

# West 呼吸生理学精要

West's Respiratory Physiology: The Essentials

(第 10 版)

原 著 John B. West    Andrew M. Luks  
主 译 詹庆元



北京大学医学出版社



Wolters Kluwer

# West 呼吸生理学精要

## (第 10 版)

West's Respiratory Physiology: The Essentials

原 著 John B. West, Andrew M. Luks

主 译 詹庆元

副主译 黄 絮 夏金根 黄琳娜

译 者 (按姓名汉语拼音排序)

高崴崴 郑州大学第二附属医院呼吸内科

耿 爽 华中科技大学同济医学院附属武汉  
中心医院呼吸内科

黄 可 中日医院呼吸与危重症医学科

黄琳娜 中日医院呼吸与危重症医学科

黄 絮 中日医院呼吸与危重症医学科

李正东 中日医院呼吸与危重症医学科

刘智博 中日医院呼吸与危重症医学科

鲁京慧 中日医院呼吸与危重症医学科

田 野 中日医院呼吸与危重症医学科

王一民 中日医院呼吸与危重症医学科

吴小静 中日医院呼吸与危重症医学科

夏金根 中日医院呼吸与危重症医学科

詹庆元 中日医院呼吸与危重症医学科

张 帅 中日医院呼吸与危重症医学科

张泽宇 中日医院呼吸与危重症医学科

学术秘书 黄琳娜

北京大学医学出版社

# WEST HUXI SHENGLIXUE JINGYAO (DI 10 BAN)

## 图书在版编目 (CIP) 数据

West 呼吸生理学精要: 第 10 版 / (美) 约翰·韦斯特 (John B. West), (美) 安德鲁·卢克斯 (Andrew M. Luks) 原著; 詹庆元主译. —北京: 北京大学医学出版社, 2017.11

书名原文: West's Respiratory Physiology: The Essentials

ISBN 978-7-5659-1692-2

I. ①W… II. ①约… ②安… ③詹… III. ①呼吸系  
统 - 人体生理学 IV. ①R332.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 250316 号

北京市版权局著作权合同登记号: 图字: 01-2017-4871

West's Respiratory Physiology: The Essentials. Tenth edition.

John B. West, Andrew M. Luks.

ISBN: 978-1-4963-1011-8

Copyright © 2016 Wolters Kluwer. All Rights Reserved.

This is a simplified Chinese translation published by arrangement with Wolters Kluwer Health Inc., USA. Wolters Kluwer Health did not participate in the translation of this title and therefore it does not take any responsibility for the inaccuracy or errors of this translation.

Simplified Chinese translation Copyright © 2017 by Peking University Medical Press. All Rights Reserved.

## West 呼吸生理学精要 (第 10 版)

主 译: 詹庆元

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumppress.com.cn>

E-mail: [booksale@bjmu.edu.cn](mailto:booksale@bjmu.edu.cn)

印 刷: 中煤 (北京) 印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 药 蓉 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 889mm × 1194mm 1/32 印张: 8.25 字数: 212 千字

版 次: 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1692-2

定 价: 55.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

# West 呼吸生理学精要 (第 10 版)

**West's Respiratory Physiology: The Essentials**

# 声 明

本书提供了药物的准确的适应证、副作用、疗程和计量，但有可能发生改变。读者须阅读药商提供的外包装上的用药信息。作者、编辑、出版者或发行者对因使用本书信息所造成的错误、疏忽或任何后果不承担责任，对出版物的内容不做明示的或隐含的保证。作者、编辑、出版者或发行者对由本书引起的任何人身损伤或财产损失不承担任何责任。

# 译者前言

---

呼吸生理学为研究呼吸系统疾病的“基石”与“灵魂”，贯穿了整个呼吸病学的始终，对呼吸系统疾病尤其是呼吸系统危重疾病的诊治起着至关重要的作用。

《West 呼吸生理学精要》一直被视为呼吸生理学的“金科玉律”，并作为美国加利福尼亚大学圣迭戈分校（UCSD）教程及备考工具书，面向医学生、住院医师及呼吸专科医师。本书原作者 John B. West 教授就职于美国加利福尼亚大学，在呼吸生理学方面具有很深的造诣，为众多中国呼吸病学、危重症医学、急诊医学界专业人士所熟知。《West 呼吸生理学精要》自 1974 年第 1 版问世起，历经 42 年的努力和不断完善，第 10 版与读者见面了。此版在继续总结呼吸生理学经典内容的基础上，更加贴近临床实践。就我所知，目前国内尚缺乏专门讲述呼吸生理学基础知识的相关书籍。因此，我们组织了相关专业人员对本书进行翻译，希望此举有助于进一步丰富临床医生的理论知识并提高其工作能力。

本书共 10 章，涉及呼吸系统结构和基本特性、通气功能、弥散功能、通气与血流关系、气体在血液中的运输与代谢、呼吸力学、呼吸调控，以及肺功能检测的相关知识。作为医学专业书籍，本书内容顺序安排合理，逐层深入又环环相扣，摒弃了以往医学专著复杂的专业术语，以简洁、通俗的语言和配图对呼吸生理学涉及的各个方面进行了纲领性的描述。每一章后均设置了习题和临床病例，并在附录中对其进行了详细的解答，便于读者自我检验学习效果。本书适用范围极广，包括在校医学生，从事呼吸病学、危重症医学、急诊医学的医师，以及所有对呼吸生理学感兴趣的业内人士。

磨刀不误砍柴工。我们相信本书一定会就呼吸生理学这一基

础内容为各位同行带来全方位的认识，使大家能更加深入浅出地解决临床问题，进一步提高我们对患者的诊治能力。

由于译者水平有限，译文中难免会有翻译不当之处，敬请各位读者批评指正，我们也会根据您的建议不断加以修正。

最后，感谢参与本书翻译与校对工作的所有译校者。

詹庆元

中日医院呼吸与危重症医学科

2017年9月于北京

# 原著前言

---

《West呼吸生理学精要》于40多年前首次出版，并已被翻译为15种语言出版，造福了几代读者。本书为更新后的第10版，包含了一系列的创新内容，其中最重要的为Andrew Luks博士作为共同作者参与了本版的编写。Luks博士的加入无疑为本书的一大亮点。Luks博士毕业于加利福尼亚大学圣迭戈分校(UCSD)。他的初衷是将此书作为医学院的教科书。事实上，在第5版出版时他即强调过此书的重要性。

本书的另一创新之处在于每一章节后增加了临床病例的内容(除第十章外)，以便于读者将生理学概念更好地应用于临床实践。此外，本书还增加了问题的数量，部分题目除依赖于对知识点的记忆外，还要求综合分析能力。另一亮点是增添了14节与本书内容密切相关的主题演讲视频，每个视频时长50分钟。这些视频可在YouTube上免费观看并受到读者的热烈欢迎。比如，第1个视频“呼吸系统结构和功能”的访问超过100 000次。视频链接为[http://meded.ucsd.edu/ifp/jwest/resp\\_phys/index.html](http://meded.ucsd.edu/ifp/jwest/resp_phys/index.html)。最后，为了满足新版的要求书名也进行了相应改动。

除了上述创新点外，本书的初衷和目的始终如一。第一，本书可作为教材或参考书面向医学生或卫生相关行业从业人员。今后可参考UCSD的教学模式，常规将其内容应用于授课。其实，笔者编写第1版的初衷即为入学第一年的医学生提供合适的生理学教程。第二，此书可作为综述，成为呼吸科、麻醉科及大内科专业的住院医师和专科医师执业考试或其他考试的备考用书。这一目的与针对医学生的目的有所差别，住院医师和专科医师对这一领域相对熟悉，但需对各类知识点强化理解和记忆，因此本书中的相关图表尤为重要。



以下我们简要地说明一下如何将本书内容用于 UCSD 入学第一年的医学生。我们以此书内容为参考，精简整理出 12 节关于呼吸生理学的主题演讲、2 节实验室演示、3 次小组讨论及 1 次面向全体的复习总结课程。每一节主题演讲的内容与每一章节密切相关，大多数章节对应一次主题演讲；而第五、六、七章则分别对应两次主题演讲（第五章第一次讲述正常气体交换、低通气及分流，第二次则针对通气 - 血流关系的难点问题讲述；第六章中第一次为血 - 气交换，第二次为酸碱平衡；第七章中两次分别讲述静态和动态呼吸力学指标）。第十章“肺功能检测”则无对应的主题演讲，因为这部分并不是呼吸生理学的核心课程。本章的目的之一在于服务于对肺功能知识感兴趣的人群，其二在于服务于肺功能实验室的工作人员。

第 10 版针对血流与代谢、血液中气体运输方式及高海拔地区的呼吸生理学等内容做出了更新。附录 B 包含针对试题和临床病例的讨论分析及参考答案。书中包含部分动态的扩展材料，均已用  标识出。尽管涉及的内容极为丰富，但我们尽力使本书保持精简，因此有时医学生会误认为本书过于浅显。其实不然，如果在重症监护病房（ICU）轮转的呼吸专科医生能够深入地理解有关气体交换及其机制的相关内容，那么临床工作将会变得得心应手。

很多学生与老师对本书部分内容提出了问题及相关改进建议，我们针对有意义及需要改进的内容做出了逐一回复。

**John B. West**

jwest@ucsd.edu

**Andrew M. Luks**

aluks@u.washington.edu

# 目 录

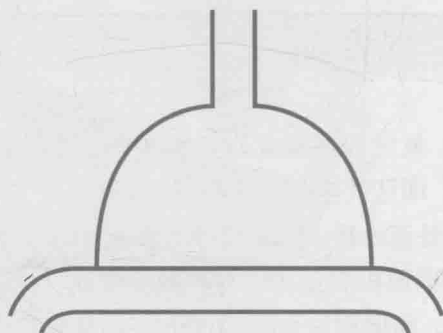
---

|      |                                      |     |
|------|--------------------------------------|-----|
| 第一章  | 结构与功能——呼吸系统的结构如何与功能相适应·····          | 1   |
| 第二章  | 通气——气体如何进入肺泡·····                    | 15  |
| 第三章  | 弥散——气体如何通过血 - 气屏障 ·····              | 30  |
| 第四章  | 血流和代谢——肺循环如何运输气体及转化某些代谢产物·····       | 45  |
| 第五章  | 通气 - 血流关系——通气与血流的匹配如何影响气体交换·····     | 70  |
| 第六章  | 气体在血液中的运输——气体如何往返于外周组织·····          | 98  |
| 第七章  | 呼吸力学——肺如何进行呼吸支持和运动·····              | 121 |
| 第八章  | 呼吸控制——气体交换如何被调节·····                 | 158 |
| 第九章  | 负荷状态下的呼吸系统——气体交换在运动、高气压、低气压和出生时如何被调节 | 179 |
| 第十章  | 肺功能检测——呼吸生理如何应用于肺功能检测·····           | 202 |
| 附录 A | 缩写、单位和公式·····                        | 220 |
| 附录 B | 参考答案·····                            | 228 |

# 第一章

## 结构与功能

呼吸系统的结构如何与功能相适应



- 血 - 气界面
- 气道和气流
- 血管和血流
- 肺泡的稳定性
- 清除吸入颗粒

本章将简要介绍肺结构与功能间的相互关系。开始，我们会关注气体交换的场所，即血 - 气界面；之后，我们阐述氧气如何沿着气道被运送到肺泡，以及氧气如何从肺进入血液；最后，我们主要阐述两个问题，即如何维持肺泡的稳定性以及在污染的环境中肺如何自净。

肺是进行气体交换的脏器。它的主要功能是使空气中的氧气进入静脉血，同时排出其中的二氧化碳。肺的其他功能还包括：代谢某些物质，过滤某些血液循环中的废物，以及储存血液。但是肺最主要的功能仍然是气体交换，因此我们从气体交换发生的场所——血 - 气界面开始说起。

### 血 - 气界面



氧气和二氧化碳以简单扩散的方式在血液和空气间流动，即从气体分压<sup>\*</sup>高的区域流动至气体分压低的区域，就像水往低处流一样。Fick 定律 (Fick's law) 告诉我们气体扩散的总量与扩散面积成正比，与扩散厚度成反比。血 - 气屏障非常薄 (图 1-1)，而面积为  $50 \sim 100\text{m}^2$ ，因此非常适于气体交换。

那么在有限的胸腔空间里如何获得如此大的交换面积呢？这是因为无数肺泡的表面都相对应地被小血管 (毛细血管) 所包绕 (图 1-2)。人类的肺拥有 5 亿个直径约  $1/3\text{mm}$  的肺泡，假设它们都是球形的<sup>△</sup>，那么总面积可达  $85\text{m}^2$ ，而容积只有 4L。相反，相同容积的一个球形物体的内表面积只有  $1/100\text{m}^2$ ，因此肺是通过把一大块切成无数小块来无限扩增其弥散表面积的。

气体通过气道被转运到血 - 气屏障一侧，血液则通过血管被运输到另一侧。

---

<sup>\*</sup> 气体分压 = 总压力 × 气体浓度。比如，空气中的氧浓度是 20.93%，海平面的氧分压就是  $760 \times 20.93/100 = 159\text{mmHg}$ 。当气体被吸入上气道时，气体被加温、加湿，水蒸气压为  $47\text{mmHg}$ ，干性气体的压力实际为  $760 - 47 = 713\text{mmHg}$ 。因此，实际吸入的氧分压是  $713 \times 20.93/100 = 149\text{mmHg}$ 。相对于气体而言，平衡后液体具有相同的分压。气体公式详见附录 A。

<sup>△</sup> 肺泡并非球形而是多面体。整个用于弥散的肺表面也并非球形 (图 1-1)。因此，这些数字都是估计的。

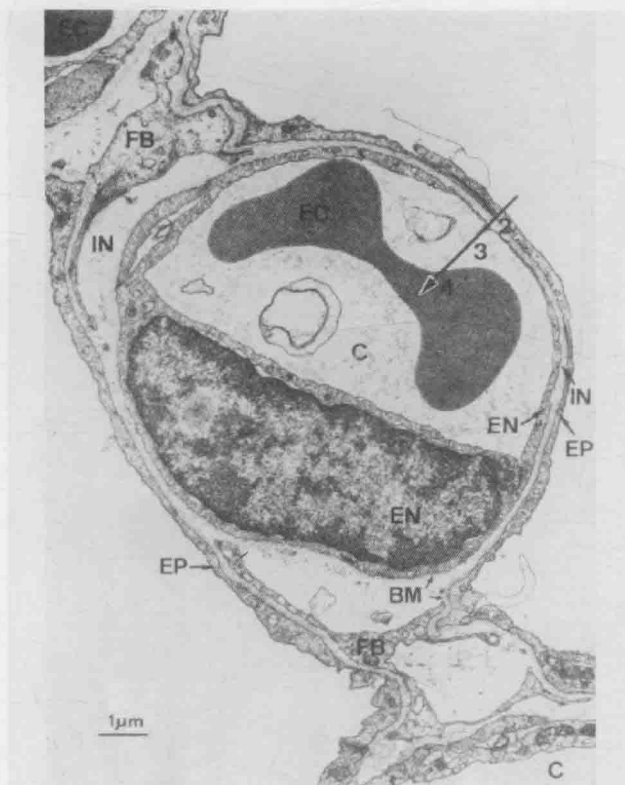


图 1-1 电镜下显示肺泡壁上的肺毛细血管 (C)。注意某些部位血 - 气屏障极为菲薄, 仅  $0.3\mu\text{m}$ 。大箭头显示了从肺泡到红细胞 (EC) 内的扩散路径, 也包括表面活性物质层 (未显示)、肺泡上皮 (EP)、间质 (IN)、毛细血管内皮 (EN) 和血浆。镜下还可见到结构细胞即成纤维细胞 (FB)、基底膜 (BM) 和一个内皮细胞核 (引自 Weibel ER. *Respir Physiol.* 1970; 11 : 54.)

## 气道和气流

气道是由一系列不断分支的管路组成的。随着这些管路深入到肺部, 它们会逐渐变细、变短、变多 (图 1-3)。气管首先分为

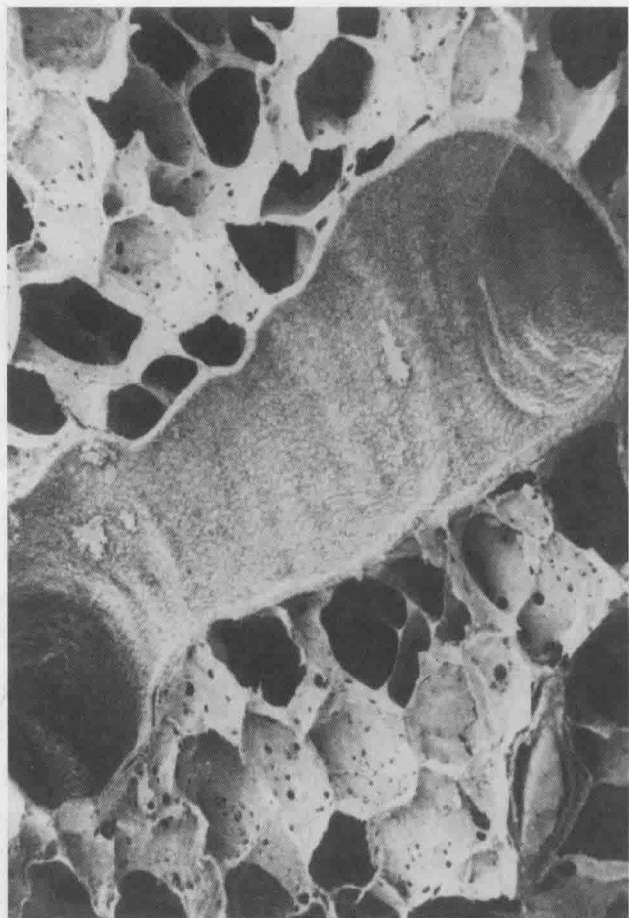


图 1-2 肺切面可见许多肺泡和一个小的细支气管。肺泡毛细血管在肺泡壁之间穿行(图 1-1)。肺泡壁上的孔称为 Kohn 孔(由 Nowell JA, Tyler WS 用电镜扫描)

左、右主支气管,再分为叶支气管,然后是段支气管,以此类推,直至终末细支气管,也就是不含肺泡的最小气道。以上所有支气管组成了传导气道(conducting airways),其功能是引导吸入的气体到达气体交换的场所——肺泡(图 1-4)。近端的大气道管壁上

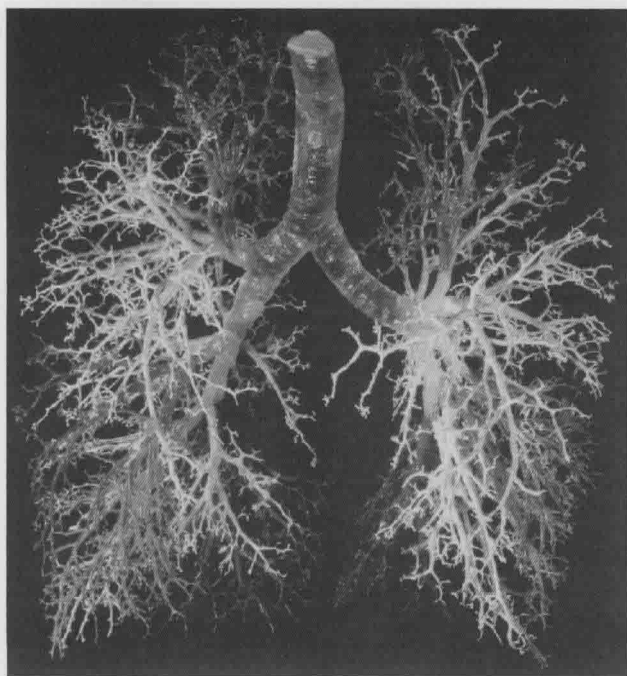


图 1-3 人肺气道的铸型。肺泡已去除，以便于显示从气管到终末细支气管的所有传导气道

有许多软骨。越到远端气道，软骨成分越少，平滑肌越多，最终平滑肌成为小气道的主要成分。由于传导气道不包含肺泡，因此并不参与气体交换，称之为解剖无效腔（anatomic dead space），解剖无效腔指的是肺内有通气但无血流的部位，容积约 150ml。

终末细支气管继续分支为呼吸性细支气管（respiratory bronchioles），上边零星挂着几个肺泡。最后是肺泡管（alveolar ducts），直接与肺泡相连。这些包含肺泡可以进行气体交换的部位称之为呼吸区（respiratory zone）。终末细支气管远端的解剖结构叫肺泡囊（acinus）。通常从终末细支气管到最远端肺泡的距离只有几毫米，但是呼吸区是肺的主要组成部分，静息位时容积为

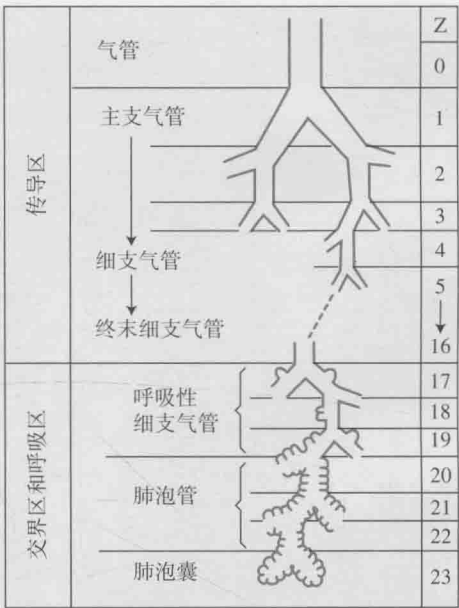


图 1-4 基于 Weibel 分级的人体气道示意图。注意前 16 级气道 (Z) 为传导区, 后 7 级气道为呼吸区 (或交界区和呼吸区) (改编自 Weibel ER. *The Pathway for Oxygen*. Cambridge, UK: Harvard University Press, 1984 : 275.)

2.5 ~ 3L。

吸气时胸腔容积增加, 气体进入肺部。容积的增加主要源于膈肌收缩下移和肋间肌收缩所引起的肋骨上抬, 最终胸腔向下向外扩张。吸入气流一路向下进入终末细支气管, 就像水在水管里流动一样。从终末细支气管远端开始小气道分叉突然增多 (图 1-5), 使得气体流速迅速下降。在呼吸区, 气体在气道内的扩散成为通气的主要形式。气体在小气道里的弥散速度相当之快, 而弥散距离如此之短, 使得肺泡与血管内气体分压差在 1 秒之内就平衡了。但由于气体流速在终末细支气管远端明显下降, 因此吸入的灰尘往往也沉积在这里。

肺是有弹性的, 在平静呼吸时肺有被动回缩到静息容积



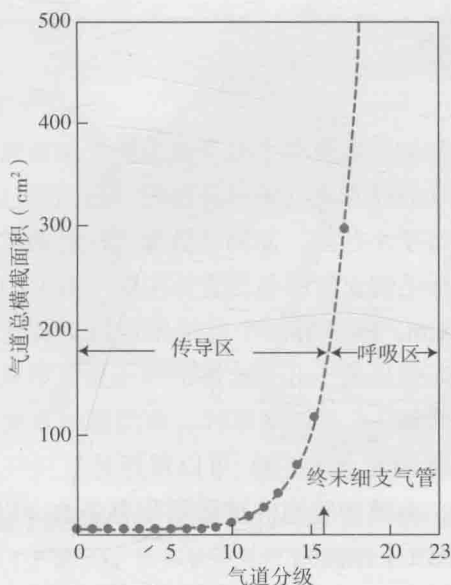


图 1-5 图中显示气道到达呼吸区时横截面积急剧升高 (与图 1-4 相比), 因此吸气时气体遇到的阻力在呼吸性细支气管非常低, 而气体的扩散成为通气的主要方式

(FRC) 的趋势。肺的弹性好到你难以想象, 比如正常吸气潮气量 500ml 仅需要不到  $3\text{cmH}_2\text{O}$  的压力, 而把一个气球吹大 500ml 则需要  $30\text{cmH}_2\text{O}$  的压力。

气体在气道内流动所需的压力也很低, 平静吸气时,  $1\text{L/s}$  的流速仅需要  $2\text{cmH}_2\text{O}$  的压力降。而吸烟斗的时候相同流速需要的压力是  $500\text{cmH}_2\text{O}$ 。

## 气 道

- 分为传导区和呼吸区。
- 解剖无效腔约 150ml。
- 肺泡区容积为  $2.5 \sim 3\text{L}$ 。
- 气体在肺泡区的流动主要靠扩散。