

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1

Предисловие ко второму изданию на русском языке	7
Предисловие к пятому изданию на английском языке	8
Единицы измерения и символы	9
Список сокращений и условных обозначений.	11
Глоссарий	12

Структура и функция

1. Структура дыхательной системы: легкие, дыхательные пути, «мертвое пространство»	16
2. Грудная клетка и дыхательная мускулатура	19
3. Величины давления и объемов при нормальном дыхании. . .	23
4. Газовые законы.	27
5. Диффузия	31
6. Механика легких: эластическая тяга	34
7. Механика легких: сопротивление дыхательных путей	37
8. Перенос кислорода	41
9. Транспорт углекислого газа	44
10. Кислотно-основное равновесие	47
11. Нарушения кислотно-основного равновесия	51
12. Регуляция дыхания, часть 1: химические механизмы.	55
13. Регуляция дыхания, часть 2: нейронные механизмы	59
14. Легочный кровоток и физиологические право-левые шунты.	62
15. Нарушения вентиляционно-перфузионного соотношения. .	65
16. Физическая нагрузка, высокогорье, дайвинг.	69
17. Развитие дыхательной системы и рождение	72
18. Нарушения внутриутробного развития и врожденные пороки	75
19. Защитные механизмы легких.	78
20. Иммунология легких.	81

Часть 2

Анамнез, осмотр, инструментальное обследование

21. Сбор анамнеза, физикальный осмотр	86
22. Исследование функций легких	90
23. Методы визуализации органов грудной клетки и бронхоскопия.	93

Часть 3

Заболевания и лечение

24. Общественное здоровье и курение	98
25. Дыхательная недостаточность	102
26. Астма: патофизиология	106
27. Астма: лечение	110

28. Хроническая обструктивная болезнь легких	114
29. Легочная гипертензия	118
30. Венозная тромбоэмболия и тромбоэмболия легочной артерии	121
31. Легочные васкулиты	125
32. Интерстициальные (диффузные паренхиматозные) заболевания легких	128
33. Саркоидоз	132
34. Заболевания плевры	136
35. Поражение легких, связанное с профессией и с окружающей средой	139
36. Муковисцидоз и бронхоэктатическая болезнь	142
37. Пневмоторакс	146
38. Внебольничная пневмония	150
39. Госпитальная (нозокомиальная) пневмония	154
40. Туберкулез легких	158
41. Пациент с иммунодефицитом	161
42. Рак легкого	165
43. Острый респираторный дистресс-синдром	169
44. Искусственная вентиляция легких	173
45. Оксигенация и кислородотерапия	176
46. Апноэ во сне	179
47. Коронавирусная болезнь 2019 г.	182

Предметный указатель	186
-----------------------------------	------------

Предисловие ко второму изданию на русском языке

Дорогие друзья, вы начинаете знакомиться с одной из наиболее известных современных книг, посвященных практическим аспектам респираторной медицины. Она охватывает широкий круг тем и подходит в качестве введения для их преподавания, изучения и повторения, будет полезна для обучения как в университете, так и за его пределами. «Наглядная пульмонология» — это исчерпывающее руководство по изучению структуры и функций легких и их патофизиологии, оно содержит ключевую информацию обо всех основных респираторных заболеваниях. В книге приведен богато иллюстрированный обзор структуры и функций легких и дыхательных путей с разделами, посвященными анамнезу, обследованию, патофизиологии, лечению и ведению пациентов. Этот универсальный ресурс был

пересмотрен и обновлен до оригинального пятого издания, чтобы представить последние достижения (в нашем понимании) в области лечения астмы, хронической обструктивной болезни легких, легочного васкулита, саркоидоза, муковисцидоза, респираторных инфекций (включая коронавирусную болезнь 2019 г.) и обновленные национальные руководства по клиническому ведению болезней органов дыхания. Издание адресовано ординаторам и практикующим врачам, студентам-медикам, изучающим курс внутренних болезней, а также врачам других специальностей, оказывающим помощь пациентам с респираторными заболеваниями.

*Авдеев Сергей Николаевич,
д-р мед. наук, проф., акад. РАН*

Предисловие к пятому изданию на английском языке

Прошло 20 лет с тех пор, как в 2002 г. было опубликовано первое издание «Наглядной пульмонологии». За это время медицинская учебная программа значительно изменилась, чему способствовали не только прогресс в медицинской науке и терапии, но и изменения самой философии медицины, в частности переориентация на взаимоотношения врача и пациента. Неизбежно увеличился объем информации, которую студенты должны усваивать и понимать, и, чтобы предотвратить их перегрузку, пришлось «пожертвовать» глубиной знаний в пользу широты. Тем не менее понимание основных концепций, лежащих в основе нормы и патологии, остается критически важным для правильной диагностики и лечения. Именно в этом аспекте данная книга особенно полезна, поскольку в ней содержится краткое (в объеме примерно двух страниц) иллюстрированное описание ключевых тем, позволяющее емко представить изучаемый материал.

«Наглядная пульмонология» предназначена для студентов всех программ обучения, включающих основные аспекты фундаментальной науки, патофизиологии и клинической медицины, в том числе и терапии. Таким образом, книга должна быть полезна студентам-медикам на протяжении всей их подготовки, а также специалистам других медицинских профессий, включая сестринское дело. В первую очередь книга предназначена для

закрепления знаний, в ней представлены все основные элементы дыхательной системы и ее основные заболевания. При этом следует подчеркнуть необходимость изучения более подробных источников для углубленного и расширенного понимания предмета. Это особенно касается глав, посвященных патофизиологии, поскольку такое краткое изложение материала, как в этой книге, не может служить полноценным руководством в клинической практике.

В этом издании мы обновили содержание большинства глав с учетом последних достижений науки, разработок новых методов лечения и пересмотренных национальных клинических руководств. Завершение пересмотра было отложено из-за пандемии. Понимая важность этой темы, мы добавили главу о коронавирусной болезни 2019 г. Нам очень помогли многие наши коллеги и студенты: они любезно давали советы и комментировали содержание, в частности профессор Крис Корриган, который дал рекомендации по обновлению глав по иммунологии и бронхиальной астме. Все ошибки и упущения являются полностью нашей ответственностью. Мы также благодарим сотрудников Wiley, без которых мы не смогли бы выпустить это издание.

*Джереми П.Т. Ворд,
Джейн Ворд,
Ричард М. Лич*

1

Структура дыхательной системы: легкие, дыхательные пути, «мертвое пространство»

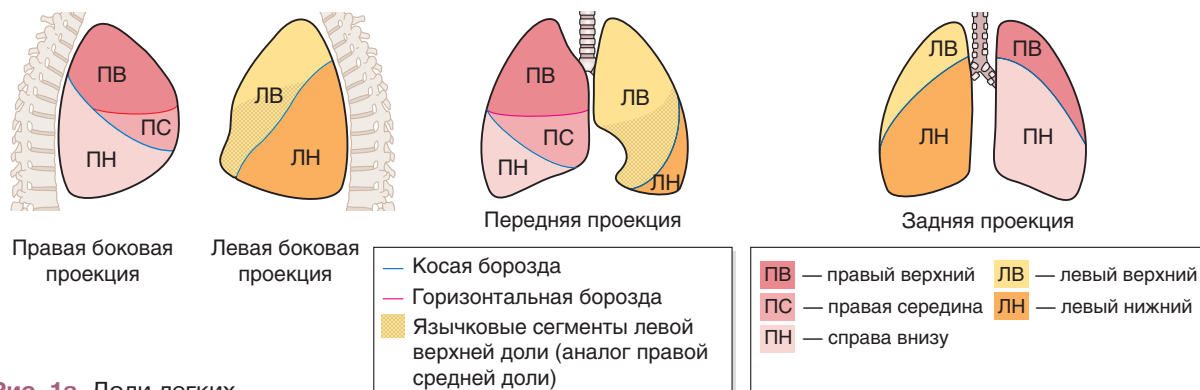


Рис. 1а. Доли легких



Рис. 16. Дыхательные пути

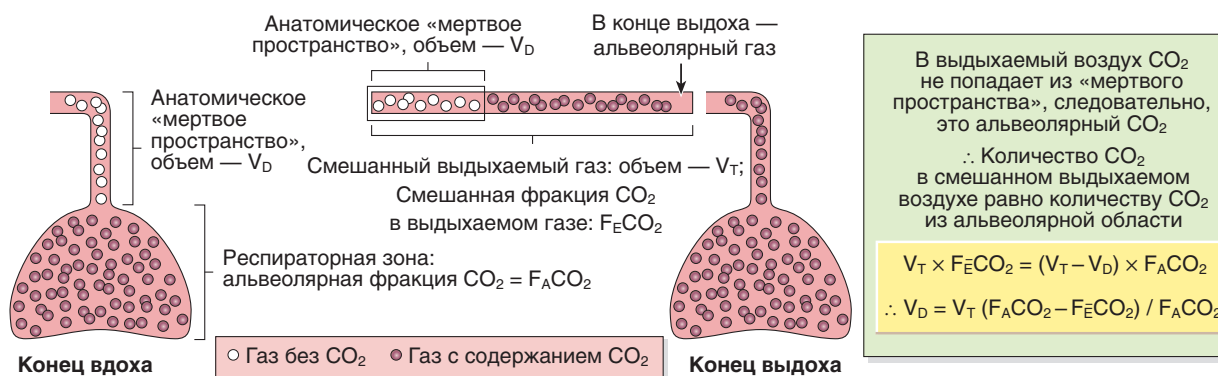


Рис. 1в. Уравнение Бора для измерения «мертвого пространства»

Легкие и плевра

Дыхательная система состоит из двух **легких**, находящихся в **грудной клетке** (глава 2). Ее основная функция — газообмен; другие функции включают речь, фильтрацию микротромбов из системных вен и метаболическую активность, например превращение ангиотензина I в ангиотензин II и расщепление или деактивацию серотонина, брадикинина, норадреналина, ацетилхолина и таких препаратов, как пропранолол и хлорпромазин. **Правое легкое** разделено **горизонтальной и косой бороздами** на три доли: верхнюю, среднюю и нижнюю. **Левое легкое** имеет одну **косую борозду** и состоит из двух долей; нижняя/передняя часть левой верхней доли, язычок, является аналогом средней доли правого легкого (**рис. 1а**). Сосуды, нервы и лимфатические сосуды входят в легкие со стороны их медиальных поверхностей у корня или **хилума** легкого. Каждая доля делится на клиновидные **бронхолегочные сегменты** с вершинами у хилума и основаниями у поверхности легкого. Каждый бронхолегочный сегмент снабжен собственным сегментарным бронхом, артерией и веной и может быть удален хирургическим путем с небольшим кровотечением или утечкой воздуха из оставшегося легкого.

Легочное нервное сплетение лежит позади хилума, оно состоит из волокон от обоих блуждающих нервов и от второго до четвертого грудных **ганглиев симпатического ствола**. Каждый блуждающий нерв содержит сенсорные афференты от легких и дыхательных путей, парасимпатические бронхоконстрикторные и секретомоторные эфференты, а также неадренергические, нехолинергические нервы. Симпатические норадренергические волокна, иннервирующие гладкие мышцы дыхательных путей, у человека немногочисленны, а β_2 -адренорецепторы стимулируются циркулирующими катехоламинами из надпочечников (глава 7).

Каждое легкое покрыто тонкой мембраной, **висцеральной плеврой**, которая является продолжением **париетальной плевры**, выстилающей грудную полость, диафрагму, перикард и средостение. Пространство между париетальным и висцеральным листками в норме минимально, оно увлажняется плевральной жидкостью. Правая и левая плевральные полости разделены, и каждая из них имеет **реберно-диафрагмальное углубление** ниже легких, которое сохраняется даже при полном вдохе. Париетальная плевра сегментарно иннервируется **межреберными нервами** и **диафрагмальным нервом** (C_{3-5}); боль при воспалении плевры (плеврите) часто отдает в грудную стенку или плечо. Висцеральная плевра почти лишена афферентной иннервации.

Лимфатические каналы в стенках альвеол отсутствуют; они сопровождают мелкие кровеносные сосуды, неся лимфу к **прикорневым**

бронхолегочным узлам и оттуда к **трахеобронхиальным узлам** в бифуркации трахеи. Часть лимфы из нижней доли дренируется в **узлы заднего средостения**.

Верхние дыхательные пути состоят из носа, глотки и гортани. **Нижние дыхательные пути** (**рис. 1б**) начинаются с трахеи у нижнего края **перстневидного хряща**. Она разветвляется на **правый и левый главные бронхи** на уровне **угла грудины** и $Th_{IV}-Th_V$ (ниже в вертикальном положении и на вдохе). Правый главный бронх шире, короче и более вертикальный, чем левый, поэтому вдыхаемые инородные тела легче попадают в него.

Дыхательные пути

Дыхательные пути многократно делятся, и каждый последующий **порядок** удваивается. **Трахея** и **главные бронхи** имеют в своем составе U-образный хрящ, замкнутый сзади гладкими мышцами. Долевые бронхи обеспечивают вентиляцию трех правых и двух левых долей легких и делятся на **сегментарные бронхи** (III и IV порядка). Суммарная площадь поперечного сечения каждого порядка на этом уровне минимальна, однако с каждым последующим делением она возрастает, так как растущая численность бронхов более чем компенсирует их уменьшающийся диаметр. Порядки V–XI представляют собой мелкие бронхи, диаметр самого маленького из которых составляет 1 мм. Долевые, сегментарные и мелкие бронхи поддерживаются непостоянными хрящевыми пластинками неправильной формы, а гладкие мышцы бронхов образуют спиральные тяжи. **Бронхиолы** начинаются примерно с XII порядка, и с этого момента их стенка не имеет хряща. Эти дыхательные пути погружены в легочную ткань, которая держит их развернутыми, как растяжки палатки. **Терминальные бронхиолы** (XVI порядок) переходят в **респираторные бронхиолы**, это первый порядок дыхательных путей, имеющий альвеолы в своих стенках (глава 5). Они образуют **альвеолярные ходы** и **альвеолярные мешочки** (XXIII порядок), стенки которых полностью состоят из **альвеол**.

Бронхи и дыхательные пути вплоть до терминальных бронхиол кровоснабжаются **бронхиальными артериями**, отходящими от нисходящей аорты. Респираторные бронхиолы, альвеолярные ходы и мешочки кровоснабжаются из малого круга кровообращения (глава 14).

Дыхательные пути от трахеи до дыхательных бронхиол выстланы **реснитчатыми столбчатыми или кубическими эпителиальными клетками**. **Бокаловидные клетки** и **подслизистые железы** в проводящих дыхательных путях выделяют **слизь**. Синхронное движение ресничек перемещает слизь и связанные с ней инородные тела в полость рта (**мукоцилиарный клиренс**; глава 19). В респираторных бронхиолах булавовидные клетки выделяют жидкость и вещества, участвующие

в защите мелких дыхательных путей; как стволовые клетки, они способны делиться с целью восстановления поврежденного эпителия. Эпителиальные клетки, образующие стенки альвеол и альвеолярных протоков, не имеют ресничек и в основном представляют собой очень тонкие **альвеолярные пневмоциты I типа**. Они образуют поверхность газообмена с эндотелием капилляров (**альвеолярно-капиллярную мембрану**). Менее распространенные **пневмоциты II типа** в основном обнаруживаются на стыке между альвеолами. Они являются стволовыми клетками, следовательно, могут делиться при повреждении легких. Они продуцируют **сурфактант**, который снижает поверхностное натяжение и играет роль в легочном иммунитете (главы 6 и 19).

«Мертвое пространство»

Верхние дыхательные пути и дыхательные пути до терминальных бронхиол участия в газообмене не принимают. Эти **проводящие дыхательные пути** образуют **анатомическое «мертвое пространство»**, объем которого обычно составляет около 150 мл. Эти дыхательные пути служат для согревания, фильтрации и увлажнения вдыхаемого воздуха, осуществляя таким образом функцию его кондиционирования.

Альвеолы, утратившие кровоснабжение (например, из-за **легочной эмболии**), больше не уча-

ствуют в газообмене и образуют **альвеолярное «мертвое пространство»**. Сумма анатомического и альвеолярного «мертвого пространства» составляет **физиологическое «мертвое пространство»**. В норме в газообмене принимают участие все альвеолы, поэтому физиологическое «мертвое пространство» в норме равно анатомическому.

Объем дыхания, или **дыхательный объем**, в состоянии покоя составляет около 500 мл. **Частота дыхания** в покое составляет около 15 вдохов/мин, следовательно, объем, поступающий в легкие каждую минуту, **минутный объем дыхания**, составляет примерно 7500 мл/мин (500×15) в состоянии покоя. V_A — это объем воздуха, участвующий в газообмене каждую минуту. В покое при объеме «мертвого пространства» 150 мл V_A составляет около 5250 мл/мин $[(500 - 150) \times 15]$.

Метод Бора для измерения анатомического «мертвого пространства» основан на принципе, согласно которому степень, в которой газ «мертвого пространства» (0% CO_2) разбавляет альвеолярный газ (~5% CO_2) с образованием смешанного выдыхаемого газа (~3,5% CO_2), зависит от объема этого пространства (**рис. 1в**). **Альвеолярная фракция CO_2 , $F_A\text{CO}_2$** , измеряется в пробе газа **в конце выдоха**. Уравнение Бора можно модифицировать для измерения физиологического «мертвого пространства», используя артериальное $p\text{CO}_2$ для оценки CO_2 в участвующих в газообмене или **идеальных альвеолах**.

2

Грудная клетка и дыхательная мускулатура

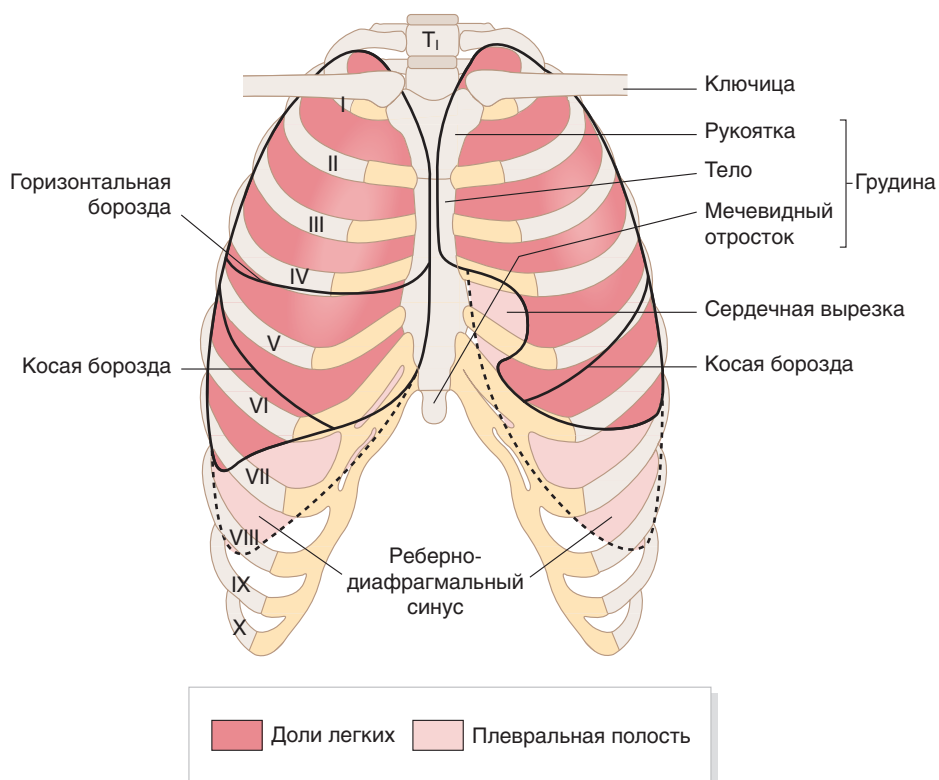


Рис. 2а. Грудина и ребра, их взаимное расположение относительно легких и плевральных полостей

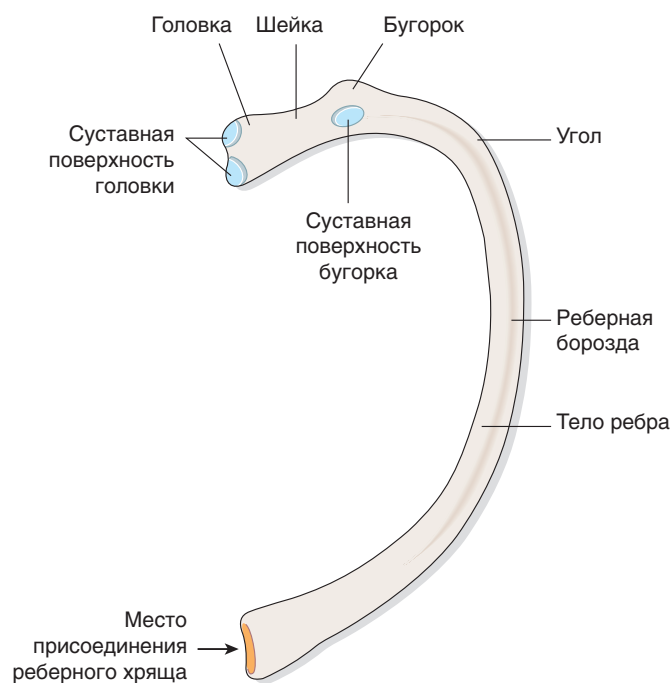
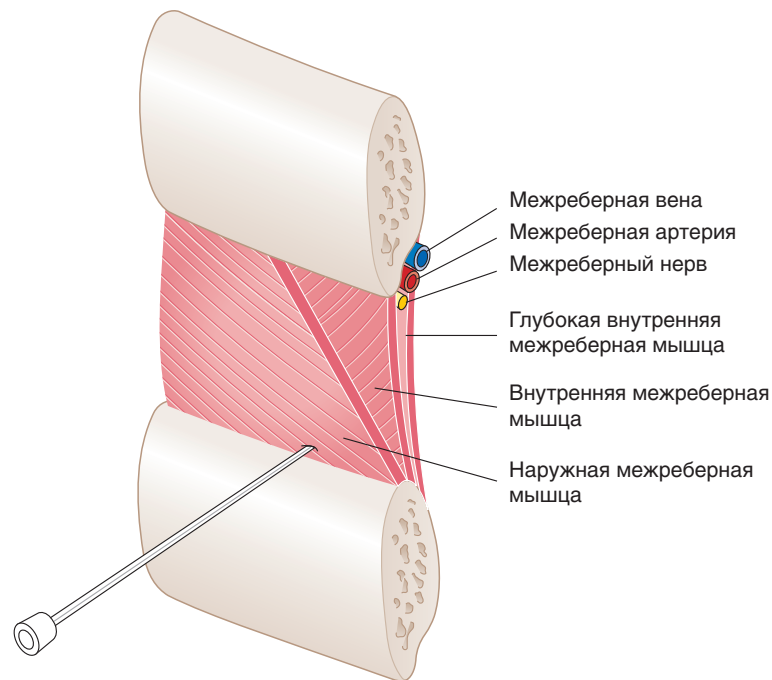


Рис. 2б. Вид ребра снизу



При плевральной пункции (например, для удаления плеврального выпота) игла проводится по верхнему краю нижележащего ребра, чтобы избежать попадания в сосудисто-нервный пучок

Рис. 2в. Межреберный промежуток

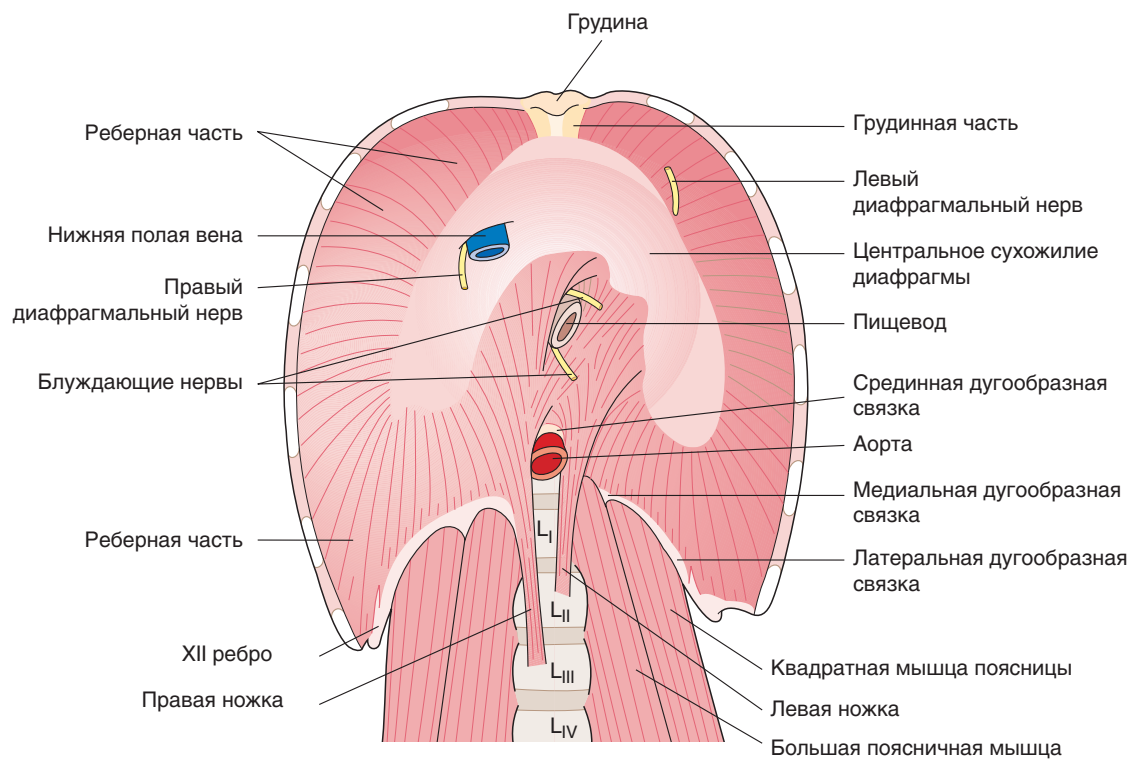


Рис. 2г. Вид диафрагмы снизу

Грудная клетка

Грудная клетка состоит из **грудины, ребер, межреберных промежутков и грудного отдела позвоночника**, а **диафрагма** отделяет грудную полость от брюшной.

Грудина

Кинжалообразная **грудина** состоит из трех частей. **Рукоятка**, с которой сочленяются первая и верхняя части второго реберного хряща и ключица (**рис. 2.а**), лежит на уровне III и IV грудных позвонков (Th_{III} , Th_{IV} , см. главу 1, **рис. 16**). Нижняя часть II и III–VII ребер сочленяется с **телом грудины** (на уровне Th_{VI} – Th_{VIII}). Угол между рукояткой и телом в хрящевом **манубриостермальном переходе** (стернальный угол, или угол Луи) является полезным анатомическим ориентиром. Небольшой **мечевидный отросток** обычно остается хрящевым и во взрослой жизни.

Ребра и межреберные промежутки

Первые 7 (**истинные или позвоночно-грудные**) из 12 пар ребер соединяются с грудиной своими реберными хрящами. Гиалиновые хрящи VIII–X (ложных или **позвочно-хрящевых**) ребер сочленяются с хрящом вышележащего ребра, а IX и XII — являются свободными (**флотирующие**, или **позвоночные**, ребра). Типичное ребро (**рис. 2б**) имеет головку с двумя суставными поверхностями, сочленяющимися с соседним межпозвонковым диском и позвонком. Ребро также сочленяется бугорком с поперечным отростком соответствующего позвонка. Две суставные области действуют как шарнир, заставляя ребро двигаться по оси, проходящей через эти области. Уплощенное тело ребра наиболее тонко в **углу ребра**, и именно здесь оно имеет тенденцию к перелому у взрослого человека. Верхние два ребра, защищенные ключицей, и два флотирующих ребра менее всего подвержены переломам. У 0,5% людей существует шейное ребро, прикрепляющееся к поперечному отростку C_{VII} ; наличие этого ребра может вызвать парестезию или сосудистые проблемы из-за давления на плечевое сплетение или подключичную артерию.

В межреберных промежутках находятся **наружные межреберные мышцы**, волокна которых в основном проходят вниз и вперед между ребрами, **внутренние межреберные мышцы**, волокна которых в основном проходят вниз и назад, и неполный **самый внутренний межреберный слой** (**рис. 2.в**). Они иннервируются **межреберными нервами**, которые являются передними первичными ветвями **грудных нервов**. **Межреберные вены, артерии и нервы** лежат в борозде на нижней поверхности соответствующего ребра, при этом выше всего располагается вена, артерия посередине и нерв ниже всего.

Диафрагма

Диафрагма имеет форму купола (**рис. 2г**), разделяет грудную и брюшную полости и состоит из периферической мышечной части и **центрального сухожилия**, частично сросшегося с перикардом. Мышечная диафрагма берет свое начало от позвонков и дугообразных связок, грудной клетки и грудины. **Правая ножка** начинается от трех верхних поясничных позвонков, а **левая** — от двух верхних поясничных позвонков. Их фиброзные медиальные границы образуют **срединную дугообразную связку** над передней частью аорты. **Медиальная и латеральная дугообразные связки** представляют собой утолщения фасции, покрывающие большую поясничную мышцу и квадратную мышцу поясницы соответственно. Реберная часть диафрагмы прикрепляется к внутренним сторонам VII–XII ребер и реберным хрящам.

Грудинная часть начинается двумя отростками от задней части мечевидного отростка. **Диафрагмальные нервы** (C_{3-5}) снабжают двигательными волокнами всю диафрагму, а чувствительными — центральную часть; боль от раздражения диафрагмы часто отдает в соответствующий дерматом C_4 — верхнюю часть плеча. Нижние межреберные нервы иннервируют периферическую часть диафрагмы. Аорта, грудной проток и непарная вена проходят через диафрагму в области устья аорты на уровне Th_{XII} . Пищевод, ветви левой желудочной артерии и вены, а также оба блуждающих нерва проходят через пищеводное отверстие на уровне Th_X , а нижняя полая вена и правый диафрагмальный нерв проходят через отверстие на уровне Th_{VIII} .

Дыхательная мускулатура

Все инспираторные мышцы способствуют увеличению объема грудной клетки, вызывая снижение внутриплеврального и альвеолярного давления, что создает градиент альвеолярно-атмосферного давления и засасывает воздух в легкие. Расширенная грудная клетка и легкие расслабляются сами по себе, поэтому при спокойном дыхании экспираторные мышцы не задействуются.

Основная инспираторная мышца, **диафрагма**, при сокращении смещается вниз примерно на 1,5 см при спокойном дыхании и на 6–7 см при глубоком дыхании. При спокойном дыхании I ребро остается довольно неподвижным, а **наружные межреберные мышцы** (особенно в дорсальной части ретрохальных межреберных промежутков) работают, поднимая и выворачивая последующие ребра. Межреберные мышцы также укрепляют межреберные промежутки, предотвращая их всасывание во время вдоха. **Лестничные мышцы**, прикрепляющиеся к первым двум ребрам, также

принимают участие в нормальном вдохе. Поднятие стернальных концов верхних ребер смещает грудину вперед и вверх, увеличивая переднезадний размер грудной клетки (действие ручного насоса). Подъем боковых тел наклонных нижних ребер расширяет грудную клетку в поперечном направлении (действие «ручки ведра»).

При спокойном дыхании у взрослых дыхание преимущественно диафрагмальное. Когда диафрагма сокращается, она сдавливает содержимое брюшной полости и повышает внутрибрюшное давление, выталкивая брюшную стенку и нижние ребра. Следовательно, при нормальном дыхании грудная стенка и брюшная стенка движутся содружественно во время вдоха. Если диафрагма парализована, увеличение объема грудной клетки происходит полностью за счет подъема ребер, и, по мере того как внутригрудное давление падает на вдохе, расслабленная диафрагма втягивается в грудную клетку, а брюшная стенка смещается. Такое противофазное движение грудной клетки и брюшной стенки называется **парадоксальным дыханием**. При высоком пересечении шейного отдела спинного мозга парализуются все дыхательные мышцы, а при поражении ниже корешков диафрагмаль-

ного нерва (C₃₋₅) дыхание продолжается только с помощью диафрагмы. У новорожденного ребра расположены горизонтально, поэтому их движение не может увеличить объем грудной клетки, а дыхание полностью осуществляется за счет движений диафрагмы вверх и вниз, это так называемое **абдоминальное дыхание**. Поскольку с возрастом увеличивается наклон ребер, растет и объем **грудного дыхания**.

Когда существует повышенная потребность в вентиляции или повышенное сопротивление дыханию, подключаются **вспомогательные инспираторные мышцы**. К ним относятся **лестничные мышцы, грудино-ключично-сосцевидные мышцы и передняя зубчатая мышца**. Если руки фиксированы за край стола, сокращение **больших грудных мышц**, которые в норме служат для приведения руки, способствует расширению грудной клетки. Когда вентиляция превышает примерно 40 л/мин, активируются экспираторные мышцы, особенно мышцы живота (**прямая мышца живота, наружная и внутренняя косая**), что ускоряет расправление диафрагмы за счет повышения внутрибрюшного давления. **Внутренние межреберные мышцы** в каудальных промежутках также способствуют выдоху.