

$$1、 \text{Rate of oxygen delivery} = [O_2] \cdot \pi r^4 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{m} \cdot \Delta P \cdot \frac{1}{l}$$

$$\text{單位} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}^4 \cdot \frac{\text{m} \cdot \text{s}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}}$$

$$\text{單位} = \frac{\text{m}^5 \cdot \text{kg}^2 \cdot \text{s}}{\text{m}^5 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

每秒流動的 $O_2$ 重量

$$2、 \text{Rate of oxygen delivery} = [O_2] \cdot \frac{\pi r^4}{8M} \cdot \frac{\Delta P}{l}$$

$$1 = 1 \cdot \frac{(0.95)^4}{1} \cdot \frac{\Delta P}{1}$$

$$\Delta P = \frac{1}{(0.95)^4} = 1.23$$

血壓需提高23% (1→1.23)

$$3、 \text{Blood} \quad \text{Air}$$

$$[1] \frac{1}{55} \cdot R_{\text{blood}}^4 = [40] \frac{1}{1} \cdot R_{\text{air}}^4$$

$$\frac{R_{\text{blood}}^4}{R_{\text{air}}^4} = 40 \times 55 = 2200$$

$$\frac{R_{\text{blood}}}{R_{\text{air}}} = \sqrt[4]{2200} = 6.85$$

管壁需為6.85倍粗

$$4、 \text{Blood} \quad \text{Air}$$

$$[1] \frac{1}{55} \cdot \Delta P_{\text{blood}} = [40] \cdot \frac{1}{1} \cdot \Delta P_{\text{air}}$$

$$\frac{\Delta P_{\text{blood}}}{\Delta P_{\text{air}}} = 40 \times 55 = 2200$$

壓力需為2200倍

## 5. 生物使用液體為體內輸送機制

### 動物

血液主要由血漿和紅血球細胞組成，氧氣以兩種形式攜帶在血液中：(1) 溶解在血漿和紅血球胞內的水中 (約佔總量的 2 %) 和 (2) 與血紅蛋白結合 (約佔總量的 98 %)。

雖然血液 (水) 相較於空氣並不是理想輸送氧氣的媒介，但生物體內直接利用水來運輸的氧氣其實僅佔總量的 2 %，生物體透過演化出紅血球的攜氧機制，彌補了僅以水運輸氧氣的不足之處。

血紅素 (Hemoglobin) 是高等生物體內負責運載氧的一種蛋白質，幾乎存在於所有的脊椎動物體內，在某些無脊椎動物組織也有分布。血液中的血紅素從呼吸器官中將氧氣運輸到身體其他部位釋放，以滿足機體氧化營養物質支持功能運轉之需要，並將由此生成的二氧化碳帶回呼吸器官中以排出體外。平均每克血紅素可結合1.34ml的氧氣，是血漿溶氧量的70倍。

血液 (水) 1 倍  
空氣 40 倍  
血紅素 70 倍

血紅素與氧結合形成氧合血紅素。每一分子血紅素含有四個亞鐵離子，每個亞鐵離子可以與一個氧分子結合，因此一分子的血紅素最多可攜帶四個氧分子。血紅素和氧氣結合形成氧合血紅素的反應為可逆反應。血液中含氧較高時，血紅素極易與氧分子相結合，形成氧合血紅素；在血液中的氧濃度降低或二氧化碳濃度升高的情況下，氧合血紅素可解離為血紅素和氧氣。血紅素與氧的結合力會受到血液中氧分壓的影響，也會受到血液中二氧化碳分壓或pH值的影響。

另外，若以氣體作為運輸媒介，當生物運送氣體的管道有破損時，因為相對於外界氣體，體內氧氣濃度可能較高，極有可能造成體內的氧氣不斷擴散至外界，且生物體內可能無適當的機制可有效停止氣體流失，然而若為液體 (如血液)，才可透過血小板等機制有效避免液體無止盡的流失。

### 植物

植物運用液體運輸氧氣，才可利用**蒸散作用**做為植物體內水分上升的主要動力。植物由根部吸收水分和礦物質，並有細絲狀的根毛增加吸收的表面積。水分運輸到莖及葉後，除少部分被細胞利用，大部分的水經由葉表面的氣孔散失到空氣中，即為蒸散作用。植物根、莖、葉中的木質部細胞，相連接形成細管，管內充滿著水分，當水分從氣孔蒸散出去時，便會產生拉力，將細管內的水往上牽引。於是，莖內的水便上升到葉脈，根部的水也隨之上升到莖中。

若非蒸散作用的拉力，植物體內並無其他有效的推力可以帶動運輸，因此在植物中也是使用液體作為運輸媒介。

參考資料：

Pittman RN. Regulation of Tissue Oxygenation. San Rafael (CA): Morgan & Claypool Life Sciences; 2011. Chapter 4, Oxygen Transport. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54103/>

Hemoglobin. Available from: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%80%E7%BA%A2%E8%9B%8B%E7%99%BD>