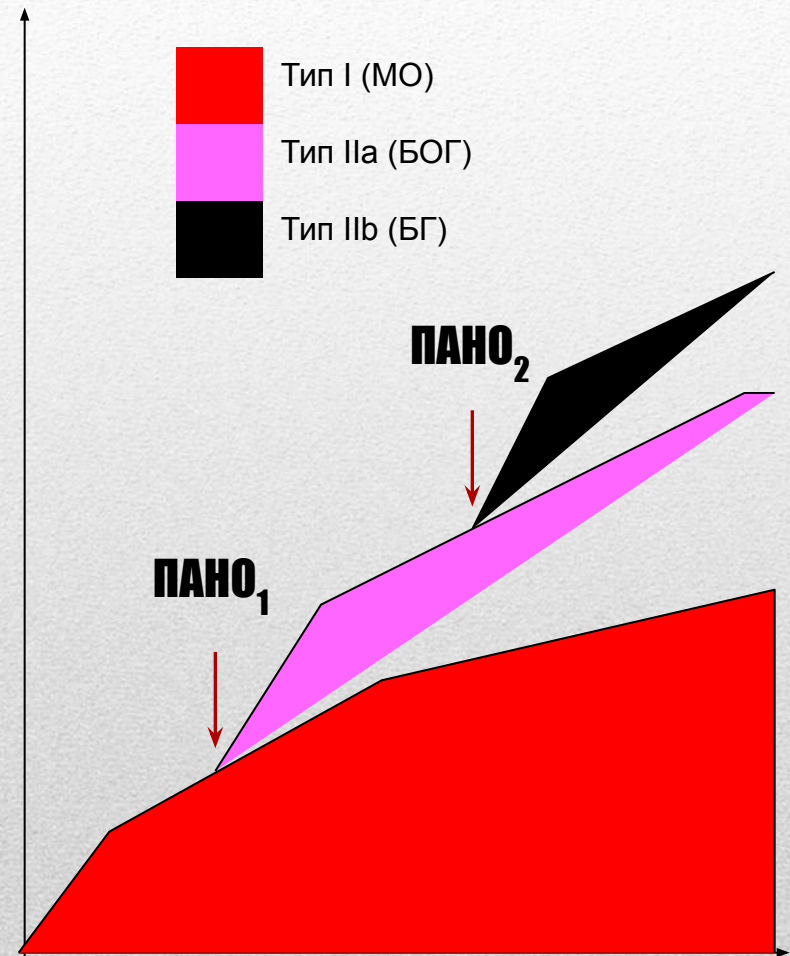
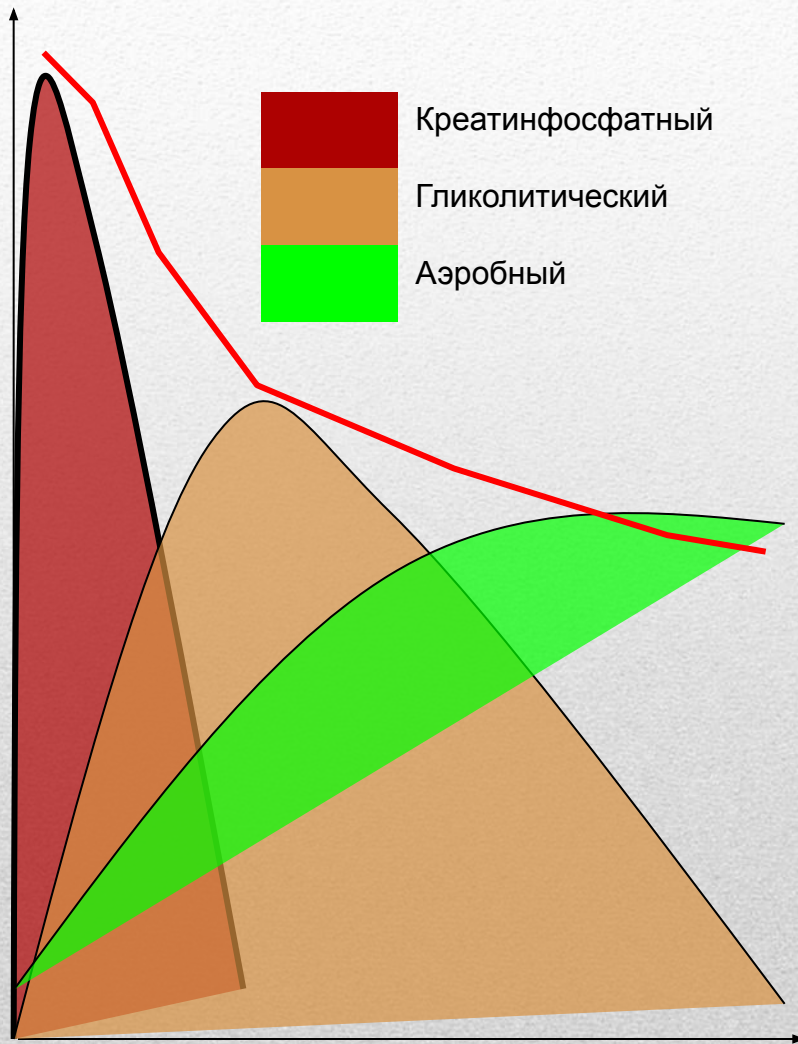
Метаболический профиль мышечного волокна формируется в первые 5 лет жизни человека под влиянием функциональных характеристик мотонейрона, иннервирующего двигательную единицу. У человека присутствуют три основных типа мышечных волокон:

- медленносокращающиеся, окислительные («красные»)**
- быстророкращающиеся, гликолитические («белые»)**
- быстророкращающиеся окислительно-гликолитические («смешанные»)**

Характерные особенности различных типов мышечных волокон (Р.Сили, Т.Д.Стивенс, Ф.Тейт, 2007)

Особенности	Тип I (окислительные)	Тип IIa (окислительно-гликол.)	Тип IIb (гликолитические)
Диаметр волокна	наименьший	средний	наибольший
Миоглобин	высокое	среднее	низкое
Митохондрии	много	промежуточное к-во	мало
Капилляры	много	промежуточное к-во	мало
Метаболизм	Преимущественно аэробный	Аэробный, анаэробный	Преимущественно анаэробный
Утомление	резистентное	резистентное	нерезистентное
АТФ-азная активность миозина	низкая	высокая	высокая
Концентрация гликогена	низкая	высокая	высокая
Преимущественное содержание в мышцах	Мышцы туловища и нижних конечностей	Мышцы нижних конечностей	Мышцы верхних конечностей
Функции	Аэробная деятельность и удержание позы	Аэробная деятельность в аэробно-тренированных мышцах	Быстрые интенсивные движения небольшой продолжительности

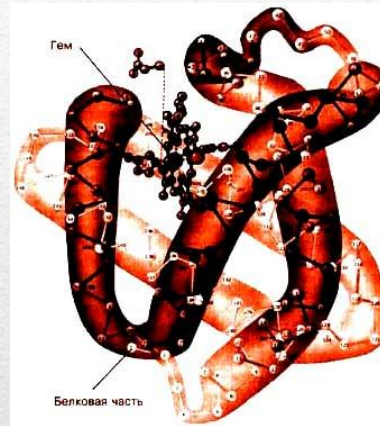
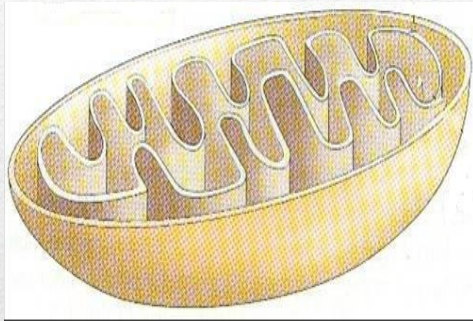
Рекрутирование двигательных единиц и вклад механизмов энергообеспечения в работу мышц



Режим сокращения волокон мышцы при работе различной интенсивности

Интенсивность нагрузки	Тип I	Тип IIa (с низким порогом)	Тип IIa (с высоким порогом)	Тип IIb
До уровня $ПАНО_1$	Гладкий тетанус	Зубчатый тетанус	Неактивны	Неактивны
До уровня $ПАНО_2$	Гладкий тетанус	Гладкий тетанус	Неактивны или зубчатый тетанус	Неактивны
Выше уровня $ПАНО_2$	Гладкий тетанус	Гладкий тетанус	Зубчатый или гладкий тетанус	Неактивны или зубчатый тетанус
Предельная нагрузка	Гладкий тетанус	Гладкий тетанус	Гладкий тетанус	Гладкий тетанус

ПАНО (порог анаэробного обмена) – это переход от выраженной аэробной работы к смешанной и анаэробной



O₂

Согласно исследованиям К. Wasserman et al. (1973, 1975) для эффективной деятельности аэробного энергообеспечения необходимо:

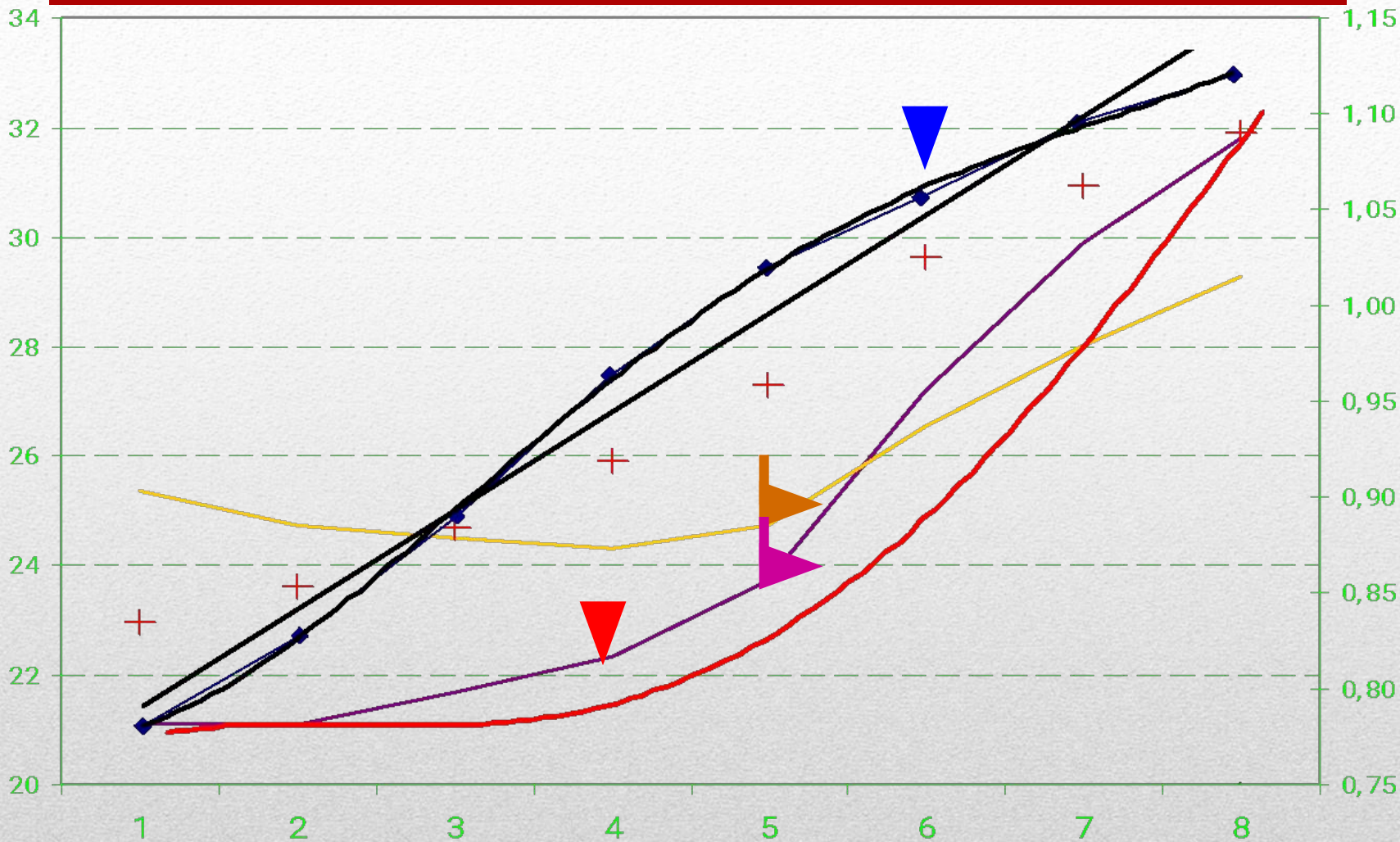
- 1) достаточная плотность митохондрий в сократительных волокнах двигательных единиц;
- 2) промежуточные продукты обмена (пировиноградная к-та, ацетил-КоА) и ферменты, определяющие скорость окислительных процессов в цикле Кребса;
- 3) достаточная доставка кислорода к митохондриям.

Если одно из указанных условий нарушается, начинается анаэробный метаболизм, который поддерживает необходимую скорость ресинтеза АТФ.

Методы определения ПАНО основаны на использовании тестов со ступенчато-повышающейся нагрузкой.

В качестве критериев ПАНО используют динамику показателей лактата крови, газообмена, ЧСС, внешнего дыхания

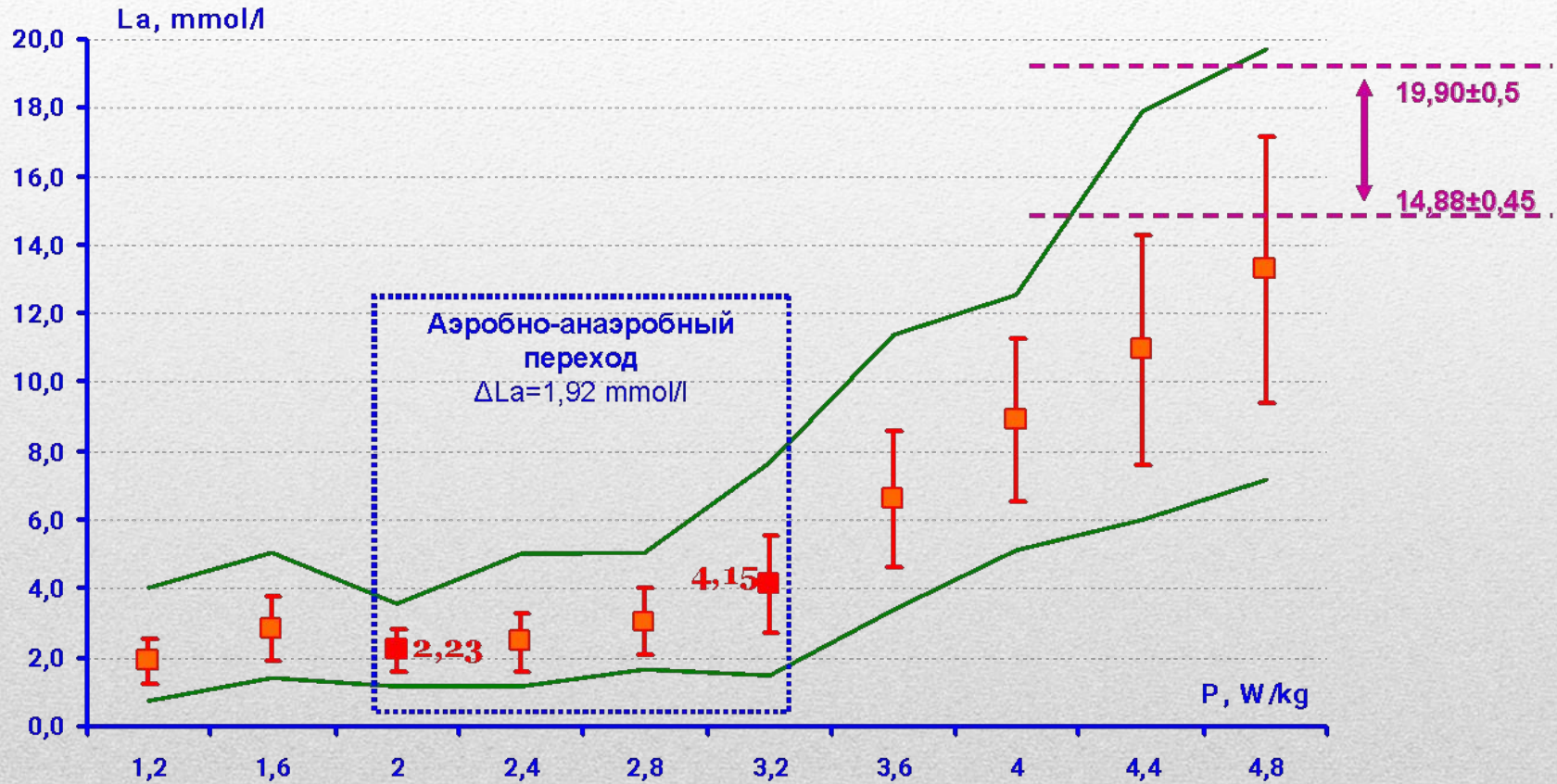
Лактатный порог	мощность работы, при лактате крови $4 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ мощность нагрузки, при которой начинается прирост лактата (лактатный порог);
Вентиляторный порог	зона мощности, где с ростом нагрузки динамика V_E , VO_2 , RQ переходят от линейной к экспоненциальной зависимости
Пульсовой порог	второй перелом сигмовидной кривой связи «ЧСС-мощность»



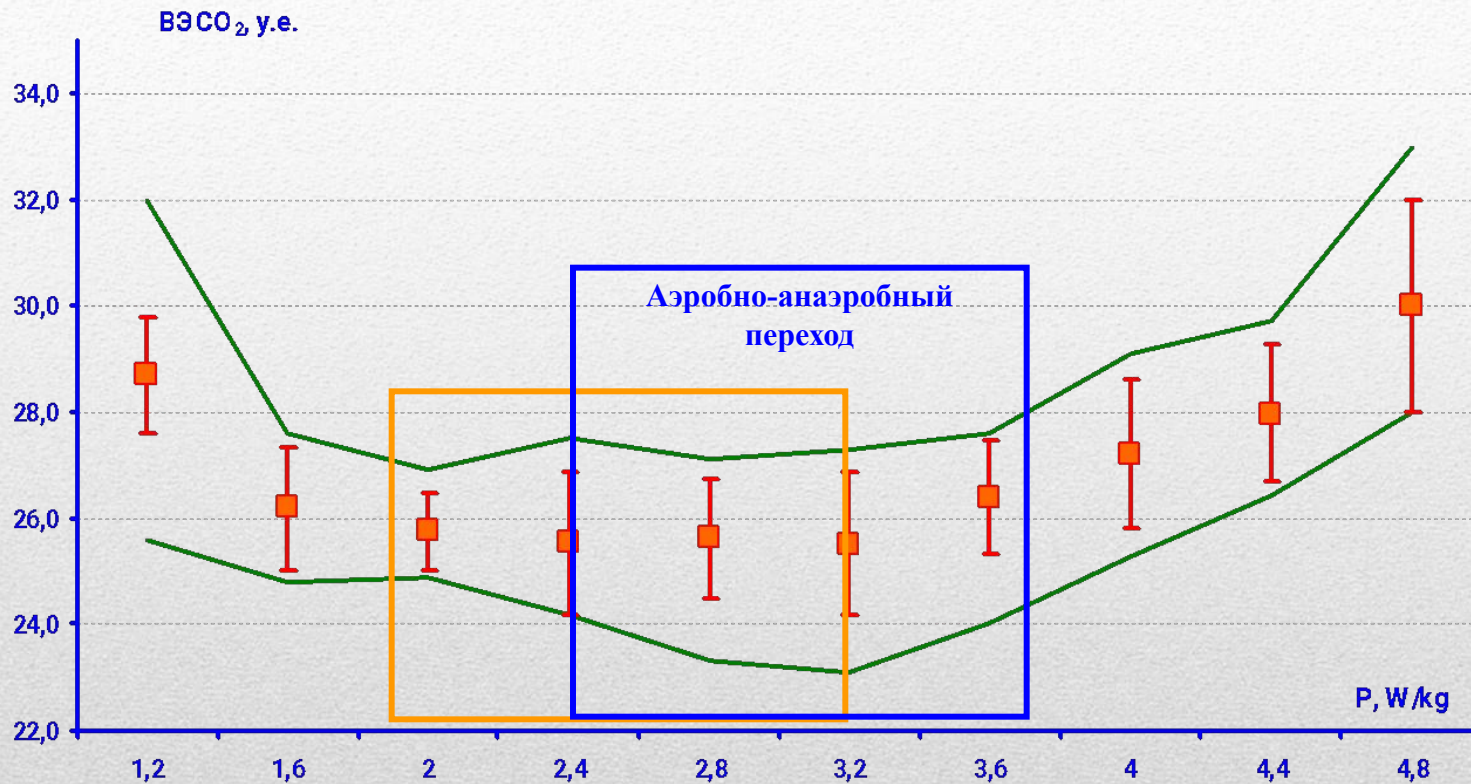
ОЦЕНКА ПАНО ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ И МЕТАБОЛИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ:

Стрелками отмечены «точки» ПАНО: по La (красная); по «эксцессу CO_2 » (лиловая); по минимальному V_E/V_{CO_2} (желтая); по ЧСС (синяя)

КРИТЕРИЙ – ЛАКТАТНЫЙ ПОРОГ

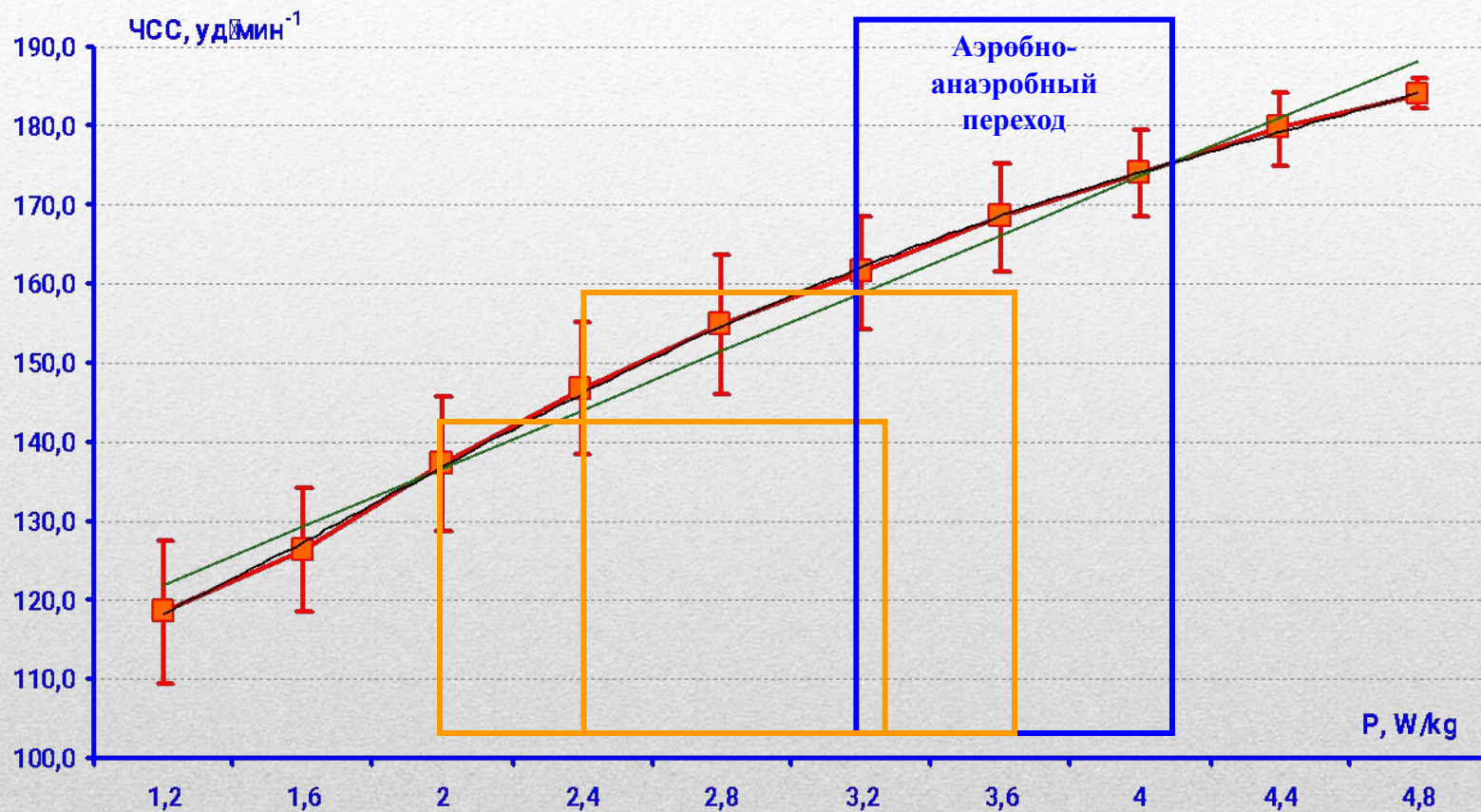


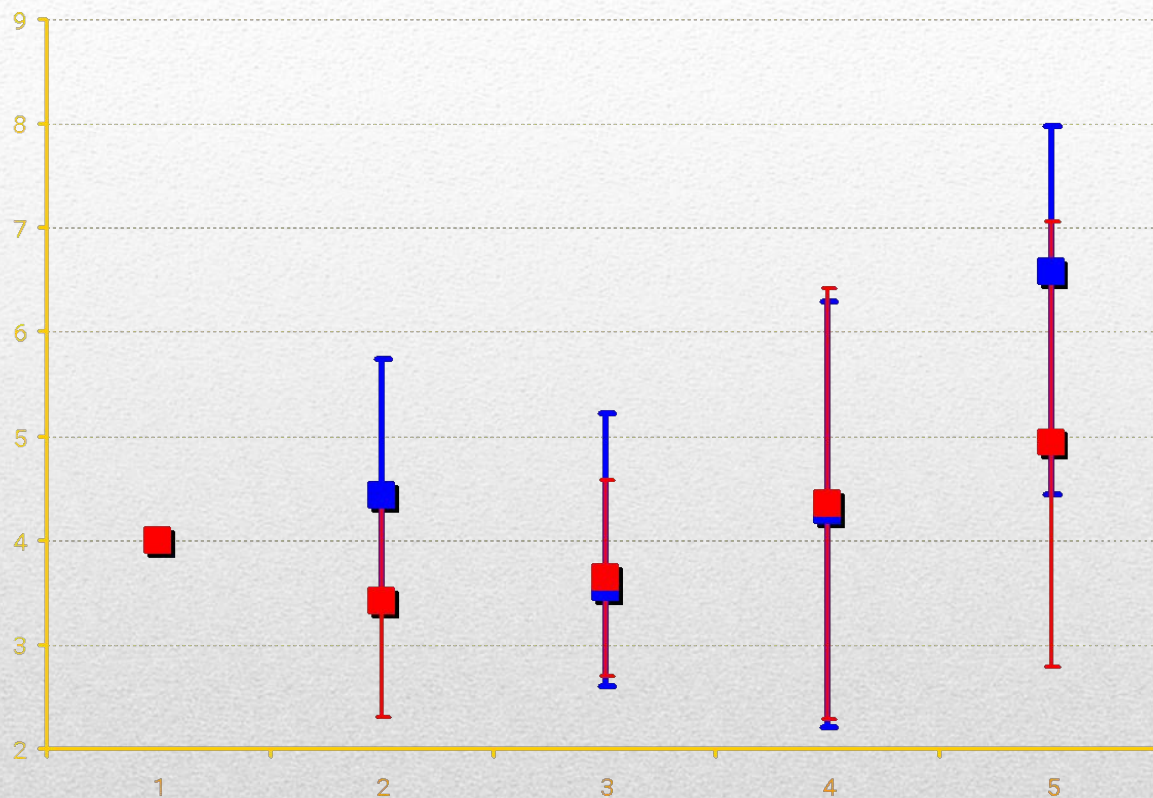
КРИТЕРИЙ – ВЕНТИЛЯТОРНЫЙ ПОРОГ



$$ВЭСО_2 = \frac{\dot{V}_{E}}{\dot{V}_{CO_2}}$$

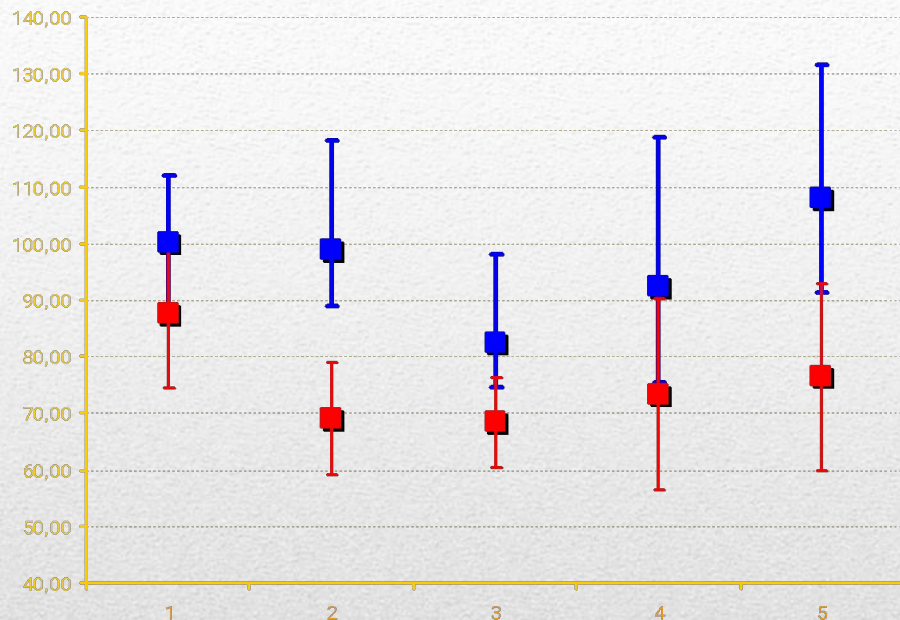
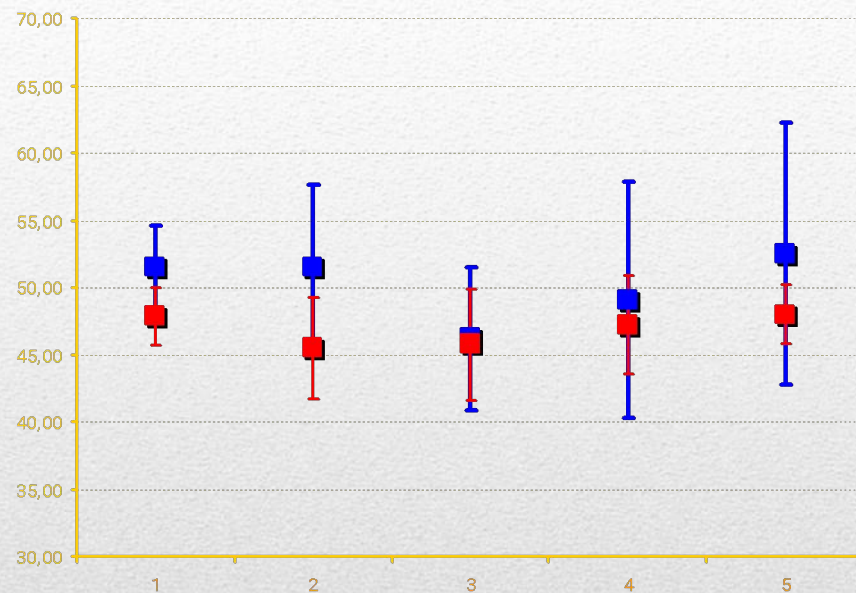
КРИТЕРИЙ – ПУЛЬСОВОЙ ПОРОГ





ЛАКТАТ КРОВИ (ммоль·л⁻¹) НА УРОВНЕ ПАНО, ОПРЕДЕЛЯВШЕГОСЯ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ:

1 – по фиксированному значению лактата крови 4 ммоль·л⁻¹ крови; 2 – моменту начала прироста лактата крови; 3 – величине наименьшего вентиляционного эквивалента CO₂ при RQ=0,9-0,95; 4 – моменту начала прироста показателя ExhCO₂; 5 – по зависимости между ЧСС и мощностью.

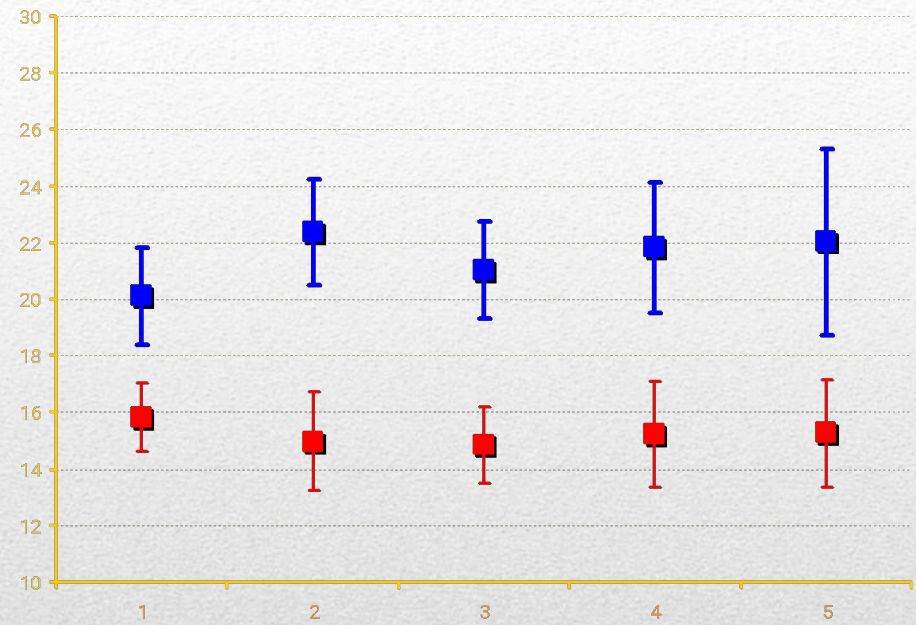
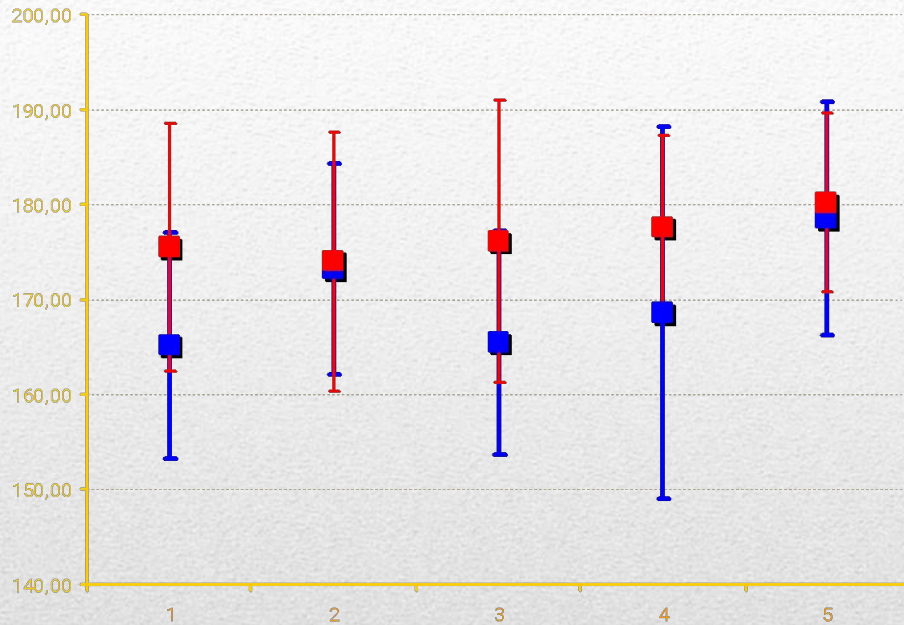
V_E  VO_2 

ЛЕГОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ($\text{l}\cdot\text{мин}^{-1}$) И ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ($\text{мл}\cdot\text{мин}\cdot\text{кг}^{-1}$) НА УРОВНЕ ПАНО, ОПРЕДЕЛЯВШЕГОСЯ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ:

1 – по фиксированному значению лактата крови $4 \text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$ крови; 2 – моменту начала прироста лактата крови; 3 – величине наименьшего вентиляционного эквивалента CO_2 при $\text{RQ}=0,9-0,95$; 4 – моменту начала прироста показателя ExhCO_2 ; 5 – по зависимости между ЧСС и мощностью.

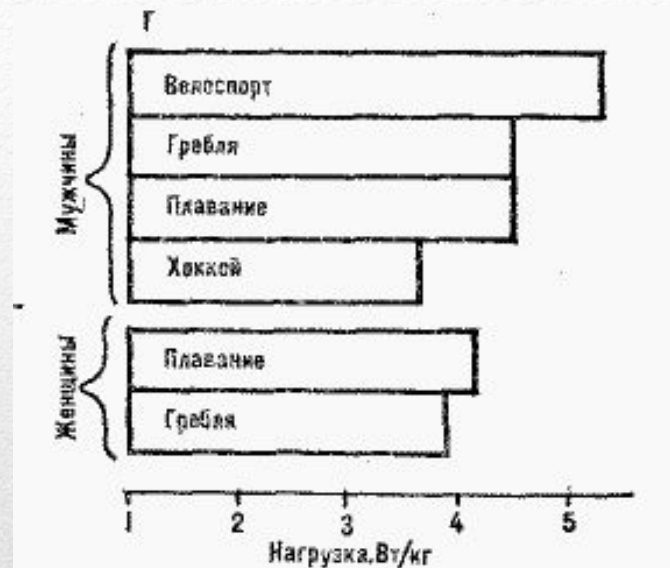
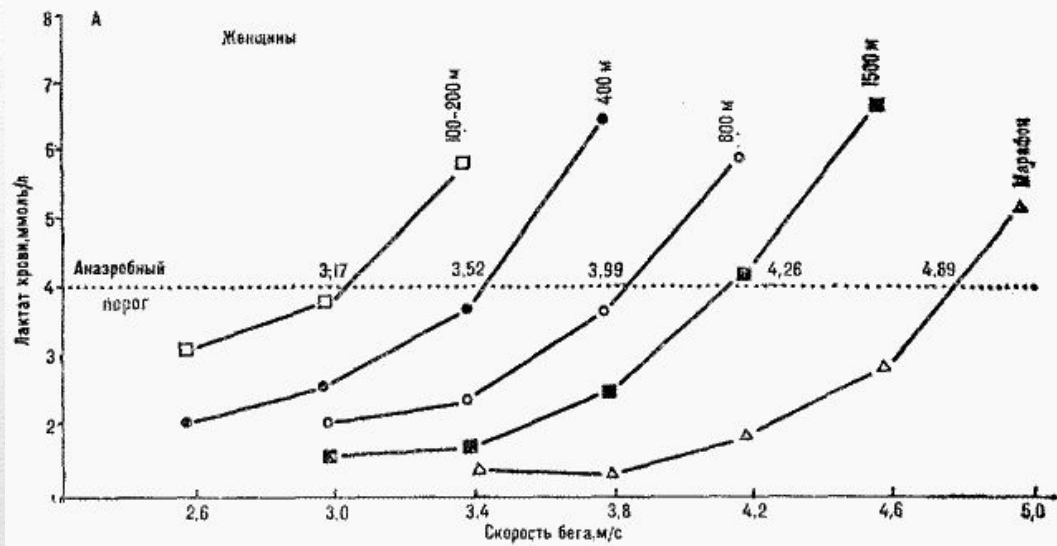
ЧСС

VO₂/ЧСС



ЧАСТОТА СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ (уд·мин⁻¹) И КИСЛОРОДНЫЙ ПУЛЬС (мл·уд·мин⁻¹) НА УРОВНЕ ПАНО, ОПРЕДЕЛЯВШЕГОСЯ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ:

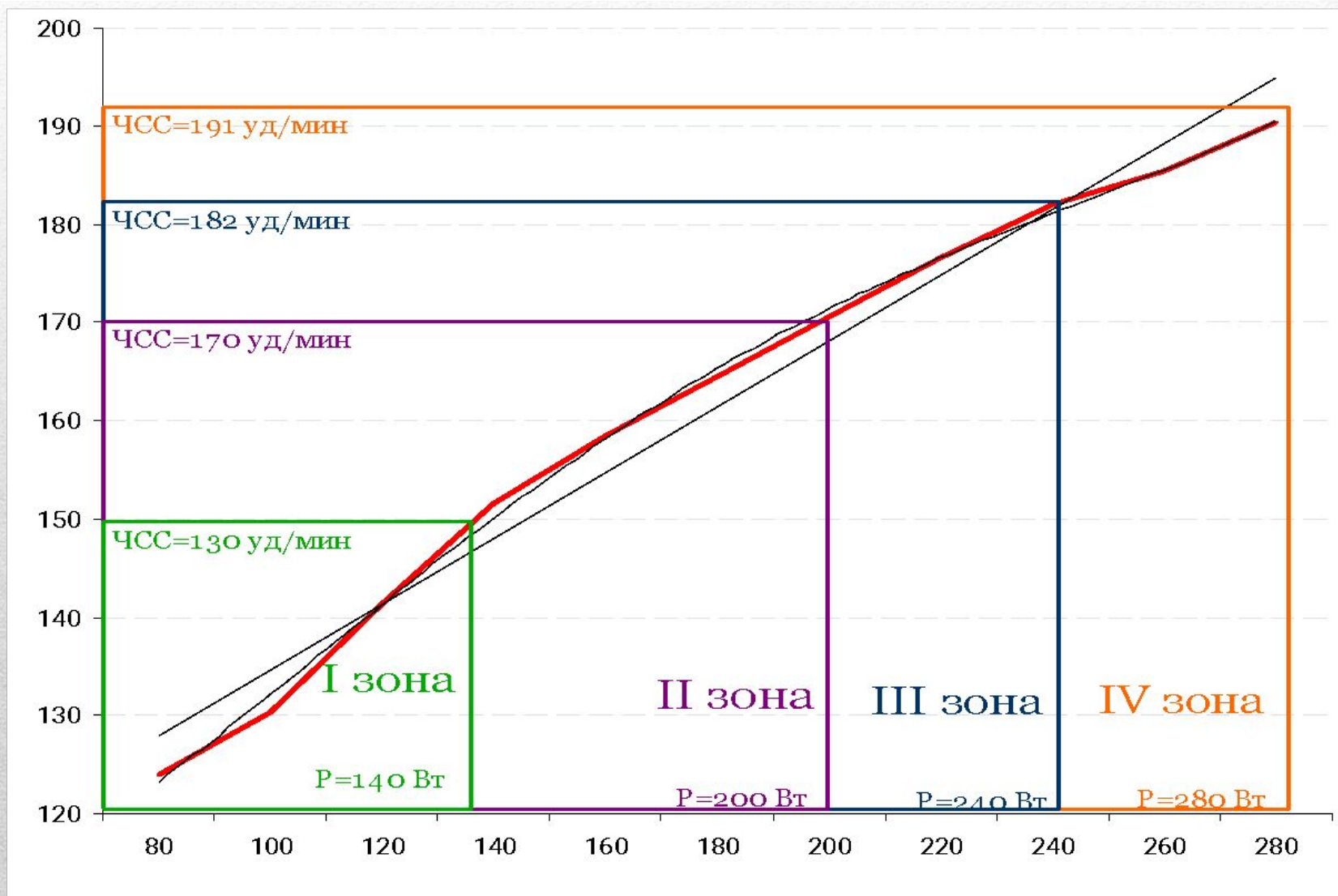
1 – по фиксированному значению лактата крови 4 ммоль·л⁻¹ крови; 2 – моменту начала прироста лактата крови; 3 – величине наименьшего вентиляционного эквивалента CO₂ при RQ=0,9-0,95; 4 – моменту начала прироста показателя E_{тс}CO₂; 5 – по зависимости между ЧСС и мощностью.

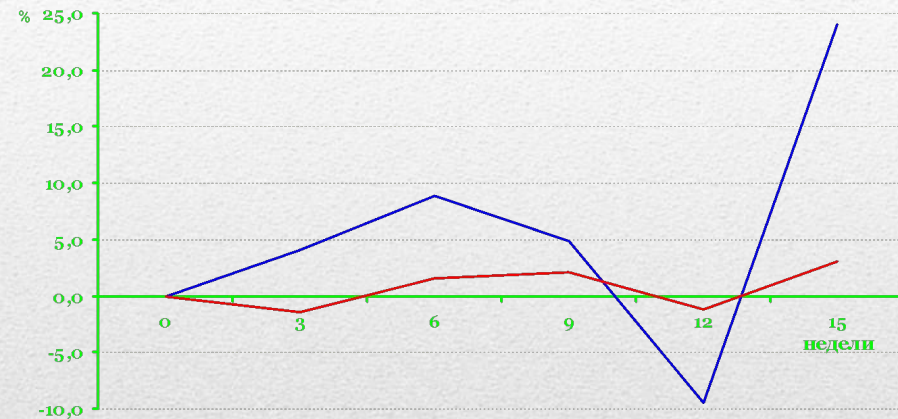


Уровень ПАНО отражает реальные пределы аэробной работоспособности спортсменов. Этот показатель изменяется с ростом тренированности, поэтому хорошо отражает кумулятивный тренировочный эффект.

В среднем у спортсменов ПАНО составляет 3,8-4,5 Вт×кг⁻¹.

Дозирование нагрузки в тренировочном занятии на основе данных специальных тестов (тест Конкони, тест PWC-170 и пр.)





ПАНО₂ – эффективный критерий оценки специальной работоспособности спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость.

При направленном развитии (как правило – с использованием интервальных и переменных нагрузок) ПАНО₂ у спортсменов увеличивается в пределах 15-30%