

Учреждение образования  
«Гомельский государственный  
медицинский университет»  
Кафедра нормальной физиологии



## **ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ**

### **РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ :**

**дыхательный центр, рефлекторная  
и гуморальная регуляция.**

Лекция для студентов 2 курса

Лектор доцент Штаненко Н.И.

# План лекции

---

- ❑ 1. Регуляция дыхания: значение хемо и механо-рецепторов; дыхательный центр; рефлекторная и гуморальная регуляция.
- ❑ 2.  $\text{CO}_2$  как специфический раздражитель дыхательного центра.
- ❑ 3. Значение воздухоносных путей в рефлекторной регуляции дыхания
- ❑ 4. Защитные дыхательные рефлексы
- ❑ 5. Первый вдох новорожденного
- ❑ 6. Особенности дыхания в разных условиях

Дыхательная функция легких заключается в поддержании относительно постоянного уровня напряжения  $O_2$  и  $CO_2$

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
  
- ЭУПНОЕ, ГИПЕРПНОЕ**

***Дыхательная система создает полное соответствие между количеством  $O_2$ , поступающего через лёгкие в кровь и скоростью его потребления в тканях и такое же соответствие между продукцией в тканях  $CO_2$  и удалением его из лёгких.***

- Эта функция осуществляется за счёт вентиляции лёгких.***
- Вентиляция лёгких адаптирует газообмен в лёгких к метаболизму в тканях.***

# Классификация типов вентиляции с учетом парциального давления газов в альвеолах.

- Нормовентиляция (нормовентиляция, парциальное давление  $\text{CO}_2$  в альвеолах поддерживается на уровне  $\sim 40$  мм рт. ст.)
- Гипервентиляция: усиленная вентиляция, превышающая метаболические потребности ( $P_a \text{CO}_2 < 40$  мм рт.ст.).
- Гиповентиляция: сниженная вентиляция по сравнению с метаболическими потребностями организма ( $P_a \text{CO}_2 > 40$  мм рт. ст.)
- Повышенная вентиляция: любое увеличение альвеолярной вентиляции по сравнению с уровнем покоя (например, при мышечной работе).
- Эупноэ: нормальная вентиляция в покое, сопровождающаяся субъективным чувством комфорта.
- Гиперпноэ: увеличение глубины дыхания независимо от того, повышена ли при этом частота дыхательных движений или нет.
- Тахипноэ: увеличение частоты дыхания
- Брадипноэ: снижение частоты дыхания.
- Апноэ: остановка дыхания, обусловленная главным образом отсутствием физиологической стимуляции дыхательного центра (уменьшение напряжения  $\text{CO}_2$  в артериальной крови).
- Диспноэ (одышка): неприятное субъективное ощущение недостаточности дыхания или затрудненного дыхания.
- Ортопноэ: выраженная одышка, связанная с застоем крови в легочных капиллярах в результате недостаточности левого сердца. В гориз.положении состояние усугубляется.  
Асфиксия: остановка или угнетение дыхания, связанное главным образом с параличом дыхательных центров. Газообмен резко нарушен (наблюдается гипоксия )

# Регуляция дыхания

## Происхождение дыхательного ритма

**Но кажется зачем контроль?  
О чём говорят следующие наблюдения?**

- Не успел подумать, а уже сделал вдох.**
- По команде или самопроизвольно можно задержать дыхание или провести гипервентиляцию.**
- Более того - во сне (быстрый и медленный сон) у человека изменяется ритм дыхания.**

**С другой стороны: никогда нельзя по своей воле надолго задержать дыхание также как невозможно усиленно дышать (гипервентиляция) – обморок, эпилептический приступ.**

# Нервный центр

- это совокупность взаимно связанных нейронов продолговатого мозга,  
обеспечивающих только периодичность дыхания(вдох-выдох)

*(эстафетная передача)*

М.Флуранс(1842)и Н.А.Миславский(1885 )

# Нервный центр

- это сложное структурно-функциональное объединение нервных клеток, расположенных на различных уровнях ЦНС (от спинного до коры большого мозга) обеспечивающих регуляцию внешнего дыхания, газообмен и транспорт газов соответствии с потребностями организма в изменяющихся условиях внешней среды.  
(н-р дыхательный центр в широком смысле слова)

Система дыхания также как и сердце человека работают в определенном постоянном ритме

- Особенностью функции внешнего дыхания является сочетание автоматического и произвольного компонентов в его регуляции
- Дыхательный центр продолговатого мозга обладает автоматизмом - способностью возбуждаться через определенные промежутки времени в отсутствии внешних раздражителей.
- Но генератор ритма миокарда заложен в нем самом!
- Генератор же ритма вдоха и выдоха лежит вне органов дыхания, а в стволе мозга, за счет афферентной активации ретикулярных нейронов от различных рецепторов.

# Система дыхания

## **Внешнее звено:**

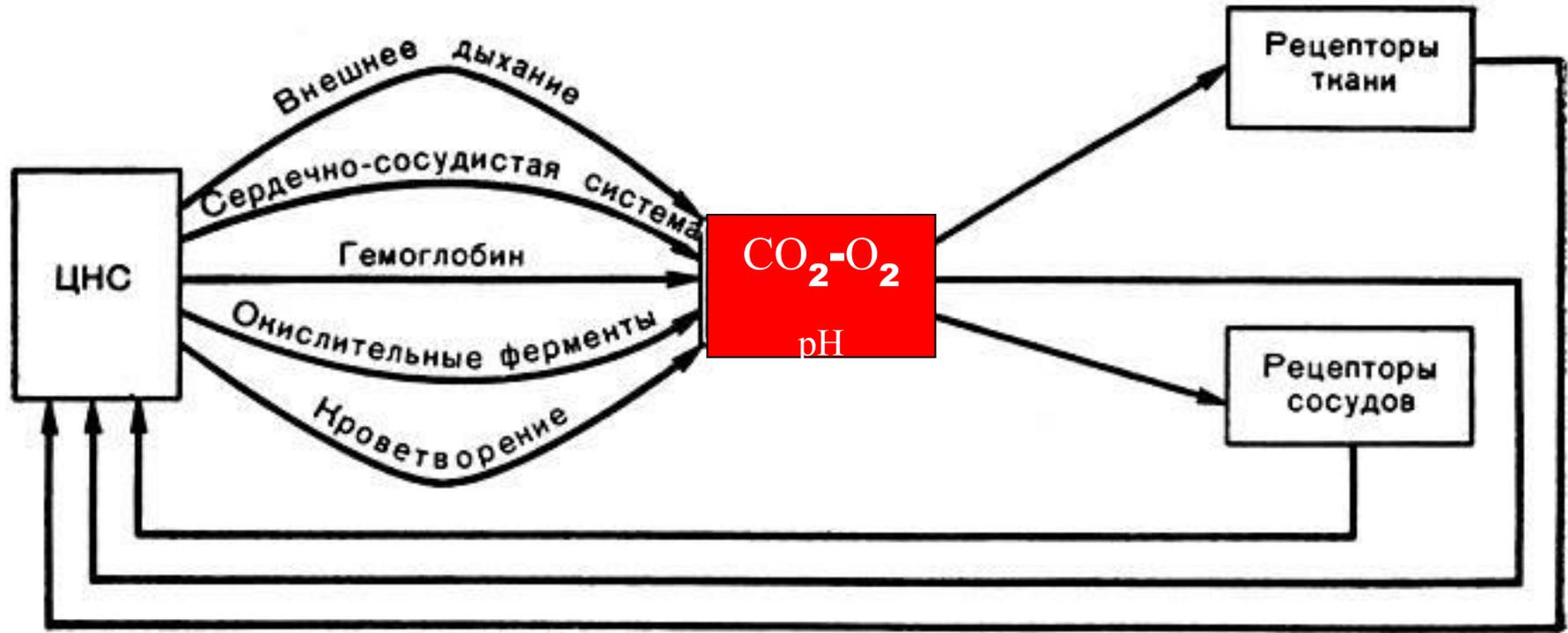
1. **Воздухоносные пути и легкие.**
2. **Грудная клетка и мышцы (костно-мышечный каркас)**

## **Внутреннее звено**

1. **Кровь**
2. **Сердечно-сосудистая система** (малый круг кровообращения)
3. **Органелы клеток (тканевое дыхание)**

**Нейрогуморальный  
механизм регуляции**

Структуры дыхательного центра подвержены **нервной** и гуморальной регуляции под влиянием метаболических изменений



Обратная связь в системе дыхания

- По отклонению (**pO<sub>2</sub>, pCO<sub>2</sub>, pH**)
- По вомощению (**при физич. нагрузке**)

# Система регуляции дыхания включает три основных элемента:

- 1) **рецепторы**, воспринимающие информацию и передающие ее в:
- 2) **центральный регулятор**, расположенный в головном мозге. Здесь информация обрабатывается и отсюда же посылаются команды на:
- 3) **эффекторы (дыхательные мышцы)**, непосредственно осуществляющие вентиляцию легких.

# Центральный регулятор

Кора больших полушарий  
(ПРОИЗВОЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ)

**Лимбическая система**

**Гипоталамус**

**Варолиев мост-ПТЦ**

**Продолговатый мозг**

**Сегменты спинного мозга**

Афферентные  
импульсы



Рецепторы  
(хеморецепторы,  
лёгочные и др.)

Эфферентные  
импульсы



Дыхательные  
мышцы

Сенсорный  
вход



Поток воздуха в воздухоносных путях и  
обмен **O<sub>2</sub>** и **CO<sub>2</sub>** через альвеолярно-капиллярную мембрану

Механическая  
работа



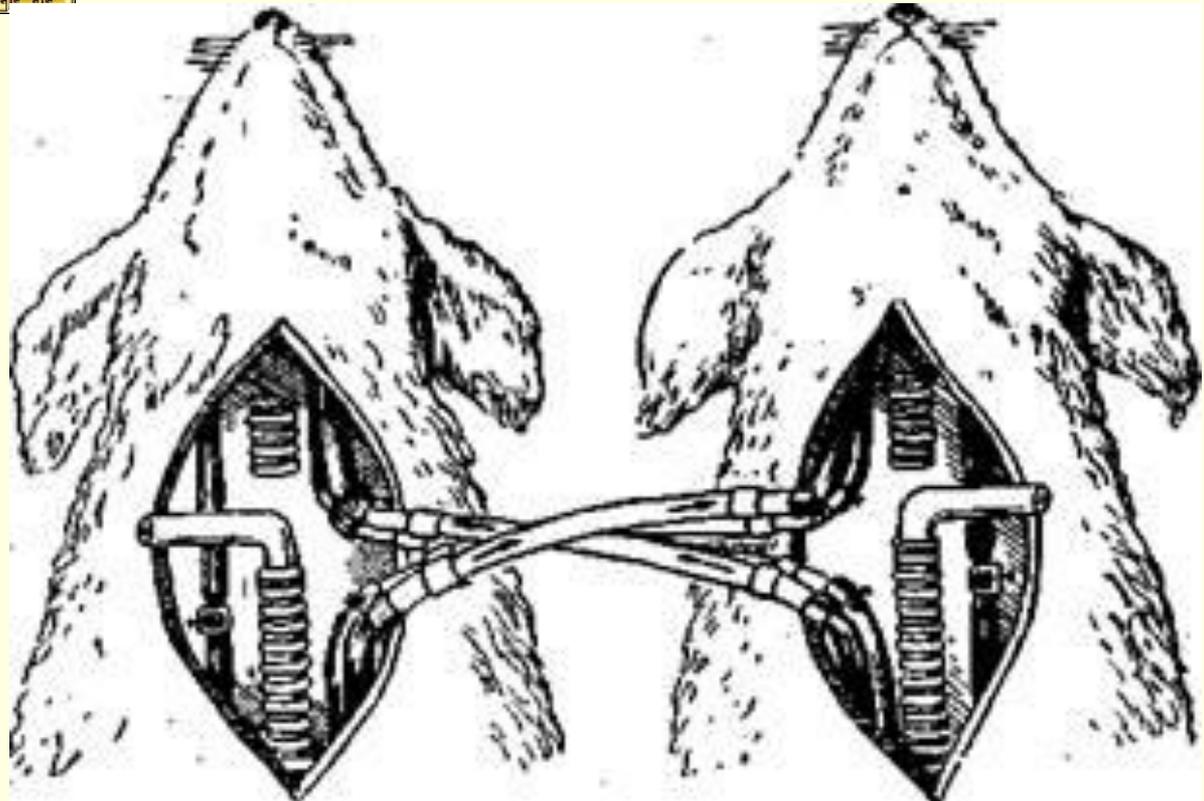


# Опыт Фредерика с перекрестным кровообращением роль газового состава

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

*Перерезают сонные артерии  
и яремные вены и соединяют  
их перекрестно*

Голова 1-ой собаки получает  
кровь от 2-ой, а голова 2-ой  
собаки от 1-ой. Позвоночные  
артерии перевязывают



# Рецепторы, регулирующие дыхание

## 1. Хеморецепторы (изменение $O_2$ , pH и $CO_2$ )

1.1. Периферические хеморецепторы (в каротидном и аортальных тельцах)

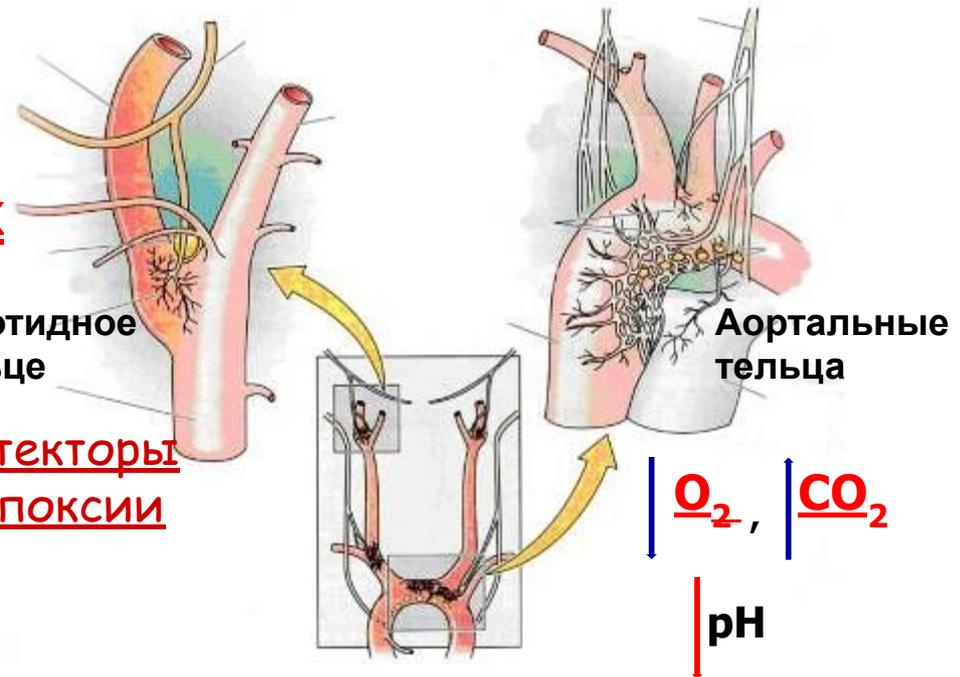
1.2. Центральные хеморецепторы (на вентральной поверхности продолговатого мозга)

## 2. Рецепторы воздухоносных путей, легких, дыхательных мышц

# Периферические хеморецепторы расположены в аортальных и каротидных тельцах

Каротидное тельце

Детекторы гипоксии

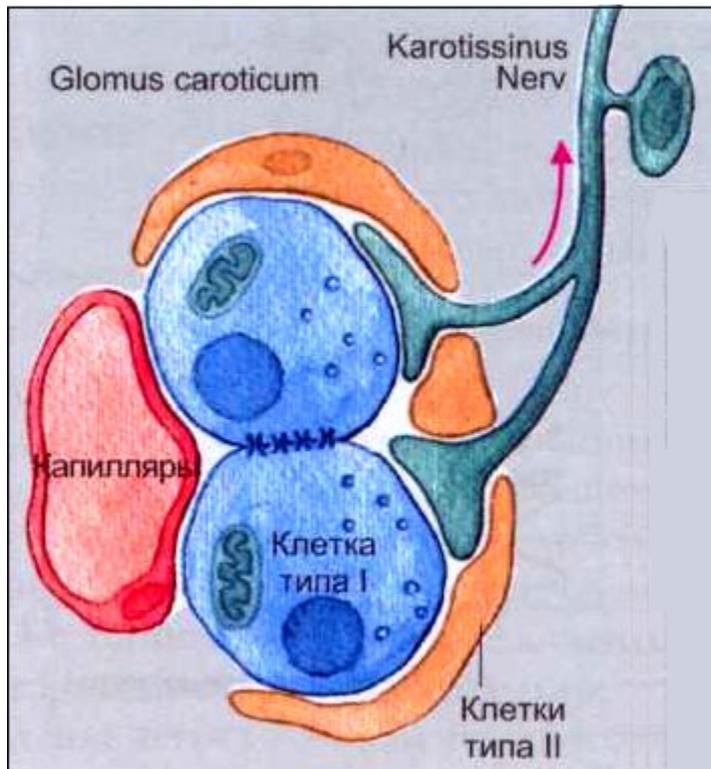


Петля отрицательной обратной связи в регуляции газового состава крови



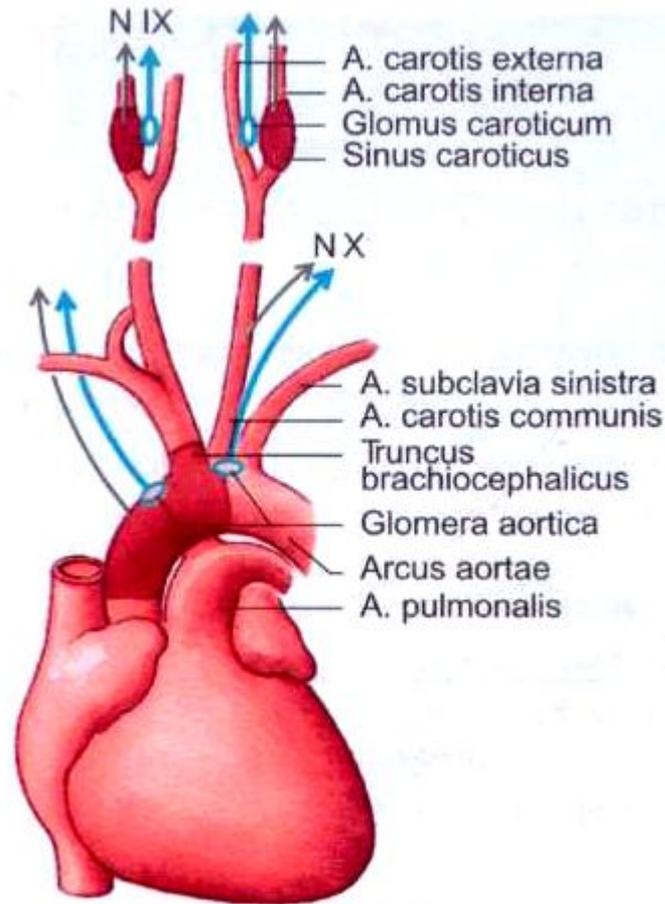
Чувствительны к физически растворенным газам  
латентное время действия  
**3-5 сек**

# Периферические хеморецепторы:



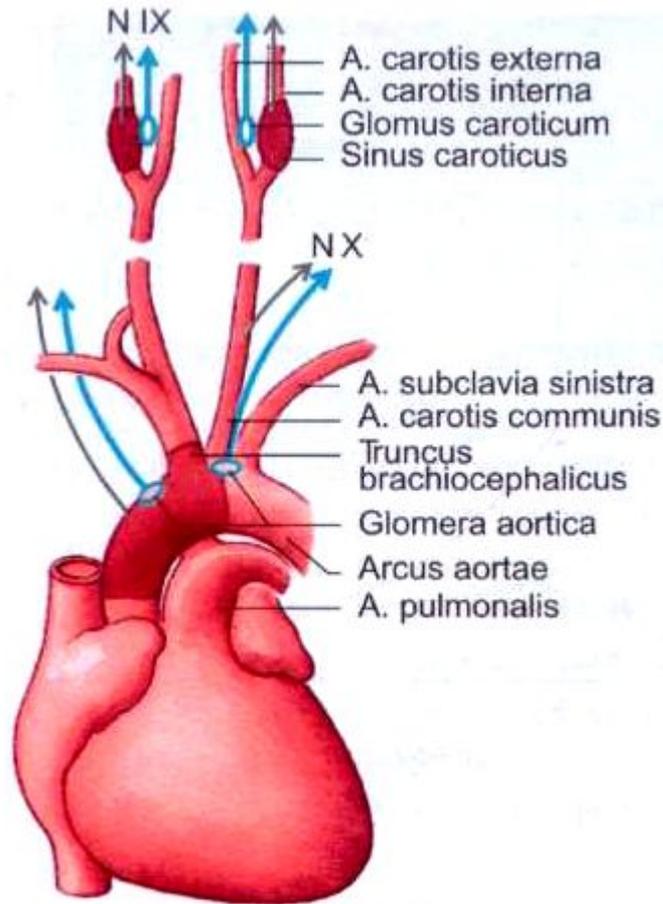
- Локализуются в сосудах (особенно в артериях), тканях внутренних органов, их концентрация максимальна в **синокаротидной и аортальной зонах**;
- **хеморецепторные КЛЕТКИ** (вторичные рецепторы) контактируют с капиллярами клубочков и друг с другом посредством щелевых контактов и образуют синаптические контакты с окончаниями афферентных волокон;

# Рефлексогенные зоны



- реагируют на все три стимула;
- имеют высокую чувствительность к изменению  $pO_2$  ↓ артериальной крови (особенно к его снижению),
- в меньшей степени реагируют на изменения  $pCO_2$  и pH,

# Рефлексогенные зоны



- **от аортального тельца**  
**афферентная импульсация**  
**проводится по нерву**
- **Циона—Людвига**
- **(ветвь X нерва) и**
- **от каротидного тельца**  
**по нерву Геринга**
- **(ветвь IX нерва)**

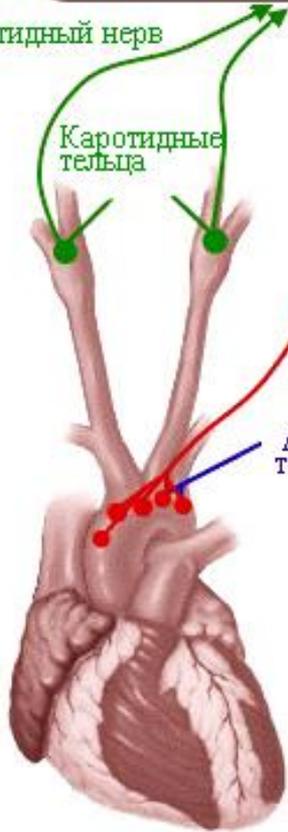
Дыхательный центр

Синокаротидный нерв

Каротидные тельца

Блуждающий нерв

Аортальные тельца



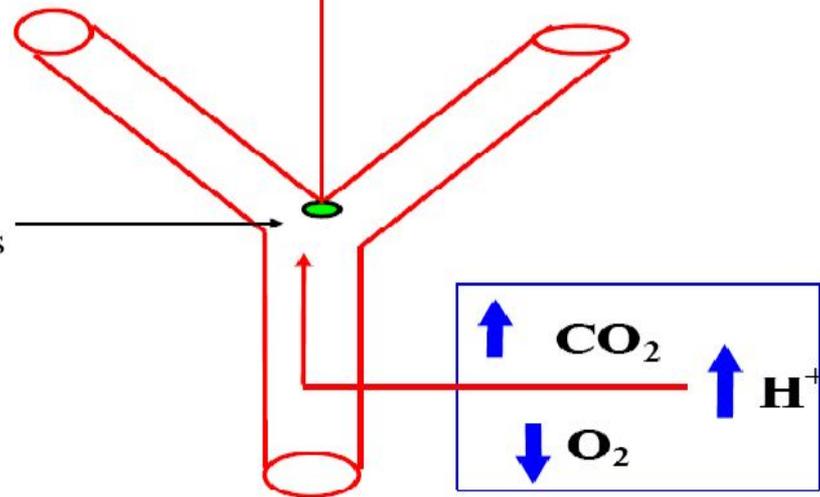
# Рефлекторная активация центра вдоха

центр вдоха

центр выдоха

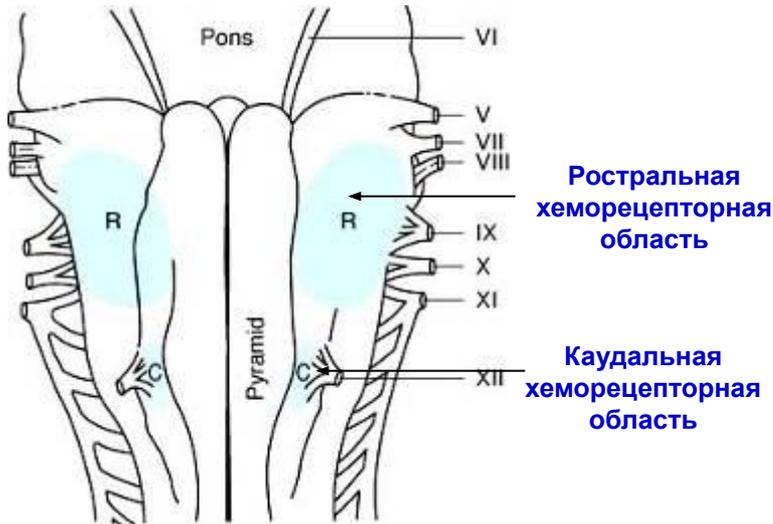
синусный нерв Геринга

glomus caroticus



Содержание в крови

# Центральные хеморецепторы расположены на вентральной поверхности продолговатого мозга



Ростральная хеморецепторная область

Кaudальная хеморецепторная область

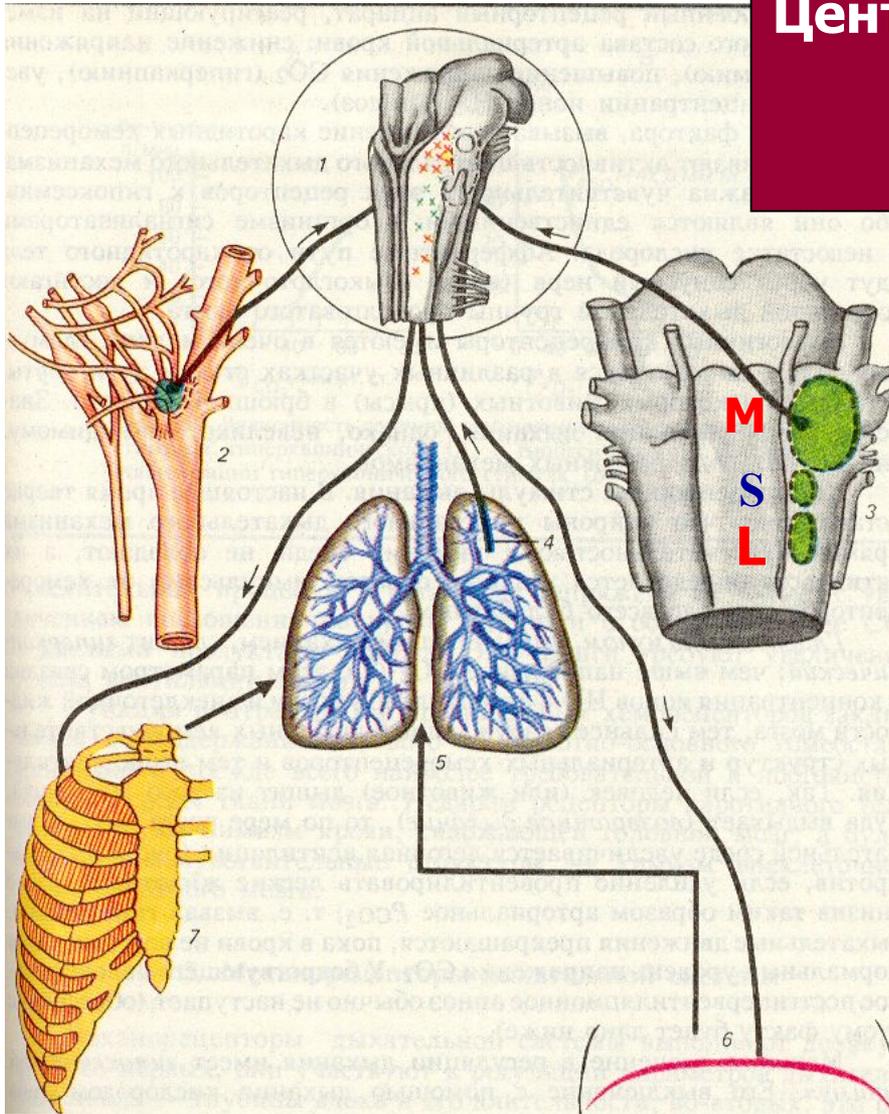


# Центральные хеморецепторы

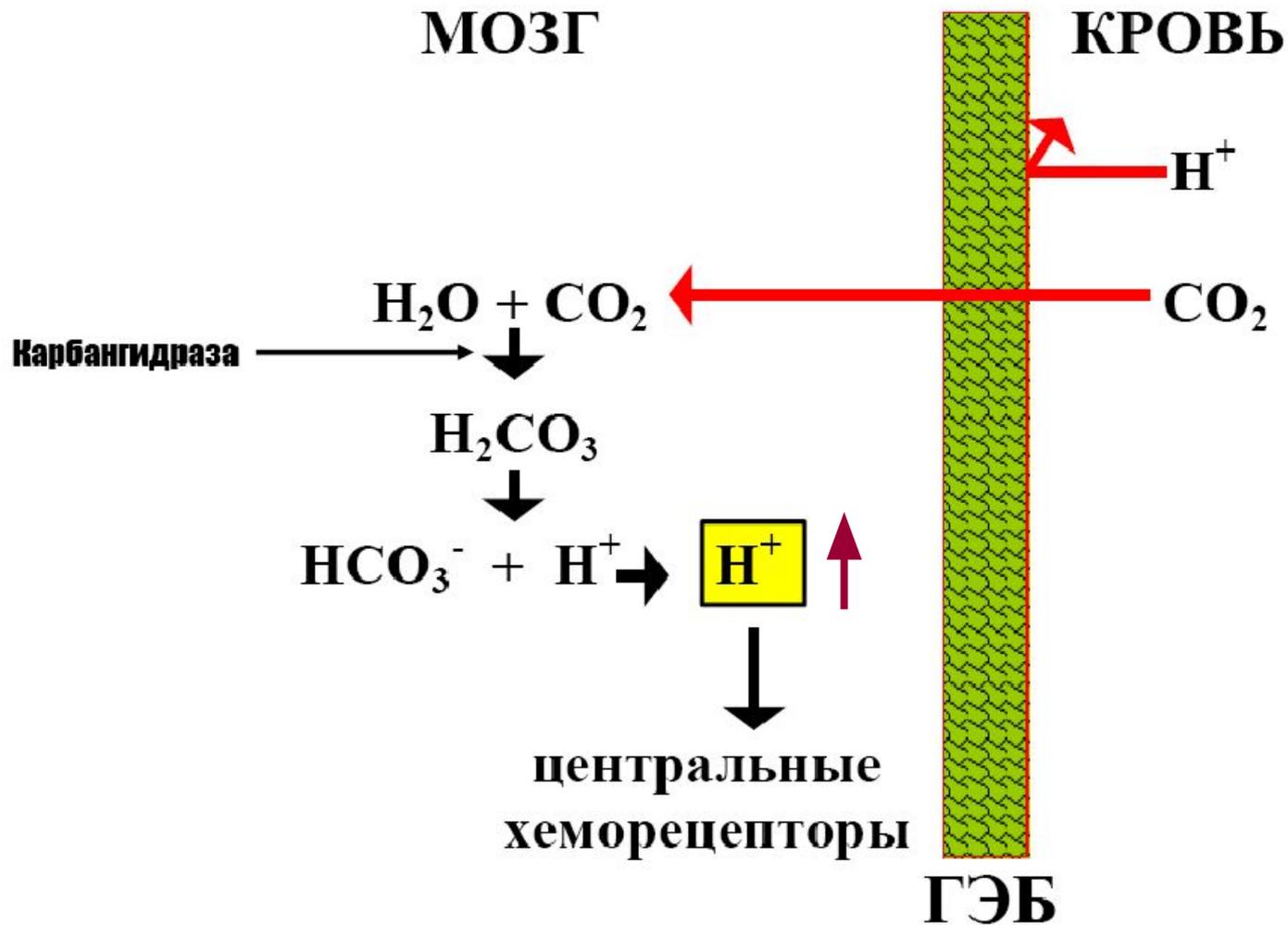
*(хеморецепторная зона дыхательного центра):*

- Отличаются высокой чувствительностью к изменению **pH** (пороговые колебания pH примерно **0,01**) и **pCO<sub>2</sub>** в ликворе;
- Имеют длительное латентное время действия на дыхательный центр (**-25 с**).

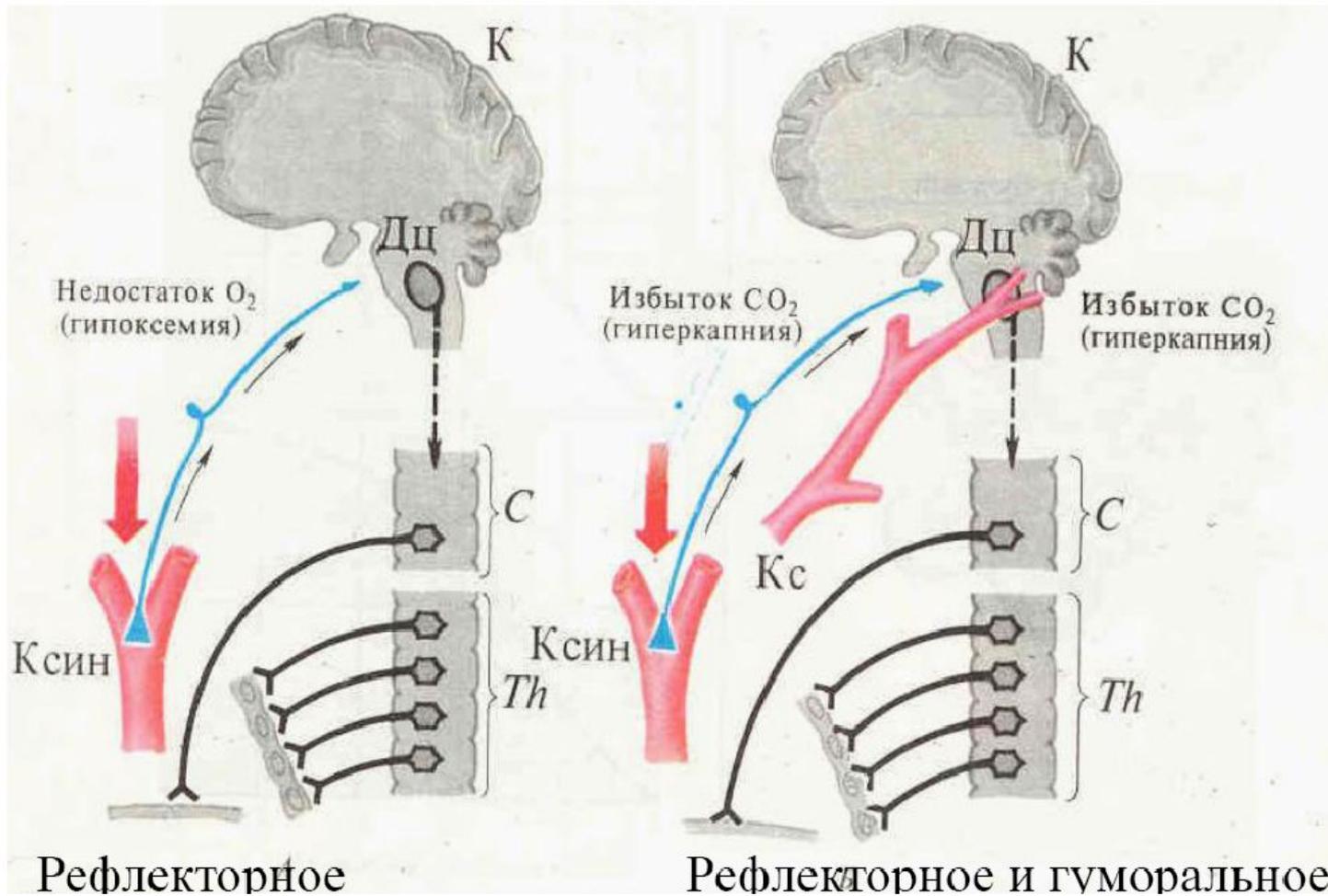
Центральные (медулярные)  
хеморецепторы  
( pH ) ↓

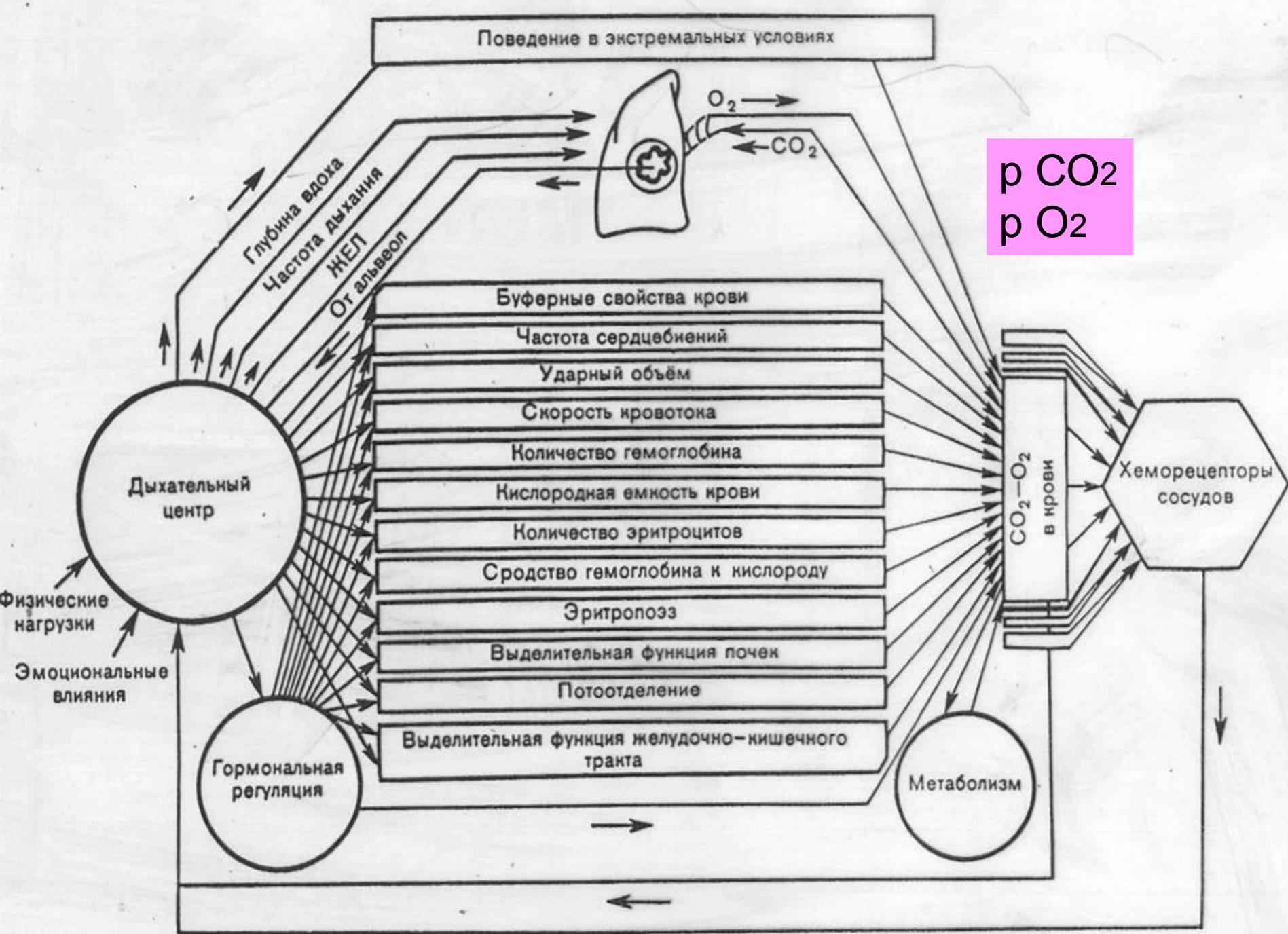


# Прямая (гуморальная) активация центра вдоха



# Влияние углекислого газа на дыхательный центр





---

# Современные представления о структуре дыхательного центра

# НАПОМИНАЮ !

---

■ **Дыхательным центром** называют совокупность нейронов, расположенных в разных отделах центральной нервной системы, обеспечивающих соответствие дыхания изменяющимся метаболическим запросам организма

Большой вклад в изучение его работы внесли

**М.Флуранс** (1822 г.),

**Н.А. Миславский** (1885 г.),

**Р.Баумгартен** (1956 г.).

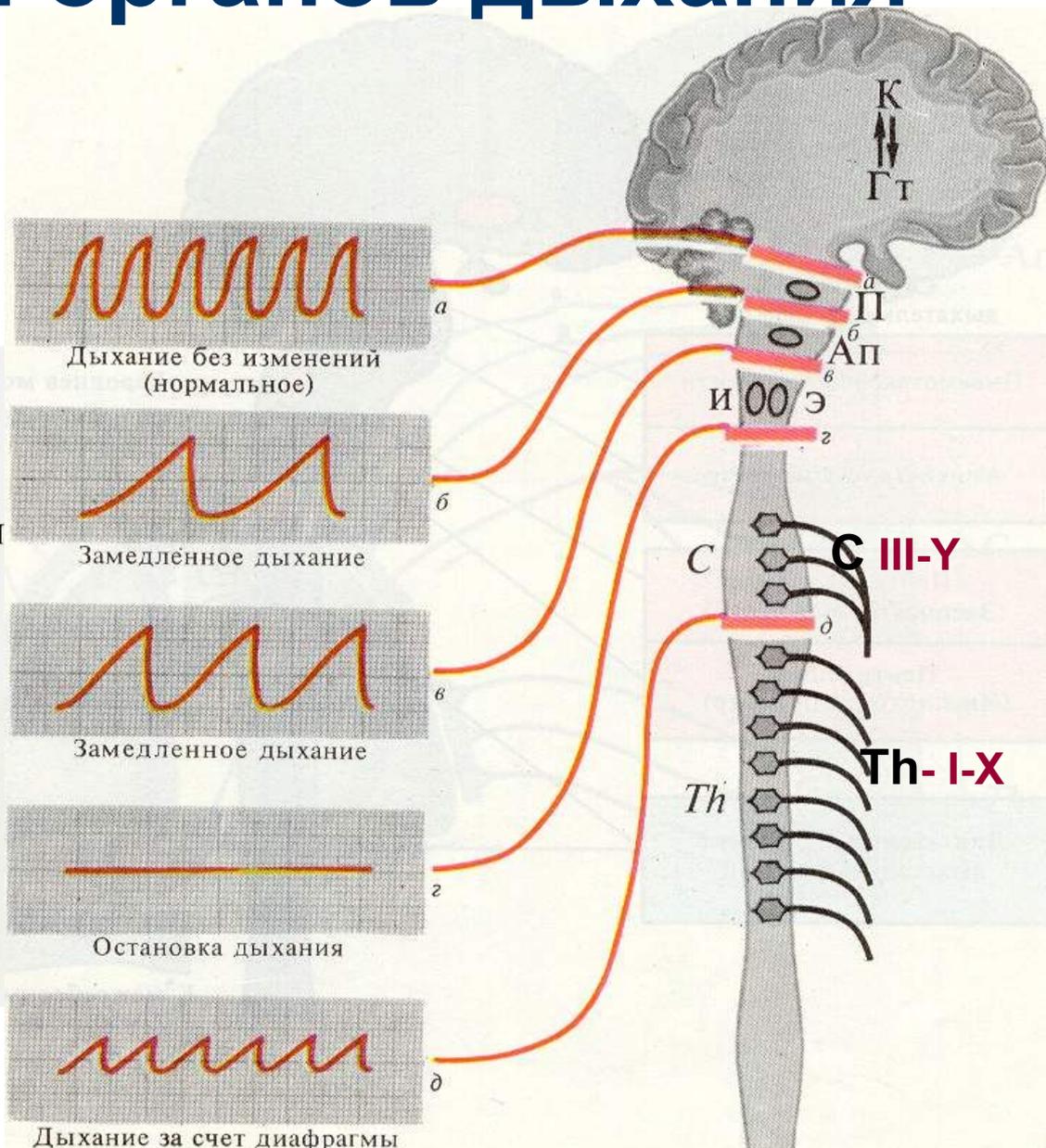
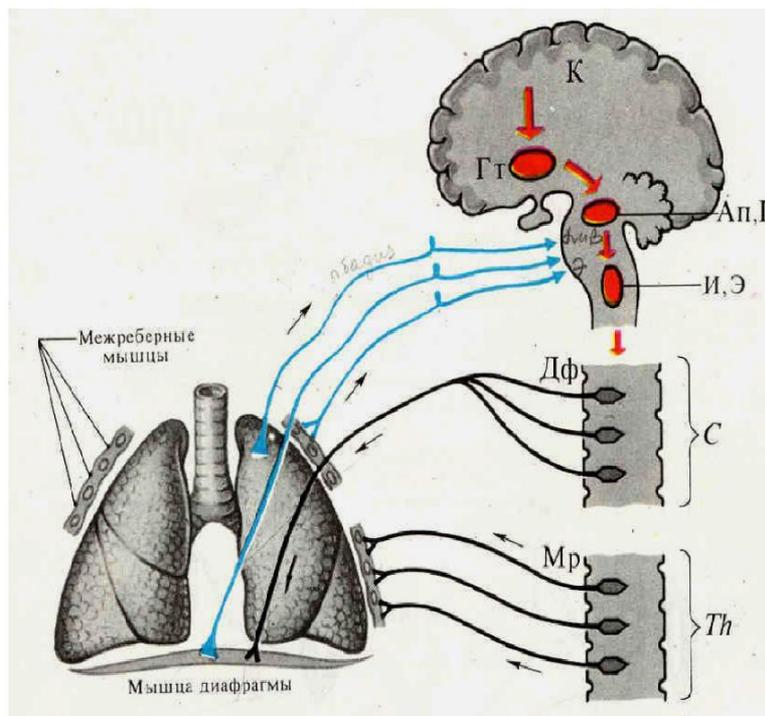
Функции дыхательного центра:

- 1. моторная или двигательная** , которая проявляется в виде сокращений дыхательных мышц
- 2. гомеостатическая**, связанная с изменением характера дыхания при сдвигах содержания  $O_2$  и  $CO_2$  во внутренней среде организма

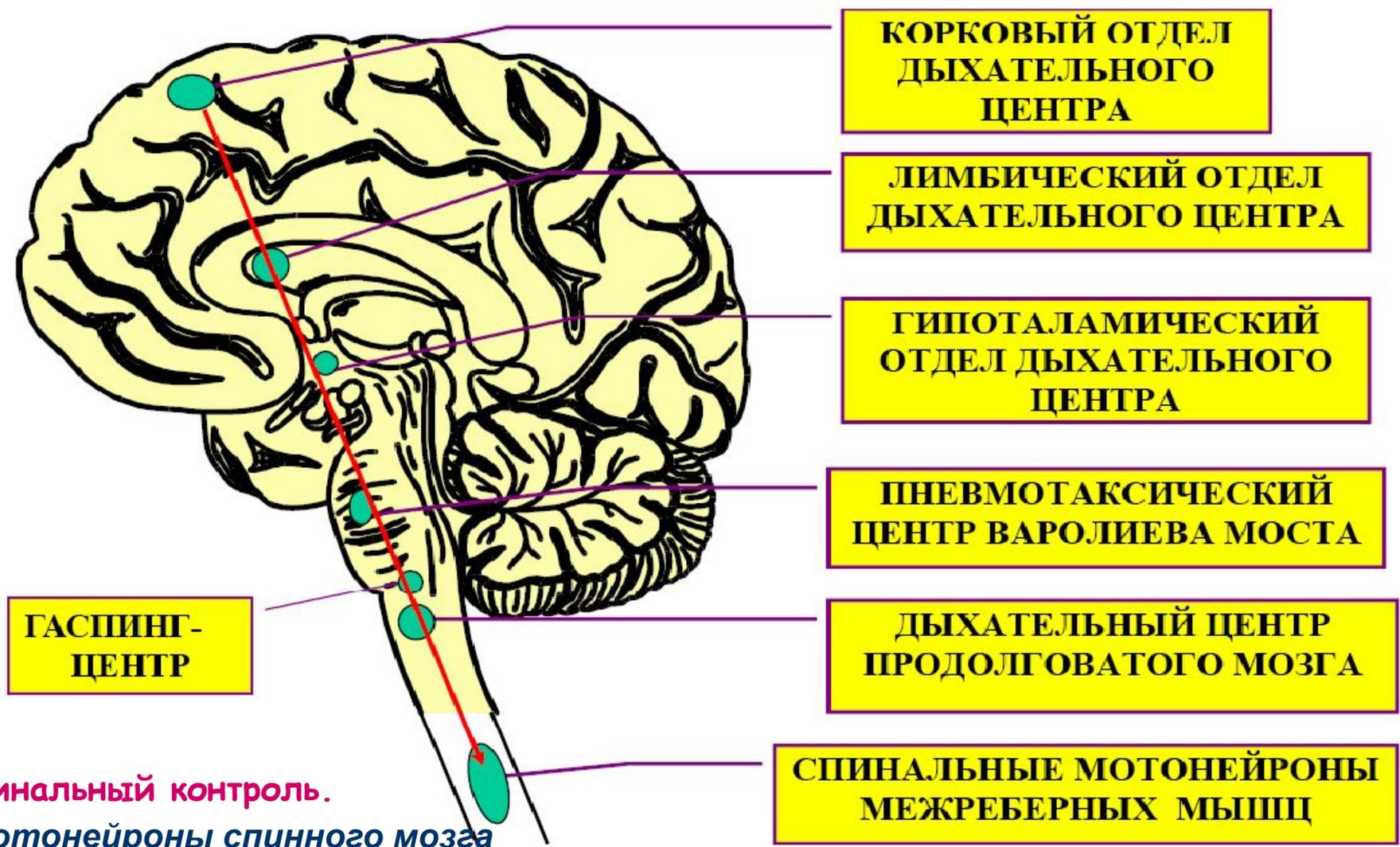


**МИСЛАВСКИЙ**  
**Николай Александрович**  
**(1854–1929)**

# Иннервация органов дыхания



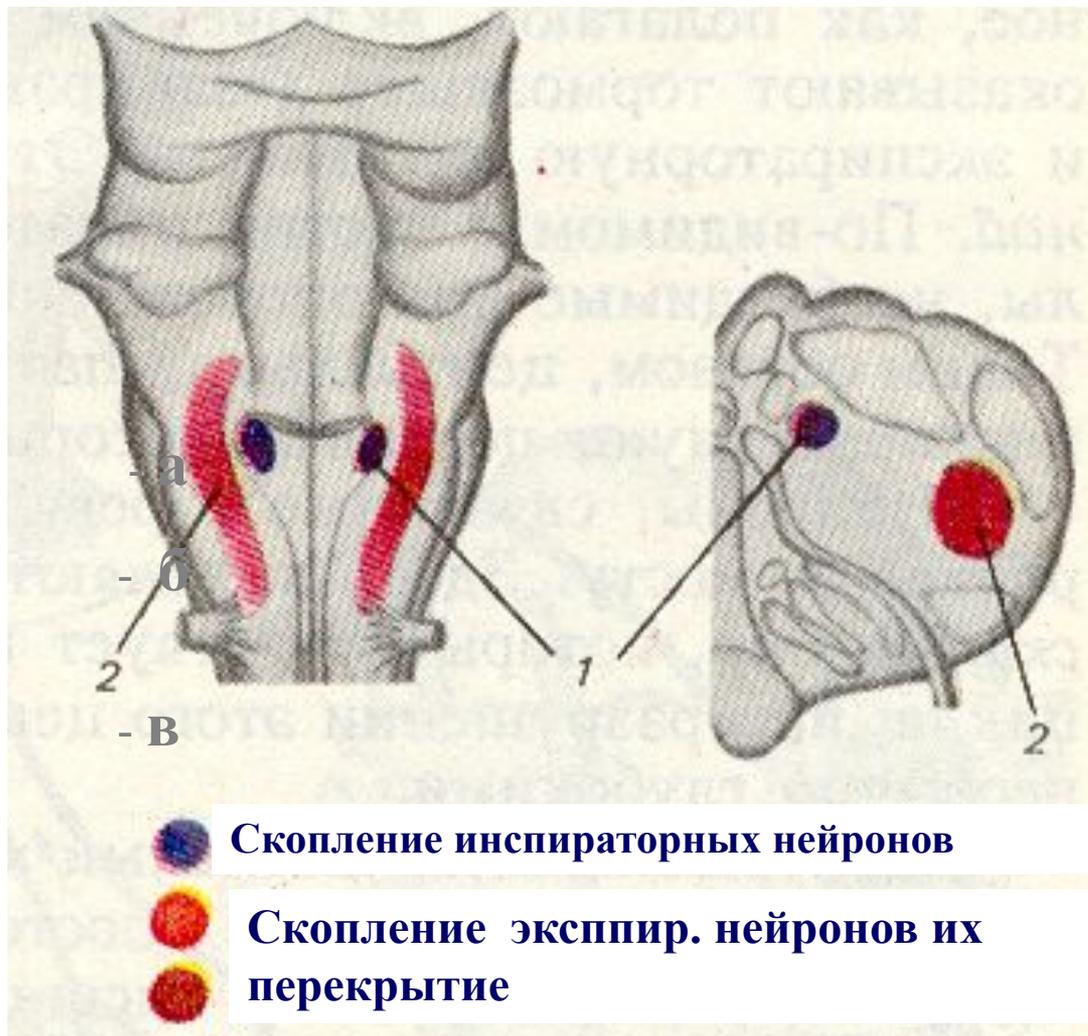
# УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА



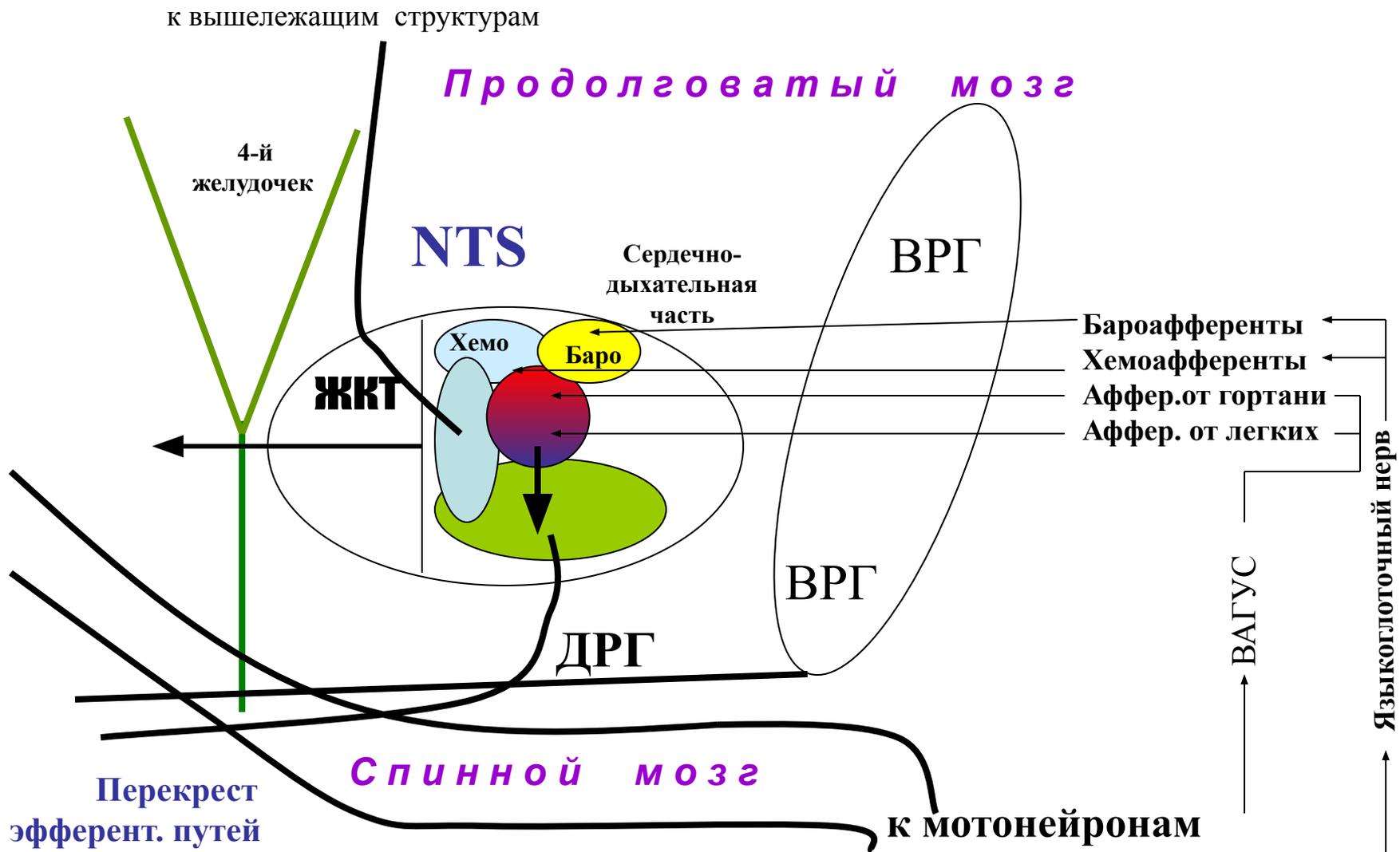
- **Спинальный контроль.**
- *Мотонейроны спинного мозга*
- *на уровне CIII-CV управляют диафрагмой,*
- *а T1-TX – наружным и межреберными мышцами и диафрагмой.*

- Отделы ДЦ расположены билатерально (правая – левая половины)
  - **в продолговато мозге в области дна 4-го желудочка.** Выделяют
  - **дорзальную группу нейронов**, активирующих мышцы вдоха - **инспираторный отдел,**
  - **вентральную группу нейронов**, контролирующих выдох – **экспираторный отдел.**
- *В спинном мозге к структурам дыхательного центра относят мотонейроны диафрагмального нерва (в 3-5 шейных сегментах) и мотонейроны межреберных нервов (во 2-10 грудных сегментах, при этом инспираторные нейроны сосредоточены во 2-6 м, а экспираторные в 8-10 м сегментах).*

# Локализация дыхательного центра в продолговатом мозгу



# ЯДЕРНЫЕ ГРУППЫ ПРОДОЛГОВАТОГО МОЗГА



# Локализация дыхательных нейронов

- В РФ продолговатого мозга обнаружены дыхательные нейроны, одни из которых разряжаются серией импульсов в фазу вдоха, а другие – в фазу выдоха.
- В продолговатом мозге не найдено строго обособленных областей, содержащих только ИН или ЭН. Инспираторные и экспираторные нейроны р/м как 2 функционально различные популяции внутри которых нейроны связаны между собой сетью аксонов и синапсов.
- Дыхательные нейроны обнаружены почти на всем протяжении продолговатого мозга. Однако, в каждой половине ПМ есть участки РФ, где дыхательные нейроны сгруппированы с более высокой плотностью.

Нейроны дыхательного центра продолговатого мозга разделены на две группы.

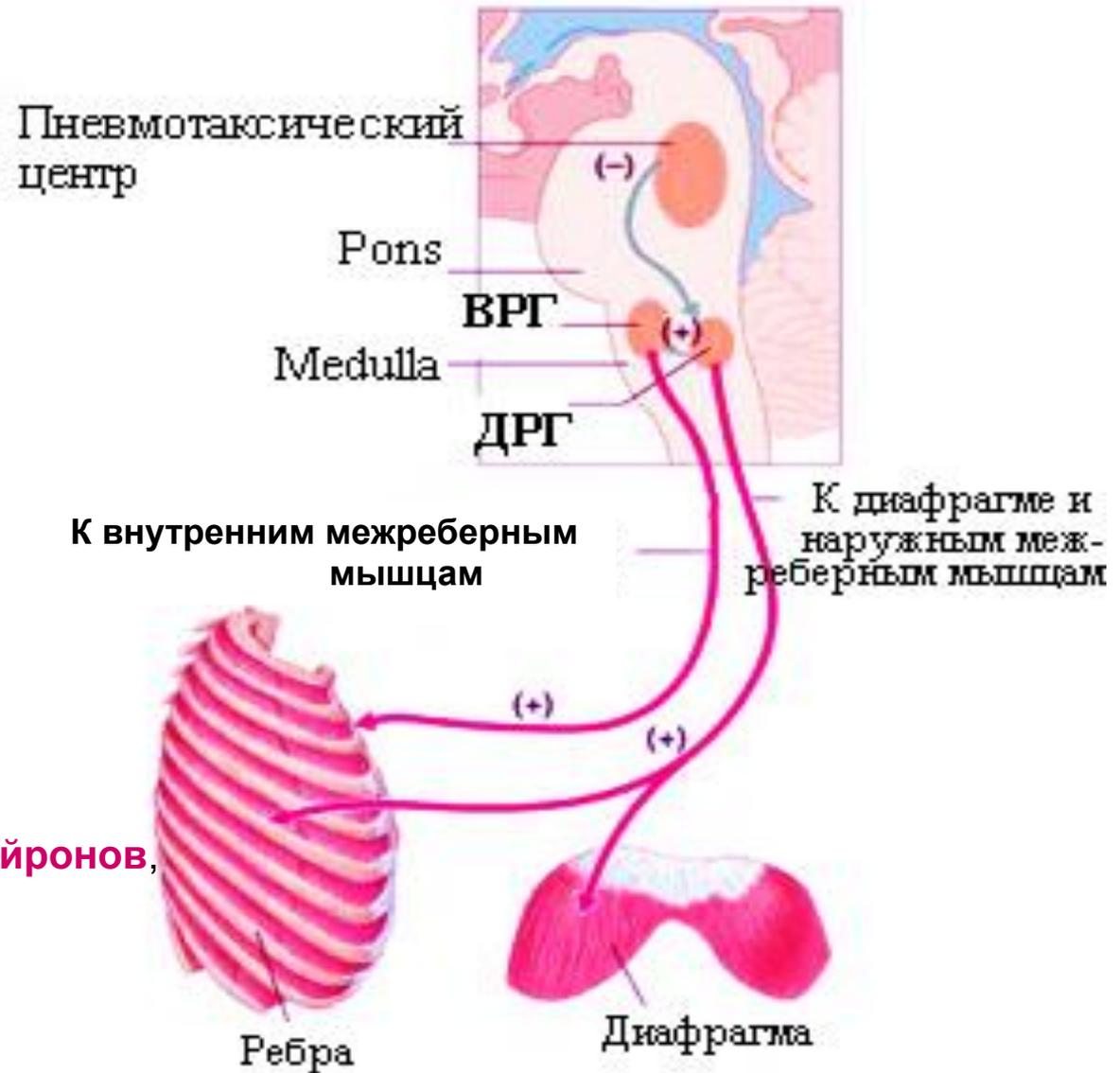
Одна группа нейронов дает волокна к мышцам, которые обеспечивают вдох, *инспираторные нейроны* (инспираторный центр), т. е. *центр вдоха*.

Другая группа нейронов, отдающих волокна к внутренним межреберным и межхрящевым мышцам, *экспираторный нейроны* (экспираторный центр), т. е. *центр выдоха*.

## Продольный срез ствола

ВРГ – вентральная  
респираторная группа  
нейронов

ДРГ - дорсальная  
респираторная группа  
нейронов



**В ДРГ - 95 % инспираторных нейронов,**  
(в вентральном - 50 %).

Нейроны **ДРГ** посылают  
импульсы в спинной мозг к  
центрам нервов,  
иннервирующих диафрагму и мышцы

**При возбуждении инспираторных нейронов ДРГ вдох в большей степени обеспечивается за счет увеличения вертикального размера грудной клетки.**

Инспираторные нейроны образуют прямые контакты с мотонейронами, управляющими диафрагмой.

# Генерация дыхательного ритма

- В течение дыхательного цикла выделяют три фазы активности дыхательных нейронов:

**инспираторную**

- **постинспираторную**
- **экспираторную**

# Активность разных типов нейронов в течение фаз дыхания

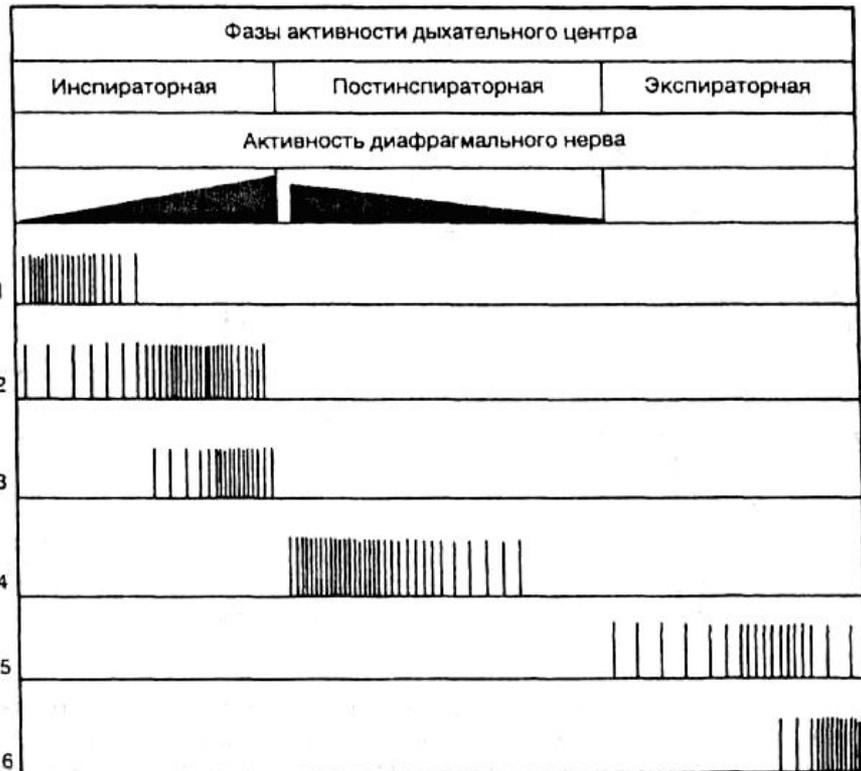


1. Активность ранних инспираторных нейронов
2. Активность полных -"- -"-
3. Активность поздних -"- -"-
4. Активность постинспираторных нейронов
5. Активность экспираторных нейронов; 6. Активность преинспираторных нейронов

# Инспираторная фаза(ИФ)

- Соответствует вдоху.
- Инспираторные нейроны, активные во время вдоха различаются по характеру разряда и времени активности.
- **ИФ** - обусловлена последовательной активацией **ранних, полных и поздних инспираторных нейронов**, что сопровождается **линейным нарастанием их суммарной активности**.
- **Резкое 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**.

# Дыхательные нейроны



**ранние инспираторные** нейроны — интернейроны, которые активны в начале вдоха (расположены в вентролатеральной группе);

**полные инспираторные** нейроны — эфферентные нейроны центра, иннервирующие мотонейроны мышц вдоха, активны в течение всего вдоха (расположены в дорсомедиальной и вентролатеральной группах);

**поздние инспираторные** нейроны — эфферентные нейроны центра, иннервирующие мотонейроны мышц вдоха и активные в конце вдоха (расположены в дорсомедиальной и вентролатеральной группах);

# Постинспираторная фаза

- Соответствует первой половине выдоха (пассивная экспирация) и обусловлена особыми постинспираторными нейронами, которые тормозят как инспираторные, так и экспираторные нейроны.
- Они, вероятно, обеспечивают интервал времени, необходимый для выведения воздуха из легких за счет их эластической тяги;

# Экспираторная фаза

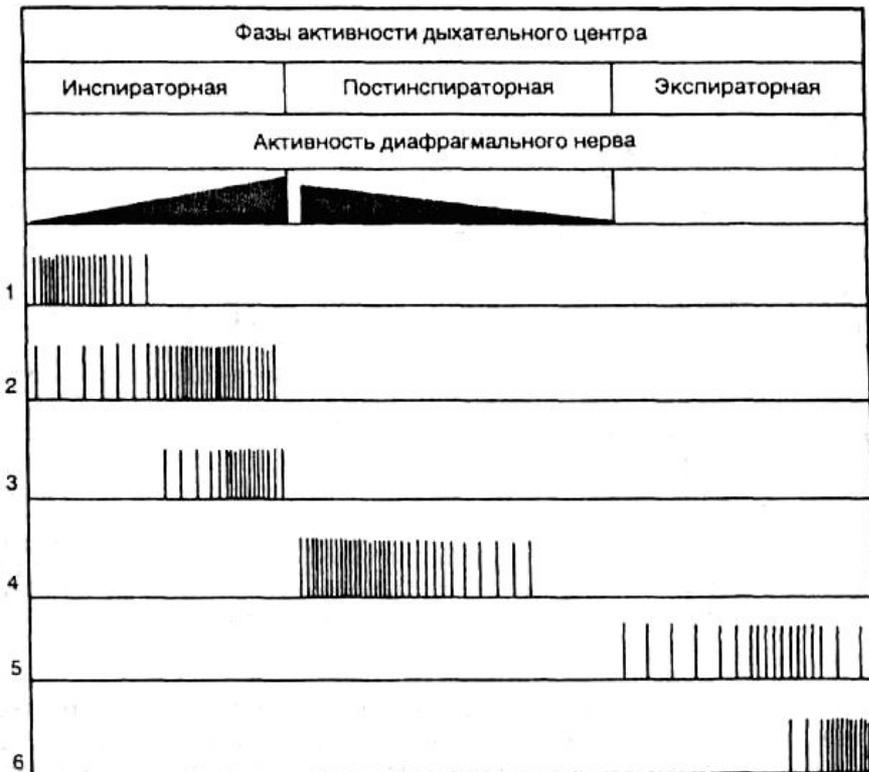
- Соответствует второй половине выдоха (активная экспирация) и обусловлена активацией экспираторных нейронов, иннервирующих мотонейроны мышц выдоха.
- В конце выдоха происходит возбуждение преинспираторных нейронов, которые тормозят импульсацию экспираторных нейронов (прекращают выдох).
- Возможным источником возбуждения преинспираторных нейронов являются ирритантные рецепторы легких, возбуждающиеся при уменьшении объема легких во время выдоха (инспираторно-облегчающий рефлекс Геринга—Брейера).
- При частом дыхании экспираторная фаза может быть не выражена, и постинспираторная фаза непосредственно переходит в следующую фазу инспирации.

# Дыхательные нейроны

**постинспираторные нейроны** — интернейроны, активные в первой половине выдоха и, тормозящие как инспираторные, так и экспираторные нейроны (расположены в ростральной вентролатеральной группе);

**экспираторные нейроны** — эфферентные нейроны центра, иннервирующие мотонейроны мышц выдоха и активные во второй половине выдоха, преимущественно при усиленном выдохе (расположены в каудальной вентролатеральной группе);

**преинспираторные нейроны** — интернейроны, блокирующие возбуждение экспираторных нейронов и способствующие смене выдоха на вдох.



# Фазы активности дыхательного центра

## **Инспираторная**

**1.Ранние**

**2.Полные**

**3.Поздние**

## **Постинспираторная**

**4.Постинспираторные**

*(начало фазы выдоха)*

## **Экспираторная**

**5.Экспираторные**

*(вторая часть фазы выдоха)*

**6.Преинспираторные**

*(перед вдохом)*

# Группы дыхательных нейронов

Генераторы  
дыхательного ритма

Формирующие  
дыхательный паттерн

- ✓ ранние инспираторные
- ✓ постинспираторные
- ✓ полные инспираторные
- ✓ поздние инспираторные
- ✓ экспираторные

# Почему возбуждаются ДРГ и ВРГ или природа дыхательного ритмогенеза

- Во сне, в бессознательном состоянии дыхание осуществляется «автоматически».
- Существуют 2 основные теории дыхательного ритмогенеза.
- **1 – пейсмекерная гипотеза:** возбуждение пейсмекеров (ДРГ и ВРГ) продолговатого мозга синхронизируется с фазами дыхательного цикла и ПД возникают самопроизвольно без синаптических связей.
- **2 – гипотеза нейронной сети:** внутри ДРГ и ВРГ имеется группа нейронов, в которой возникает объединенный паттерн ПД, вызывающий вдох и выдох, наличие синапсов является причиной взаимного торможения, а значит и чередования дыхательных движений.

Рецепторы к глицину– торможение поздних инспираторных нейронов ранними экспираторными нейронами

# Автоматизм дыхательного центра

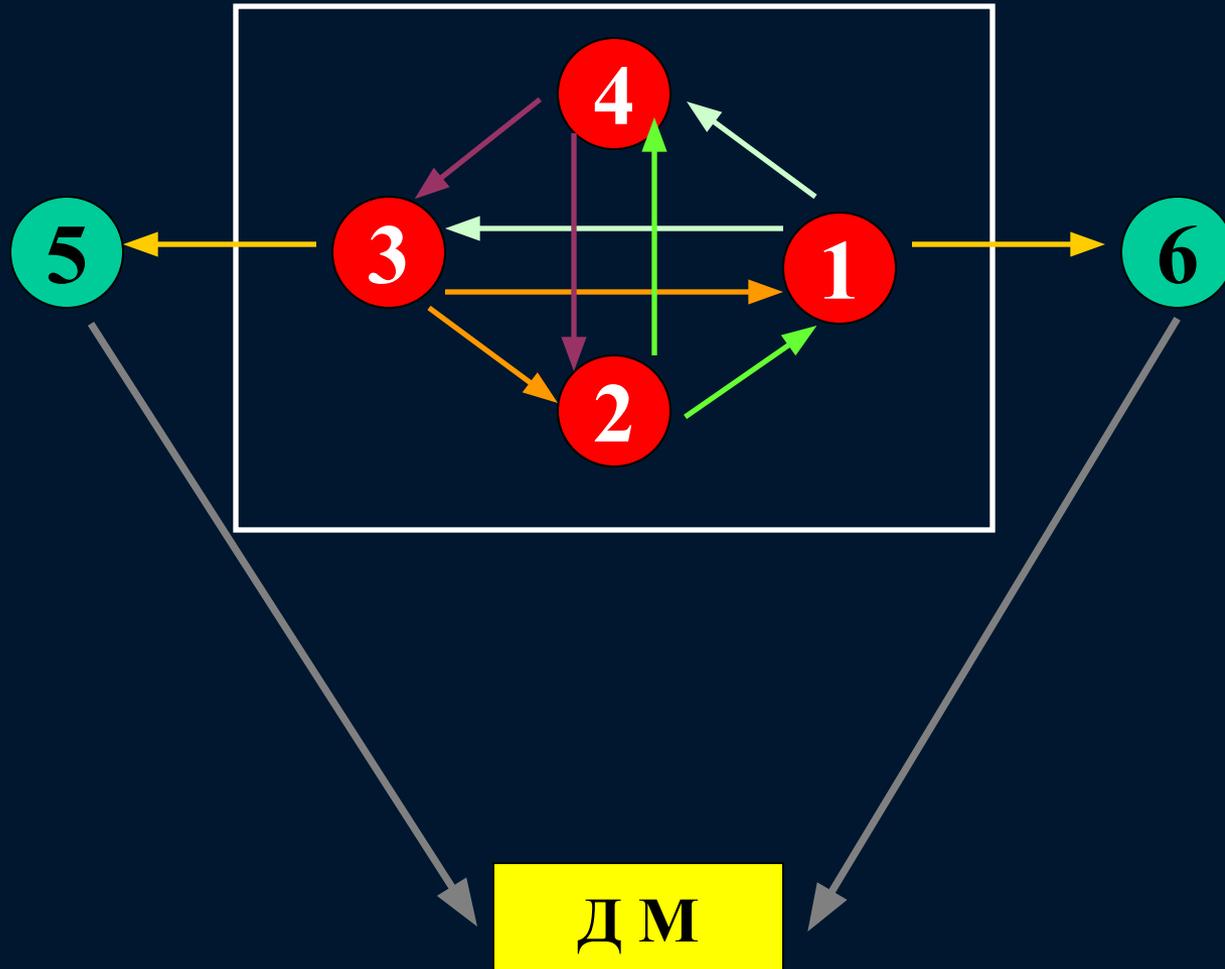
- Различные виды дыхательных нейронов образуют своеобразные микрокомплексы, которые служат теми органами, где формируется автоматизм дыхательного центра.
- Типичным ритмообразующим комплексом является система из четырех нейронов («ранних» и «поздних» инспираторных и экспираторных), объединенных возвратными связями и способных в совокупности генерировать залповую активность.

-

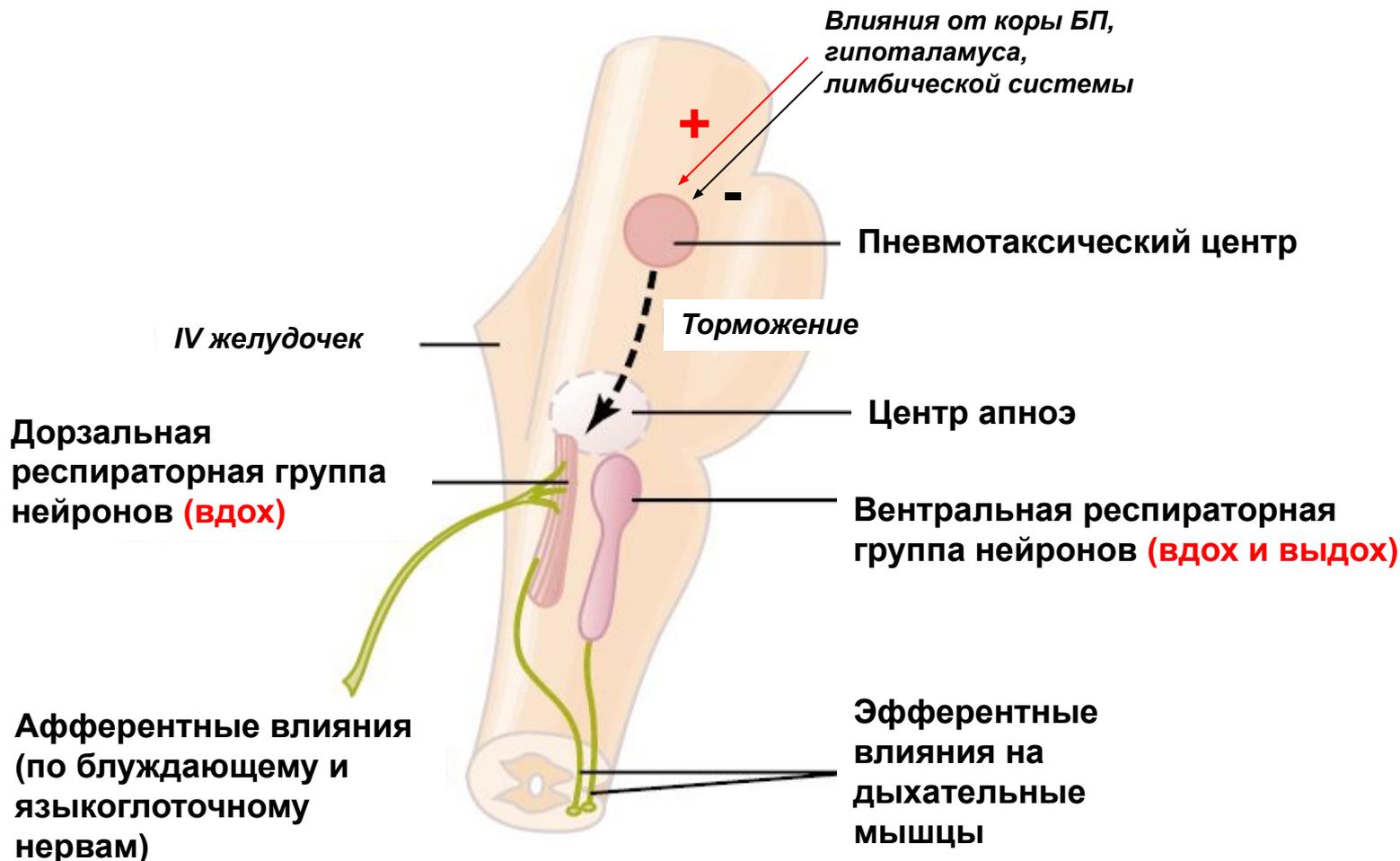
# Деятельность ритмообразующего комплекса

- Каждый цикл начинается с активности «раннего» инспираторного нейрона. Затем возбуждение переходит последовательно на «поздний» инспираторный нейрон, «ранний» и «поздний» экспираторные нейроны и снова на «ранний» инспираторный.
- Благодаря наличию возвратных связей, нейрон каждой ритмообразующей группы, возбуждаясь, оказывает тормозное воздействие на 2 предшествующих ему в цикле нейрона. «Полные» инспираторные и экспираторные нейроны обеспечивают передачу возбуждения по нисходящим путям спинного мозга к мотонейронам, иннервирующим дыхательные мышцы.

# Network model

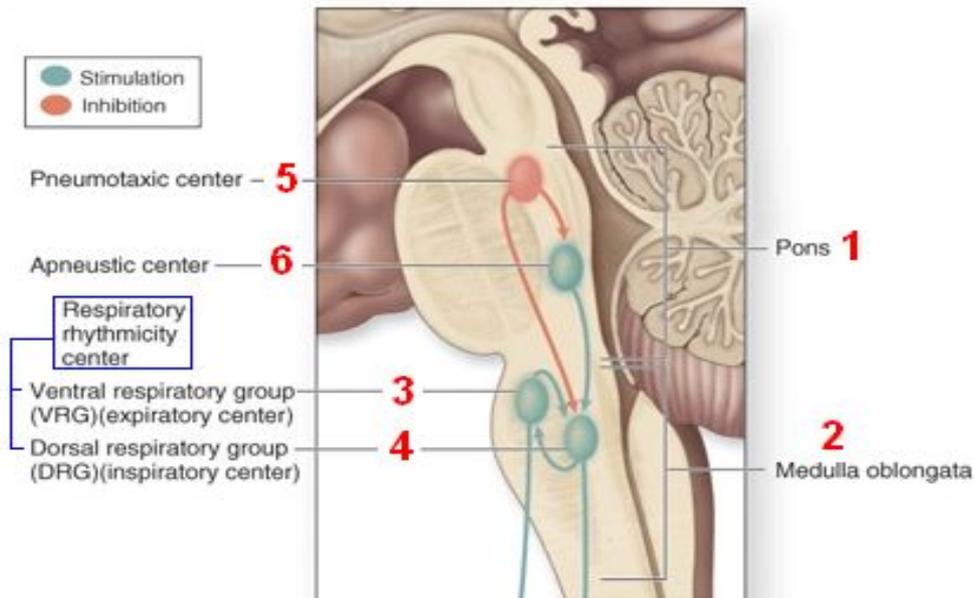


# Принципиальная схема строения дыхательного центра

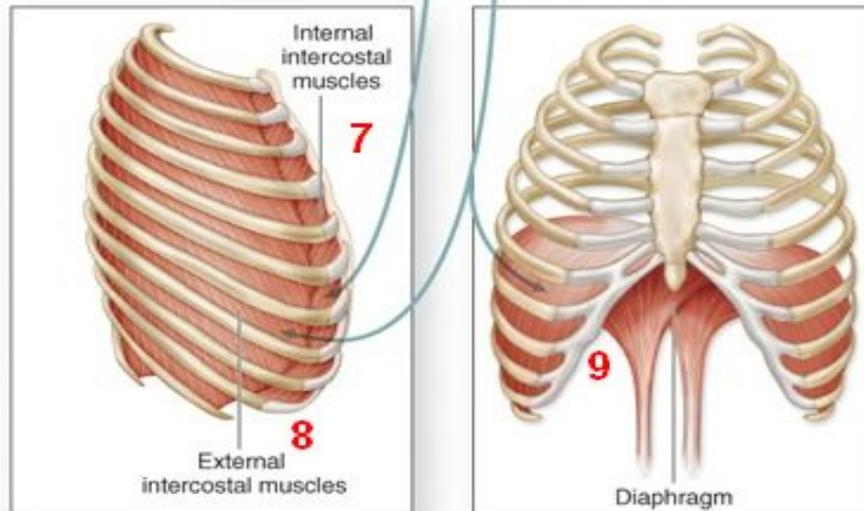


- ❖ **Дыхательный центр** образован ядрами **продолговатого мозга и моста**.
- ❖ В нем происходит генерация дыхательного ритма, обеспечивающего координированную работу дыхательных мышц.
- ❖ Разрушение этих ядер (**Флуранс**) неизбежно ведет к необратимому прекращению дыхания.

# Дыхательные центры ствола ГОЛОВНОГО МОЗГА



- **Продолговатого мозга (2)**
  - **вентролатеральный (3)**
  - **Дорсомедиальный (4)**
- **Варолиева моста (1)**
  - **Пневмотаксический (5)**
  - **Апнейстический (6)**



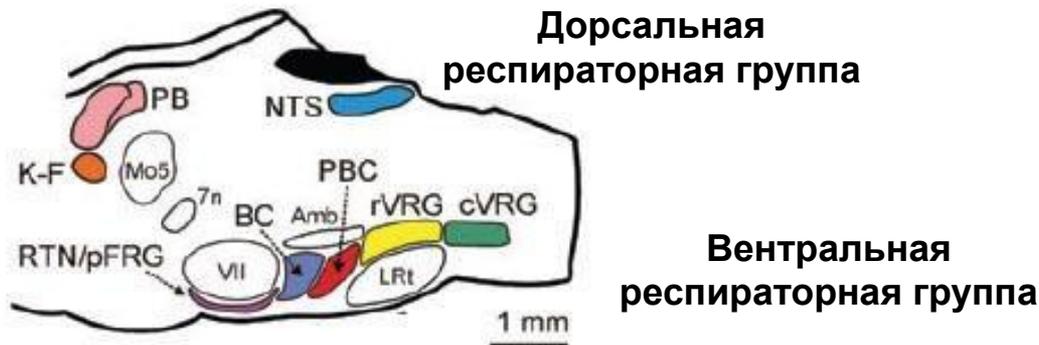
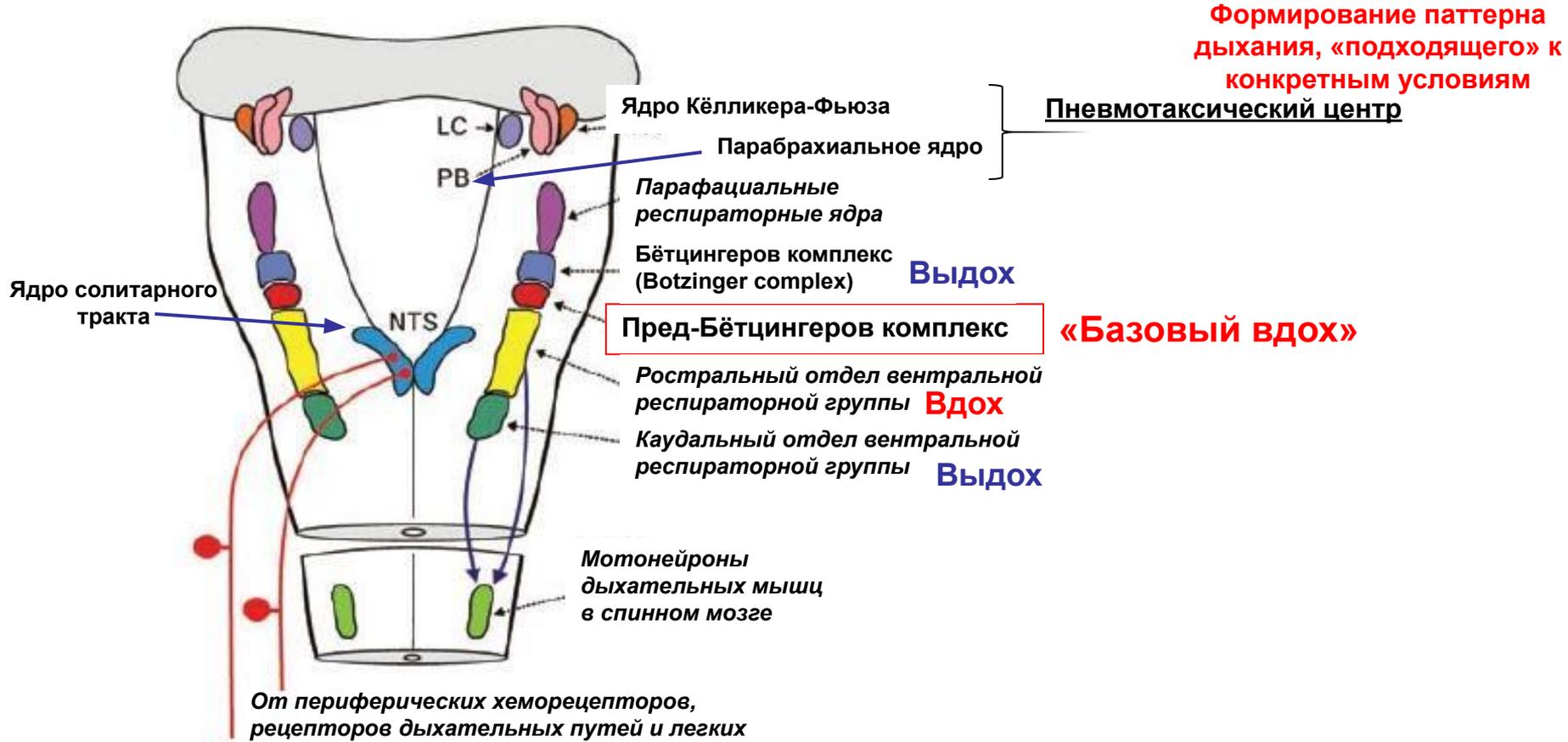
# Структура медуллярного центра

- **ДДГ и ВДГ** локализованы в Medulla двусторонне в виде 2 столбов около Obex (центральный канал спинного мозга впадает в IV желудочек).
- **ДДГ** – включает в себя симметричные области продолговатого мозга, расположенные вентролатеральнее ядра одиночного пучка. Дыхательные нейроны этой группы относятся только к инспираторному типу нейронов и представлены **поздними и полными инспираторными нейронами**
- **ДДГ**- получает сенсорную информацию от внутренних органов грудной и брюшной полостей по нервным волокнам языкоглоточного и блуждающего нервов.
- **Эфферентно они связаны с дыхательными нейронами спинного мозга**
-

# Вентральная дыхательная группа нейронов (ВДГ)

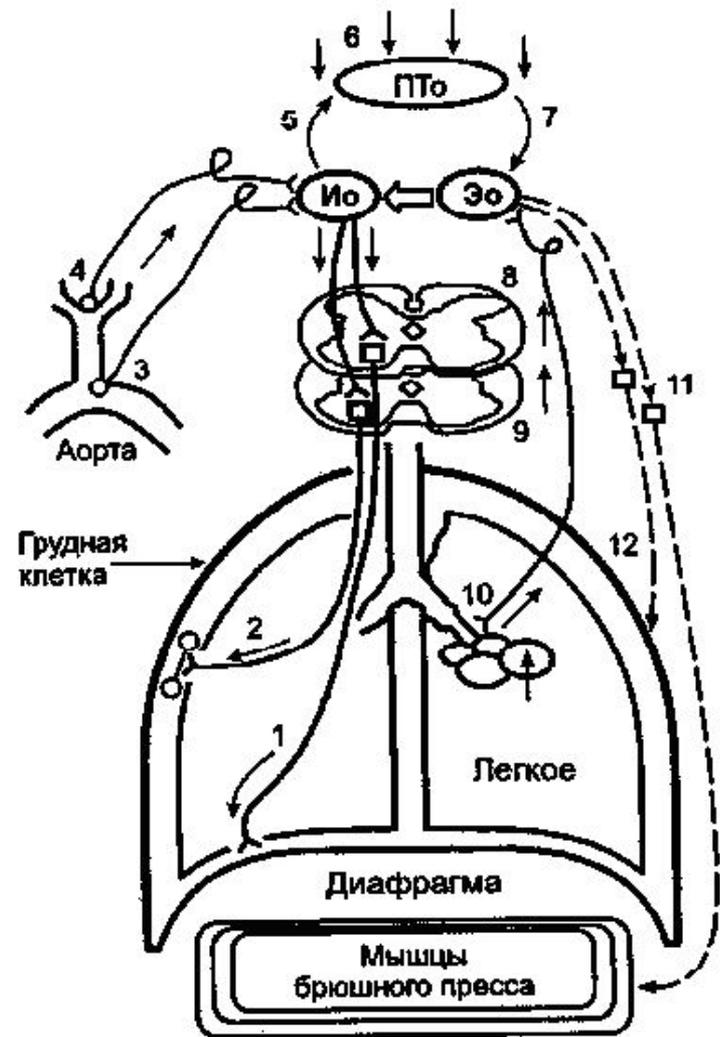
- расположена латеральнее обоюдного ядра продолговатого мозга, или ядра блуждающего нерва.
- **ВДГ** подразделяется на ростральную и каудальную части.
- **Ростральная** состоит из *инспираторных нейронов* разных типов: ранних, полных, поздних инспираторных и постинспираторных.
- Ранние инспираторные 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.
- **Каудальная** часть **ВДГ** состоит только из экспираторных нейронов (40% иннервирует межреберные мышцы, 60% мышцы брюшной стенки)
  - 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



**Дыхательный ритм формируется в результате:**

- **активности нейронов-пейсмекеров и их взаимодействия в нейронной сети**
- **реципрокных связей инспираторных и экспираторных нейронов**
- **афферентации от рецепторов легких и дыхательных мышц**



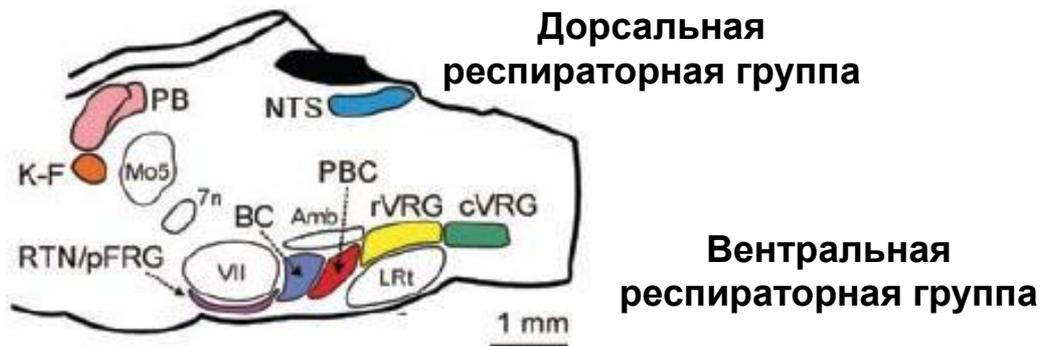
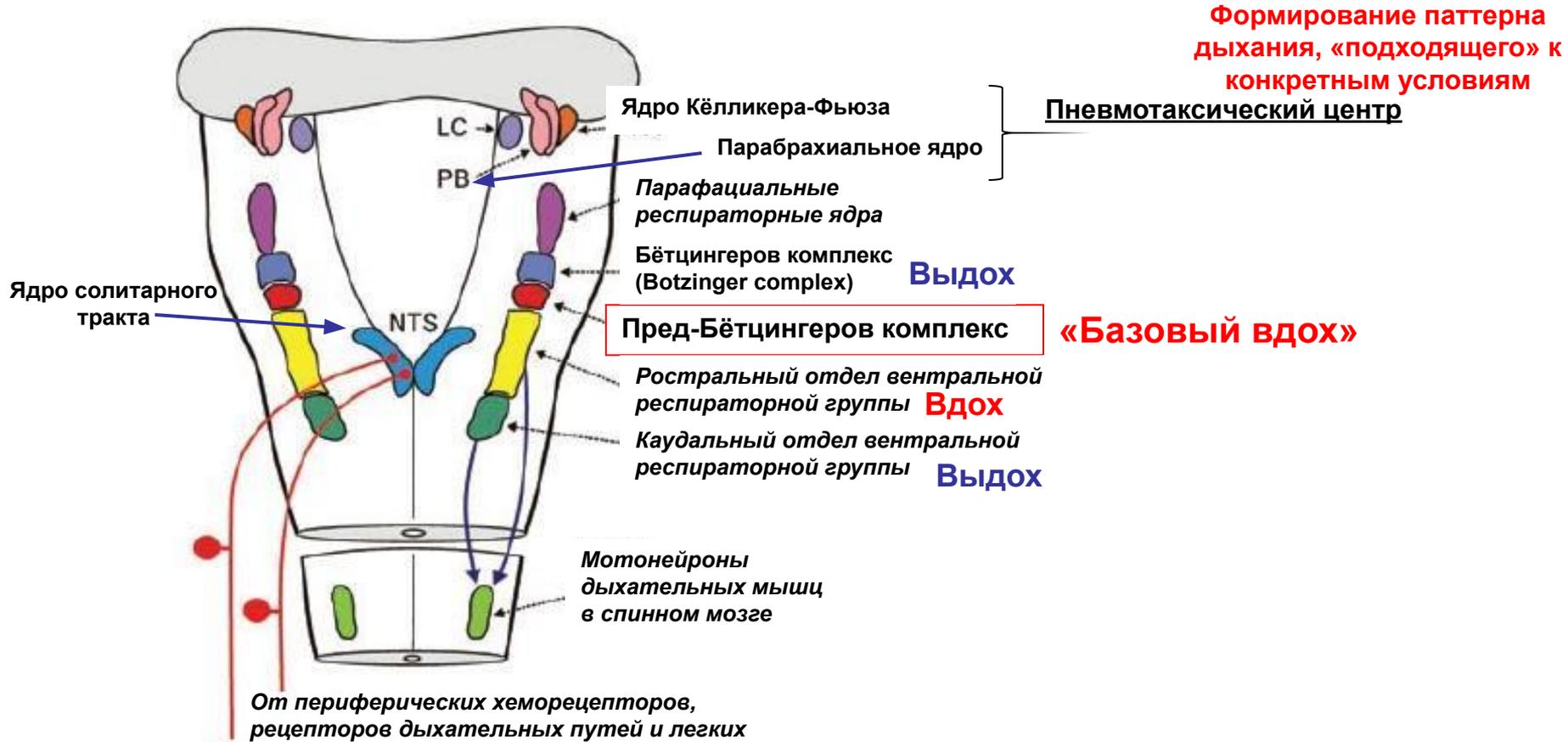
- **Схема нервных связей дыхательного центра: Ио — инспираторный отдел дыхательного центра продолговатого мозга; Эо — экспираторный отдел, ПТо — пневмотаксический отдел моста;**
- **1 — диафрагмальный нерв; 2 — межреберные нервы; 3 — рецепторы дуги аорты; 4 — рецепторы каротидного тельца;**

**Дыхательные центры  
Варолиева моста**

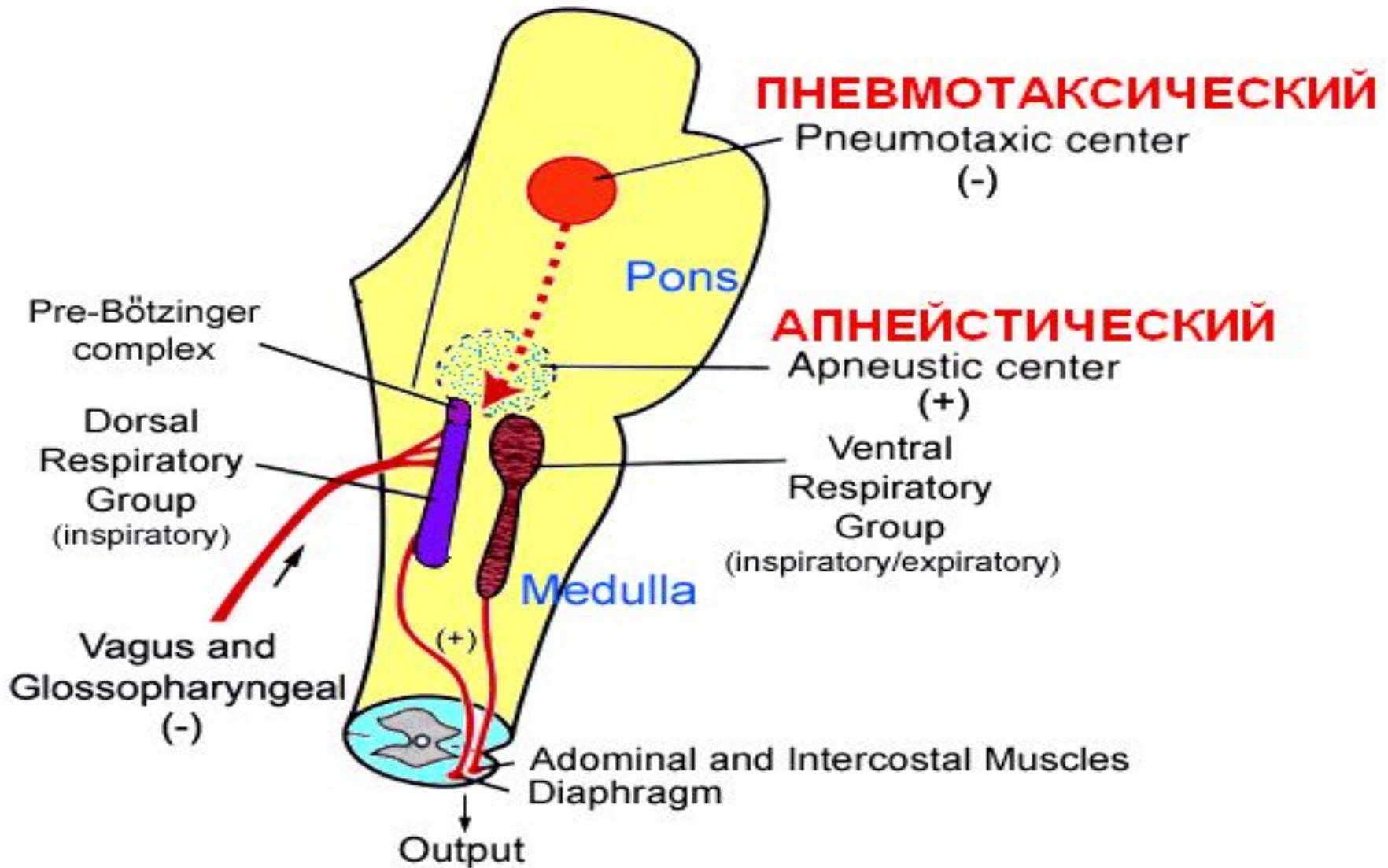
# Пневмотаксический центр моста (Т.Лумсден, 1960).

- В клювовидно-латеральной (верхней) части варолиева моста располагается **пневмотаксический центр** [ **Медиальное парабрахиальное ядро и ядро Шатра (Келликера)**]
- В первом содержатся *инспираторные , экспираторные и фазовопереходные нейроны*, во втором –*инспираторные*.
- Предполагают, что дыхательные нейроны моста участвуют в механизме *смены фаз дыхания и регулируют величину дыхательного объема*
- **Эффект: тормозит инспираторные нейроны, ограничивает длительность вдоха и повышает ЧД.**

# Разделение обязанностей между структурами дыхательного центра



# Дыхательные центры Варолиева моста



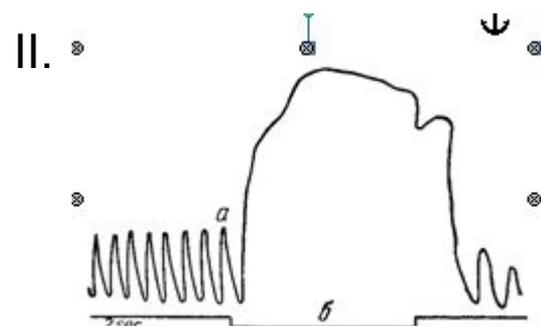
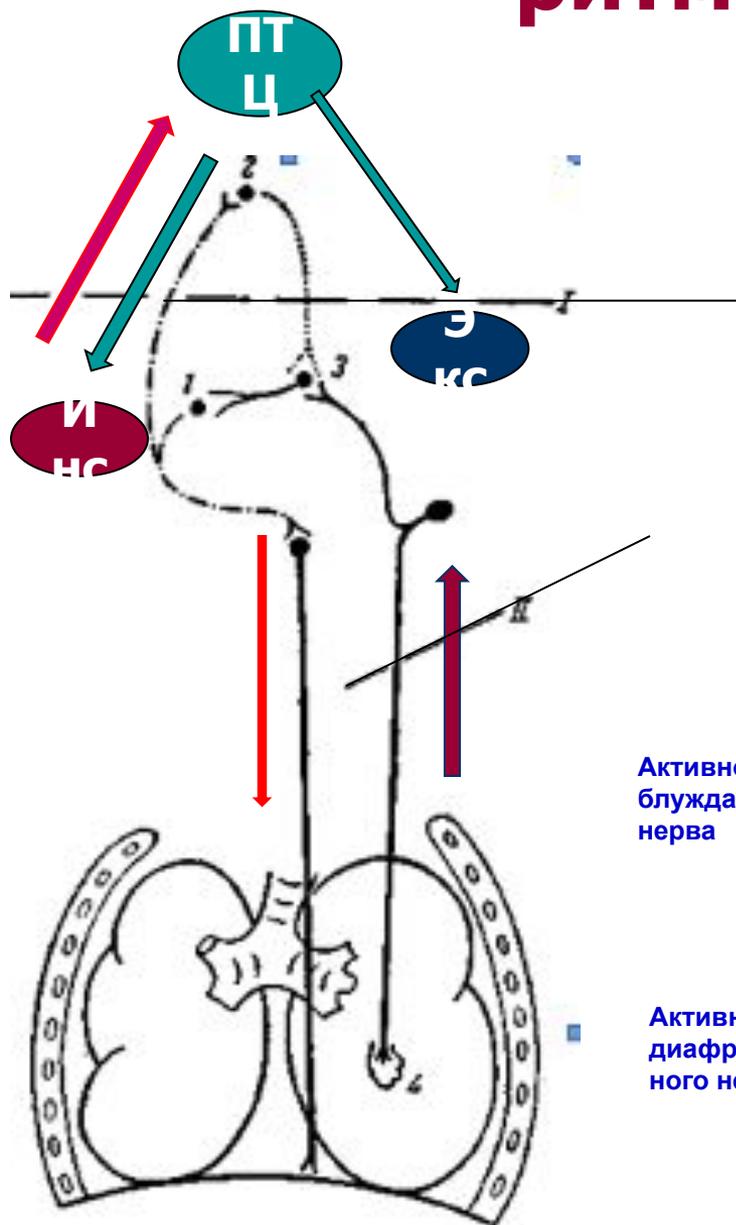
## Нейроны варолиева моста - оригинальный выключатель вдоха

- Нейроны пневмотаксического центра реципрокно связаны с нейронами ДДГ и выключают фазу вдоха (уменьшают период активности инспираторных нейронов и вызывают выдох, т.е. увеличивают ЧД). Они не участвуют в автоматическом дыхании.

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

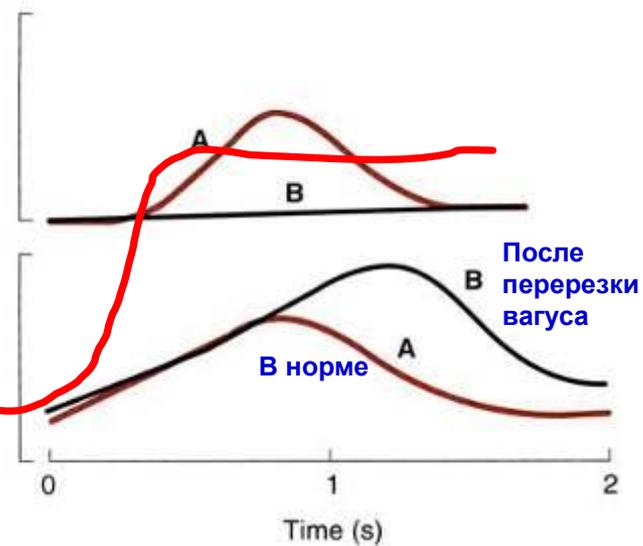
В обычных условиях его тормозит пневмотаксический центр. При отделении от пневмотаксического центра и/или от тормозных волокон блуждающего нерва происходит остановка дыхания на вдохе (**апнейзис**). Этот центр увеличивает время фазы выдоха и т.о. регулирует глубину дыхания.

# Схема генерации дыхательного ритма



Активность блуждающего нерва

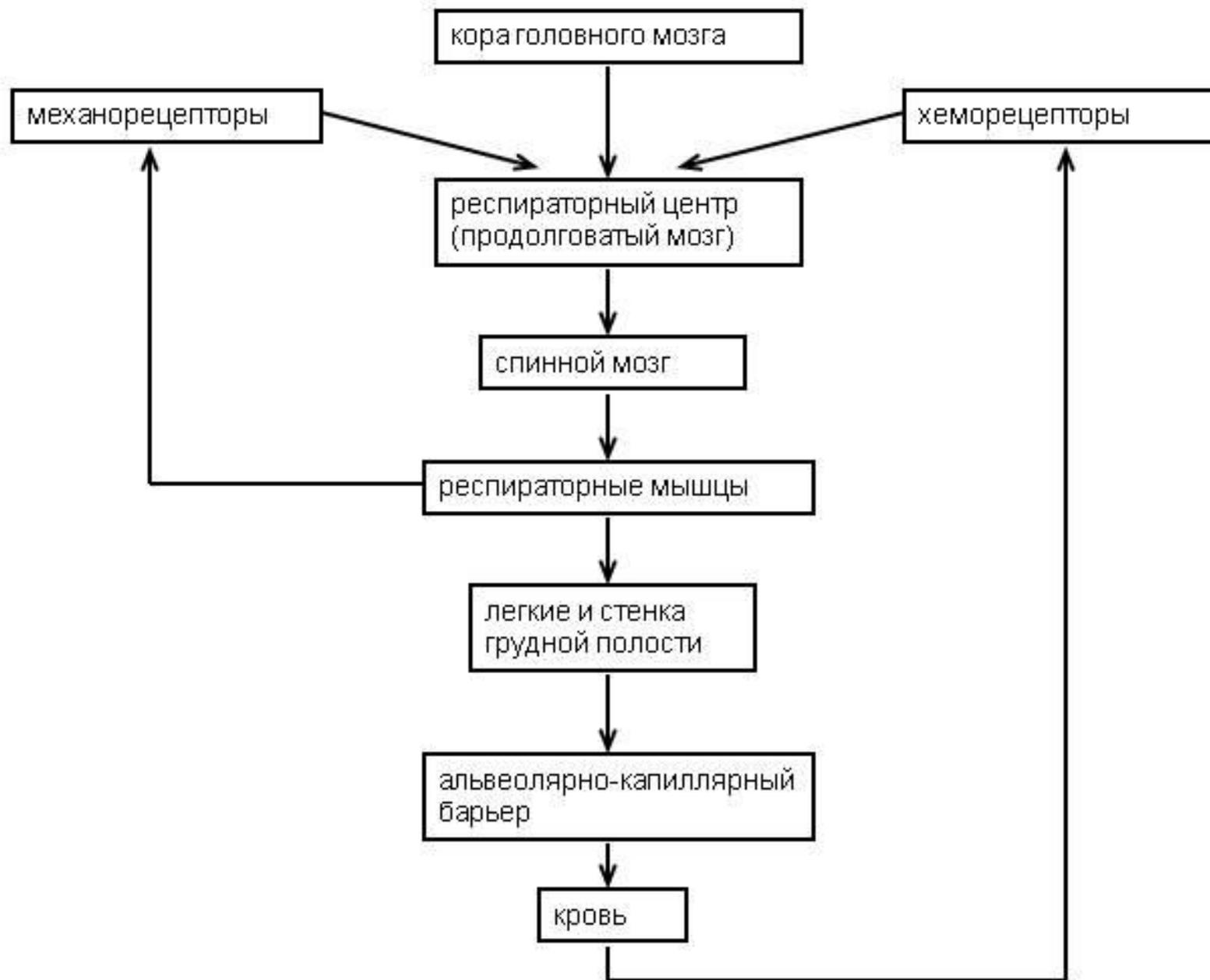
Активность диафрагмального нерва



**Влияние с  
механорецепторов на  
дыхательный центр**

# РЕФЛЕКТОРНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ

- В слизистой оболочке верхних носовых ходов между эпителиальными и опорными клетками расположены **обонятельные рецепторы**. Воздействие некоторых пахучих веществ вызывает рефлекторное изменение проходимости дыхательных путей.
- *В зависимости от локализации, вида воспринимаемых раздражений и характера рефрактерных ответов на раздражение различают*
- **3 типа рецепторов:**
  - **рецепторы растяжения легких**
  - **ирритантные рецепторы**
  - **J-рецепторы**



Примеры разных типов рефлекторной регуляции дыхания

# Рецепторы растяжения легких

- Расположены в **гладких мышцах трахеи и бронхах**, а также в **подслизистом слое и в эпителии воздухоносных путей** – они реагируют на **увеличение объема легких при вдохе** ( адекватным раздражителем для них является растяжение мышечных волокон, обусловленное изменением **внутриплеврального давления и давления в просвете дыхательных путей**) ;
- **С механорецепторов легких регулируется частота и глубина дыхания:**
- Медленно адаптируются.
- с ДЦ связаны **миелинизированными волокнами п. Vagus(40м/с)**

# **Классификация механорецепторов легких**

- **Статические**
- **Динамические**
- **Низкопороговые**
- **Высокопороговые**

# Механорецепторы с различным порогом раздражения

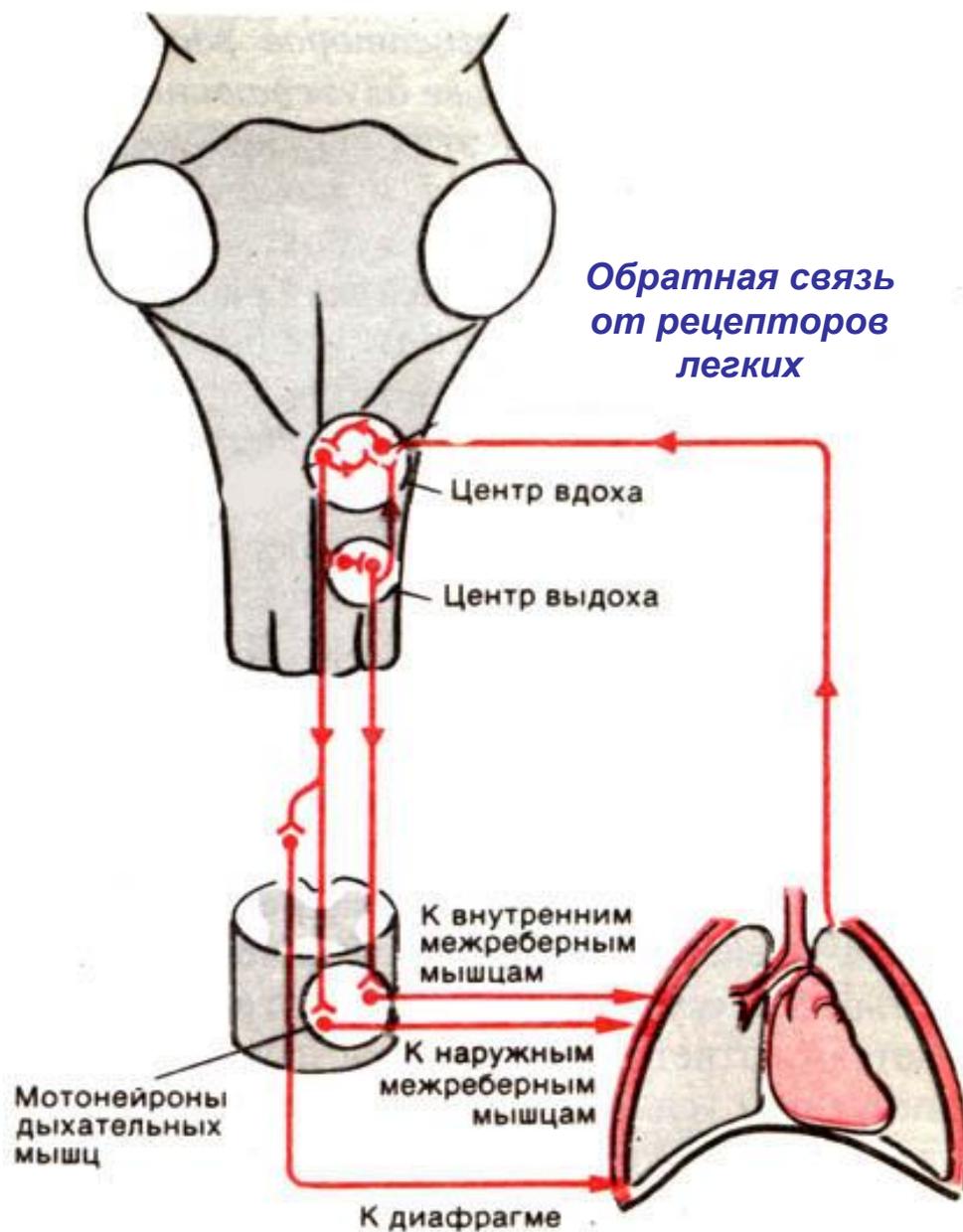
- При умеренном растяжении легких во время вдоха частота импульсов от этих рецепторов линейно зависит от объема легких.
- С **высоким порогом** генерируют импульсы только при вдохах, когда объем легких увеличивается сверх функциональной остаточной ёмкости.
- **Низкопороговые** остаются активными и во время пассивного выдоха.
- Если достигнутый объем легких длительно удерживается на постоянном уровне, то активность рецепторов растяжения мало изменяется, → обладают **медленной адаптацией**.

# Рефлекторные реакции с рецепторов дыхательных путей

- **Афферентные и эфферентные** пути этих рефлексов проходят в стволах **обонятельного, тройничного, лицевого, языкоглоточного, блуждающего и симпатических нервов**, а замыкание большинства рефлекторных дуг осуществляется в структурах дыхательного центра продолговатого мозга с подключением ядер выше перечисленных нервов.
- **Рефлексы саморегуляции дыхания** обеспечивают регуляцию глубины и частоты дыхания, а также просвета дыхательных путей.
- С рецепторов растяжения возникают:
  - 1) **Инспираторно-тормозящий рефлекс Геринга - Брейера** проявляется в том, что при растяжении легких, обусловленном вдохом (если дыхательный объем более 1 л, или при аппаратном вдувании воздуха, рефлекторно тормозится вдох и стимулируется выдох. При сильном растяжении легких этот рефлекс приобретает защитную роль, предохраняя легкие от перерастяжения. Вторым из этой серии рефлексов:

## Схема генерации дыхательного ритма

**Рефлекс Геринга-Брейера:**  
растяжение легких прерывает  
вдох и провоцирует выход  
(афферентные сигналы  
передаются по блуждающему  
нерву)



- 2) **Экспираторно-облегчающий** проявляется в условиях, когда воздух поступает в дыхательные пути под давлением во время выдоха. В ответ на такое воздействие рефлекторно тормозится появление вдоха и продлевается выдох.
- 3) **Рефлекс на спадение легких** возникает при максимально глубоком выдохе или при ранениях грудной клетки сопровождаемых пневмотораксом. Он проявляется частым поверхностным дыханием, препятствующим дальнейшему спадению легких.
- 4) Выделяют также **парадоксальный рефлекс Хеда**, проявляющийся в том, что при интенсивном вдувании воздуха в легкие **на короткое время (0,1-0,2 с)** может активироваться **вдох**, сменяющийся затем **выдохом**.

# Ирритантные рецепторы

- Быстро адаптирующиеся рецепторы, порог раздражения которых выше, чем рецепторов растяжения легких;
- *Работают кратковременно. Могут быть как механо так и хеморецепторы.*
- *Расположены в эпителии и субэпителиальном слое воздухоносных путей вплоть до альвеол, особенно много в области корня легких, реагируют на быстрое изменение объема легких, на механические воздействия (пыль) и пары химических веществ: гистамина, простагландинов, брадикинина.*

# Парадоксальный рефлекс Хеда

- **Ирритантные рецепторы** принимают участие в возникновении своеобразного рефлекса, 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.

# Кашлевой рефлекс.

вызывается 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;

## Рефлекс Кречмера

- резкий спазм голосовой щели и прекращение дыхания при вдыхании паров раздражающих веществ.

## Рефлекс нырляшика

вызывается попаданием жидкости в носовые ходы и проявляется остановкой дыхательных движений, препятствуя прохождению жидкости в ниже лежащие дыхательные пути



## **Рефлекс чихания.**

**Он возникает при раздражении рецепторов слизистой носа и носоглотки, в виде серии выдыхательных движений на фоне раскрытой голосовой щели;**

**Одновременно усиливается слезообразование и слезная жидкость по слезно-носовому каналу поступает в полость носа и увлажняет ее стенки. Все это способствует очищению носоглотки и носовых ходов.**



# Рецепторы легких и дыхательных путей

(сигналы от них идут в продолговатый мозг по волокнам блуждающего нерва)

<i>Тип волокон</i>	<i>Расположение</i>	<i>Стимулы</i>	<i>Реакция</i>
<b>Миелинизированные медленно адаптирующиеся</b>	<b>Около гладкомышечных клеток дыхательных и в паренхиме легких</b>	<b>Заполнение легких</b>	<b>Укорочение вдоха, рефлекс Геринга-Брейера, расширение бронхов, тахикардия</b>
<b>Миелинизированные быстро адаптирующиеся</b>	<b>Около эпителиальных клеток дыхательных путей</b>	<b>Механические и химические стимулы (в т.ч., эндогенные – гистамин, простагландины)</b>	<b>Кашель, сужение бронхов, секреция слизи</b>
<b>Немиелинизированные С-волокна</b>	<b>Вблизи от кровеносных капилляров («юстакапиллярные»)</b>	<b>Застой крови в легких, химические вещества (брадикинин, серотонин, капсаицин)</b>	<b>Задержка дыхания с последующим частым дыханием, брадикардия, снижение артериального давления, секреция слизи</b>

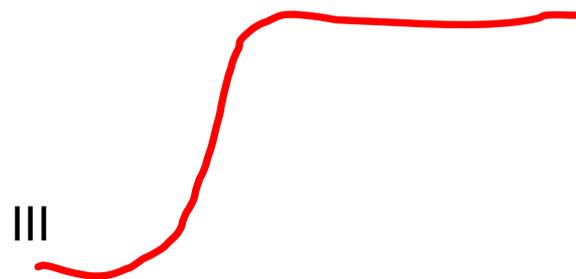
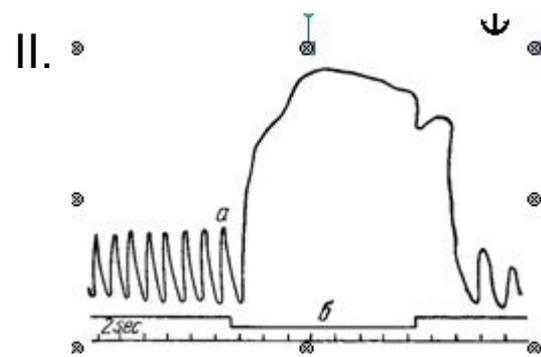
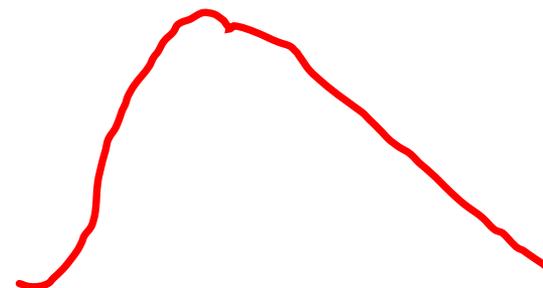
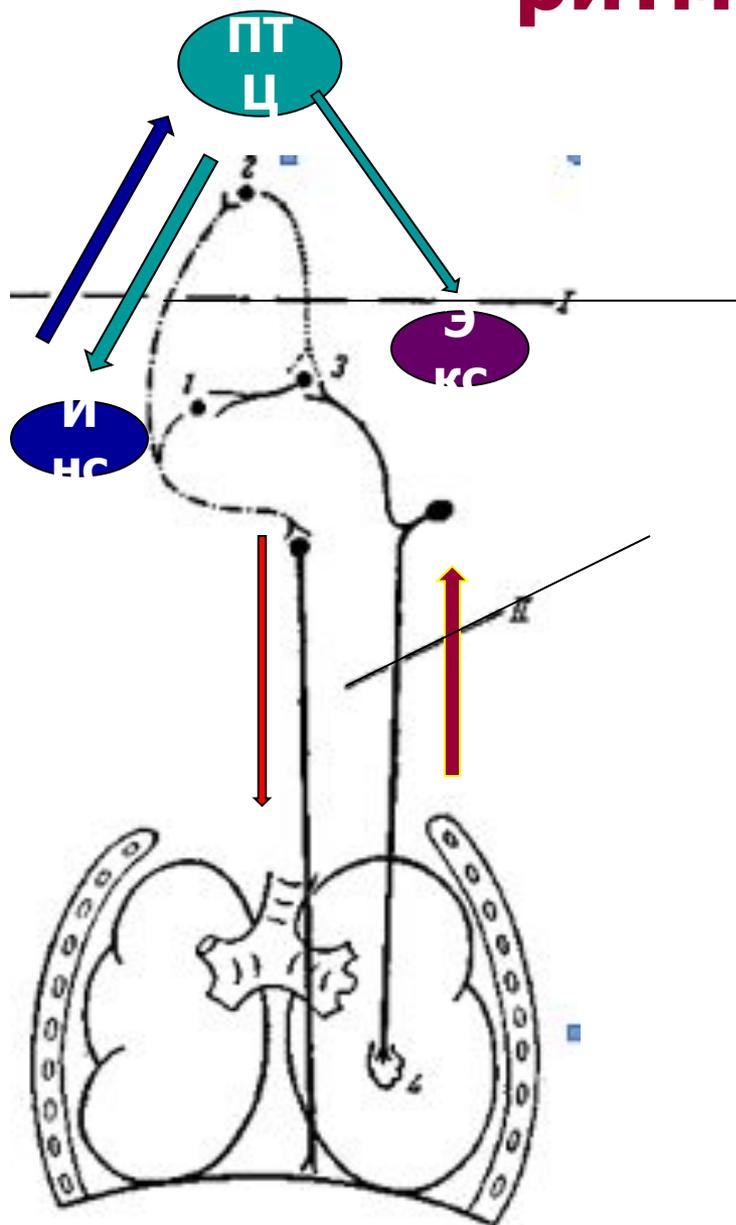
# Юкстаальвеолярные рецепторы (J-рецепторы)

- 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.

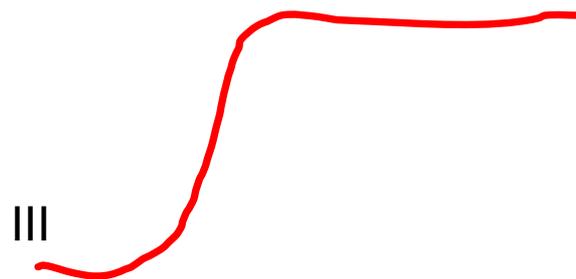
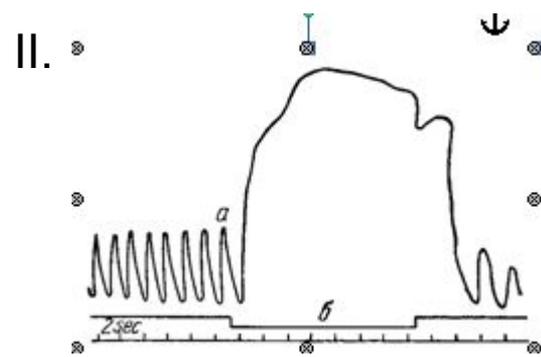
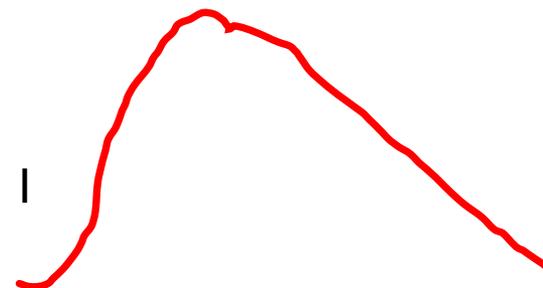
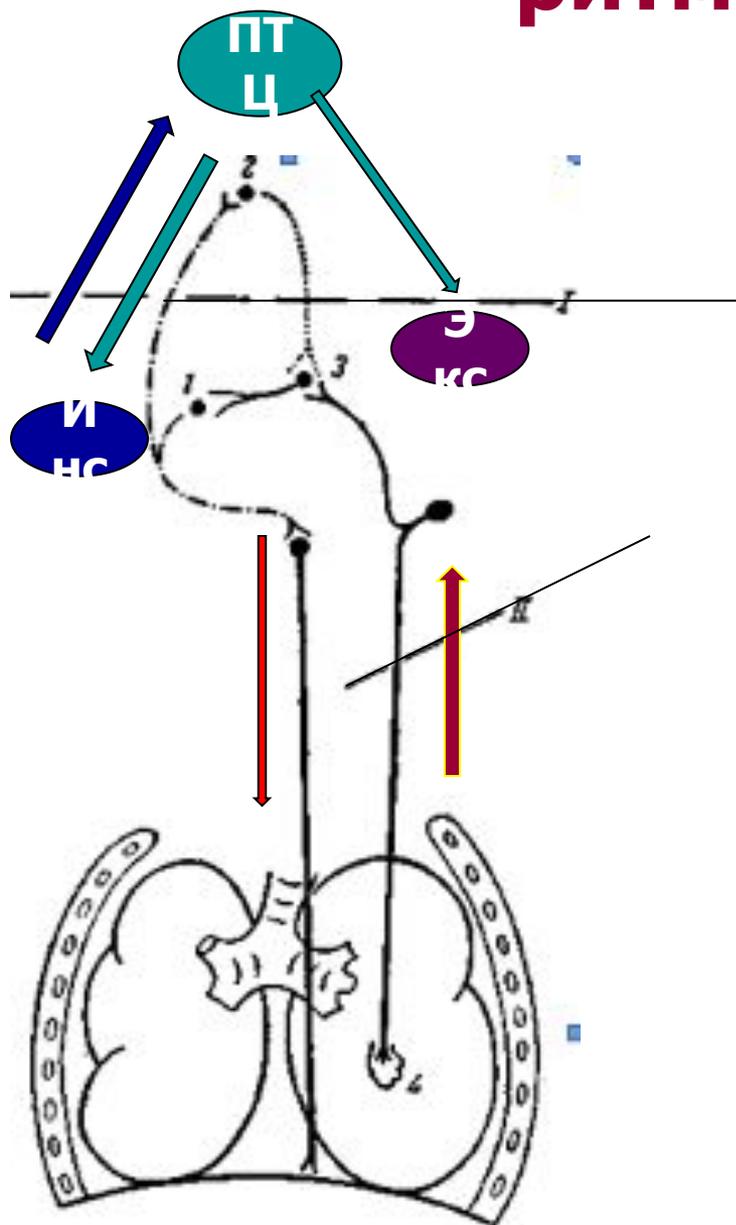
# **Проприорецепторы дыхательных мышц**

- Проприорецепторы (в том числе мышечные веретена и  $\gamma$ -мотонейроны) в периферических суставах и мышцах усиливают вентиляцию при пассивной и активной работе
- 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.

# Схема генерации дыхательного ритма



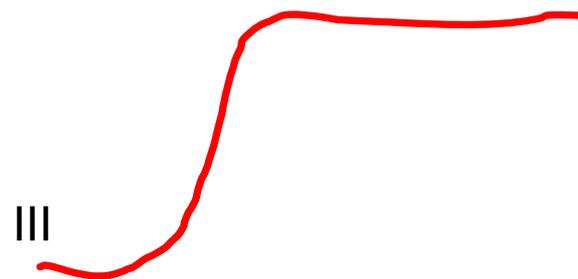
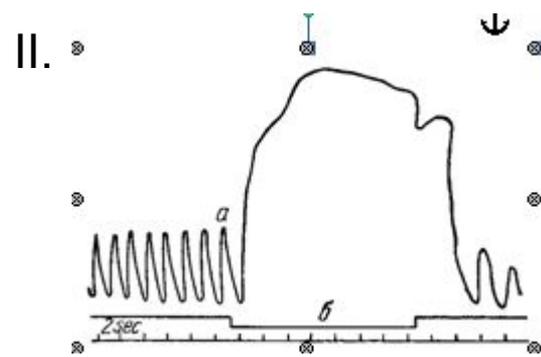
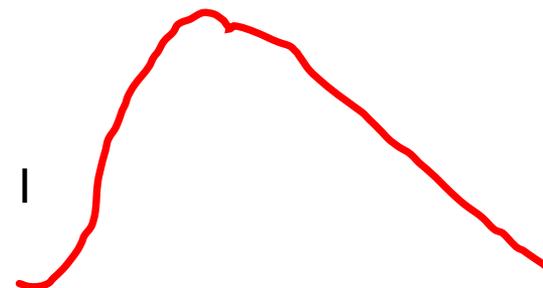
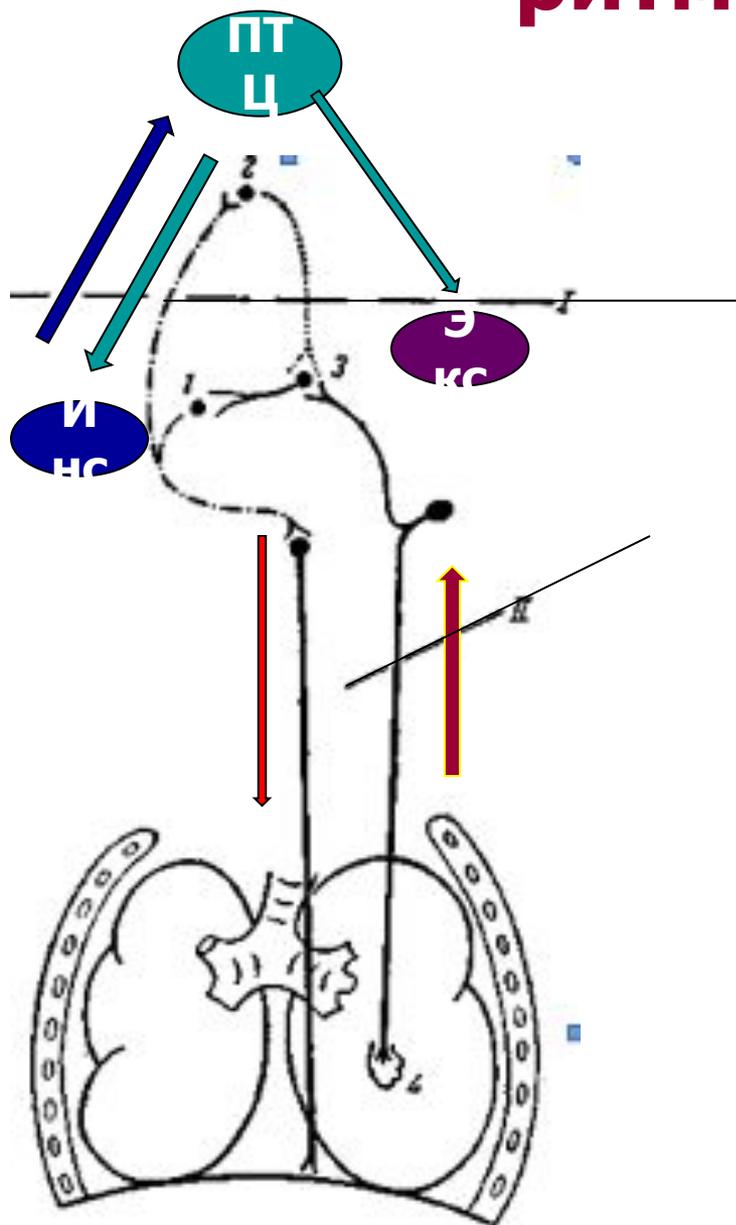
# Схема генерации дыхательного ритма



# Различают несколько типов патологического дыхания

- **Гаспинг, или терминальное редкое дыхание,** которое проявляется судорожными вдохами-выдохами. Оно возникает при резкой гипоксии мозга или в период агонии.
- **Атактическое дыхание,** т.е. неравномерное, хаотическое, нерегулярное дыхание. Наблюдается при сохранении дыхательных нейронов продолговатого мозга, но при нарушении связи с дыхательными нейронами варолиева моста.
- **Апнейстическое дыхание.** Апнейзис - нарушение процесса смены вдоха на выдох: длительный вдох, короткий выдох и снова - длительный вдох.

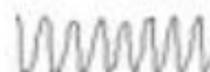
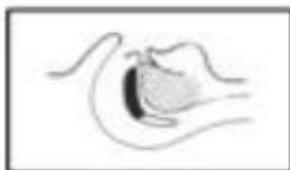
# Схема генерации дыхательного ритма



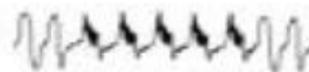
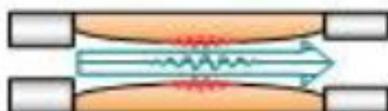
*Еurore*

Варианты нарушений дыхания со стороны верхних дыхательных путей (ВДП).

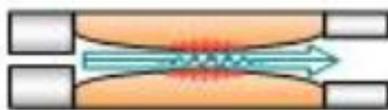
вдп



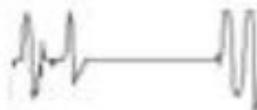
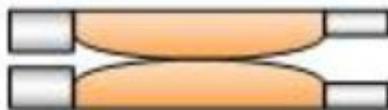
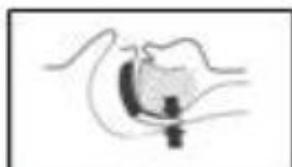
Нормальное дыхание



Храп/ограничение респираторного потока



Гипопноз



Апноэ

**tucp**

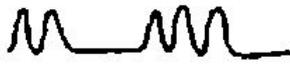
1	Эйпноэ	
2	Гиперпноэ	
3	Апноэ	
4	Дыхание Чейна – Стокса	
5	Дыхание Биота	
6	Апнейзис	
7	Гаспинг	

Рис. 24. Различные формы дыхания в норме (1, 2, 3) и патологии (4, 5, 6, 7)  
(по В.Ефимову и В.Сафонову с изм.)

# Дыхание типа Чейна-Стокса

- постепенно возрастает амплитуда дыхательных движений, потом сходит на нет и после паузы (апноэ) вновь постепенно возрастает.
- Возникает при нарушении работы дыхательных нейронов продолговатого мозга, часто наблюдается во время сна, при гипокапнии, при сердечной недостаточности.

# Дыхание Биота

- проявляется в том, что между нормальными дыхательными циклами "вдох-выдох" возникают длительные паузы - до 30 с.
- Такое дыхание развивается при повреждении дыхательных нейронов варолиева моста, но может появиться в горных условиях во время сна в период адаптации.
- **Куссемауля-** при снижении рН крови (метаболический ацидоз при сахарном диабете). Дыхание очень глубокое - компенсирует ацидоз.

# Нарушения и патологические типы дыхания

Нормальное дыхание



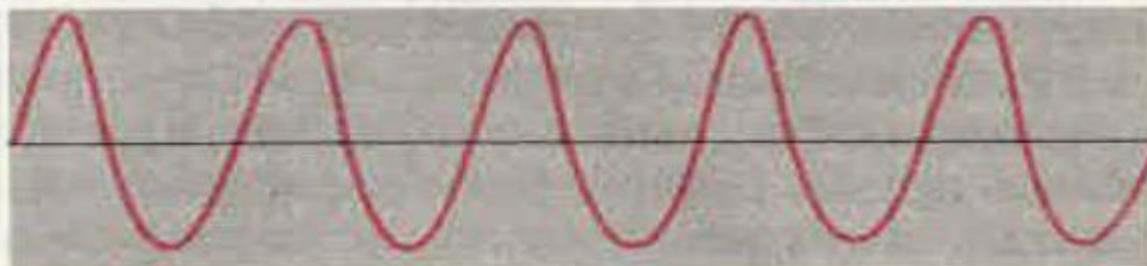
Дыхание Чейн-Стокса



Дыхание Биота



Дыхание Куссмауля



- Асфиксия (удушьё) - прекращение поступления воздуха в дыхательные пути как в результате внешних причин , так и в результате патологических процессов (обтурация-закрытие просвета трахеи и гортани инородными телами, опухолями; поражение дыхательного центра с выключением дыхания).

**Влияние высших отделов  
ЦНС на дыхательный  
центр**

# *Гипоталамус*

- Осуществляет связь дыхания с обменом веществ и терморегуляцией в организме.
- Регулирует дыхание для 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 **условнорефлекторную и произвольную регуляцию дыхания.**
- Осуществляет **корковое дублирование автоматии дыхательного центра**
- Регулирует дыхание для обеспечения социальных форм поведения.
- Регулирует дыхание при образовании речи.

# Неспецифические регуляторы дыхания

## **Возбуждают дыхательный центр**

- **Сильные холодовые или тепловые воздействия на кожу**
- **Физическая нагрузка**
- **Боль**
- **Гормоны - катехоламин ы и прогестерон**
- **Восходящая (в сторону коры) и нисходящая импульсация за счет структур коиннервации центров продолговатого мозга**

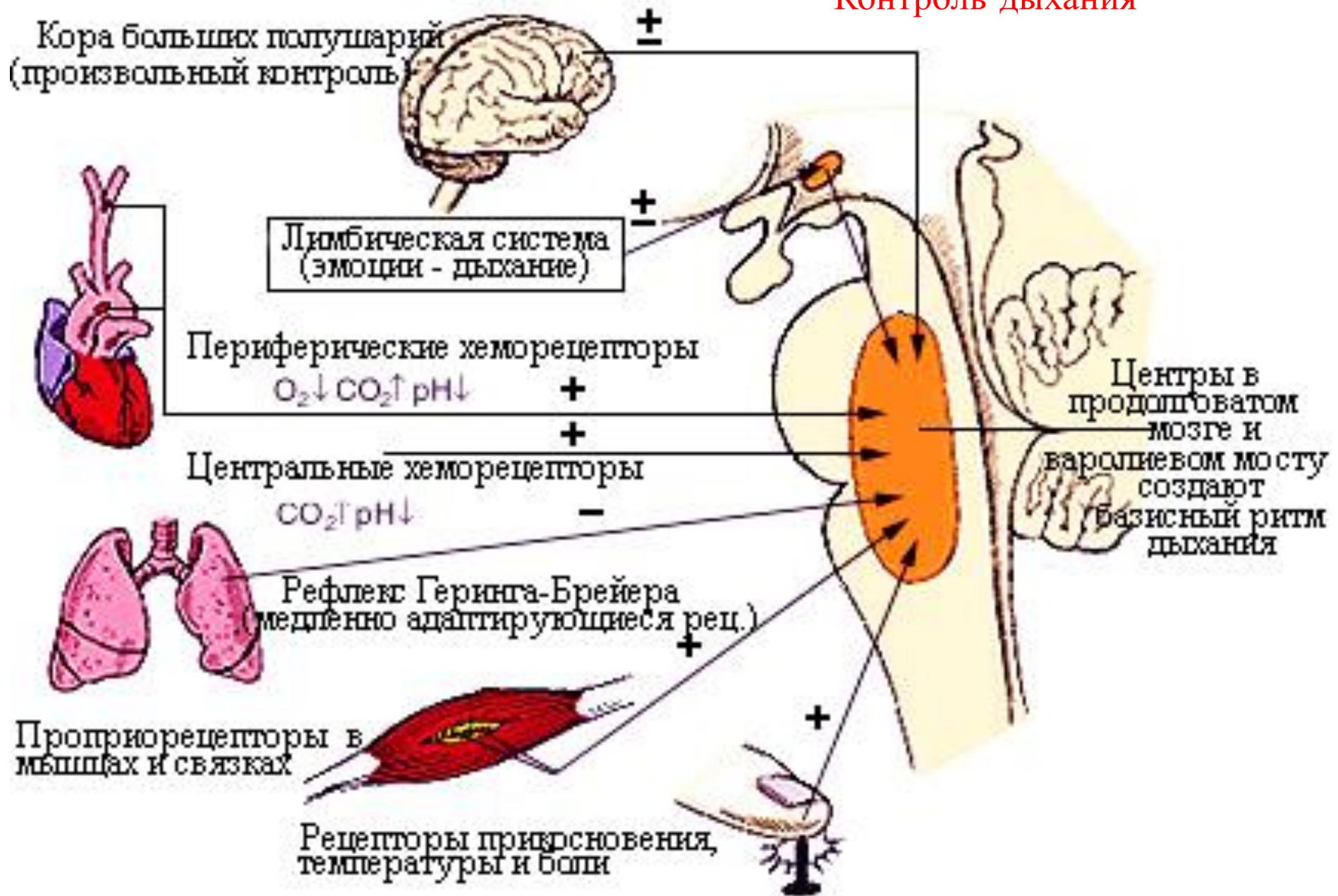
## **Тормозят дыхательный центр**

- **Повышение артериального давления**
- **Энкефалины, эндорфины снижают частоту дыхания.**

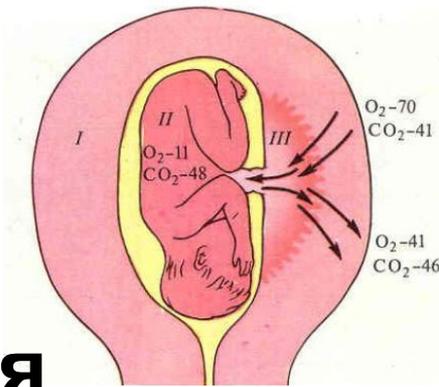
# Иннервация дыхательного центра



# Контроль дыхания



# Первый вдох новорожденного



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

*– Гипоксия-типовой патологический процесс, возникающий в результате недостаточности биологического окисления и обусловленной ею энергетической необеспеченности жизненных процессов.*



# Основные типы гипоксии

- 1) экзогенный – гипобарический, гипербарический и нормобарический;
- 2) респираторный (дыхательный);
- 3) циркуляторный (сердечно-сосудистый);
- 4) гемический (кровенной);
- 5) тканевый (первично-тканевый);
- 6) перегрузочный (гипоксия нагрузки) - интенсивная физическая работа, особенно в условиях высокогорья, гравитационные перегрузки в авиации и космонавтике;
- 7) смешанный.

# Влияние высоты над уровнем моря на парциальное давление кислорода

<b>Высота</b>	<b>Атмосфера</b>	<b>Альвеола</b>
• 0	760	149
• 2000	596	115
• <b>4000</b>	<b>462</b>	<b>87</b>
• 6000	354	64
• 8000	267	46

Denver, – 5280 футов (1609 м) над  
уровнем моря.  $P_{\text{атм}}$  – 630 мм рт ст



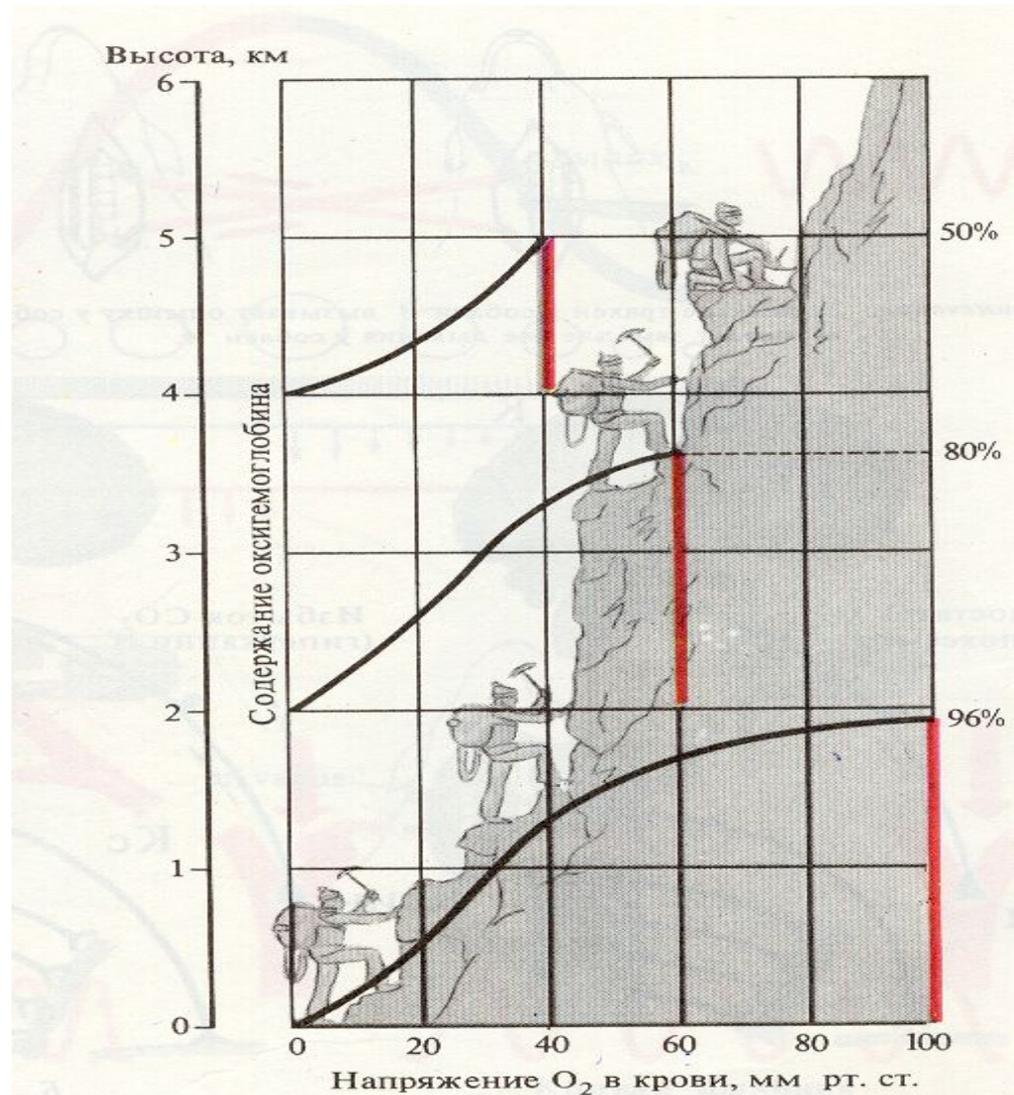
# Дыхание в необычных условиях

## Пониженное атмосферное давление:

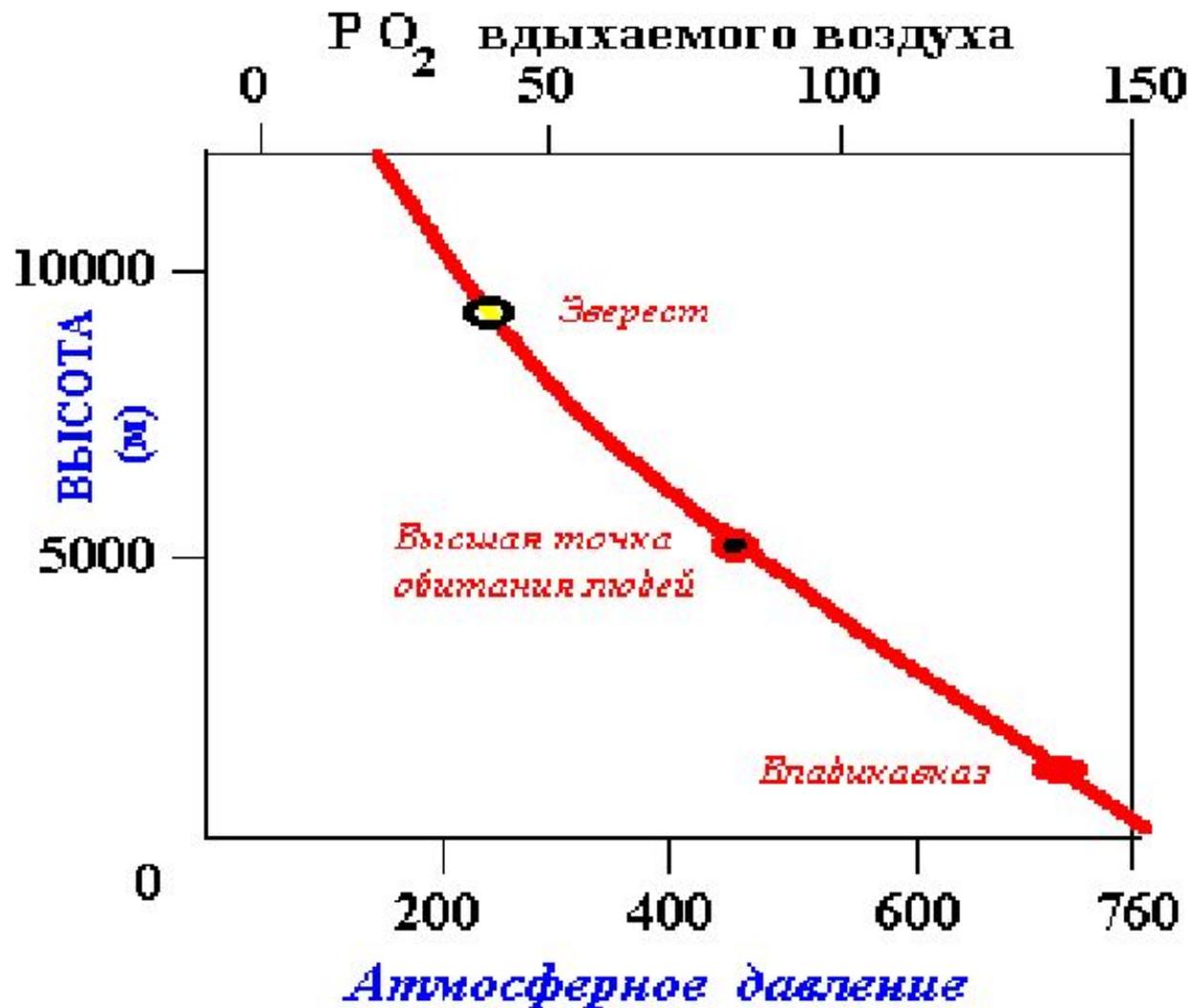
- Проявляется с высоты около **3,5 км**, появляются симптомы **горной болезни – результат гипоксемии**. Возникает гипервентиляция (при  $p_{\text{O}_2} < 60$  мм рт.ст.) – «вымывается  $\text{CO}_2$ » - остановка дыхания.
- **Горная болезнь** - *снижение умственной и физической работоспособности, утомляемость, апатия, головокружение, слабость, снижение ЧСС и АД, цианоз, одышка сменяется угнетением дыхания, появляются головные боли*



# Влияние высоты на кривую диссоциации оксигемоглобина



## Дыхание при пониженном атмосферном давлении



- при подъеме на высоту человек оказывается в условиях пониженного атмосферного давления.

- следствием понижения атмосферного давления является гипоксия, которая развивается в результате низкого парциального

# В горах чайник кипит при более низкой температуре

(давление паров насыщения = атмосферному давлению)



# КРИТИЧЕСКИЕ ПОРОГИ ГИПОКСИИ

*Патологические эффекты кислородного голодания*

- Нейтральная зона (индифферентная). - *до 2км*
  
- Зона полной компенсации - *до 4к м*
- Зона неполной компенсации (зона опасности)
- Критический порог - *5 км*  
*(критического порог гипоксии - 30-35 мм рт. ст.)*
- Критическая зона - *7 км*
- Порог смерти - *8 км*



# Патологические эффекты кислородного голодания - 2

- **Зона неполной компенсации (зона опасности)**
- ***. На высотах 4000-7000 м у неакклиматизированного человека***  
**Критическая зона. Начиная с 7000 м парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе становится ниже**  
***Наступают потенциально летальные расстройства ЦНС с потерей сознания***

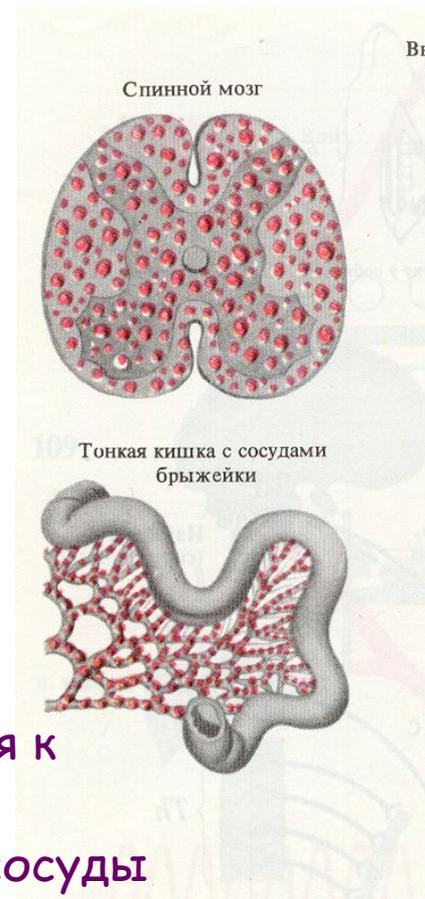
**Длительное пребывание в условиях низкого атмосферного давления сопровождается акклиматизацией к кислородному голоданию, которая проявляется в:**

- увеличении количества эритроцитов в крови в результате усиления эритропоэза;
- увеличении содержания гемоглобина в крови и повышении кислородной емкости крови;
- увеличении вентиляции легких;
- ускорении диссоциации оксигемоглобина в тканевых капиллярах, в результате сдвига кривой диссоциации вправо из-за увеличения содержания в эритроцитах 2,3 - глицерофосфата
- повышении плотности кровеносных капилляров в тканях, увеличением их длины и извилистости  
повышении устойчивости клеток, особенно нервных к гипоксии и др.

# 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**.

Мёртвое море – 1378 футов (420 м) ниже  
уровня моря.  $P_{\text{атм}}$  – 800 мм рт ст







# 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

## **здорового человека при повышении $pO_2$ .**

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.

### **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;**





*Благодарю за внимание !*

