



問題9. 血液中の酸塩基平衡

酸塩基ホメオスタシス(恒常性)は生物組織内で最も厳密に調整されているシステムの一つである。緩衝液としての血液は体内pHの短期安定性を担っている。最も重要な緩衝系は重炭酸緩衝系であり、その成分は肺や腎臓によってさらに調整されている。

- 9.1 人の体内では酸が毎日産生され、約60 mmolが6 dm³の血液へと放出されている。単純化するために、血液重炭酸緩衝系を、はじめpH = 7.4 の重炭酸緩衝系のみを含む閉鎖系であると考えよ。CO₂の分圧は $p(\text{CO}_2) = 5.3 \text{ kPa}$ である。上に述べた酸負荷が体内で重炭酸緩衝によって和らげられるという条件で、37 °CにおけるpHを計算せよ。
- 9.2 しかしながら、問題9.1での仮定とは異なり、実際にはCO₂の分圧が呼吸によって一定の水準に保たれていることを考慮すると、開放系であると考えてるのが最善である。問題9.1で述べられたのと同様の状態にある重炭酸緩衝系中で、 $p(\text{CO}_2)$ が酸の添加によって変化しないと仮定し、血液が開放系であると考えて得られる最終的なpHを計算せよ。pHの値は生体内の値の範囲まで落ち込んだか? 説明せよ。(訳注:動脈血のpHの正常値は、7.35-7.45と言われている。)
- 9.3 心臓の手術を執り行う間、脳損傷を避け代謝を遅くするために、患者は低体温状態になるよう冷却される。冷却によって $p(\text{CO}_2)$ と炭酸濃度が変化しないと仮定し、20 °C(低体温状態)における血液のpHを計算せよ。

狭いpH領域でのpH調整の重要性は、例えばヘモグロビンを保持する赤血球介在性の(赤血球に仲介される)体内酸素輸送のような他の体内ネットワークへの影響によって説明できる。ヘモグロビンは組織中でより低いpH環境におかれることにより酸素親和性の低下を示す。

- 9.4 体が活動している間、嫌気代謝が起こることによって筋肉中のpHは低下する。一方、肺ではCO₂が血流から取り除かれる。これらの過程はヘモグロビン介在性酸素輸送にどのような影響をもたらすか?

計算のためのデータ:

溶存二酸化炭素の解離定数(血液中の反応 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ について、 $K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$):

$\text{p}K_a(37 \text{ }^\circ\text{C}) = 6.1$, $\text{p}K_a(25 \text{ }^\circ\text{C}) = 6.35$

気化エンタルピー: $\Delta H_{\text{vap}}(\text{CO}_2, \text{血液}) = 19.95 \text{ kJ mol}^{-1}$

37 °CでのCO₂の血液への溶解度(ヘンリーの法則に従う): $H^{\text{CP}}(\text{CO}_2, 37 \text{ }^\circ\text{C}, \text{血液}) = 2.3 \times 10^{-4} \text{ mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$

理想的な振舞いのみを考えよ。また、 $[\text{H}_2\text{CO}_3] = 0$ である(溶解したCO₂はH₂CO₃の状態が存在することなく化学平衡に組み込まれる。)