

An artistic illustration of a woman running, rendered in a vibrant, painterly style. She is shown in profile, moving from left to right. Her hair is tied back in a ponytail. She wears a dark athletic top with colorful trim and black running shoes. The background is a dynamic composition of warm colors like orange, yellow, and red, with cooler tones of blue and green. The scene is filled with energetic brushstrokes, splatters, and various geometric shapes like triangles and circles, creating a sense of motion and energy. A solid red horizontal band is positioned across the middle of the image, containing the text.

БЕГ И СЕРДЦЕ

О чем мы будем говорить?

- Функции сердечно-сосудистой системы
- Анатомия и физиология сердца
- Что определяет работу сердца?
- Как сердце изменяется под влиянием бега?

Нет предела беспределу



- **Miguel Indurain**
- ЧСС в покое 28 уд/мин
- ЧСС при нагрузке 220 уд/мин
- СВ при нагрузке 50 л/мин

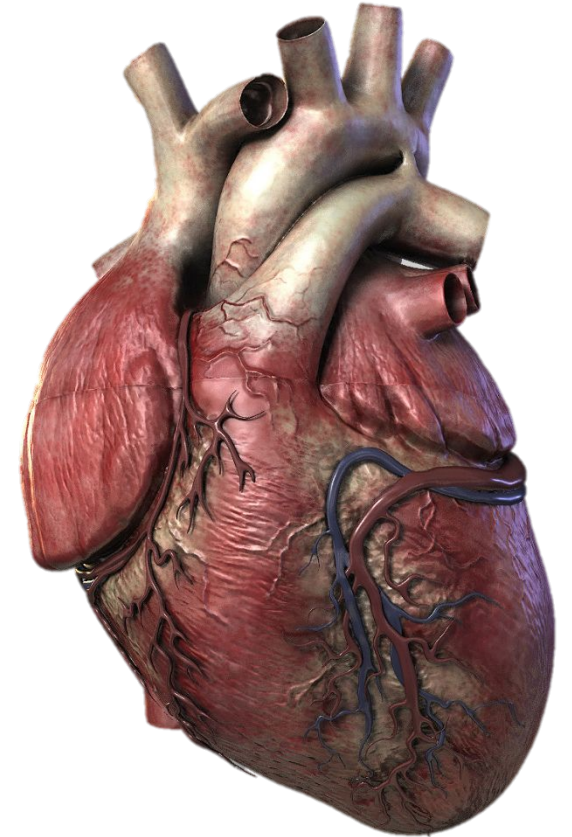
Английские учёные установили...



Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных (Франкфурт, 1628)

И сердце – пламенный мотор!

- Вес \approx 300 г.
- Работа: 75 уд/мин, 100000 уд/день
- 35 миллионов уд/год
- 70 мл/сокр, 5000 л/мин



РАБОТА СЕРДЦА ЭКВИВАЛЕНТНА ПОДЪЕМУ 30 ТОНН ГРУЗА НА ЭВЕРЕСТ

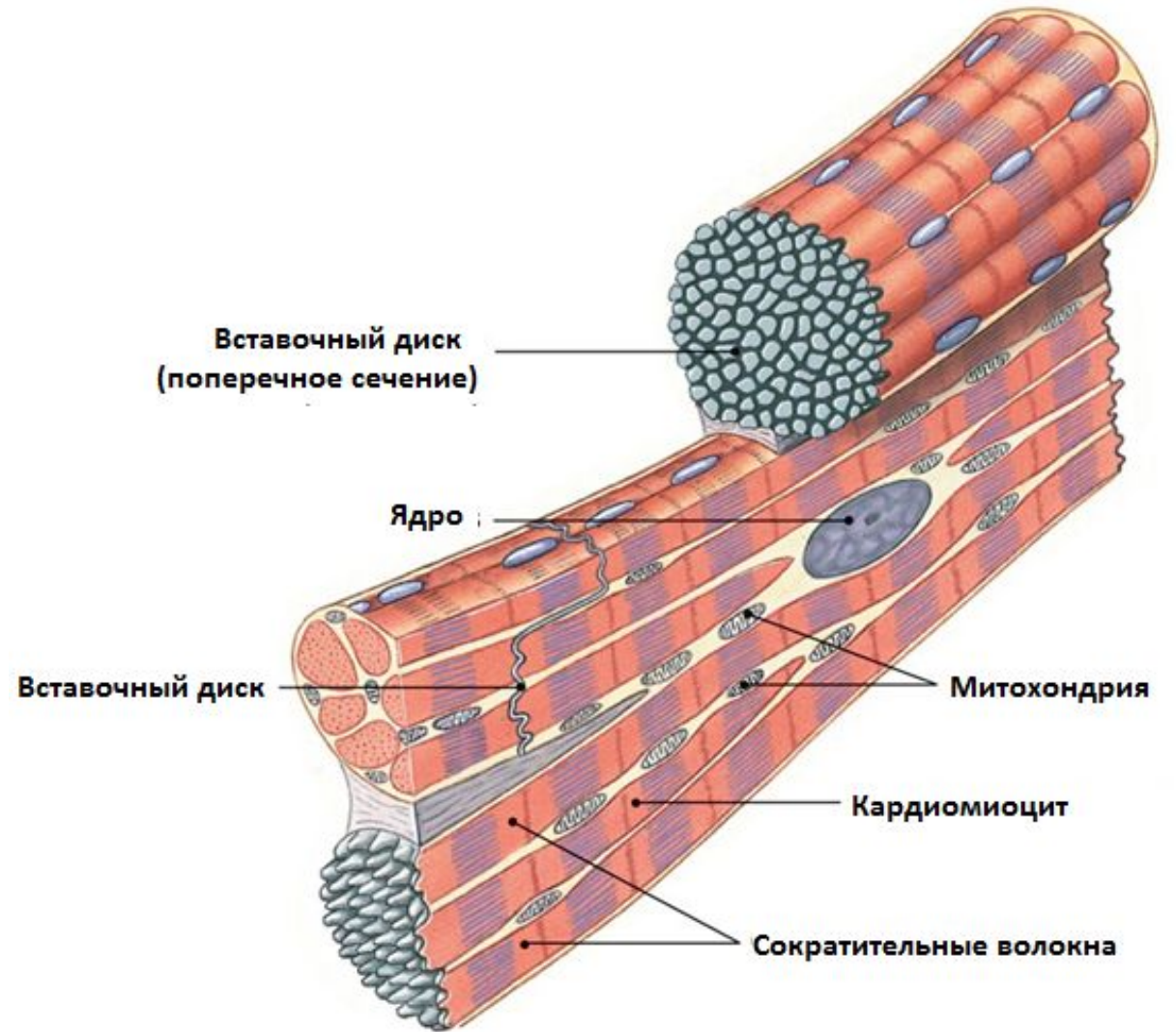
Функции сердечно-сосудистой системы



Где оно расположено?



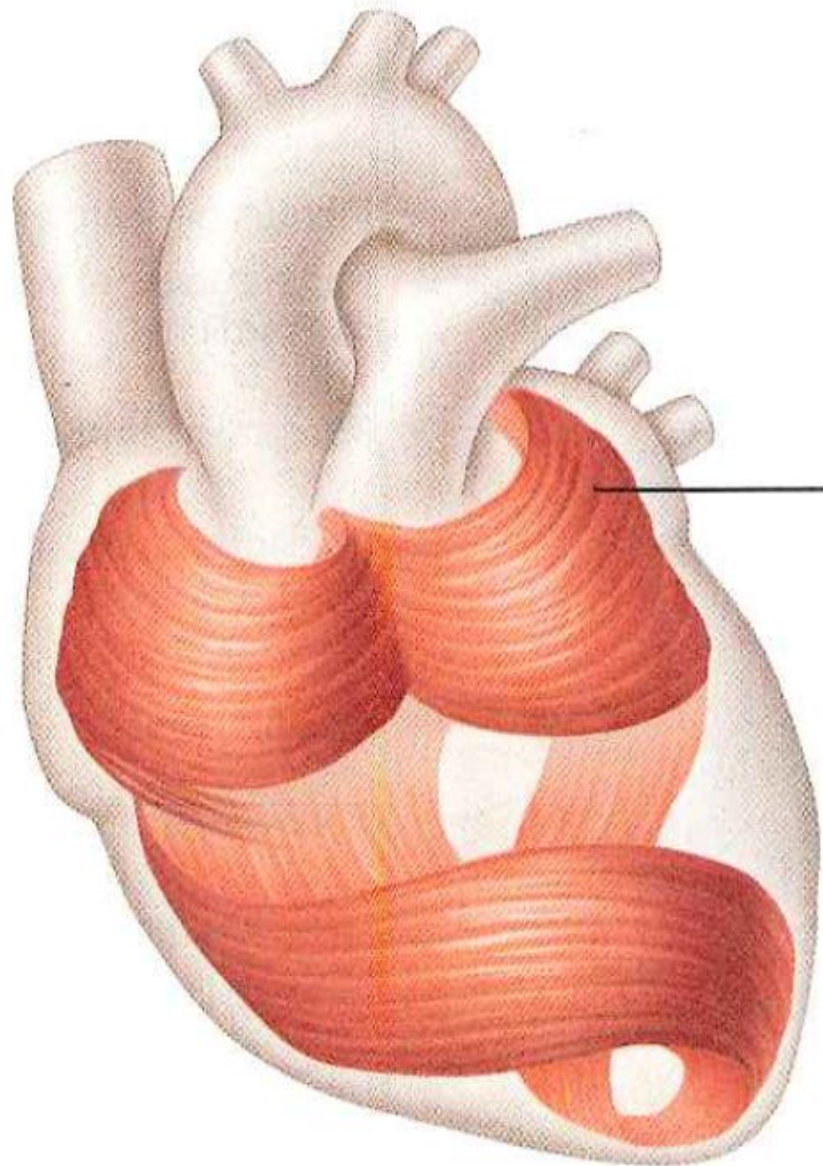
Характеристики сердечной мышцы



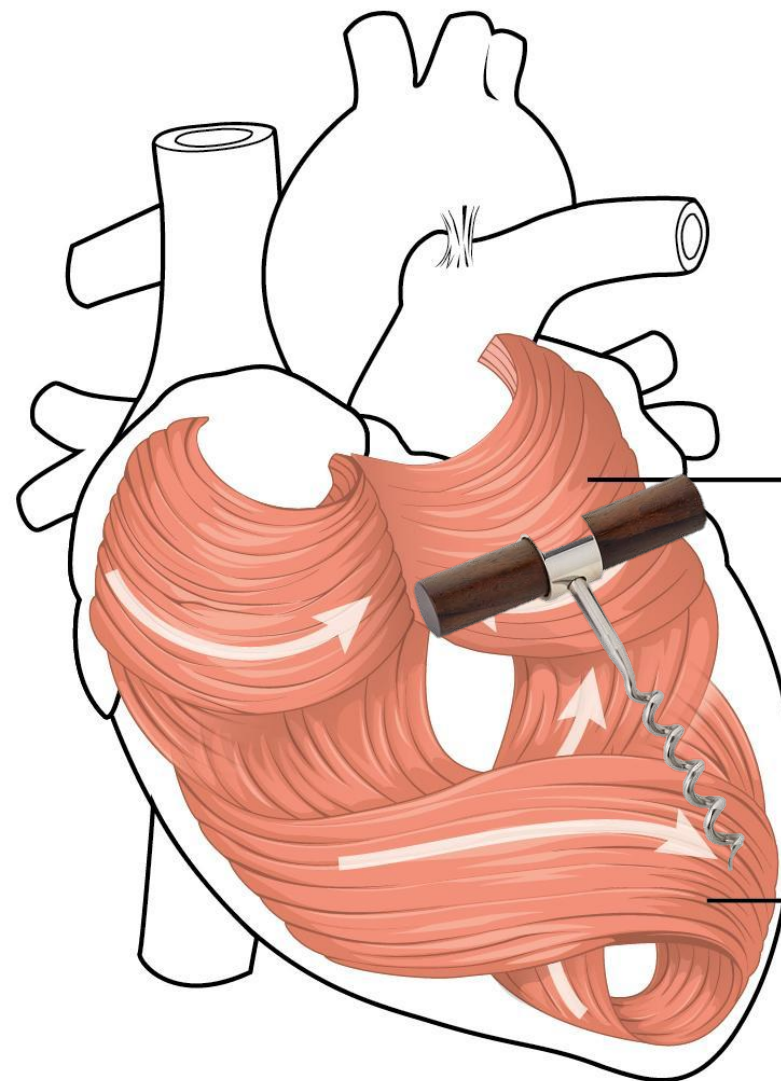
Что там было? Танцы, сэр, в основном танцы...



Мышцы в сердце



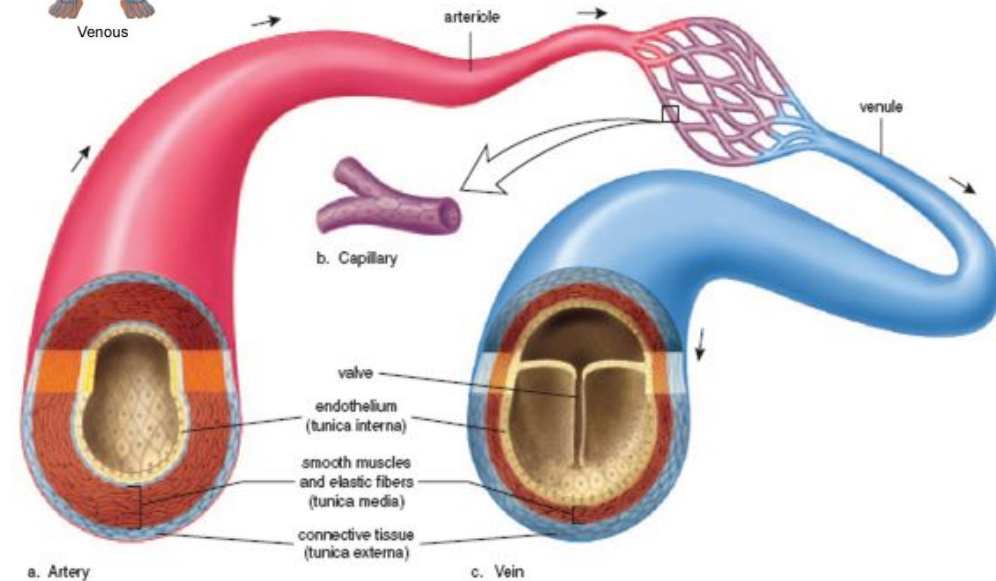
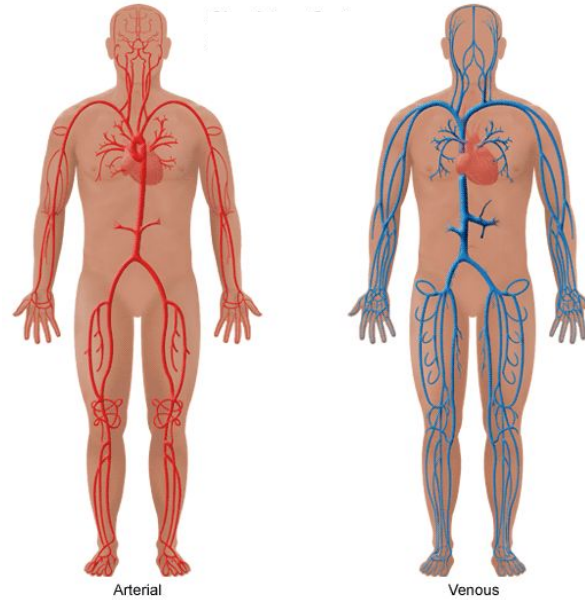
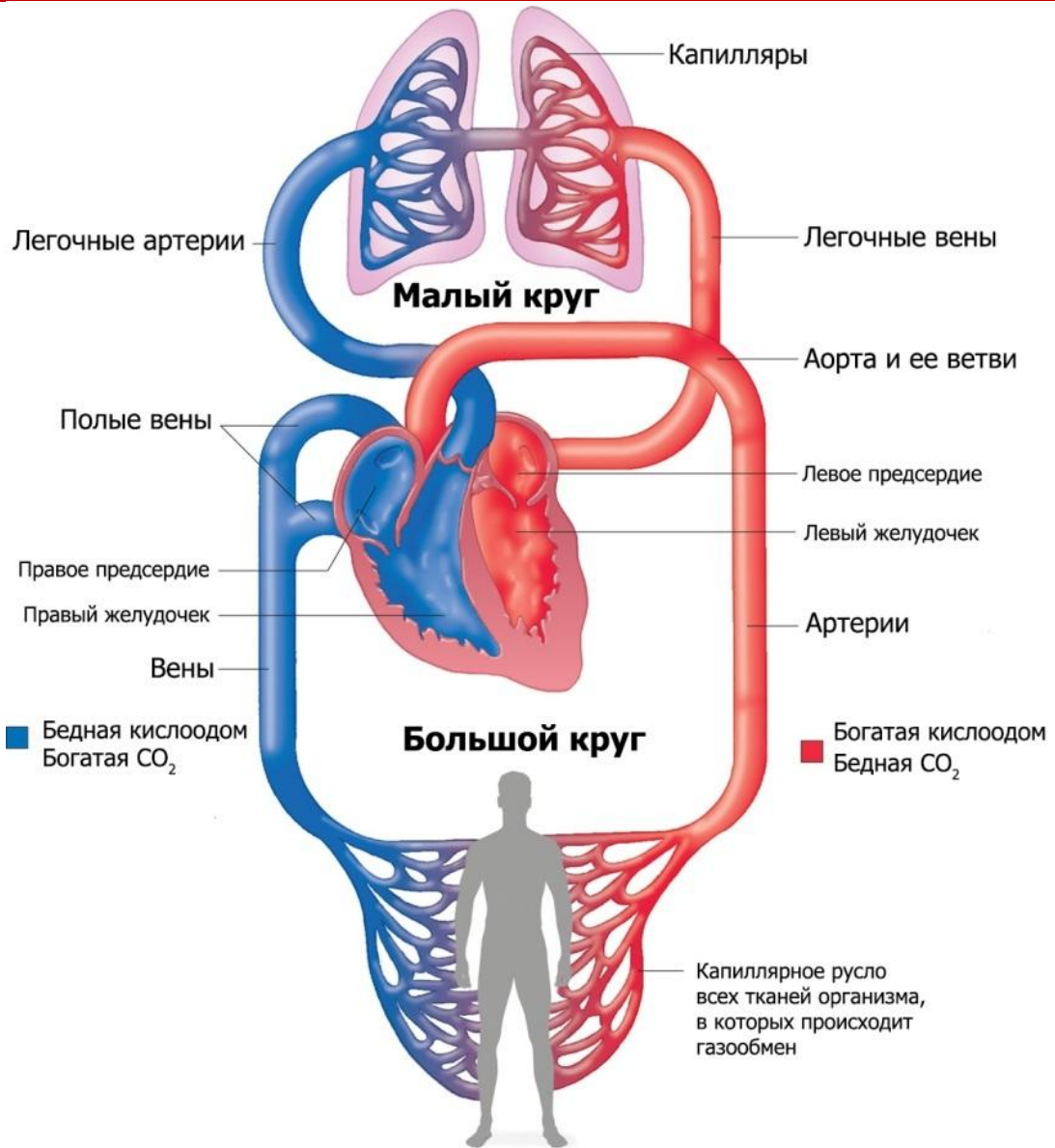
Пучки
мышечны
х волокон



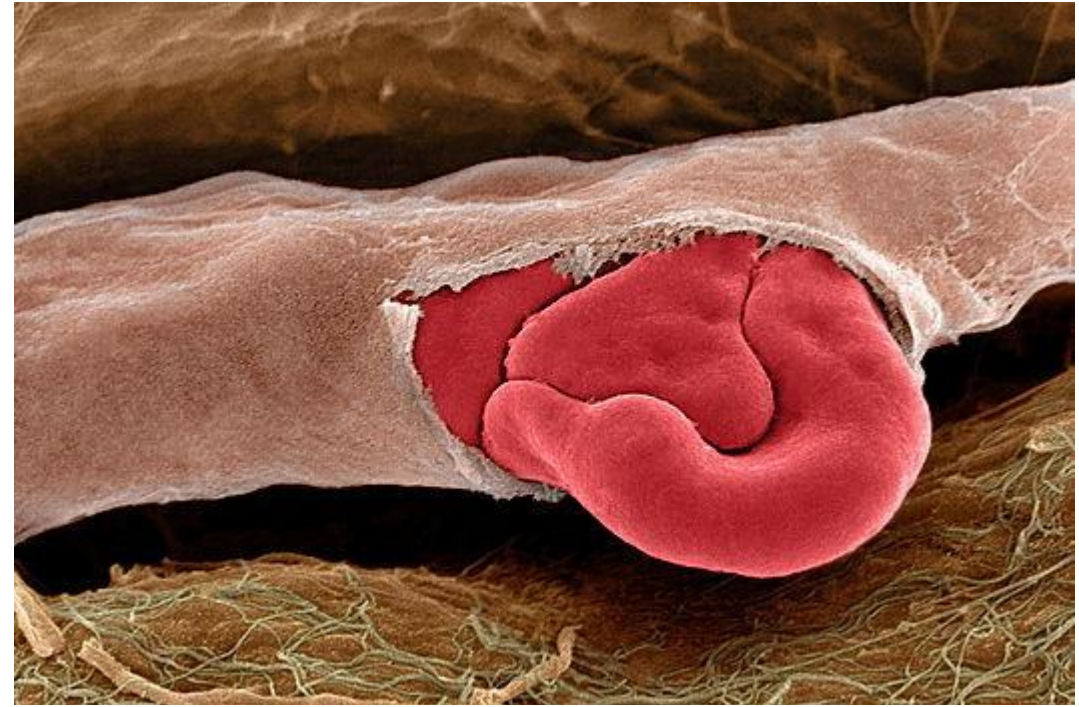
Мускулату
ра
предсерди
й

Мускулату
ра
желудочко
в

Анатомия сердечно-сосудистой системы



Эритроцит *in vivo*



Гематокрит – друг или враг?

Effect of Hematocrit on Blood Pressure Via Hyperviscosity

AJH 1999;12:739–743

Yıldırım Çınar, Gamze Demir, Mustafa Paç, and Ayşe Başak Çınar

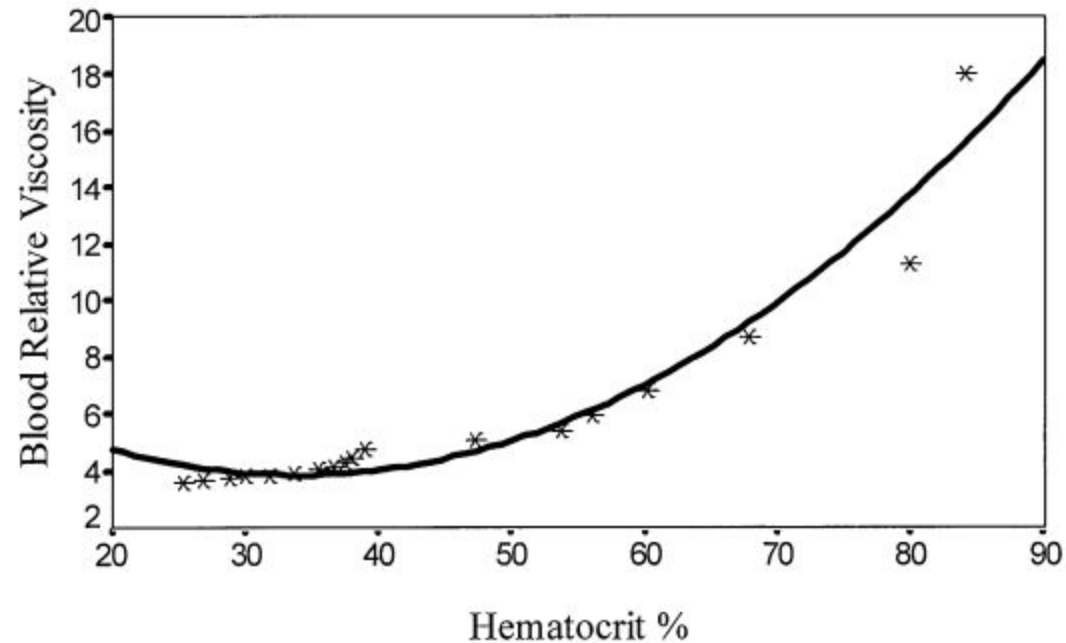


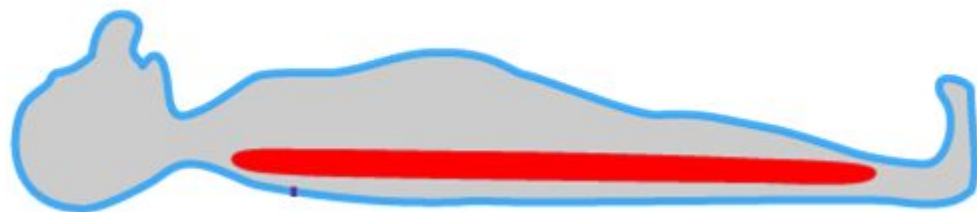
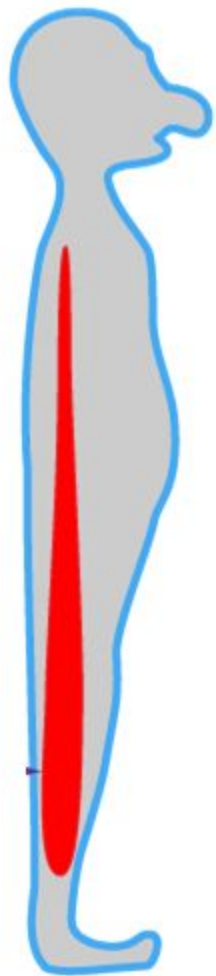
FIGURE 1. Decrease in hematocrit levels resulting from the addition of 0.5 mL of plasma at 17 consecutive steps onto 2.5 mL of erythrocyte mass causes a significant decrease in viscosity at each step ($P < .001$).

Сердце тоже хочет кушать!!!

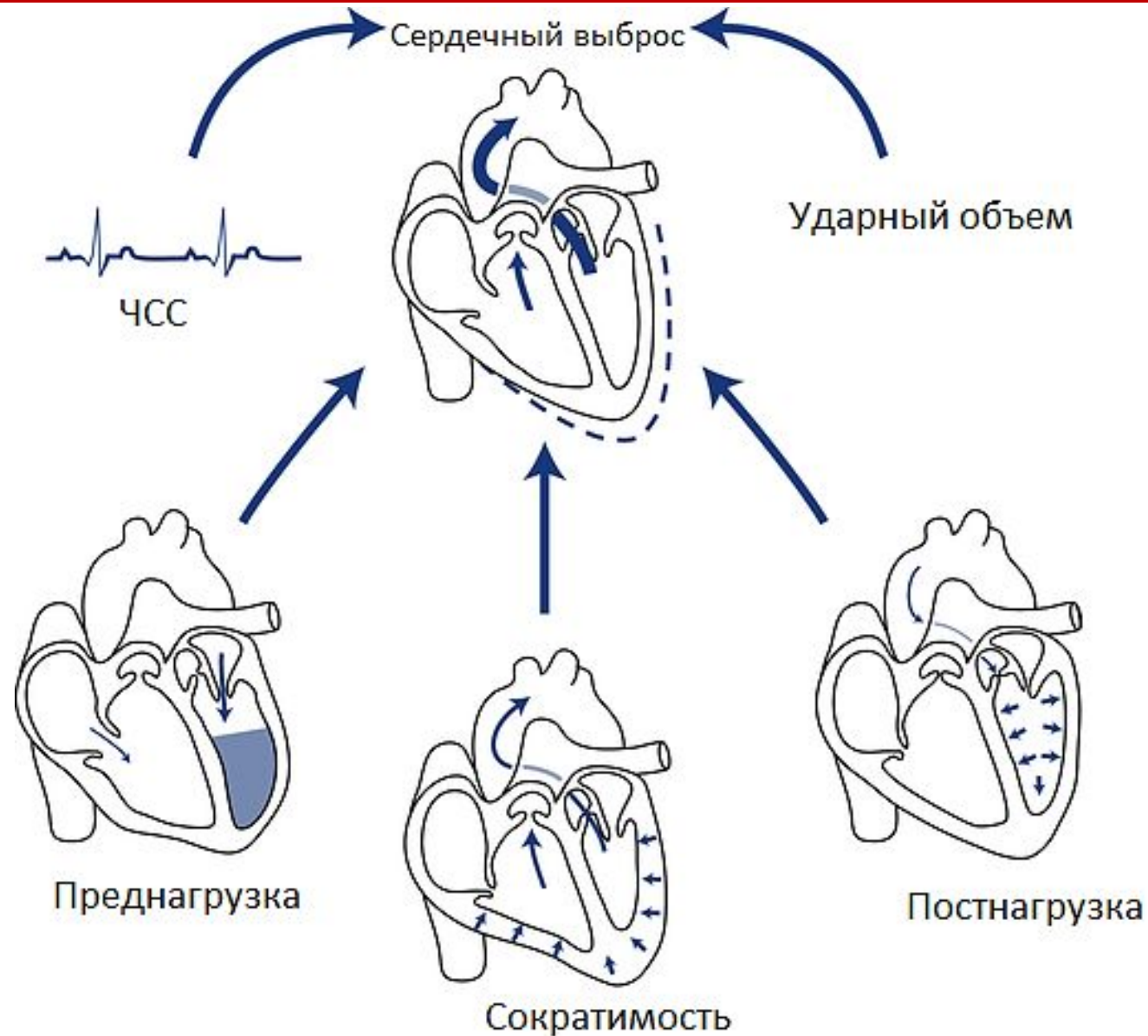
- Есть ли запасы гликогена в сердце?
- Жирные кислоты
- Нет возможности для анаэробного обмена!
- Не хватает жирных кислот?
 - Глюкоза
 - Лактат



Регуляция ЧСС



От чего зависит сердечный выброс



Регуляция сердечного выброса



эмоциональный,
Упражнения, лихорадка)



ны
лин,
ин)

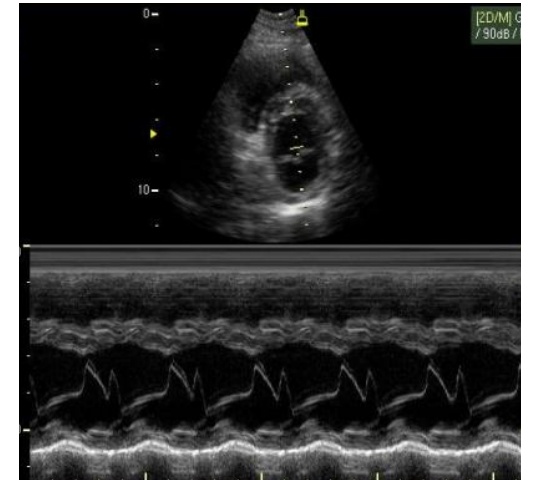
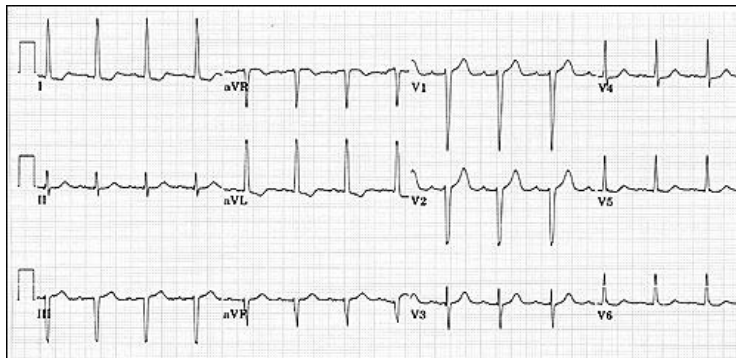
Низкое
АД



Упражнения
я

Спорт - с чего все началось?

- Henschen/Darling (1899)
 - Увеличение размеров сердца при перкуссии (норвежские лыжники/гребцы)
- 100+ лет научных исследований: Rg, ЭКГ, ЭХО



Новости хорошие, и не очень

THE PULSE AFTER A MARATHON RACE

PAUL D. WHITE, M.D. (BOSTON)
FRANCE

The question of the possibility of producing alternation of the pulse by very vigorous and prolonged exertion was the incentive to a study of the pulse of twenty men who ran the annual Boston Marathon of 25 miles from Ashland to Boston, April 19, 1916.

SUMMARY

Marathon racing does not exhaust the healthy heart sufficiently to produce alternation of the pulse.

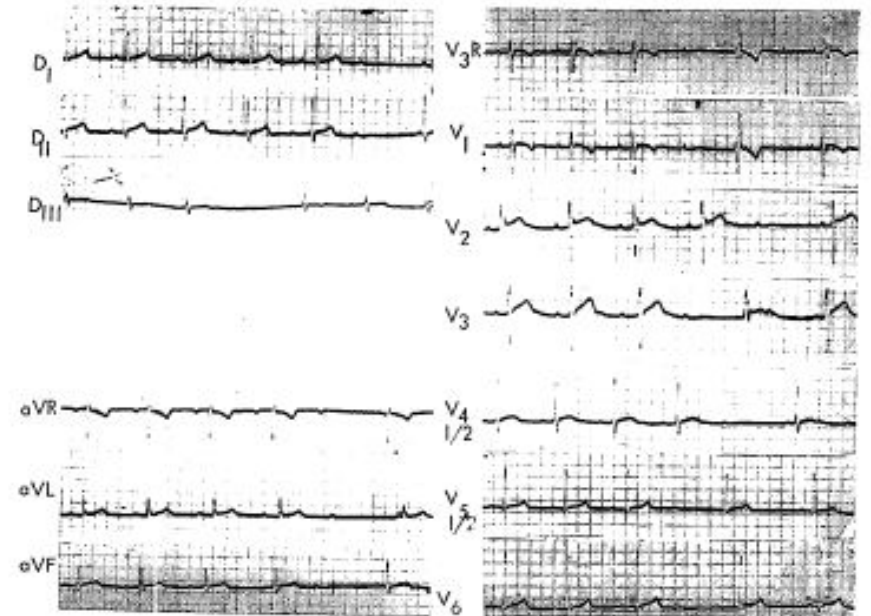
JAMA 1918;71:1047



ELECTROCARDIOGRAM OF THE MONTH

Wenckebach Phenomenon with Nodal and Ventricular Escape in Marathon Runner

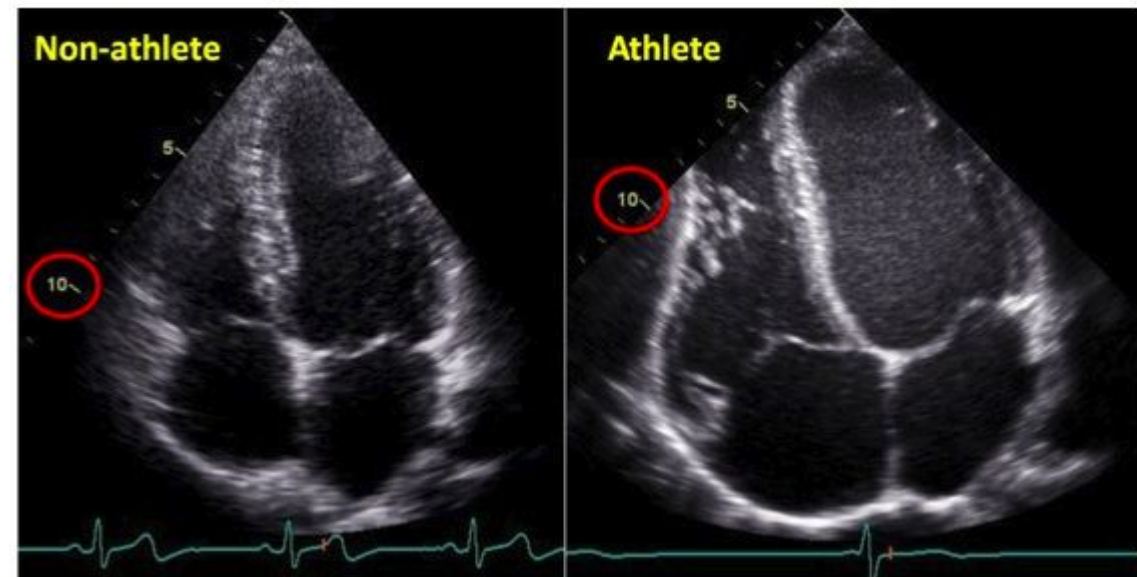
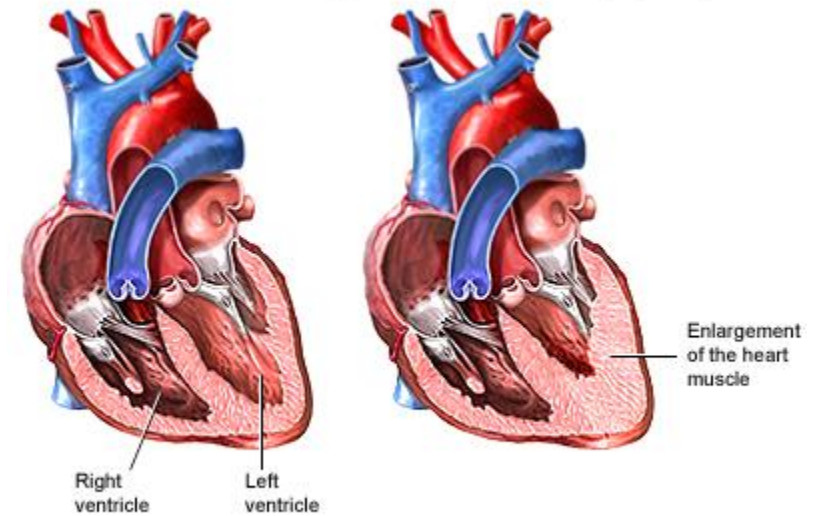
Brig. General Orhan Sargin, M.D., Lt. Colonel Cengiz Alp, M.D.,**
Lt. Colonel Cemal Tansi, M.D.,† Captain Levent Karaca, M.D.††*



Chest 1970;57:102

Норма или патология?

- **Сердце атлета**
 - **Повышенная масса сердца**
 - **Нормальная функция сердца**
 - **Обратимые изменения**
- **Сердечная недостаточность**
 - **Повышенная масса сердца**
 - **Сниженная функция сердца**
 - **Необратимые изменения**
 - **Смерть клеток**



Найди пять отличий



Динамические
упражнения



Изометрические
упражнения

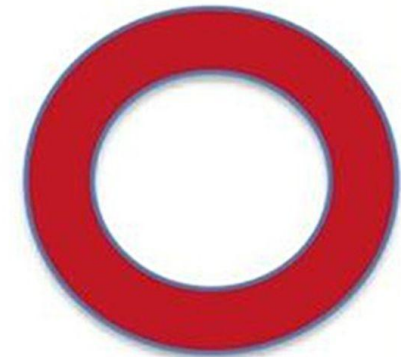
А



В



С

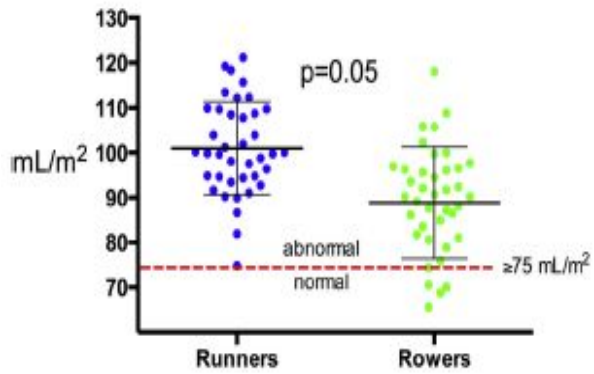


Гипотеза Morganroth
(1975)

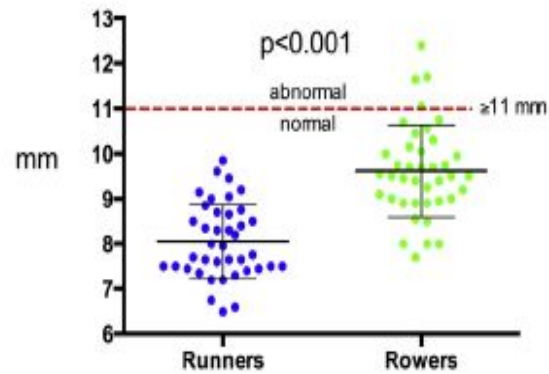
Endurance Exercise-Induced Cardiac Remodeling: Not All Sports Are Created Equal

Meagan M. Wasfy, MD, Rory B. Weiner, MD, Francis Wang, MD, Brant Berkstresser, MS, ATC,
Gregory D. Lewis, MD, James R. DeLuca, BA, Adolph M. Hutter, MD, Michael H. Picard, MD,
and Aaron L. Baggish, MD, *Boston and Cambridge, Massachusetts*

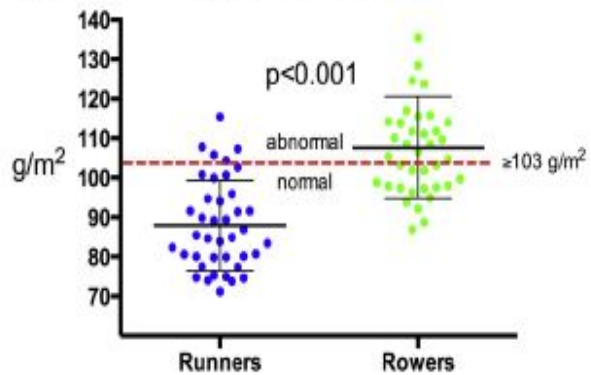
A. Left Ventricular End-Diastolic Volume



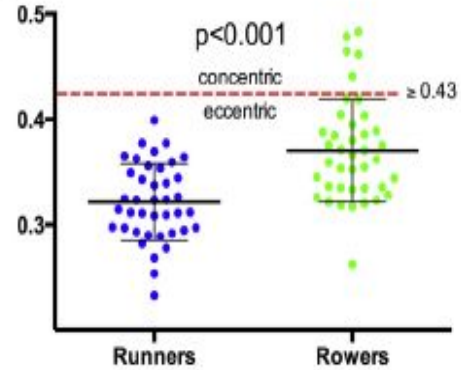
B. Left Ventricular Wall Thickness



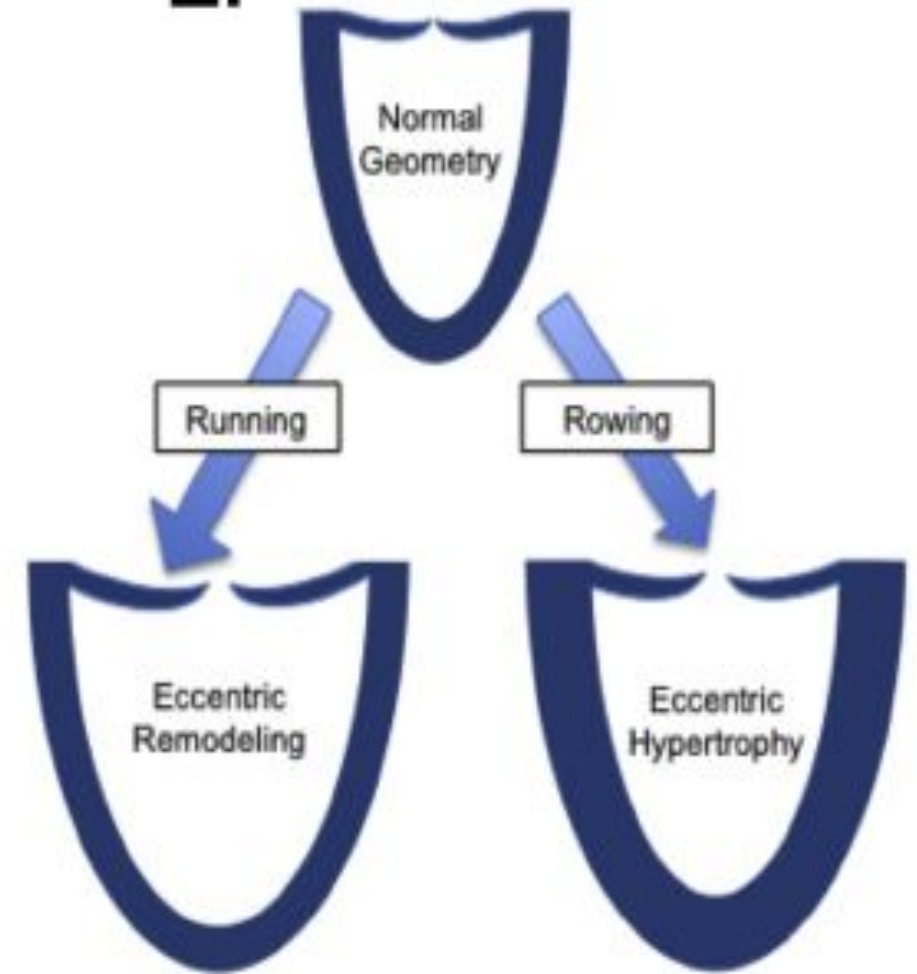
C. Left Ventricular Mass

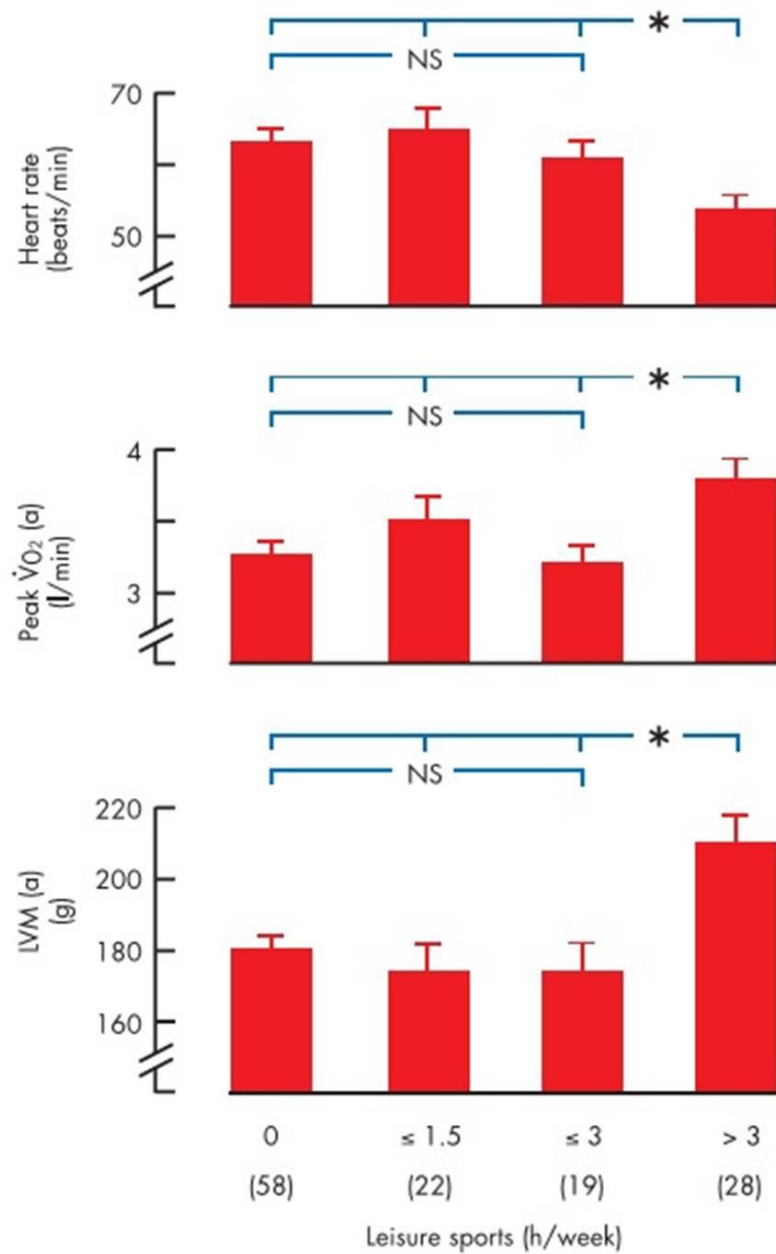


D. Relative Wall Thickness



E.





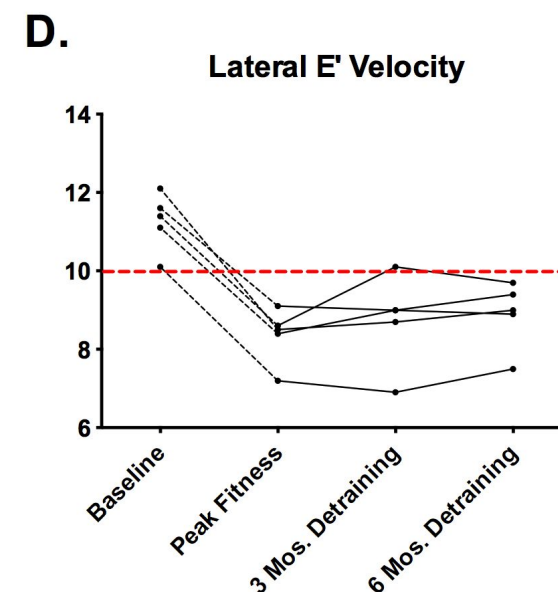
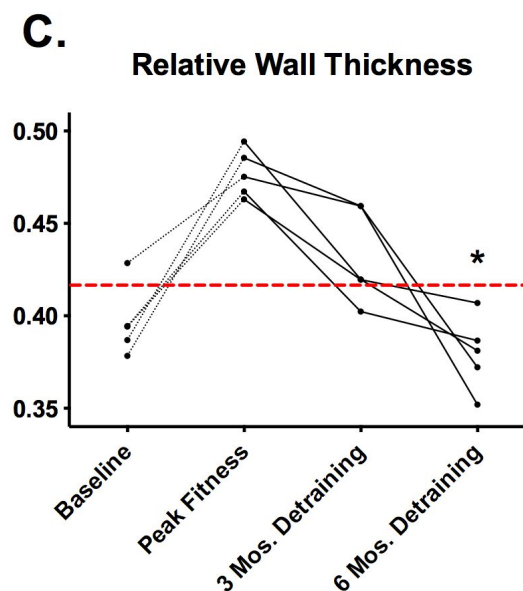
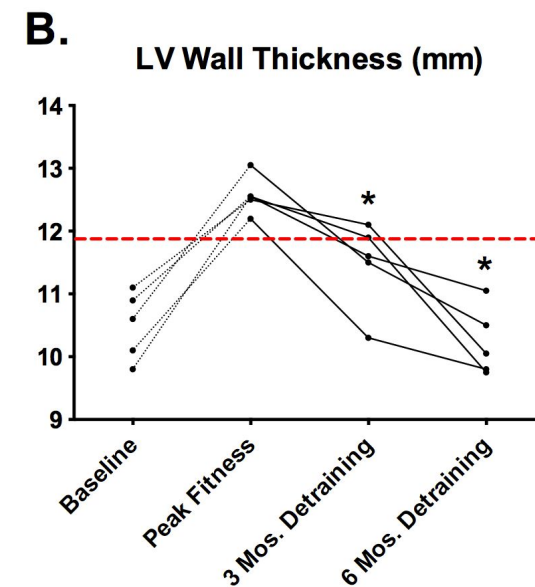
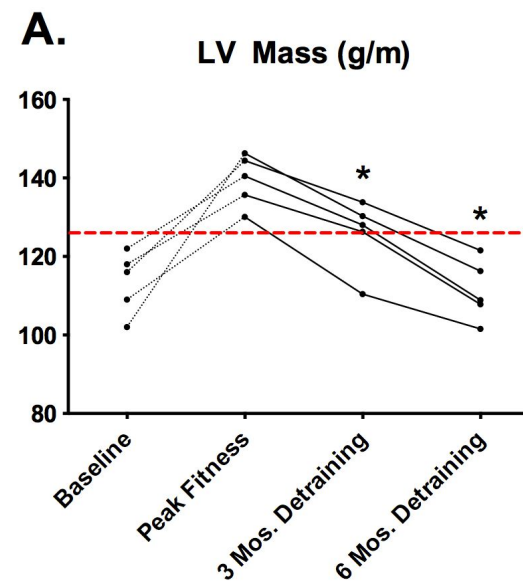
VARIABLE	UNTRAINED	TRAINED
Glycogen, mmol·g wet muscle ⁻¹	85.0	120
Number of mitochondria, mmol ³	0.59	1.20
Mitochondrial volume, % muscle cell	2.15	8.00
Resting ATP, mmol·g wet muscle ⁻¹	3.0	6.0
Resting PCr, mmol·g wet muscle ⁻¹	11.0	18.0
Resting creatine, mmol·g wet muscle ⁻¹	10.7	14.5
Glycolytic enzymes		
Phosphofructokinase, mmol·g wet muscle ⁻¹	50.0	50.0
Phosphorylase, mmol·g wet muscle ⁻¹	4–6	6–9
Aerobic enzymes		
Succinate dehydrogenase, mmol·kg wet muscle ⁻¹	5–10	15–20
Max lactate, mmol·kg wet muscle ⁻¹	110	150
Muscle fibers		
Fast twitch, %	50	20–30
Slow twitch, %	50	60
Max stroke volume, mL·b ⁻¹	120	180
Max cardiac output, L·min ⁻¹	20	30–40
Resting heart rate, b·min ⁻¹	70	40
HR _{max} , b·min ⁻¹	190	180
Max a- $\dot{V}O_2$ diff, mL·100 mL ⁻¹	14.5	16.0
$\dot{V}O_{2max}$, mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	30–40	65–80
Heart volume, L	7.5	9.5
Blood volume, L	4.7	6.0
\dot{V}_{Emax} , L·min ⁻¹	110	190
Percent body fat	15	11

Возвращение к истокам

Regression of “Gray Zone” Exercise-Induced Concentric Left Ventricular Hypertrophy During Prescribed Detraining



Weiner et al. *J Am Coll Cardiol.* 2012;59(22):1992-1994.



Вместо выводов

- Знай и люби себя и свой организм
- Главный твой враг – ты сам
- Этот забег далеко не последний!!!

VO_2 : из медицины и физиологии в массы



Марафон – это просто!



В поисках магической пули

- Максимальное потребление кислорода ($\dot{V}O_2\text{max}$)
- Наибольший объем кислорода, который может потребить организм за единицу времени
- «Золотой стандарт» аэробной тренированности
- Количество кислорода, доставляемое к мышцам и способность его утилизировать
- Уравнение Фика: $\dot{V}O_2 = Q \times (a-vO_2)$

В поисках магической пули

- Lance Armstrong 84 мл/кг/мин
- Steve Prefontaine 84,4 мл/кг/мин
- Bjørn Dæhlie 96 мл/кг/мин
- Oscar Svendsen 97,5 мл/кг/мин

35

40



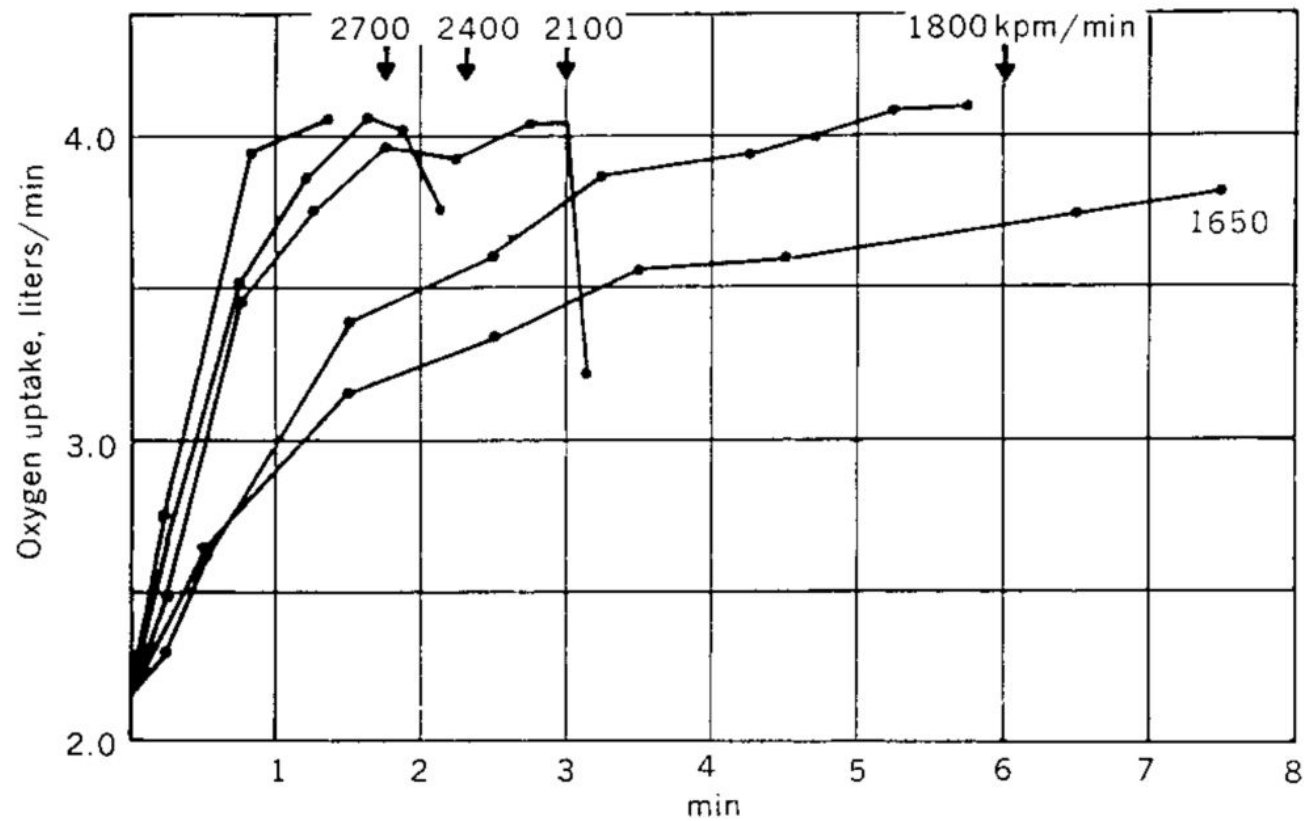
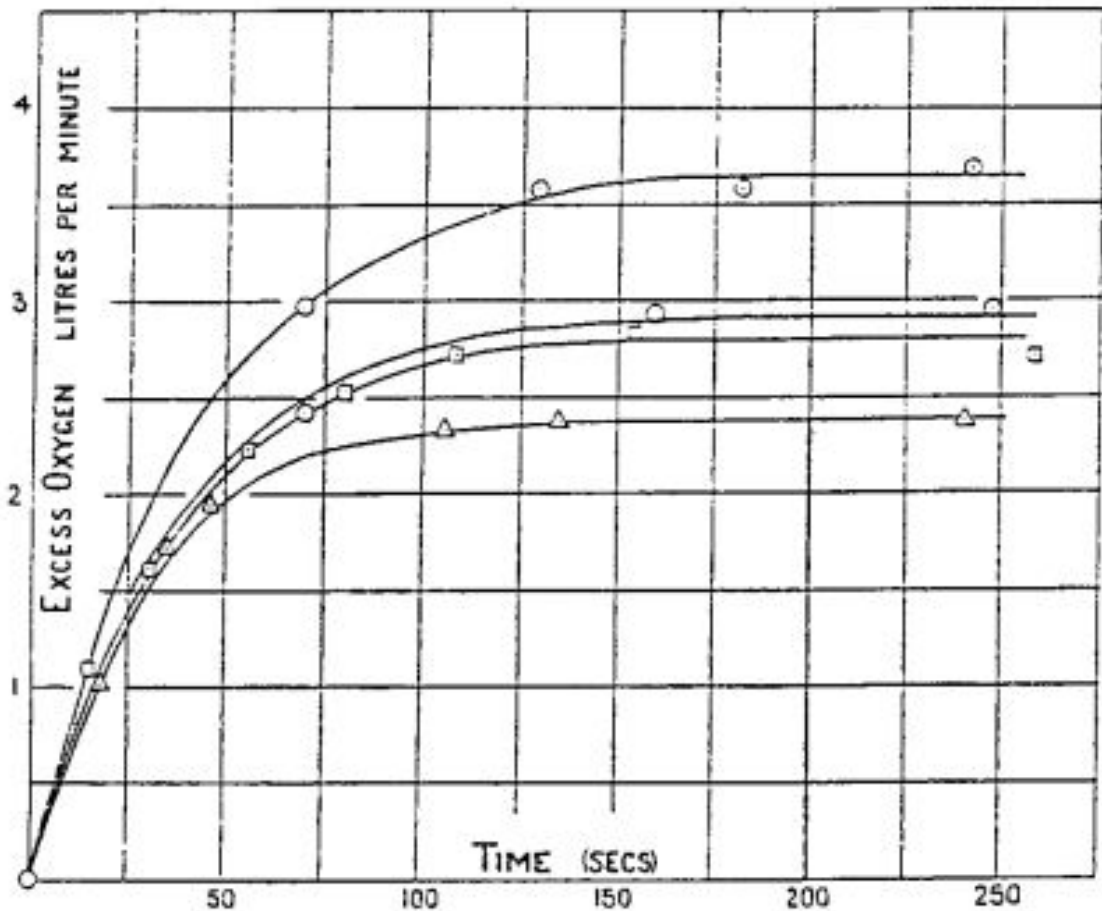
Как все начиналось

- Первое упоминание о $VO_2\max$ – 1920 (A.V. Hill, H. Lupton. Q. J. Med. 16:135–171, 1923)
- Основные положения теории:
 - Существует верхняя граница потребления кислорода,
 - Существует естественная разница в значениях $VO_2\max$,
 - Высокий $VO_2\max$ необходим для успешного выступления,
 - $VO_2\max$ ограничен транспортной способностью сердечно-сосудистой системы.

Атлет в лаборатории



Атлет в лаборатории



A.V. Hill, C.N.H. Long, and H. Lupton. Proc. Roy. Soc. B 97:155-176, 1924.
P.O. Åstrand, and B. Saltin. J. Appl. Physiol. 16:971-976, 1961.

Факторы, влияющие на $\dot{V}O_2\text{max}$

- Весь кислородный каскад!
- Центральные факторы
 - Дыхательная система
 - Сердечный выброс
 - Кислородтранспортная функция крови
- Периферические факторы
 - Характеристики скелетной мускулатуры

Факторы, влияющие на $\dot{V}O_2$ max

- Доставка

- Сердечный выброс

- Объем крови
 - Венозный возврат
 - Сопротивление кровотоку

- Плотность капилляров мышц

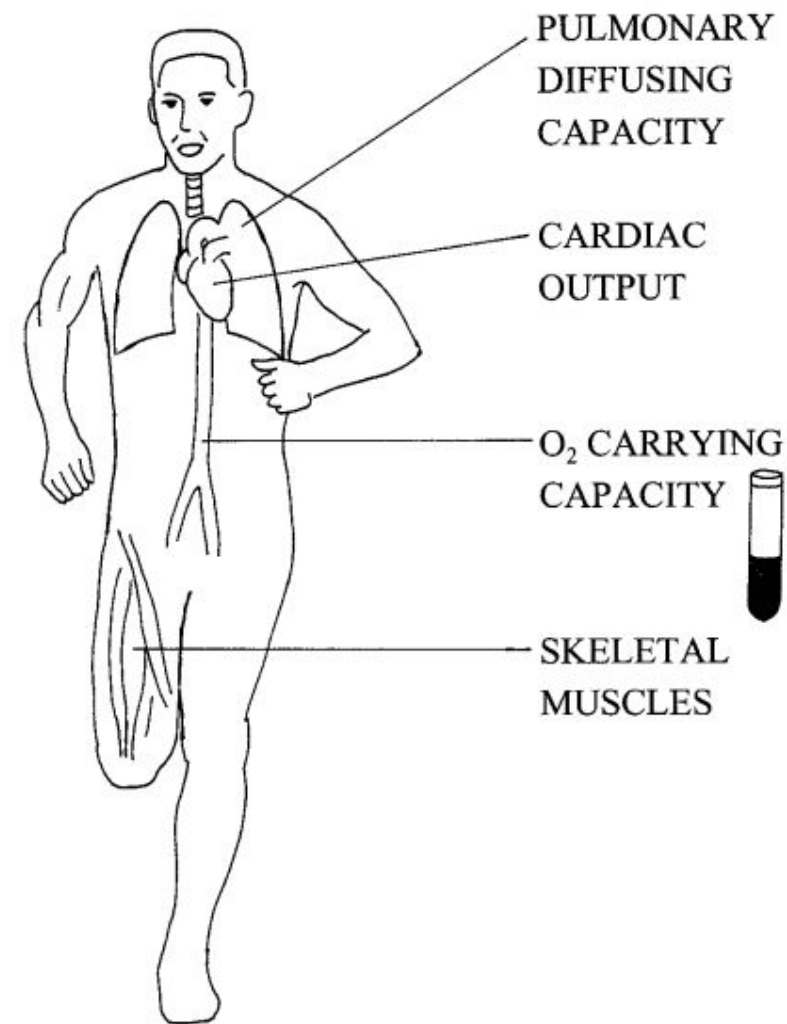
- Утилизация

- Сухая масса тела

- Плотность митохондрий

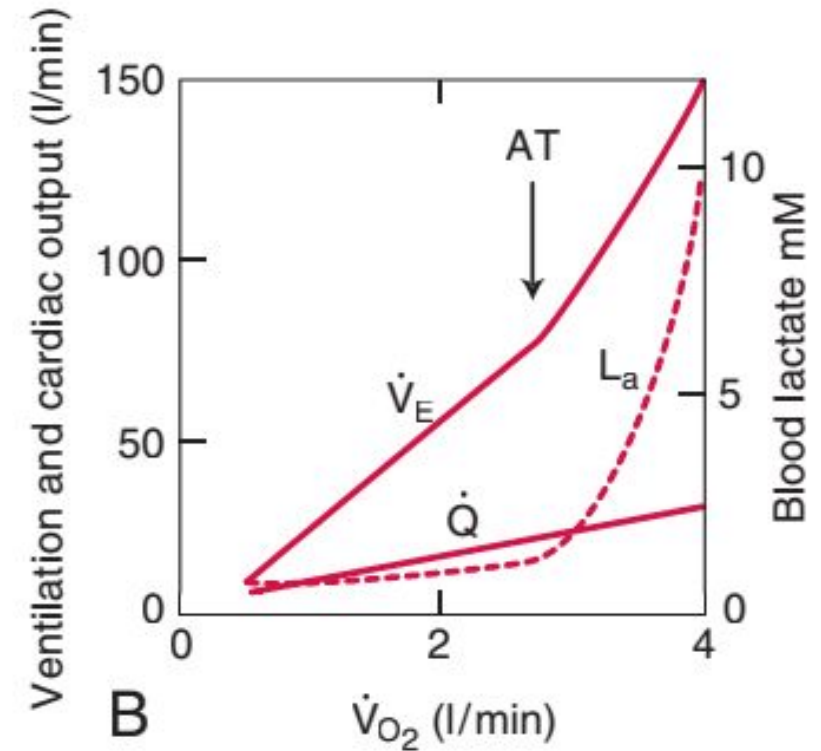
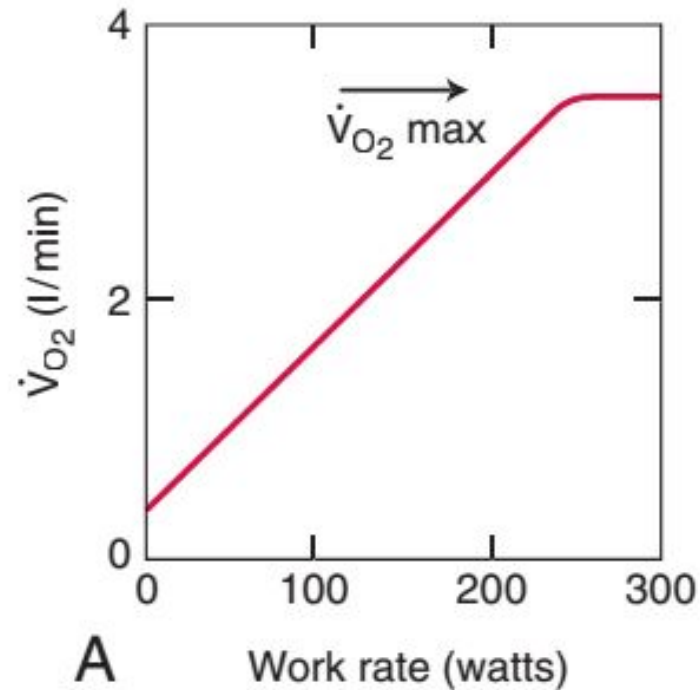
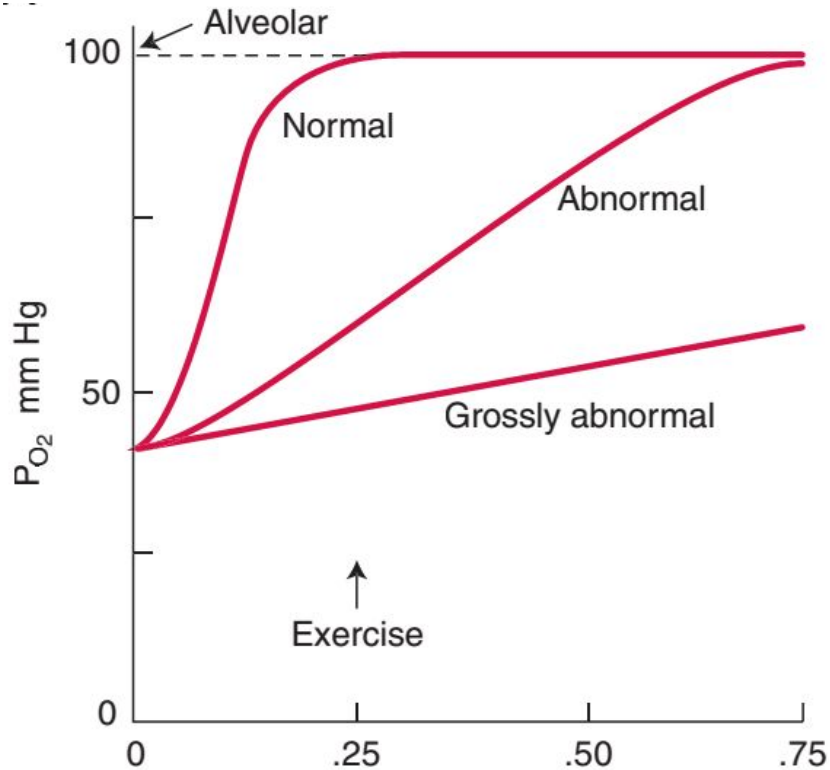
- Активность окислительных ферментов

- Тип мышечного волокна

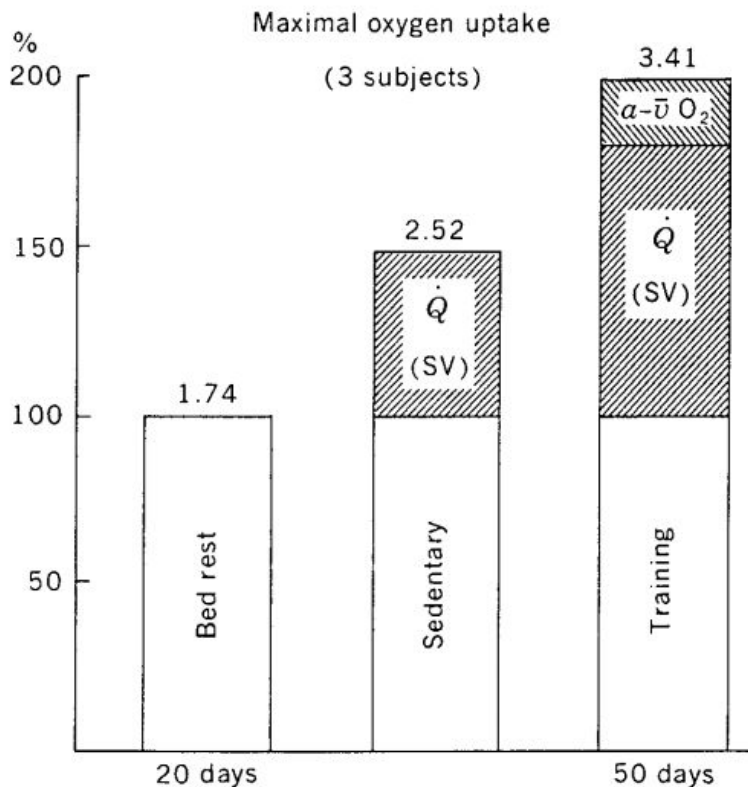


Дыхательная система

- Насыщение кислородом редко падает <95% при нагрузке
- Увеличение сердечного выброса при росте тренированности



Сердечно-сосудистая система



- СВ – важнейший фактор, влияющий на $VO_2\max$
 - В 1930 – снижение ЧСС под влиянием тренировок, УО – главная роль!
- Сейчас - $VO_2\max$ находятся под влиянием ВУО, а $\Delta\text{ЧСС}\max$ и ERO_2 небольшие
- Большое потребление кислорода работающими мышцами (до 90%)
 - СВ определяет 75-80% от $VO_2\max$

Hill AV, et al. *Q. J. Med.* 16:135–171, 1923

Christensen EH. *Arbeits Physiol.* 4:453–469, 1931

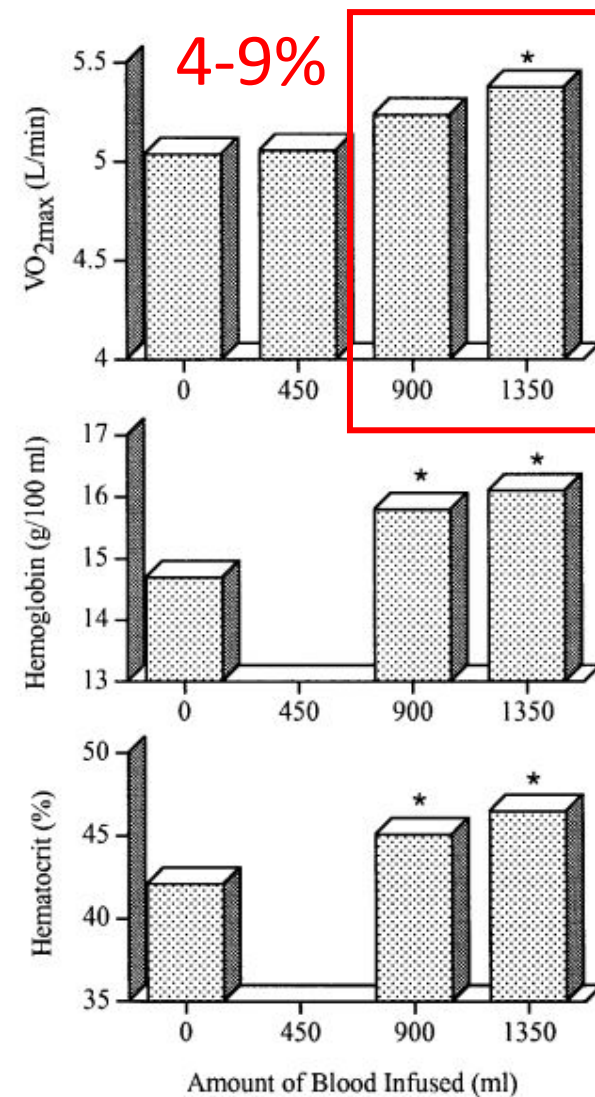
Shephard R. Univ. of Toronto Press, 1977, pp. 64–103

Cerretelli R, et al. *Am Phys Soc.* 1987, pp. 297-339

Кислородтранспортная функция



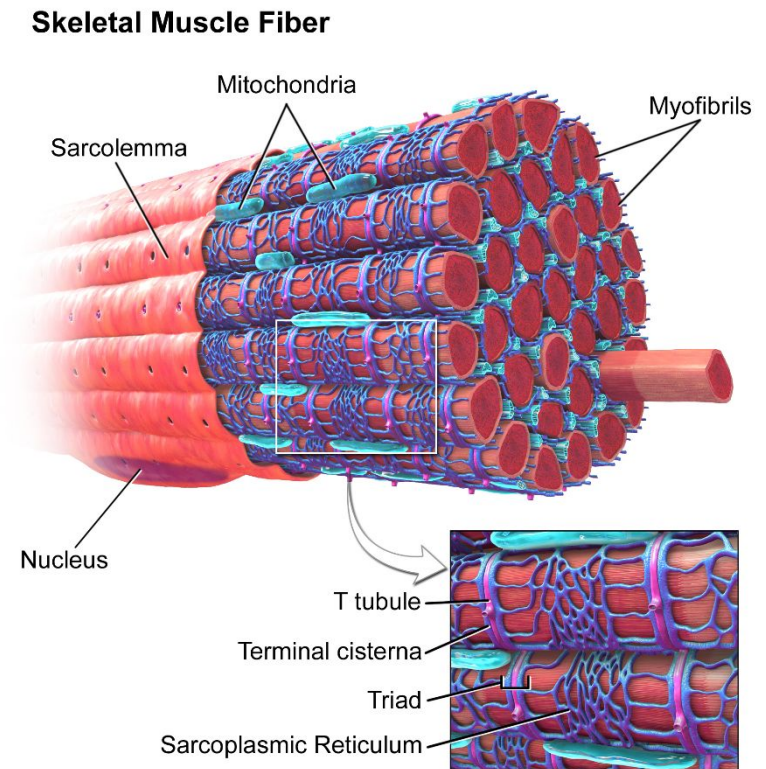
Гемоглобин – наше
все!



Spriet LL, et al. *J. Appl. Physiol.* 61:1942–1948, 1986.

Скелетная мускулатура

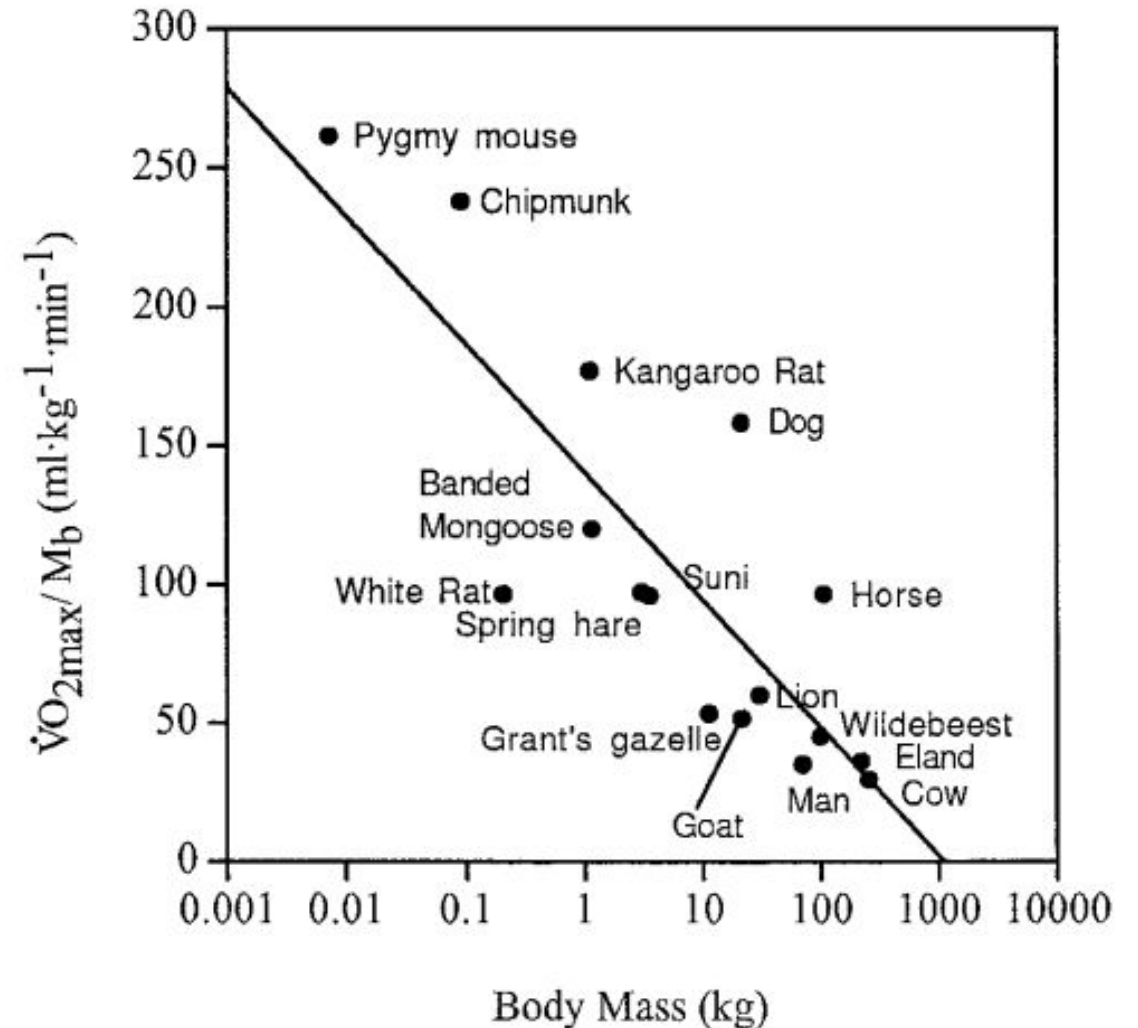
- Градиент PO_2 между кровью и митохондрией
- Увеличение митохондрий в 2,2 раза – повышение $VO_2\max$ на 20-40%
 - Потребление кислорода ограничено доставкой в мышцы
- Повышение митохондриальных ферментов
 - Превалирует окисление жиров
 - Снижается продукция лактата во время физической нагрузки
- Повышение плотности капилляров
 - Удлинение или поддержание времени транзита по капилляру



Honig CR, et al. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:47–53, 1992.
Saltin BB, et al. *Circulation* 38(Suppl.7):1–78, 1968.
Saltin BB, et al. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:30–37, 1992.
Shephard R. Univ. of Toronto Press, 1977, pp. 64–103.

Сравнительная физиология

- Плотность митохондрий
- Периферический градиент
- Способность к переносу O_2
 - Высота над уровнем моря
 - Уровень гемоглобина
 - Сердечный выброс



Вместо заключения...

- VO_2max в основном определяется генетически
- Тренировки могут улучшить показатель на 5-20%, в зависимости от начального уровня подготовки
- Показатели мужчин примерно на 15–30% выше, чем у женщин
 - Мышечной массы
 - Концентрации гемоглобина
- Однако, у многих женщин этот показатель может быть выше, чем у мужчин