

Физиология  
в рисунках и схемах

*Модуль 4*

Физиология дыхания

	<b>Вес</b>	<b>Потребление кислорода мл/кг·час</b>
<b>Инфузория</b>	<b>0,001 мг</b>	<b>500</b>
<b>Мидия</b>	<b>25 г</b>	<b>22</b>
<b>Речной рак</b>	<b>32 г</b>	<b>47</b>
<b>Бабочка</b>	<b>0,3 г</b>	<b>600 (покой)</b>
		<b>100 000 (полет)</b>
<b>Карп</b>	<b>200 г</b>	<b>100</b>
<b>Щука</b>	<b>200 г</b>	<b>350</b>
<b>Мышь</b>	<b>20 г</b>	<b>2 500 (покой)</b>
		<b>20 000 (бег)</b>
<b>Человек</b>	<b>70 кг</b>	<b>200 (покой)</b>
		<b>4 000 (максимальная нагрузка)</b>

**Потребление кислорода различными животными в состоянии покоя и в активном состоянии**

	<b>Дыхание в воде (рыбы)</b>	<b>Дыхание на воздухе (млекопитающие)</b>
<b>Вязкость среды</b>	<b>Вода в 100 раз более вязкая, чем воздух</b>	
<b>Плотность среды</b>	<b>Вода в 1000 раз более плотная, чем воздух</b>	
<b>Относительное содержание O<sub>2</sub></b>	<b>Низкое</b>	<b>Высокое</b>
<b>Содержание O<sub>2</sub> во вдыхаемой среде</b>	<b>0-10 мл/л</b>	<b>100-130 мл/л; ниже, чем в атмосферном воздухе из-за мертвого пространства</b>
<b>Содержание CO<sub>2</sub> в выдыхаемой среде</b>	<b>Низкое (0-13 мл/л)</b>	<b>Более 100 мл/л</b>
<b>Дыхание через:</b>	<b>Жабры: обмен через вторичные пластинки</b>	<b>Легкие: обмен через альвеолы</b>
<b>Вентиляция</b>	<b>Непрерывная</b>	<b>Во время вдоха</b>
<b>Утилизация O<sub>2</sub>, %</b>	<b>До 80</b>	<b>25</b>
<b>Потребление кислорода дыхательным насосом, %</b>	<b>20</b>	<b>1-2</b>

**Сравнение дыхания в водной и воздушной среде**

Скелетная дуга

Мышца-констриктор

Вторичные складки

Жаберная  
крышка  
Кровеносные  
сосуды

Ротовая  
полость

Жаберные  
нити

Вторичные  
складки

Полость под  
жаберной  
крышкой

Поток  
воды

Срез нити

Поток воды

Кровь течет в  
противоположном  
направлении

Кровеносные сосуды

Ротовая  
полость

Полость  
под  
жаберной  
крышкой

Оральный  
клапан

Сопротивление  
жабр

Клапан  
жаберной  
крышки

1

2

## Строение и функционирование жаберного аппарата

Всасывающий  
насос

3

4

Выталкивающий  
насос

1

3

Легкие

Диафрагма

2

4

Внутренние межреберные мышцы

Внешние межреберные мышцы

**Эволюция системы внешнего дыхания**

Гортань  
Трахея

Бронхи



Бронхи

Легкое

Бронхиальное  
дерево

Воздухоносные пути и респираторные отделы

Долька легкого



Альвеолы

Бронхиола  
Легочная артериола  
Легочная вена

Альвеолы  
Альвеолярный мешочек

Сеть капилляров  
вокруг альвеол

Терминальная  
бронхиола

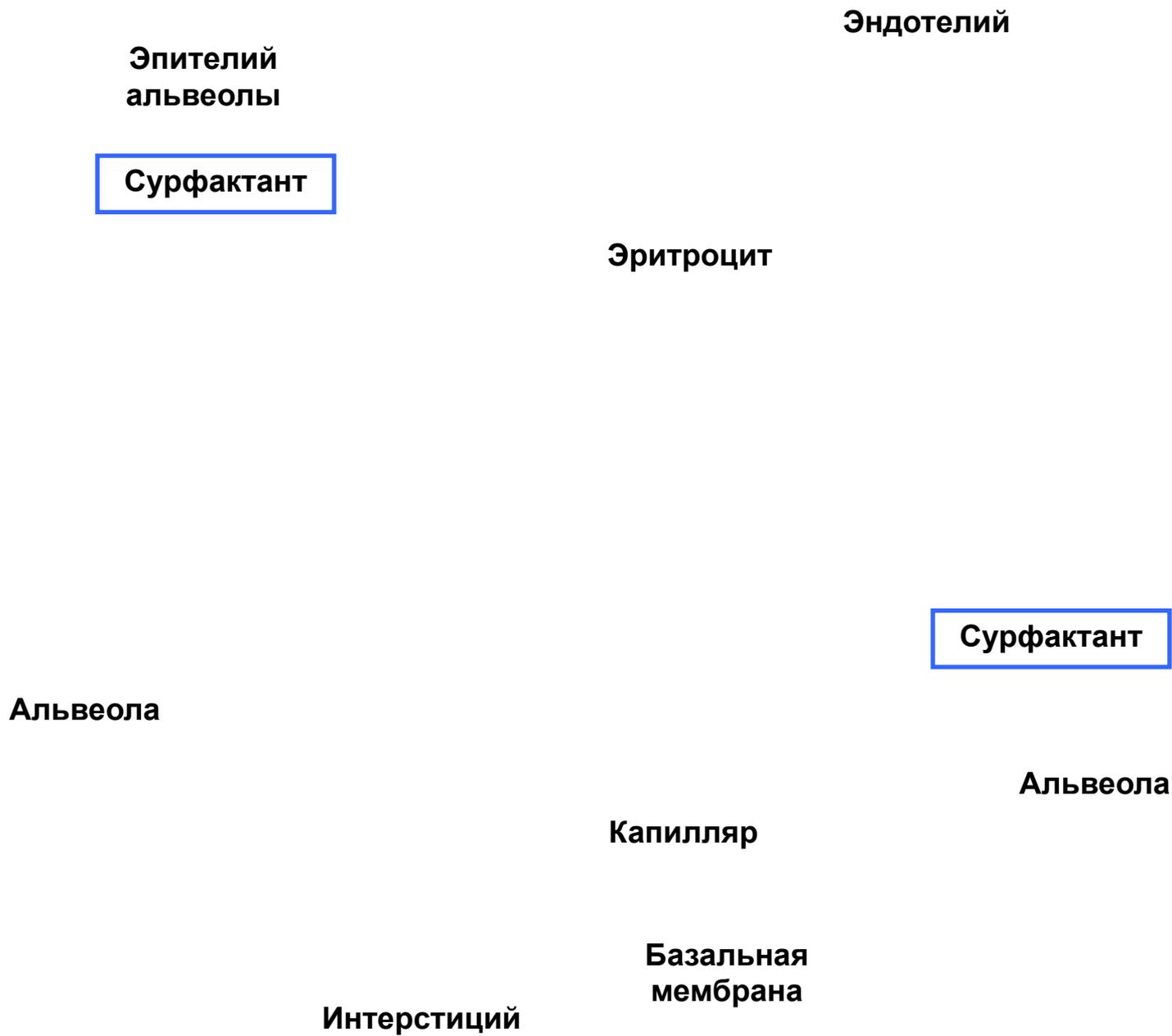
Респираторная  
бронхиола

Легочная вена

Легочная артериола

Основные структурные элементы аппарата внешнего дыхания у млекопитающих

**Строение аэрогематического барьера**



Объем легких, мл

ВДОХ

Резервный  
объем вдоха

Емкость  
вдоха

Жизненная  
емкость легких

Общая емкость  
легких

Дыхательный  
объем

Резервный  
объем выдоха

Уровень  
максимального  
выдоха

Функциональная  
остаточная емкость

ВЫДОХ

Остаточный  
объем

Время

Дыхательные объемы и емкости

	$P_{O_2}$	$P_{CO_2}$	$P_{N_2}$	$P_{H_2O}$	$\Sigma P$
<b>Атмосфера</b>	<b>159</b>	<b>0</b>	<b>601</b>	<b>0</b>	<b>760</b>
<b>Вдыхаемый воздух</b>	<b>149</b>	<b>0</b>	<b>564</b>	<b>47</b>	<b>760</b>
<b>Выдыхаемый воздух</b>	<b>116</b>	<b>28</b>	<b>569</b>	<b>47</b>	<b>760</b>
<b>Альвеолярный воздух</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>573</b>	<b>47</b>	<b>760</b>
<b>Артериальная кровь</b>	<b>95</b>	<b>40</b>	<b>573</b>	<b>47</b>	<b>760</b>
<b>Венозная кровь</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>573</b>	<b>47</b>	<b>760</b>
<b>Ткани</b>	<b>&lt;30</b>	<b>&gt;50</b>	<b>573</b>	<b>47</b>	<b>760</b>

**Парциальные давления респираторных газов (мм рт. ст.)**

**просвет альвеолы**

**венозный  
кровоток**

**артериальный  
кровоток**

**клетки**

**Обмен газов между альвеолами и клетками**

**Гем**

**Строение гемоглобина**

Насыщение гемоглобина кислородом

Напряжение  $O_2$  (мм рт. ст.)

**Кривая диссоциации оксигемоглобина крови человека**

**$a$  и  $a_1$  – «напряжение разрядки» (P50) соответственно для кривой диссоциации типа прямоугольной гиперболы (1) и кривой оксигемоглобина в крови (2);  $b$  и  $b_1$  – «напряжение зарядки» для обоих случаев**

Насыщение гемоглобина  $O_2$ , %

Напряжение  $O_2$  (мм рт. ст.)

температура

Напряжение  $O_2$  (мм рт. ст.)

Насыщение гемоглобина  $O_2$ , %

Напряжение  $O_2$  (мм рт. ст.)

Насыщение гемоглобина  $O_2$ , %

pH

Напряжение  $O_2$  (мм рт. ст.)

**Влияние физических факторов на связывание кислорода гемоглобином**

$\text{HCO}_3^-$  плазмы (70%)

нутриенты

клеточное  
дыхание

карбо-  
ангидраза

Транспорт к  
легким по  
венозному  
руслу

просвет  
альвеолы

растворенный  
 $\text{CO}_2$  (7%)

растворенный  
 $\text{CO}_2$

периферические ткани

системный капилляр

легочный капилляр

Транспорт углекислого газа

Содержание  $\text{CO}_2$

Напряжение  $\text{CO}_2$  (мм рт. ст.)

**Физиологическая кривая диссоциации  
углекислоты**

**A, B – содержание  $\text{CO}_2$  соответственно в  
артериальной и венозной крови**

Насыщение гемоглобина кислородом

**Физиологическая кривая диссоциации  
оксигемоглобина**

**I – кривая диссоциации оксигемоглобина  
при напряжении  $\text{CO}_2$  в артериальной  
крови; II – то же при напряжении  $\text{CO}_2$  в  
венозной крови; АВ – физиологическая  
кривая диссоциации оксигемоглобина**

**Изменение паттерна дыхательных движений**

**Дыхание в замкнутое пространство**

**Инспираторные      Экспираторные**  
**нейроны**

**Инспираторные      Экспираторные**  
**нейроны**

**Схемы расположения дыхательных нейронов в продолговатом мозге**



**Группы дыхательных нейронов**

**имп/с**

**Распределение активности нейронов  
в дыхательном цикле**

**1 – «среднего» инспираторного;**

**2 – экспираторного**

**продолговатый мозг**

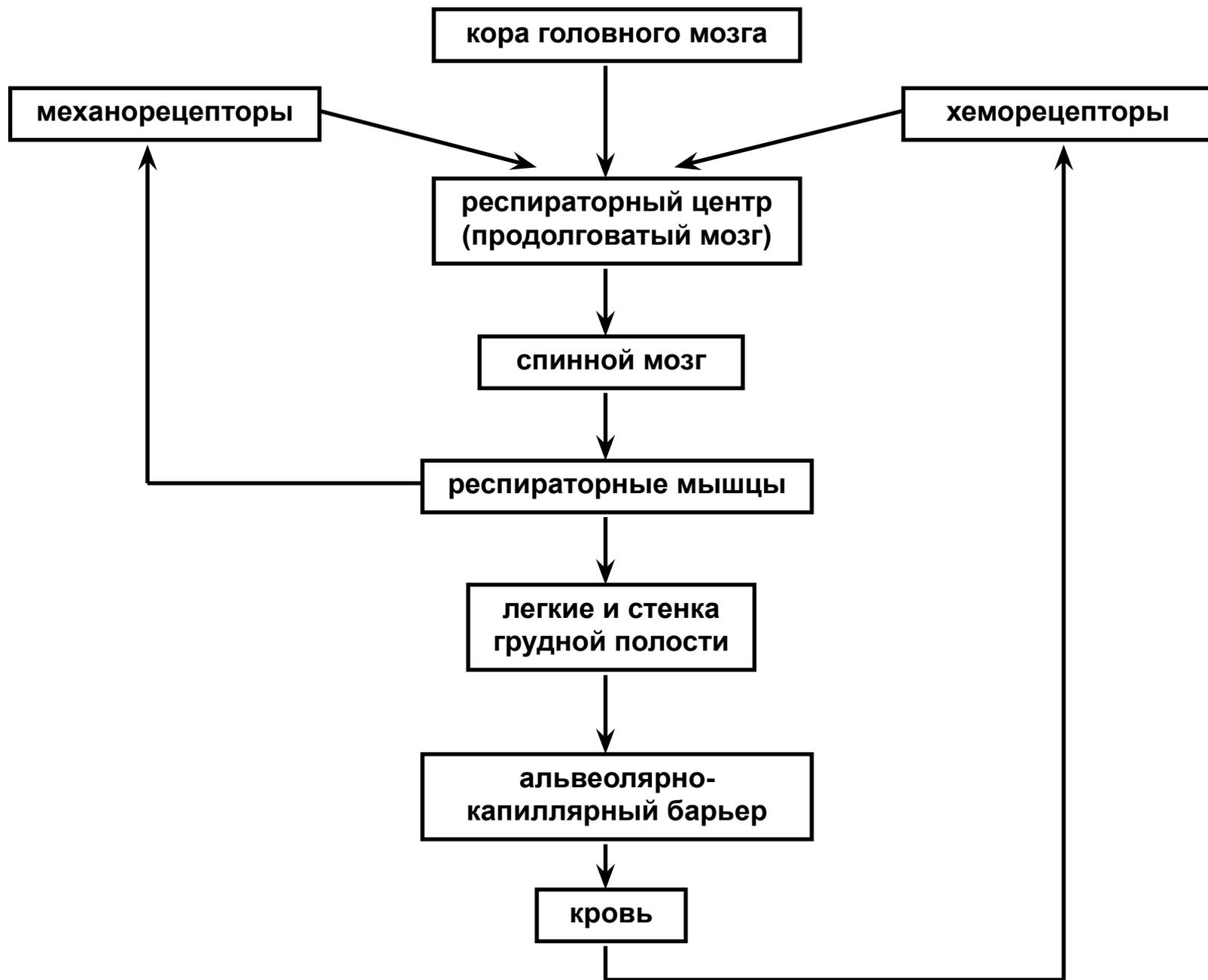
**Рефлекс Геринга-Брайера**

**хемочувствительная  
область**

**область  
инспираторных  
нейронов**

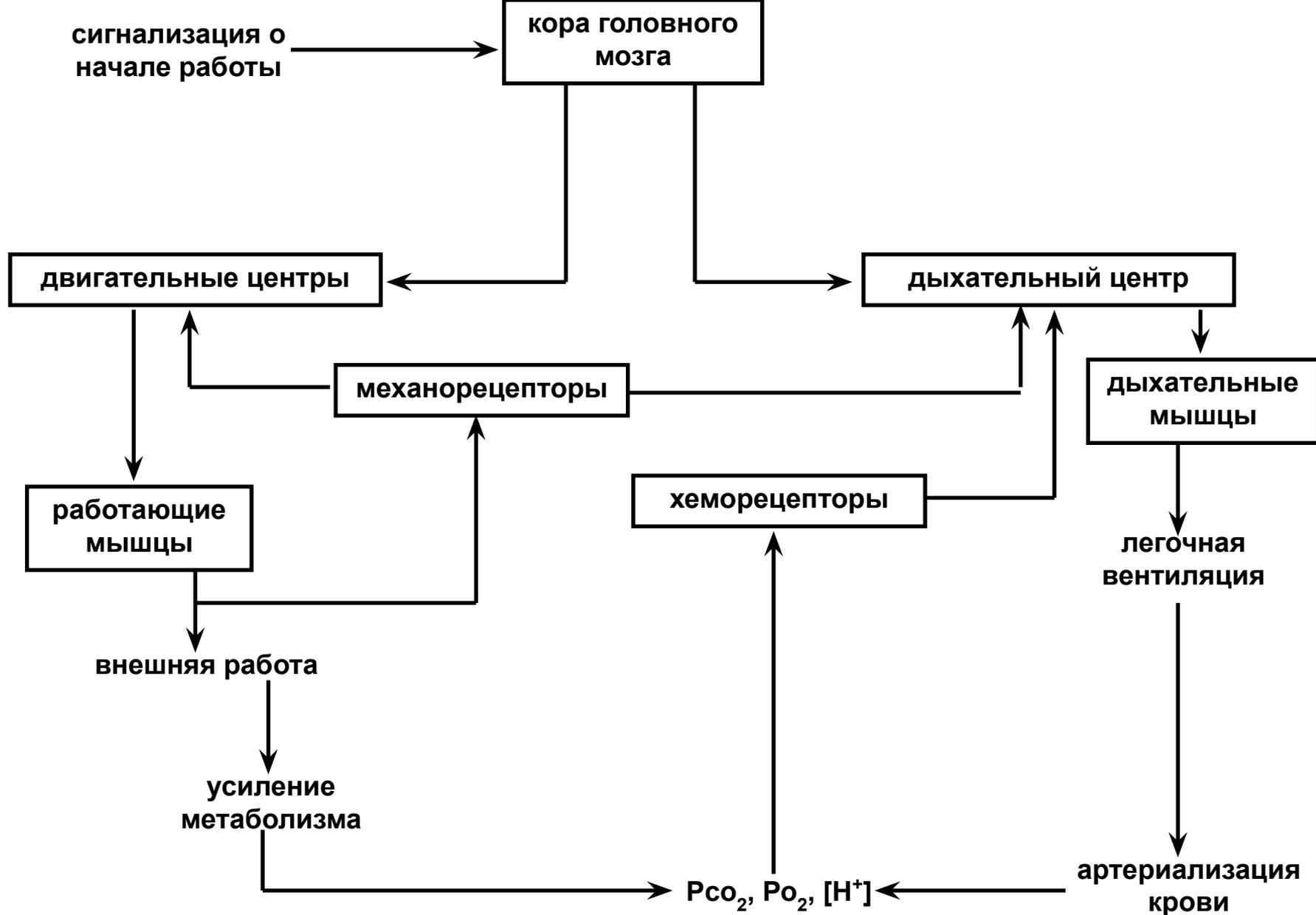
**Центральные хеморецепторы**

**Рефлекторная регуляция дыхания**



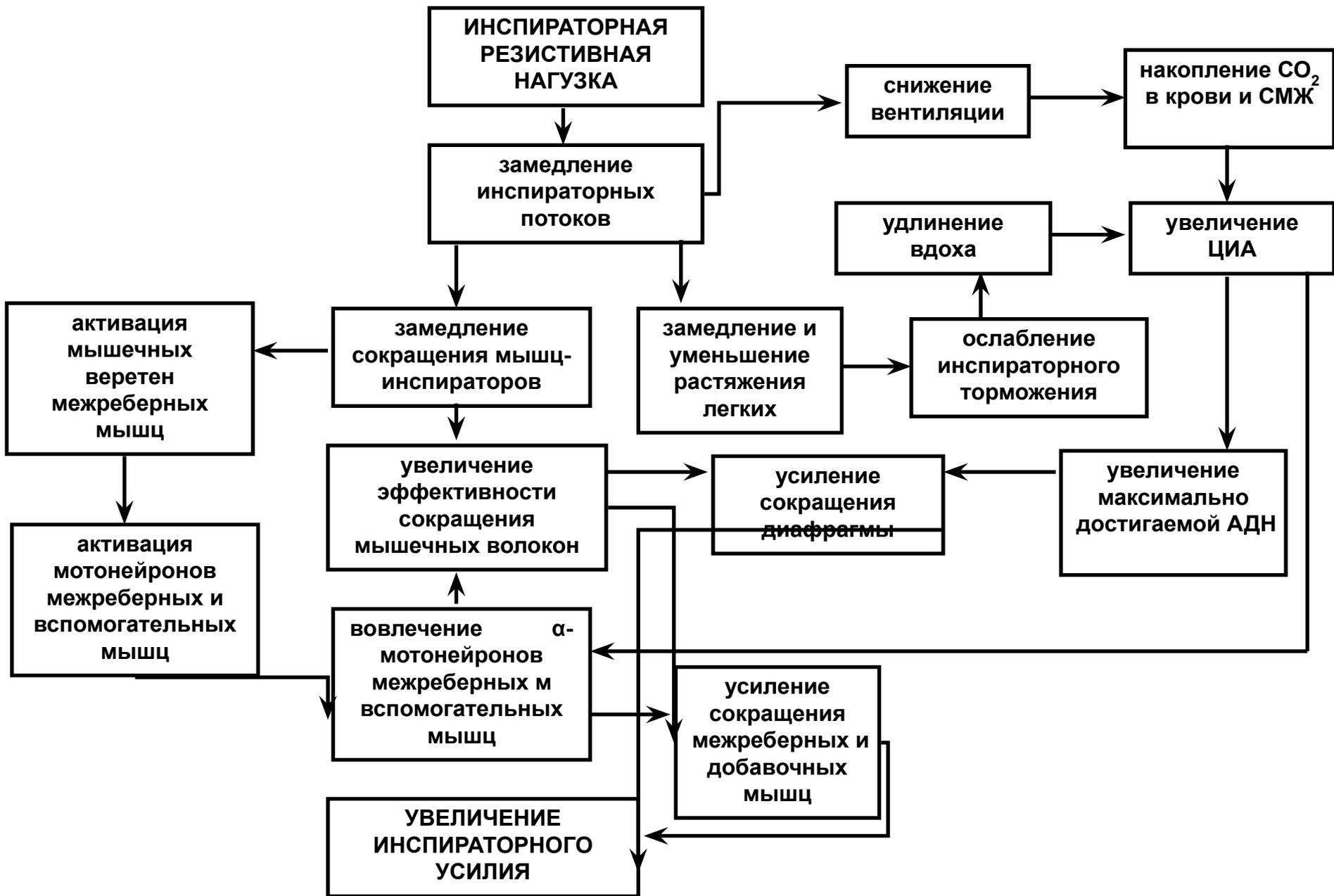
**Примеры разных типов рефлекторной регуляции дыхания**

**Схема организации центрального аппарата регуляции дыхания и путей передачи регулирующих влияний с супрабульбарных отделов мозга на дыхательный центр при образовании функционально подвижных ассоциаций центров**



**Схема регуляции дыхания при мышечной деятельности**

*Штриховыми линиями показаны влияния, которые могут формировать «рабочий» (нейрогенный) стимул*



Механизмы реакции дыхания на резистивную нагрузки

**Изменения внутрилегочного давления при произнесении фразы «Тоня топила баню» с логическим ударением на разных словах (*стрелки*), зарегистрированные с помощью воздушного плетизмографа**

**Запись речевого дыхания**

**Зарегистрировано: спокойное дыхание, глубокий вдох и выдох, чтение текста**

## **Обратная связь в системе дыхания**

# Функциональная система дыхания