

ГЛАВА 14. КРОВООБРАЩЕНИЕ

К системе кровообращения относят:
сердце, выполняющее функцию насоса,
и периферические кровеносные сосуды –
артерии,
вены
и капилляры.

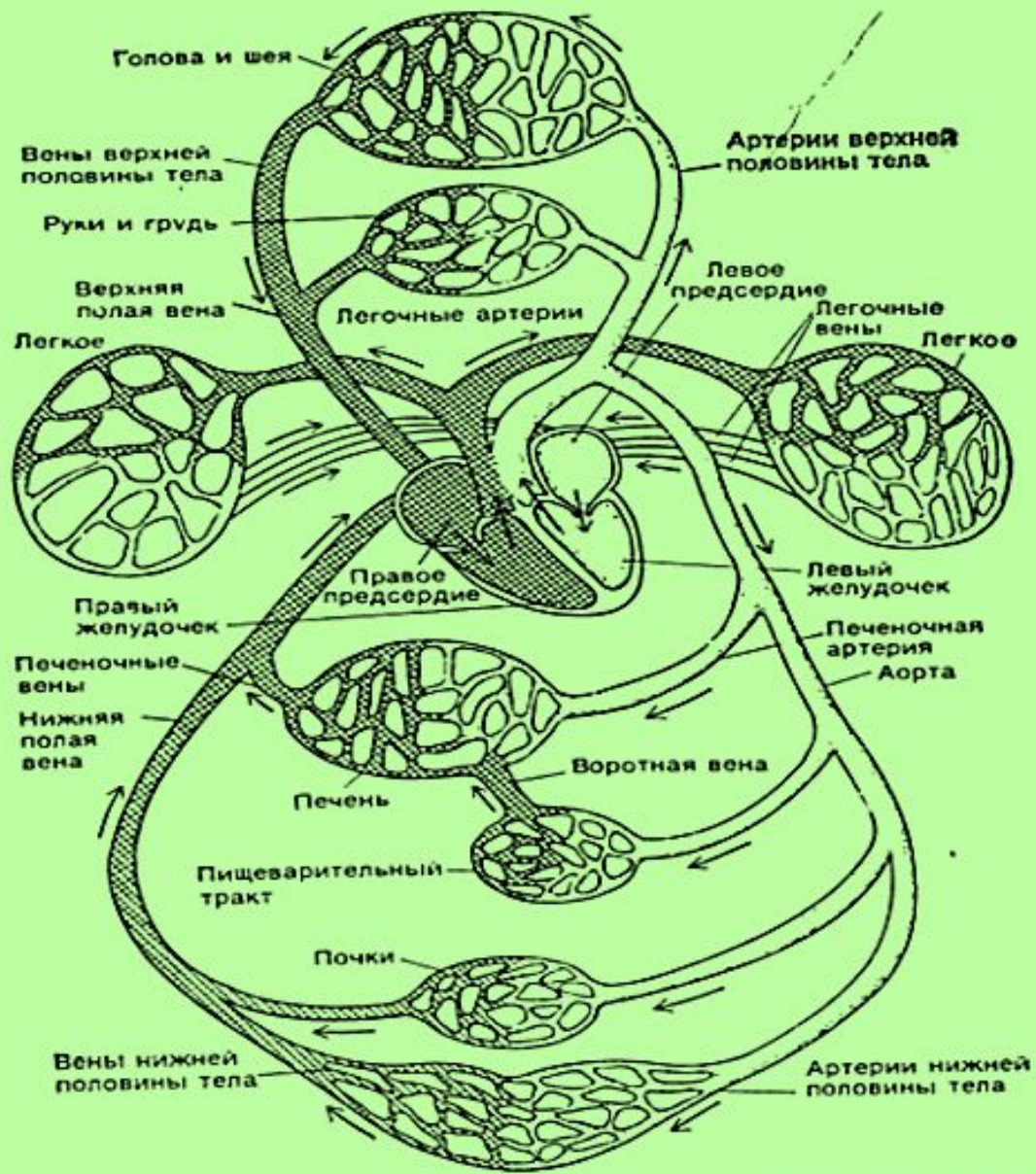


Рис. 14.1. Схема кровообращения (артериальная кровь показана светлым, венозная — темным).

Насыщенная кислородом артериальная кровь выбрасывается из левого желудочка и через аорту направляется к органам; венозная кровь возвращается к правому предсердию, затем поступает в правый желудочек и далее через легочные артерии к легким, где вновь насыщается кислородом.

После этого кровь по легочным венам возвращается в левое предсердие. Давление крови в легочных артериях и венах меньше, чем артериальное давление в большом кругу.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ КРОВИ (ГЕМОДИНАМИКА)

Кровь, которую выбрасывает сердце, движется по сосудам разного калибра, растяжимости и сопротивления. Объем крови поступающей к какому-либо органу за определенное время (объем/время), равен отношению разности давления (P) к гидродинамическому сопротивлению:

$$Q \text{ (объемная скорость кровотока)} = \frac{P}{R};$$

$$\text{отсюда } P = QR, \text{ а } R = \frac{P}{Q}.$$

Взаимоотношение между давлением, объемной скоростью и сопротивлением: 1) объемная скорость прямо пропорциональна высоте гидростатического напора и радиусу сосуда; 2) объемная скорость обратно пропорциональна длине сосуда и вязкости жидкости; 3) гидродинамическое сопротивление прямо пропорционально длине сосуда и вязкости жидкости; 4) гидродинамическое сопротивление обратно пропорционально радиусу сосуда.

ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА И ЗАКОН ЛАПЛАСА
 3-н Лапласа гласит, что давление (P) в полном сосуде равно отношению напряжения в его стенке (T) к радиусу сосуда (r):

$$P = \frac{T}{r}; \quad T = Pr.$$

Распределение слоев в кровеносном сосуде с ламинарным течением определяется линейной скоростью кровотока, зависящей в свою очередь от таких факторов, как размер сосуда и гидродинамическое сопротивление (рис. 14.5). При известных значениях гидростатического напора и вязкости линейная скорость обратно пропорциональна радиусу или площади поперечного се-

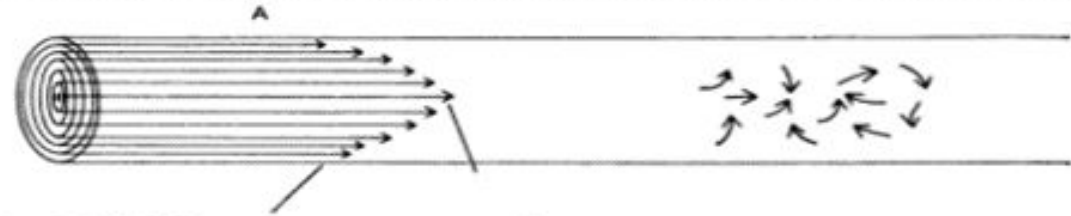


Рис. 14.5. А. Распределение скоростей в струе с ламинарным потоком жидкости. Скорость возрастает от нуля в пристеночном слое до максимального значения в центре трубки. Б. Турбулентный поток, характеризующийся завихрениями и воронками.

чения (S) сосуда. Таким образом, линейная скорость кровотока

$$V = \frac{Q \text{ (объемная скорость кровотока)}}{S \text{ (площадь поперечного сечения сосуда)}}$$

выше в сосудах малого диаметра.

Средняя линейная скорость тока крови в аорте человека (диаметр — 2 см, площадь сечения — 3 см², объемная скорость кровотока — 84 мл/с) вычисляется следующим образом:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{84 \text{ мл/с (см}^3\text{/с)}}{3 \text{ см}^2} = 28 \text{ см/с.}$$

В более мелких артериях линейная скорость значительно выше, в венах большего диаметра ниже.

При возрастании линейной скорости до некоторой величины в струе образуются завихрения (как в быстром потоке воды), сопровождающиеся шумом — течение превращается из ламинарного в *турбулентное* (рис. 14.5, Б). Эта величина определяется числом Рейнольдса (Re):

$$Re = \frac{VD\rho}{\eta},$$

где V — линейная скорость тока жидкости, D — диаметр сосуда, ρ — плотность жидкости, η — вязкость жидкости.

В местах разветвления сосудов завихрения образуются легче, поэтому вероятность сосудистых поражений (артериосклероза) в этих участках выше.

СЕРДЕЧНЫЙ ВЫБРОС И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРОВИ

Факторы, влияющие на сердечный выброс (это общее кол-во крови, выбрасываемой сердцем в единицу времени): эмоциональное возбуждение; заболевания и нарушения, которые уменьшают приток крови к сердцу по венам; расширение и ослабление сердца (например, при застойной сердечной недостаточности); физические нагрузки (увеличивает частоту сердечных сокращений и увеличивается ударный объем).



Рис. 14.7. Количество крови в различных отделах сосудистой системы в процентах от общего объема.

СИСТОЛИЧЕСКОЕ И ДИАСТОЛИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Систолическое давление - это максимальное давление, достигаемое в момент выброса крови из сердца в аорту.

Диастолическое давление - это давление, которое поддерживается в сосудах в момент расслабления сердца.

Пульсовое давление-это разница между систолическим и диастолическим давлением.

Систолическое давление - это максимальное давление, достигаемое в момент выброса крови из сердца в аорту.
Диастолическое давление - это давление, которое поддерживается в сосудах в момент расслабления сердца.

Пульсовое давление-это разница между систолическим и диастолическим давлением.

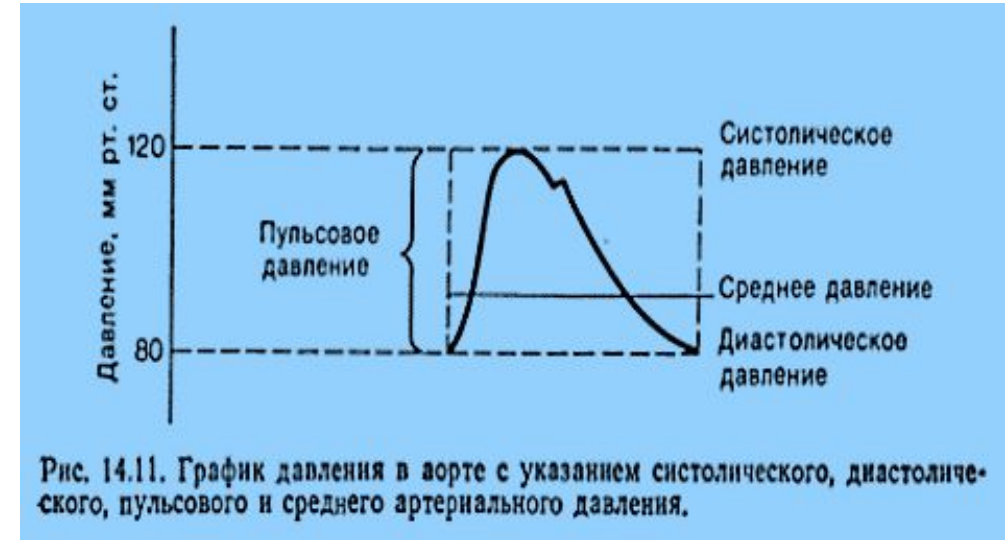


Рис. 14.11. График давления в аорте с указанием систолического, диастолического, пульсового и среднего артериального давления.

Сфигмоманометр - тонометр для неинвазивного измерения артериального давления (прибор для измерения артериального давления). Состоит из манжеты, надеваемой на руку пациенту, устройства для нагнетания воздуха в манжету и манометра, измеряющего давление воздуха в манжете.

ИЗМЕНЕНИЕ КРОВЯНОГО ДАВЛЕНИЯ

Среднее давление можно определить, измерив площадь, ограниченную кривой давления, и разделив ее на длину этой кривой:

$$\langle \text{Ср. Д} \rangle = \frac{\text{Площадь под кривой}}{\text{Длина кривой}}$$

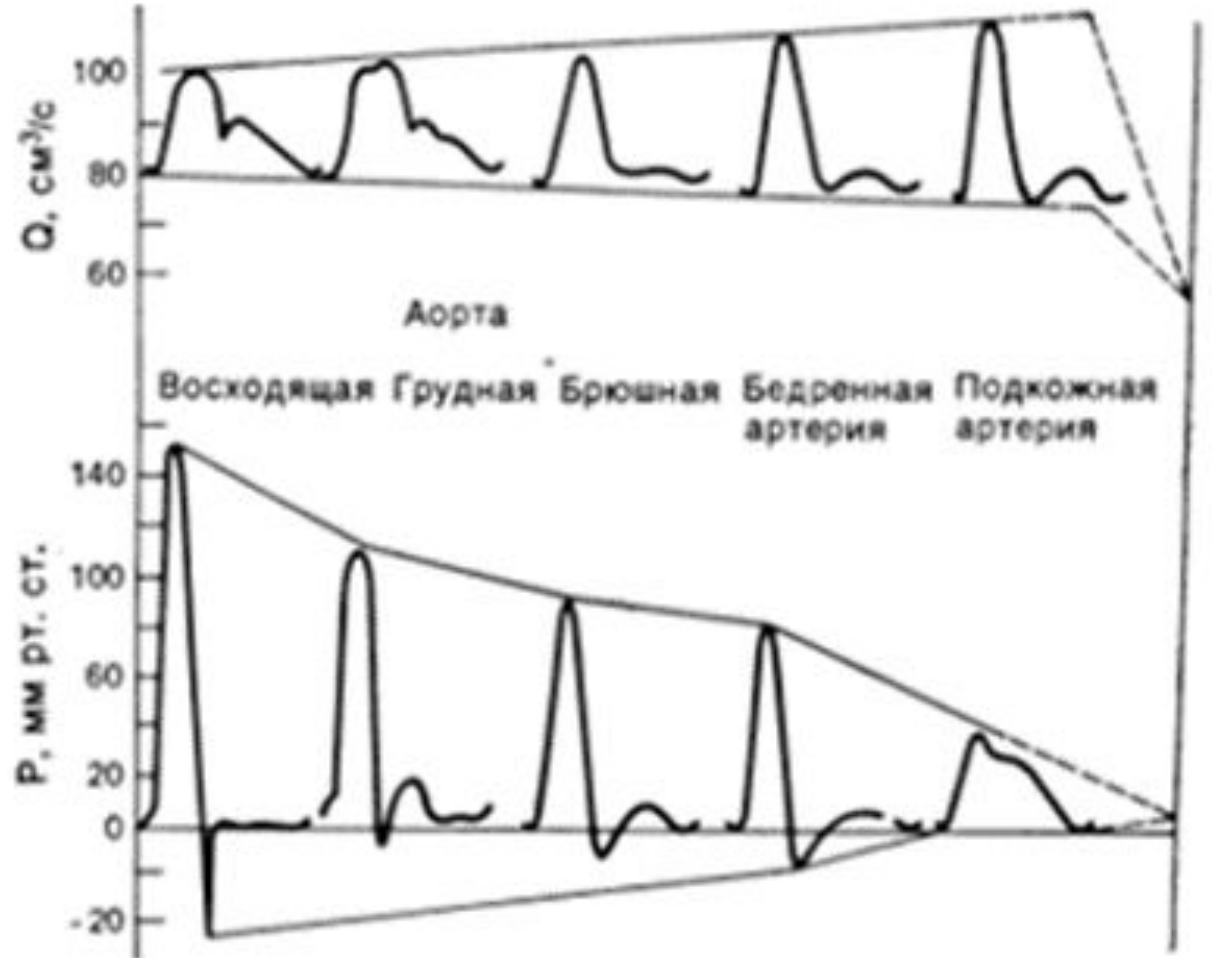


Рис. 14.12. Давление (P) и объемная скорость кровотока (Q) в центральных артериях и артериях нижних конечностей. Следует отметить, что по направлению к периферии амплитуда волн давления растет, а объемная скорость падает.

На рис. 14.14 приведены значения артериального давления у здоровых людей в возрасте от 15 до 60 лет и старше. С возрастом у мужчин как систолическое, так и диастолическое давление растет равномерно, у женщин же зависимость давления от воз-

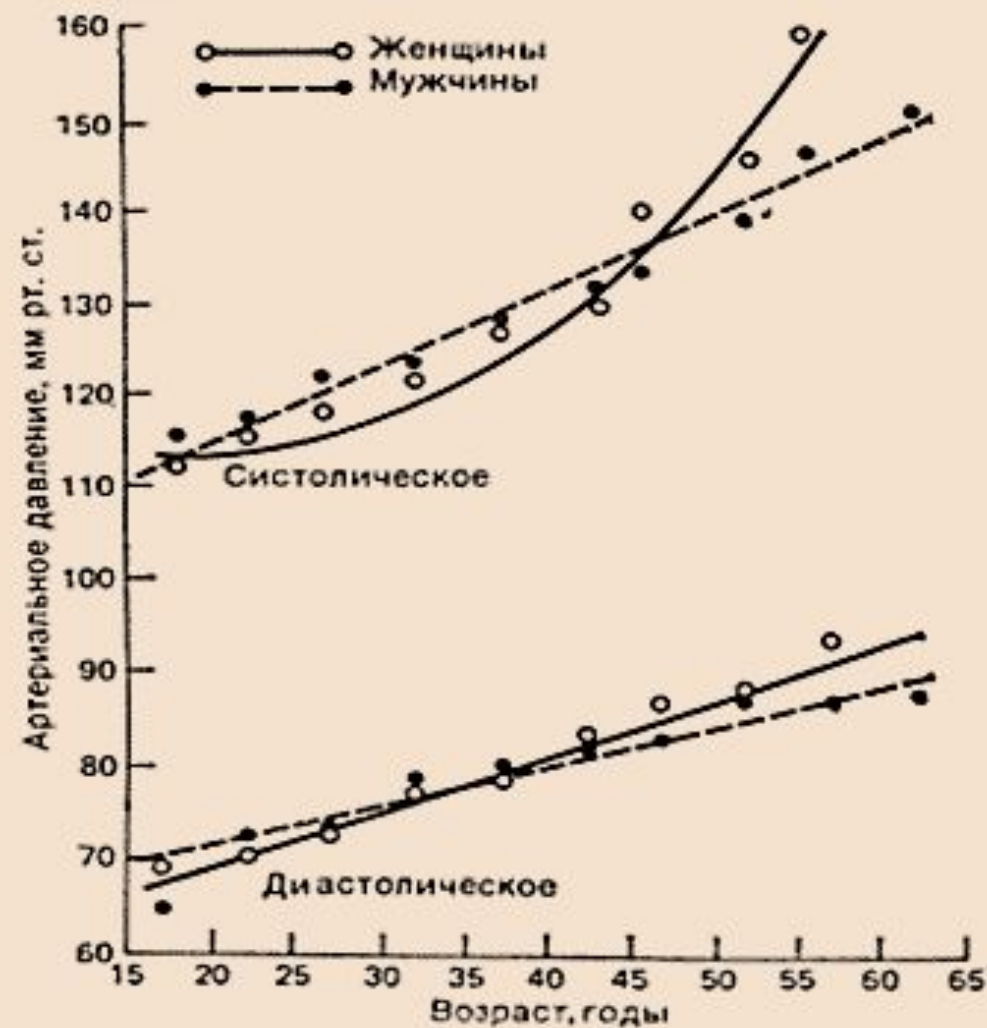
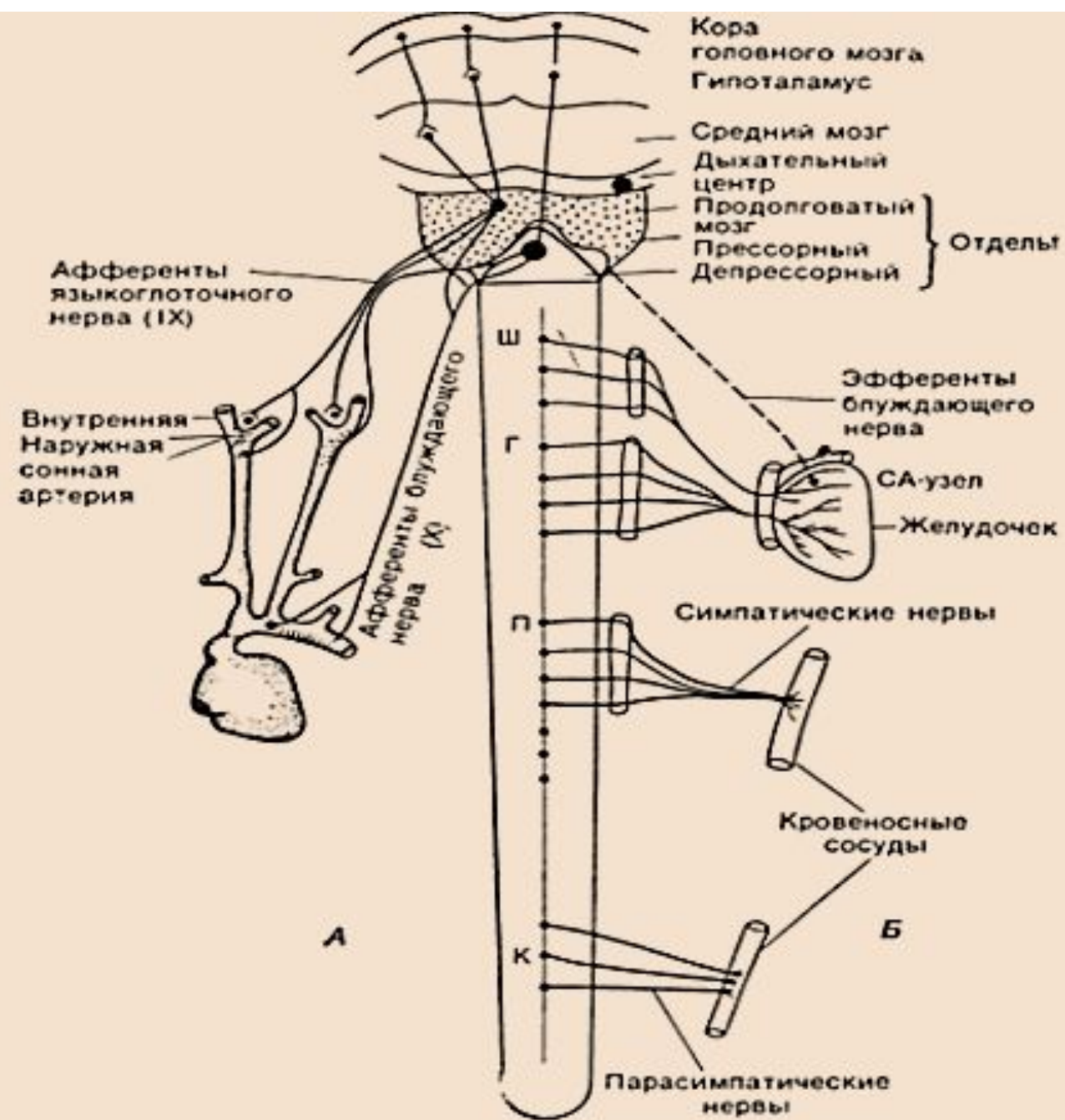


Рис. 14.14. Половые и возрастные различия в систолическом и диастолическом давлении. (Morris J. N. Modern Concepts of Cardiovascular Disease, 30, 635, 1961.)



НЕРВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ

Прессорецепторы - это чувствительные нервные окончания, воспринимающие изменения давления; относятся к механорецепторам.

Рис. 14.16. Прессорецепторы дуги аорты и каротидного синуса, воспринимающие артериальное давление, и афферентные волокна черепно-мозговых нервов (IX и X), передающие информацию от них в депрессорный отдел сосудодвигательного центра (расположен медиально в виде треугольника). Кроме этого изображены пути от коры и гипоталамуса, по которым также могут передаваться команды в депрессорный и прессорный отделы. А. Хеморецепторы каротидных и аортальных телец воспринимают изменение $p\text{CO}_2$ (повышение) и $p\text{O}_2$ (снижение) и через нервы (IX и X) передают эту информацию в прессорный отдел. Б. Импульсация от депрессорного и прессорного отделов идет — через спинной мозг и соответствующие симпатические ганглии и нервы и блуждающий нерв — к сердцу и — через нервы поясничного (П) и крестцового (К) отделов — к кровеносным сосудам. В части А изображены афферентные волокна обоих языкоглоточных нервов и одного блуждающего.

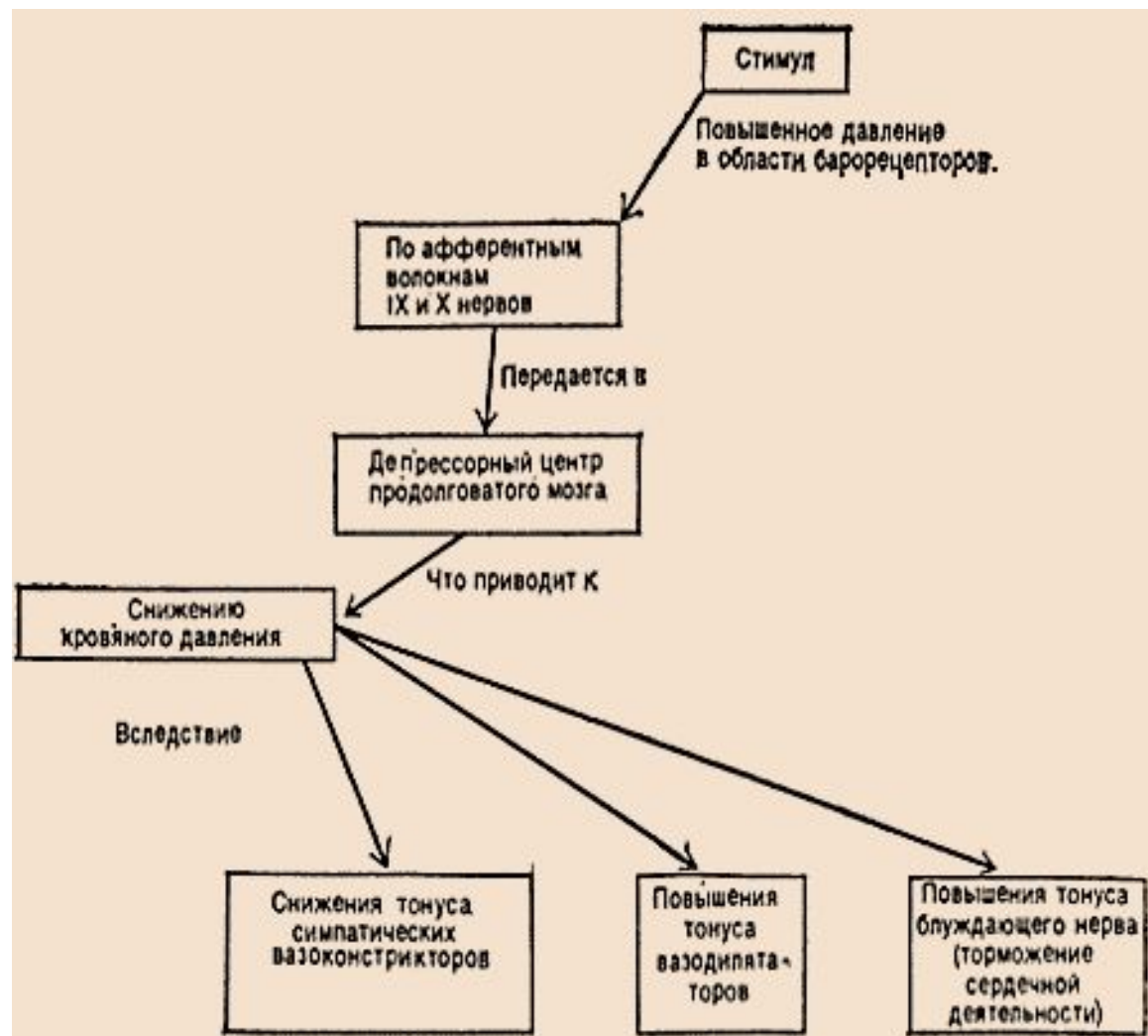


Рис. 14.17. Раздражители, приводящие к возбуждению депрессорного центра

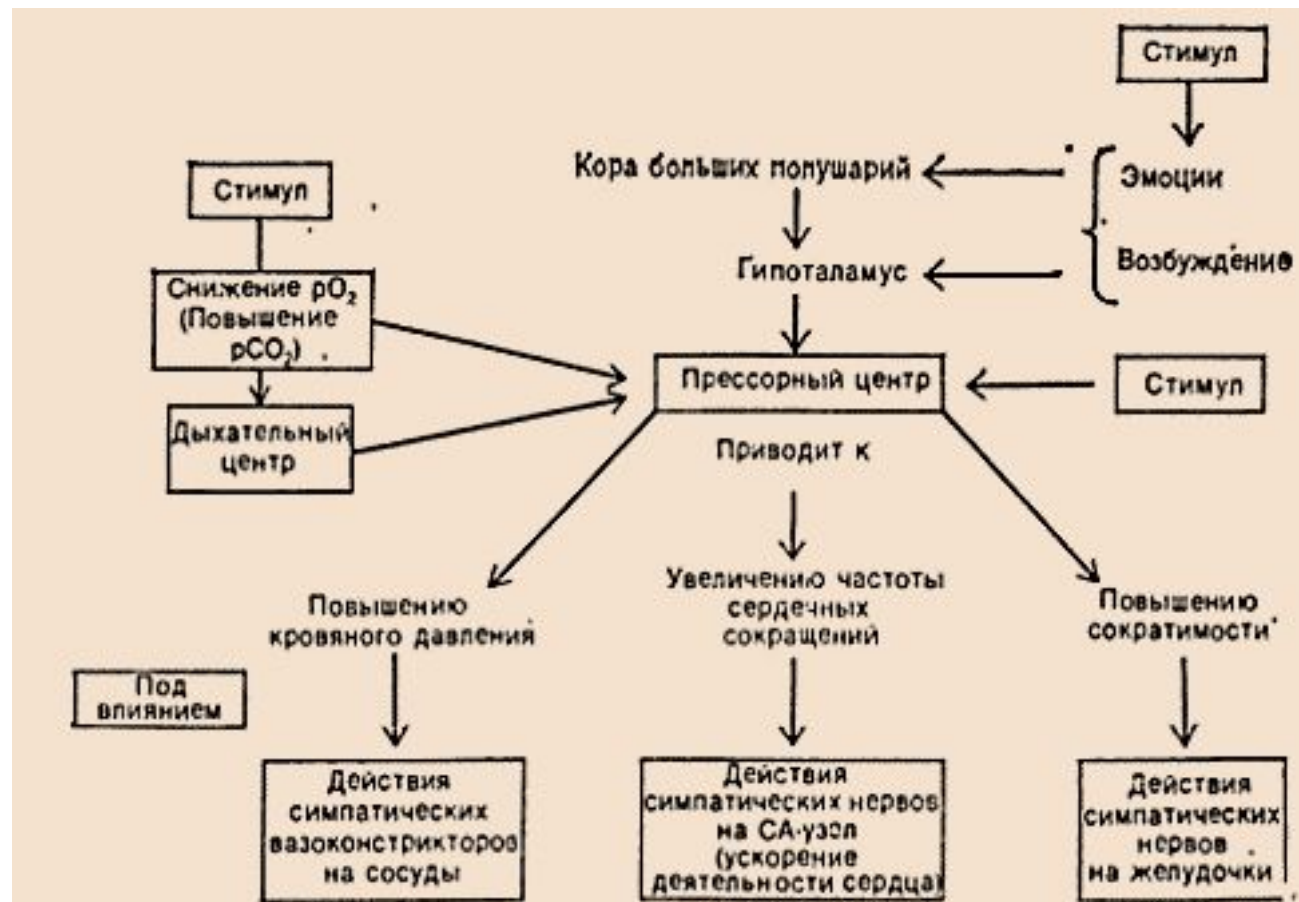


Рис. 14.18. Действие некоторых раздражителей на прессорный центр