Методы регистрации параметров гемодинамики

Измерение артериального давления:

- Аускультативный метод Короткова (у человека)
- Электроплетизмографический метод – измерение в хвостовой артерии (у крыс)
- Непрерывная регистрация через вживленный катетер
- Телеметрическая регистрация (с использованием хронически имплантированного датчика)
- Метод разгруженной артерии (непрерывная регистрация у человека)

Измерение сердечного выброса:

- Метод Фика
- Метод разведения индикатора
- УЗИ сердца (измерение ударного объема)

Измерение кровотока в органе:

- Окклюзионная плетизмография
- Ультразвуковая Допплеровская флоуметрия
- Ультразвуковая transit-time флоуметрия

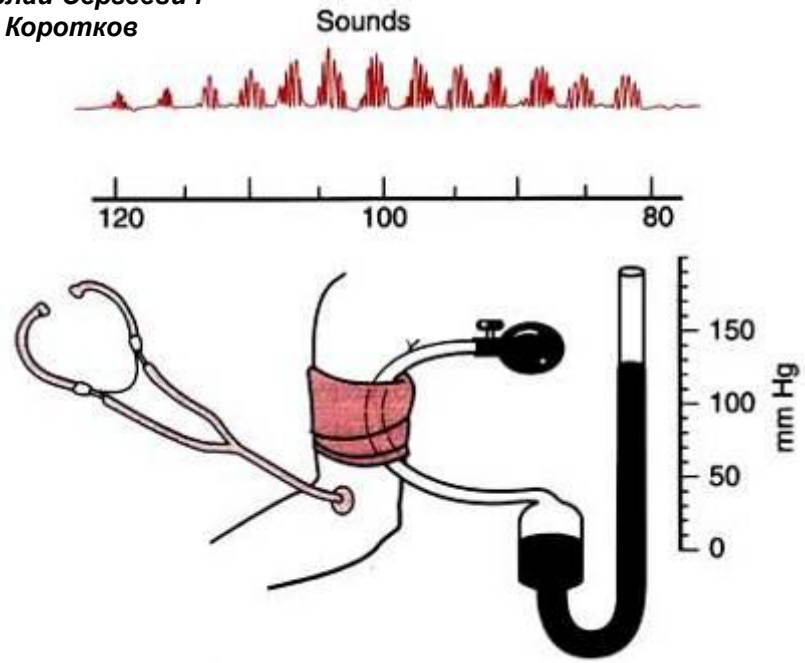
Методы регистрации симпатической нервной активности

- Регистрация с помощью хронически вживленных электродов (у животных)
- Микронейрография (у человека)

Неинвазивные методы регистрации артериального давления

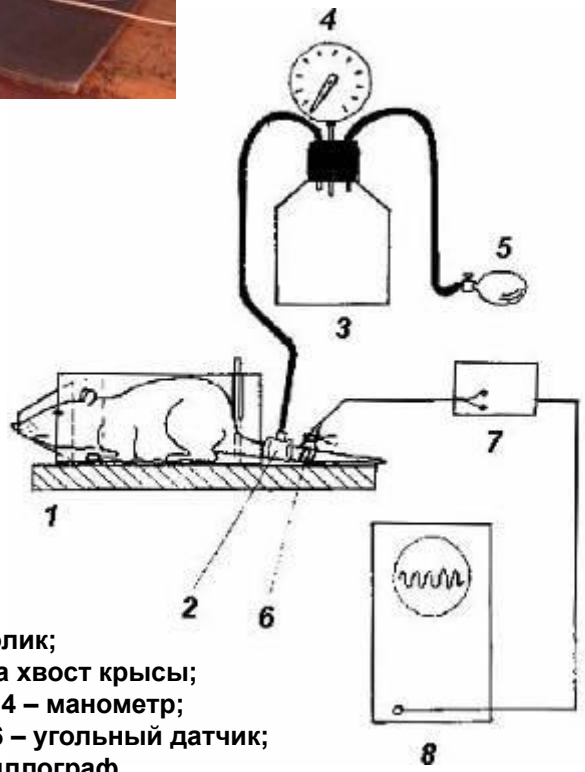
Николай Сергеевич Коротков

Аускультативный метод



Прослушивание «тонов Короткова» (1905)

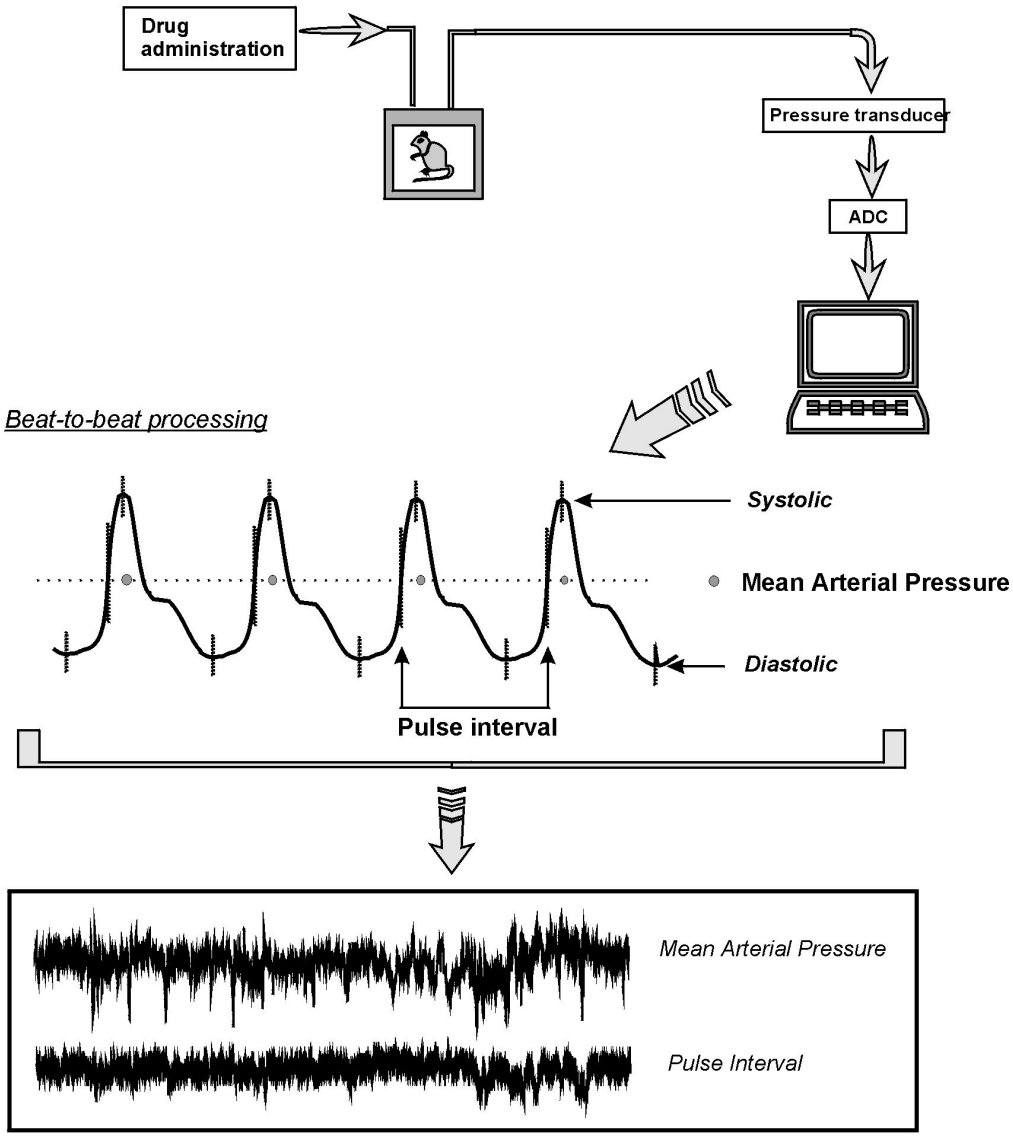
Измерение давления крови в хвостовой артерии у бодрствующих крыс



1 – подогреваемый столик;
2 – манжета, надетая на хвост крысы;
3 – буферная емкость; 4 – манометр;
5 – резиновая груша; 6 – угольный датчик;
7 – усилитель; 8 – осциллограф.

Revd Stephen Hales - 1733 г.

Измерение АД через имплантированный катетер (в сонной или бедренной артерии)

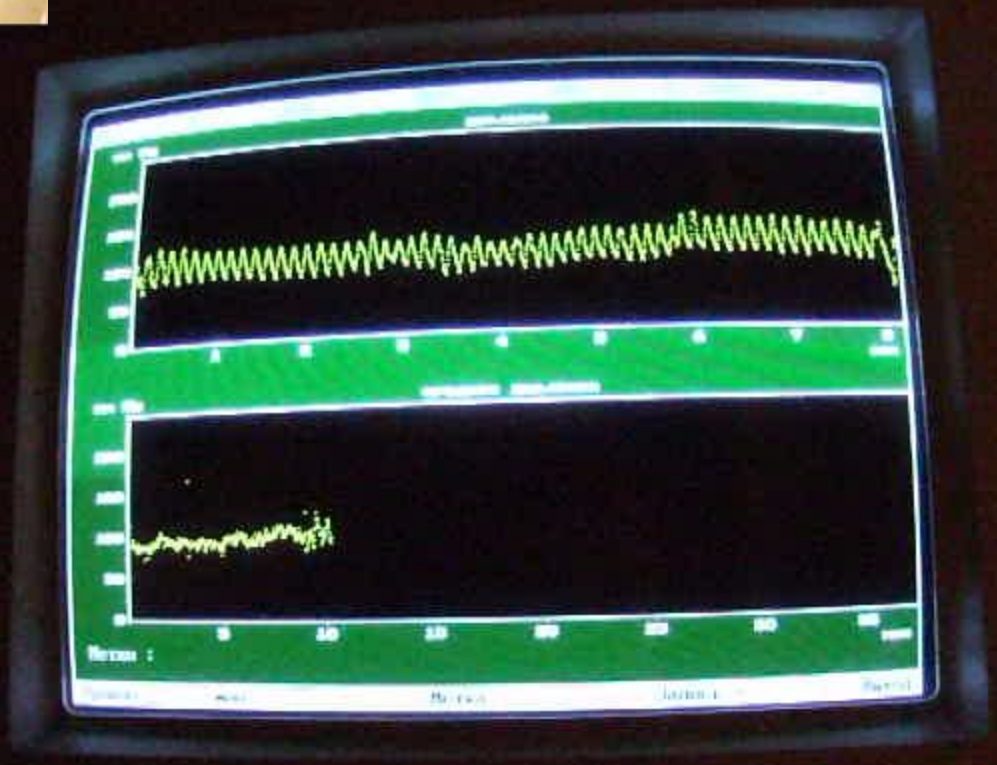


Катетеры для имплантации:

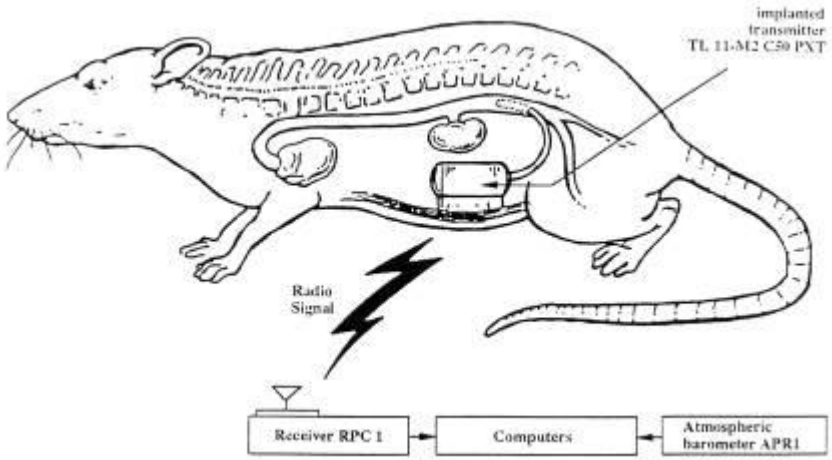
В бедренную артерию

В бедренную вену

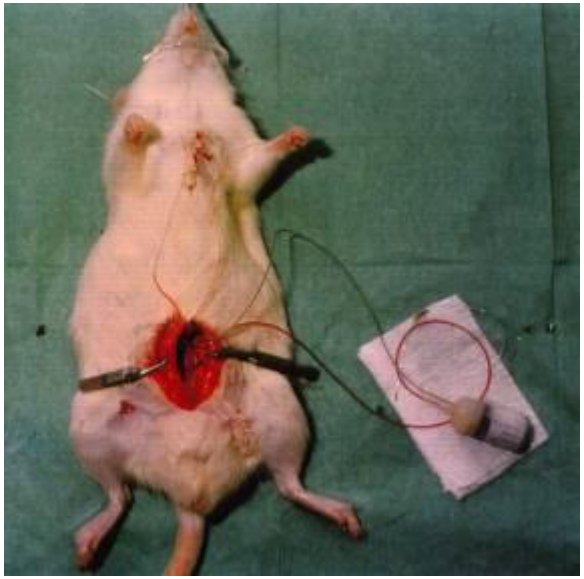
В яремную вену



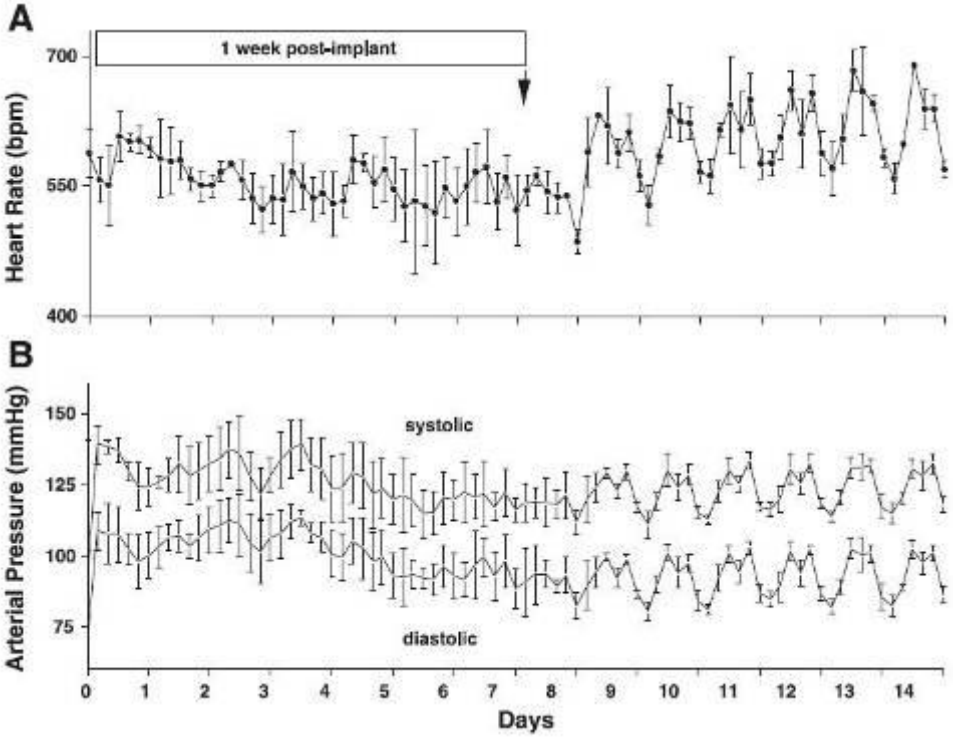
Телеметрическая регистрация артериального давления



Принцип метода



Динамика восстановления циркадианных колебаний ЧСС и АД после имплантации радиотелеметрического датчика



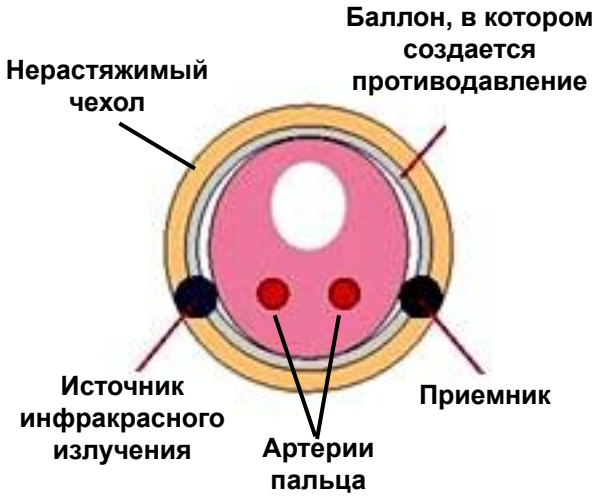
Whitesall, Steven E., Janet B. Hoff, Alan P. Vollmer, and Louis G. D'Alecy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 286: H2408–H2415, 2004

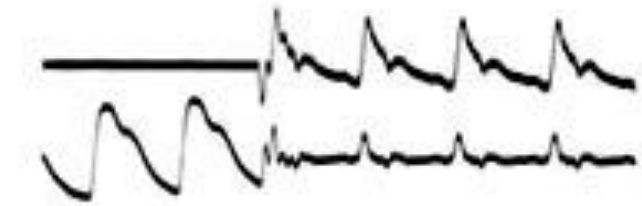
Непрерывная регистрация артериального давления у человека методом разгруженной артерии («volume clamp», J. Penaz, 1973)

Finapres Medical Systems

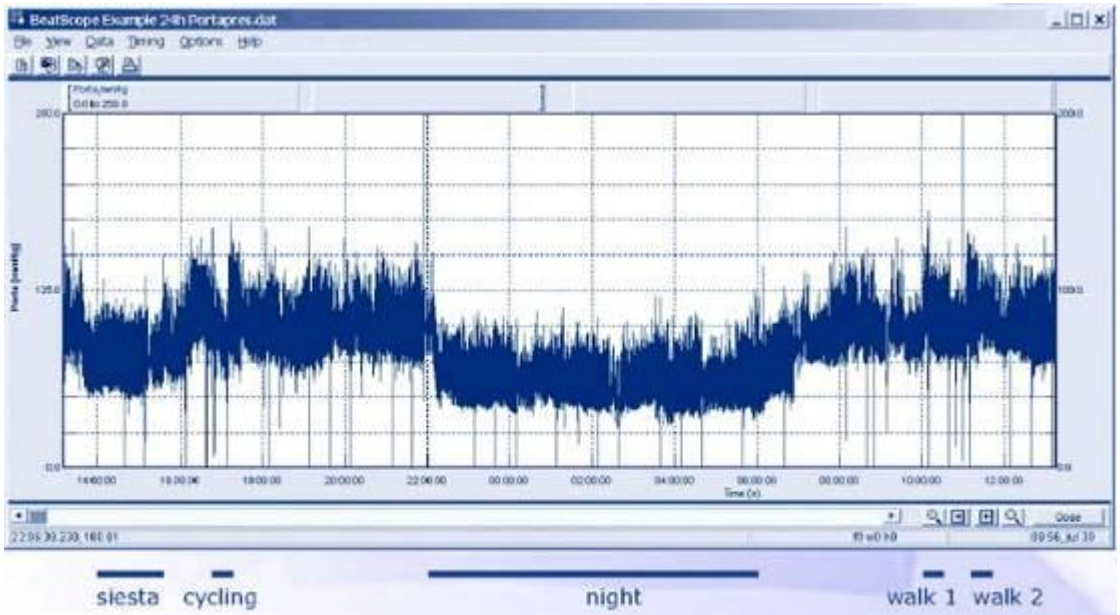
Head Office
Simon Stevinweg 48
NL-6827 BT Arnhem
The Netherlands
Tel: +31 26 384 9080
Fax: +31 26 384 9081
Email: info@finapres.com

Website: http://www.finapres.com





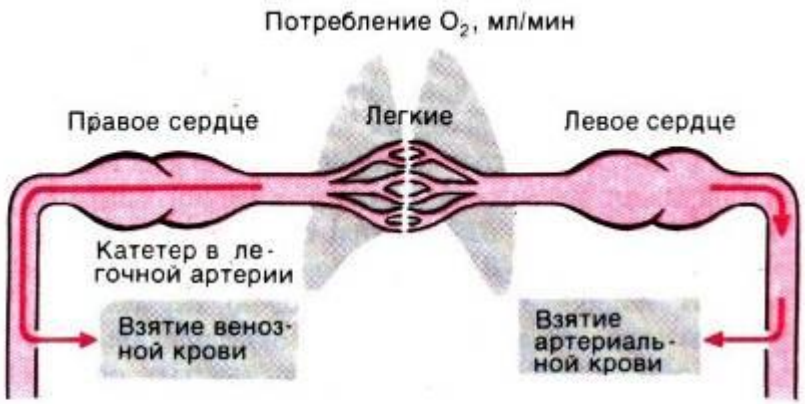
Прибор PORTAPES



Example of a 24 hour recording with Portapres viewed in BeatScope, displaying the finger arterial pressure waveform

Измерение минутного объема сердца

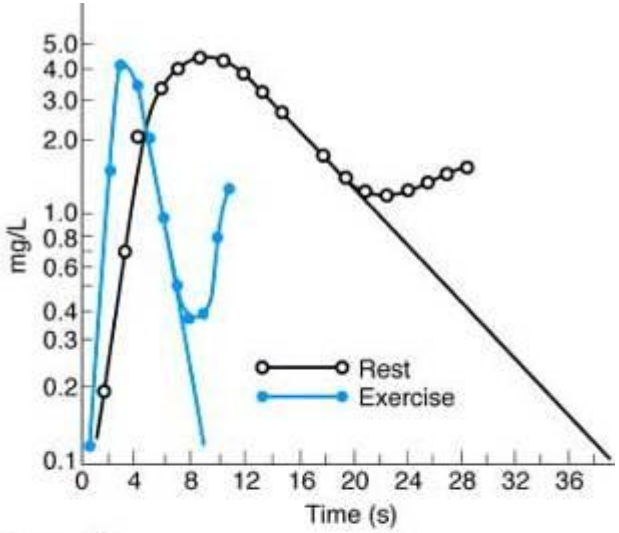
Принцип Фика



Поглощение O_2 240 мл/мин
Содержание O_2 в артериальной крови 0.2 мл/мл
Содержание O_2 в венозной крови 0,16 мл/мл

$$МО = \frac{240}{0{,}2 - 0{,}16} = 6000 \text{ мл/мин}$$

Метод разведения индикатора



$$F = \frac{E}{\int_0^{\alpha} C\,dt}$$

F = flow
E = amount of indicator injected
C = instantaneous concentration of indicator in arterial blood

In the **rest** example above,

$$\text{Flow in 39 s (time of first passage)} = \frac{5 \text{ mg injection}}{1.6 \text{ mg/L (avg concentration)}}$$

Flow = 3.1 L in 39 s

$$\text{Flow (cardiac output)/min} = 3.1 \times \frac{60}{39} = 4.7 \text{ L}$$

For the **exercise** example,

$$\text{Flow in 9 s} = \frac{5 \text{ mg}}{1.51 \text{ mg/L}} = 3.3 \text{ L}$$

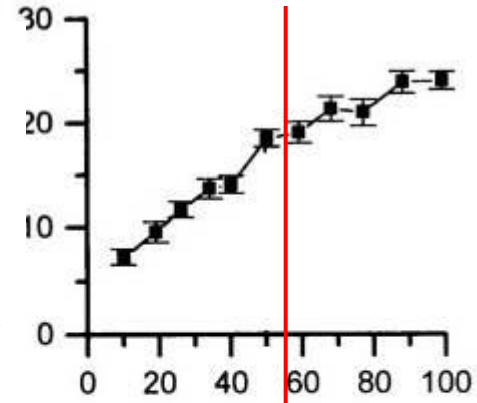
$$\text{Flow/min} = 3.3 \times \frac{60}{9} = 22.0 \text{ L}$$

Увеличение производительности сердца в организме происходит за счет изменения частоты сердцебиений и ударного объема

Изменения показателей работы сердца при физической работе на велоэргометре с возрастающей мощностью

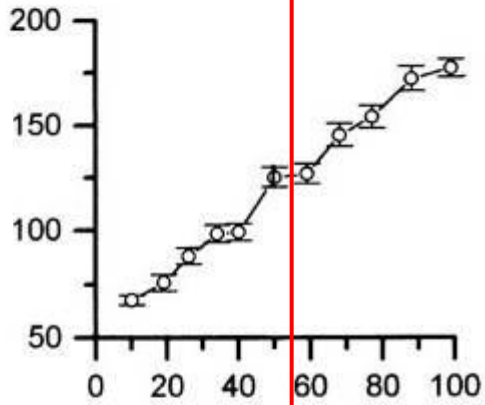
Минутный объем сердца (л/мин)

МО = УО×ЧСС



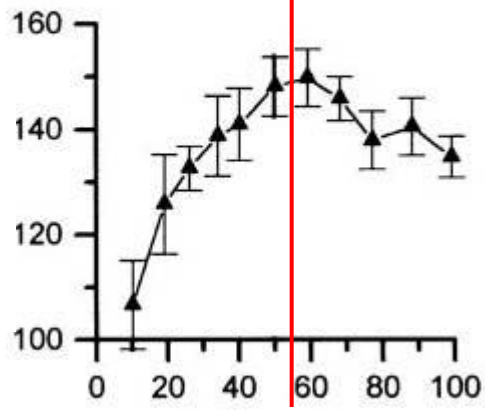
Монотонно растет (может увеличиваться в 5 раз по сравнению с состоянием покоя)

Частота сердечных сокращений (уд/мин)



Монотонно растет (торможение вагусных, усиление симпатических влияний)

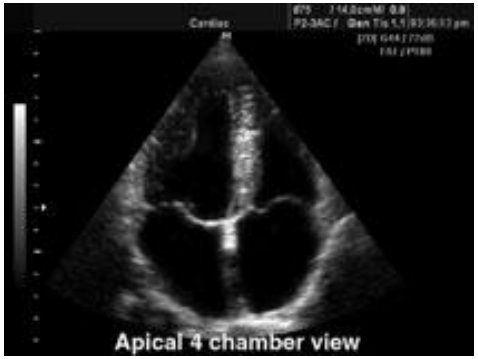
Ударный объем (мл/сокращение)



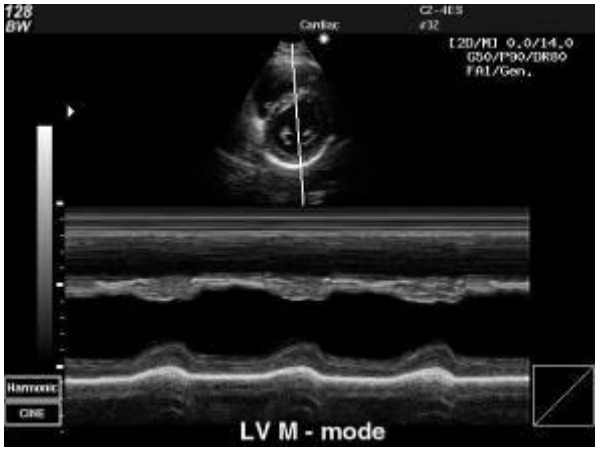
Растет (усиление симпатических влияний), **но затем перестает расти, несмотря на симпатическую стимуляцию**: при высокой ЧСС сердце не успевает наполняться кровью

Интенсивность нагрузки
(% от максимального потребления O_2)

Определение размеров сердца (ударного объема) с помощью метода ультразвуковой эхографии (УЗИ сердца)



УЗИ— изображение сердца человека



Изменение диаметра левого желудочка от удара к удару сердца (М-режим)

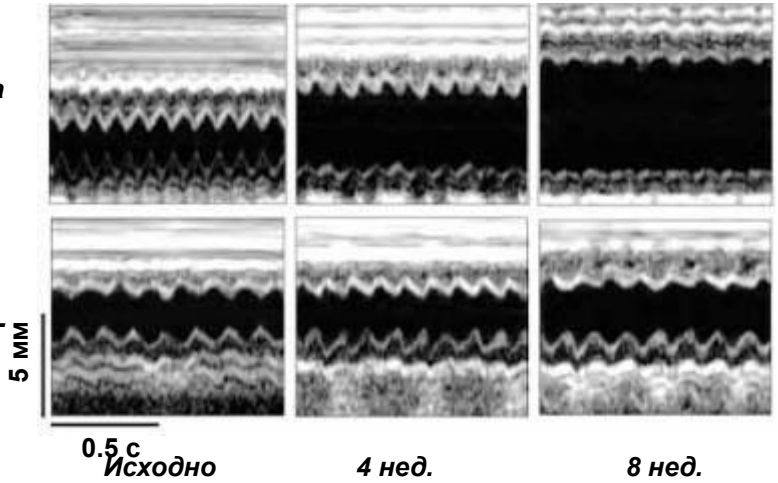
Millar INSTRUMENTS

«Tip» катетер для одновременного измерения давления крови и объема желудочка сердца

Расширение полости левого желудочка у мышей после хирургического сужения аорты

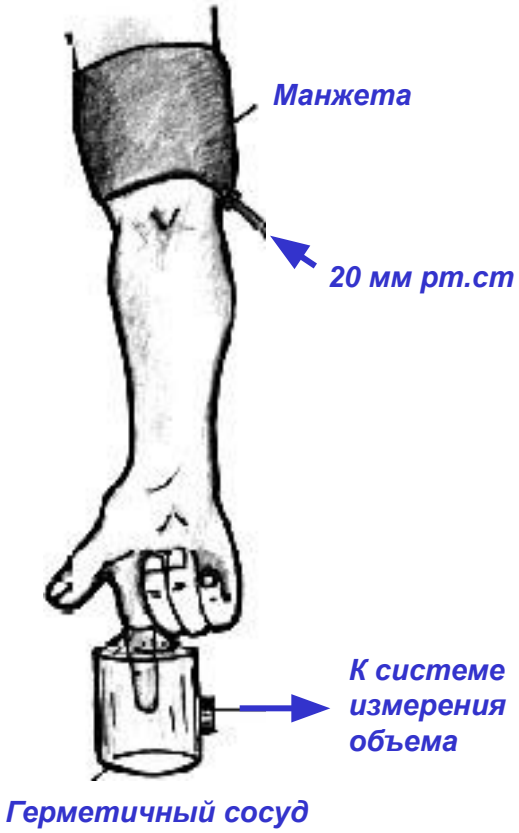
Мышь дикого типа (гипертрофия сердца)

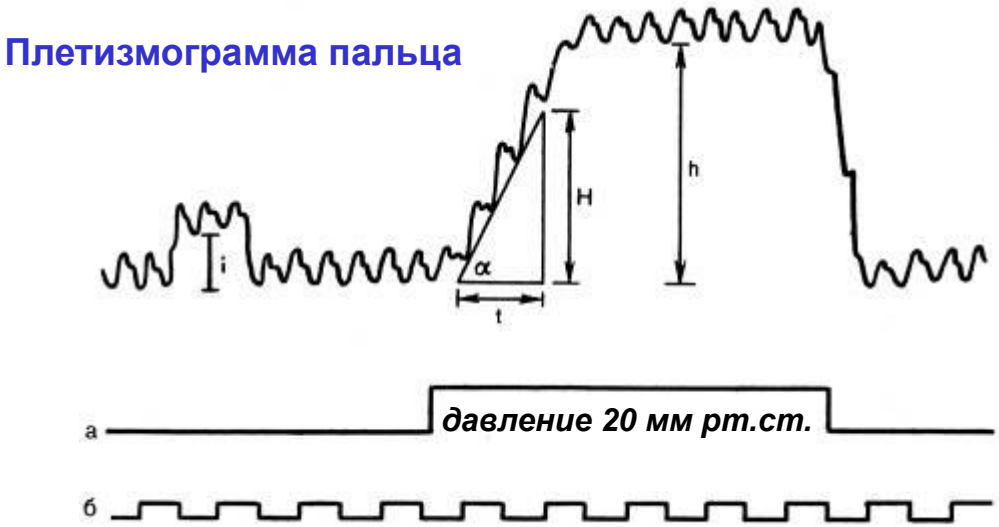
Мышь, нокаутная по гену допамин-β-гидроксилазы (гипертрофии нет)



допамин-β-гидроксилаза – фермент синтеза адреналина и норадреналина

Измерение объемной скорости кровотока (окклюзионная плетизмография)





Метод окклюзионной плетизмографии основан на регистрации прироста объема части тела (или органа) после окклюзии вен, нарушающей отток крови.

Исследуемая часть тела (например палец) герметизируется в специальном сосуде. Проксимально от исследуемой части тела накладывают манжету. Вначале регистрируют исходную плетизмограмму, на которой видны колебания объема, связанные с пульсовым кровенаполнением органа. Затем в манжете создают давление 20 мм рт.ст. и вновь записывают плетизмограмму. На фоне венозной окклюзии происходит увеличение объема исследуемой части тела, поскольку сохраняется артериальный приток крови.

Скорость прироста объема во время окклюзии отражает объемную скорость кровотока в органе.
Ее определяют, вычисляя прирост объема H за время t : Q[мл/мин] = H[мл] / t[мин]

Измерение линейной скорости кровотока (ультразвуковая Допплеровская флоуметрия)

В основе метода лежит физический эффект Допплера, суть которого состоит в изменении частоты посланных ультразвуковых волн при перемещении среды, от которой они отражаются. В сосуде ультразвуковые волны отражаются от частиц крови, изменение частоты волн напрямую зависит от скорости кровотока:

$$F_d = F_0 - F_1 = \frac{2 \times F_0 \times V \times \cos\alpha}{c}$$

Fd – сдвиг частоты
F_0 – частота излучения
F_1 – принимаемая частота
V – линейная скорость кровотока
α – угол между вектором скорости кровотока и направлением ультразвукового пучка
c – скорость распространения ультразвуковых волн в среде (в крови)

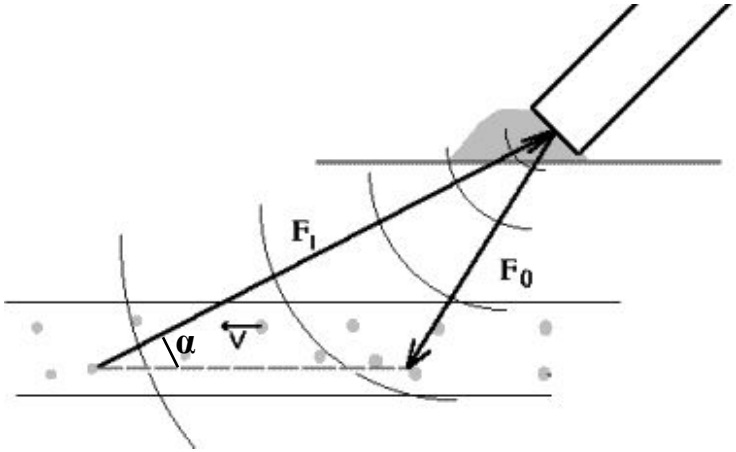
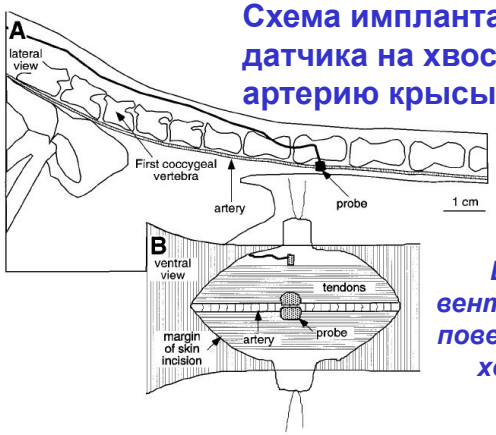
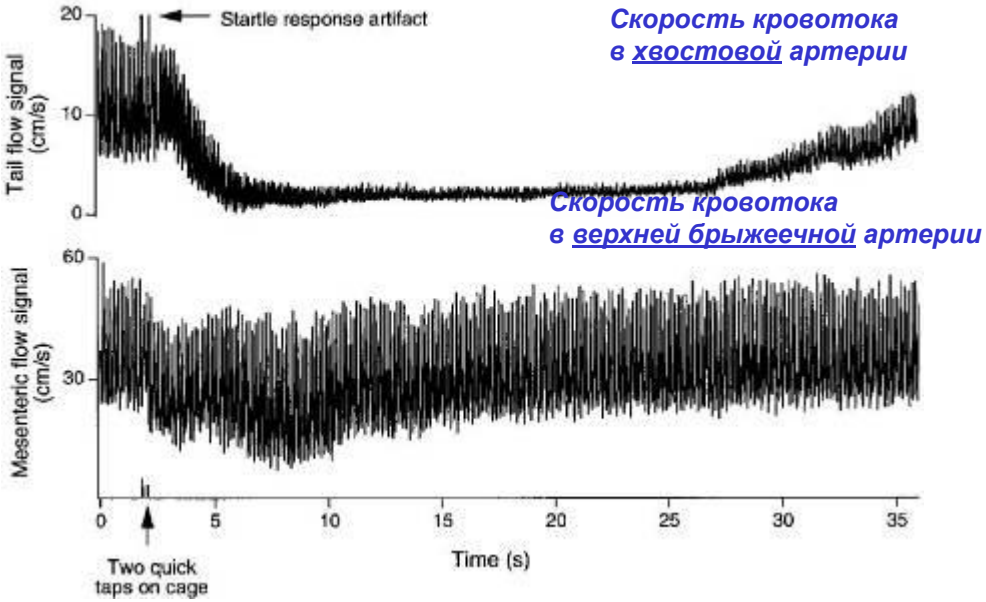


Схема имплантации датчика на хвостовую артерию крысы

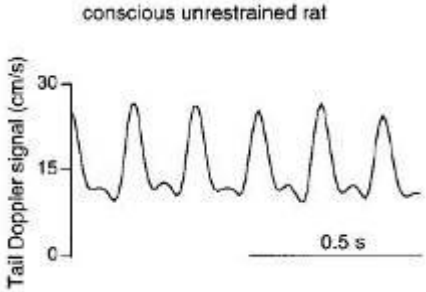


Вид с вентральной поверхности хвоста

Изменение скорости кровотока при двукратном легком постукивании по крышке клетки



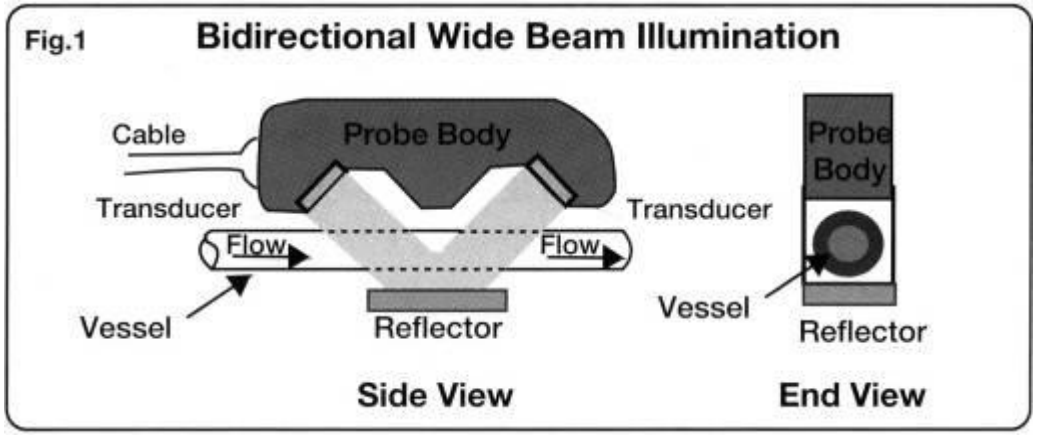
Запись скорости кровотока в хвостовой артерии бодрствующей крысы



Garcia JN, Pedersen NP, Nalivaiko E, Blessing WW. Tail artery blood flow measured by chronically implanted Doppler ultrasonic probes in unrestrained conscious rats. J Neurosci Methods. 2001 Jan 15;104(2):209-13.

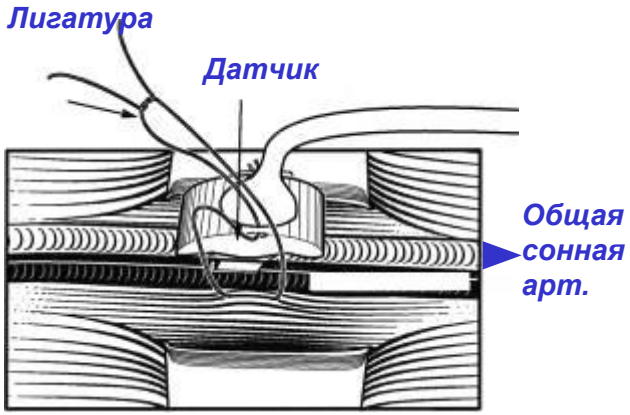
Измерение объемной скорости кровотока (transit-time ультразвуковая флоуметрия)

Transonic Systems Inc.
Excellence in Quantitative Hemodynamics
www.transonic.com



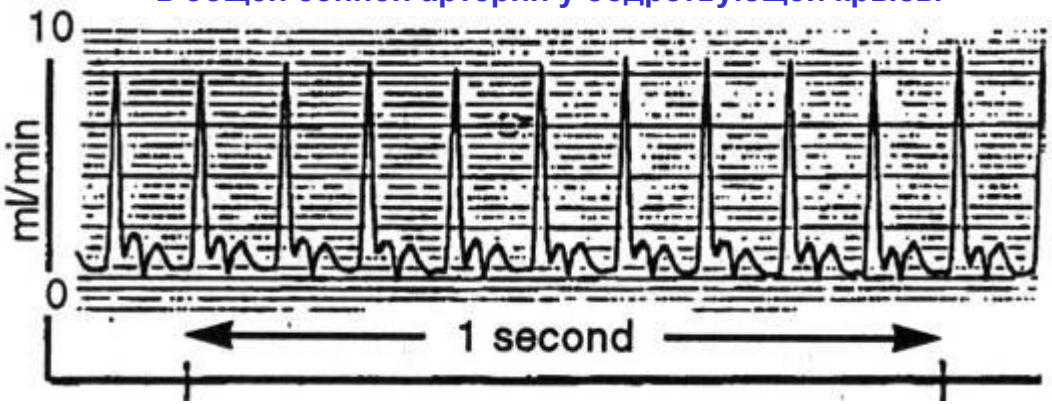
Принцип измерения скорости кровотока с помощью датчика, расположенного на артерии

С помощью двух передатчиков/приемников (transducers) ультразвук пропускается сначала в «по ходу» тока крови, а затем – в противоположном направлении. Разница во времени прохождения сигнала с прямом и обратном направлении пропорциональна объемной скорости кровотока в сосуде.



Датчик, имплантированный на сонной артерии крысы

Запись объемной скорости кровотока в общей сонной артерии у бодрствующей крысы



Видеозапись доступна по адресу:

http://www.transonic.com/research/animalstudies/smallanimalcardiovascular/mouse

Тоническая активность вегетативной нервной системы

Благодаря тонической активности влияние вегетативных нервов на органы-мишени может не только увеличиваться, но и уменьшаться («двунаправленная регуляция»)

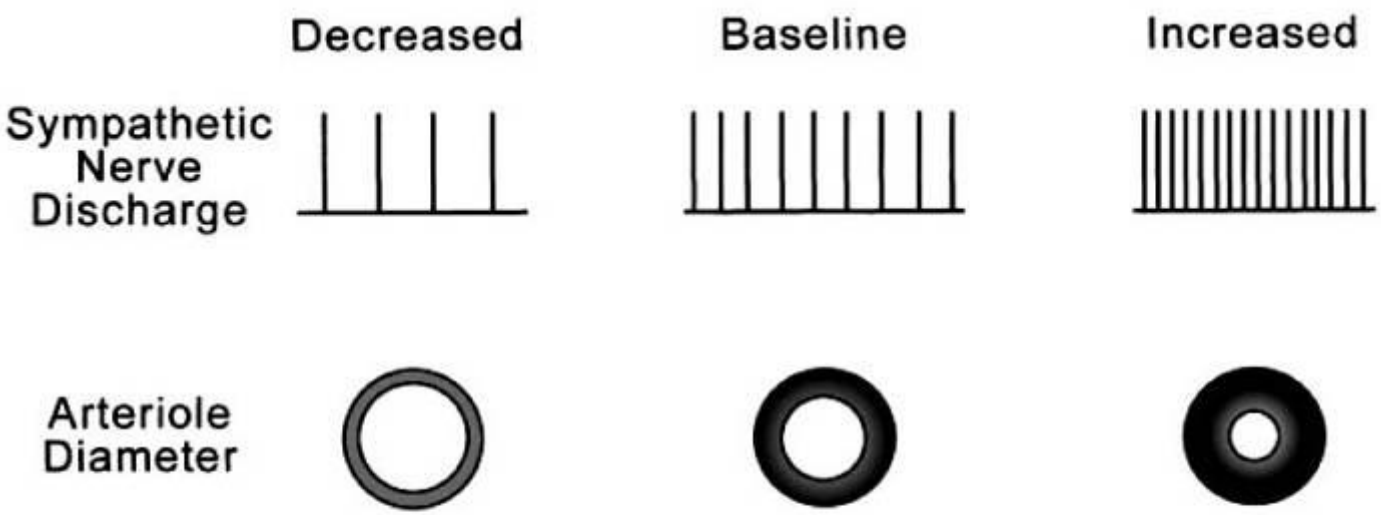


FIG. 6.

Sympathetic nerve discharge and arteriole diameter. Under baseline conditions (*middle*), there is tonic sympathetic activity to the vasculature and arterioles are partially constricted. If sympathetic activity increases (*right*), arterioles constrict further. If sympathetic activity decreases (*left*), arterioles dilate.

REFLEXES THAT CONTROL CARDIOVASCULAR FUNCTION

Cheryl M. Heesch

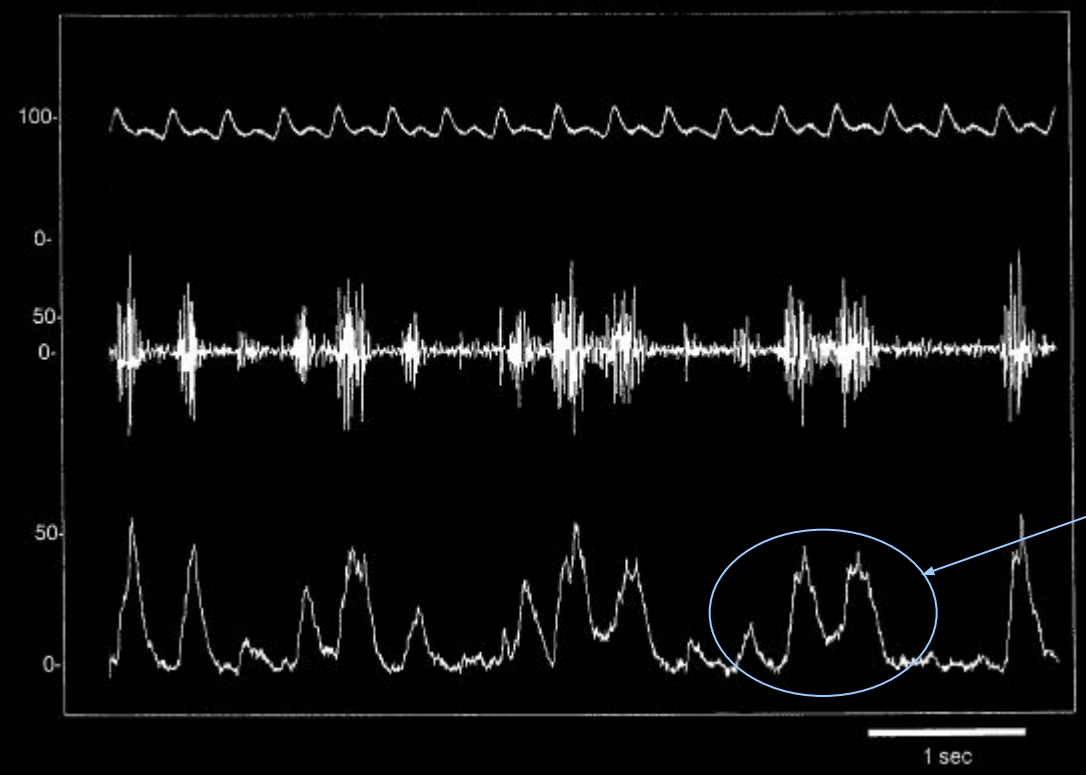
AM. J. PHYSIOL. 277 (ADV. PHYSIOL. EDUC. 22): S234–S243, 1999

Симпатическая активность, зарегистрированная у бодрствующего кролика с помощью электродов, имплантированных на почечный нерв

Артериальное давление (мм рт.ст.)

Нервная активность (мкВ)

Интегрированная нервная активность (мкВ)



«Дыхательные колебания»

Malpas S.C. Progress in Neurobiology 1998, 56, 65-96

Схема регистрации симпатической активности у человека методом микронейрографии

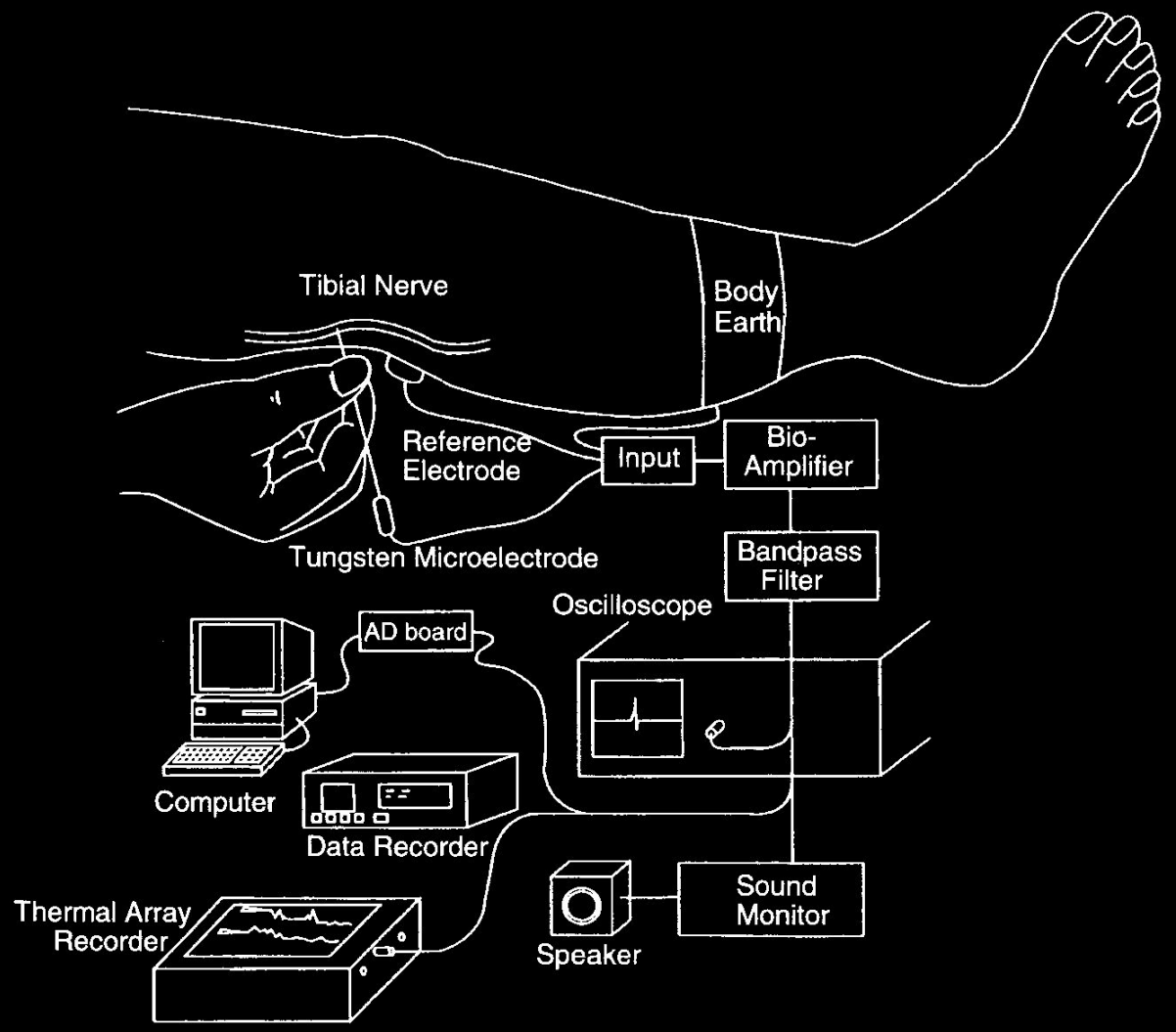
Нервы, используемые для регистрации:

- ***малоберцовый ;***
- ***большеберцовый;***

- ***срединный;***
- ***лучевой;***

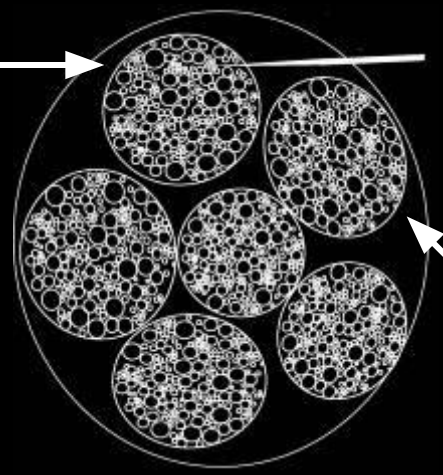
- ***лицевой;***
- ***тройничный;***

- ***межреберные***



Mano T. Japan J Physiol 1998, 48, 99-114

Поперечный разрез нерва



Критерии выявления «мышечной» и «кожной» симпатической активности

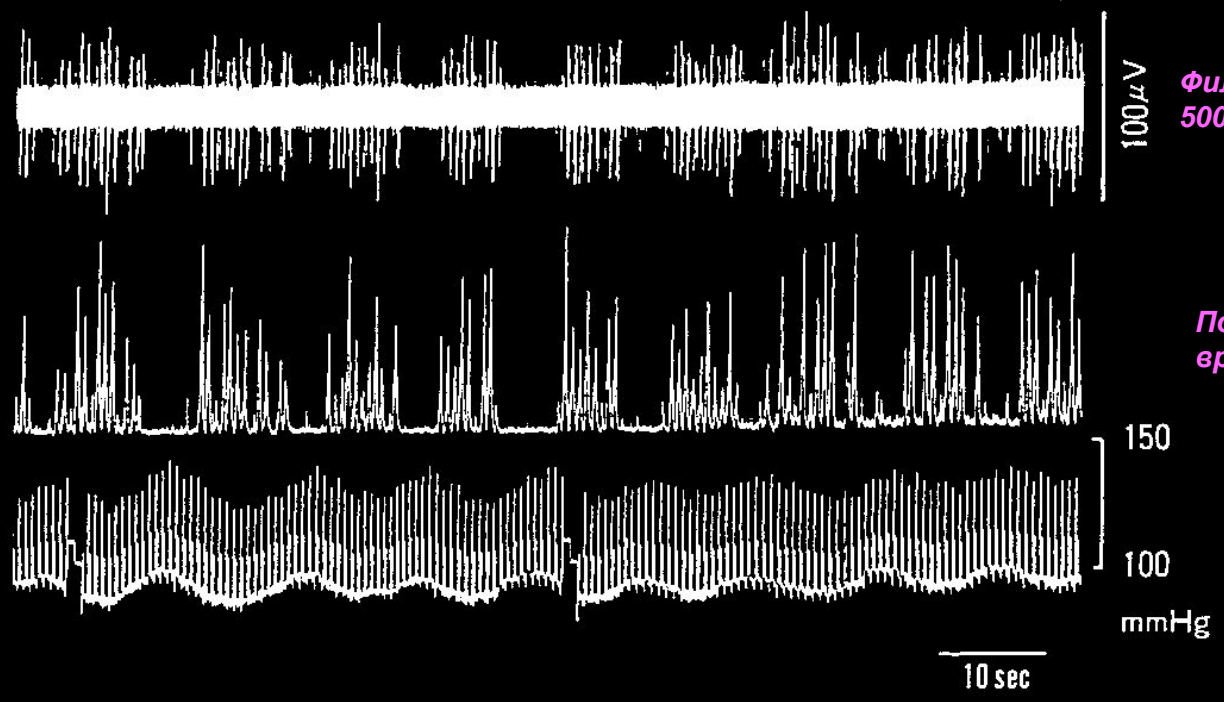
	«Мышечная»	«Кожная»
Стимулы, вызывающие афферентную импульсацию в этом нервном пучке	похлопывание по мышце, ее растяжение	легкое касание кожи
Характеристики разрядов	пачки, синхронные с пульсом	нет пульсовой модуляции
	зависит от уровня АД	слабо или совсем не зависит от уровня АД
	усиливается при повышении давления в грудной полости («натуживании»)	усиливается во время ориентировочной реакции (при резких звуках, освещении и др.) пачки импульсов сопровождаются снижением кожного кровотока или потоотделением

«Мышечная» симпатическая нервная активность, зарегистрированная в большеберцовом нерве

Нервная активность (мкВ)

Интегрированная нервная активность (мкВ)

Артериальное давление (мм рт.ст.)



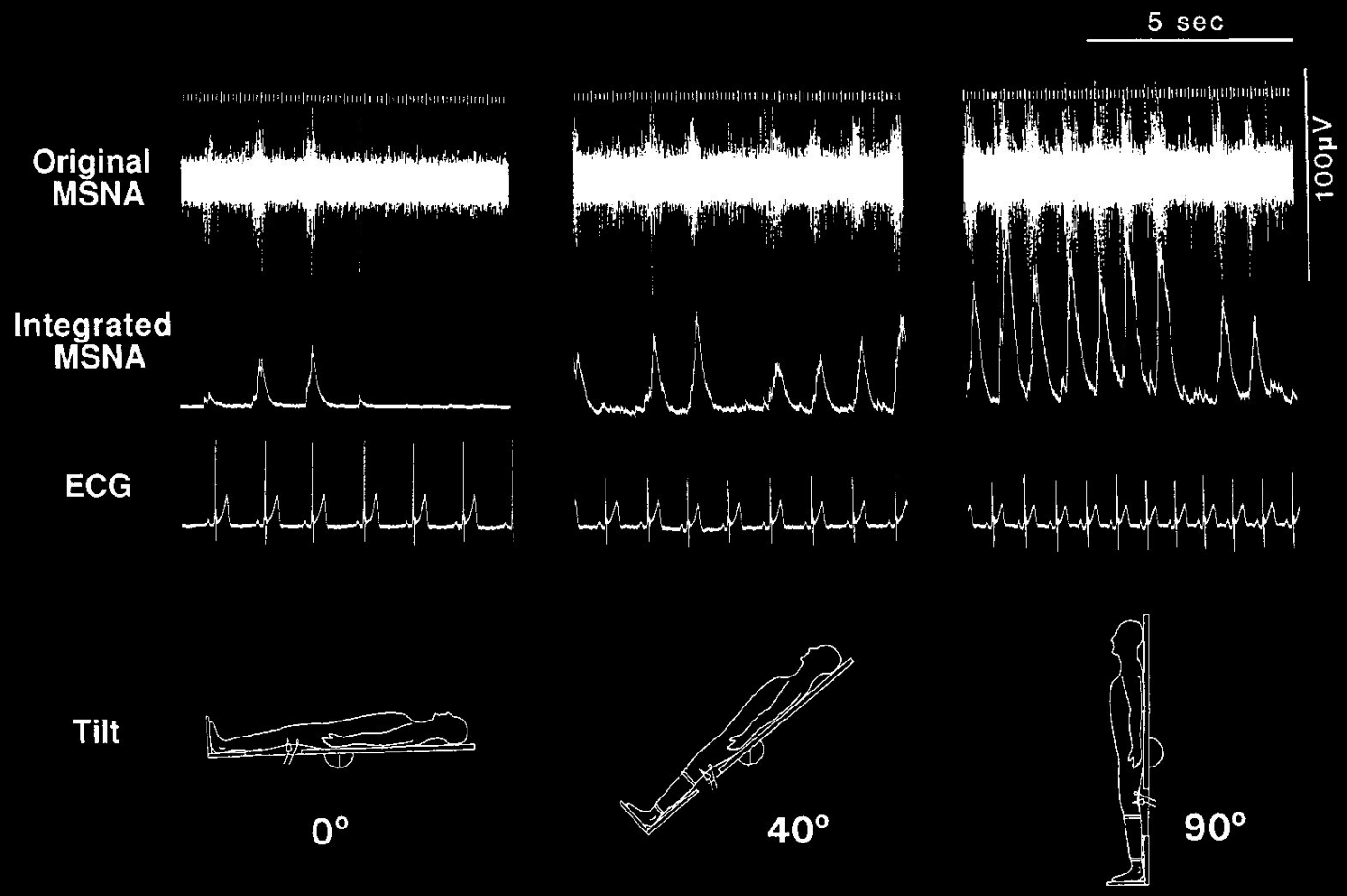
Фильтрация 500-5000 Гц

Постоянная времени 0,1 с

Mano T. Japan J Physiol 1998, 48, 99-114

Изменения «мышечной» симпатической активности и частоты сердцебиений при пассивном ортостатическом тесте

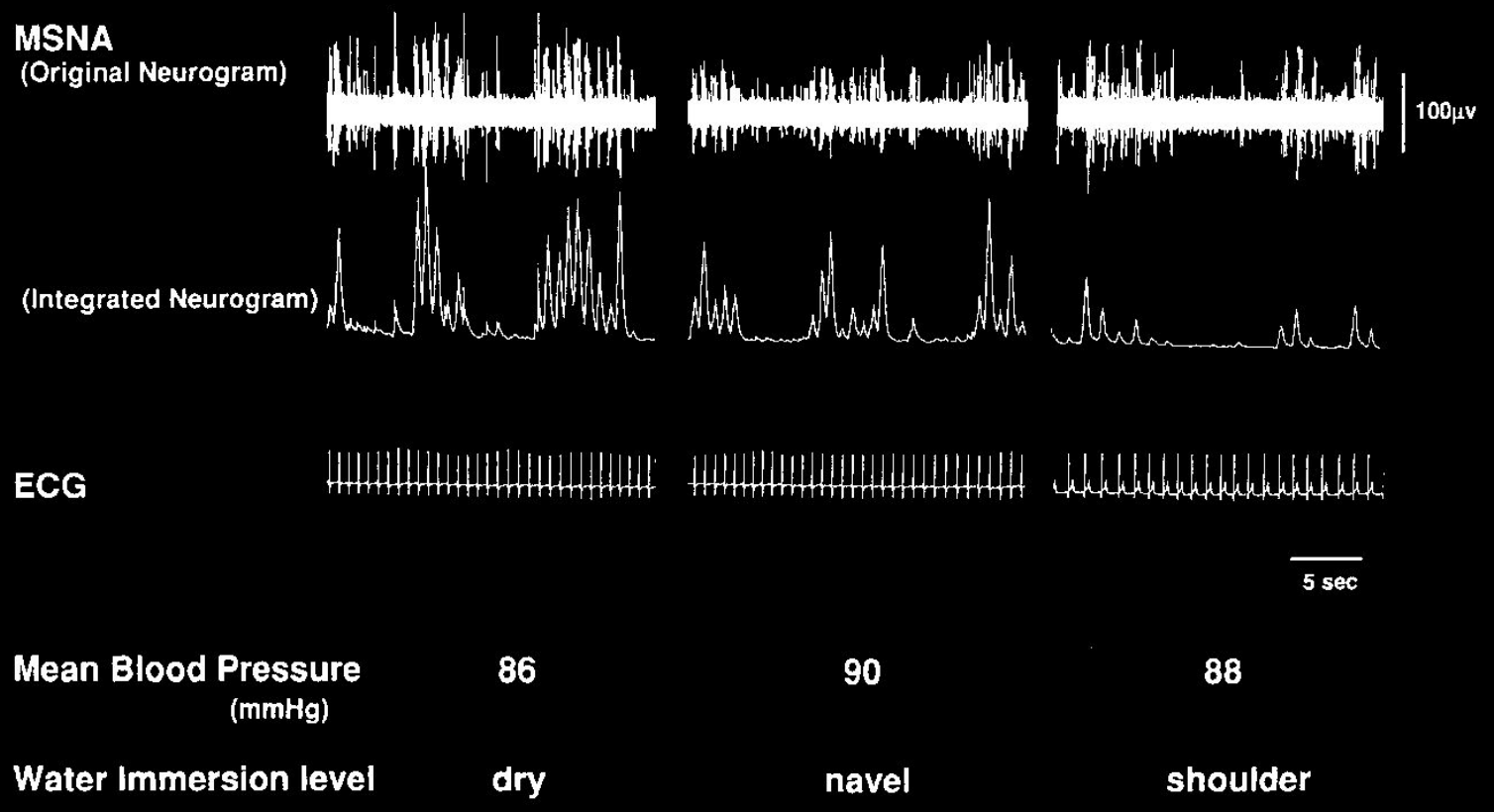
(регистрация в большеберцовом нерве)



Iwase et al. Physiologist 1987, 30, S62-S63

Изменения «мышечной» симпатической активности, частоты сердцебиений и артериального давления при погружении стоящего человека в воду до пупка и до плеч

(регистрация в большеберцовом нерве при вертикальном положении тела)



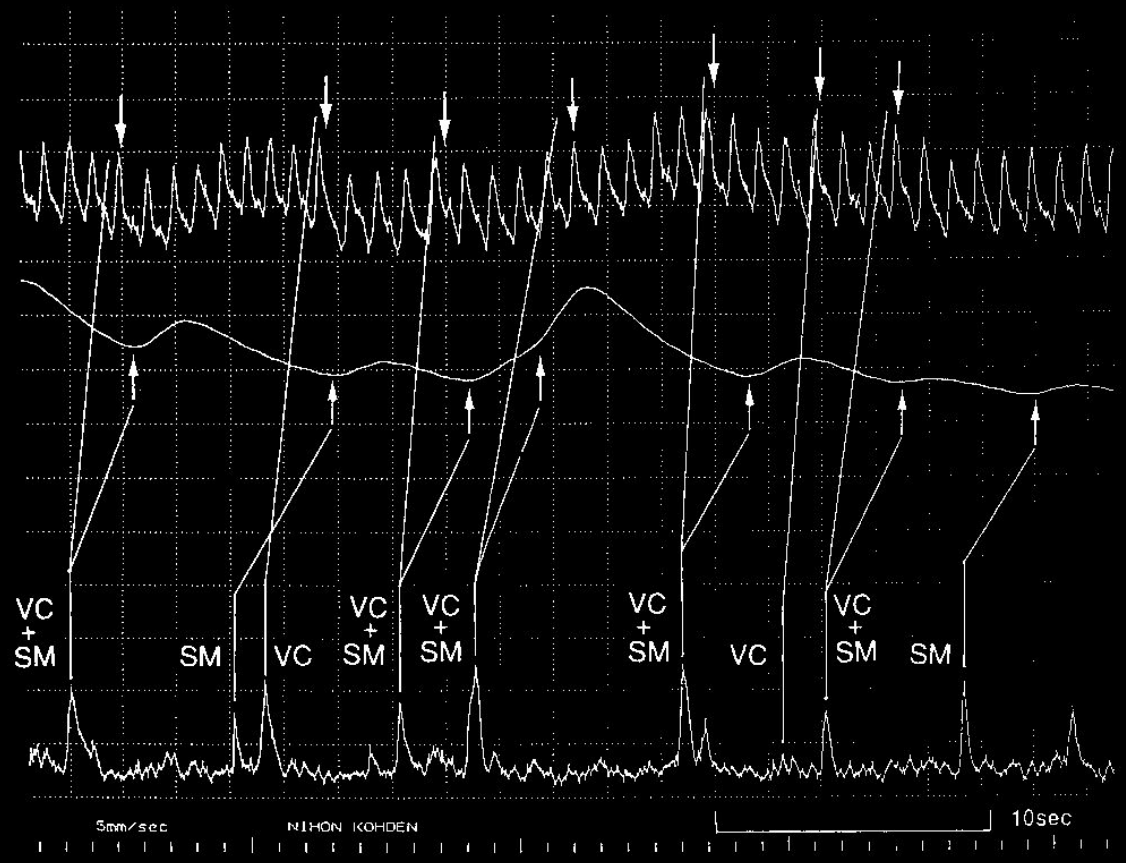
Miwa et al. Acta Physiol Scand 1996, 158, 15-20.

«Кожная» симпатическая нервная активность, зарегистрированная в малоберцовом нерве

Кожный кровоток

Скорость потоотделения

Интегрированная нервная активность



VC - «вазоконстрикторные» пачки импульсов; SM - «судомоторные» пачки; VC+SM - пачки, сопровождающиеся и сужением сосудов, и потоотделением

Mano T. Japan J Physiol 1998, 48, 99-114