室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

運動生理学からみた自己理解

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2007-05-25 キーワード (Ja): キーワード (En): exercise physiology, the self, circular blood system, muscles 作成者: 上村, 浩信 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/98

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

運動生理学からみた自己理解

その他（別言語等）のタイトル	The Self-Understanding in Exercise Physiology
著者	上村　浩信
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	52
ページ	53-60
発行年	2002-11-30
URL	http://hdl.handle.net/10258/98

室工大紀要第52号(2002)53～60

運動生理学からみた自己理解

上村　浩信*1

The Self- Understanding in Exercise Physiology

Hironobu KAMIMURA

(論文受理日　　平成14年8月30日)

Abstract
In Exercise Physiology, the self understanding is typically to understand functions of various organs by recognizing blood flows when a working body changes from resting to exercise. A well-trained person has the system that enables him/her to exercise efficiently.

Keywords: Exercise Physiology, The self, Circular blood system, Muscles

1　自己理解の捉えかた

運動生理学的に自己を理解するには、生体について、安静から運動に変化すること、トレーニングを行なうことにより、非鍛錬者（トレーニング前）から鍛錬者（トレーニング後）へ変化することを理解することです。そこで、筋活動が円滑に行なわれるために効果器である筋肉にエネルギー源を送り、かつ、筋肉でつくられる老廃物を送り戻す循環器系のシステムを認識し、その結果としておこる現象を脂肪細胞・骨格筋のシステムから認識することです。このようなことから、運動時生体を理解することが重要と考えられます。

*1 共通講座

2．安静時から運動時へ

ほとんどの人が、初めて、運動による胸の高鳴りを感じるのは、運動会で徒競走のスタートラインに着いた時でありましょう。これは、交感神経が亢進し（交感神経が強く働くこと）心拍数が多くなる現象です。このような、働きは、生体が運動への準備をすることと説明されます。

運動は、生体が静から動へ変わることです。すなわち、安静から運動へ、この時、生体は、活動する細胞にエネルギーを供給するために心臓を介して多くの血液を供給します。活動筋に血流量が増加するのは、酸素需要量を満たすために、酸素運搬の役割を担うために血液量を増加するためです。サイクリングやランニングでは、スピードが速くなればなるほど、心拍数が増加しますが、そ

れは、次のようなことで説明されます。心臓は、一回心拍出量（1回で心臓から出ていく血液量）と心拍数を増加させ血流量を増やしています。一般に、心臓が1分間に拍動する回数を心拍数と呼びます。この値の最高値が、最高心拍数であり。図1に示すように、この最高心拍数は、年齢を取るにつれて低くなります。220－年齢の計算式から求めることができます。20歳であれば、200拍となります。

また、最大心拍数は、よくトレーニングされたヒトは、この計算式よりも低いことがあります。これは、表1にみられるように、安静時の心拍数と関連性があります。一般に安静時の心拍数は、60拍から100拍であります。表1では、座位作業者が71で、トレーニング後では、59拍になり、ワールドクラスの競技選手の中には、40拍よりも少ない人がいます。このようになるのは、病気ではありません、副交感神経が優位に働きトレーニング性ワゴトニーと呼ばれる適応現象が起こるのです。これは、1分間あたりの心拍数が少なくても、一回拍出量が一般の人よりも多いからです。表1では、2倍違います（65から125）。したがって、生体にとって少ない心拍数でも、十分な血液量が供給されているのです。表1に表す心血管系・呼吸系の数値が、トレーニングすることに高くなります。ワールドクラスの競技者は、さらに高い値を示します。

代謝系の中でも最大酸素摂取量は、体重あたりの数値が、40.5から76.7と約2倍高くなっています。この値は、酸素を1分間に最大に運搬できる量：最大に酸素を生体に取り込める値を最大酸素摂取量と呼んでいます。最大酸素摂取量は、一般のヒトで2～3L（ﾘｯﾀｰ）ですが、競技選手では、5L以上になります。すなわち、この最大酸素摂取量が、持久的なスポーツでは重要な意味をもちます。そのためには、血液中のヘモグロビン含有量が大きいことが有利とされています。ヘモグロビンとは、血液の赤血球中にあり、酸素と結びつき肺から末梢の細胞に輸送する宅急便のトラックみたいなものです。持久性の高い種目では、ヘモグロビンの量が大きいことが大切です。したがって、この、ヘモグロビンを増やすことが、競技レベルで大切です。高地トレーニングは、この値を高めるために行ないます。しかし、トレーニング法を間違うと貧血になります。この時には、ヘモグロビン値が、12mg/dlより少なくなります。このような状態では、必要な酸素を運べず、運動能力が、低下します。つまり、運搬できる酸素の量を高めるのがヘモグロビンの量なのです。

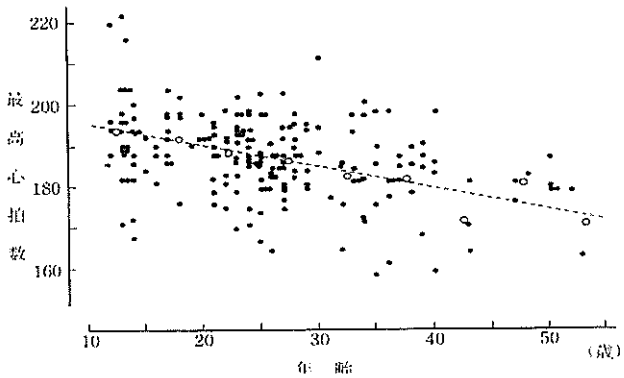


図1．最高心拍の加齢による変化

表1。1年半の持久的トレーニング後の生理的変化とワールドクラス競技選手の比較

表1．1年半の持久的トレーニング後の生理的変化と競技選手の比較

変化要素		座位作業者 トレーニング前	座位作業者 トレーニング後	ワールドクラスの競技選手
心血管系	安静心拍数 (beats/min)	71	59	36
	最大心拍数 (beats/min)	185	183	174
	安静1回心拍出量 (ml)	65	80	125
	最大1回心拍出量 (ml)	120	140	200
	安静心拍出量 (l/min)	4.6	4.7	4.5
	最大心拍出量 (l/min)	22.2	25.6	34.8
	心臓血液量 (ml)	750	820	1200
	全血液量 (l)	4.7	5.1	6
	安静収縮期血圧 (mmHg)	135	130	120
	最大収縮期血圧 (mmHg)	210	205	210
	安静拡張期血圧 (mmHg)	78	76	65
	最大拡張期血圧 (mmHg)	82	80	65
呼吸系	安静換気量 (l/min)	7	6	6
	最大換気量 (l/min)	110	135	195
	安静1回換気量 (l/min)	0.5	0.5	0.5
	最大1回換気量 (l/min)	2.75	3	3.5
	肺活量 (l)	5.8	6	6.2
	残気量 (l)	1.4	1.2	1.2
代謝系	安静動静脈交差 (ml/100ml)	6	6	6
	最大動静脈交差 (ml/100ml)	14.5	15	16
	安静酸素摂取量 (ml/kg·min⁻¹)	3.5	3.5	3.5
	最大酸素摂取量 (ml/kg·min⁻¹)	40.5	49.8	76.7
	安静乳酸値 (mmol/l)	1	1	1
	最大乳酸値 (mmol/l)	7.5	8.5	9
体組成	体重 (kg)	79	77	68
	脂肪体重 (kg)	12.6	9.6	5.1
	除脂肪体重 (kg)	66.4	67.4	62.9
	体脂肪率 (%)	16	12.5	7.5

3.運動期における血液分布変化

運動の強度が高くなると、心拍数が増加します。このことは、体内にある血液量の部位的な変化が発生することでもあります。この変動は、表2及び図2に見られるように、運動強度が増加するに

従い、安静の5.8Lから最大運動時の25Lまで増加します。運動する部位は多くの場合、筋肉なので筋肉の血流量は、約20倍に増加しますが、それに対して、減少する部位が5分の1となる消化器関係です。運動中、特に、持久走時のわき腹の痛みは、主に、腸管の虚血による痛みです。虚血とは、正座した時の脚の痺れがこれにあたります（脚の動脈が圧迫され血行が悪くなる）。この、虚血状態が激しい場合は、表3に示すように、血便が生じることが報告されています。フルマラソンやトライアスロンは、長時間に渡る過酷な競技です。このような、消化管出血の症例報告は多くあります。この原因は、腸管血流量減少に伴う虚血・低酸素の影響、もしくは、物理的刺激による粘膜の損傷が考えられます。特に、2時間以上の運動では、機能低下・組織学的変化が発生すると報告されます。

また、不思議なことに変動しない部位があります。絶対値で血流量の変動しない部位が脳であり、相対値で変動しない部位は、心臓です。その脳について　450ml以下だと意識を消失、350ml以下が1分以上続くと虚血性の脳障害が発生します。したがって、脳の血液量は、750mlと運動に関係なく一定となります。また、脳のエネルギー源は、糖（グルコース）だけです。

また、心臓は、心臓自体を供給する血管網があり、王様の冠みたいに心臓を取り巻いていることから、冠状動脈と呼ばれています。運動強度が高くなると心臓自体の収縮に必要なエネルギーを供給するためで、相対的に一定であるのはこのためです。

皮膚は、表2みられるように、安静時に低く、中等度の運動でその値が大きくなり、運動強度が高くなるとに低下します。

皮膚の血流量は、汗の働きと関連性があります。図3に示すように　環境温度が高いとき、安静時が一番多く汗を掻きやすいのです。運動強度が高くなる毎に血流量は、低下します。

汗腺の働きは、汗を分泌することで、体熱を下げることです。図4に示すように汗せんは、皮膚の下にあり、大汗腺（アポクリン腺）と小汗腺（エクリン腺）に大別されます。大汗腺は、腋、乳頭部、下腹部の毛のあるところにあり、ミルク状の汗を分泌します体臭の原因となります。小汗腺は、体全体にあり水分の多い汗を分泌します。汗腺は、実際に活動している汗腺のことを能動汗せんとよんでいます。

表2．安静時と運動時の血液配分

安静時と運動時の血流配分（Andersen, K. L.; In Falls, H. B. ed., Exercise physiology, p. 102, Academic press, 1968）

循環	安静（mℓ/分：%）	運動（mℓ/分：%）		
		軽い	中等度	最大
肝・胃腸系	1,400：24	1,100：12	600：3	300：1
腎臓	1,100：19	900：10	600：3	250：1
脳	750：13	750：8	750：4	750：3
心臓	250：4	350：4	750：4	1,000：4
骨格筋	1,200：21	4,500：47	12,500：71	22,000：88
皮膚	500：9	1,500：15	1,900：12	600：2
他の器官	600：10	400：4	400：3	100：1
	5,800：100	9,500：100	17,500：100	25,000：100

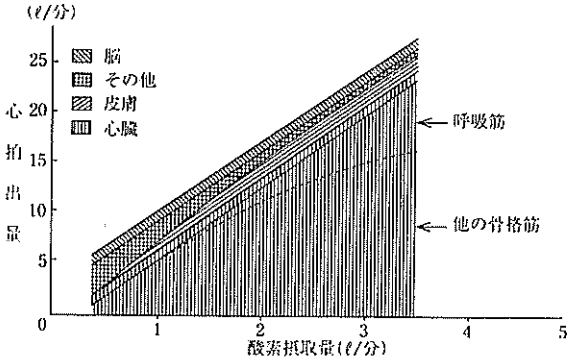


図2．運動強度に応じた総心拍出量の部位的な変動

表3マラソンにおける消化管出血について

表2　マラソンと消化管出血についての調査結果（Moses, 1993）

報告	方法	レース	結果
Porter	レース後の血便分析	マラソン(n=39)	8%
Keefeら	レース後の直腸出血調査	マラソン(n=707)	1.2-1.8%
Halvorsenら	レース前後の血便分析	マラソン(n=63)	13%
McCabeら	レース前後の血便分析	マラソン(n=125)	21%
McMahonら	レース前後の血便分析	マラソン(n=32)	22%
Baskaら	レース前後の血便分析	100kmウルトラマラソン(n=34)	85%

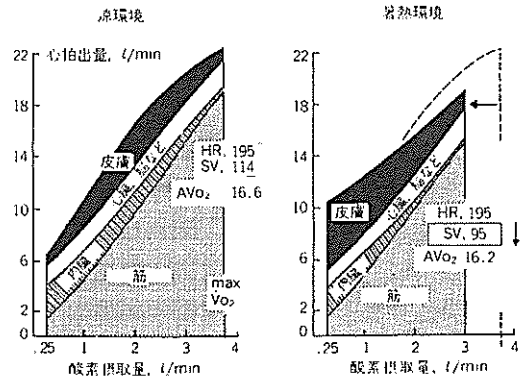


図3．涼しい環境（25.6℃）と暑熱環境(43.3℃)で立位運動をしているときの心拍出量

子供のころに、この能動汗腺のはたらきが完成します。温かい気候に住んでいる人は、寒いところに住んで居るヒトは、この能動汗腺が、発達しています。この表４に見られるように、北海道に住むアイヌの人は、この能動汗腺が少ないことが判ります。アイヌのヒトは、太平洋沿岸に住み、平均気温は、１０度以下です。一年を通して夏日（25度以上の日）になる日が少なく、発汗しなくても良い環境にあります。室蘭も同じような環境のため、発汗しなくても良いのですが、運動の試合等で暖かい環境に行くと、暑さのせいで汗をうまく掻くことができず実力が十分に発揮されないことが多いのです。

以上のことから、血液の配分は、安静時においては、大部分が内臓諸器官にありますが、運動を行なうとその配分が減少し、骨格筋に配分量が多くなります。このような、変動をブラッドシフトと呼ばれています。

４．脂肪細胞

ブラッドシフトは、みかたを変えれば、体重を減少させること（体脂肪）に関係があります。なぜなら、心臓から末梢に流れる距離が長いほど血液は、冷却されます。熱エネルギーを使うことです。図５に示すように、これは、ベルクマンとアレンの法則に説明されるます。生物は、極（北極・南極）から赤道部に行けばいくほど、暖かくなればなるほど、体が細く手足が長くなることが明らかにされています。また、顔などが彫り深くなり体表面積が、大きくなることも体が冷却させる要因の一部であることが報告されています。

この法則は、夜眠れない人にとって役立つことになります。睡眠をとる際、中枢部（体内の中央部）の体温が低下し、末梢部（体の先端部）が暖かくなります。特に、このような、現象は、入眠前の赤ちゃんに見られます。今、流行の足湯があります。これは、末梢部を暖かくし、末梢部の毛細血管を拡げ中枢部の体温を低下させることで眠ることができます。または、眠れない時は、少し温めのお湯に入浴する。これは、交感神経を低下させ副交感神経を高揚させ中枢の体温を低下させることです。

熱を産生することは、体脂肪を減少させることです。この、熱産性機構は、筋肉による熱産生、脂肪細胞による熱産生があげられます。

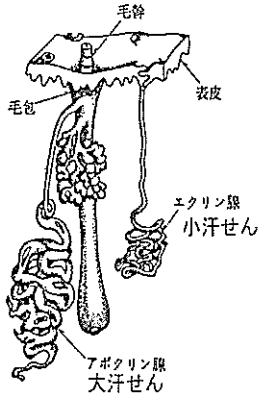


図４ヒトの汗せん

表４．ヒトの能動汗せんの数

人　種	能動汗腺数(万)
アイヌ	144
ロシア人	189
日本人	228
成長後タイ国移住	229
成長後フィリピン移住	217
タイ国出生	274
フィリピン出生	278
タイ国人	242
フィリピン人	280

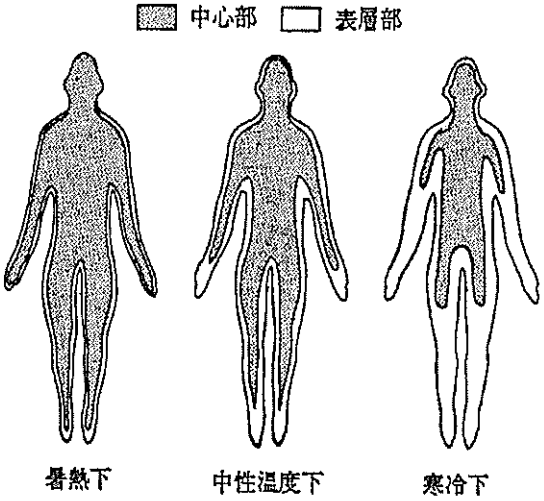
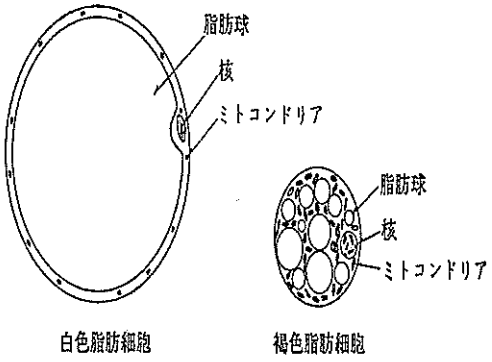


図５．環境温度と中心部と表層部の分布



2種類の脂肪細胞
白色脂肪細胞は脂肪を貯蔵する細胞で，褐色脂肪細胞は脂肪を使って熱をつくる組胞である．

図６．白色脂肪細胞と褐色脂肪細胞の形態

図６に説明されるように、脂肪細胞は、２種類あり、熱生産を行なうこの細胞は、細胞内にミトコンドリアを有する褐色細胞と熱産生を行なわない白色細胞があります。褐色細胞は、幼児期に、多く、成人になるにしたがい減少します。幼児は、筋肉活動を長時間することができないために、褐色細胞による熱産生で体温を維持します。図７に見られるように、この褐色細胞が、動脈の分岐するところ首、脇、股におおくあります。このことは、体の末梢部に温かい血液を送るのに好都合だからです。体温を上げるために存在します。また、この褐色細胞は、食事を摂った後に働くことが、わかり痩せた人に多いことも報告されています。痩せた人に多いことも報告されています。これを、俗に、痩せの大食いと言います。もうひとつの細胞である白色細胞は、エネルギー貯蓄のために非常に重要な存在です。１ｇの脂肪は9calの熱量をもちます。炭水化物は４cal、たんぱく質は、４calです。炭水化物は、グルコースとして蓄えられていますが、この量は、せいぜい2000calです。1500（375ｇ）が筋肉・400（100ｇ）肝臓・80（20ｇ）が血液に蓄えられます。脂肪は、普通この約50倍以上（90000～110000）の熱量をもっています。

脂肪細胞が分解する過程で興味あることは、図８の脂肪の代謝経路にあるように、脂肪酸の分解は、グルコースの分解が同時におこらないといけないことです。このことは、アセチルCoAがクレブス回路に入り炭水化物の分解によって生成するオキザロ酢酸と結合することにより、クエン酸を生成する過程で分解処理される。簡単に説明すると、クレブス回路の中での脂肪酸分解は、ベータ酸化経路で作られたアセチルCoAと結合するだけのオキザロ酢酸が十分な量だけしか反応が進まないことになります。脂肪は、炭水化物の助けがあって燃焼できるのです。

たんぱく質は、体内にあるものよりも筋肉にあるものが、容易に利用できます。図９は、アミノ酸のアラニンは、運動強度の違いにより利用される度合いが変わります。運動強度が強くなればなるほどその利用度が高まるのです。

筋肉中のアミノ酸は、アミノ酸転移され、アラニンに合成されます。筋肉から合成されたアラニンは肝臓に運ばれ、そこで、脱アミノ化され、残りの炭素骨格は、グルコースに変換され、次に、筋肉中に放出され、活動筋に運ばれる。これが、図10に示すグルコースアラニン回路です。４時間

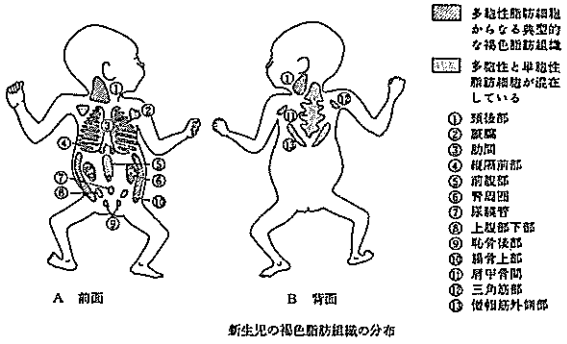


図７．新生児の褐色細胞の分布図

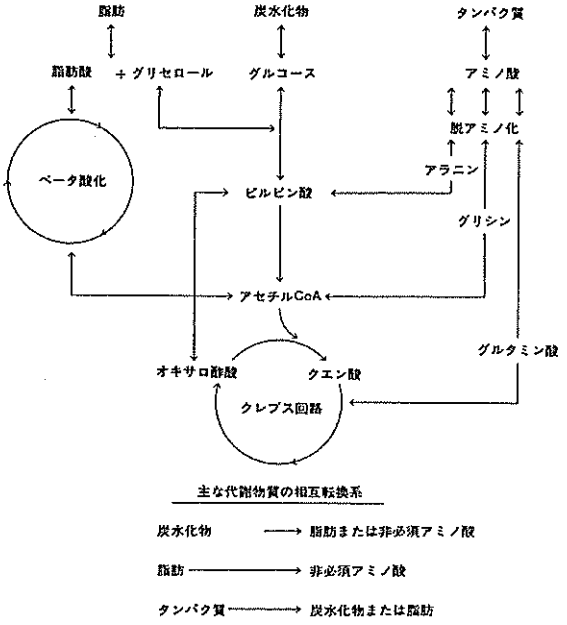


図８脂肪の代謝経路

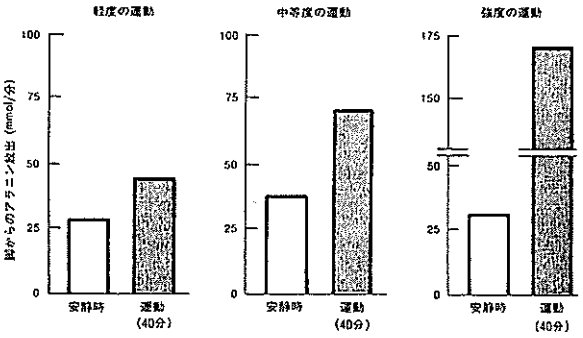


図９．運動強度別にみた、脚からのアラニン放出に及ぼす４０分間の影響

の連続的な運動後、アラニン由来のグルコースの放出は、肝臓から放出される総グルコースの４５％を占めることが報告されています。

一般に、このような、反応は、海で遭難し飢餓状態になり脚の筋肉が減少することが報告されていますが、スポーツ中にも行なわれることが明らかになっています。

脂肪細胞が多いことは、体温を冷却させにくいことになります。チャンネルスイマーと呼ばれる人がいます。一般に、水泳選手は、プールを泳ぎますが、海峡を泳ぐ水泳選手です。海水温が低いために、体温を下げないために必要であります。また、脂肪は、浮力になるために、水に浮きやすいことも大切なことです。オリンピックや世界選手権で水泳選手に黒人が少ないのは、この脂肪が少ないためであろうと考えられています

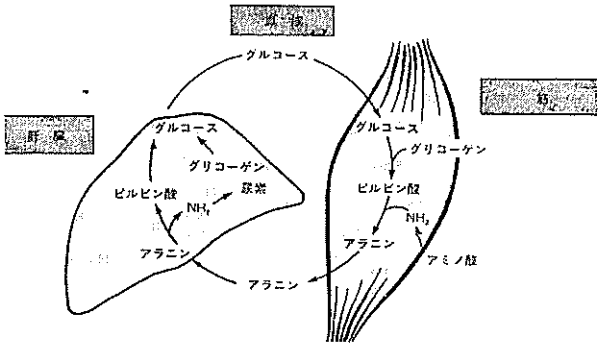


図 10. 運動時でのアラニングルコースサイクル

５．骨格筋

筋肉は、図 11 に見られるように、２つのタイプに分かれています。遅い収縮の筋肉（遅筋：Slow Twitch）と速い収縮の筋肉(速筋：Fast　Twitch)です。　速筋には、２種類あり、FTa(IIa , FR, FOG)と FTb(IIb, FF, FG)があります。この速筋おける大きな違いは、酸化能力にすぐれ、疲労に比較的なりにくいのが FTb です。

幼児期の筋肉の発達は、生まれたて初期、遅筋から速筋に変化します。これは、神経支配を受けてないためです。また、筋力トレーニングを行なうと力の強い・張力発揮する速筋が発達することも報告されています。

簡単に、魚を使って説明したのが、図１２です。遅筋は、赤い色をした筋肉です。魚のマグロが赤肉ですね。速筋は、白色をした筋肉です。魚のひらめが白い色の肉です。マグロは回遊魚であり、いつも泳いでいます。一方、ひらめは、海底にじっとしておりあまり動かない魚です。赤い色は、筋のミオグロビンと呼ばれる色素が多く含まれています。この組織は、血液のヘモグロビンと同じ働きがあります。したがって、ミオグロビンが多いことは、持久的な能力が高いことになります。ヒトの筋肉は速筋と遅筋が混ざりあったものです。また、働く部位によって筋肉のタイプも変化します。魚も、同様な変化があります。常に動いている筋は、遅筋です。流速が遅いときでも動いています。中央部がそれに相当します。流れが速くな

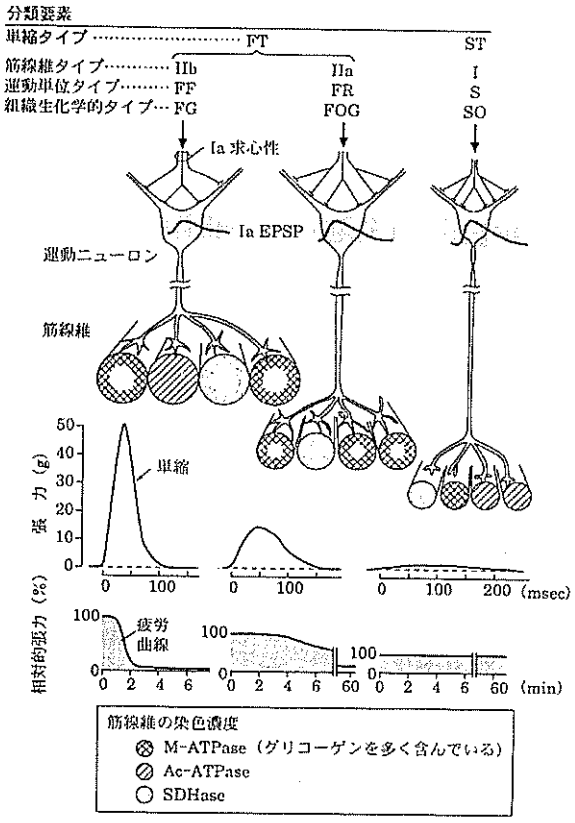


図 11. 運動単位の組織学的・力学的特性

るときに使われるのが速筋です。背びれ胸びれの部位がそうです。魚が逃げる際、よく動かす部位です。ヒトにもひらめ筋があります。脚のふくらはぎにある筋肉です。立っている時に使われます。これは、おもに遅筋です。その上にあるヒフク筋は、跳躍するための筋肉でおもに速筋です。

運動を行なうと筋肉中に代謝産物として乳酸が発生します。この乳酸は、比較的軽い運動において、十分な酸素が細胞に供給されれば、乳酸の産生は、おこらないのですが、運動強度が高くなると、酸素の供給が十分でないときに乳酸が産成されます。乳酸が多くなると筋収縮が行なわれなくなります。乳酸は、代謝の老廃物ではなく、有用な化学エネルギーです。筋肉で生成された乳酸を除去するために図13に示されるコリサイクルのはたらきにより、利用可能なグルコースが再合成されます。心臓のエネルギーは、図14に示すように、安静時は、主にグルコースと脂肪酸です。軽い運動時では、脂肪酸の基質の利用度が鍛錬者では、50%非鍛錬者は30%であります。運動強度が高くなると、乳酸が多く利用されます。トレーニングしている鍛錬者と非鍛錬者では違いがあることがわかります。このように、心臓は、筋肉で有害な乳酸をエネルギーとして使用するのです。

まとめ

運動生理学からみた自己理解は、安静時から運動時に体が変化することについて、心臓を中心とした血液の流れを知ることで、様々な臓器の機能を理解することができます。特に心臓は、血液の運搬を担うばかりでなく、安静では、脂肪酸を中心にエネルギーとして利用し、運動が激しくなると筋肉の老廃物である乳酸をエネルギーとしている。特に、よくトレーニングされたヒトは、運動を最大限に効率よくできるシステムが生体に確立されています。これらのことより、生体には、無駄のないシステムが構築されていることを認識させられます。

参考・引用文献

参考文献

室増男　；運動科学、理工学社　1999

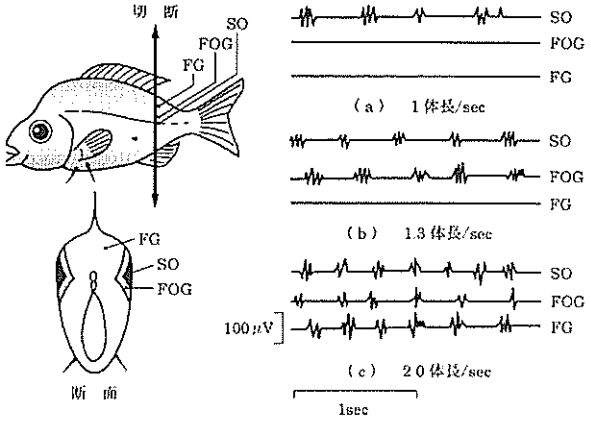


図 12. 流速が変化したことによる魚の筋線維の活動パターン

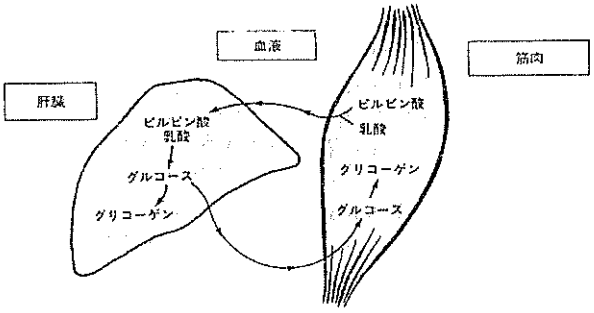


図 13. 筋肉で産生された乳酸を除去するためのコリサイクルにより、グルコースが再合成される。

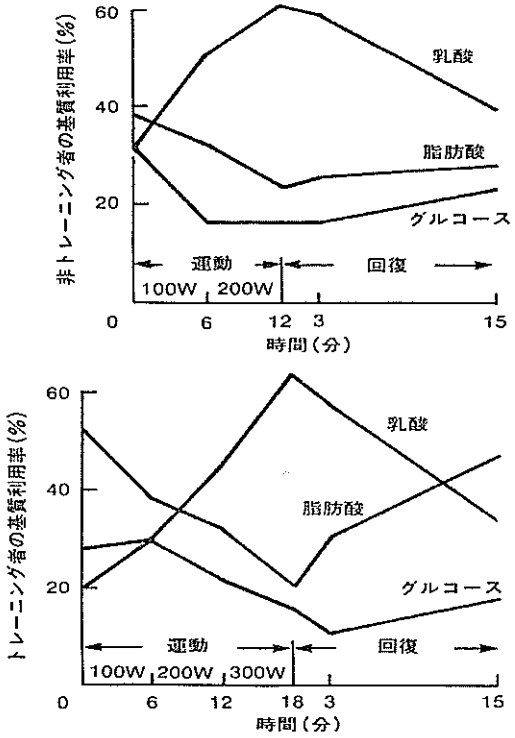


図 14 心筋のエネルギー：トレーニング者と非トレーニング者の比較

福永哲夫；ヒトの絶対筋力、杏林書院、1978
玉木伸和　他；体と運動科学、学術図書出版社、1995
McArdle,W.D. 運動生理学―エネルギー・栄養・ヒューマンパフォーマンス― 凸版印刷、 1992

引用文献

表１　Wilmore, J. H. and Costill, D. L. (1994) Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, p.230.
表２　Anderson, K.L.; in Falls, H.B. ed.,Exercise physiology, p102, Academic press, 1968
表 3Moses,F.M　.:Am.J.Gastroenterol.88:1157-9,1993
図１　猪飼道夫　他；体育学研究 14: 175-183,1970
図２　Brough,L.and Radford,E.P.;Science and medicine of. Exercise, Harper, 1960:Brouha, L.;Physiolgy in industry, 2nd ed.,p44,1967
図３　Rowell, L.B. : Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress Physiol. Rev. 54: 75-159, 1974.
図４　Montagna, W.M. (1962) The Structure and Function of Skin, Academic Press, London, New York, Toronto, Sydney. San Francisco.
図５　Edholm, O. G. (1978) Man-Hot and Cold-, Edward Arnold, London.
図６　Akihiro　kurosima 環境生理学 理工学社 p65 1981
図７　Akihiro　kurosima 環境生理学 理工学社 p81 1981
図８　McArdle,W.D. 運動生理学―エネルギー・栄養・フューマンパフォーマンス― 凸版印刷 p102 1992
図９　Felig. P., and Wahren. J.: Amino acid metabolism in exer-ing man J Clm Invest 50 2703, 1971
図 10　Felig. P., and Wahren. J.: Amino acid metabolism in exering man J Clm Invest 50 2703, 1971
図 11 Burke, R. B. (1975) Motor unit preperties and slective involvement in movement, Wilmore. J. H. and Keogh. J. F. (ed.) Exercise and sport sciences reviews, Vol. 3, pp.31-81.
図１２　Johnston. I. A., Davison. W. and Goldspink, G. (1977) Energy metabolism of carp swimming muscles, J. Comp. Physiol.
図１３　McArdle,W.D. 運動生理学―エネルギー・栄養・ヒューマンパフォーマンス― 凸版印刷　p95 1992
図１４　Keul, J., Doll, E., and Keppler, D.: Medicine and Sport, Vol. 7, Energy Metabolism of Human Muscle. Basel, Karger, 1972