

運動と循環

運動と循環系の役割

- 心臓の機能・構造と血液の循環
- 血液成分
- 運動時における心臓の働き
- 毛細血管
- トレーニングによる変化

血液の循環とスポーツ心臓 (左心室肥大)

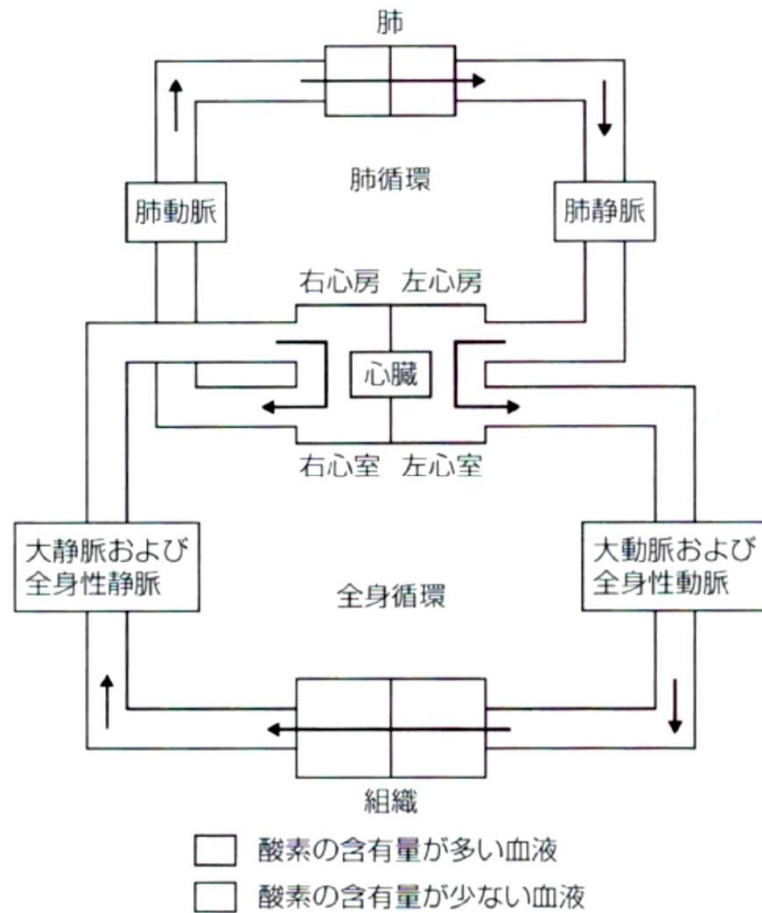
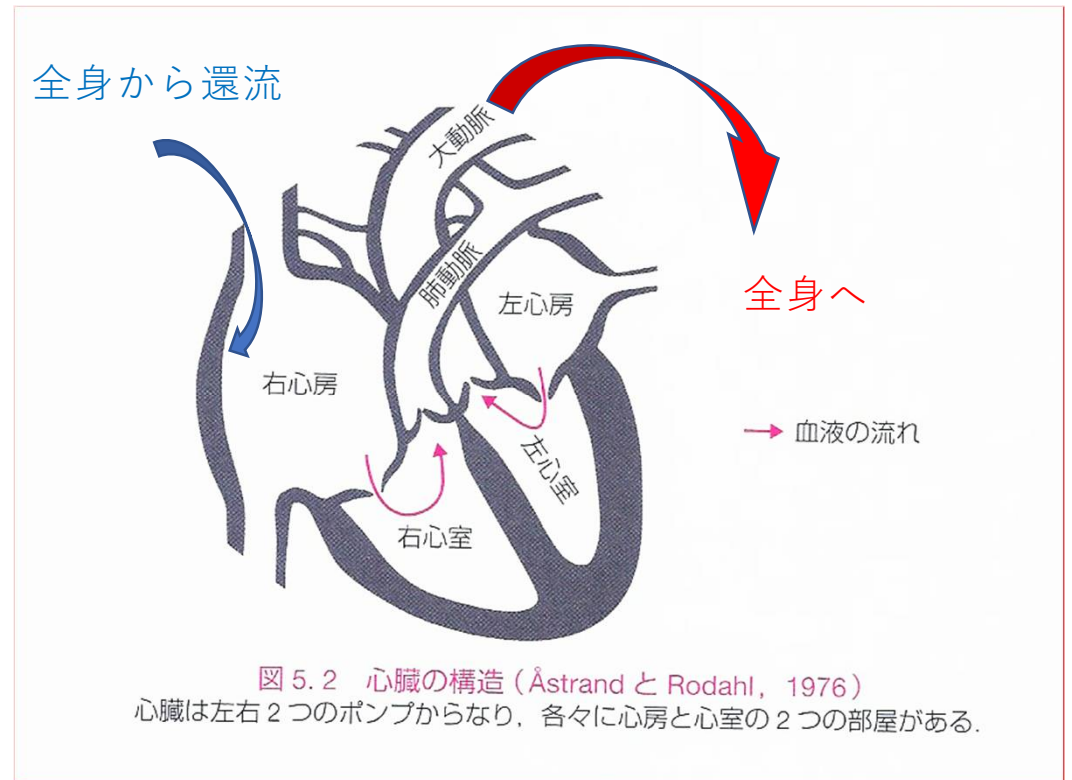


図 5.1 血液の循環 (Smith と Kampine, 1984)







血液の成分と血液検査値

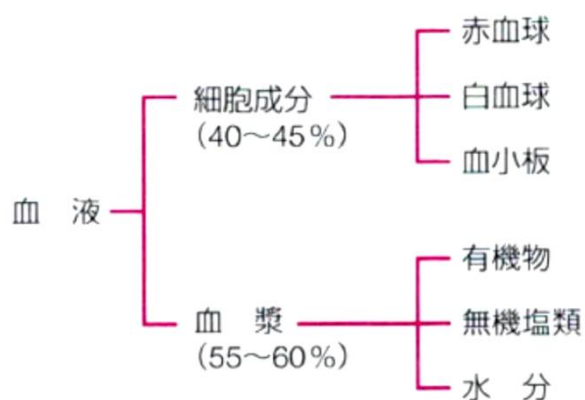


図 5.3 血液成分

酸素を運ぶヘモグロビン
体重の8%が血液
血液100mLは20mLの酸素を含む

中性脂肪(TG)	150mg/dl未満
HDLコレステロール	40mg/dl以上
LDLコレステロール	70~139mg/dl
総コレステロール	150~219mg/dl
血糖(BS)	70~109mg/dl(空腹時) (特定健診では100mg/dl未満)

増えすぎは、肥満や脂肪肝、動脈硬化の原因になる。

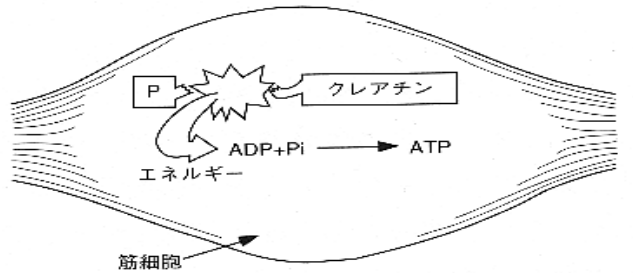
HDLコレステロールには血管壁に付着したコレステロールを運び去る役割があり、値が低いと動脈硬化や心臓病の危険がある。

血液中に増加したLDLコレステロールは血管壁にたまり、単独で動脈硬化を促進させる。

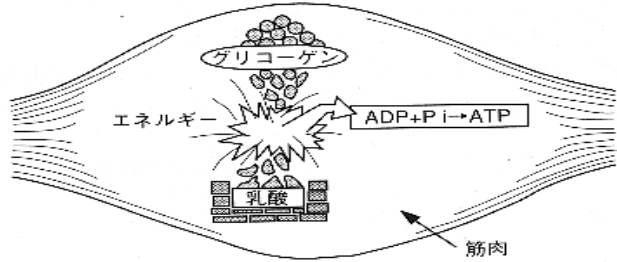
血液中のコレステロール量を調べる。値が高いと動脈硬化の原因になる。

血液中のブドウ糖のことで、増えすぎると糖尿病が疑われる。

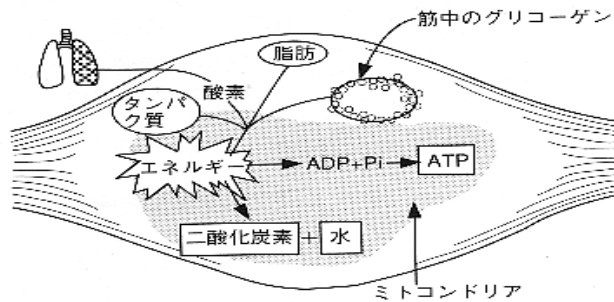
ヘモグロビンA1c(HbA1c)	4.3～5.8% (特定健診では5.2%未満)	過去1～2カ月の平均的な血糖値を調べる。	AST(GOT)	35U/l以下	肝臓や心臓などの細胞に含まれる酵素。肝臓や心臓に異常があると、血液中の量が増える。
赤血球数(RBC)	男：400～520×10 ⁴ 乗/ μ l 女：370～490×10 ⁴ 乗/ μ l	血液中の赤血球数を調べ、貧血等の疑いを検査する。	ALT(GPT)	35U/l以下	
白血球数(WBC)	40～90×10 ² 乗/ μ l	病原体などを撃退する白血球は、体内に炎症などがあると数が増える。	γ -GT(γ -GTP)	60U/l以下	肝臓の解毒作用に関係する酵素で、特にアルコール性肝障害で値が高くなる。
ヘマトクリット(Ht)	男：38～49% 女：34～44%	血液に含まれる血球の割合を調べ、貧血をチェックする。	総ビリルビン(T-Bil)	0～1.3mg/dl	ビリルビンは黄疸の原因となり、肝臓や胆道に障害があると高くなる。
血色素(ヘモグロビン、Hb)	男：13～17g/dl 女：12～16g/dl	赤血球中の酸素を運ぶたんぱく質。減少すると貧血が疑われる。	総たんぱく(TP)	6.5～8.5g/dl	血清中のたんぱく質の総量で、肝機能や腎機能の異常を調べる。
尿酸(UA)	2.0～6.9mg/dl	尿酸が過剰な状態を高尿酸血症といい、痛風を招く。	ALP(アルカリホスファターゼ)	65～340IU/l	肝臓や骨、腎臓などに多く含まれる酵素で、これらが障害を受けると値が高くなる。
クレアチニン(CRE)	男：0.5～1.1mg/dl 女：0.4～0.8mg/dl	老廃物の一種で、腎機能が低下すると血液中に増加する。	LDH(乳酸脱水素酵素)	53～225IU/l	糖代謝にかかわる酵素で、肝臓や心臓に障害があると値が高くなる。
尿素窒素(BUN)	0～22mg/dl	たんぱく質の分解による老廃物の一種で、腎臓での排せつ機能に異常が生じると値が高くなる。	アミラーゼ	0～137IU/l	唾液腺や膵臓から分泌される消化酵素で、唾液腺や膵臓に障害があると値が高くなる。



クレアチン・リン酸 (CP) の分解によってATPは再合成される



グリコーゲンの分解によってATPは再合成される



有酸素性反応によってATPは再合成される

図4-9 3つのエネルギー機構 (フォックス, 1979)

運動強度の増加 ⇒ 酸素需要量の増大

$$\text{心拍出量} = \text{一回拍出量} \times \text{毎分心拍数}$$

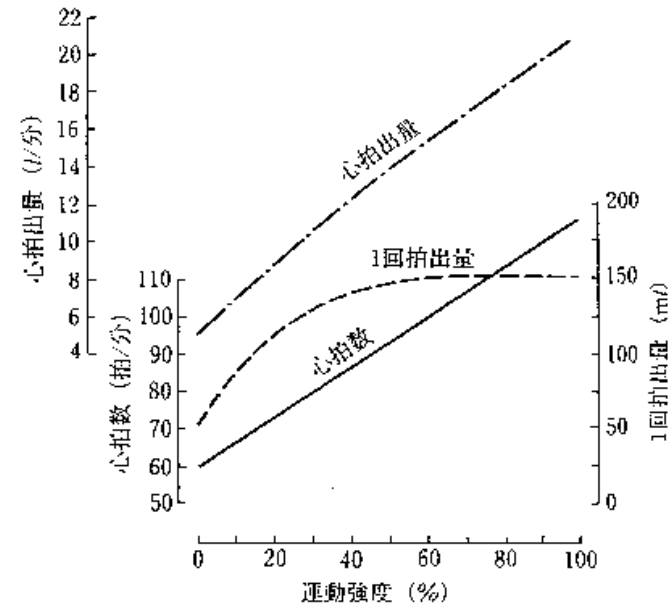


図9-1-21 運動強度と心拍数、1回拍出量および心拍出量の関係 (池上.1987)

アスリートの心拍出量



毛細血管の発達と筋持久力の向上

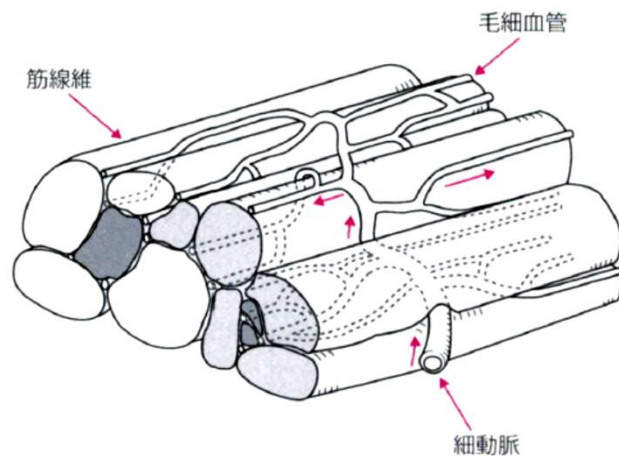


図 5.5 細動脈と毛細血管 (Saltin と Gollnick, 1983)

遅筋線維ほど毛細血管が発達

毛細血管での酸素消費 (0.2mL)

安静時：1mL当たり0.04mL

運動時：4倍相当の0.16mL

表 5.1 一般人と運動選手の1回拍出量の比較

	安静時 (mL)	最大運動時 (mL)
一般成人男性	70~80	110~120
持久的運動選手	110~120	150~200

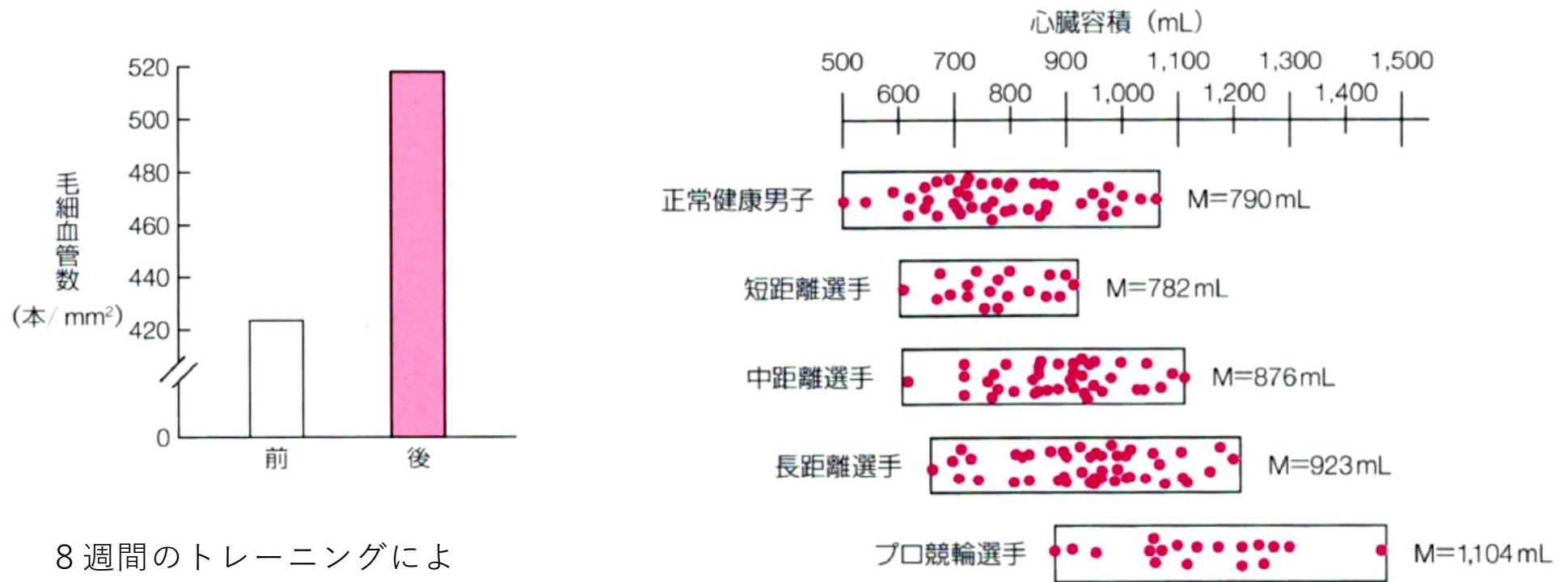
運動中の心拍数が毎分150拍とすると

一般成人 : $120\text{mL} \times 150\text{bpm} = \text{毎分}18\text{L}$

長距離選手 : $200\text{mL} \times 150\text{bpm} = \text{毎分}30\text{L}$

長距離選手は200bpm以上上昇するので・・・

トレーニングによる変化



8週間のトレーニングにより毛細血管数は22%増加

図 5.6 一般人と運動選手の心臓容積の比較 (松井ら, 1978)
長距離選手やプロ競輪選手の心臓の容積は、一般人より大きい。これはトレーニングによって心臓が肥大したためである。Mは平均値を示す。

心拍出量 = 1回拍出量 × 心拍数 × 動静脈間較差

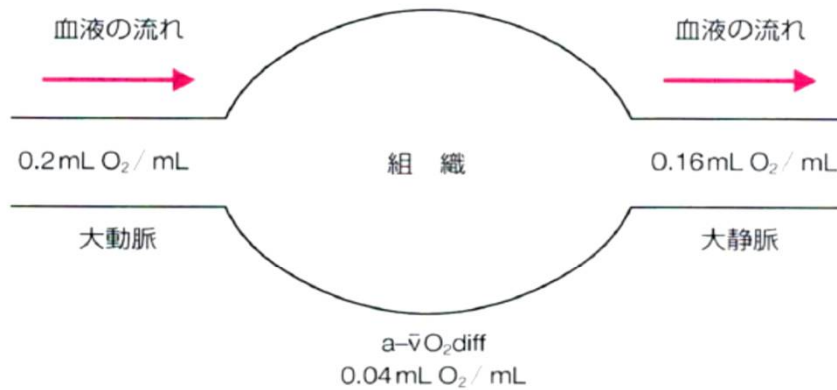


図 6.6 動静脈酸素較差
動脈と静脈に含まれる酸素の差を動静脈酸素較差 (a-v̄O₂diff) という。

表 6.2 最大酸素摂取量の絶対値と相対値

	Aさん	Bさん
体重 (kg)	55	80
<hr/>		
VO ₂ max		
絶対値 (L / min)	2.5	3.0
相対値 (mL / kg / min)	45.5	37.5

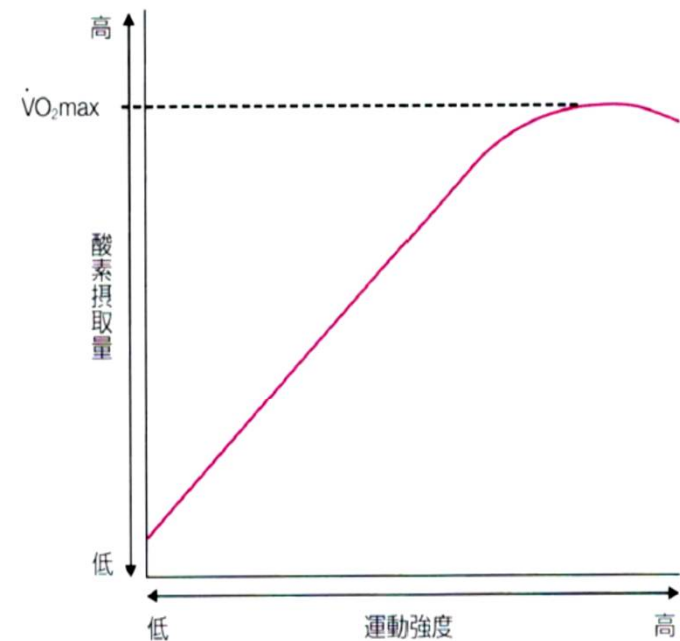


図 6.8 運動強度と酸素摂取量の関係

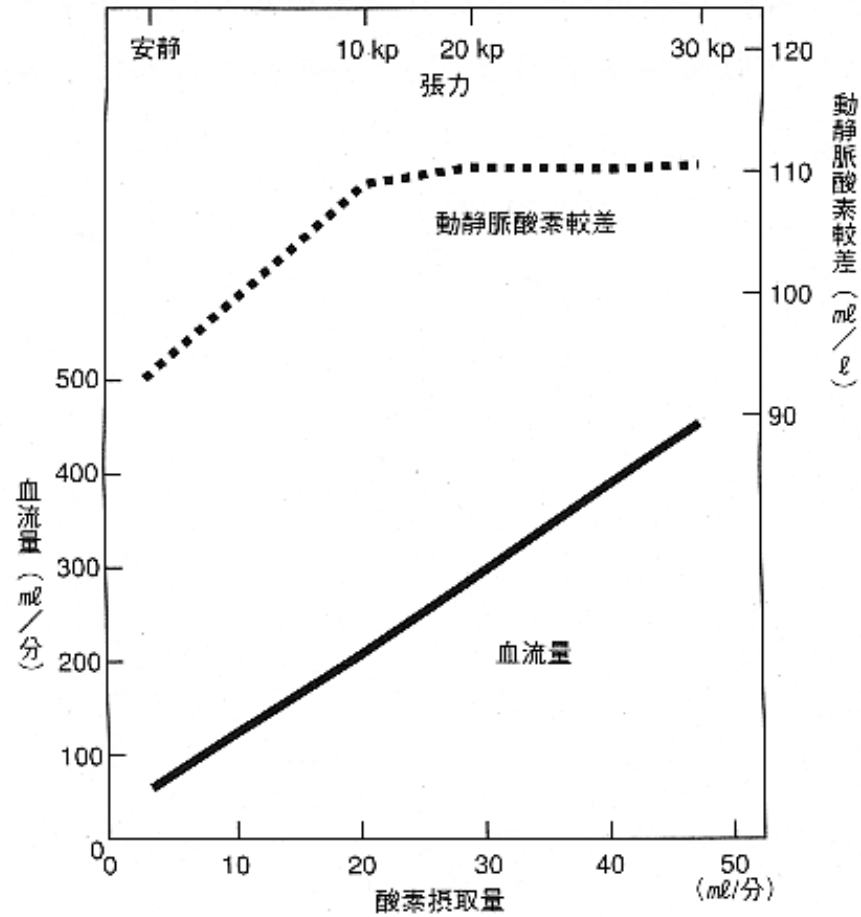


図6-11 前腕の酸素摂取量と血流量、動静脈酸素較差の関係 (ワーレン, 1966の資料から加賀谷(淳)作図)

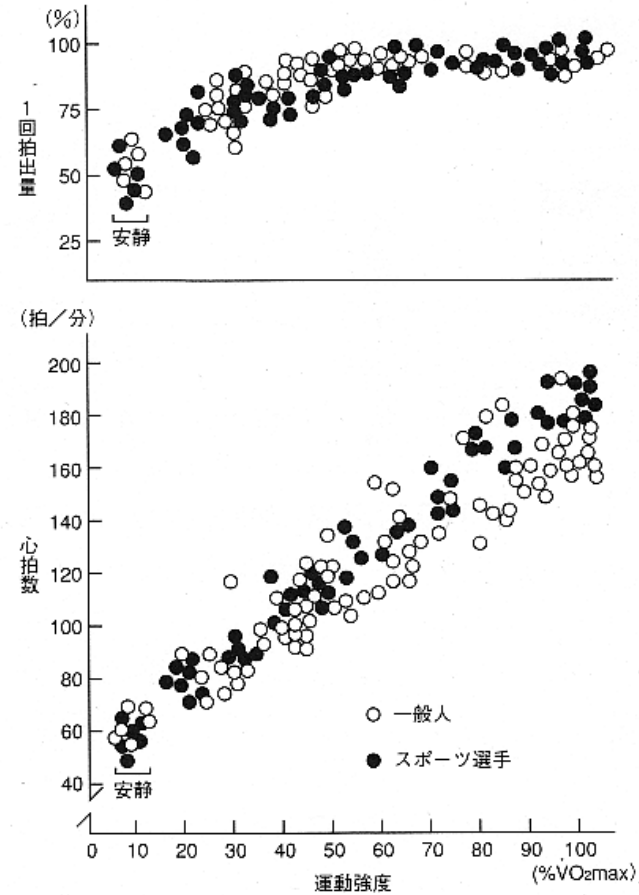


図6-12 最大酸素摂取量、心拍数および1回拍出量の関係 (猪飼と山地, 1971)

最大酸素摂取量 (ml/min/kg)

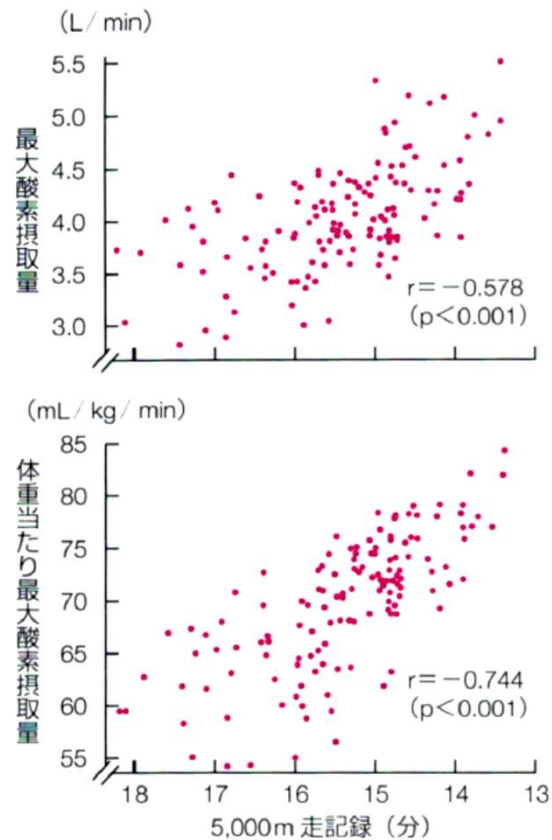


図 6.9 5,000m 走の記録と最大酸素摂取量の関係 (豊岡, 1977)
 高い最大酸素摂取量を持つ者ほど、優れた記録で 5,000m を走ることができる。

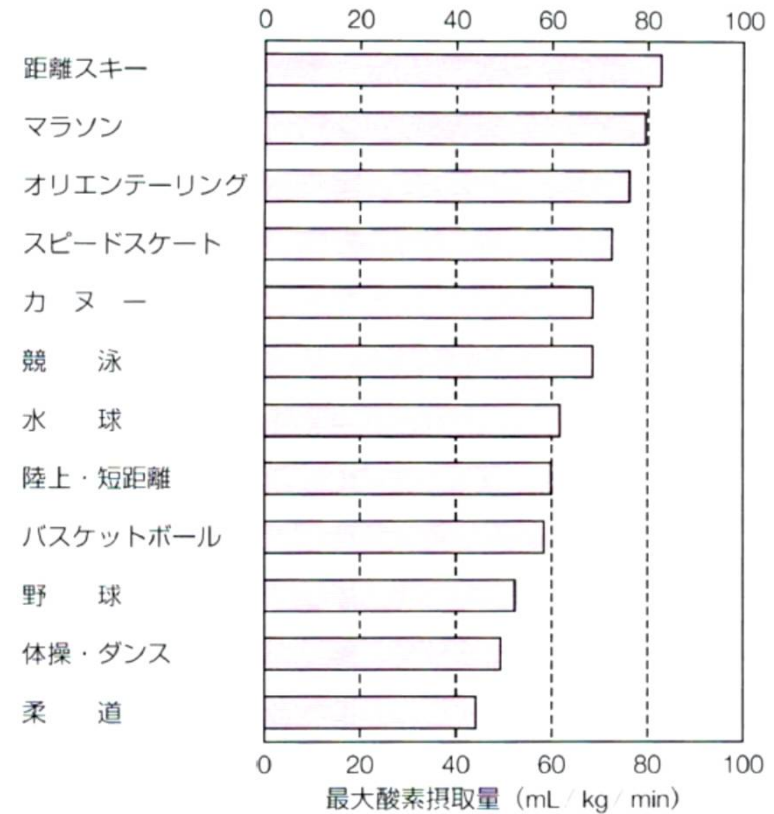


図 6.10 一流スポーツ選手の最大酸素摂取量 (山地, 2001 を改変)
 最大酸素摂取量は、持久能力を必要とされる種目の選手ほど高い。

筋線維組成と運動種目

筋線維組成と遺伝

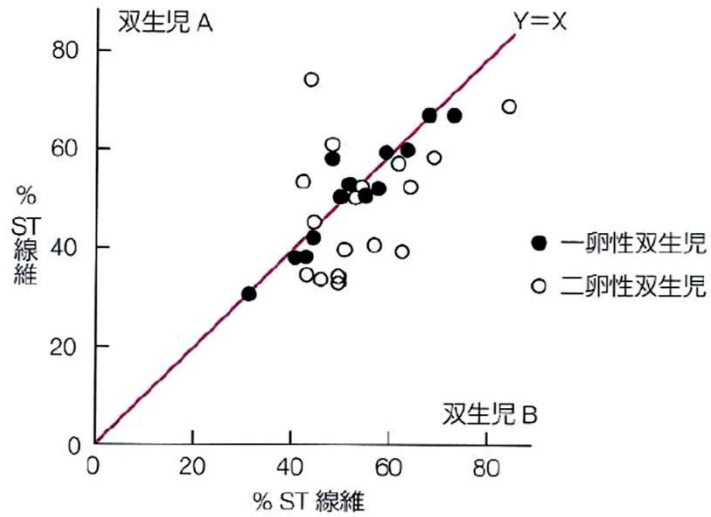


図 2.5 一卵性双生児と二卵性双生児のペア間の筋線維組成 (Komi と Karlsson, 1979)
二卵性双生児と比べ一卵性双生児の方が、ペア間の筋線維組成は似通っている。

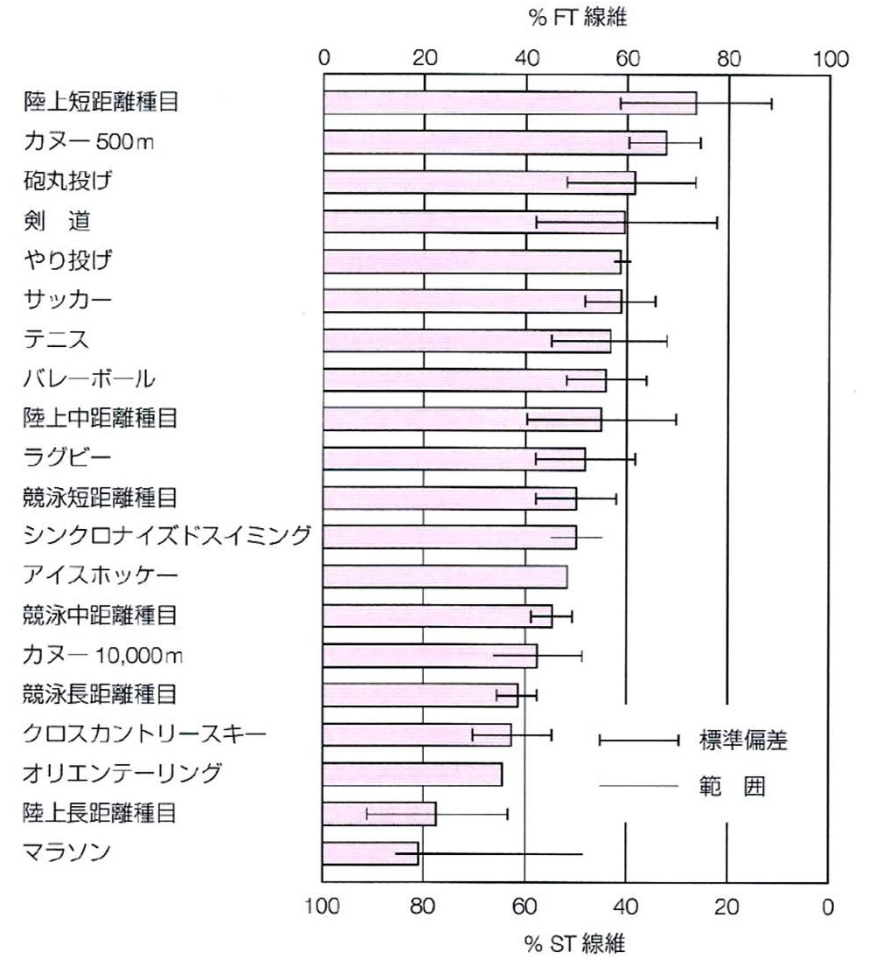


図 2.4 一流の競技スポーツ選手の筋線維組成
大部分の一流スポーツ選手の筋では、各々のスポーツ種目の競技特性に応じた筋線維組成が認められる。

酸素借と酸素負債量

最大酸素摂取量を上回る運動強度
⇒ 不足する酸素摂取量（負債）

最大酸素負債量

一般人： 4～5L

短距離選手： 15L

クレアチンリン酸系と解糖系
+
有酸素系

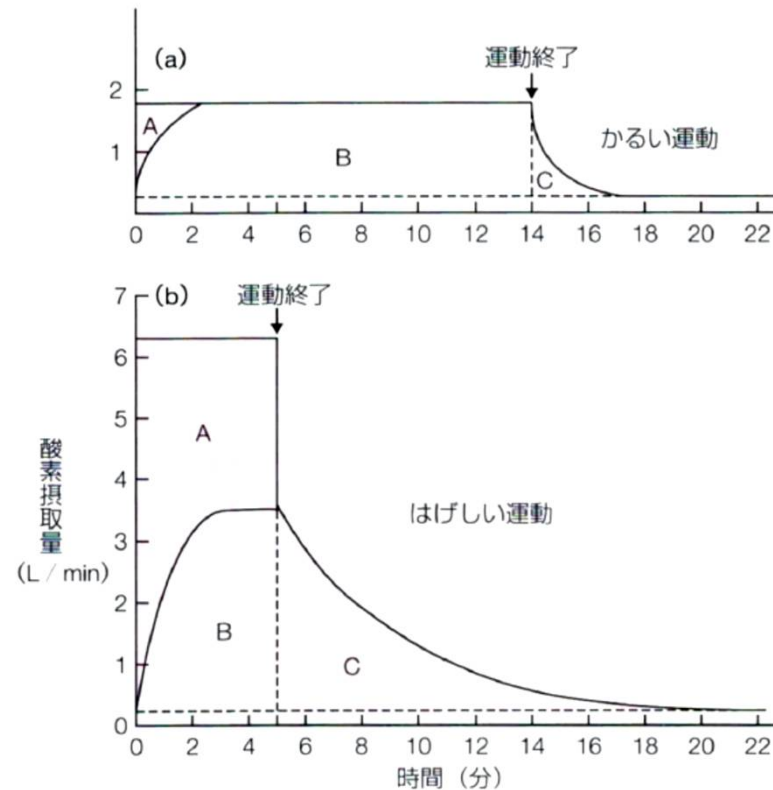


図 6.11 運動中の酸素摂取量 (進藤, 1973)

運動中摂取できなかった酸素は (A)、運動後に補われる (C)、運動後に過剰に摂取される酸素を酸素負債量という。

無酸素性作業閾値 (AT)

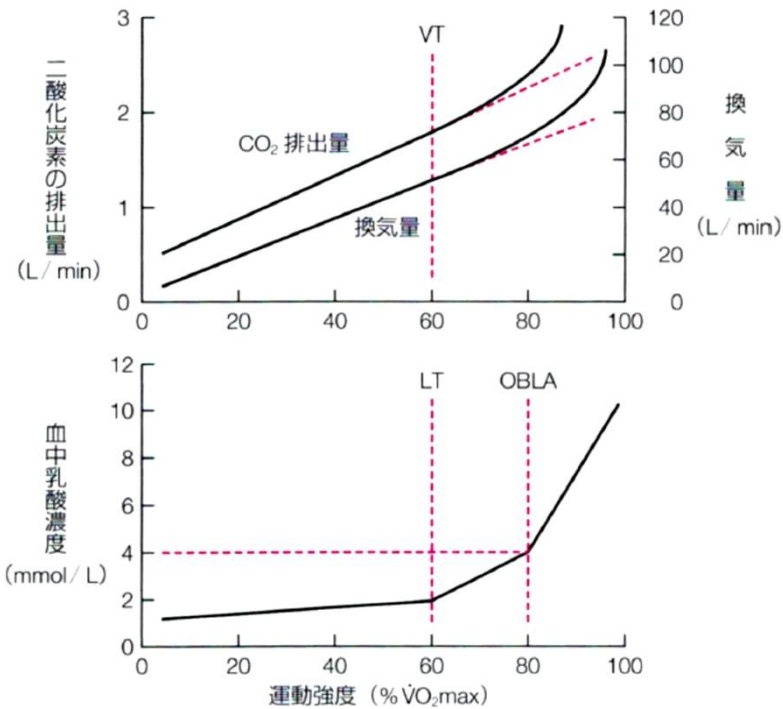


図 6.13 漸増運動負荷テストにおける呼気ガスおよび血中乳酸濃度の変化
各パラメータに、運動強度の増加に対し、その増加率が変化する変曲点が存在し、それが AT の判定に用いられる。

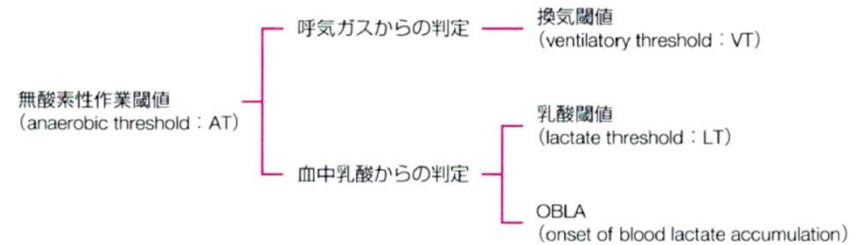
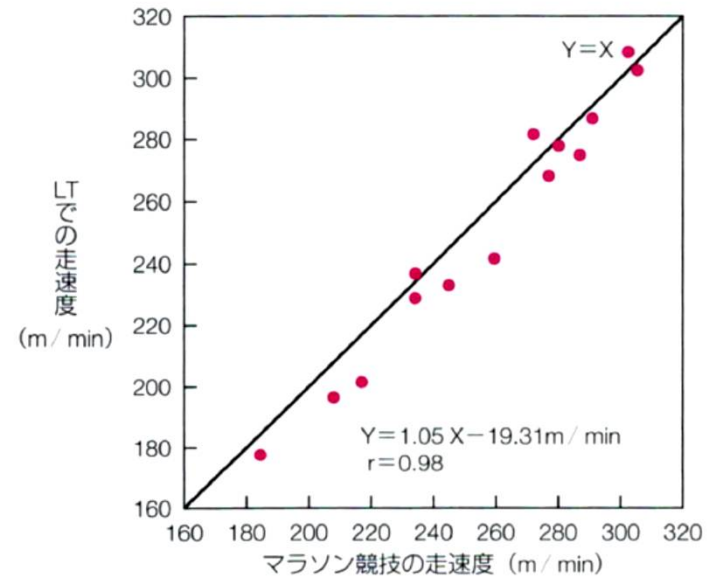


図 6.12 無酸素性作業閾値 (AT) の判定法
無酸素性作業閾値には、大きく分けて 2 種類の判定方法があり、判定法により AT の呼び名が異なる。



運動と呼吸

肺換気とガス交換 (地上進出に伴う進化?)

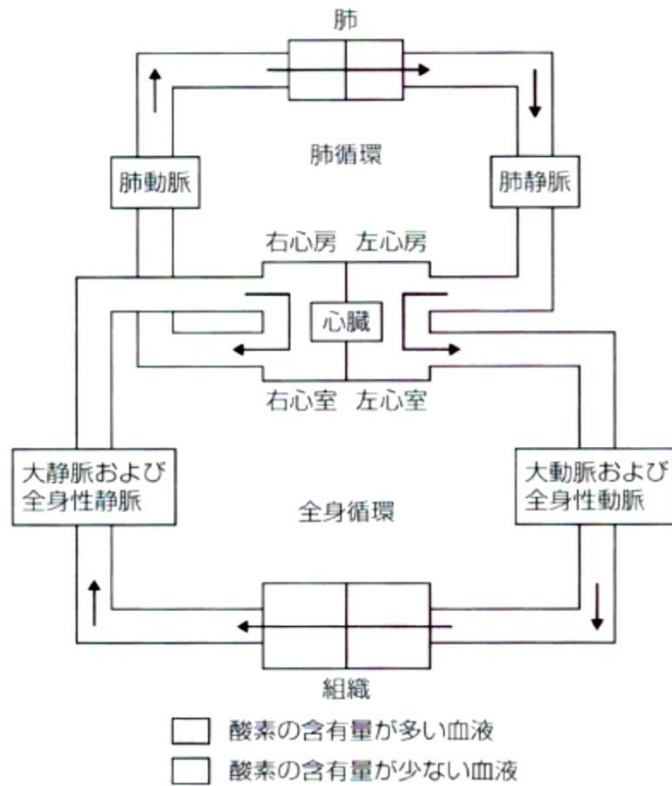


図 5.1 血液の循環 (Smith と Kampine, 1984)

酸素を多く含んだ血液は左心室から全身へ送り出され、右心房へ戻ってくる。

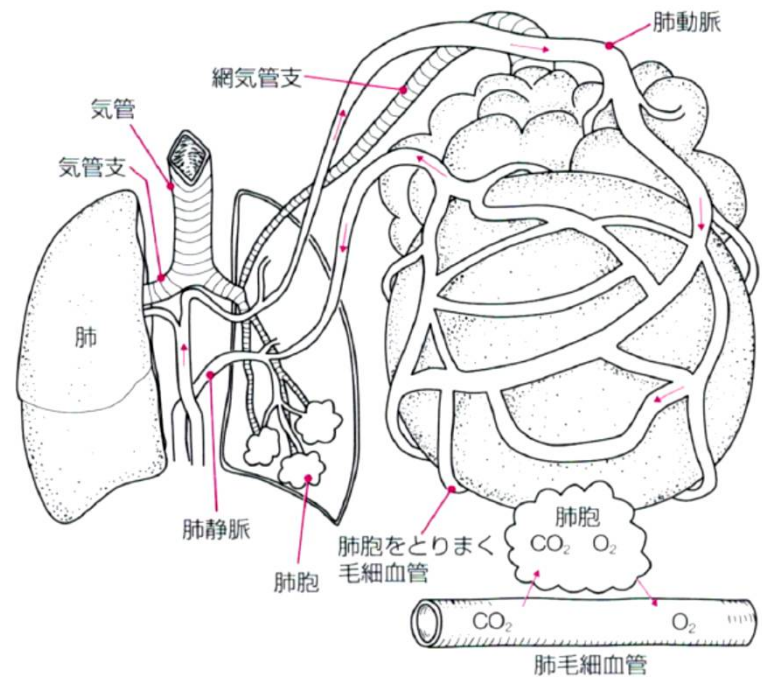


図 6.1 呼吸器の構造 (MacArdle ら, 1986)

酸素分圧と二酸化炭素分圧の傾斜度

分圧の差が肺胞や細胞でのガス交換を支える

1分間当たり250mlの酸素取り込み
// 200mlの二酸化炭素排出

体内には1000mlの貯蔵酸素

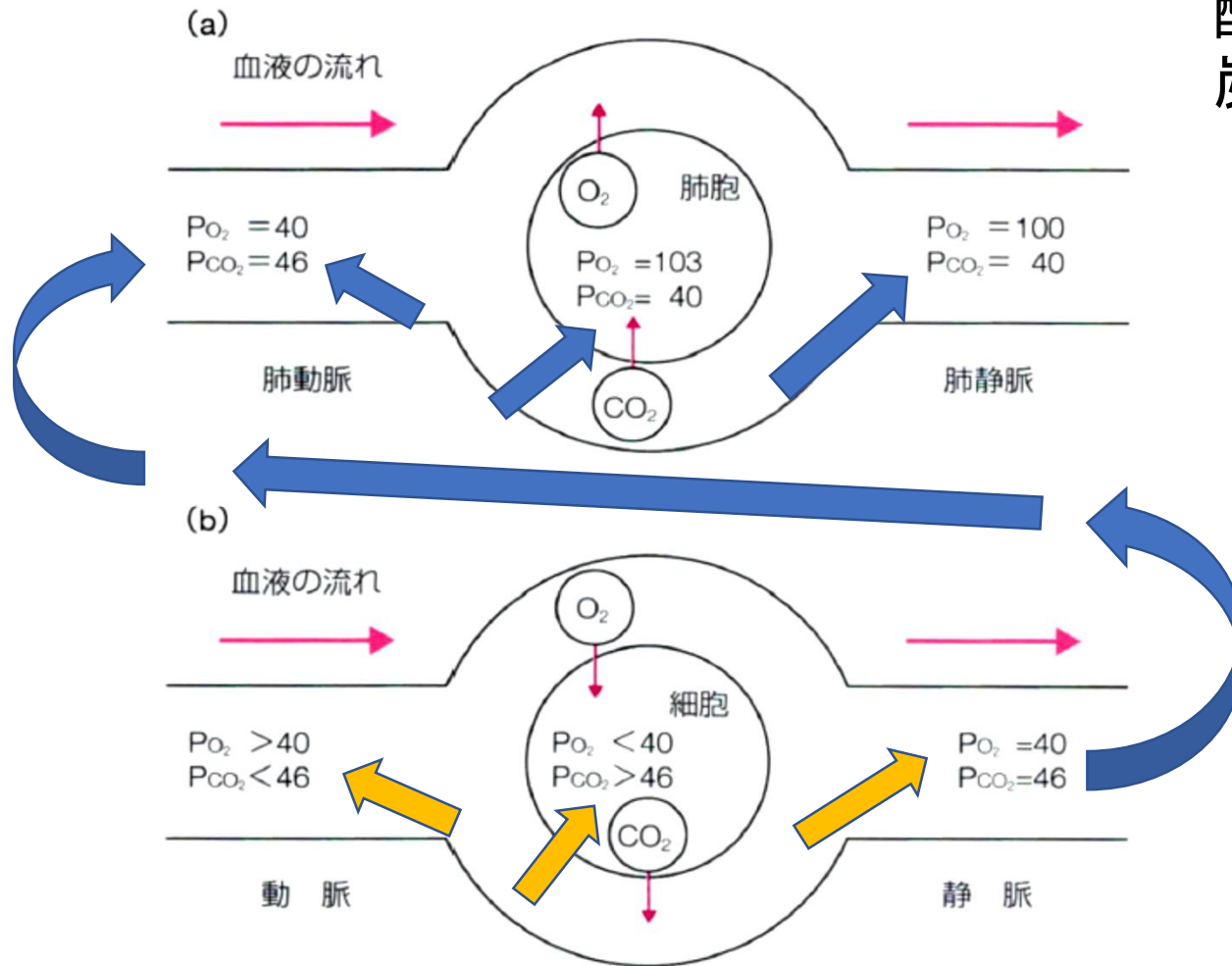


図 6.2 肺胞ガス—血液間 (a) および血液—組織間 (b) における酸素と二酸化炭素の受け渡し (Åstrand と Rodahl, 1986 に加筆)

酸素分圧と二酸化炭素分圧の関係

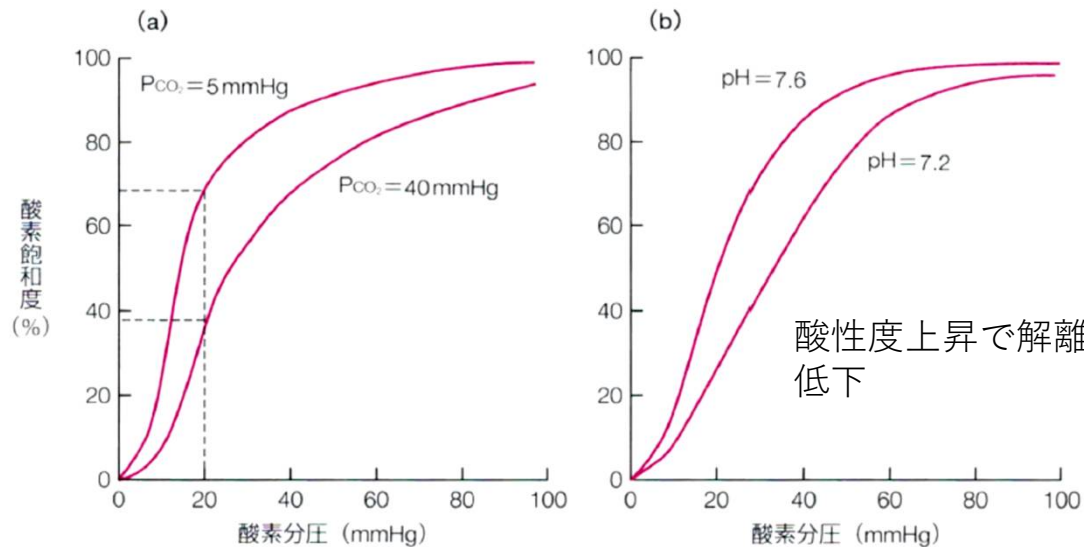


図 6.3 二酸化炭素分圧 (a) および pH (b) による酸素解離曲線の変化 (Åstrand と Rodahl, 1986)

酸素飽和度 100% = すべての Hb が O_2 と結合
 酸素解離曲線 $\Rightarrow P_{CO_2}$ 増加で低下する
 40mmHg では 40%
 5mmHg では 70%

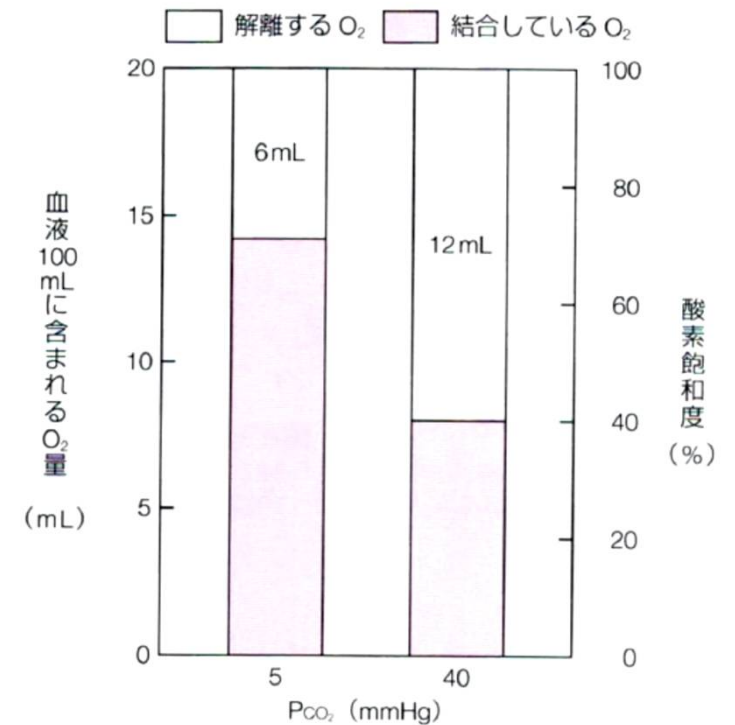
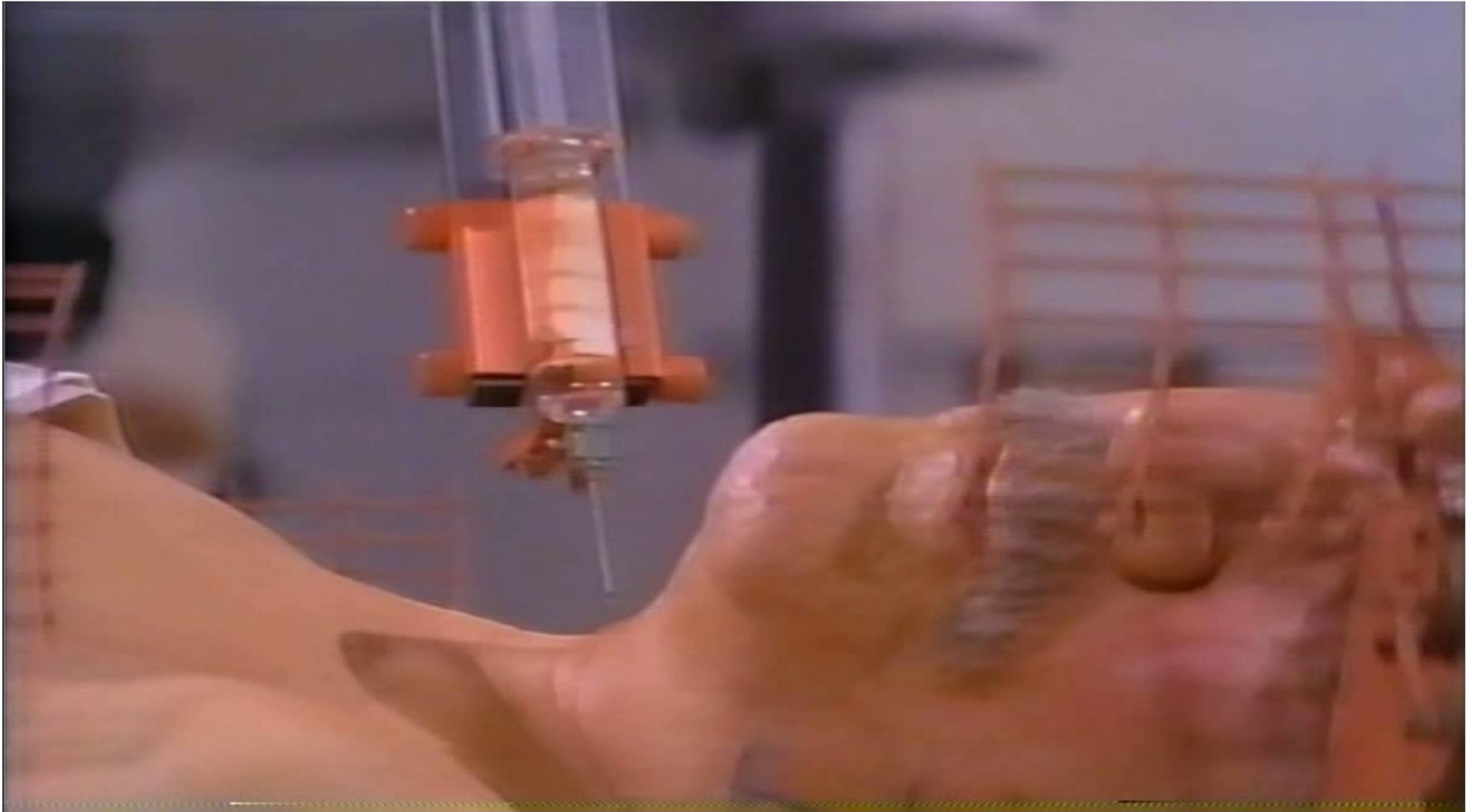


図 6.4 ヘモグロビンから解離する酸素の量





運動時の呼気ガス分析



呼吸商と酸素摂取・酸素負債

- エネルギー源としての糖質と脂質の比率（0.7～1.0）
強度の高い運動程糖質の利用が優先（呼吸商が1.0に近づく）
- 酸素摂取量
持久的運動を支えるもの
- 酸素負債
最大酸素摂取量を超える運動実施時を支えるもの
- 乳酸性作業閾値
有酸素系エネルギー供給機構を超えるレベル