

Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет»
Кафедра нормальной и патологической
физиологии

ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ

РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ : дыхательный центр, гуморальная и рефлекторная регуляция.

Лекция для студентов 2 курса

Лектор старший преподаватель Шилович Л. Л.

План лекции



- 1. Регуляция дыхания: значение хеморецепторов; рефлекторная и гуморальная регуляция.
- 2. Дыхательный центр. Различные уровни дыхательного центра.
- 3. Рефлекторная регуляция. Защитные дыхательные рефлексы. Координация дыхания и кровообращения.
- 4. Первый вдох новорожденного.
- 5. Особенности дыхания в разных условиях.
- 6. *Дыхание чистым кислородом.*

Дыхательная функция легких заключается в поддержании относительно постоянного уровня напряжения O_2 и CO_2 газовой состав имеет ведущее значение

Различают :

- Нормоксию** - нормальное содержание **кислорода** в организме
- Гипоксию** - недостаток **кислорода** в организме и в тканях
- Гипоксемию** - недостаток **кислорода** в крови
- Гипероксию** - увеличение напряжения **кислорода** в крови

- НОРМОКАПНИЯ** - нормальное **содержание CO_2** в организме
- ГИПЕРКАПНИЯ** - повышенное **содержание CO_2** в организме
- ГИПОКАПНИЯ** - сниженное **содержание CO_2** в организме



По частоте и глубине дыхание различают:

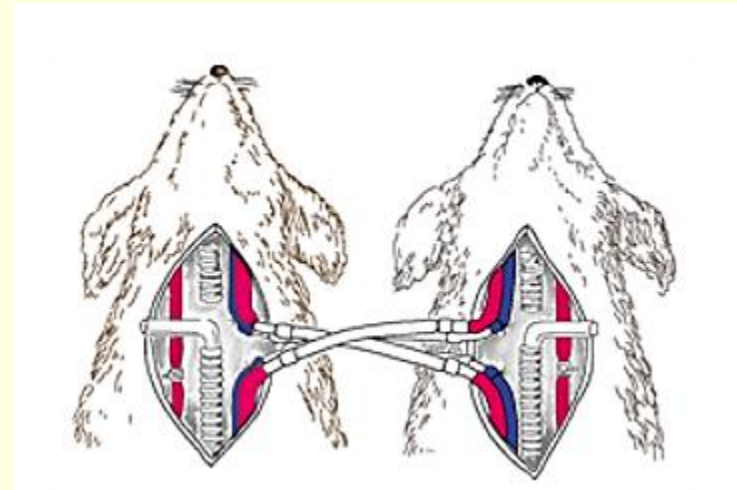
- **Эупноэ** – нормальная вентиляция в покое, сопровождающаяся субъективным чувством комфорта.
- **Гиперпноэ** – увеличение глубины дыхания, независимо от того, повышена или снижена частота дыхания.
- **Тахипноэ** – увеличение частоты дыхания.
- **Брадипноэ** – снижение частоты дыхания.
- **Апноэ** – остановка дыхания, обусловленная отсутствием стимуляции дыхательного центра (например: при гипокапнии).
- **Диспноэ** – неприятное субъективное ощущение недостаточности дыхания или затрудненного дыхания (одышка).
- **Ортопноэ** – выраженная одышка, связанная с застоем крови в легочных капиллярах в результате сердечной недостаточности. В горизонтальном положении это состояние усугубляется и поэтому лежать таким больным тяжело.
- **Асфиксией** – **удушье**, состояние, вызванное сочетанием гипоксии и гиперкапнией.

Опыт Фредерика

с перекрестным кровообращением
роль газового состава

у 1-ой асфиксия, у 2-ой гиперпное
апное

*У двух собак соединяли сонные
артерии и яремные вены
Голова 1-ой собаки получает
кровь от 2-ой, а голова 2-ой
собаки от 1-ой. Позвоночные
артерии перевязывают*



Пережатие трахеи у собаки «А» вызывает одышку у собаки «Б»

Гипервентиляция лёгких у собаки «Б» вызывает замедление дыхания у собаки «А»

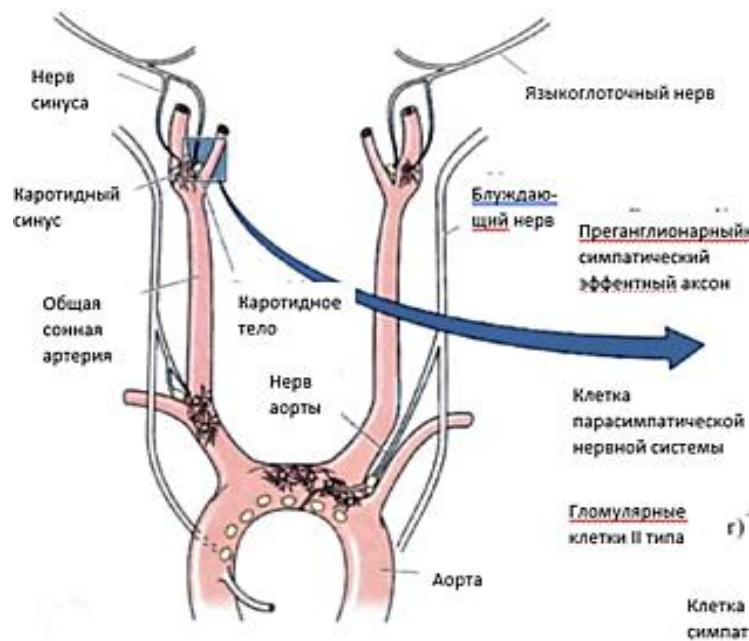
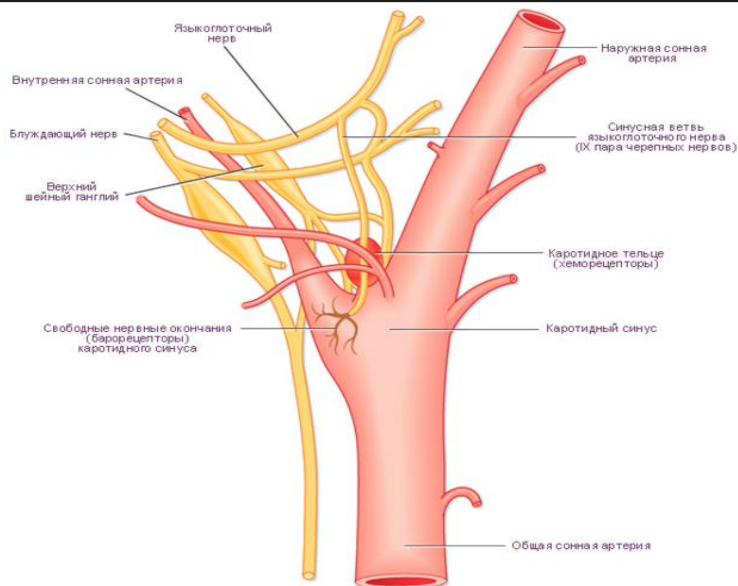
Рецепторы, регулирующие дыхание

1. Хеморецепторы (изменение O_2 , pH и CO_2)

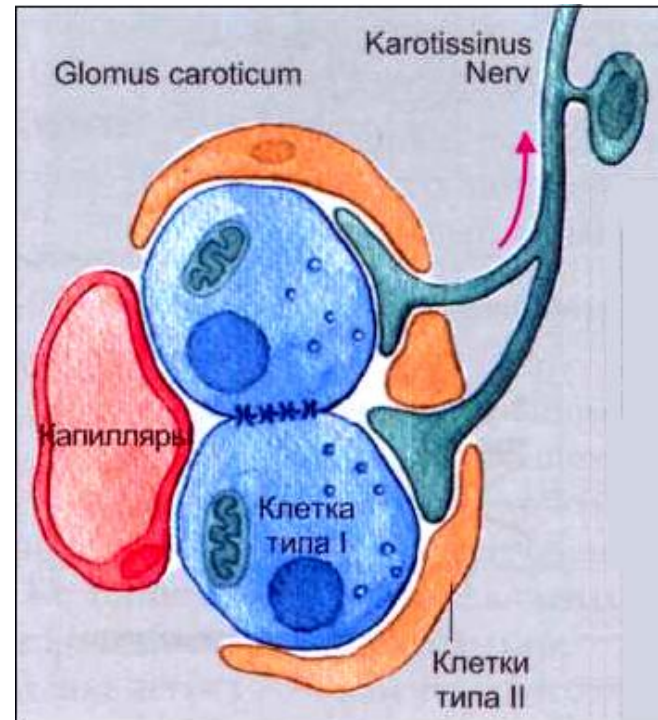
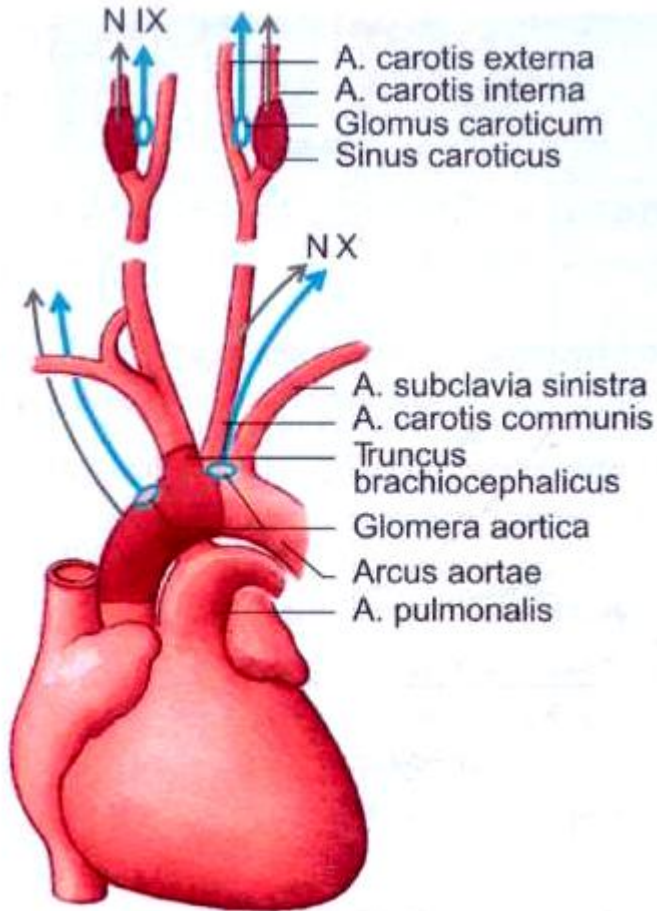
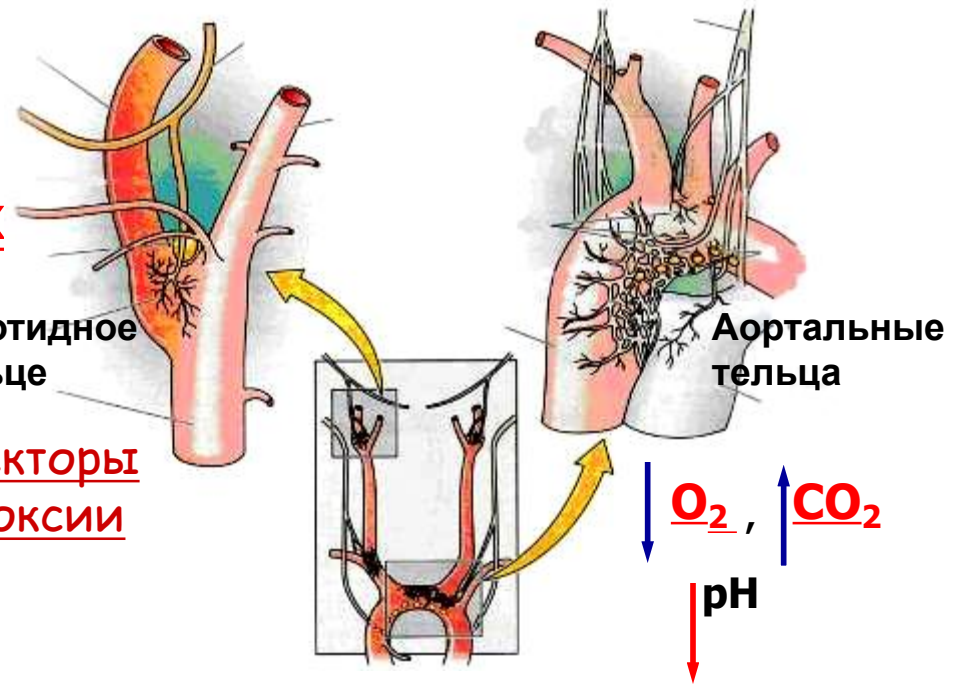
1.1. Периферические хеморецепторы (в каротидном и аортальных тельцах)

1.2. Центральные хеморецепторы (на вентральной поверхности

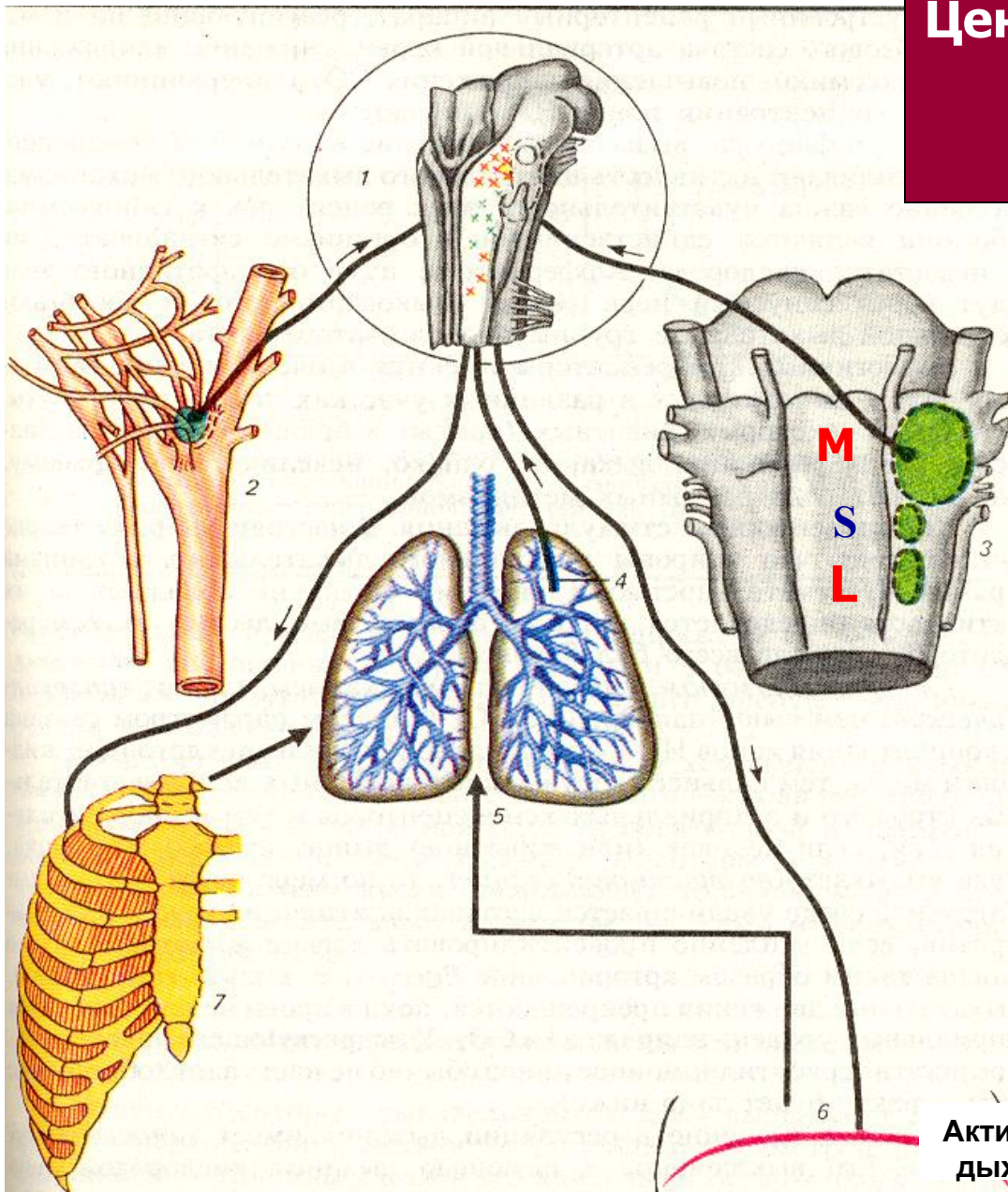
продолговатого мозга)



Периферические хеморецепторы расположены в аортальных и каротидных тельцах

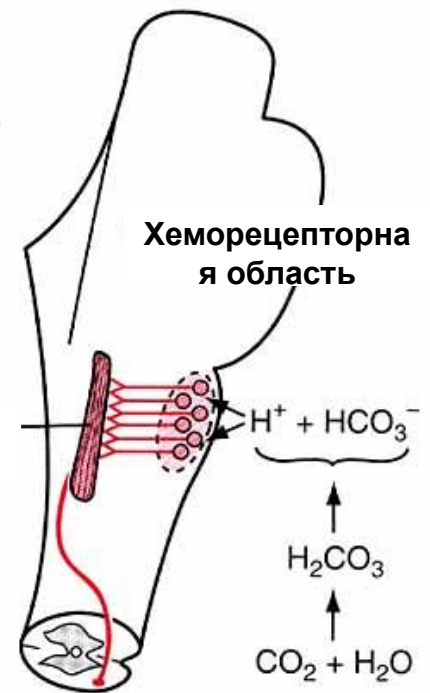


**Центральные (медулярные)
хеморецепторы**
pH ↓



Рецептивные поля

Активация дыхания



Нервный центр

В узком смысле **дыхательный центр** – совокупность взаимно связанных нейронов продолговатого мозга и варолиевого моста, обеспечивающих только периодичность дыхания (вдох-выдох). При повреждении этих клеток дыхание прекращается.

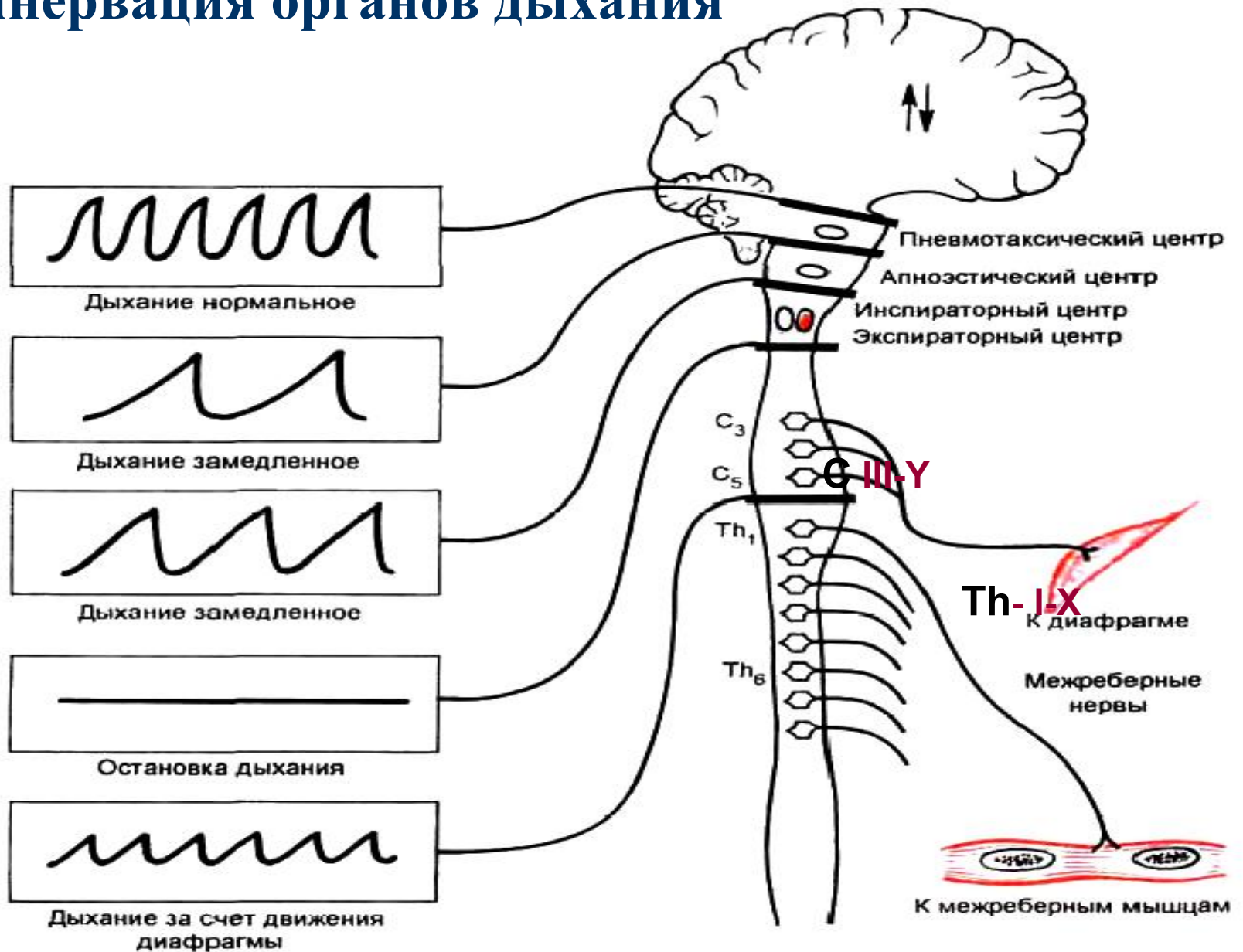
Нервный центр

в широком смысле:

дыхательный центр – сложное структурно-функциональное объединение нервных клеток, расположенных на различных уровнях ЦНС от спинного мозга (имеется в виду нейроны дыхательных мышц) до коры и обеспечивающих регуляцию внешнего дыхания, газообмен и транспорт газов в соответствии с потребностями организма в изменяющихся условиях внешней среды.



Иннервация органов дыхания



Th I-XII при этом инспираторные нейроны сосредоточены **во 2-6 грудных сегментах**, а экспираторные в **8-10 грудных сегментах**

Дыхательные нейроны в зависимости от соотношения активности с фазами вдоха и выдоха, а также по характеру разряда и времени активности выделяют:

- 1) “ранние” инспираторные нейроны – разряжаются с максимальной частотой в начале вдоха (расположены в вентролатеральной группе);
- 2) “полные” инспираторные нейроны, импульсная активность постоянна или постепенно угасает в течение вдоха (расположены в дорсомедиальной и вентролатеральной группах);
- 3) “поздние” инспираторные нейроны – эфферентные нейроны центра, иннервирующие мотонейроны мышц вдоха и активные в конце вдоха (расположены в дорсомедиальной и вентролатеральной группах);
- 4) постинспираторные нейроны – максимально активны в начале выдоха, (расположены в роstralной вентролатеральной группе);
- 5) экспираторные нейроны – эфферентные нейроны центра, иннервирующие мотонейроны мышц выдоха и активные при усиленном выдохе (расположены в каудальной вентролатеральной группе);
- 6) преинспираторные нейроны – интернейроны, блокирующие возбуждение экспираторных нейронов, разряжаются с максимальной частотой в самом конце выдоха



1. Активность ранних инспираторных нейронов

2. Активность полных “-”- “-”-

3. Активность поздних “-”- “-”-

4. Активность постинспираторных нейронов

5. Активность экспираторных нейронов; 6. Активность преинспираторных нейронов

Центральный паттерн дыхания имеет 3 фазы:

- **Инспираторная фаза** обусловлена последовательной активацией *ранних, полных и поздних инспираторных нейронов*, что сопровождается линейным нарастанием их суммарной активности. Уменьшение их активности (смена вдоха на выдох), как полагают, связано с активацией особых тормозных нейронов, возбуждение которых осуществляется от нейронов пневмотаксического центра моста и от рецепторов растяжения легких.
- **Постинспираторная фаза** пассивная экспирация обусловлена особыми *постинспираторными нейронами*, которые *тормозят как инспираторные, так и экспираторные нейроны*. Эти нейроны, вероятно, обеспечивают интервал времени, необходимый для выведения воздуха из легких за счет их эластической тяги;
- **Экспираторная фаза** при активной экспирации обусловлена активацией *экспираторных нейронов, иннервирующих мотонейроны мышц выдоха* соответствует второй половине выдоха.

В конце выдоха происходит возбуждение преинспираторных нейронов, которые тормозят импульсацию экспираторных нейронов (прекращают выдох).

ФОРМИРОВАНИЕ ДЫХАТЕЛЬНОГО РИТМА

Группы дыхательных нейронов

Генераторы
дыхательного ритма

- ✓ ранние инспираторные
- ✓ постинспираторные

Формирующие
Дыхательный цикл

- ✓ полные инспираторные
- ✓ поздние инспираторные
- ✓ экспираторные

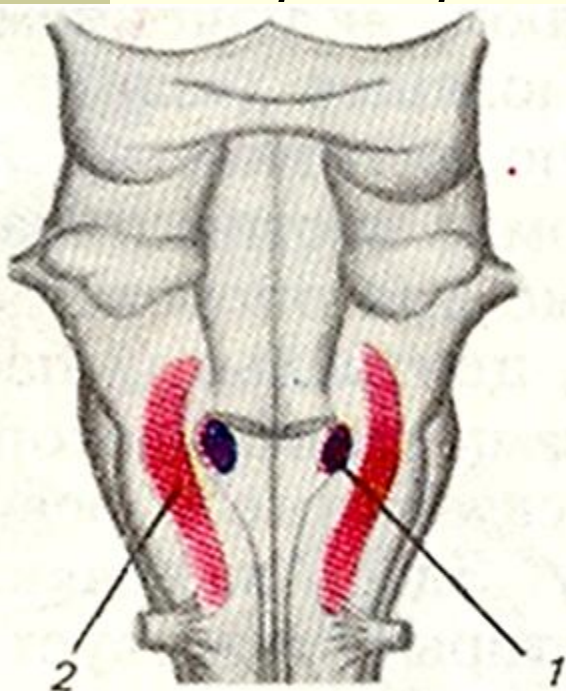
Дорсальная дыхательная группа (ДДГ) нейронов продолговатого мозга

Включает в себя симметричные области в дорсальной части продолговатого мозга, расположенные вентролатеральнее ядра одиночного пучка. Дыхательные нейроны этой группы относятся практически к инспираторному типу нейронов (только **5%** экспираторных нейронов) и представлены *поздним и*

полными инспираторными нейронами

ДДГ получает сенсорную информацию от периферии по *языкоглоточному и блуждающему нерву.*

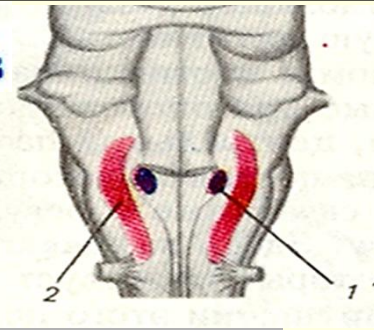
Эфферентно ДДГ связаны с дыхательными нейронами спинного мозга



Скопление инспираторных нейронов



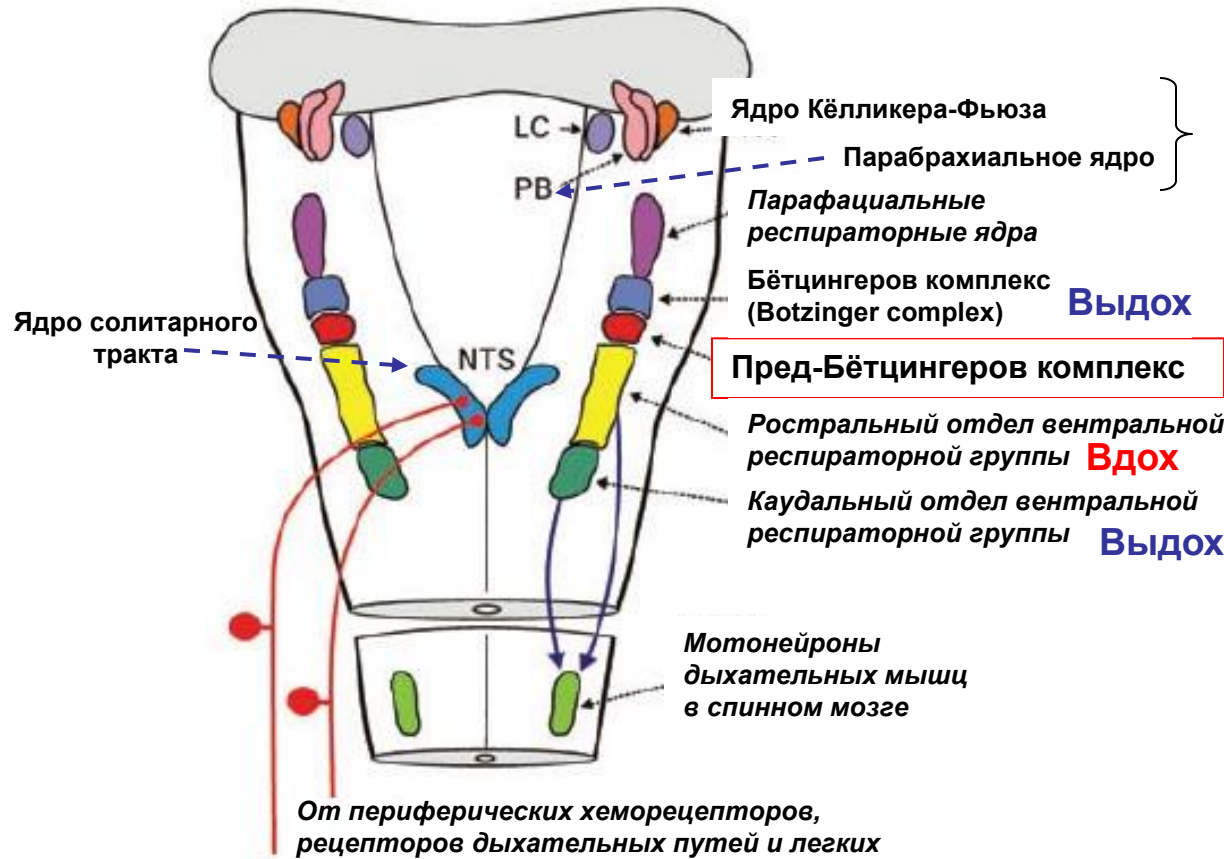
Вентральная дыхательная группа нейронов (ВДГ)



- расположена в вентральной части продолговатого мозга латеральнее обонятельного ядра блуждающего нерва **ВДГ** подразделяется на **роstralную и каудальную** части.
- **Ростральная** состоит из **ранних, полных, поздних инспираторных нейронов и постинспираторных**.
- **Ранние инспираторные и постинспираторные** нейроны **ВДГ** называются **проприобульбарными**, т.к. они не направляют свои аксоны за пределы ДЦ и контактируют только с другими типами нейронов. **Часть полных и поздних инспираторных нейронов** направляют свои аксоны к дыхательным мотонейронам спинного мозга. (Участие при спокойном дыхании).
- **Каудальная** часть **ВДГ** состоит только из **экспираторных нейронов** (40%-иннервирует межреберные мышцы, 60% мышцы брюшной стенки) (Участие в форсированном выдохе или затруднённом дыхании).
 - Выше ростральной группы нейронов расположен **Комплекс БЕТЦИНГЕРА - экспираторные нейроны**, которые связаны только с другими нейронами дыхательного центра - синхронизируют левую и правую половины ДЦ

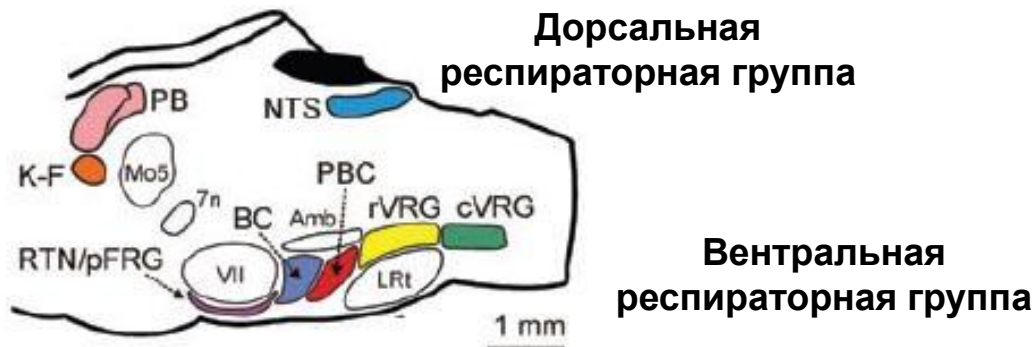
Разделение обязанностей между структурами дыхательного центра

Формирование паттерна дыхания, «подходящего» к конкретным условиям

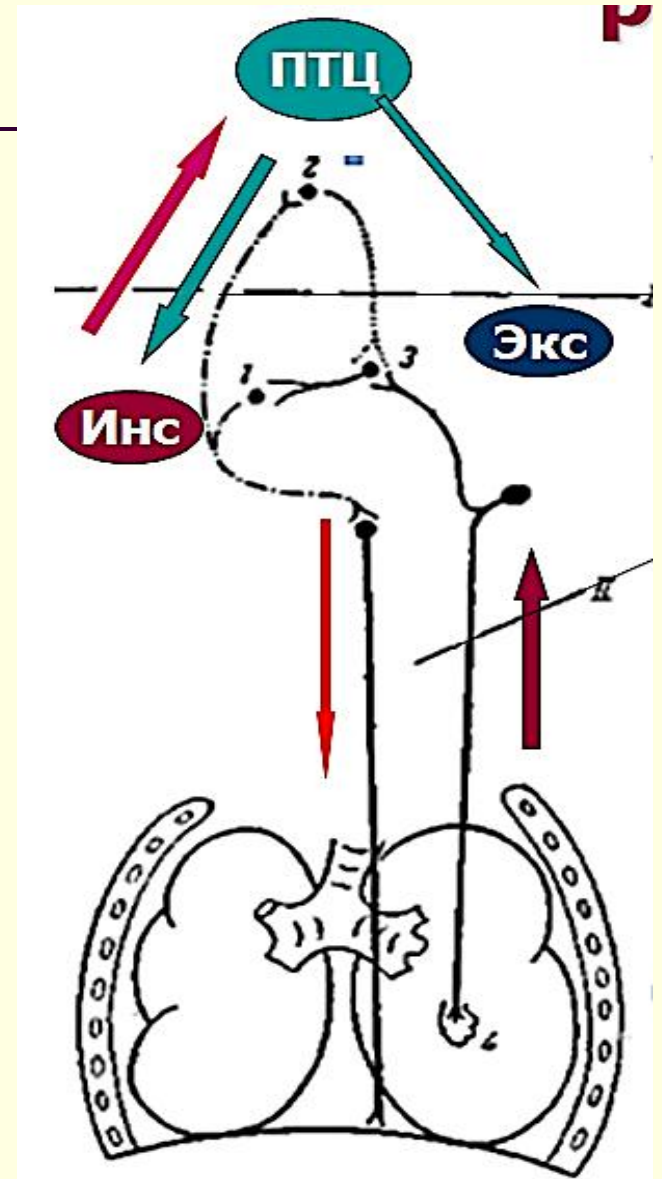
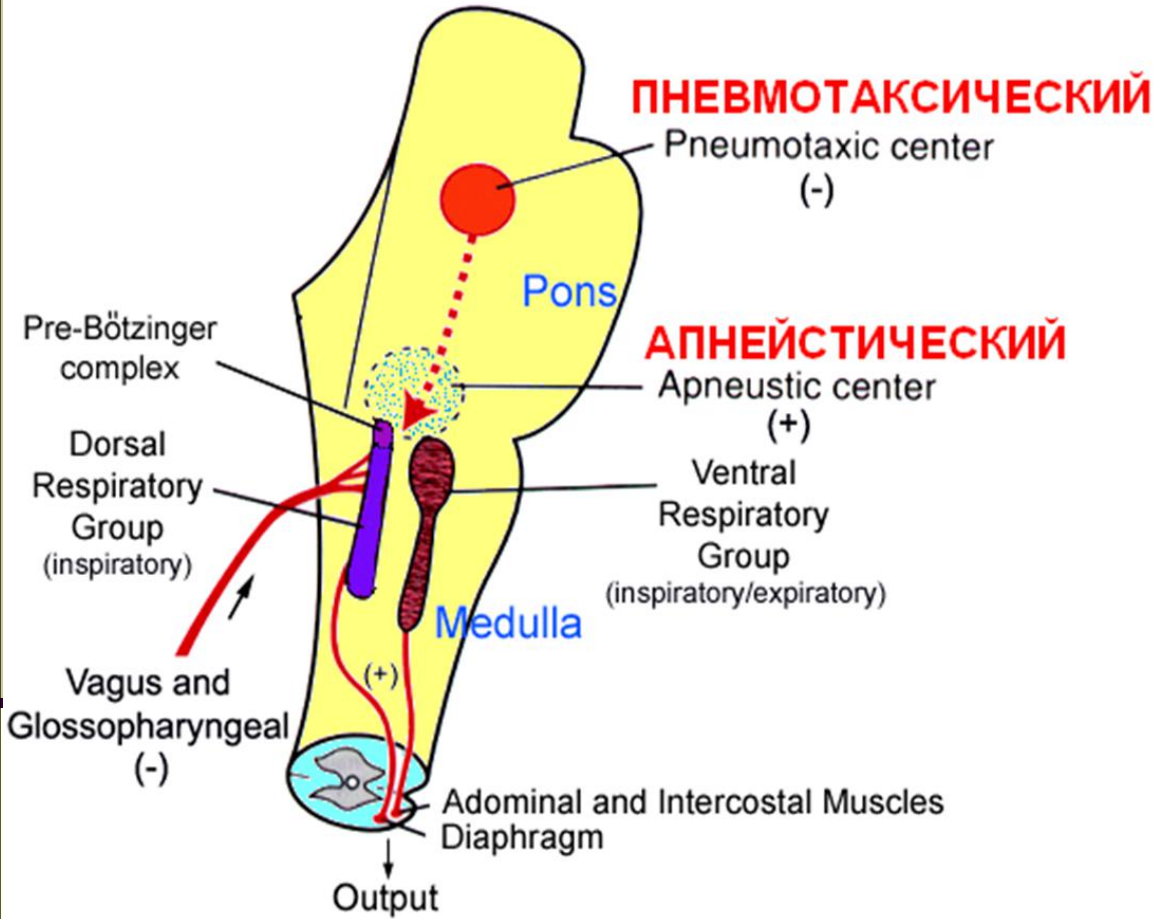


Пневмотаксический центр

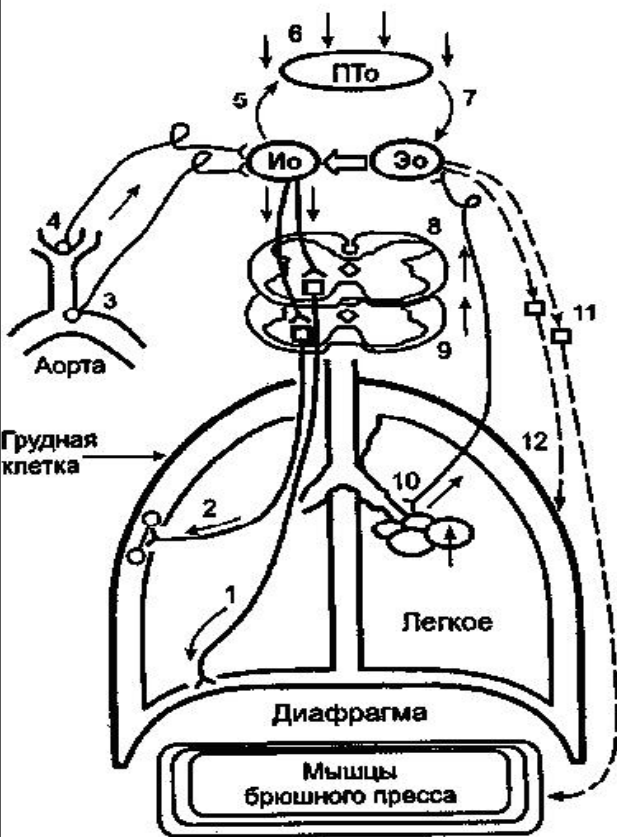
«Базовый вдох»



ВАРОЛИЕВ МОСТ



Нейроны варолиева моста



Нейроны **пневмотаксического центра** **реципрочно** связаны с нейронами **ДДГ** и **выключают фазу вдоха** (уменьшают период активности инспираторных нейронов и вызывают выдох, т.е. увеличивают ЧД).

На уровне нижней трети моста имеется область, называемая **апнейстический центр** - *оказывает постоянную стимуляцию инспираторных нейронов, способствует вдоху и пролонгирует его.*

В обычных условиях его тормозит пневмотаксический центр. При отделении от пневмотаксического центра и/или от тормозных волокон блуждающего нерва происходит остановка дыхания на вдохе (**апнейзис**).



СПИНАЛЬНЫЙ уровень организации дыхательного центра

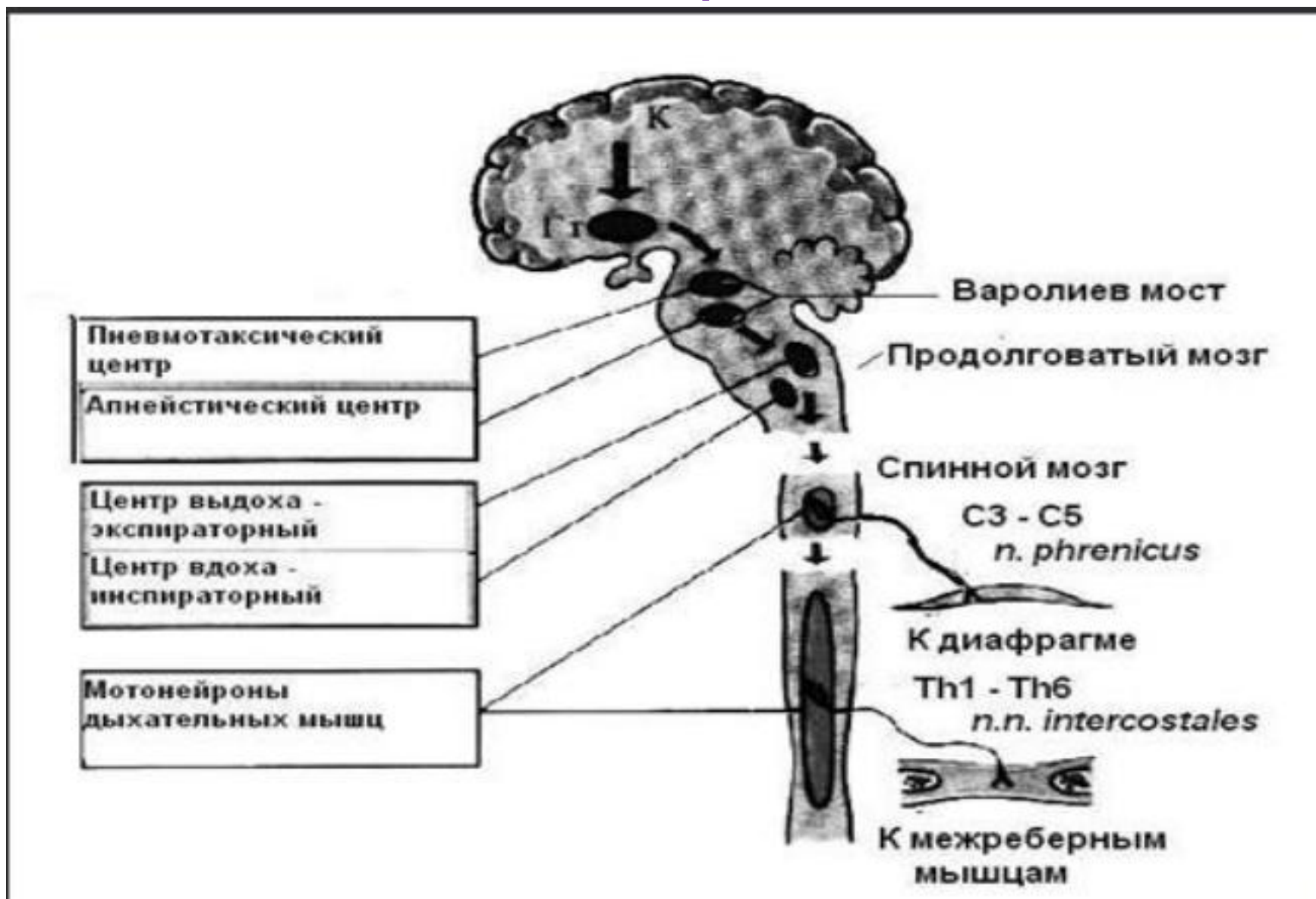


Схема строения дыхательного центра



- ❖ **Дыхательный центр** образован ядрами **продолговатого мозга и моста**.
- ❖ В нем происходит генерация дыхательного ритма, обеспечивающего координированную работу дыхательных мышц.
- ❖ Разрушение этих ядер (**Флуранс**) неизбежно ведет к необратимому прекращению дыхания.

Центральный регулятор

Кора больших полушарий

(ПРОИЗВОЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ)

Лимбическая система

Гипоталамус

Варолиев мост-ПТЦ

Продолговатый мозг

Сегменты спинного мозга

**Афферентные
импульсы**

**Эфферентные
импульсы**

**Рецепторы
(хеморецепторы,
лёгочные и др.)**

**Дыхательные
Мышцы**

1. *Воздухоносные пути и легкие.*
2. *Грудная клетка и мышцы*

**Сенсорный
вход**

**Механическая
работа**

**Поток воздуха в воздухоносных путях и
обмен O₂ и CO₂ через альвеолярно-капиллярную мембрану
Глубина и ЧД**

Гипоталамус

- Осуществляет связь дыхания с **о б м е н о м в е щ е с т в и** и **терморегуляцией** в организме.
- Р е г у л и р у е т д ы х а н и е д л я обеспечения **поведенческих актов**, направленных на удовлетворение **биологических потребностей** (агрессивно-оборонительной, пищевой, половой и др.).



Лимбическая система

- Осуществляет *связь дыхания с вегетативной регуляцией внутренних органов и эмоциями.*



Кора больших полушарий

- По пирамидным путям, минуя дыхательный центр, оказывает влияние непосредственно на спинальные моторные центры дыхательных мышц (*поэтому при некоторых поражениях пирамидных путей произвольное дыхание сохранено, а устная речь, произвольный кашель нарушены*).
- Осуществляет **условно-рефлекторную и произвольную регуляцию дыхания.**
- **Регулирует дыхание для обеспечения социальных форм поведения.**
- **Регулирует дыхание при образовании речи.**



Спонтанная активность нейронов дыхательного центра начинает появляться к концу периода внутриутробного развития. Этот же механизм поддерживает вентиляцию легких у новорожденных в первые дни после рождения



Патологические типы дыха

- **1. Чейн-Стокса.** При гипоксии, во сне, при отравлениях, при нарушении функции почек. Нарастание вентиляции легких, далее остановка дыхания. Снова дыхание.
- **2. Биота.** При непосредственно пораженном ДЦ, при повреждении головного мозга, повышении внутричерепного давления. Характеризуется чередованием равномерных ритмических дыхательных движений и длительных (до полуминуты и более) пауз.
- **3. Куссма'уля.** При снижении рН крови.

Дыхание глубокое, редкое, шумное.

- **4. Гаспинг** проявляется судорожными вдохами-выдохами. Оно возникает при резкой гипоксии мозга или в период агонии.

5. Атактическое дыхание, т.е. неравномерное хаотическое, нерегулярное дыхание.

Наблюдается при сохранении дыхательных нейронов продолговатого мозга, но при нарушении связи с дыхательными нейронами варолиева моста.

6. Апнейстическое дыхание : длительный вдох, короткий выдох и снова – длительный ВДОХ.

1	Эйпноэ	
2	Гиперпноэ	
3	Апноэ	
4	Дыхание Чейна – Стокса	
5	Дыхание Биота	
6	Апнейзис	
7	Гаспинг	

Различные формы дыхаия в норме (1, 2, 3) и патологии (4, 5, 6, 7)
(по В.Ефимову и В.Сафонову с изм.)

РЕФЛЕКТОРНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ

- механорецепторы легких
- ирритантные рецепторы
- рецепторы верхних дыхательных путей
- J-рецепторы
- проприорецепторы дыхательных мышц
- барорецепторов аорты и каротидного синус.



Рецепторы растяжения легких

Формируют Рефлекс Геринга – Брейера

- Расположены в **гладких мышцах трахеи и бронхах** – они реагируют на увеличение объема легких при **вдохе** (адекватным раздражителем для них является растяжение мышечных волокон во время вдоха) ;
- **Механорецепторы легких регулируют частоту и глубину дыхания**
- Медленно адаптируются.
- с ДЦ связаны миелинизированными волокнами **n. Vagus (40м/с)**

Классификация механорецепторов легких

- **Статические** частота импульсов от этих рецепторов линейно зависит от объема легких
- **Динамические** скорость возбуждения зависит от скорости расправления лёгких.
- **Низкопороговые** (вдох,выдох)
- **Высокопороговые** (вдох)



Механорецепторы с различным порогом раздражения

- С **высоким порогом** генерируют импульсы только при вдохах, когда объем легких увеличивается сверх функциональной остаточной ёмкости.
Низкопороговые остаются активными и во время пассивного выдоха.
- Если достигнутый объем легких длительно удерживается на постоянном уровне, то активность рецепторов растяжения мало изменяется — **обладают медленной адаптацией.**



Ирритантные рецепторы

Располагаются в эпителии и субэпителиальном слое воздухоносных путей. Особенно их много в *области корней легких*. Они обладают свойствами как **механо-** так и **хеморецепторов**

- **механо - Ирритантные рецепторы** Возбуждаются при очень сильном уменьшении объема легких. Импульсы в афферентных волокнах возникают пачками только в течение короткого времени во время изменения объема легких.

Ирритантные механорецепторы принимают участие в возникновении своеобразного рефлекса (**парадоксальный рефлекс Хеда**), так называемого **рефлекса "вздоха"**. В состоянии покоя человек примерно **3 раза в час** глубоко вздыхает. Вздох возникает в результате нарушения равномерности вентиляции легких и их растяжимости. Это приводит к раздражению ирритантных рецепторов. И на один из очередных вдохов наслаивается "вздох", что приводит к расправлению легких и восстановлению равномерности их вентиляции.

В качестве раздражителей ирритантных **хеморецепторов** могут быть:

- пылевые частицы;
- слизь;
- пары едких веществ (табачный дым, аммиак и др.);
- биологически активные вещества, образующиеся в стенках воздухоносных путей (гистамин).

Раздражение может сопровождаться:

- *возникновением кашля;*
- *неприятным ощущением типа жжения или першения;*
- *усилением инспираторной активности;*
- укорочению фазы выдоха;
- увеличению частоты дыхания;
- рефлекторной бронхokonстрикции.



• *Кашлевой рефлекс.*

В ы з ы в а е т с я
раздражением **ирритантных**
рецепторов глотки и нижележащих
дыхательных путей, особенно
области бифуркации трахеи
характеризуется серией
выдыхательных движений, на
фоне **суженной голосовой щели,**
после вдоха; затем голосовые
связки раскрываются и
воздушная струя с большой
скоростью проходит через
дыхательные пути и открытый
рот ; его цель – удаление
раздражающего агента из
дыхательных путей;



Рефлекторные реакции с рецепторов дыхательных путей

Расположены в носу, гортани, носоглотке, ротовой части глотки до голосовых связок.

Реагируют как на механические, так и на химические стимулы вызывая кашель (при раздражении ротовой части глотки до голосовых связок), чихание и бронхоспазм.

Раздражителями могут быть также температура, влажность воздуха и перепады давления в дыхательных путях.

Возбуждение передают по *тройничному (V), обонятельному (I), языкоглоточному (IX), блуждающему (X) нервам.*

При раздражении рецепторов верхних дыхательных путей возникает ряд **защитных рефлексов:**

- **Рефлекс нырляшика** вызывается попаданием жидкости в носовые ходы и проявляется остановкой дыхания **апноэ**, препятствуя прохождению жидкости в ниже лежащие дыхательные пути
- **Рефлекс чихания** возникает при раздражении рецепторов слизистой носа в виде выдоха на фоне раскрытой голосовой щели; обеспечивает удаление из верхних дыхательных путей пыли, слизи и других раздражающих агентов, форсированный выдох осуществляется преимущественно через носоглотку, после короткого глубокого вдоха; одновременно усиливается слёзообразование и слезная жидкость по слезно-носовому каналу поступает в полость носа и увлажняет ее стенки. Все это способствует очищению носоглотки и носовых ходов.
- **Рефлекс Кречмера** резкий спазм голосовой щели и прекращение дыхания при вдыхании паров раздражающих веществ. Проводниками сигнала являются обонятельный, тройничный и языкоглоточный нервы.

Юкстаальвеолярные рецепторы (J-рецепторы)

- **Лёгочные J- рецепторы** расположены в интерстиции альвеол в месте контакта их с капиллярами. Связаны с ДЦ тонкими немиелинизированными С-волоконнами, реагируют на **токсические вещества, интерстициальный отёк, давление жидкости в межклеточном пространстве легких**
- **Наблюдается бронхоспазм и вагусные влияния на сердечно-сосудистую систему: снижение АД и брадикардия.**
- **Возбуждение от рецепторов передается по волокнам блуждающего нерва, вызывает **задержку дыхания, отдышку и брадипноэ** с последующим развитием частого поверхностного дыхания.**
- **Пневмония**
- **Отек легких**
- **Эмболия мелких сосудов легких, застой крови в малом круге**



Проприорецепторы дыхательных мышц

- **Проприорецепторы** (в том числе мышечные веретена) **Участвуют в компенсации дыхательных нагрузок:**
- Локализуются в дыхательной мускулатуре, преимущественно в межреберных мышцах;
- Усиливают сокращение дыхательной мускулатуры при увеличении сопротивления дыханию, ослабляют — при уменьшении сопротивления дыханию.



Координация дыхания и кровообращения

Барорецепторные зоны сосудов — дуги аорты, каротидного синуса..

Повышение сосудистого тонуса и усиление сердечной

деятельности, соответственно, сопровождаются **усилением**

дыхательной функции. Например, при физической или эмоциональной на-грузке у человека обычно имеет место согласованное повышение минутного объема крови в большом и малом круге, артериального давления и легочной вентиляции. Однако,

резкое повышение артериального давления вызывает

возбуждение синокаротидных и аортальных барорецепторов, которое приводит к **рефлекторному торможению дыхания.**

Понижение артериального давления, например, при кровопотере, приводит к **увеличению легочной вентиляции**, что вызвано, с одной стороны, снижением активности сосудистых барорецепторов, с другой — возбуждением артериальных хеморецепторов в результате местной гипоксии, вызванной уменьшением в них кровотока.

Учащение дыхания возникает при **повышении давления крови в малом круге** кровообращения и при **растяжении левого предсердия.**

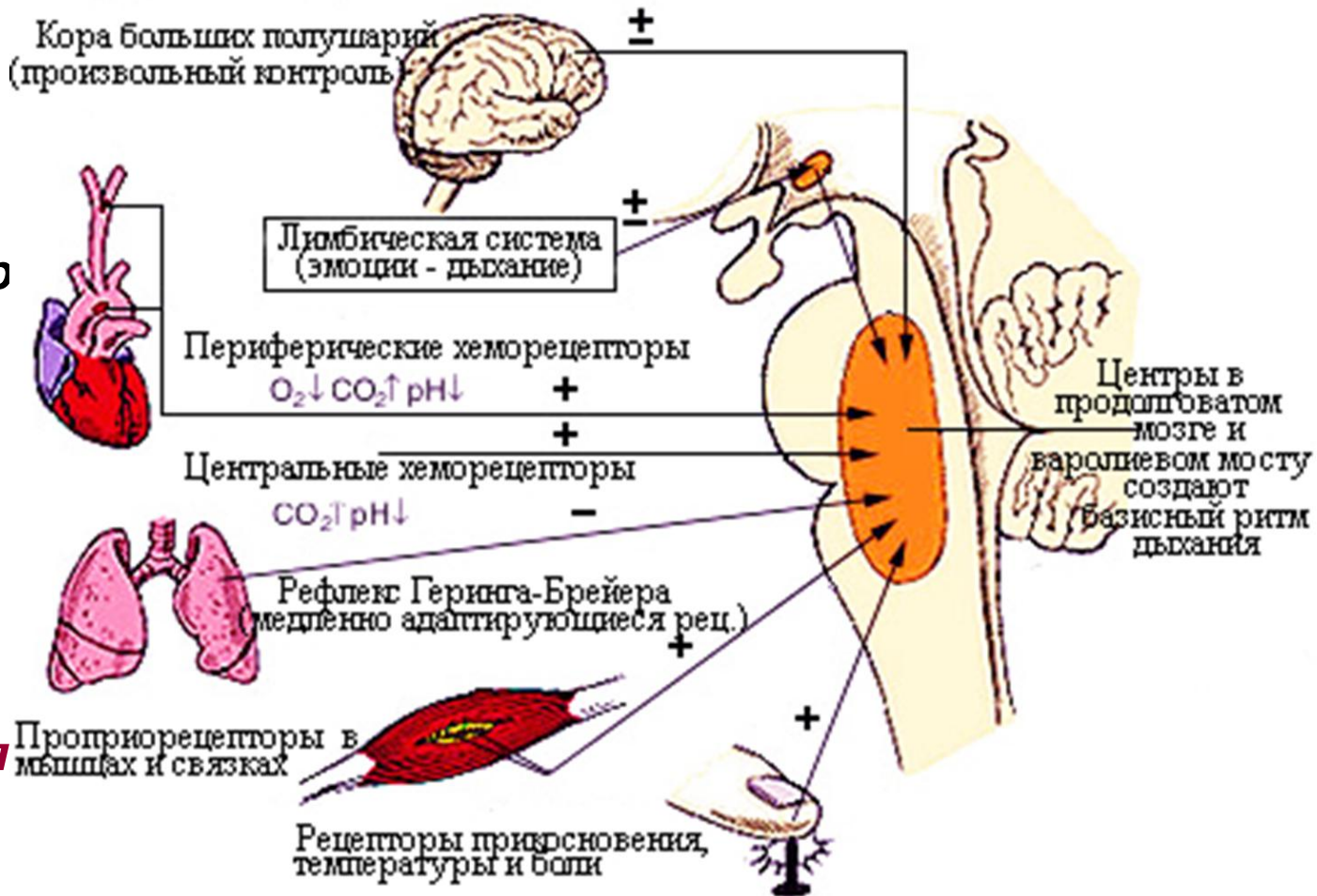
Неспецифические факторы

Возбуждают дыхательный центр

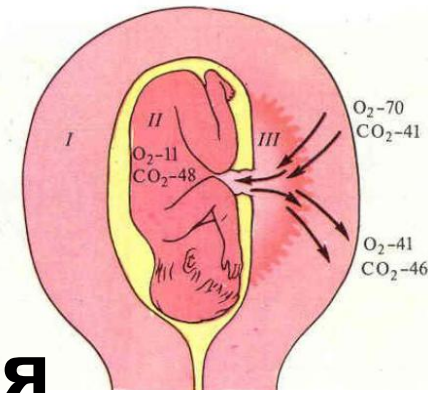
- **Сильные холодовые или тепловые воздействия на кожу**
- **Физическая нагрузка**
- **Повышение Артериального давления**
- **Гормоны - катехоламин ы и прогестерон**

Восходящая (в сторону коры) и нисходящая импульсация за счет структур продолговатого мозга

- **Боль**
- **Энкефалины, эндорфины снижают частоту дыхания**



Первый вдох новорожденного



- Стимулятором вдоха являются гуморальные факторы:
- Перезатие пуповины
- *Увеличение pCO_2 - гиперкапния;*
- *Снижение pH - ацидоз;*
- *Недостаток кислорода в крови - гипоксемия*



Дыхание при мышечной работе

При быстрой ходьбе - до 2,5 л воздуха, при тяжелой физической работе до 4 л в 1 минуту. Одновременно повышается образование CO_2 и кислых продуктов.

Вентиляция легких повышается пропорционально затратам энергии (может достигать 120-150 л в минуту).

Продолжительная работа обеспечивается энергией и O_2 в аэробных условиях (аэробная производительность). Это примерно 2-3 л/минуту. Для увеличения потребления O_2 в мышечной системе необходимо время, поэтому при физической работе в организме формируется **кислородный долг**.

Мерой кислородного долга является количество **молочной кислоты**, накапливающейся в организме, и степень ацидоза, вызываемого ею. В этой фазе включаются хеморецепторы. Возрастание образования CO_2 работающими мышцами при повышении вентиляции легких обеспечивает содержание CO_2 в крови без изменений. Раздражение хеморецепторов усиливается действием молочной кислоты, снижающей рН крови. Значение имеет и повышение температуры тела. Она через гипоталамус увеличивает частоту дыхания. Затем усиленная вентиляция легких приводит к удалению избытка CO_2 и повышению рН - устанавливается равновесие между приходом и расходом O_2 (второе дыхание у спортсменов).

Происходит постепенное погашение кислородного долга, т. е. разности между общим количеством O_2 , требуемым для покрытия энергозатрат (кислородного запроса) и того его количества, которое фактически было потреблено за время работы.

Дыхание при пониженном атмосферном давлении.

наблюдается у альпинистов, при разгерметизировании кабины пилота, у парашютистов.

Следствием является **гипоксия** в результате понижения pO_2 .

Виды гипоксии:

- ✦ **Дыхательная** - пониженное содержание O_2 во вдыхаемом воздухе (поражение легочной ткани при пневмонии, расстройство регуляции дыхания).
- ✦ **Циркуляторная** (недостаточное притекание крови к ткани или органу).
- ✦ **Анемическая** (недостаток крови в органах, повышенное образование $MtHb$, карбоксигемоглобина).
- ✦ **Гистотоксическая** (невозможность тканями использовать O_2 , например, при отравлении синильной кислотой).





Эффекты гипоксии можно разделить на 4 зоны

1. Нейтральная зона (до 2000 м) - физиологические функции практически не страдают.

2. Зона полной компенсации (2000-4000 м). Даже в покое повышается ЧСС, систолический объем

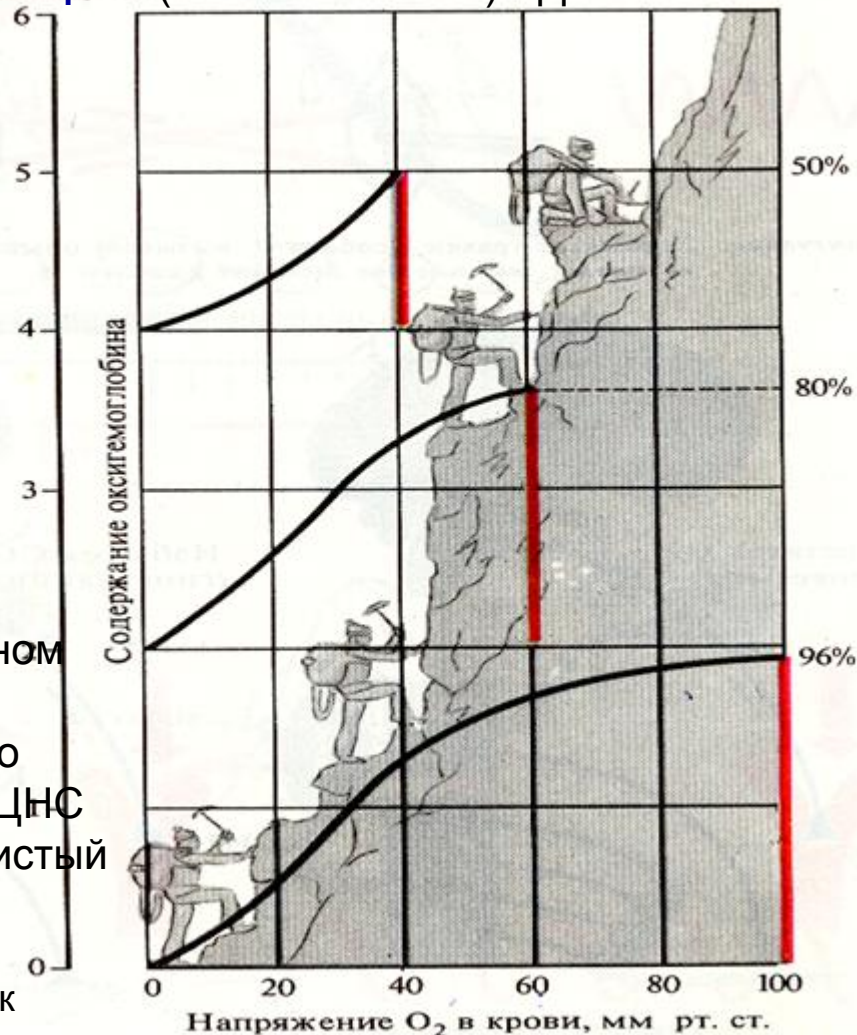
повышается, увеличиваются МОК и МОД. Физическая и умственная работоспособность несколько снижается.

3. Зона неполной компенсации или зона опасности (**4000-7000 м**). Достигается порог безопасности (4000). Появляются мышечные подергивания, снижается АД, сознание затуманивается. Снижается работоспособность, нарушается способность к принятию решений и реакциям.

4. Критическая зона (> 7000 м). pO_2 в альвеолярном воздухе становится ниже критического порога (30-35 мм Hg). Потеря сознания, судороги. Если это недолго - то обратимо. Если долго - нарушения в ЦНС и смерть. В условиях гипоксии появляется прерывистый тип дыхания.

7-8 км - опасно для большинства людей.

8,5-9 км - предел, выше которого без вдыхания O_2 человек не может подняться.



Длительное воздействие пониженного атмосферного давления вызывает акклиматизацию к недостатку кислорода

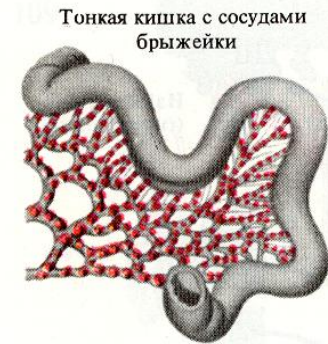
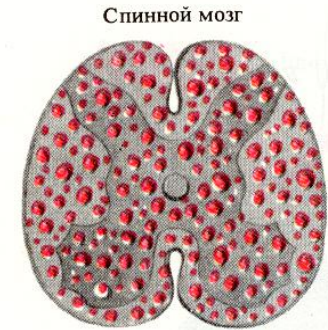
1. **Ослабление реакции** дыхания на снижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе.
2. **Повышение содержания в эритроцитах гемоглобина F**, обладающего значительно большим по сравнению с гемоглобином A сродством к кислороду.
3. **Стимуляция эритропоэза** (костный мозг, селезенка), приводящая к увеличению числа эритроцитов в крови.
4. **Повышение уровня 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах**, что уменьшает сродство гемоглобина к кислороду и улучшает его отдачу тканям.
5. **Повышение плотности кровеносных капилляров** в тканях, увеличение их длины и извилистости.
6. **Мобилизация внутриклеточных локальных механизмов**, например, белков теплового шока и антиоксидантных ферментов, повышающих устойчивость клеток к гипоксии.
7. **Увеличение содержания миоглобина** в скелетных мышцах и миокарде, количества митохондрий и их энергетической эффективности.



Дыхание при высоком атмосферном давлении

- Во время водолазных и кессонных работ человек находится под давлением выше атмосферного на 1 атм. на каждые 10 м погружения. В этих условиях увеличивается количество газов, растворенных в крови, и особенно азота.

- После погружения на глубину важно медленно возвращаться к нормальному давлению, т.к. азот не может быстро удаляться через лёгкие. Пузырьки азота могут закупорить сосуды
- – газовая эмболия, развивается кессонная болезнь.
- Декомпрессия – медленный переход к нормальному атмосферному давлению, например, при погружении
- на 40 м время подъёма должно составлять 40 мин.



Газовая эмболия.

При быстром подъеме водолаза на поверхность

- физически растворенные в крови и тканях газы не успевают выделиться из организма и образуют пузырьки - кровь "закипает".
- Кислород и углекислый газ быстро связываются кровью и тканями. Особую опасность представляют пузырьки азота, которые разносятся кровью и закупоривают мелкие сосуды (газовая эмболия), что сопровождается тяжелыми повреждениями ЦНС, органов зрения, слуха, сильными болями в мышцах и в области суставов, потерей сознания. Такое состояние, возникающее при быстрой декомпрессии, называется **кессонной болезнью**.



При некоторых заболеваниях применяется метод лечения при повышенном давлении - **гипербарическая оксигенация**, что обеспечивает повышение доставки кислорода тканям.

Человека помещают в специальную барокамеру, где давление кислорода повышено до 3-4 атм.

При таком давлении резко увеличивается количество кислорода, физически растворенного в крови и тканях.

В таких условиях кислород переносится кровью в достаточном количестве даже без участия гемоглобина, т. к. высокое напряжение кислорода в крови создает условия для быстрой его диффузии к клеткам.



Оксигенобаротерапия

- Лечение кислородом под повышенным давлением до **130-140 мм рт.ст** (в барокамерах)
- при норме 100 мм рт.ст.

- Увеличивает доставку кислорода к тканям, **физически растворенного кислорода в плазме и других жидкостях**



Допустимая продолжительность дыхания здорового человека при повышении pO_2

0,1—2 ата не ограничена;

0,5 ата- до 133 ч;

1 ата- до 21 ч;

1,5 ата- до 2 ч;

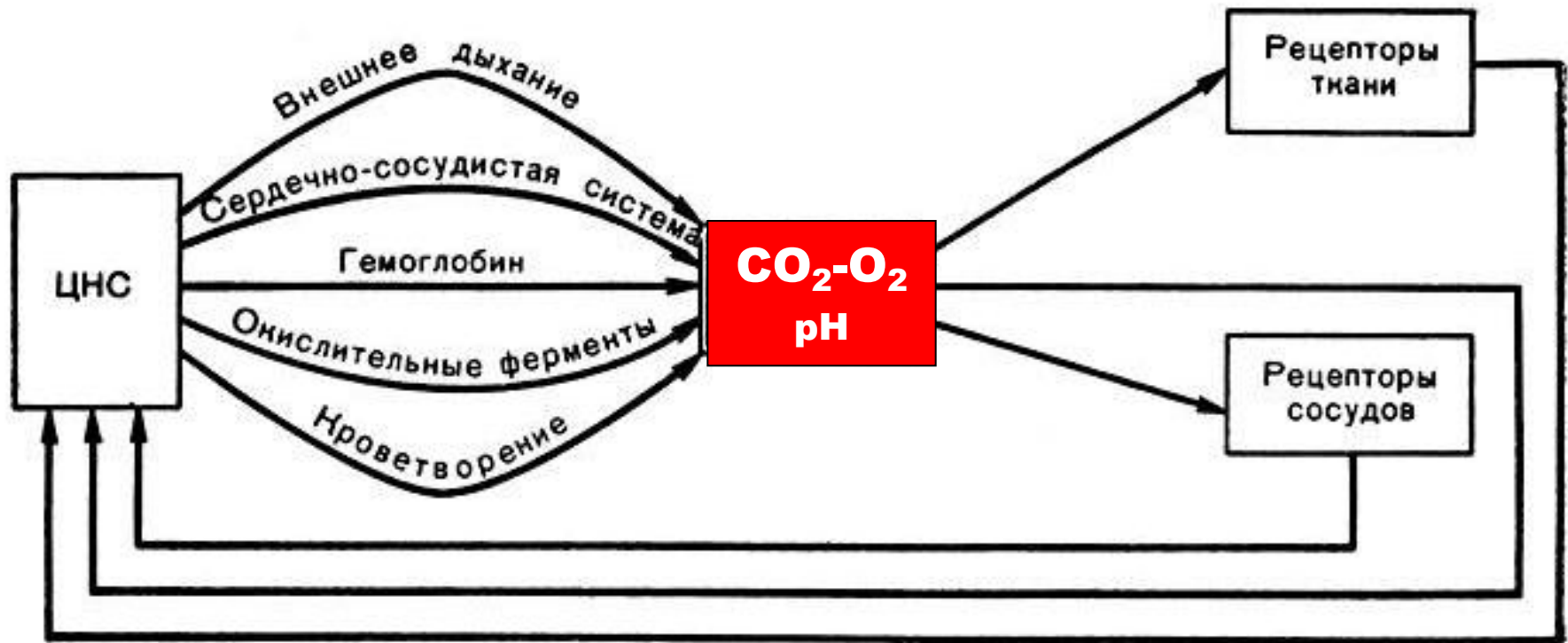
2,5 ата- 0,5 ч;

3 ата – до 0,3 ч

Система регуляции дыхания включает четыре основных элемента:

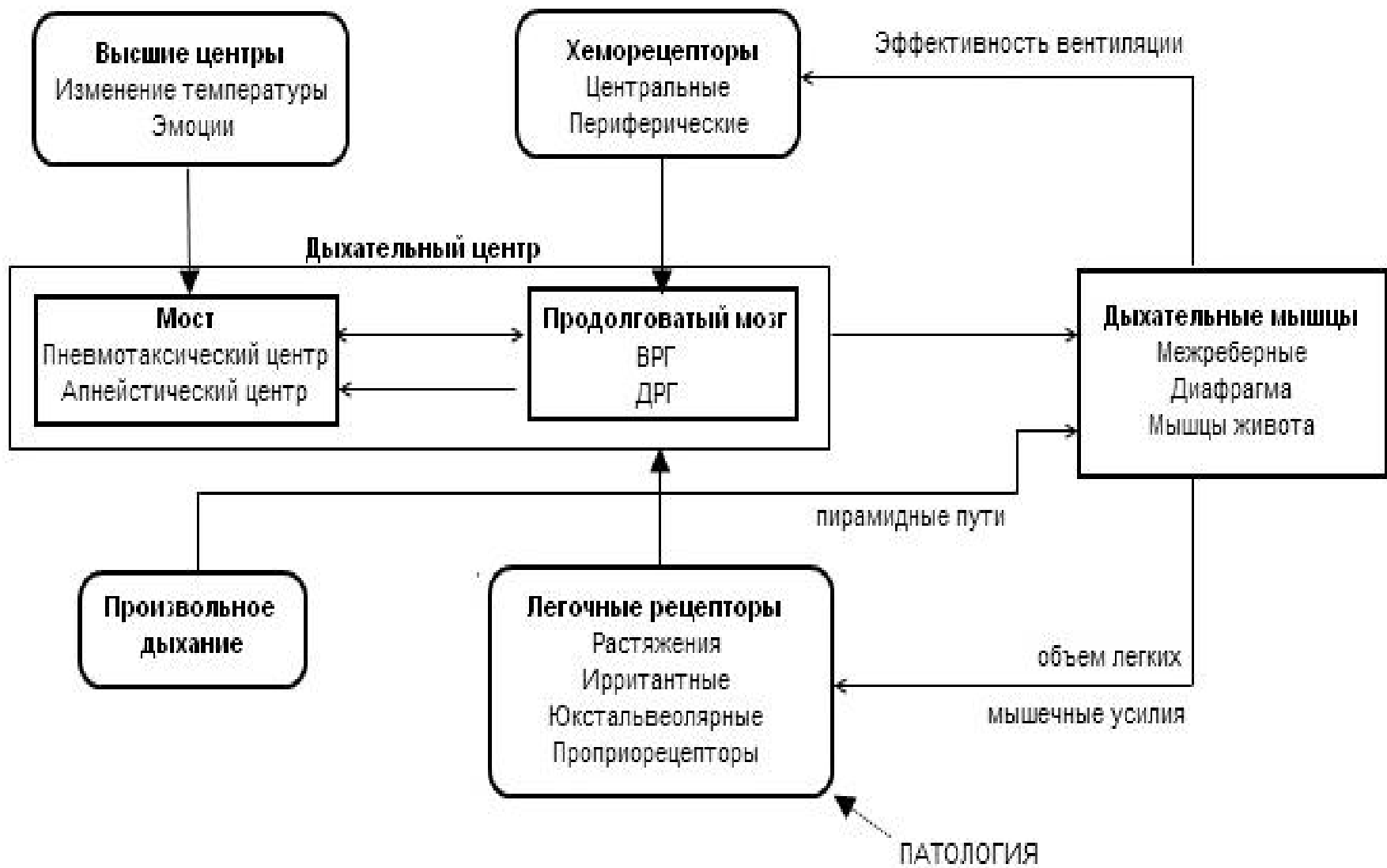
- 1) **полезный приспособительный результат**
 - 2) **рецепторы**, воспринимающие информацию и передающие ее в:
 - 3) **центральный регулятор**, расположенный в головном мозге. Здесь информация обрабатывается и отсюда же посылаются команды на:
 - 4) **эффекторы (дыхательные мышцы)**, непосредственно осуществляющие вентиляцию легких.
- **Функции дыхательной системы:**
 - **1. Моторная или двигательная;**
 - **2. Гомеостатическая**

Структуры дыхательного центра подвержены **нервной и гуморальной регуляции** под



Обратная связь в системе дыхания

- По отклонению (pO_2 , pCO_2 , pH)
- По вомощению (при физич. нагрузке)



Иннервация дыхательного центра



A photograph of a bright blue sky filled with soft, white, fluffy clouds. The clouds are scattered across the frame, with some larger, more prominent ones in the upper right and lower right areas, and smaller, wispy ones elsewhere. The overall scene is bright and airy.

Благодарю за внимание !