

五、呼吸

人体的基础单位是细胞。细胞每时每刻需要补充新鲜的氧，满足代谢的需要，同时又需要把代谢中不断产生的二氧化碳排除出去。人体吸入外界气体，保证全身静脉血在肺中进行有效的气体交换，摄取足够的氧以供应各个组织的细胞，并且排适量的二氧化碳以保持体内二氧化碳含量和酸碱度的平衡稳定，就是呼吸。

人在从事非紧张活动的时候，每分钟大约呼吸 15 次，每次吸进大约 500 毫升空气。在从事紧张激烈活动的时候，呼吸频率可能增加 1 倍，每次吸入的空气可能增加 5 倍。一个人每天吸进和呼出的空气大约有 19 立方米。

肺实现气体交换的呼吸器官

人的呼吸系统可以从鼻腔算起。空气由鼻孔或嘴吸进人体内，经过鼻咽和喉咽，进入气管。气管是由许多马蹄形软骨组成的通气管道，成人的气管长约 10~11 厘米，直径约 2.5 厘米。气管的下端分为左右两条主支气管，与左右两肺相连，在肺脏里面继续不断分枝，成为倒挂的树枝状网络，最细的支气管直径约 1 毫米。

肺脏是呼吸系统的重要器官。肺是松软而有弹性的海绵状结构，平均重量约为 600 克。右肺一般较大，分为 3 叶 10 个支气管段；左肺分为 2 叶 9 个支气管段。整个肺里，约有 2~8 万支最后一级细支气管，连接着 6~8 亿个肺泡。所有肺泡腔的总表面积大约有 80m²。肺泡的外表面由密密麻麻的大约 60 亿条毛细血管覆盖着，覆盖的面积占有肺泡总外表面的 85~90%。人体内外的气体交换就是最终在肺泡膜及其微细血管的表面上实现的。所以，气体同血液进行交换的有效面积大约是 80m² 的 85~90%，即 70m² 左右。不过，人体处于安静状态的时候，心脏的输出血量是每分钟 5 升左右，肺毛细血管只有 25% 开放，已经可以承担起气体交换的任务了。心脏输出血量增加的时候，其余的肺毛细知和才陆续开放。

肺泡同毛细血管之间只有一层不到半个微米 ($<0.5\mu\text{m}$) 厚的膜相隔。血液从毛细血管的动脉端，大约需要 0.75 秒左右。肺泡里的氧能够在 0.25 秒的时间里，透过肺泡毛细血管之间

的薄膜进入毛细血管，并且完成同毛细血管里面血液中血红蛋白的结合。与此同时，血液中的二氧化碳以更快速度透过肺泡毛细血管之间的薄膜，时入了肺泡。氧通过肺泡进入微细血管和二氧化碳由微细血管进入肺泡，称为“弥散”。区散的机理是由于气体的分压不同而产生的动态平衡过程。

我们知道，气体分子之间的距离比液体和固体分子之间的距离大，所以气体分子容易运动。气体分子的运动就称为弥散或扩散。气体弥散的方向、速度和距离，取决于压力差。压力差越大气体弥散的速度就越快，距离也越远。肺泡里面的氧分村是 103mmHg，二氧化碳分压为 40mmHg；而肺泡毛细血管静脉的血液氧分压为 40mmHg,二氧化碳分压为 46mmHg。可见，肺泡里面的氧分压高，而肺泡毛细血管静脉血液里面的二氧化碳分压高。因此，由于分压差的缘故，肺泡里面的氧通过肺泡壁（一层上皮细胞）、间质（约 1~2 微米厚的结缔组织）和毛细血管壁（一层内皮细胞）弥散到毛细血管血液中，而血液内的二氧化碳，则沿同一途径按相反方向弥散到肺泡里面去。经过这样的双负弥散，达到动态平衡，静脉血的氧分压提高而二氧化碳分压降低，转换成为动脉血，流向全身组织。

氧进入血液后，首先溶解于血液的液体中形成分压。在一定分压的作用下，氧与血红蛋白结合达到饱和。每克血红蛋白达到饱和时结合的氧量为 1.84 毫升。每 100ml 血含有血红蛋白克数，乘以血氧饱和度（%），再加上物理性溶解量（0.003ml/100ml 血/mmHg），即可计算出血氧含量。

动脉血流过组织时，首先由溶解氧向氧分压较低的组织液弥散。随着血氧分压的下降，血中的结合氧解离出来溶解于血液的液体部分中，同时血红蛋白中的氧饱和度下降。

圆满完成这个气体交换的过程，首先，肺泡需要不断得到来自气管的新鲜空气，大约每分钟 4 升到 5 升。其次，毛细血管里面要不断有足够的血液流动，大约每分钟 5 升到 8 升。具备了这两个最基本的条件，还需要其他各个有关器官系统的协调配合、肺泡毛细血管膜的弥散通透能力、心脏的正常活动、代谢功能的平衡维持等等。任何一个五一节发生了问题，都会给气体交换造成不利的后果。

肺脏实现气体交换的动力，来自由胸腹和肺组成的一个“生理气泵”。胸肌和腹肌收缩时，胸腔和肺的容增大，肺泡里面的压力低于大气压，于是空气被吸入肺脏。吸气完成后，肺脏本身的弹性回缩使胸腔和肺恢复原来的容积，肺泡的压力又高于大气压力，导致空气由肺部呼出。胸腹和肺脏的一张一弛，就完成了—个呼吸的周期。

在主动的吸气与被动的呼气这个呼吸周期过后，有一个短暂的间歇。吸气的过程大约是 0.8 秒，呼气的过程是 1.2 秒。在每分钟 12 次的呼吸频率时，每个呼吸周期之后的间歇是 3 秒。随着呼吸频率的增加，吸气、呼气 and 呼吸之后的间歇都缩短，但以呼吸周期之后的竟歇的缩短最为明显。

平静呼吸的吸气，主要靠横膈膜的收缩下沉。有意识的用力吸气时，胸腔扩张，横膈膜和同呼吸有关的颈部肌肉、肩部肌肉和腹部肌肉都有收缩动作，以克服气流通赤鼻腔、喉腔、气管以及支气管和细支气管时的阻力，克服肺脏的弱单反弹，克服胸腔和腹腔以及肝脏、脾脏、肠等的惰性。当呼气的时候，肺脏和胸腔的回弹力量足以把呼入的空气量排出，有关肌肉无须主动动作，只是放松，就便肺脏恢复到吸气前的体积。

红细胞运载氧的小舟

呼吸系统另一个重要组成部分是气体的运送体系。外形像盘子一样的红细胞（红血球），好似一艘艘动载氧的小舟，漂浮在液体状的血浆中，以每秒钟 2 厘米的速度，湍着曲折蜿蜒、四通八达的血管网络，日日夜夜川流不息地航行。

健康的成年人大约有 3.5~5 升血液，占整个体重的 7% 左右。血液主要由红细胞和血浆组成，分别占血液的 40% 和 55%。一滴血里面大红有 2.5 亿个红细胞。

血细胞分成红细胞、白细胞和血小板三种，其中 90% 以上是负责携带、运送氧和二氧化碳的红细胞。红细胞是从骨髓产生出来的，大约 6 天达到成熟，有 120 天的寿命。在这 120 天里，大约在体内循环 30 万次，然后就自行碎裂了。健康成年人大约有 25000 亿个红细胞，以每秒钟 300 万个的速度不断更新。

血液运送氧，有两种形式。第一种是把氧溶解在血浆之中，随着血浆输送到人体的各个部分。我们将一匙白糖放到水里，不久白糖消失，水变甜，白糖溶解到水里了，这种现象叫溶解。气体也同样可以溶解到液体中，溶解的量取决于气体的压力压力越大，溶解得越多。比如，装在密封瓶子里面的汽水，在打开瓶盖之前，是看不见气泡存在的。这是因为汽水装瓶的时候在比较高的压力下注入了二氧化碳，很多二氧化碳溶解在水里。打开瓶盖的瞬间，瓶内压力突然降低，溶在水中的大部分二氧化碳便以气泡的形式溢出。同样，氧在血浆中的溶解量，也取决于压力。

人的动脉血液正常氧分压为 100mmHg。在这种压力下，每百毫升血液只能溶解 0.3 毫升氧。根据计算：人的动脉血每百毫升含氧量为 18.5 毫升，静脉血含氧量为 12.9 毫升。说明血液流过组织后，每百毫升的血氧含量减少了 5.6 毫升（18.5 毫升 - 12.9 毫升）。这 5.6 毫升的氧，就是组织需氧量，大于血液里面氧溶解量（0.3 毫升%）18 倍。靠溶解在血液里的氧不能满足需要的部分，是靠第二种运送方式结合氧来运送的。

所谓结合氧，就是血液中的溶解氧弥散到红血球里面，与红血球里的血红蛋白结合。每个血红蛋白分子可以结合 4 个氧分子，每克血红蛋白可以结合 1.34 毫升氧，是运载氧的主力。如果按每百毫升血液含 15 克血红蛋白计算，则每百毫升血能结合氧 20.1 毫升。实际上，因为大多数人的血红蛋白达不到每百毫升 15 克，一般只有 13~14 克左右；而且，在动脉血氧分压 100 毫米汞柱的情况下，血红蛋白不能全部与氧结合，而是只有 95~98% 与氧结合。所以，每百毫升动脉血结合的氧 18.2 毫升。

动脉血氧含量是指每百毫升动脉血液用溶解和结合两种运送方式携带的氧，包括溶解的 0.3 毫升氧和血红蛋白结合的 18.2 毫升氧。所以，一般动脉血氧含量约为 18.5 毫升%。

红细胞的主要成分是一种含二价铁的蛋白质“血红蛋白”。血红蛋白在氧分压高的肺部同氧结合（氧合）之后，成为鲜红色的“氧合血红蛋白”。到了氧分压低的其他组织，又由于同样的气体分压机理，很容易把氧释放给组织细胞，成为暗红色的“还原血红蛋白”，或者

叫作“去氧血红蛋白”。

血红蛋白更容易同一氧化碳结合。它同一氧化碳的亲合力，比同氧的亲合力大 300 倍左右。所以，一旦遇到一氧化碳，血红蛋白就失去了运载氧的能力。

细胞组织在氧合作用过程中，把氧消耗掉之后，产生出二氧化碳。二氧化碳也是靠血液循环从细胞组织运送到肺部，通过气体交换排出体外的。

血红蛋白可以与二氧化碳直接结合，形成“碳酸血红蛋白”，承担起运送二氧化碳“出境”的任务。不过，以这种直接结合方式运送二氧化碳的比例不大，大部分二氧化碳是以、酸式碳酸根（ HCO ）的形式在血液中运送的。血红蛋白里面含有许多碳酸酐酶。溶解于血浆中的二氧化碳分子，绝大部分透过血红细胞的细胞膜进入血红细胞，在碳酸酐酶的作用下与水结合，离解成为 H^+ 和 HCO 。由于血红细胞膜具有选择性， HCO 从血红细胞中逸出到血浆中， H^+ 则留在血红细胞里面，并且把血浆中含量最多的 Cl 吸引进入血红细胞，保持了电介质的平衡。这一过程称为“氯转置”。

在人体肺部以外的各个组织中，由于二氧化碳的分压高，除去生成碳酸血红蛋白以外，生成大量 HCO 。在肺部，由于二氧化碳的分压低而氧的分压高，结合 H^+ 能力强的去氧血红蛋白大量变为氧合血红蛋白；释放出的 H^+ 与 HCO 结合，转化成为二氧化碳和水，加上碳酸血红蛋白释放出来的二氧化碳，一起排出体外。

心脏运送氧的动力泵

运送氧的血液在全身循环，动力来自心脏。整个循环系统可以分成沟通全身组织的体循环和在肺部内部循环的肺循环。

心脏有节奏地收缩和舒张，使经过肺部气体交换富含氧的动脉血通过二尖瓣进入左心室，再通过主动脉、动脉搏和毛细血管运送到人体各部分组织。同时，使经过各部分组织机体代谢携带着二氧化碳和废物的静脉血，经过静脉系统返回右心房。这一过程称作“体循环”。

右心房里面的静脉血经过三尖瓣进入右心室，再通过肺动脉进入肺部完成气体交换，变成动脉血之后，由肺静脉返回左心房。这一过程称为“肺循环”。

体循环和肺循环构成人体的整个血液循环体系，完成氧和二氧化碳以及机体代谢中各种营养物质（蛋白质、脂肪、糖）和废物（死亡的细胞质、尿素、多余的水分等）的运送任务。

对于人的生命影响最大的是体循环中的脑循环。作为生命中枢的脑组织。承担着繁重的任务。组成大脑的基本单位是“神经元”，总数大约有 1000 亿个，据估计每分钟能够完成 600 万次化学和生物电的反应。脑的重量只占人体总重量的 2~3%，脑的血流量却占心脏输出血液总量的 20%。

对于循环系统本身影响最大的是心脏内部的冠状循环。心脏是人体终身不息的“动力泵”，

它的总耗氧量是各个器官之最。在政党情况下，心脏几乎唯一依靠冠状循环的氧代谢来朝代能量。如果心肌缺氧，则冠状血管的血流量增加，心肌的摄氧率增高，以保证整个“动力泵”获得必需的氧和能量。一旦心脏停止跳动，血液循环随之中断，很快导致全身缺氧和酸中毒。所以，对任何情况引起的心停跳，都必须分秒必争地进行抢救，尽快恢复心跳。

病理资料表明，由于心脏突然停跳而猝死的大多数病人，本身心脏的病变程度并不严重，只是因为情绪激动或者突发性剧烈运动，造成心脏负荷突然加重，心肌暂缺血缺氧，所以心动电流失常，导致室颤和停搏。这样，必须抓住急性缺氧这个根本原因采取针对性急救措施。及时补充给氧，往往能够迅速奏效。如不及时纠正缺氧，是很难实现心脏复苏的。

呼吸系统的运作，包括呼吸生理泵和生理泵和运送体系的协调以及身体各部位对氧的需求的协调，都由神经系统负责。整个呼吸运动有自身的节律机制，同时也受机体变化、环境变化和意志的影响，神经系统可以感知体液化学万分的变化，判定机体对氧的需求情况，迅速由中枢神经做出反应，刺激或抑制呼吸器官的动作。