

肺的临床生理与 机能測驗法

徐日光 編譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

肺机能测定法为近十年来的一项新的实验方法,在临床实践方面,对心肺疾患的诊断和治疗,有一定的参考价值。本书第一篇讨论肺的临床生理及其机能,如肺容量、通气、肺血流、弥散等呼吸机制;第二篇通过病例的介绍,综合地阐述各种肺机能测定的结果和分析;第三篇指出肺机能测定的正常值和肺生理学的通用符号与简写字义,以及各种方程式的计算方法。

本书根据美国 Julius H. Comroe 等所著 “The Lung, Clinical Physiology and Pulmonary Function Tests” 編譯。可作为胸内科和胸腔外科医师及肺机能实验室工作者参考。

肺的临床生理与机能測驗法

徐 日 光 編 譯

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业登记证出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

商务印书馆上海厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 5 24/32 字数 156,000

(原上卫版印 8,200 册 1958 年 7 月第 1 版)

1959 年 3 月新 1 版 1962 年 12 月第 3 次印刷

印数 4,501—7,500

統一书号: 14119·464

定 价: (十) 0.64 元

序

肺的临床生理及其机能是肺科、心脏病、胸腔外科医师和实验室工作者的必要基础。但以往胸腔生理学家的著述，多只为其他的生理学家作报告，因此，这一門科学的广泛应用和发展就受到了一定的限制。

本書主要是根据 J. H. Comroe, Jr. 的著作而編譯的。各篇的内容用簡明扼要的詞句、图表和方程式來說明肺的临床生理。环绕着图表所写成的专論則力求生理学原理及广泛概念的理解，这对医学实践來說，是十分重要的。专論中引用的方程式都附有詳細的注釋，为了帮助讀者解决可能会遇到的困难，所有重要的方程式在第三篇內重复加以敘述。第二篇所举出的病例报告，是以精簡的記录介紹出来的，其診斷系基于充分的临床分析和审慎的鉴定。

必須說明，这本书既非是专为生理学家，而为临床医师和医学科学工作者而編写的，亦不仅是初步入門的小册子，因为初步入門的書籍决不能使医师們克服那些較為复杂的概念，如：“通气与血流比例”，“弥散量”，“生理死区”，“气分布”和“組織的順从性”等。但另一方面，这又不是一本肺生理学的百科全书，企图在这一小册子的範圍內包罗一切有关資料是不可能的事。

在編譯过程的最初阶段，多承林树模教授提供宝贵的意見和指导；初稿完成后，又承吳征鉴所长在百忙中对文字上加工修改；抄写与繪图方面得到陈天乐，蔡哲仁，李洪兴和邓白丁諸同志的热誠协作，謹此向他們致以衷心的感謝。

由于作者的理論水平有限，文字的修养亦很不够，因之錯誤之处在所难免，希望各地同志批評指正，俾得在再版时借以修正补充之。

目 次

緒 論	1
第一篇 肺的临床生理及其机能	4
第一章 肺的容量	4
一、肺活量及其再分量	4
二、余气量及机能性儲藏气量	8
三、肺总容量	15
第二章 肺的通气	16
一、肺泡的通气	16
二、呼吸频率	17
三、潮气	17
四、呼吸死区	18
五、每分鐘的呼吸量及肺泡的通气量	23
1. 通气的正常值	26
2. 通气不足	28
3. 通气过度	32
4. O_2 — CO_2 图解概述	32
5. 通气的化学調节	33
6. 运动时的通气作用	36
六、肺泡通气的均匀性	36
七、吸气不平均分布的測定	40
八、通气不均匀的原因	47
九、通气不均匀的影响	49
第三章 肺循环及通气与血流的比例	49
一、肺循环內的血压	51
二、肺毛細管血流的分布, 通气与血流的比例	52
1. 通气与血流的正常比例	53
2. 肺各部位通气与血流比例改变的原因	53
3. 通气与血流的比率改变对动脉血的影响	59
4. 通气与血流比例改变的測定	62

第四章 弥散	63
一、定义	63
二、弥散量的测定	67
1. 一般原理	67
2. 使用一氧化碳测定弥散量的方法	69
3. 使用氧气测定弥散量的方法	71
4. 弥散量的正常值	79
5. 弥散量测定的意义	79
6. 心肺病者的弥散量	80
7. 弥散障碍对动脉血的影响	81
第五章 动脉氧、二氧化碳及酸硷度	81
一、动脉氧	81
1. 测定血氧的方法	84
2. 动脉氧分压和氧饱和度的降低对估计肺功能的意义	85
二、动脉的二氧化碳及酸硷度	87
三、三氧化碳及酸硷平衡	89
第六章 呼吸的机制	93
一、一般原理	94
1. 关于吸气的机械因素	94
2. 关于呼气的机械因素	100
二、呼吸机械因素的测定	103
1. 机械总功能的测定	103
2. 机械功能的特殊测定	110
第二篇 肺机能测定法的临床应用	117
第三篇 实用资料、方程式及算法	146
第一章 概说	146
一、肺机能测定的正常值	146
二、肺生理学的通用符号及简写字义	148
三、气体定律	150
第二章 肺泡通气及肺血流	153
一、计算呼吸死区的 Bohr 方程式	153
二、解剖死区的一口气测定法	154
三、“生理的”死区	155

四、肺泡气组成的计算	158
五、肺泡通气与肺血流的关系	160
六、静脉至动脉分流量的计算	161
七、 O_2 - CO_2 图解	163
第三章 肺泡-毛细管的弥散作用	167
一、气体的弥散	167
二、肺弥散量的一口气一氧化碳测定法	168
三、肺泡一氧化碳压力的计算方法	169
四、肺毛细管血液的氧分压中数的 Bohr 积分算法	170
五、估计肺氧弥散量的“试验-误差”方法	173
第四章 呼吸的机制	175
一、气体的粘度	175
二、Poiseuille 氏定律	175
三、气体密度对气流的作用	176
四、呼气所作的功	176

緒 論

肺機能測定法是从近十年来許多生理性機能測定法中发展而成的。对于疑有心肺系統異常的病例有借助于肺機能的定性和定量的鑑定法得以明确。在医学實踐上,这方法与过去发展的肝脏、肾脏、心脏血管、神經肌肉、內分泌及代謝機能等的測定法有着同等的重要性。肺機能測定法不仅对于心肺疾病的診斷和治疗上有一定的价值,同时它可以使我們更加理解不同年齡和不同性別的肺生理學,并正确的認識病理生理和肺疾患的发展規律,从而对某些根据临床現象和X綫檢查不能觀察到的肺機能異常,可以早期发现,或用其他方法不能确切地作出特殊診斷的病例,进行鉴别。此外,肺機能測定法亦可作为治疗原則的参考,例如使用氧、氮-氧、加压呼吸、支气管擴張药、激素、抗菌素、人工呼吸、及胸部外科处理等治疗时,究以那种疗法最为适宜。最后,对具有肺脏異常的病例,建立物理度量的記錄上,以及确定肺部損害病例一生中的特殊性機能方面均具有不可估計的价值。

生理性機能測定法的引用絕不是意味着这方法可以代替其他的診斷方法。它只能指明疾病如何改变機能,却不可能作为一种解剖学、細菌学或病理学上的診斷。例如機能檢驗能够揭露靜脉至动脉分流的存在,但不能以解剖学的方式定位在心脏內或肺內;又如生理性機能測定法能够指出肺膜的弥散作用发生了障碍,但不能鉴别肺泡內水肿或間質性水肿,亦不能确定液体是漏出的或是渗出的。进一步來說,生理性機能測定不能显示所有肺病类型的变化,只有当損害造成機能障碍,而且这些障碍达到相当程度时,才能确实地認辨与正常值有所差异。一般說来,肺組織機能作用的輕度减退,或小部分肺面积失去換气及循环作用,都不能借这种方法測定出来。生理性機能測定法往往在纖維化結核性空洞、囊腫及癌样結节等病变存在时出現正常的結果,除非这些病变占有相当大的面积,使肺容量低于正常限度,或病变的部位阻碍了肺机

能。倘若病变没有干扰肺机能，则肺机能测验并不能告诉我们病变的情况，甚至病变存在与否。因此，这种方法不能完全代替放射学、细菌学、支气管镜及病理学研究，和完整的病历及体格检查，只能作为补充的资料。

正如其他生理性机能测验方法一样，对于任何病例单独做一个肺机能测定是不会得到理想结果的。然而，肺的基本生理功能为单纯的气体交换，它包括以下三个程序(图1)：第一个程序为通气作用，包括肺泡的气体容量交换与分布。第二个程序为弥散作用，也就是氧和二氧化碳越过肺泡-毛细血管膜的过程。第三个程序

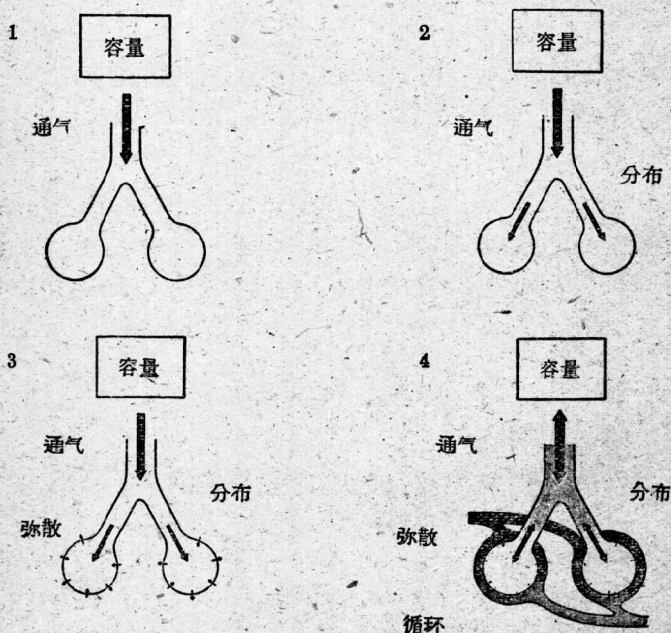


图1 气体交换的基本程序

圆的部分代表肺泡，急速的气体交换是在肺泡里进行的；与肺泡相连的管为通气的导管，即解剖死区，这里不发生有效的气体交换。长方形等于潮气量，大箭头代表吸气的总量，而进入肺泡的两个箭头表示吸入气分布到各个肺泡里去。切入肺泡壁的小箭头(3与4)象征着弥散过程中，氧气从肺泡里进入血液，与二氧化碳从血液进入肺泡的情况。肺泡周围深色的血管表示肺血流(4)；毛细管的深色部分为混合的静脉血，而浅色部分为动脉化的血液。

为肺循环，包括肺毛细管中的血流量和分布及血流与肺泡通气的比例等。

上述的程序不过是一种人为的分析，实际上肺的吸入氧和排出二氧化碳的机制是相互联系而复杂的。由呼吸及循环系统作用而完成的气体交换所需能量极其微小。但在静脉血动脉化的过程中，通气的机械因素是相当重要的，因为有些患者只靠加强呼吸肌的工作，肺即可获得足够的气体交换。事实上，在很多患严重肺病的病人中，苟延残喘的决定因素，完全依赖于能否使用极大的努力以达到足够的通气作用；其次，右心室血液通过受约束的肺血管网所需的功能，也是延长生命的重要因素。

所有以上程序的定量测验都需要很多的生理性机能测定法，但不是每个病人都须要用这些测定法来处理。有些测定法很简单，而且可以在门诊时实施。有些却相当复杂，并且需要具备特别的技术和生理学基础才能明了。

本书分为三大篇，第一篇分别讨论肺的临床生理及其机能的各个部分，如肺的容量、通气、肺血流、弥散及呼吸机制等。第二篇通过病例的介绍，综合地阐述这些测定法的应用结果，得以帮助心肺疾患的诊断及特殊病例的处理。第三篇指出肺生理学的实用资料与方程式及算法，及肺机能测定法的某些发展知识。

第一篇 肺的临床生理及其机能

第一章 肺 的 容 量

许多年来,唯一的肺机能测定法就是测量肺的容量(图2)。实际上,测定肺的容量并不能真正鉴定肺的功能,因为这些方法本质上是解剖学的测量法。但是肺容量的改变可能受生理活动的影响,因此,理解肺容量的正常值和如何解释其差异,是相当重要的。

由于前人对于相同肺的容量使用了过多的名称,易于混淆,故此1950年,有些呼吸生理学家建议统一其名词与定义如表1。

表1 肺的容量与肺活量

I. 容量 有四种不重叠的基本容量

1. 潮气量(或称呼吸的深度): 是每一个呼吸周期吸入或呼出的气体容量。
2. 补吸气: 是吸气到达终点后所能吸入气体的最大量。
3. 补呼气: 是呼气到达终点水平时所能呼出气体的最大量。
4. 余气: 是一次最大度呼气到达终点后,留存在肺内的气体容量。

II. 活量 有四种活量,每种活量包括两种或两种以上的基本容量

1. 肺总气量: 是一次最大度吸气到达终点后,留存在肺内的气量。
2. 肺活量: 是一次最大度吸气后,用力从肺内呼出气体的最大量。
3. 吸气量: 是从静止呼气水平所能吸入气体的最大量。
4. 机能性储藏气量: 是在静止呼气水平所遗留在肺内的气量(静止呼气终点在这里作为一基底线,因为它比吸气终点的位置变动较少)。

男性与女性平卧时肺容量的正常值列于表2。平均值的标准差指出甚至在同一组中也有相当的变异;所以必须比“正常值”有很大的差异,对诊断始有意义。

一、肺活量及其再分量

肺活量及其再分量(潮气、补呼气、补吸气)可以直接使用简单的肺量测定器来测量。进行标准的测量时,要求病人最大度吸气,然后把气体全部呼入一个肺量器里。在此项测量中,不要有时间

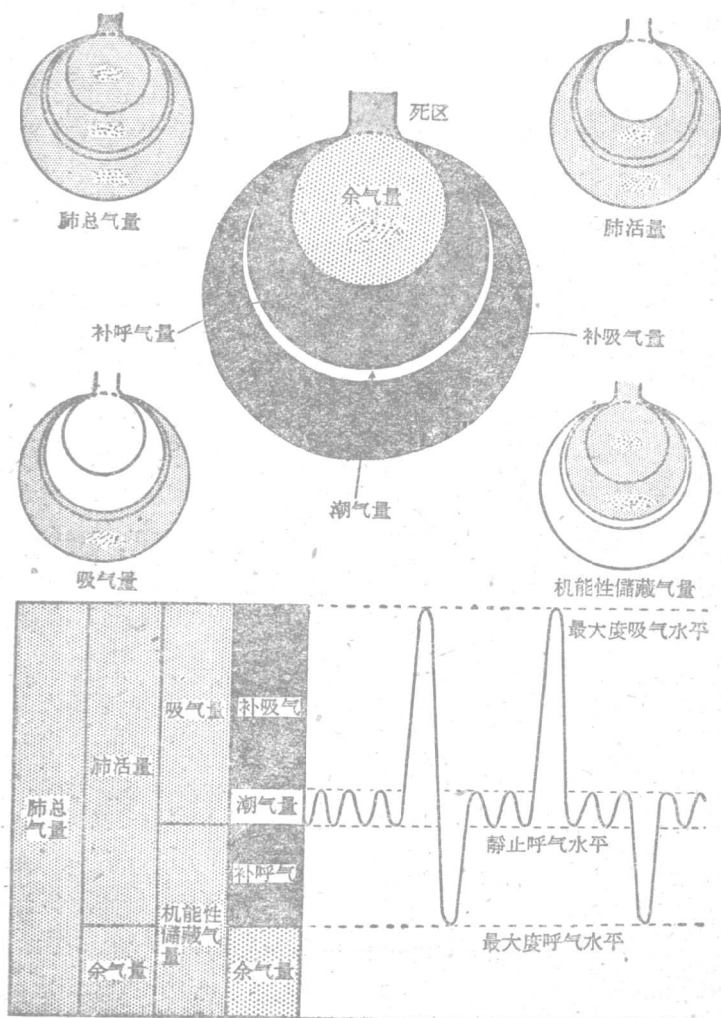


图 2

上：中央的大圆图代表四个基本容量及其最大量，外缘线指出肺的最大扩张度；最内层的圆圈为余气量，即最大度呼气到达终点后，留存在肺内的气体容量。环绕着中央圆圈的四个小圆图分别说明包括两个或两个以上基本容量的四种肺活量。当使用常规方法进行气量测定时，死区气就包含在余气量和机能性储藏气量里。下：以气量测定器绘划出来的曲线；直的深色方格等于上面中央的大圆表。

上的限制,病人可以随意很快或很慢地呼气。但完整的呼气速度的测量,对确定呼气的机械因素有重要的意义,这问题将在另章里加以讨论。

表2 正常肺容量

	50 男性青年 (平卧位)		50 女性青年 (平卧位)		11 男子 > 50 岁 (平卧位)	
	中 数	标准 差	中 数	标准 差	中 数	标准 差
年龄.....	22.9	3.3	23.1	3.4	61.5	6.8
身高(厘米).....	176.2	5.1	163.4	4.2	169	4.8
体重(公斤).....	72.5	11.2	57.2	9.4	65.9	12.4
吸气量(升).....	3.79	0.52	2.42	0.36	2.61	0.61
补吸量(升).....	0.98	0.26	0.73	0.19	1.01	0.38
肺活量(升).....	4.78	0.59	3.14	0.41	3.48	0.48
余 气(升).....	1.19	0.35	1.10	0.30	2.43	0.50
机能性膈藏气量(升)	2.18	0.50	1.82	0.39	3.44	0.74
肺总气量(升).....	5.97	0.81	4.24	0.57	5.92	0.57
余气 / 肺总气量 比例 $\times 100$ (%)	19.8	4.4	25.9	5.0	40.9	7.1

肺活量的正常值: 肺活量的正常值列于表2。测量任何病人的肺活量, 可以与每一组年龄的正常数值作比较(考虑各人不同的身高和体重), 或与方程式计算出来的数值作比较。计算肺活量的方程式如下:

根 据	男 性	女 性
面积(由身高与体重推算出)	2.5 升/ M^2	2.0 升/ M^2
身高.....	25 毫升/厘米	20 毫升/厘米
身高与年龄.....	$[27.63 - (0.112 \times \text{年龄})]$ $\times (\text{以厘米计算身高})$	$[21.78 - (0.101 \times \text{年龄})]$ $\times (\text{以厘米计算身高})$

(上列方程式并不适用于儿童, 儿童须用不同的表式)

肺活量改变的意义 在物理上, 肺活量是测量一次最大度吸

气后，用力从肺内呼出气体的最大量。假若医师想知道一个病人的肺活量是否正常，可应用表 2 的平均值与方程式推算出来的数值作基本上的比较。甚至是同年龄、身高和体重的健康男女肺活量，也可能与正常值有百分之二十的差异。所以，除非肺活量低于平均值或计算所得数值的百分之二十以上，不能被确实认为是异常的。

无论肺活量的绝对值如何，肺活量的改变也是重要的。譬如，某病人的计算肺活量是 4500 毫升，而他的实际肺活量是 3800 毫升；显然，肺活量低于同类平均值百分之十五，但不能根据这个减低值，而认为他的肺活量是异常的。假若病人经过治疗后（支气管梗阻或充血性心力衰竭已痊愈），肺活量增加至 5000 毫升，这才应该认为最初的数值是低的。

对个别患有心肺疾病的病人施行连续分期的肺活量测定，往往有很大的意义。如肺充血的改变和累及呼吸机械活动的脊髓灰白质炎的发展情况，常可以使用这种检查方法得以明确。在有些患支气管气喘或肺气肿的病例中，施行连续分期的肺活量测定，可以估计到支气管扩张药的疗效。但气流速率的测量常更有意义。如某一病例患显著的气喘，他的肺活量在发作期间是 5320 毫升（推算值之 1.14%），用付肾素治疗后，肺活量只增加 50 毫升，但他的最大通气量在治疗后从每分钟 141 增至 230 升；这可代表一个细支气管狭窄的典型例子。此种狭窄虽增加气流的阻力，但不能完全阻塞气流的通道。举另一个例子来说，病人亦患气喘，经过付肾素治疗后，肺活量及最大通气量两者都增加（分别为 2800~3640 毫升和 62~111 升/分钟），这说明有些完全闭塞的细支气管，经过治疗之后，又重新开放了。在这样的例子里，肺活量增加是很有意义的。但必须牢记，在正常人中也可能有类似的容量改变。譬如，在同一个人身上连续重复进行相同的测量，肺活量可以比平均值有 200 毫升上下的差异。而且，平卧的肺活量，可能比站立姿态的肺活量减少 300 毫升。一部分的原因系由于肺血量的改变，另一部分原因系由于横膈位置的改变。因此，对一个病例进行肺活量连续测量中，必须以相同的体位进行测定，同时，病人理解测定法的

程序及愿意合作也是十分重要的；根据这些原則測定出来的肺活量达到 200 毫升或更多的改变时，自然有临床意义。

因疾病而产生的肺活量改变 許多原因会形成肺活量的减低，不少例子証明肺活量的减少是肺組織的机能面积发生絕對减縮的結果。这包括肺脏的广泛病变，由支气管癌所致的大支气管阻塞、毛細支气管梗阻、肺水肿、肺炎、肺不張、肺纖維性变、肺充血及肺組織切除等。有时肺脏本身沒有原发性疾病，但由于肺部不能膨脹或胸廓的扩展受限制，亦会降低肺活量。例如：

(1) 由于胸廓的扩展受限制，如胸部外科手术的外側位，紧束带，皮肤硬化，骨路畸形如脊柱后側隆凸，胸痛（包括肋骨骨折和胸部或上腹部切伤所致的胸痛），或因神經肌肉障碍，譬如脊髓灰白質炎，周圍神經炎，重症无力和原发性肌肉紊乱或低鉀症等。

(2) 由于橫膈下降受限制，如妊娠，腹水，腹部肿瘤，气腹或膈神經麻痹。

(3) 由于肺脏膨脹受限制，如胸积液，膿胸，气胸，膈疝，显著的心脏肥大或心包积液等。

虽在很多疾病中会有肺活量的减少，但肺活量的减少絕不是任何一种疾病的特征，而且常常不能指出肺病的存在与否，而在某些肺病患者身上測定出来的肺活量可能属于正常范围的数值。所以，单纯使用肺活量的定量測定来診斷疾病是不可靠的。

吸气量及补呼气变值的意义 作为一般的指标來說，正常吸气量为肺活量的75%，而补呼气則为肺活量的25%。但是，在同性别或同年龄組的男女中，甚至是同一个人，补呼气的大小常有很大的区别。其中体位的变异为一个重要因素；由直立轉到仰臥姿勢，补呼气可减少 600~900 毫升，这主要是因为橫膈上升。补呼气的变值通常不易作合理的解释，因此，并无診斷价值。

二、余气量及机能性儲藏气量

余气量及机能性儲藏气量可以在同一測驗过程中进行測定，所以在本节中一并加以討論。

余气量是充分呼气到达終点时留存在肺内的气量。这种气量

是四种不同的基本容量中的一种,不能直接用肺量器测定,只能使用间接方法。

应用通路或断路法可以测定余气量(图3及图4)。但这两种方法都应该使用不溶性的气体作为试料。氮(N_2)和氦(He)比较容易脱离肺泡内气体溶解到血液或组织去,故常用于作为试料。通路法系根据下面的原理进行试验的:病人的肺气量是一个未知数,而他却很有规律地呼吸着含氮80%的空气,若将病人肺部的氮量计算出来,也就能够测定肺泡气的总量(表3)。

表3 体位改变对肺气量的影响

容量或活量	中数/升		中数差 坐立-平臥/升
	坐立	平臥	
40个成年男子			
肺总气量.....	5.788	5.483	+0.305
肺活量;.....	4.098	4.018	+0.080
吸气量.....	2.708	3.027	-0.319
补呼气.....	1.389	0.991	+0.398
机能性储藏气量.....	3.080	2.456	+0.624
余气量.....	1.691	1.465	+0.226
16个成年女子			
肺总气量.....	4.659	4.320	+0.339
肺活量.....	3.107	3.109	-0.002
吸气量.....	2.094	2.451	-0.357
补呼气.....	1.013	0.659	+0.354
机能性储藏气量.....	2.565	1.869	+0.696
余气量.....	1.553	1.211	+0.342

计算肺中氮的含量方法如下:使病人吸入无氮的纯氧气,同时将呼气呼进肺量器里(先用 O_2 冲洗肺量器,使器内不含氮),然后计算收集在肺量器中的气量及其含氮浓度。

健康的青年人呼吸氧气两分钟,就可以完全清洗肺泡里的氮;但患气喘及肺气肿的病人,因为通气机能总是不好的,故常需要3~7分钟才能冲净。某些特殊的肺病,如囊肿,需要的时间会更长些。

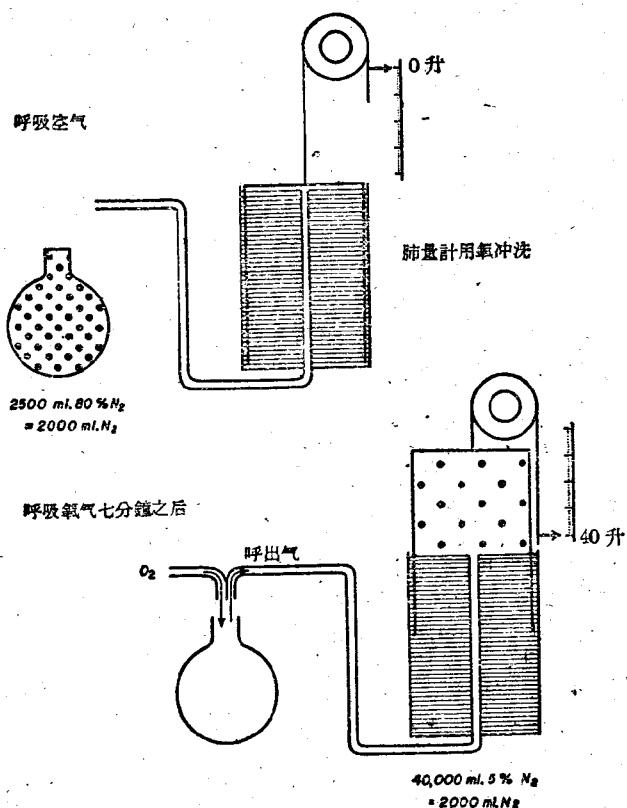


图3 测量机能性储藏气量的通路方法

小黑点代表 N_2 分子。试验开始时全部的 N_2 都在肺内 (N_2 的浓度为 80%)。在试验过程中,病人呼吸 O_2 , 肺内的 N_2 被 O_2 清洗, 与 O_2 同时呼入肺量器里。测定呼出气中 N_2 的浓度, 就能计算出肺内 O_2 的总量。

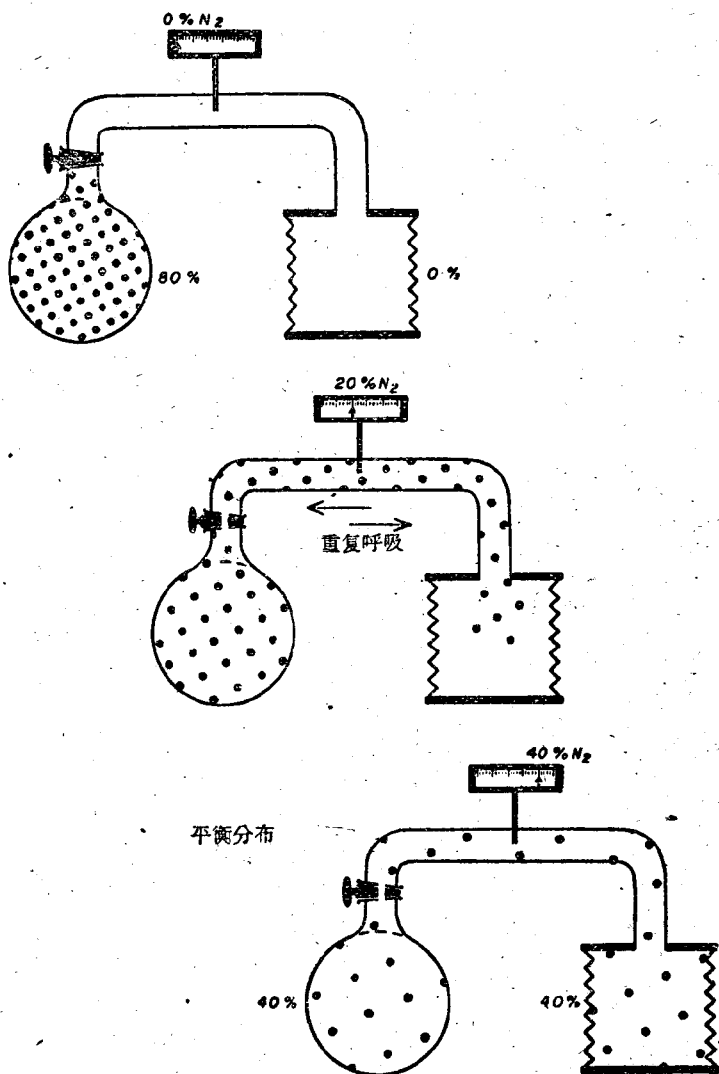


图4 测量机能性储藏气量的断路方法

小黑点代表 N_2 分子。试验开始时全部的 N_2 都在肺内 (N_2 的浓度为 80%)。病人重复呼吸, 使肺与风箱的 N_2 浓度相平衡。肺内及风箱中的 N_2 或 He (图5) 的分子数在试验开始时与完毕后不变; 试验完毕后, 图式中的分子数似乎减少, 实际上不过是分子被稀释所致。