

# 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:

- Оклюзионная плетизмография
- Ультразвуковая Допплеровская флоуметрия
- Ультразвуковая transit-time флоуметрия

## Методы регистрации симпатической нервной активности

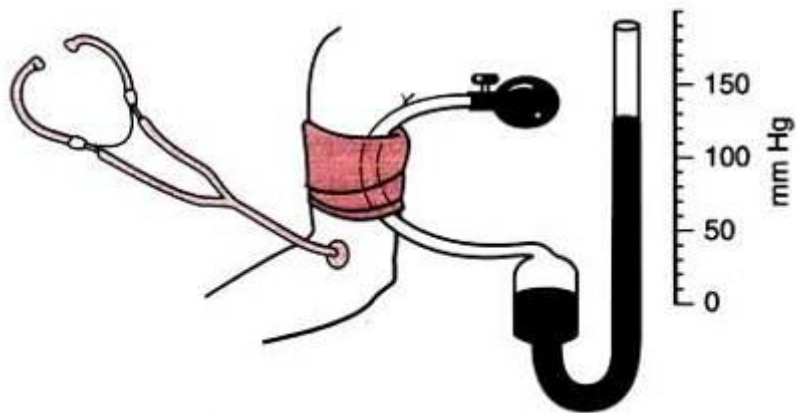
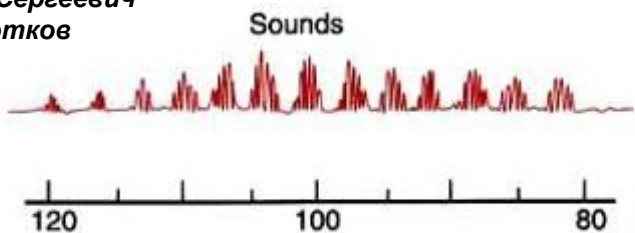
- Регистрация с помощью хронически вживленных электродов (у животных)
- Микронейрография (у человека)

# Неинвазивные методы регистрации артериального давления



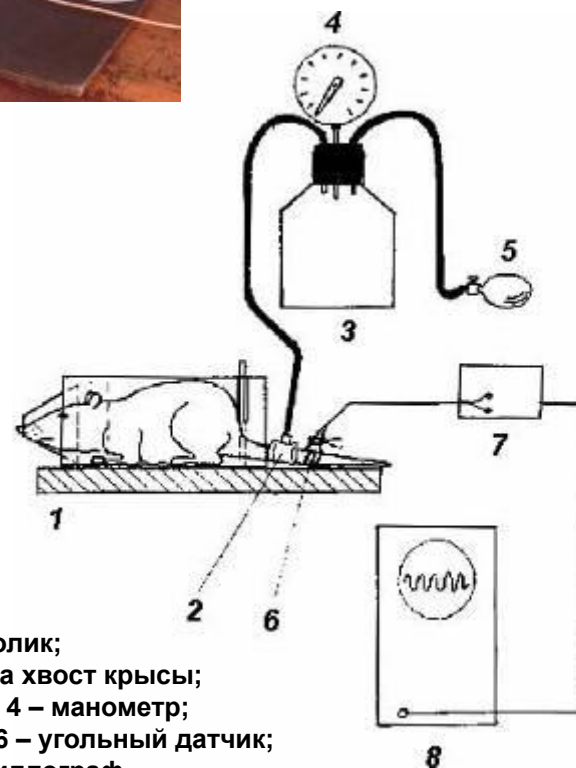
## Аускультативный метод

Николай Сергеевич  
Коротков



Прослушивание «тонов Короткова» (1905)

## Измерение давления крови в хвостовой артерии у бодрствующих крыс

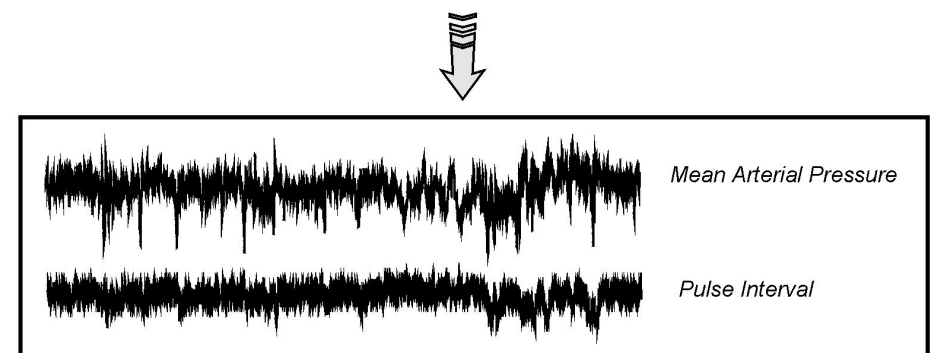
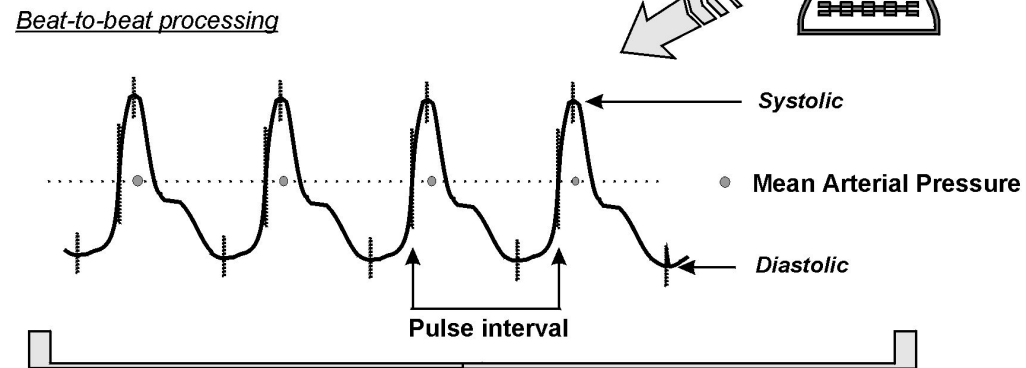
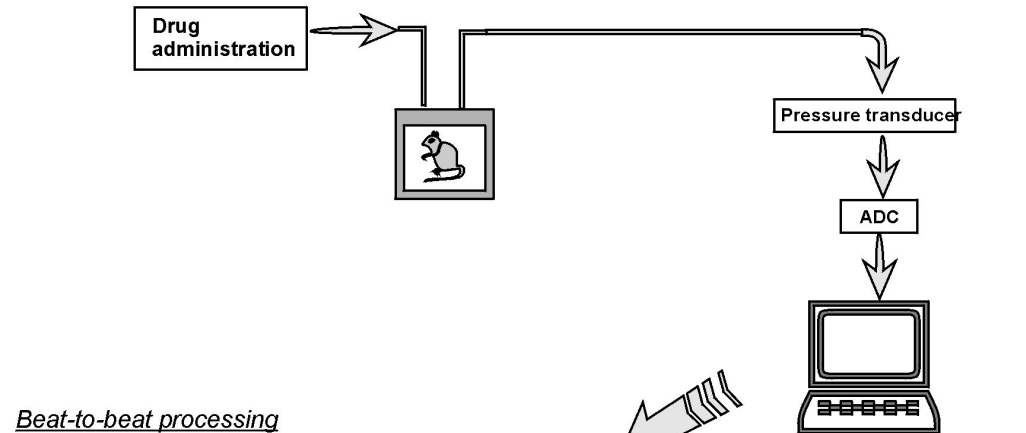


- 1 – подогреваемый столик;
- 2 – манжета, надетая на хвост крысы;
- 3 – буферная емкость; 4 – манометр;
- 5 – резиновая груша; 6 – угольный датчик;
- 7 – усилитель; 8 – осциллограф.



**Revd  
Stephen  
Hales -  
1733 г.**

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



## Катетеры для имплантации:

*В бедренную артерию*

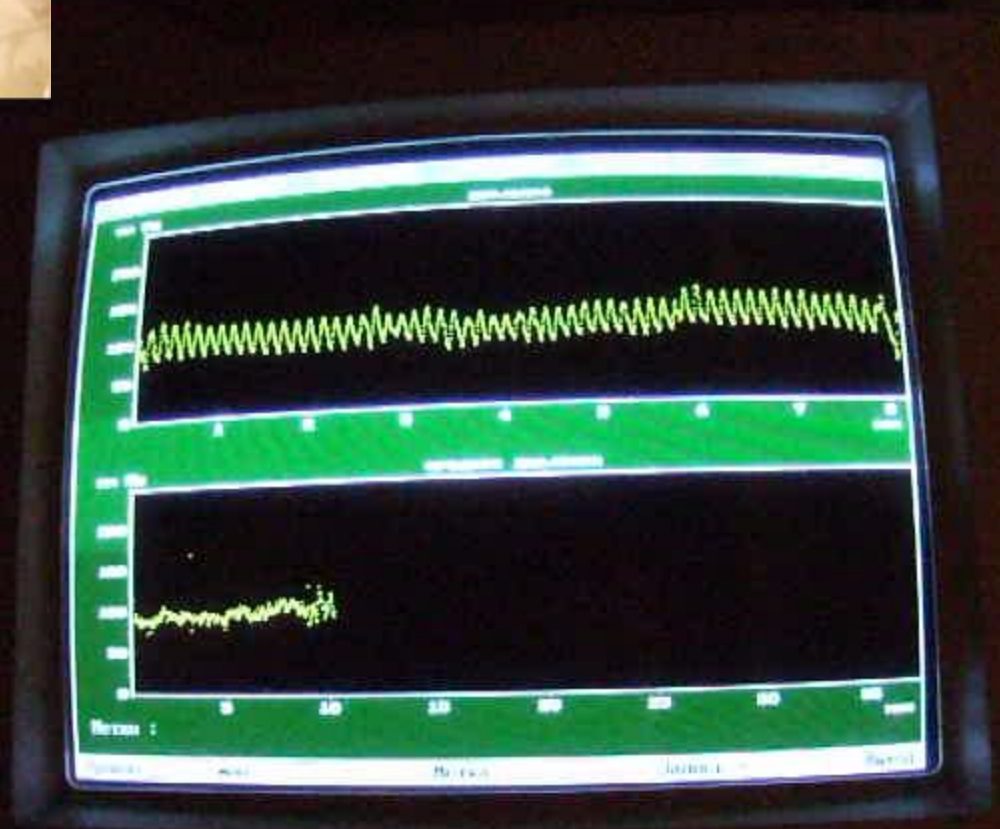


*В бедренную вену*



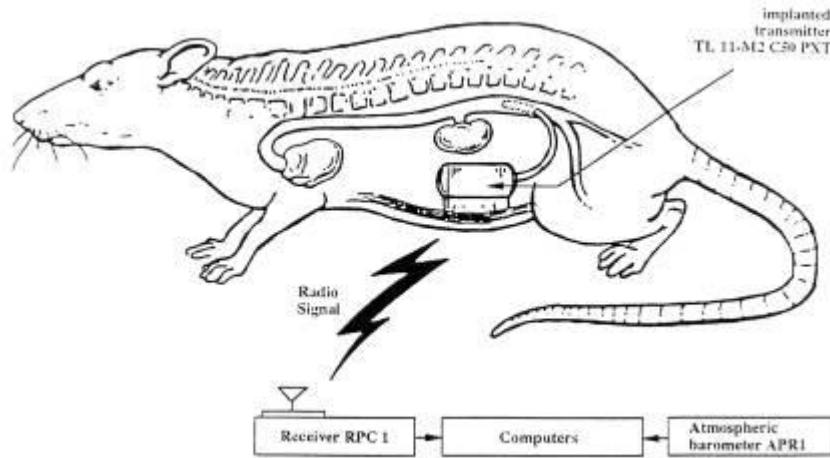
*В яремную вену*



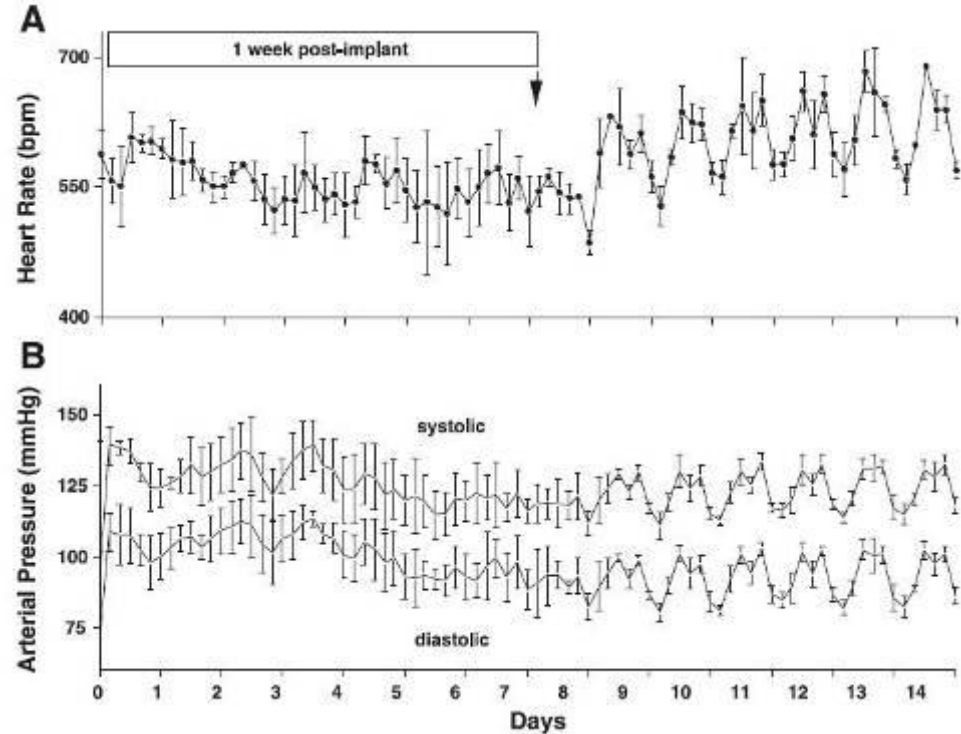
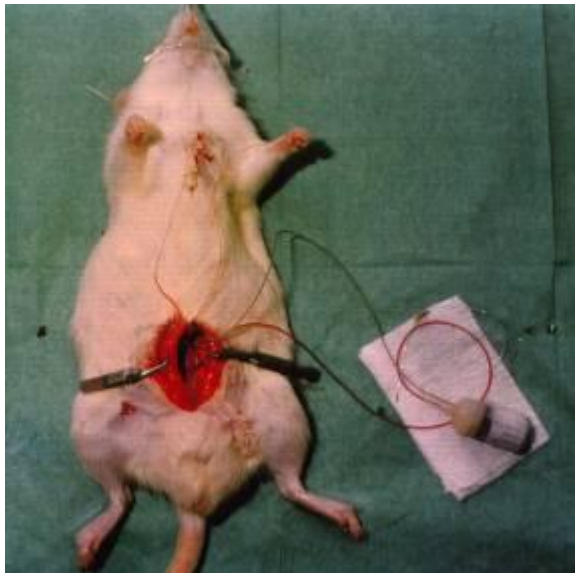




# Телеметрическая регистрация артериального давления



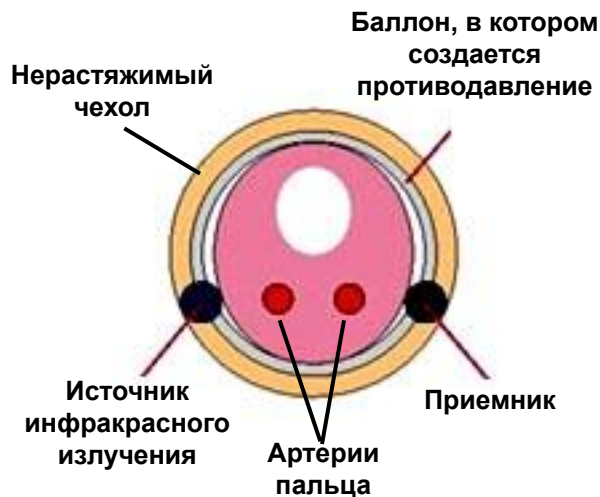
Принцип метода



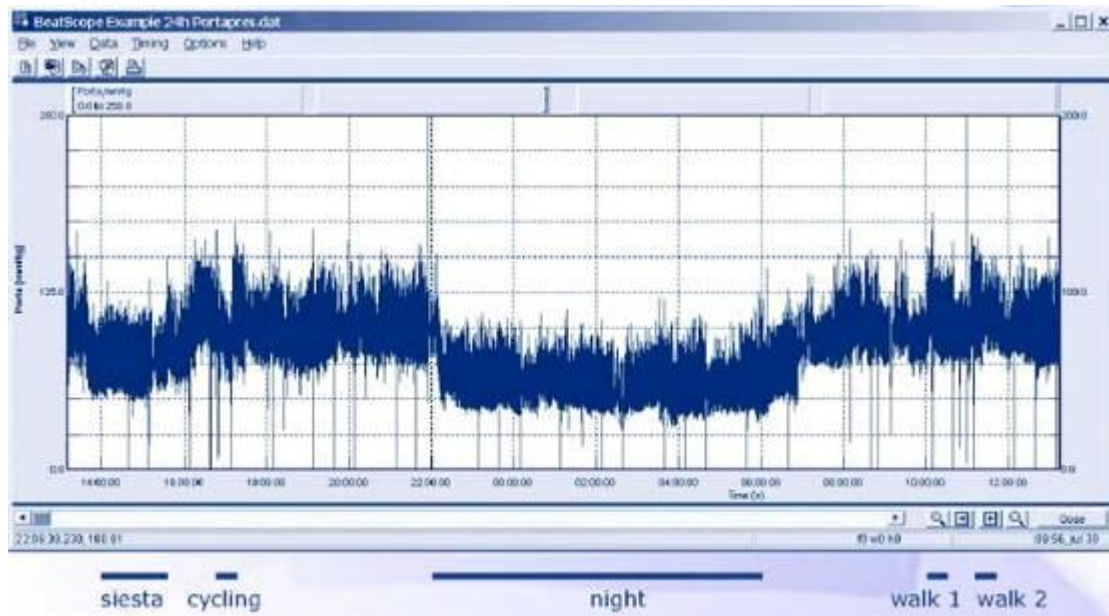
Whitesall, Steven E., Janet B. Hoff, Alan P. Vollmer, and Louis G. D'Alecy.  
*Am J Physiol Heart Circ Physiol* 286: H2408-H2415, 2004

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

**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>



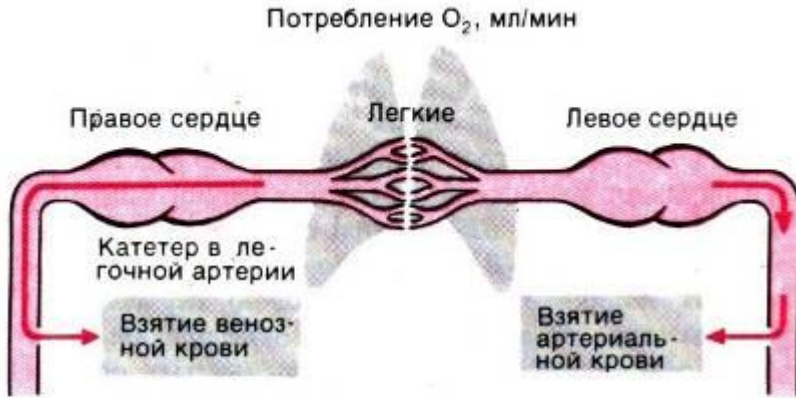
**Прибор PORTAPES**



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

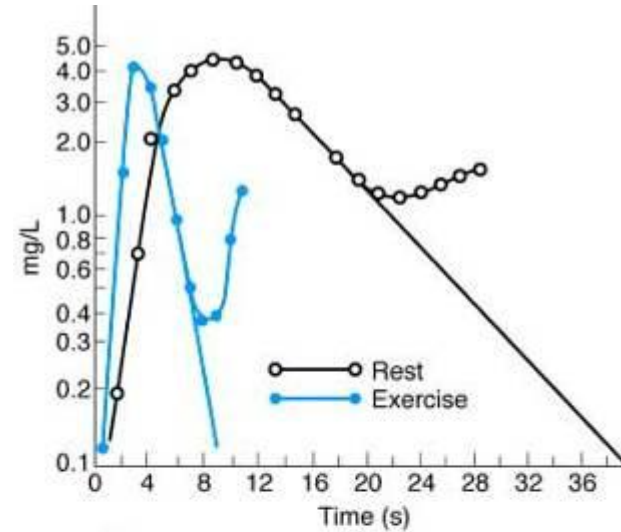
# Измерение минутного объема сердца

## 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

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



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

F = flow

E = amount of indicator injected

C = instantaneous concentration of indicator in arterial blood

In the **rest** example above,

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

$$\text{Flow} = 3.1 \text{ L in 39 s}$$

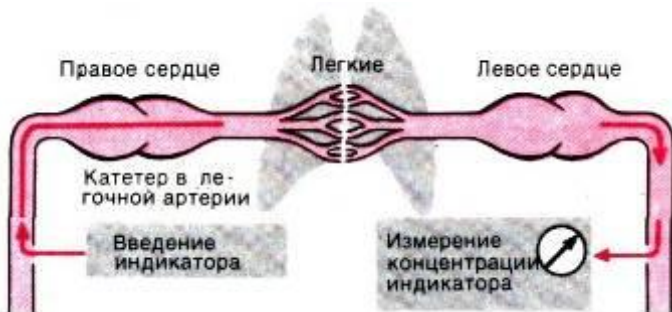
$$\text{Flow (cardiac output)/min} = 3.1 \times \frac{60}{39} = 4.7 \text{ L}$$

For the **exercise** example,

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

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

## Метод разведения индикатора





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

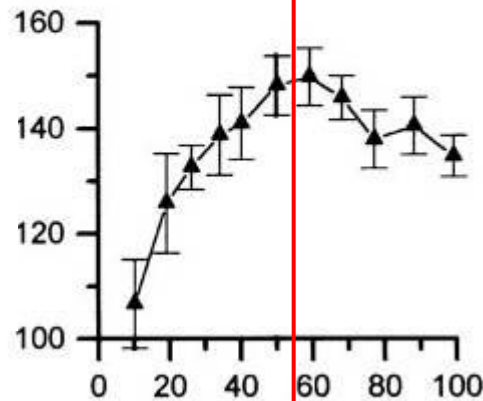
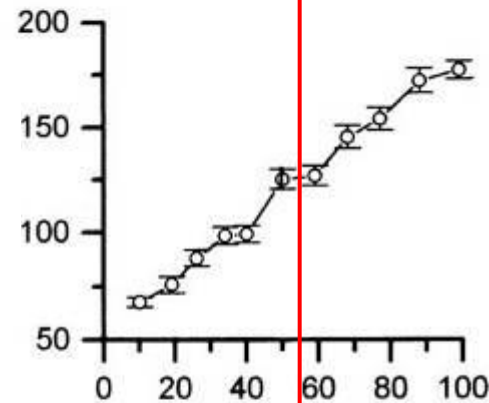
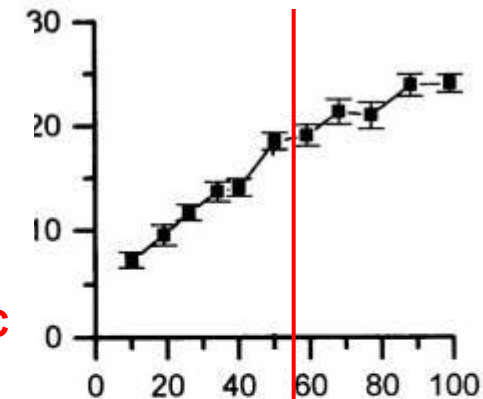
Изменения показателей  
работы сердца при  
физической работе на  
велозергометре с  
возрастающей  
мощностью

Минутный  
объем  
сердца  
(л/мин)

$$MO = УО \times ЧСС$$

Частота  
сердечных  
сокращений  
(уд/мин)

Ударный  
объем  
(мл/  
сокращение)



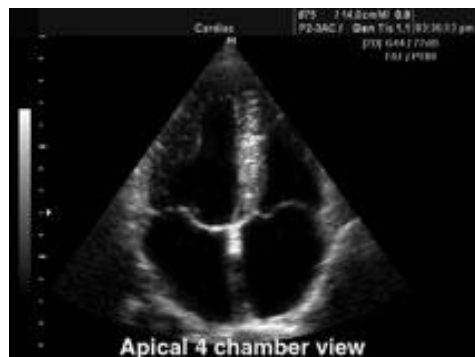
Интенсивность нагрузки  
(% от максимального потребления O<sub>2</sub>)

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

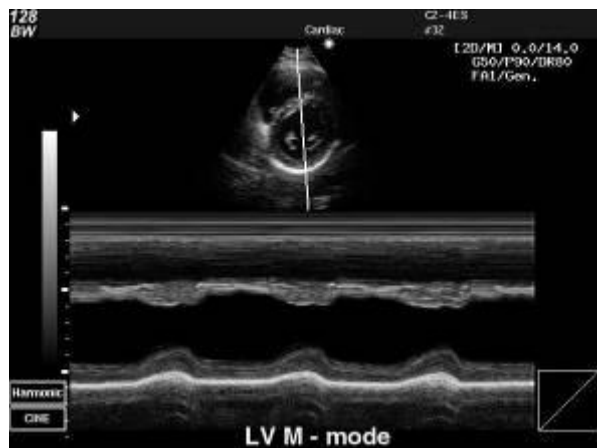
Моноotonно  
растет  
(торможение  
вагусных,  
усиление  
симпатических  
влияний)

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

# 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  
(M-режим)



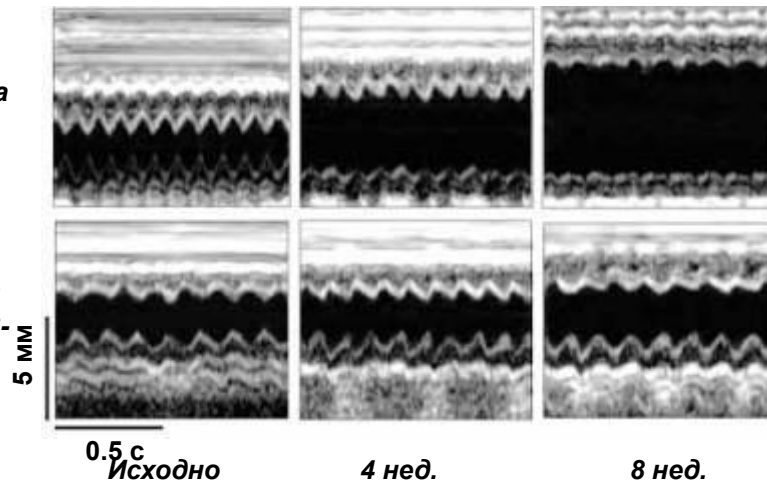
«Tip» катетер для  
одновременного измерения  
давления крови и объема  
желудочка сердца



Расширение полости левого желудочка  
у мышей после хирургического сужения аорты

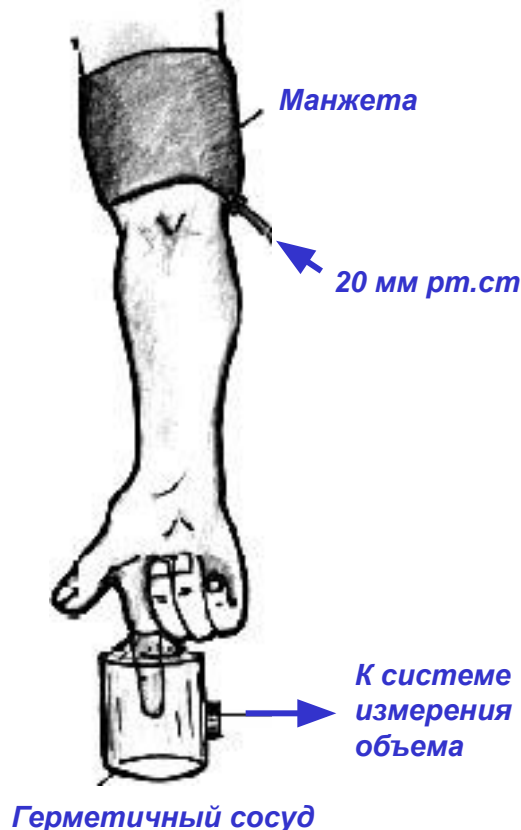
Мышь дикого типа  
(гипертрофия  
сердца)

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

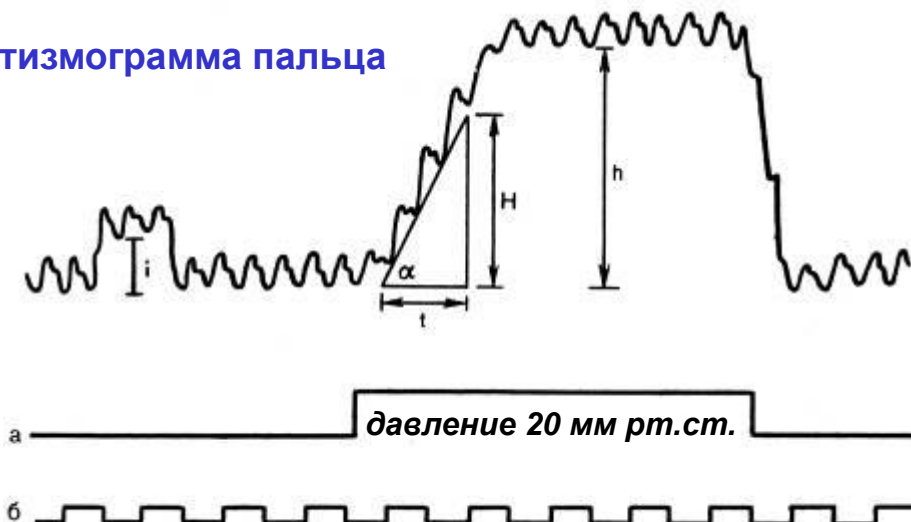


допамин-β-гидроксилаза – фермент синтеза После сужения аорты  
адреналина и норадреналина

## Измерение объемной скорости кровотока (окклюзионная плетизмография)



Плетизмограмма пальца



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  $t$ :  $Q[\text{мл/мин}] = H[\text{мл}] / t[\text{мин}]$**

# 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:

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

$F_d$  – сдвиг частоты

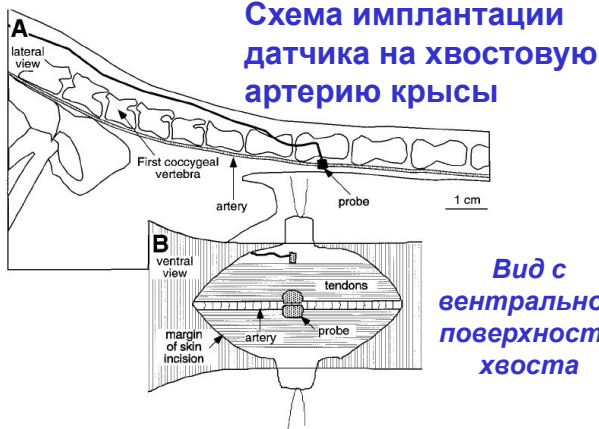
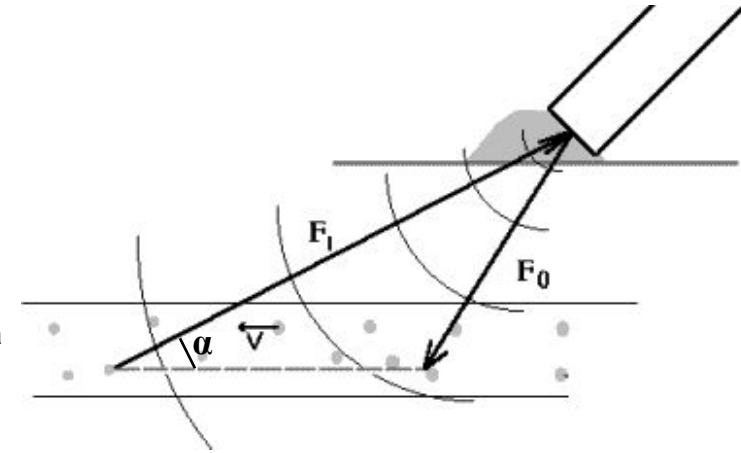
$F_0$  – частота излучения

$F_1$  – принимаемая частота

$V$  – линейная скорость кровотока

$\alpha$  – угол между вектором скорости кровотока и направлением ультразвукового пучка

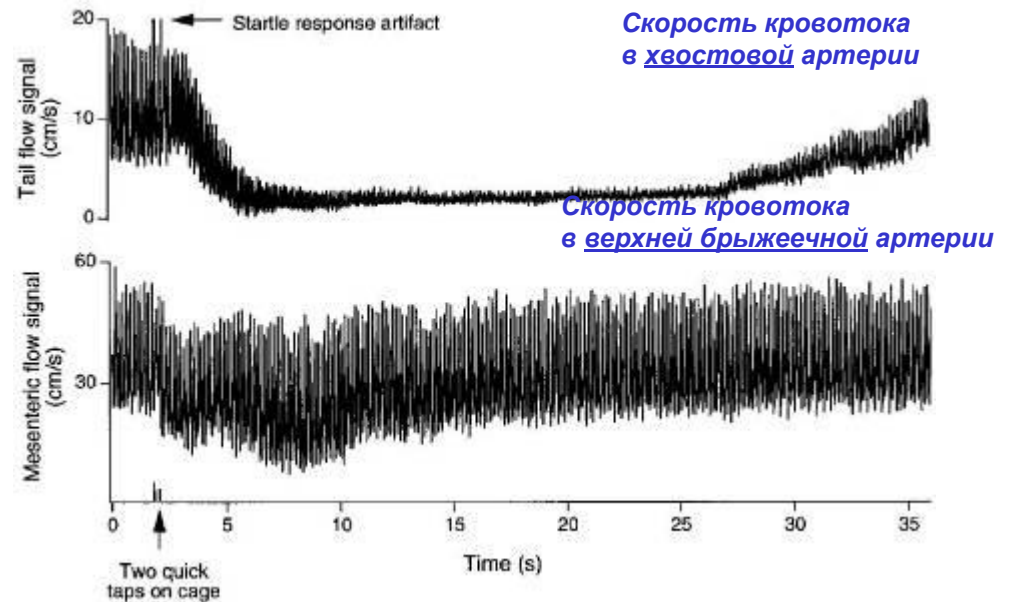
$c$  – скорость распространения ультразвуковых волн в среде (в крови)



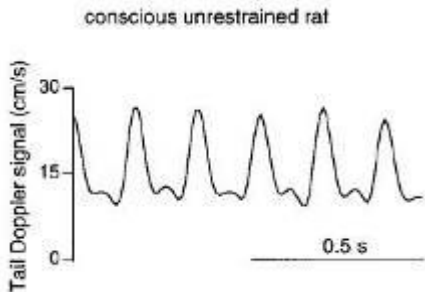
**Схема имплантации датчика на хвостовую артерию крысы**

**Вид с вентральной поверхности хвоста**

**Изменение скорости кровотока при двукратном легком постукивании по крышке клетки**

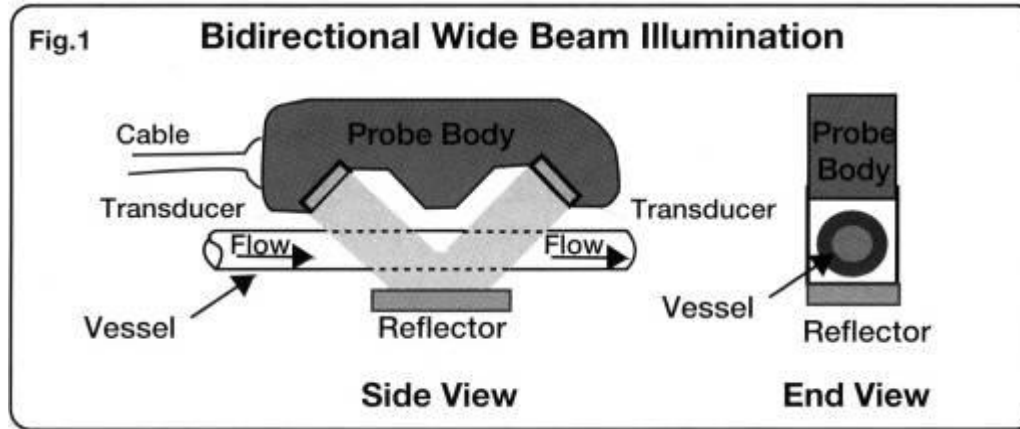


**Запись скорости кровотока в хвостовой артерии бодрствующей крысы**



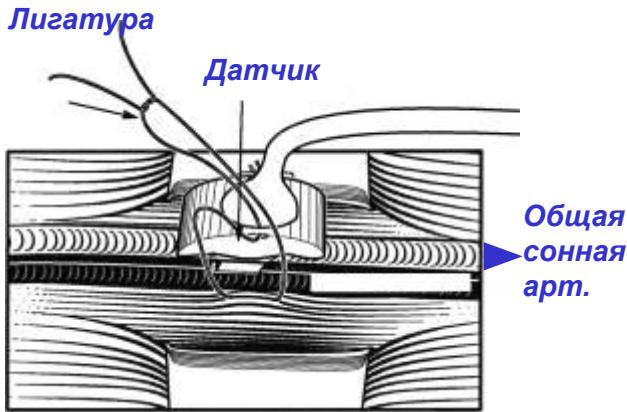


# Измерение объемной скорости кровотока (transit-time ультразвуковая флоуметрия)



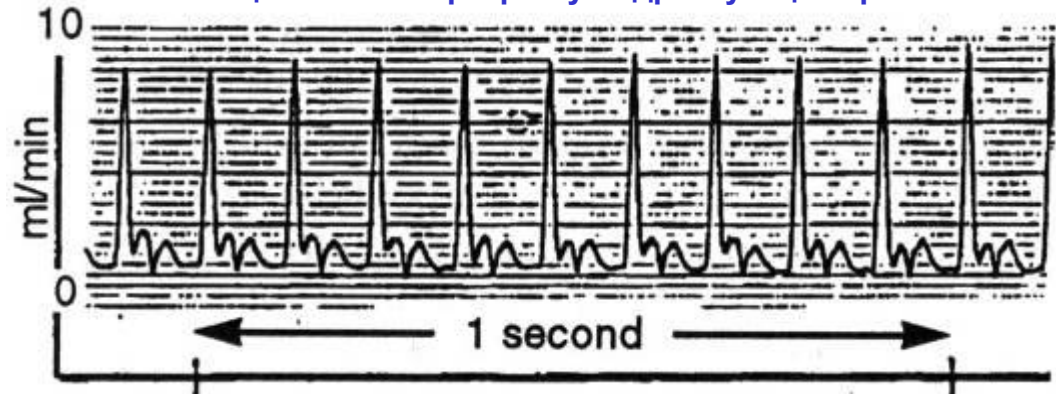
Принцип измерения скорости кровотока с помощью датчика, расположенного на артерии

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 прямым 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



# ***Transonic Systems Inc.***

*presents:*

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»)

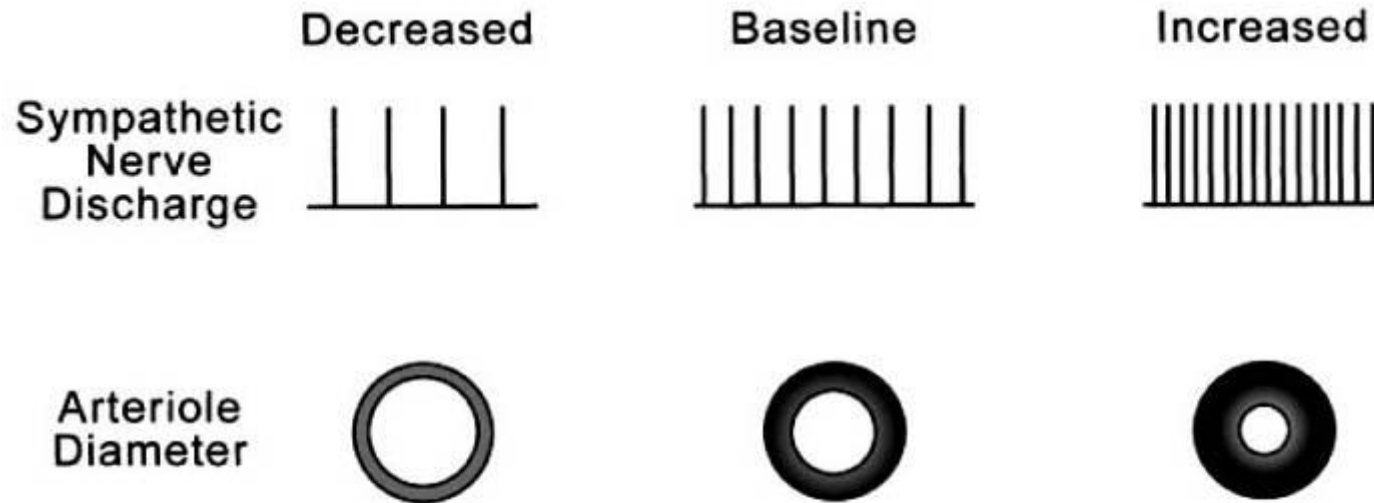


FIG. 6.

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

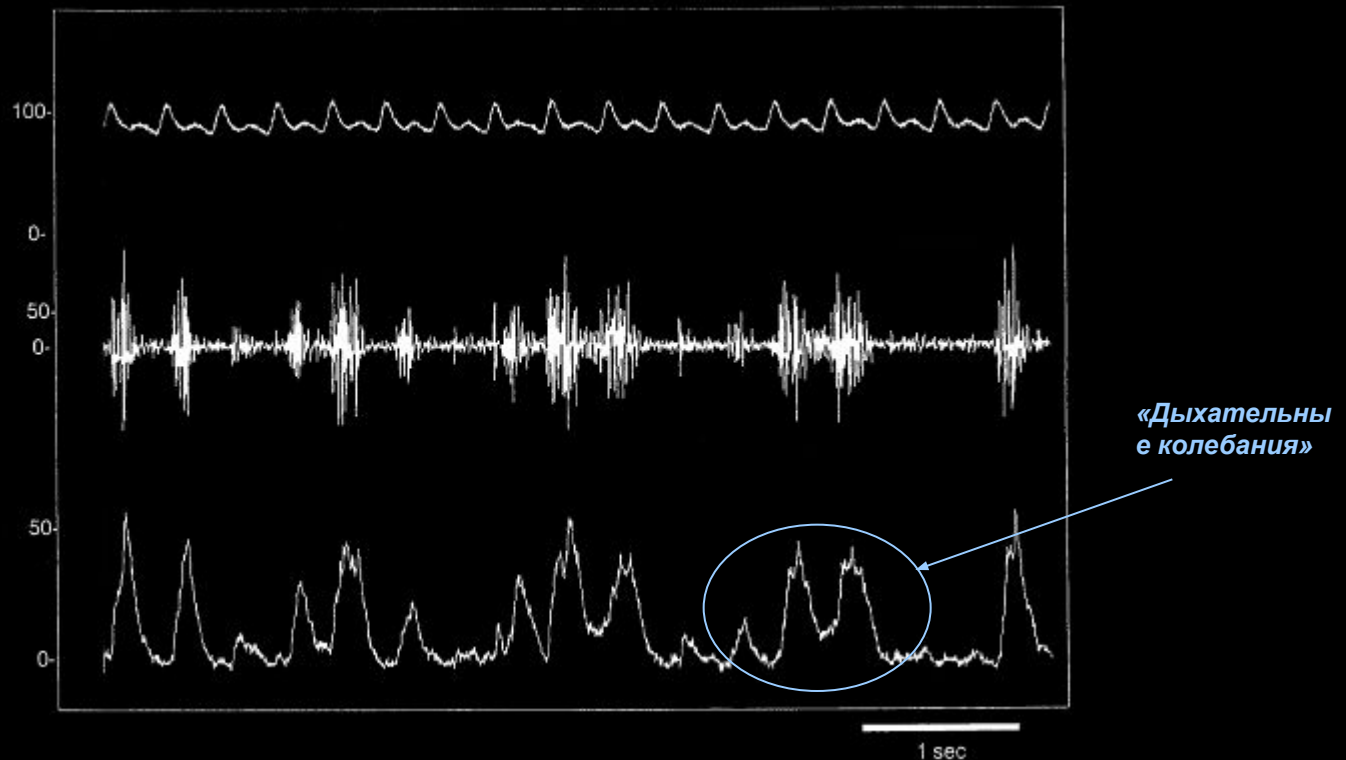
Cheryl M. Heesch

**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)

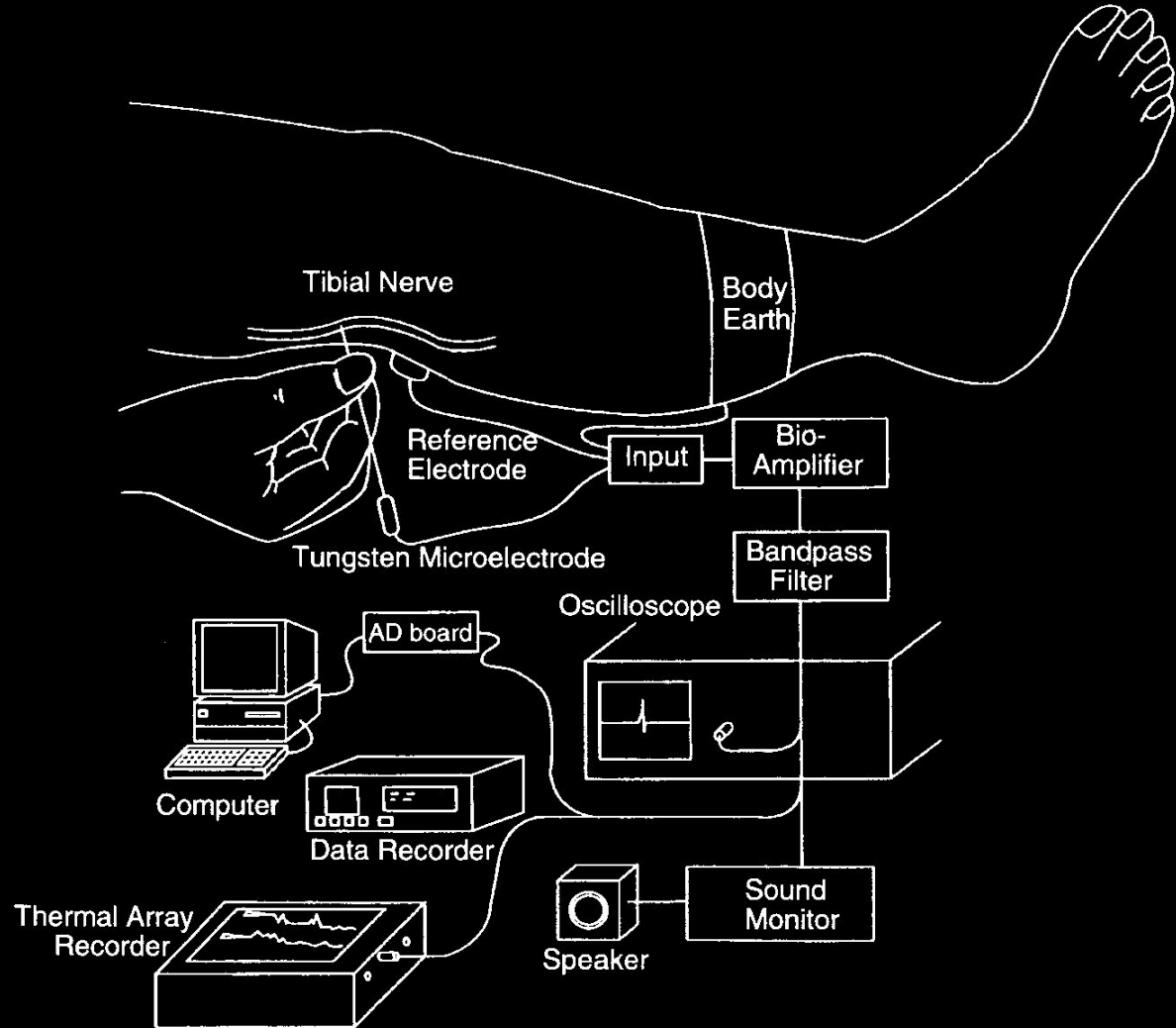




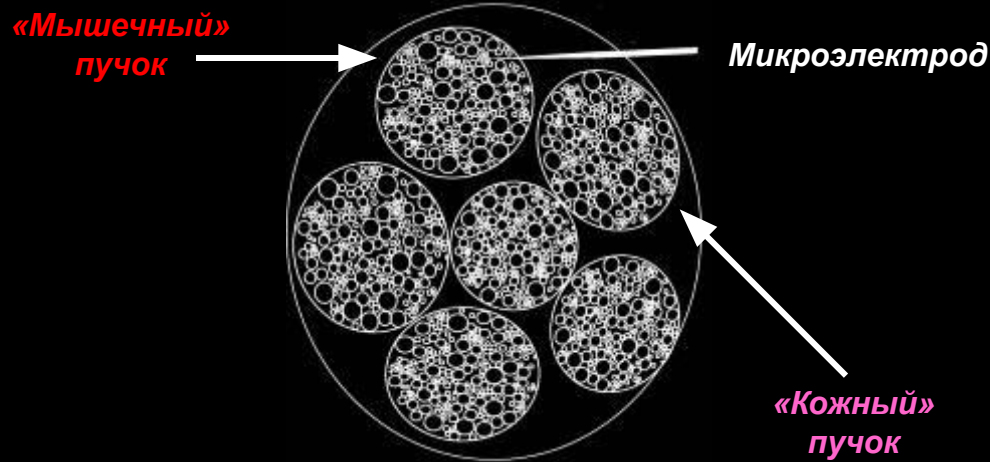
# Схема регистрации симпатической активности у человека методом микронейрографии

Нервы,  
используемые  
для регистрации:

- малоберцовый ;
- большеберцовый;
- срединный;
- лучевой;
- лицевой;
- тройничный;
- межреберные



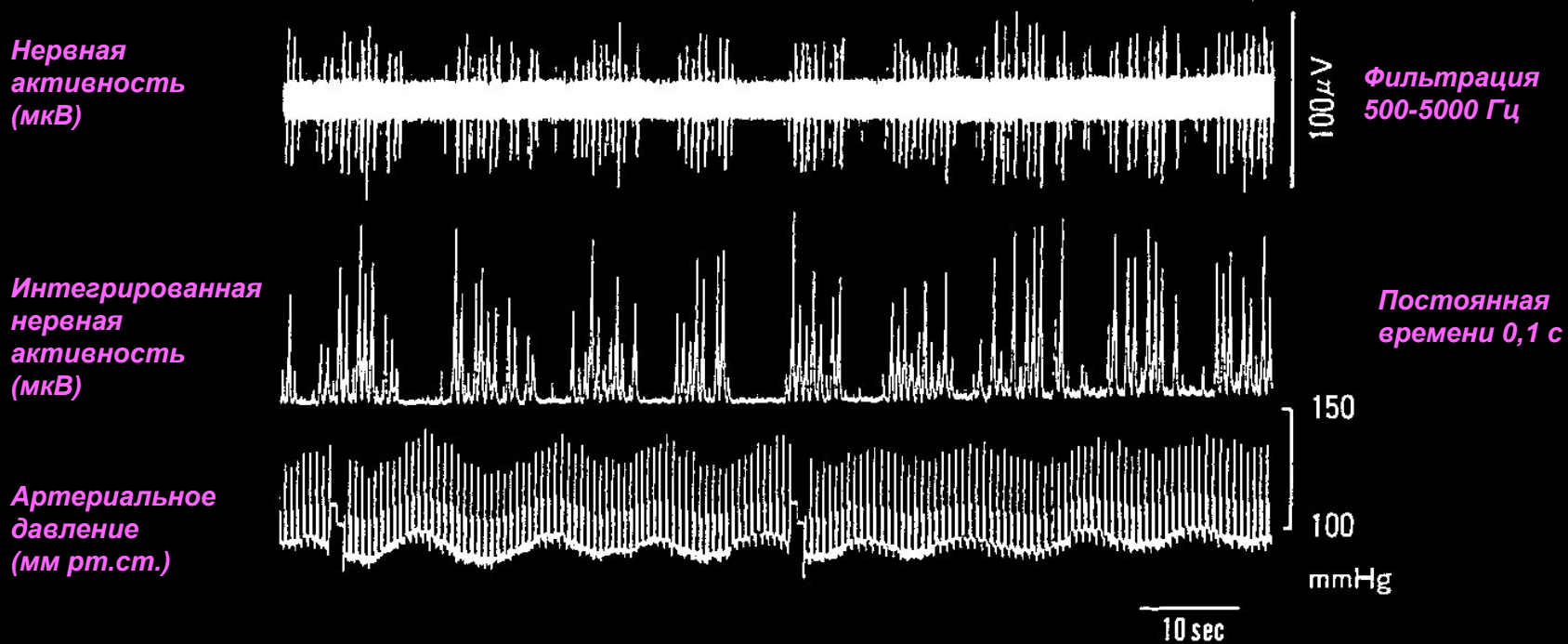
## Поперечный разрез нерва



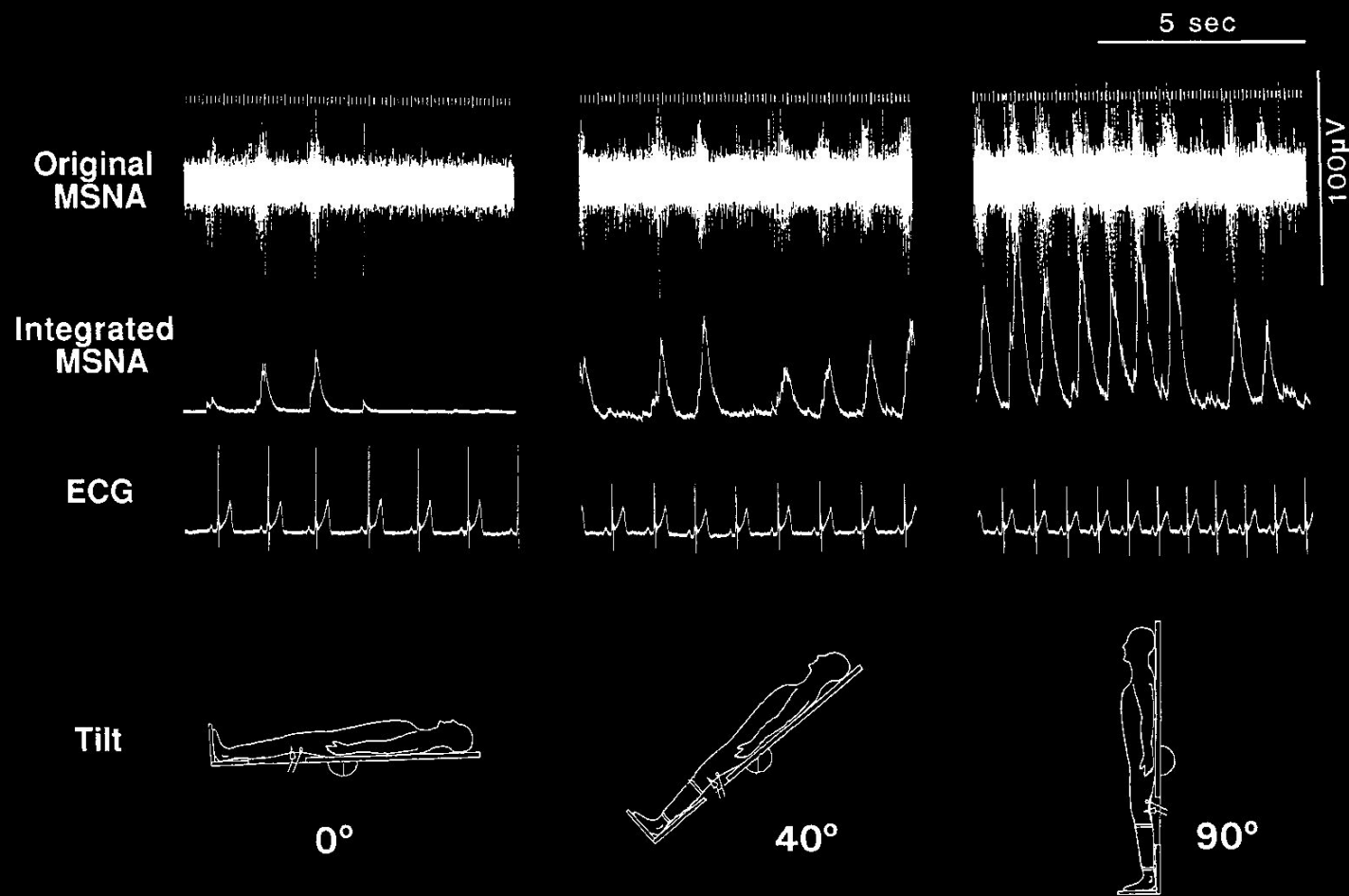
## Критерии выявления «мышечной» и «кожной» симпатической активности

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

## «Мышечная» симпатическая нервная активность, зарегистрированная в большеберцовом нерве



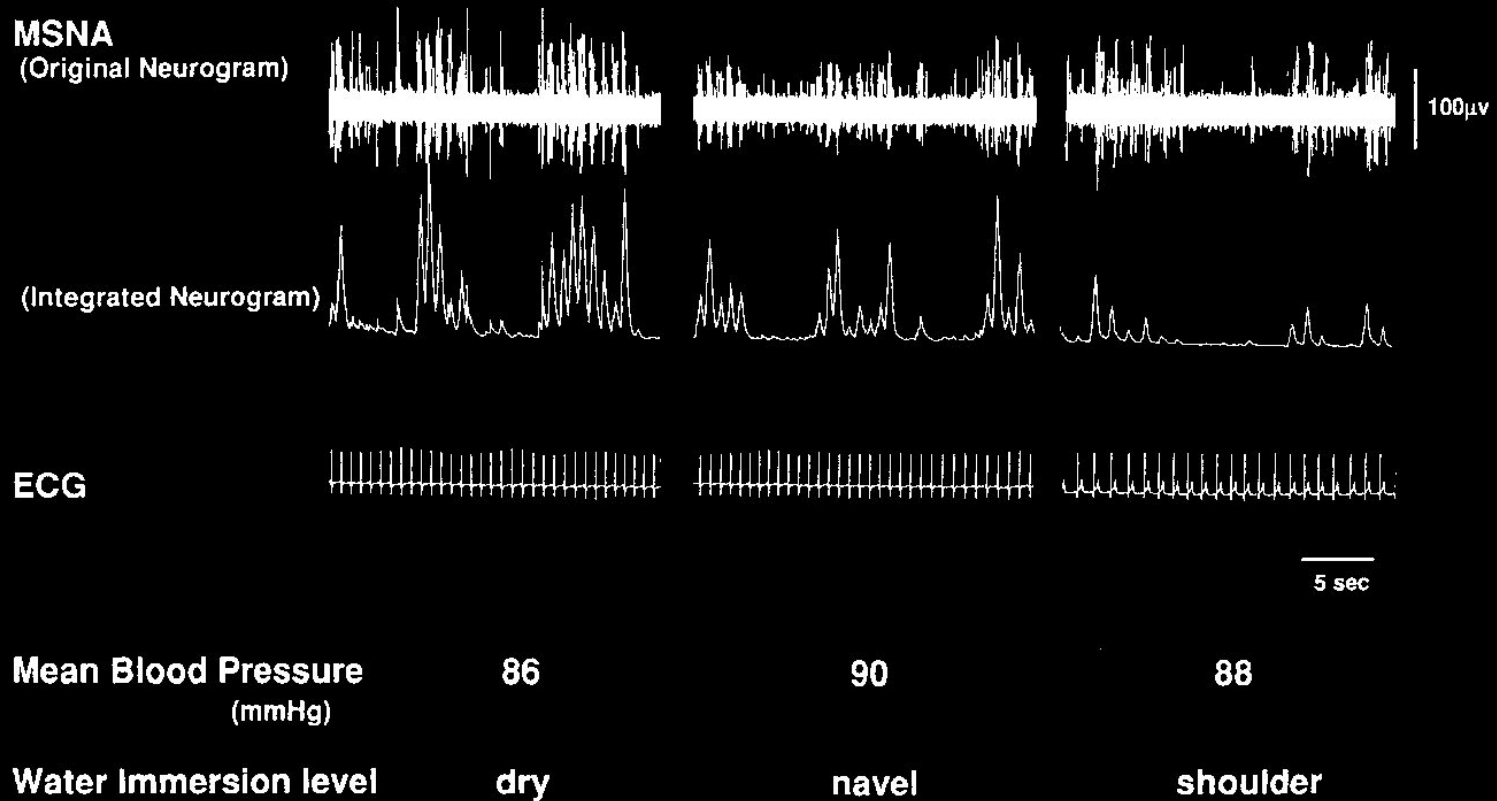
# Изменения «мышечной» симпатической активности и частоты сердечбиений при пассивном ортостатическом тесте (регистрация в большеберцовом нерве)



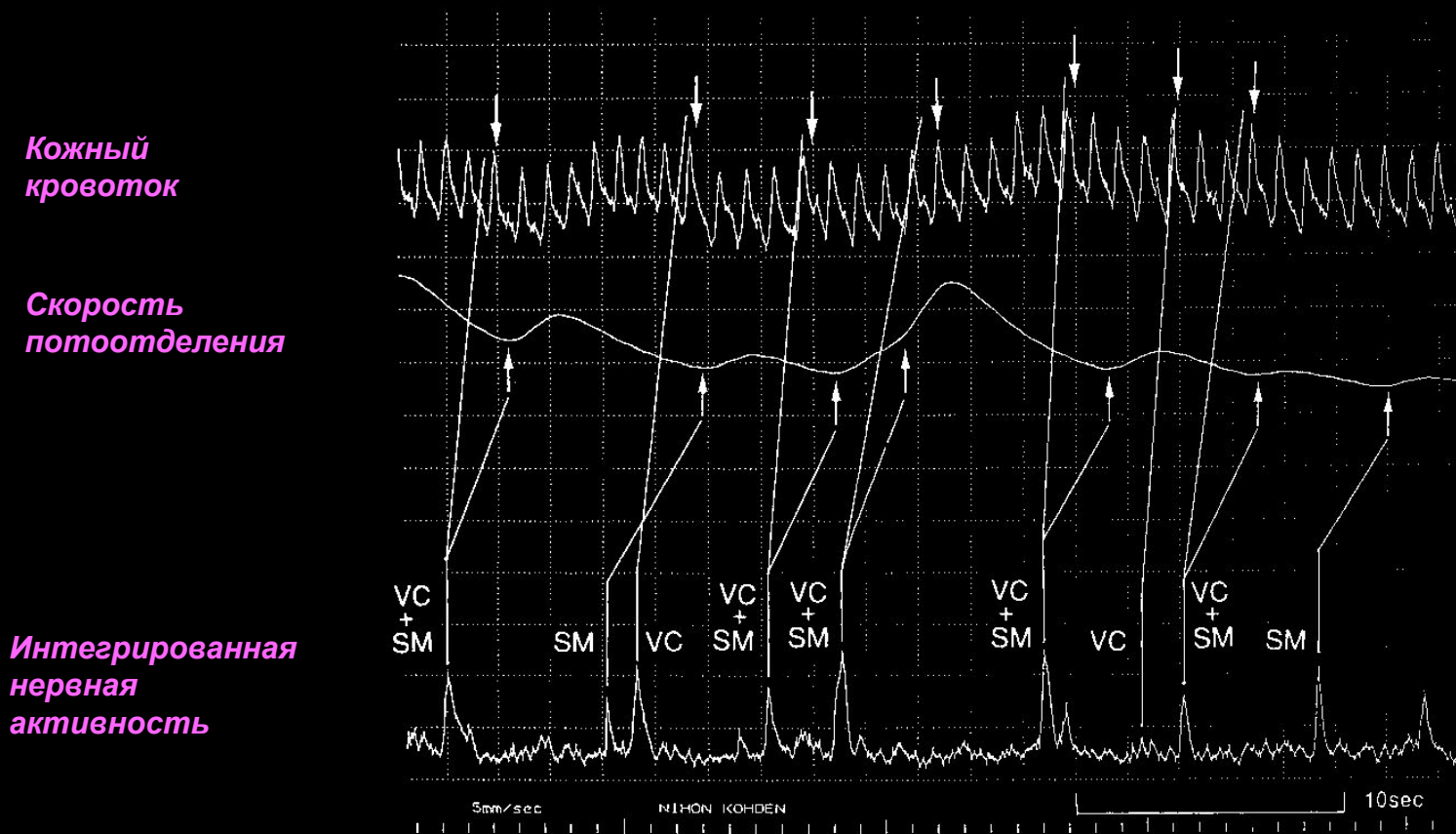


# Изменения «мышечной» симпатической активности, частоты сердечбиений и артериального давления при погружении стоящего человека в воду до пупка и до плеч

(регистрация в большеберцовом нерве при вертикальном положении тела)



## «Кожная» симпатическая нервная активность, зарегистрированная в малоберцовом нерве



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