

ヘモグロビンによる酸素輸送

人間の血液の中であって酸素の輸送を行うヘモグロビン。血液のほぼ半分を占める赤血球に含まれるこのヘモグロビンの構造と酸素運搬の仕組みを解説しよう。

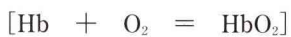
大きな分子のペプチドに4個のヘム

ヘモグロビンは分子量68000で、ペプチドとヘムという色素の結合したものだ。ヘムは2価の鉄原子を中心として4個のピロールが結合したものである。私たち人間のヘモグロビンは、このような単位体（分子量は17000）が4個結合したものである。ヘモグロビン4個の単位体のうち2個はそのペプチドがアミノ酸141個からなり（ α 鎖）、他の2個はアミノ酸146個から成り立っている（ β 鎖）。またヘムの中心にある鉄は6個の配位原子価をもっており、その4個でピロール核と結合し、残った1つでペプチドと、他の1つで酸素と結合する。

つまり、大きな分子のペプチドにちょこんとヘムが結合し、そのヘムの中央に小さな鉄の原子が鎮座している。ヘモグロビン1gは人体内では1.34mlの酸素と結合する。血液100ml中にはヘモグロビンは15g含まれているので、これが酸素と結合すれば100mlの血液は最大1.34ml/g $\times$ 15g = 20.1mlの酸素を運ぶことができる。

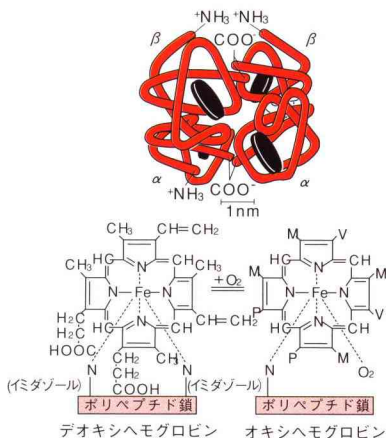
血液中のpHが酸素の運搬を指示

ヘモグロビン(Hb)は、次のように容易に酸素と結合し、また容易に分離する。



水中にヘモグロビンを溶かし酸素を通じると、HbとHbO₂が混在する溶液ができるが、酸素圧を高めるとHbO₂の割合が増し、Hbが減少する。そこで、酸素圧とHb、HbO₂の百分率の関係を示す曲線を、ヘモグロビン解離曲線という。例えば、肺胞内では酸素分圧は100mmHgであるからHbO₂は97%ほどとなる。したがって100mlの血液は

■ヘモグロビン分子模型（上）とヘムの化学構造（下）



α ペプチドを含むサブユニット2個、 β ペプチドを含むサブユニット2個、合計4個のサブユニットより成る。黒円盤はヘムを示す。

20.1ml $\times$ 97% = 19.5mlの酸素を運ぶことになる。スポーツの後などの筋肉組織の酸素圧は40mmHg程度なので、HbO₂は約68%となる。そこで、100mlの血液の筋肉組織で放出する酸素の量は

$$20.1\text{ml} \times (97\% - 68\%) = 5.8\text{ml}$$

となる。

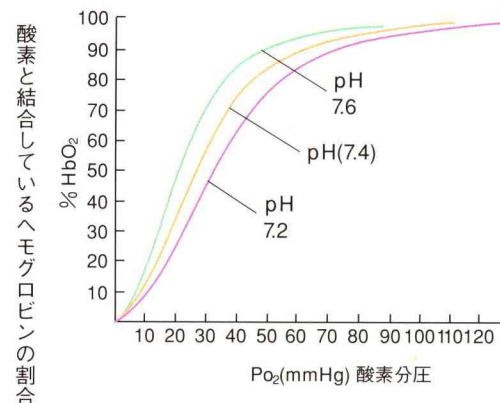
また血液中の二酸化炭素量が増えると、体はより多くの酸素を求める。そこで、二酸化炭素が増えて血液のpH値が小さくなると（水素イオン濃度が高まるのでpH値が下がる）、この信号をキャッチしてヘモグロビンは酸素を放出して要求に応える。結果として酸素ヘモグロビンの割合は低下する。

鮮赤色と暗赤色

また酸素だけではなく、ヘモグロビンは二酸化炭素の運搬も担っている。組織の代謝で発生した二酸化炭素は毛細管壁を通して血しょう内に拡散し、さらに赤血球に入り込む。そして、二酸化炭素は赤血球内の炭酸脱水素酵素の働きにより、HCO₃⁻となって肺に運ばれるのである。

さて、血液が赤色をしているのは、ヘモグロビンの鉄イオンが赤色を呈しているからであるが、酸素と結び付いているときには鮮紅色、二酸化炭素のときには暗赤色にかわる。動脈血と静脈血の色の違いはここからきている。ちなみに、哺乳類のほとんどが酸素の運搬に鉄を活用しているため、血液は人間同様に赤色である。だが、赤くない血を持つ動物もいる。例えば、甲殻類。甲殻類の場合、哺乳類の血液中の鉄に当たる元素は銅であり、銅イオンは緑色を呈するので、その血は緑色である。

■ヘモグロビン解離曲線



スポーツなどにより血液pHが低下すると右側にシフトし、酸素が放出されて、酸素ヘモグロビンの割合が低下する。