ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПАНО ДЛЯ КОНТРОЛЯ АЭРОБНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ

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

$W_{ПАНО}$ $W_{АТ}$

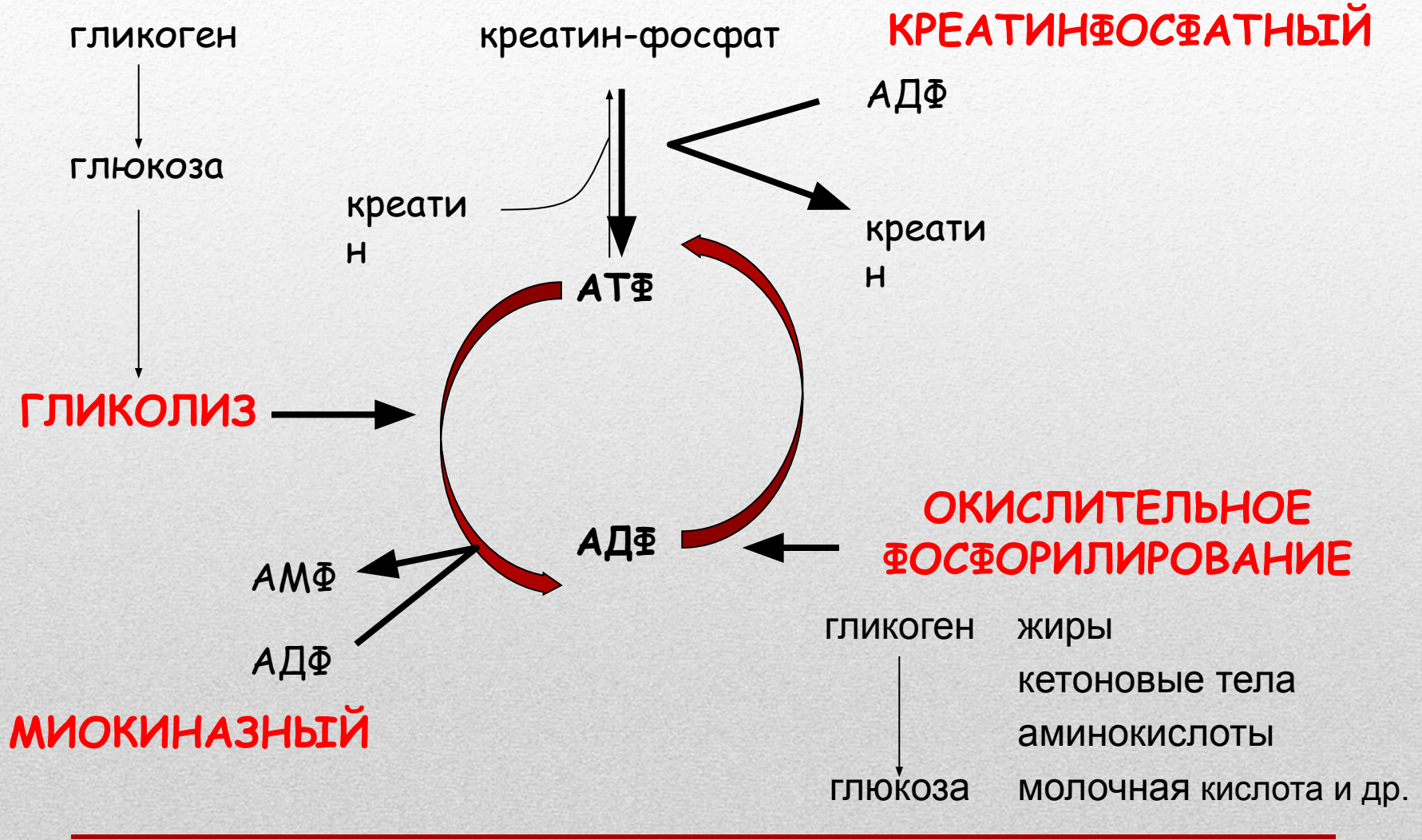
1. **ПАНО является истинным критерием аэробной мощности.**
2. **ПАНО определяется в одном тесте – со ступенчато-повышающейся мощностью (в «полевых» условиях применяют интервальные нагрузки) что значительно упрощает процедуру оценки подготовленности.**
3. **ПАНО является наиболее объективным критерием выделения зон интенсивности тренировочных нагрузок.**
4. **Существует как минимум 5 способов регистрации ПАНО – по лактатному порогу или OBLA[1]; по вентиляторному порогу; по пульсовому порогу; по критерию MLSS[2]; по эксцессу CO2.**
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» $ПАНО_1$ (начало перехода) и $ПАНО_2$ (завершение перехода).

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

Показатель	Аэробный порог (ПАНО1)		Анаэробный порог (ПАНО2)
	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 ($1 \cdot мин^{-1}$)	130-160		165-185
Концентрация лактата в крови ($ммоль \cdot л^{-1}$)	около 2		4-6

СИСТЕМА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЦ



ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОТРАЖАЮЩИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЫШЦ

композиционный состав мышц;

запасы энергетических субстратов и эффективность их использования;

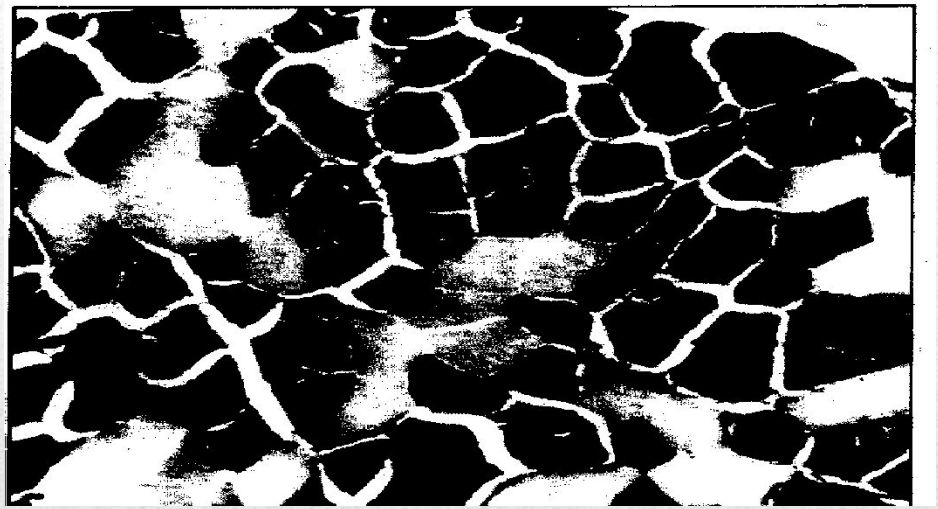
активность ферментов, регулирующих энергообразование;

каппиляризация 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»)

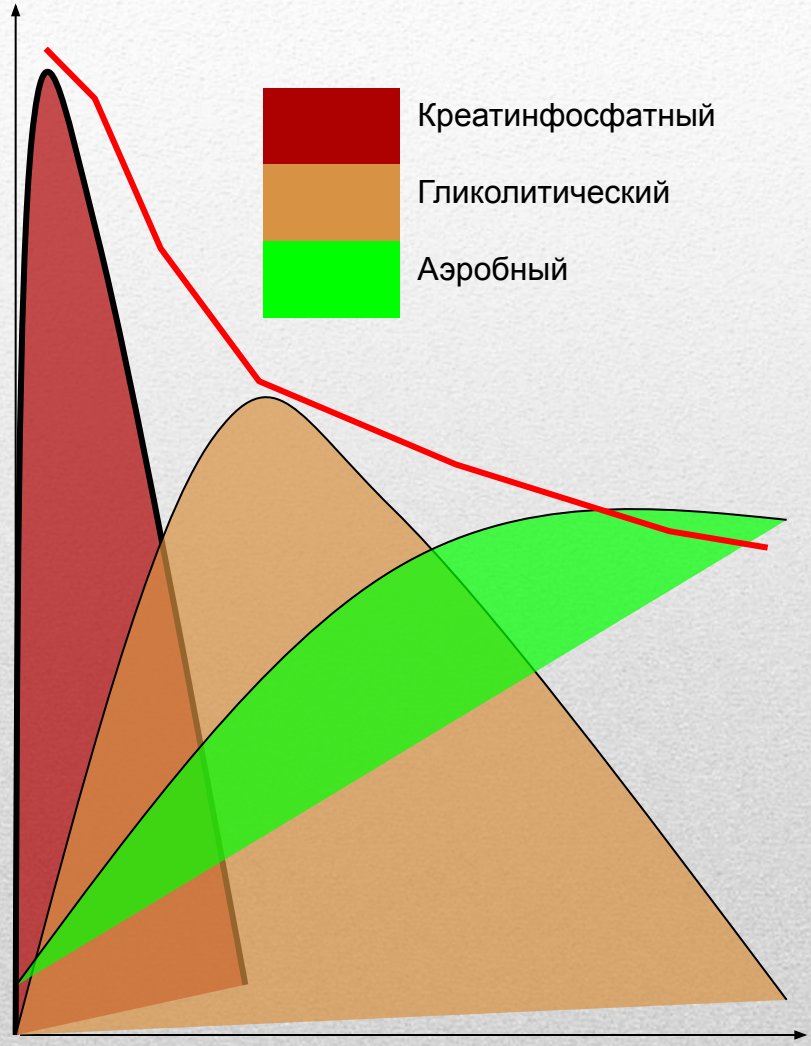
быстросокращающиеся, гликолитические («белые»)

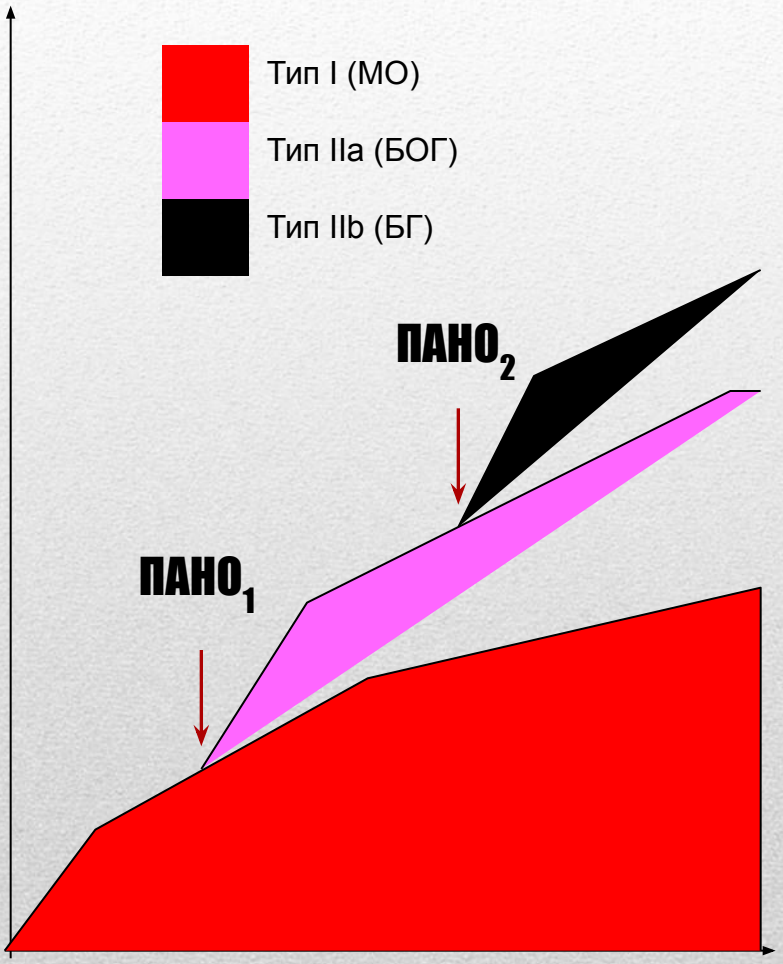
быстросокращающиеся окислительно-гликолитические («смешанные»)

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

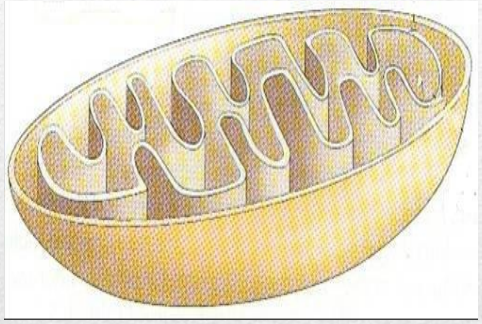


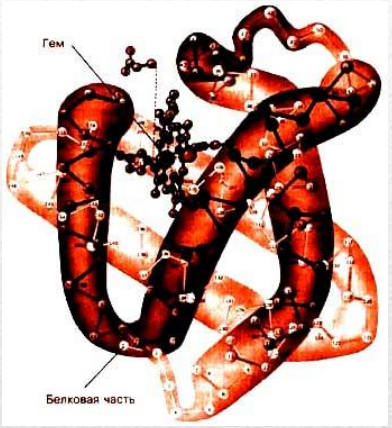


Режим сокращения волокон мышцы при работе различной интенсивности

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 выраженно аэробной работы к смешанной и анаэробной





O2

Согласно исследованиям K.Wasserman at all. (1973, 1975) для эффективной деятельности аэробного энергообеспечения необходимо:

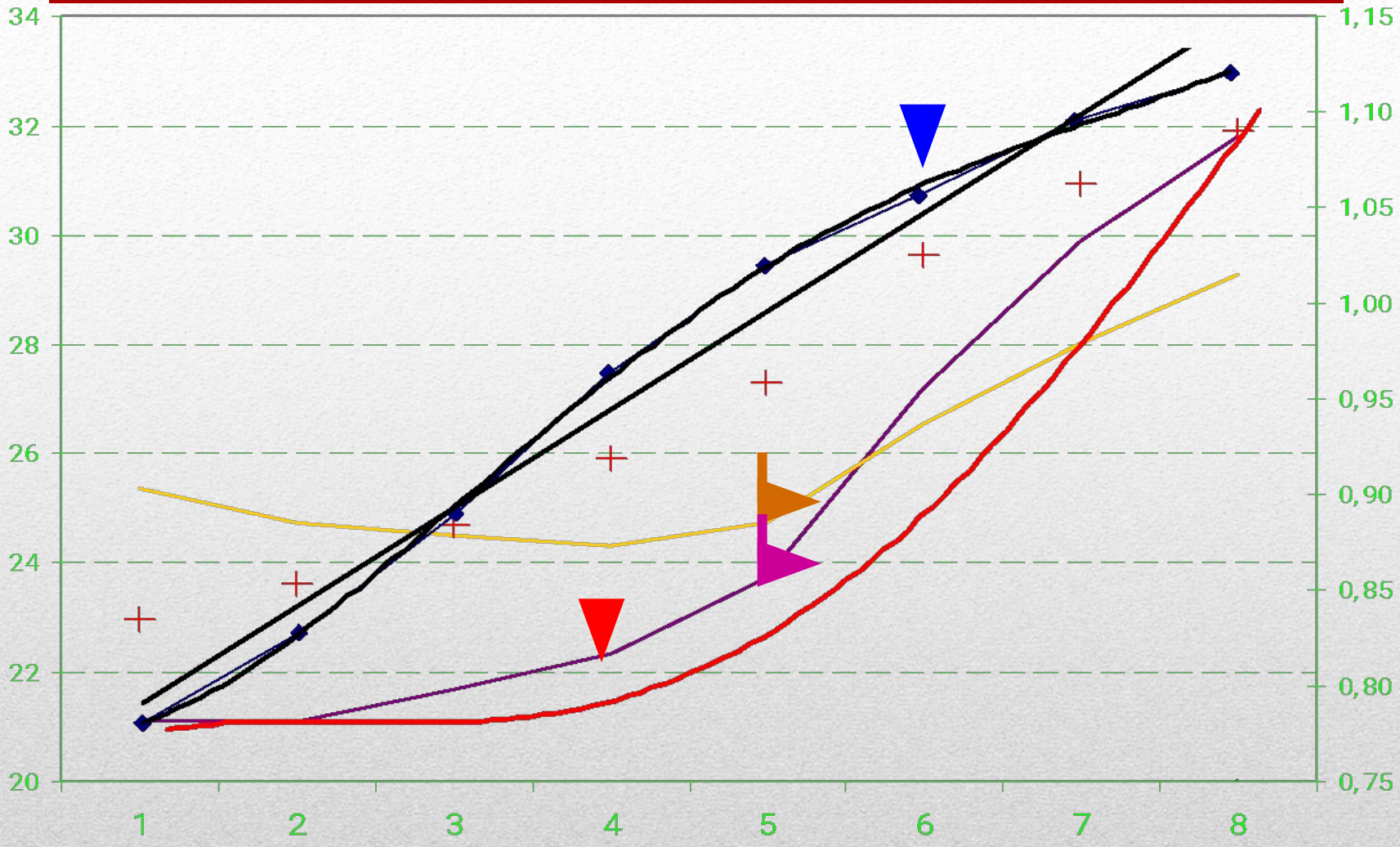
1) **достаточная плотность митохондрий в сократительных волокнах двигательных единиц;**
2) **промежуточные продукты обмена (пировиноградная к-та, ацетил-КоА) и ферменты, определяющие скорость окислительных процессов в цикле Кребса;**
3) **достаточная доставка кислорода к митохондриям.**

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

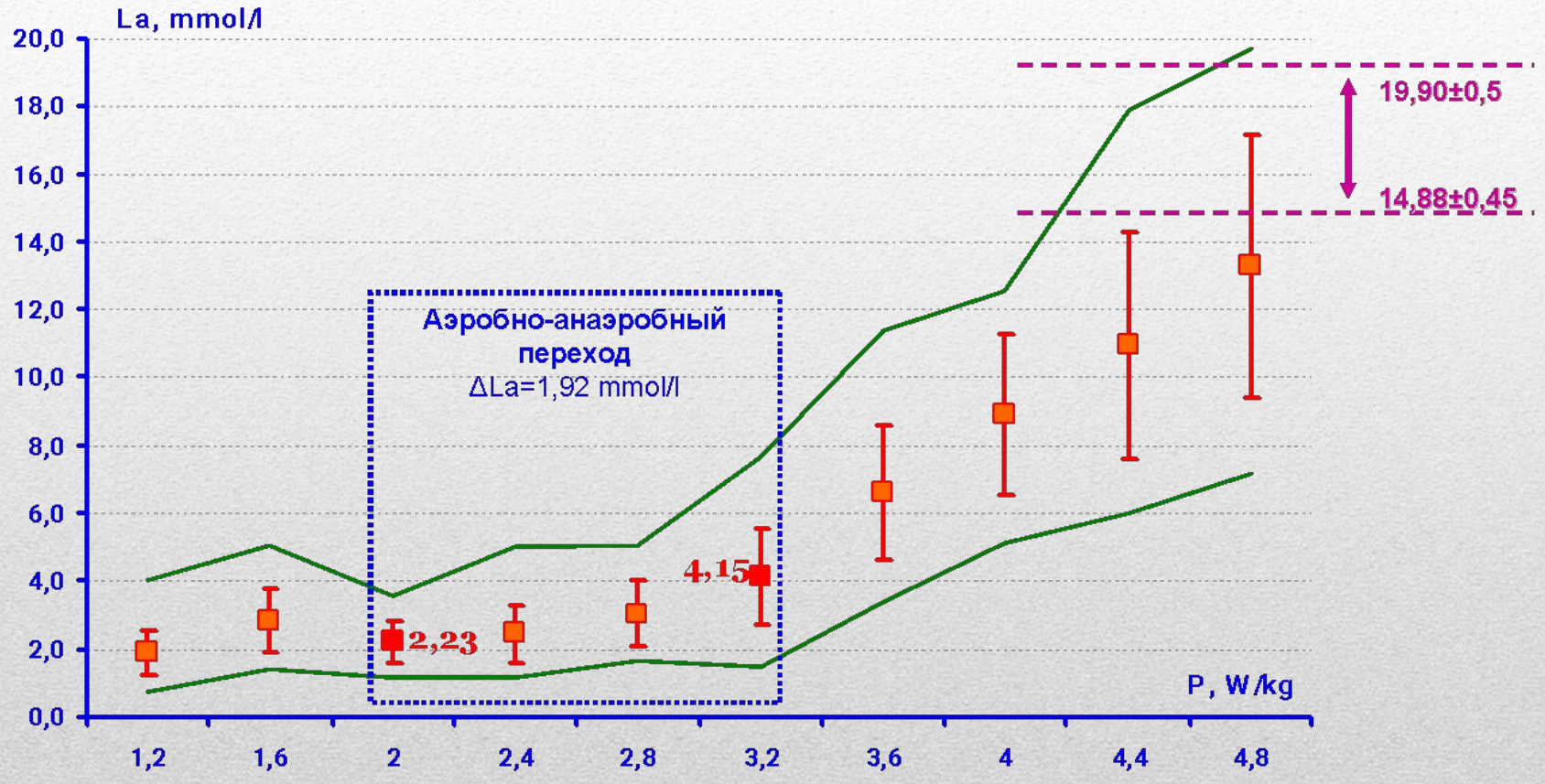
Лактатный порог	мощность работы, при лактате крови 4 ммоль·л$^{-1}$ мощность нагрузки, при которой начинается прирост лактата (лактатный порог);
Вентиляторный порог	зона мощности, где с ростом нагрузки динамика , V_E, VO_2, RQ переходят от линейной к экспоненциальной зависимости
Пульсовой порог	второй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



ОЦЕНКА ПАНО ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ И МЕТАБОЛИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ:

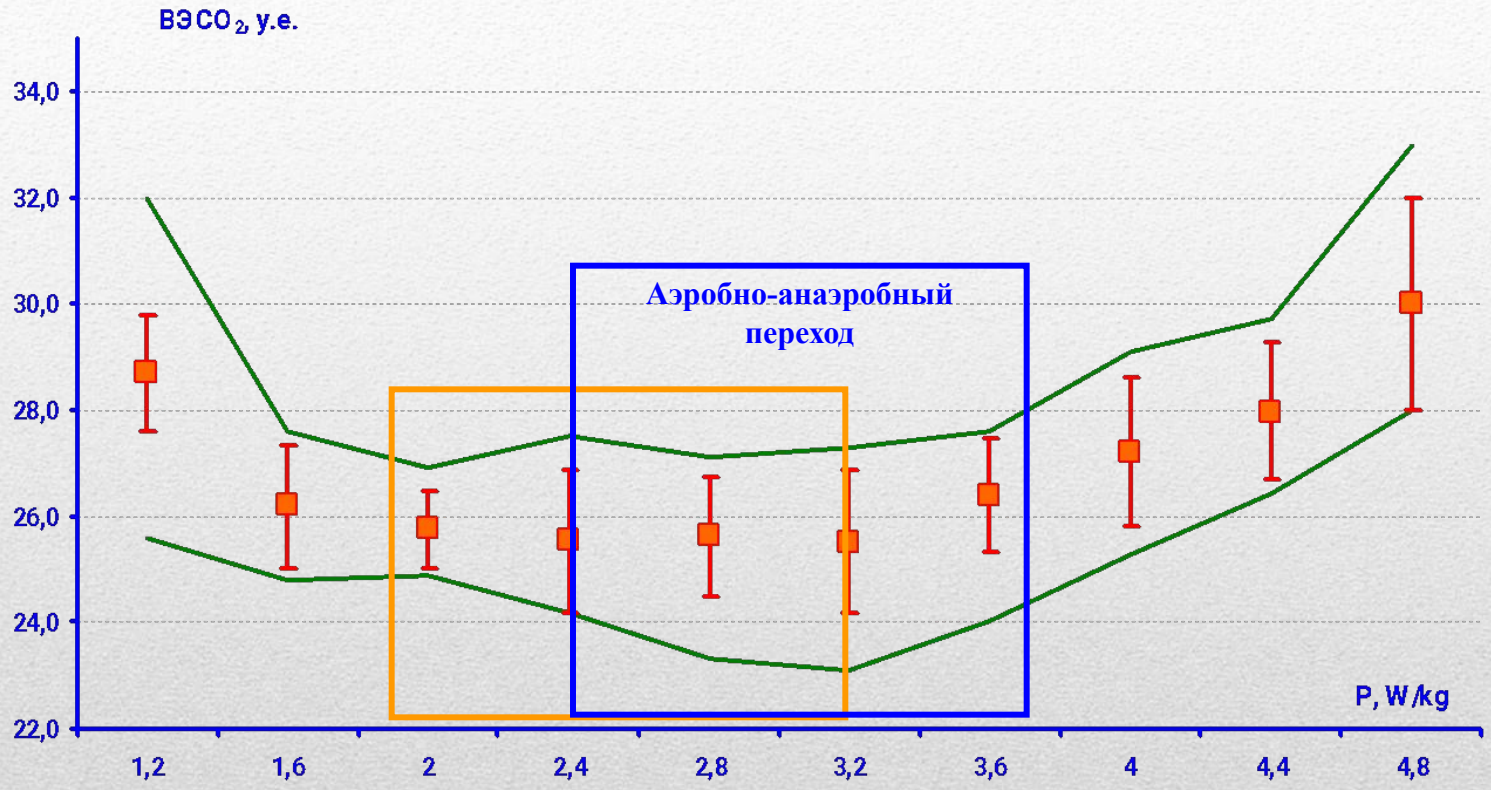
Стрелками отмечены «точки» ПАНО: по La (красная); по «эксцессу CO_2» (лиловая); по минимальному V_E/V_{CO2} (желтая); по ЧСС (синяя)

КРИТЕРИЙ – ЛАКТАТНЫЙ ПОРОГ



Обобщенные данные по спортсменам: гребля академическая (n=12),

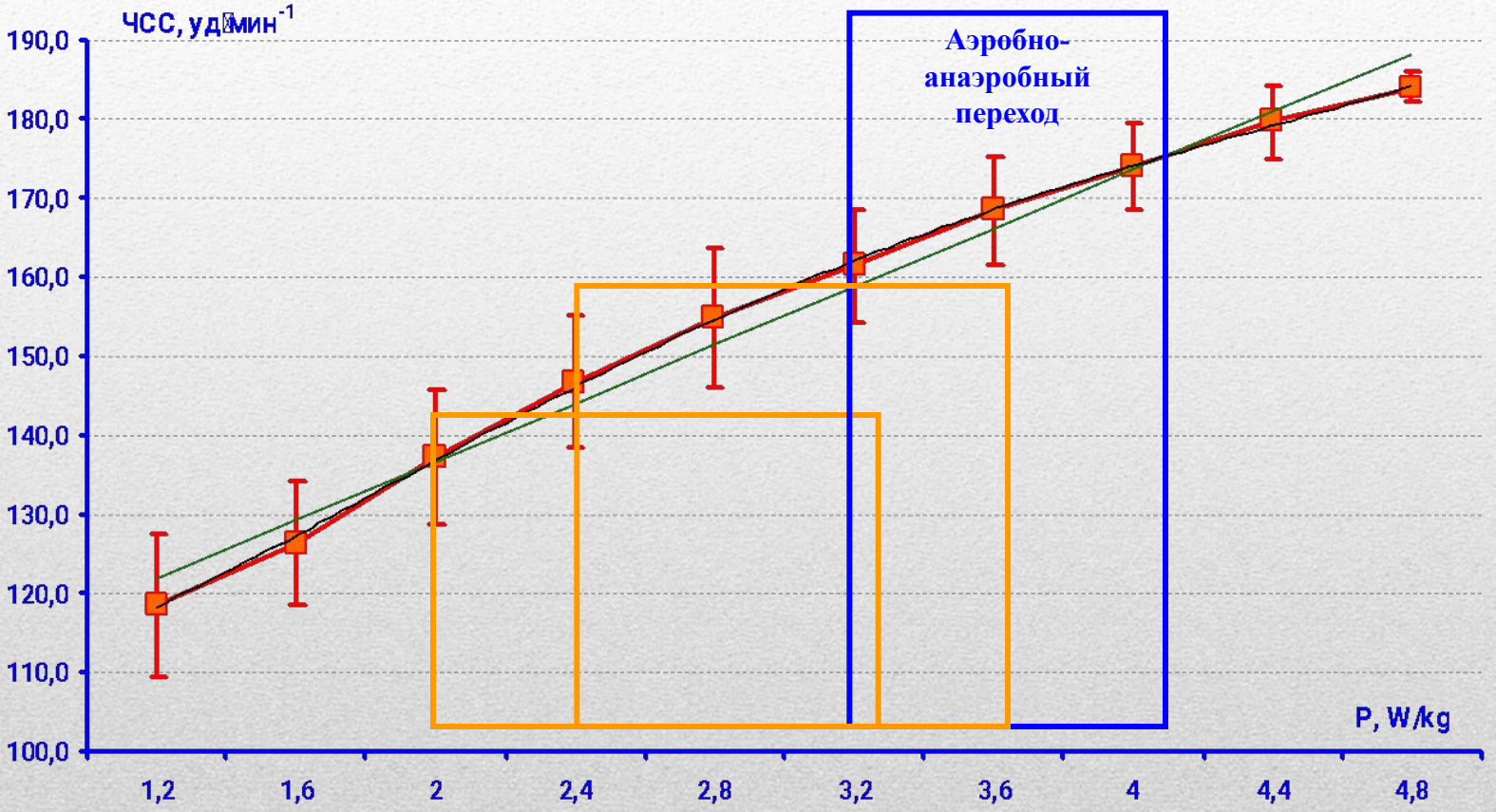
КРИТЕРИЙ – ВЕНТИЛЯТОРНЫЙ ПОРОГ



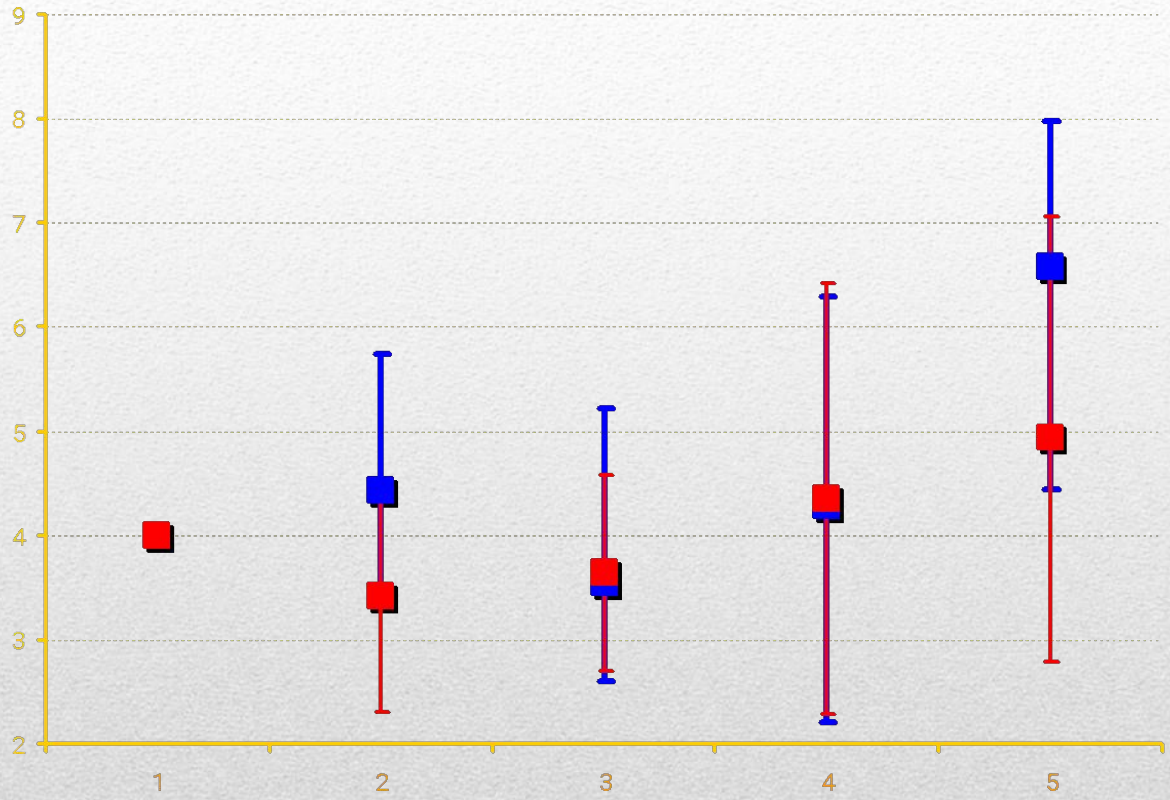
$$ВЭCO_2 = \frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_{CO_2}}$$

Обобщенные данные по спортсменам: гребля академическая (n=12),

КРИТЕРИЙ – ПУЛЬСОВОЙ ПОРОГ



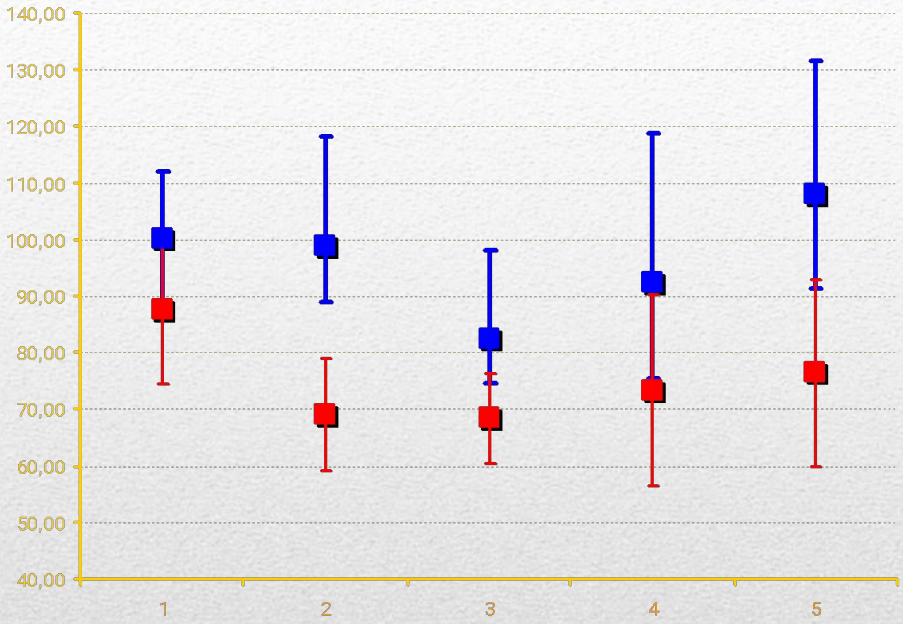
Обобщенные данные по спортсменам: гребля академическая (n=12),



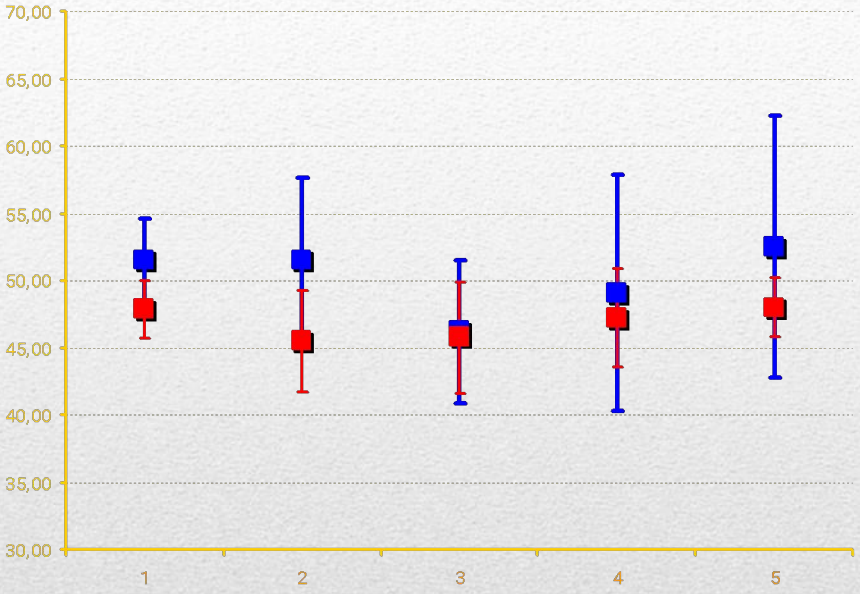
ЛАКТАТ КРОВИ (ммоль·л$^{-1}$) НА УРОВНЕ ПАНО, ОПРЕДЕЛЯВШЕГОСЯ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ:

1 – по фиксированному значению лактата крови 4 ммоль·л$^{-1}$ крови; 2 – моменту начала прироста лактата крови; 3 – величине наименьшего вентиляционного эквивалента CO_2 при RQ=0,9-0,95; 4 – моменту начала прироста показателя ExcCO_2; 5 – по зависимости между ЧСС и мощностью.

V_E



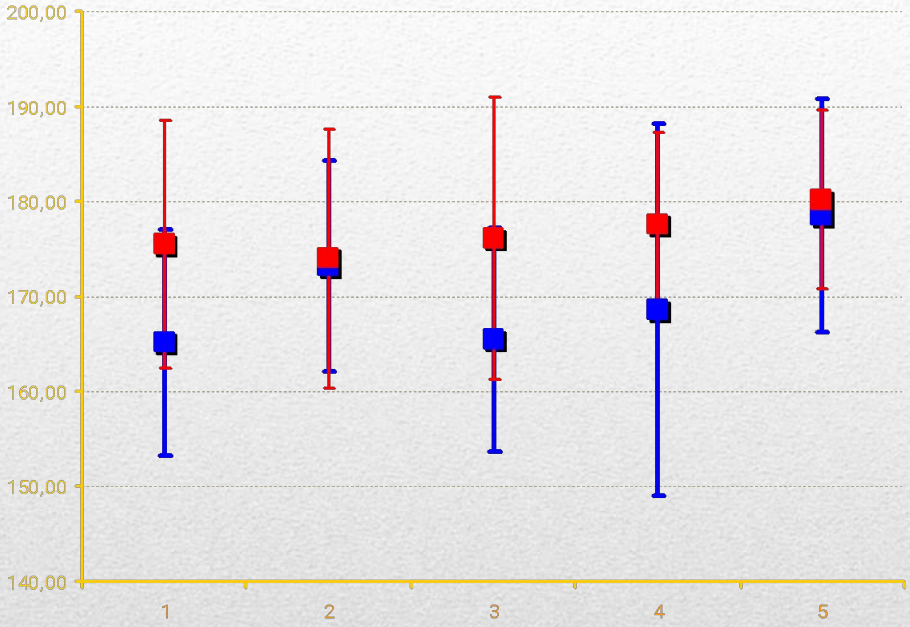
VO_2



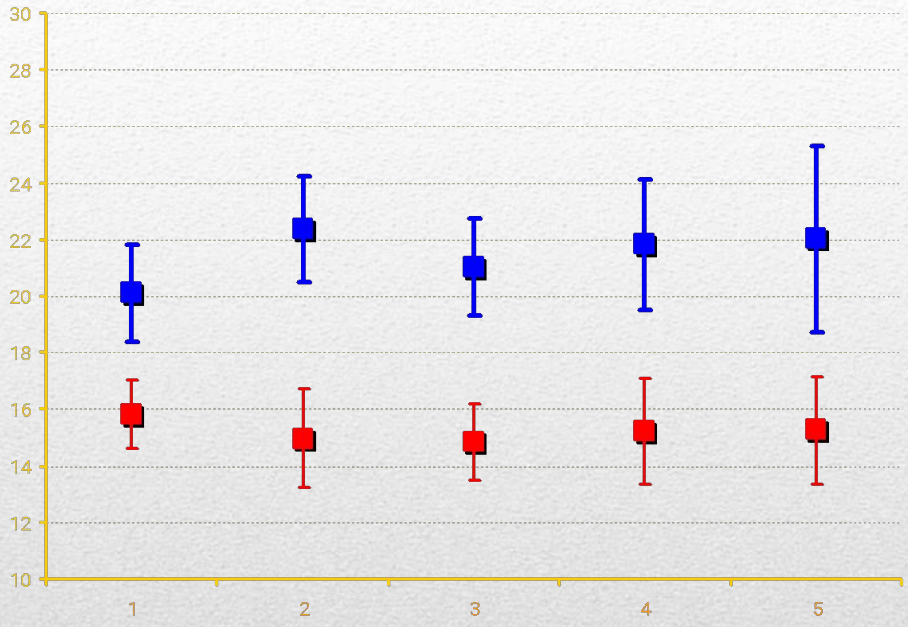
ЛЕГОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ($л \cdot мин^{-1}$) И ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ($мл \cdot мин \cdot кг^{-1}$) НА УРОВНЕ ПАНО, ОПРЕДЕЛЯВШЕГОСЯ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ:

1 – по фиксированному значению лактата крови 4 ммоль·$л^{-1}$ крови; 2 – моменту начала прироста лактата крови; 3 – величине наименьшего вентиляционного эквивалента CO_2 при RQ=0,9-0,95; 4 – моменту начала прироста показателя ExcCO_2; 5 – по зависимости между ЧСС и мощностью.

ЧСС

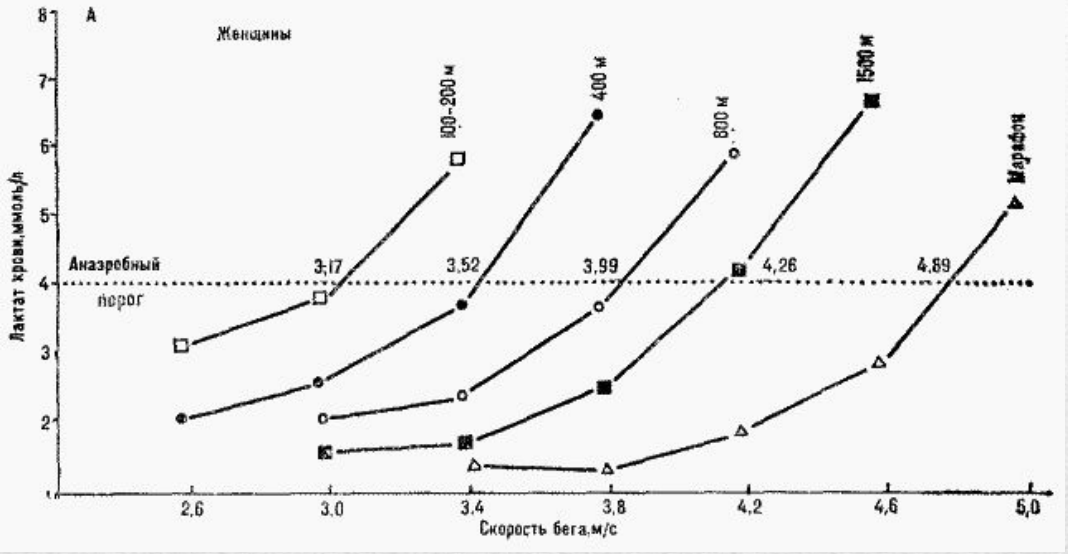


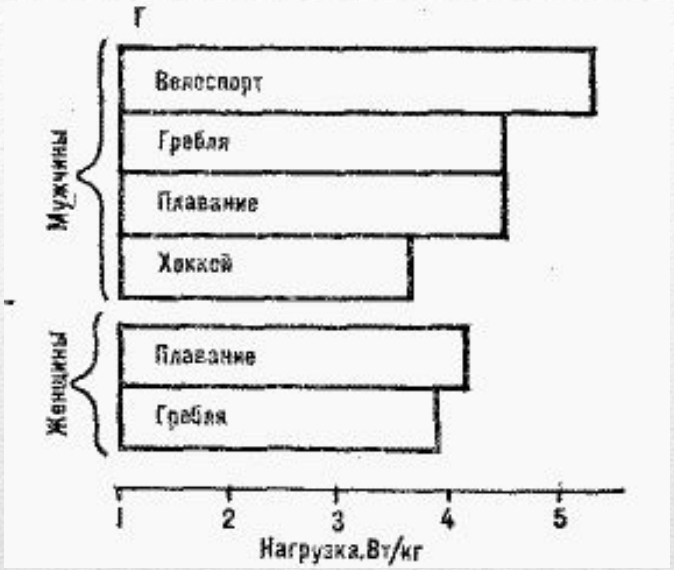
VO_2/ЧСС



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 CO_2 при RQ=0,9-0,95; 4 – моменту начала прироста показателя ExcCO_2; 5 – по зависимости между ЧСС и мощностью.

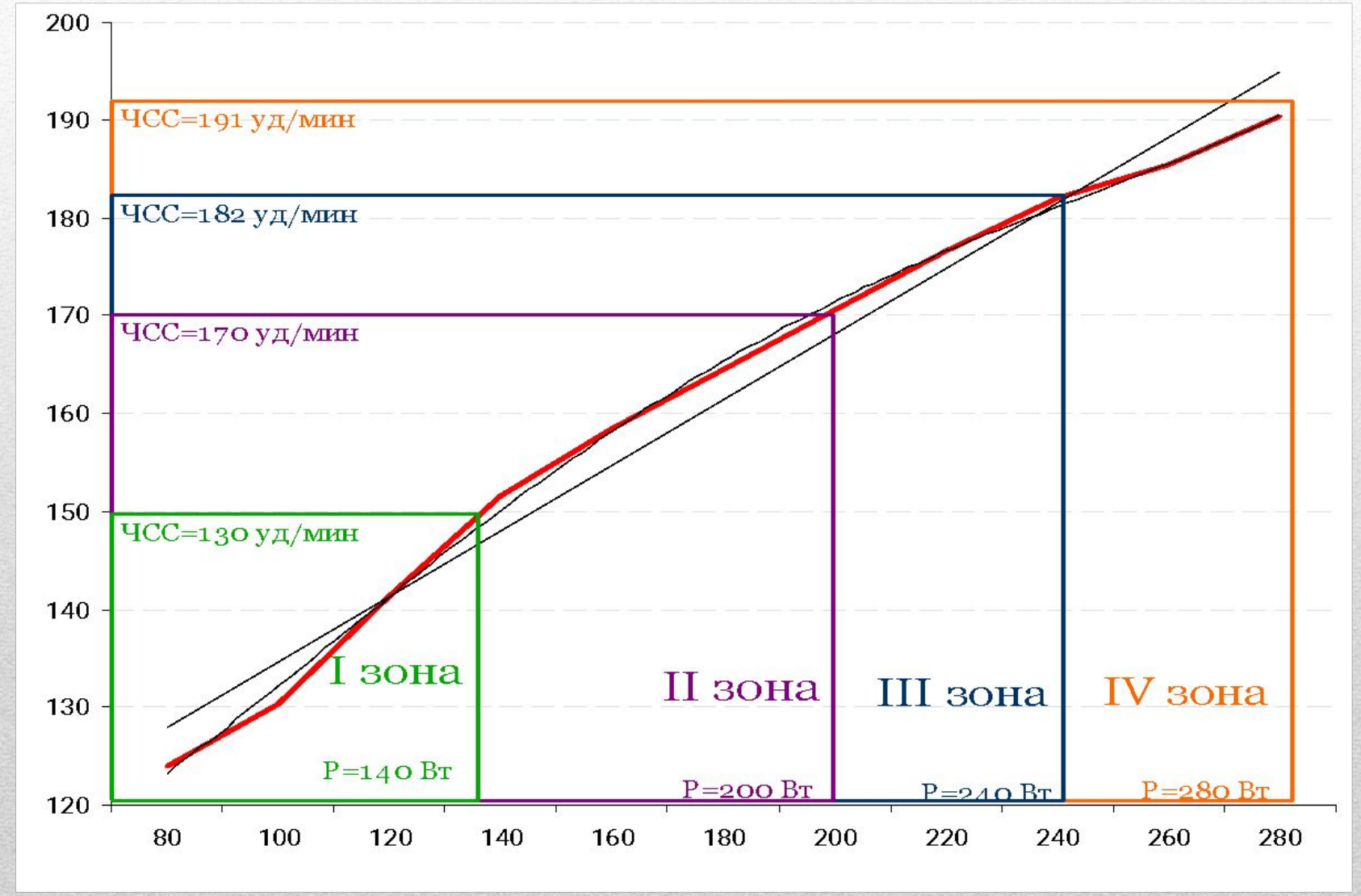


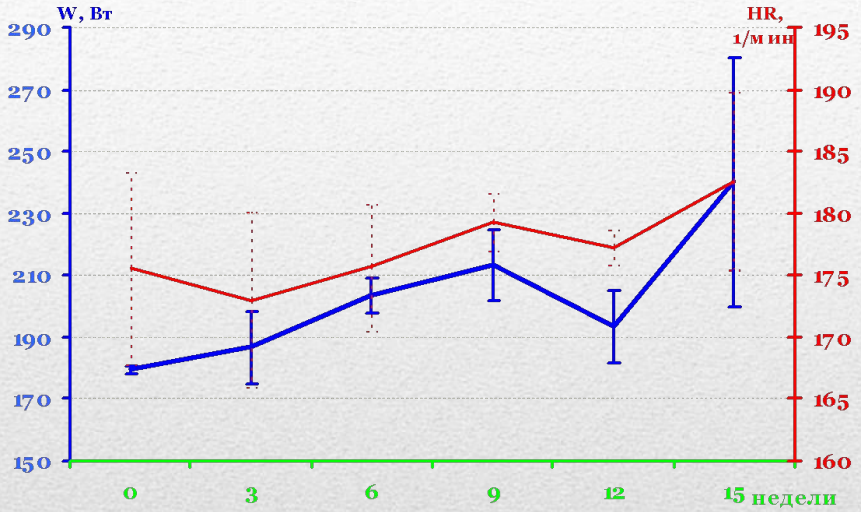


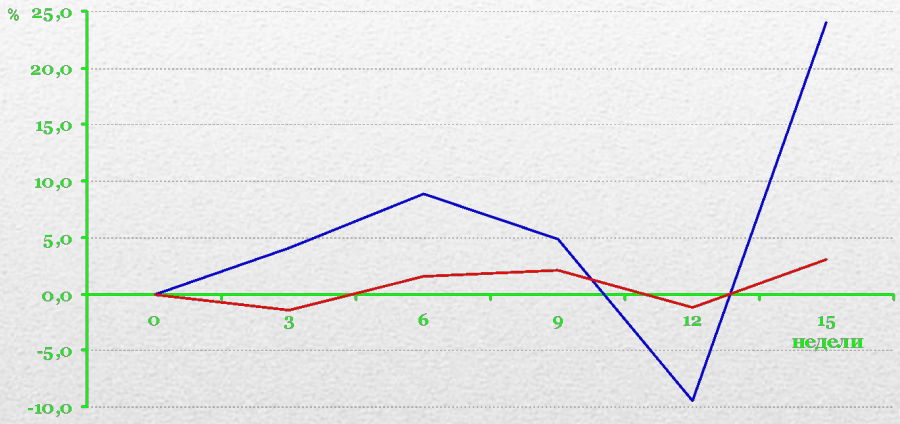
Уровень ПАНО отражает реальные пределы аэробной работоспособности спортсменов. Этот показатель изменяется с ростом тренированности, поэтому хорошо отражает кумулятивный тренировочный эффект.

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.)







$ПАНО_2$ – эффективный критерий оценки специальной работоспособности спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость.

При направленном развитии (как правило – с использованием интервальных и переменных нагрузок) $ПАНО_2$ у спортсменов увеличивается в пределах 15-30%