

スポーツ栄養学(3)

運動で消費するエネルギーとその構成

Vs

食事から摂取するエネルギーとその構成

第3章 エネルギー代謝

- エネルギーの出納と体重増減

摂取エネルギー Vs 消費エネルギー(基礎代謝+活動代謝)

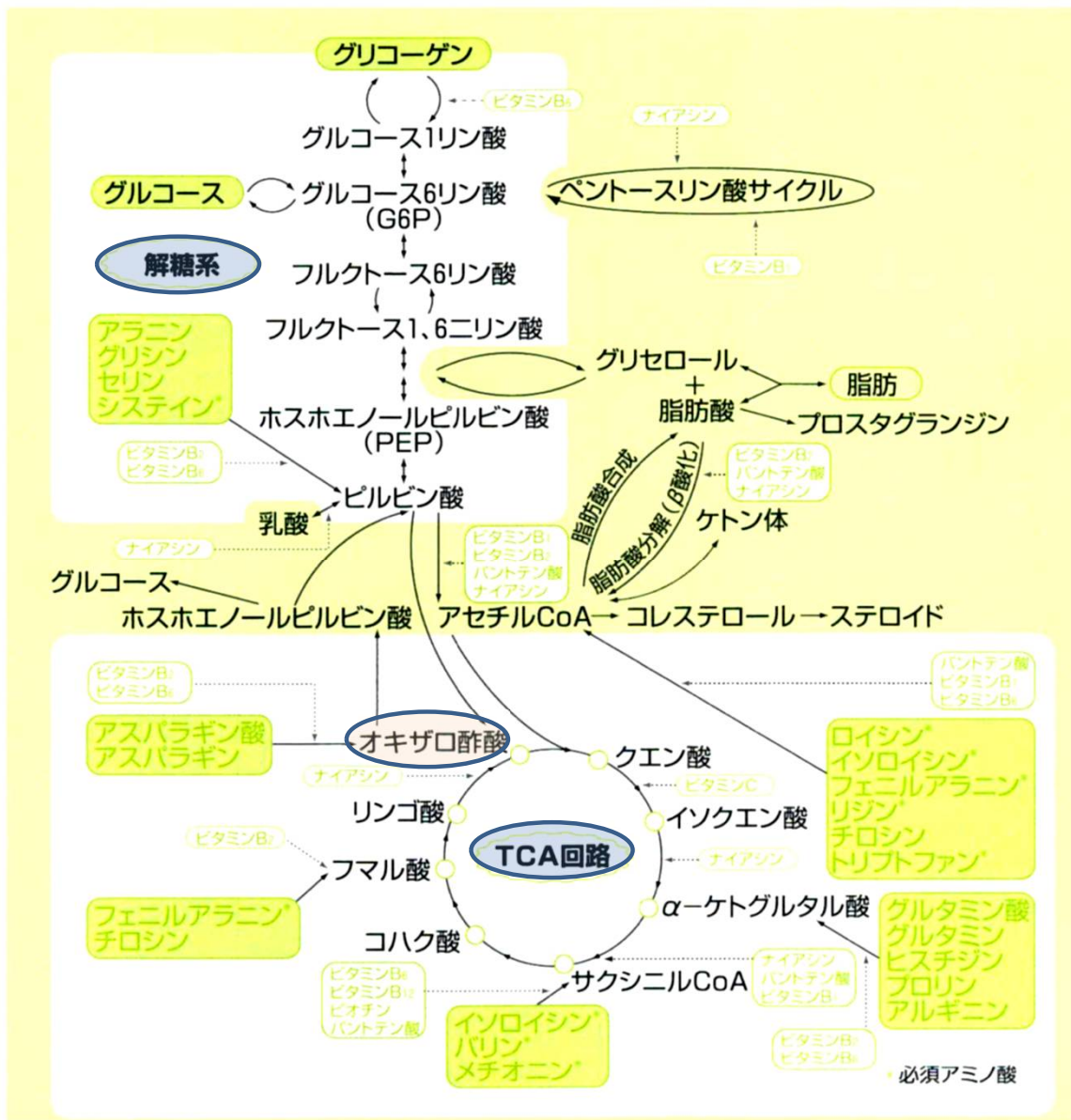
過剰エネルギーは体脂肪で蓄積(人類の生存戦略)

⇒ 7000Kcal ≒ 体脂肪1Kg (純粋な脂肪は1g9Kcal)

- スポーツマンの体重増減

筋肉量の増加による体重増 Vs 体脂肪の増加

筋肉量の減少による体重減 Vs 体脂肪の減少



エネルギー代謝過程の全構造

- ① 解糖系でのピルビン酸までの回路
- ② TCA回路での水素を電子伝達系へ
- ③ **すべて**は電子伝達系でのATP産生
 ナイアシン: NAD
 ビタミン_B₂: FDHA

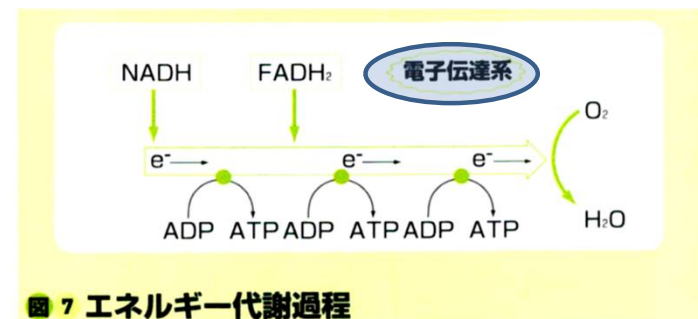


図 7 エネルギー代謝過程

エネルギー代謝過程

糖質：解糖系（ピルビン酸まで）⇒ アセチルCoA ⇒ TCA回路
：水素は電子伝達系へ

脂質：脂肪酸からアセチルCoA ⇒ TCA回路でクエン酸
：解糖系でのピルビン酸からオキサロ酢酸産生が必要

タンパク質：アミノ酸の炭素骨格の利用
：飢餓状態、糖質減少時や運動時に筋や赤血球分解

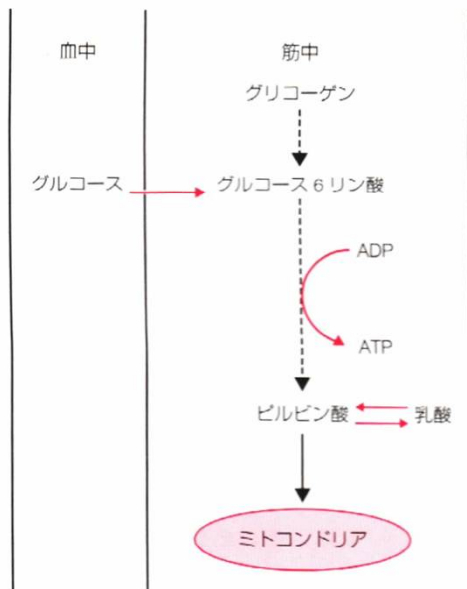


図 1.11 解糖系経路の概略

糖質（グリコーゲンあるいはグルコース）がピルビン酸にまで代謝される過程で、ATP が再合成される。

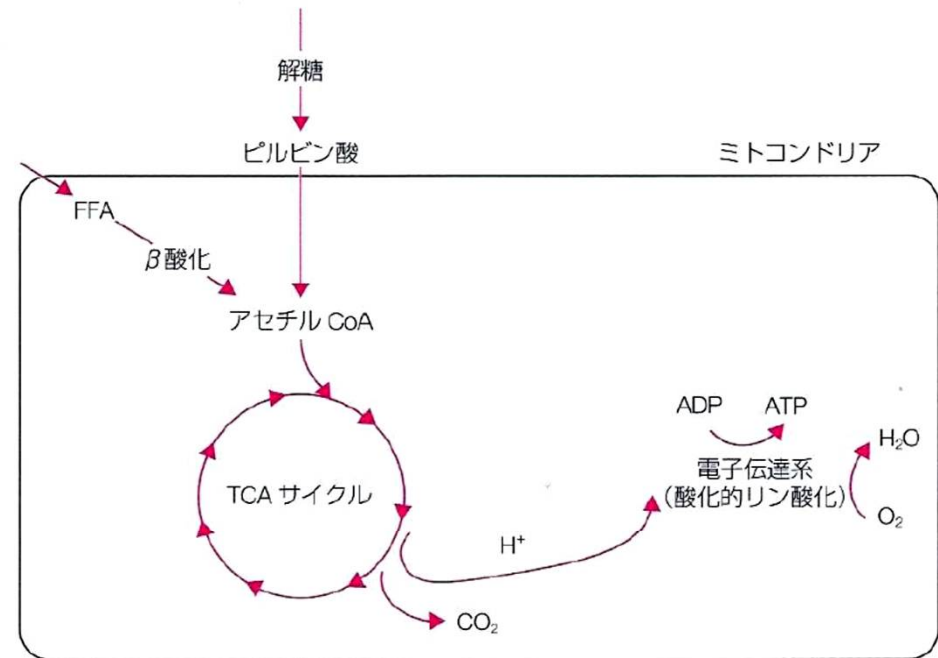


図 1.13 有酸素系経路の概略

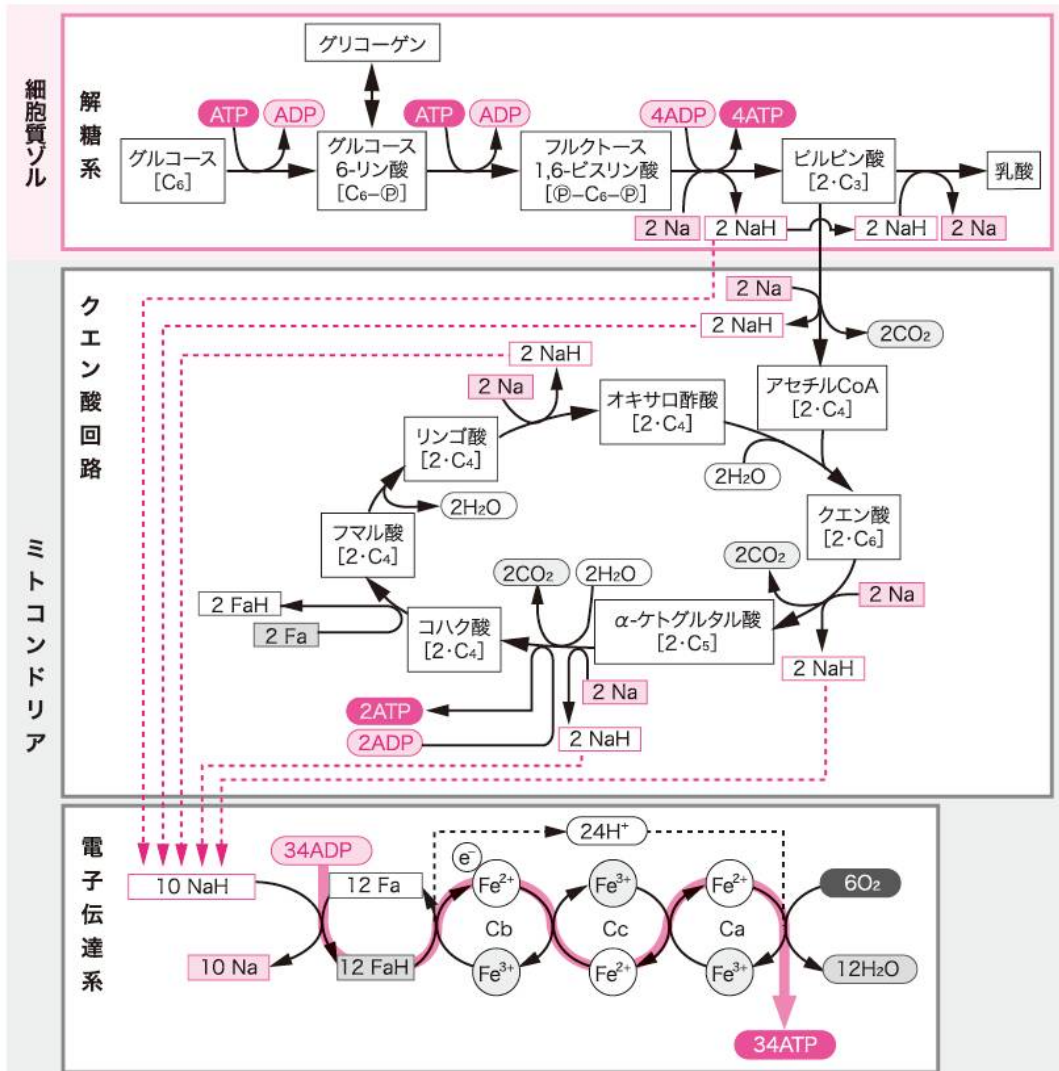
電子伝達系は、TCA サイクルで発生した水素から電子を受け取って、ATP を再合成する。この反応は、ミトコンドリアの中で酸素を用いて進行する。

乳酸脱水素酵素 (LDH) の働き

嫌氣的解糖系ではピルビン酸から乳酸を生成し肝臓のLDHでピルビン酸へ
好氣的解糖系ではグリコーゲンからピルビン酸へ

NAD (ナイアシン) とFDHA (ビタミンB₂)

「水素」がATP産生に関わる(電子伝達系)



NaH : NADH₂ FaH : FADH₂ C : シトクロム
 Na : NAD Fa : FAD

エネルギー代謝過程の全構造

- ① 解糖系でのピルビン酸までの回路
- ② TCA(クエン酸)回路での水素を電子伝達系へ
- ③ 電子伝達系でのATP産生

解糖系で生じた乳酸はミトコンドリアで再処理されてピルビン酸へ(いわゆる“乳酸処理能力”)

NAD: ナイアシン
 FDA: ビタミンB₂

ATPの産生

第1工場(解糖系)

グルコースからピルビン酸へ
⇒ 2つのATPと2水素
(筋肉では水素はFDHAへ)
無酸素状態では“乳酸”へ

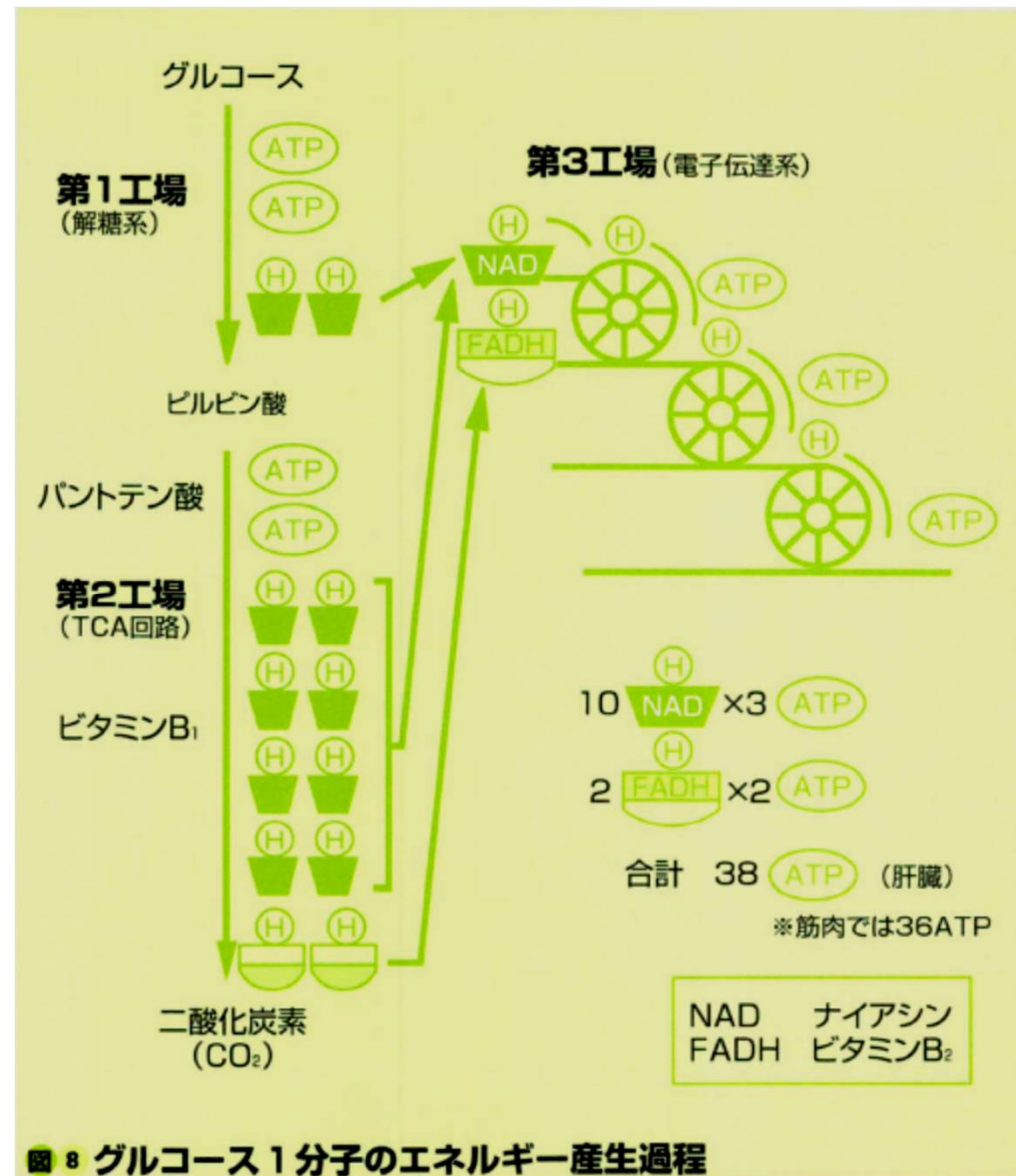
第2工場(TCA回路)

ピルビン酸から二酸化炭素
⇒ 2つのATPと10水素

補酵素: **パントテン酸**
ビタミンB₁(水溶性ビタミン)

第3工場(電子伝達系)

水素を運ぶNAD(**ナイアシン**)
FADH(**ビタミンB₂**)
最後は“代謝水(H₂O)”へ



ATP産生にかかわるビタミン類のおさらい

多く含む食品の摂取が重要？

表 9 水溶性ビタミンの種類と、それを多く含む食品

| ビタミン名 | 多く含む食品 | 欠乏症 |
|---------------------|-------------------------------------|----------------|
| ビタミンB ₁ | 胚芽(米、小麦)、ごま、落花生、のり、酵母、レバーなどの臓器、豚肉など | 脚気、ウェルニッケ脳症 |
| ビタミンB ₂ | レバー、乳、卵、肉、魚、胚芽、酵母、アーモンド、のり、乾椎茸、果物など | 口角炎、口唇炎、舌炎、角膜炎 |
| ナイアシン | かつお節、魚、乾椎茸、レバー、肉、酵母など | ペラグラ |
| ビタミンB ₆ | ひらめ、いわしなどの魚、レバー、肉、クルミなど | 皮膚炎 |
| ビタミンB ₁₂ | にしん、さばなどの魚、レバー、肉、かきなど | 悪性貧血 |
| 葉酸 | レバー、新鮮な緑黄色野菜、豆類など | 巨赤芽球性貧血 |
| パントテン酸 | レバー、そら豆、落花生、さけ、卵など | 通常の食生活では起こらない |
| ビオチン | レバー、卵黄、えんどう、かき、にしん、ひらめなど | 通常の食生活では起こらない |
| ビタミンC | 新鮮な野菜や果物など | 壊血病 |

運動時のエネルギー供給機構

それぞれが“独立”しているわけではない！

3×3システムシステム

- 3種類の筋線維
- 3つのエネルギー供給系

表19 エネルギー供給からみたスポーツ種目

| エネルギー獲得機構 | 運動時間 | スポーツの種類(例) | パワーの種類 |
|-------------------|---------------|---|--------|
| 非乳酸性機構 | 30秒以下 | 砲丸投、100m走、盗塁、ゴルフ、テニス、アメリカンフットボールのボックスのランニングプレー | ハイパワー |
| 非乳酸性機構 + 乳酸性機構 | 30秒～ 1分30秒 | 200m走、400m走、スピードスケート(500m、1000m)、100m競泳 | ミドルパワー |
| 乳酸性機構 + 有酸素性機構 | 1分30秒～ 3分 | 800m走、体操競技、ボクシング(1ラウンド)、レスリング(1ピリオド) | ミドルパワー |
| 有酸素性機構 | 3分以上 | 1500m競泳、スピードスケート(10000m)、クロスカントリースキー、マラソン、ジョギング | ローパワー |

(宮下充正:NHK市民大学 トレーニングを科学する、日本放送出版協会、1988年)

3 × 3システムによる動作の発現

筋線維間 ⇒ 動きを作り出すシステム

筋線維内 ⇒ エネルギーを作り出すシステム

| | | 動きをつくり出すシステム | | |
|-------------------------|----------|--------------|-----------|-----------|
| | | Type I | Type II a | Type II b |
| エネルギー をつくり出す システム | ATP-PCr系 | △ | ○ | ◎ |
| | 解糖系 | ○ | ◎ | ○ |
| | 有酸素系 | ◎ | ○ | △ |

| | | 動きをつくり出すシステム | | |
|-------------------------|----------|--------------|-----------|-----------|
| | | Type I | Type II a | Type II b |
| エネルギー をつくり出す システム | ATP-PCr系 | △ | ○ | ◎ |
| | 解糖系 | ○ | ◎ | ○ |
| | 有酸素系 | ◎ | ○ | △ |

定本ら(1987年)の図を山崎が改変

• 呼吸商 (RQ)

エネルギー生産時の酸素と二酸化炭素の比率

糖質100%:1.0

脂質100%:0.707

軽い運動 0.85

激しい運動 0.9

軽い運動の方が脂肪が良く利用される

0.707の運動(100%脂肪利用)はあり得ない

表 18 糖質・脂質混合酸化燃焼における非タンパク質呼吸比 (NPRQ)、発生熱量

| NPRQ | 分解割合 | | 酸素1リットルあたりの発生熱量 (kcal) |
|-------|--------|--------|------------------------|
| | 糖質 (%) | 脂質 (%) | |
| 0.707 | 0 | 100 | 4686 |
| 0.71 | 0.10 | 98.9 | 4690 |
| 0.72 | 4.76 | 95.2 | 4702 |
| 0.73 | 8.40 | 91.6 | 4714 |
| 0.74 | 12.0 | 88.0 | 4727 |
| 0.75 | 15.6 | 84.4 | 4739 |
| 0.76 | 19.2 | 80.8 | 4751 |
| 0.77 | 22.8 | 77.2 | 4764 |
| 0.78 | 26.3 | 73.7 | 4776 |
| 0.79 | 29.9 | 70.1 | 4788 |
| 0.80 | 33.4 | 66.6 | 4801 |
| 0.81 | 36.9 | 63.1 | 4813 |
| 0.82 | 40.3 | 59.7 | 4825 |
| 0.83 | 43.8 | 56.2 | 4838 |
| 0.84 | 47.2 | 52.8 | 4850 |
| 0.85 | 50.7 | 49.3 | 4862 |

| | | | |
|------|-------|------|------|
| 0.86 | 54.1 | 45.9 | 4875 |
| 0.87 | 57.5 | 42.5 | 4887 |
| 0.88 | 60.8 | 39.2 | 4899 |
| 0.89 | 64.2 | 35.8 | 4911 |
| 0.90 | 67.5 | 32.5 | 4924 |
| 0.91 | 70.8 | 29.2 | 4936 |
| 0.92 | 74.1 | 25.9 | 4948 |
| 0.93 | 77.4 | 22.6 | 4961 |
| 0.94 | 80.7 | 19.3 | 4973 |
| 0.95 | 84.0 | 16.0 | 4985 |
| 0.96 | 87.2 | 12.8 | 4998 |
| 0.97 | 90.4 | 9.58 | 5010 |
| 0.98 | 93.6 | 6.37 | 5022 |
| 0.99 | 96.8 | 3.18 | 5035 |
| 1.00 | 100.0 | 0 | 5047 |

(Lusk G: Animal calorimetry. Analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrate and fat. A correction. J Biol Chem, 59, 41-42, 1924.)

エネルギー消費

- 基礎代謝量 (BMR)
- 臓器別代謝量

表22 全身および主な臓器・組織のエネルギー代謝

| 臓器 | 重量 (kg) | エネルギー代謝量 | | 比率 (%) |
|------|---------|-------------|----------|--------|
| | | (kcal/kg/日) | (kcal/日) | |
| 全身 | 70 | 24 | 1700 | 100 |
| 骨格筋 | 28.0 | 13 | 370 | 22 |
| 脂肪組織 | 15.0 | 4.5 | 70 | 4 |
| 肝臓 | 1.8 | 200 | 360 | 21 |
| 脳 | 1.4 | 240 | 340 | 20 |
| 心臓 | 0.33 | 440 | 145 | 9 |
| 腎臓 | 0.31 | 440 | 137 | 8 |
| その他 | 23.16 | 12 | 277 | 16 |

体重70kgで体脂肪率が約20%の男性を想定 (Gallagher, D. et al., 1998の表より作表)

表20 基礎代謝基準値

| 年齢区分 (歳) | 男性 (kcal/kg/日) | 女性 (kcal/kg/日) |
|----------|-------------------|-------------------|
| 1~2 | 61.0 | 59.7 |
| 3~5 | 54.8 | 52.2 |
| 6~7 | 44.3 | 41.9 |
| 8~9 | 40.8 | 38.3 |
| 10~11 | 37.4 | 34.8 |
| 12~14 | 31.0 | 29.6 |
| 15~17 | 27.0 | 25.3 |
| 18~29 | 24.0 | 22.1 |
| 30~49 | 22.3 | 21.7 |
| 50~69 | 21.5 | 20.7 |
| 70以上 | 21.5 | 20.7 |

(厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準
2010年度版、第一出版、2009)

基礎代謝を決める要因

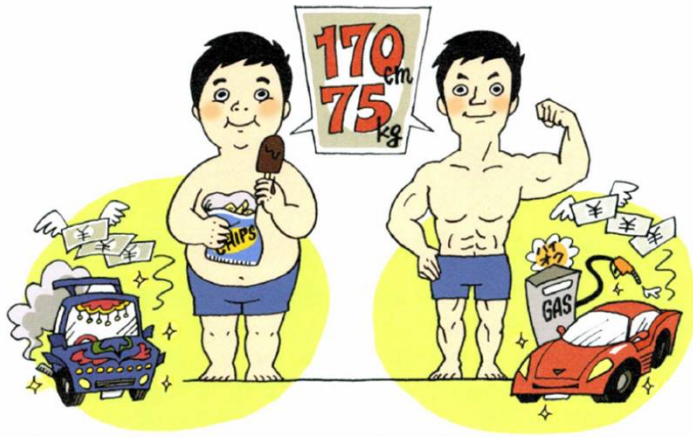
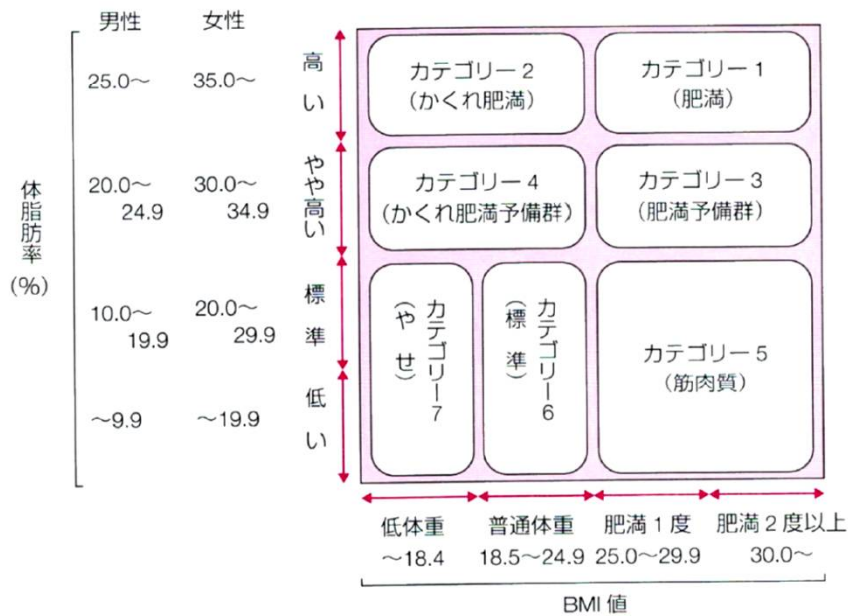


表21 基礎代謝に影響する要因

| | | |
|---|------|--|
| 1 | 体表面積 | 体表面積が広い場合には、体表面からの放熱量がそれに比例して多いため、年齢・性・体重が同じであっても、身長が高くやせている人は基礎代謝が大きい |
| 2 | 年齢 | 体重1kgあたりの基礎代謝量は、成長などのために体内代謝が活発なため、年齢の若いほうが大きな値を示す |
| 3 | 性 | 男性のほうが、筋肉など代謝が活発な組織の量が多いため、女性よりも基礎代謝が大きい |
| 4 | 体格 | 筋肉質の人は脂肪質の人に比べて基礎代謝は大きい。そのため、筋肉質で生活活動強度の高い人の基礎代謝は若干の補正が必要である |
| 5 | 体温 | 皮膚表面からの放熱量が大きいため、体温が1℃上昇するごとに代謝量は13%増加するとされる。そのことから、体温が高い人は基礎代謝が大きい |
| 6 | ホルモン | 甲状腺ホルモン・副腎髄質ホルモンの分泌量の多い人は、体内代謝が活発なため基礎代謝が大きい |
| 7 | 季節 | 基礎代謝は一般に夏に低く冬に高い。特に脂肪の摂取量が少ないほど季節の影響を受けやすいとされている |
| 8 | 月経 | 女性はエストロゲンなど女性ホルモンの分泌量の変化により、体温に影響を及ぼし、基礎代謝量は月経開始2～3日前に最高に達し、月経中に最低になる |



特異的動的作用(食誘発性熱生産)

- 食事によるエネルギー代謝の亢進(10%程度)

エネルギー消費量の一時的増加

タンパク質のみ摂取では30%

糖質のみは6%、脂質のみは4%

カプサイシンやカフェインでも増加

- 摂取エネルギーの“ロス”ともいえるが消化吸収の反応

活動代謝量

- エネルギー代謝率
(RMR)
活動代謝量
÷ 基礎代謝量

※ 体重に関わらない

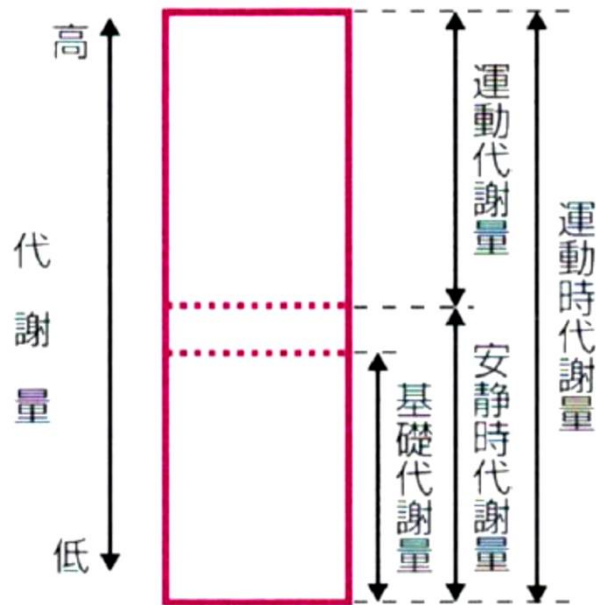
消費カロリーと異なる点

表 23 エネルギー代謝率 (日常の生活活動と運動における強度)

| 非常に弱い運動 | | 1.0未満 | |
|-----------|-----|-------------|-----|
| 読む、書く、見る | 0.2 | 休息、談話(座位) | 0.2 |
| 食事 | 0.4 | 談話(立位) | 0.3 |
| 裁縫 | 0.5 | 身支度、洗面、便所 | 0.5 |
| 自動車の運転 | 0.5 | 机上事務 | 0.6 |
| 弱い運動 | | 1.0~2.5 | |
| 電車、バス(立位) | 1.0 | 靴磨き | 1.1 |
| ゆっくり歩く | 1.5 | 電気洗濯機 | 1.2 |
| 手洗い洗濯 | 2.2 | 洗濯物を干す、とりこむ | 2.2 |
| アイロンがけ | 1.5 | 炊事 | 1.6 |
| 電気掃除機 | 1.7 | 掃く | 2.2 |
| 草むしり | 2.0 | 普通歩行 | 2.1 |
| 入浴 | 2.3 | 育児(背負う) | 2.3 |
| 普通の運動 | | 2.5~6.0 | |
| 自転車 | 2.6 | 階段を降りる | 3.0 |
| 雑巾がけ | 3.5 | 急ぎ足 | 3.5 |
| 布団上げ下ろし | 3.5 | 布団を干す、とりこむ | 4.9 |
| 階段上る、降りる | 4.6 | ボウリング | 2.5 |
| ソフトボール | 2.5 | 野球 | 2.7 |
| キャッチボール | 3.0 | ゴルフ(平地) | 3.0 |
| ダンス(軽い) | 3.0 | ダンス(活発) | 5.0 |
| サイクリング | 3.4 | 体操 | 3.5 |
| エアロビックダンス | 4.0 | 卓球 | 5.0 |
| ゴルフ(丘陵) | 5.0 | ボート、カヌー | 5.0 |

メッツ (Mets)

エネルギー消費 (Kcal)
= 1.05 × エクササイズ (メッツ・時) × 体重
1メッツは3.5ml/kg/分



$$\text{メッツ} = \frac{\text{運動時代謝量}}{\text{安静時代謝量}}$$

$$\text{メッツ・時} = \text{メッツ} \times \text{身体活動時間 (時間)}$$

$$= \text{エクササイズ}$$

図 12.7 代謝量とメッツ

メッツ・時
 =エクササイズ
 (エクササイズ単位)

速歩30分

4 × 0.5
 = 2.0Ex

ジョギング15分

7 × 0.25
 = 1.75Ex

表24 さまざまな身体活動におけるメッツ

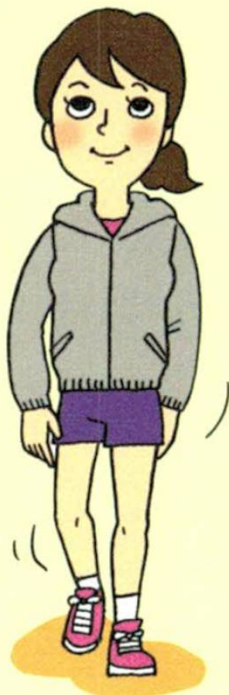
| メッツ | 活動内容 |
|------|--|
| 1.0 | 静かに座って過ごす |
| 1.5 | 座位での電話、読書、食事、運転 |
| 2.0 | 着替え、歯磨き、手洗い、シャワーを浴びる |
| 2.5 | ストレッチング、キャッチボール、軽い掃除 |
| 3.0 | 普通歩行(平地、67m/分)、ウエイトトレーニング(軽・中程度)、ボウリング |
| 3.5 | 家での体操(軽・中程度)、ゴルフ(カート利用、待ち時間除く) |
| 4.0 | 速歩(平地、95~100m/分)、水中運動、卓球 |
| 4.5 | バドミントン、ゴルフ(クラブを自分で運ぶ、待ち時間除く) |
| 5.0 | ソフトボールまたは野球、子どもの遊び(石蹴り、ドッジボールなど) |
| 5.5 | 自転車エルゴメータ(100ワット) |
| 6.0 | ウエイトトレーニング(高強度)、ジャズダンス、バスケットボール |
| 6.5 | エアロビクス |
| 7.0 | ジョギング、サッカー、テニス、スケート、スキー |
| 7.5 | 登山(約1~2kgの荷物を持って) |
| 8.0 | サイクリング、ランニング(134m/分)、水泳(クロール:ゆっくり) |
| 10.0 | 柔道、空手、キックボクシング、ラグビー、水泳(平泳ぎ) |
| 11.0 | 水泳(バタフライ)、水泳(クロール:速い)、活発な活動 |
| 12.0 | ランニング(階段を上がる) |

(厚生労働省「健康づくりのための運動指針 エクササイズガイド2006」より抜粋)

1週間に3メッツ以上23エクササイズの運動実施を

体重50kgの女性における各運動時のエネルギー消費量

同じ105kcalでのエネルギー消費量でも、強度によって運動時間が異なる



普通歩行（3メッツ）40分
→2メッツ・時
エネルギー消費量=1.05×2メッツ・
時×50kg=105kcal



速歩（4メッツ）30分
→2メッツ・時
エネルギー消費量=1.05×2メッツ・
時×50kg=105kcal



ランニング（8メッツ）15分
→2メッツ・時
エネルギー消費量=1.05×2メッツ・
時×50kg=105kcal

エネルギー消費量の測定

- 直接法
 - 代謝チャンバー室 ⇒ 発熱を室内を循環する水に吸収(現在は使われない)
 - 間接法
 - 一定時間内の酸素消費量と二酸化炭素量(呼気ガス分析)、尿中窒素量
 - 二重標識水(^{18}O と ^2H)法
 - 摂取後1~2週間の排出尿中量で推定
 - 「日本人の食事摂取基準2005」のデータはこの方法で算出
- <調査法>
- 時間調査法(連続行動記録)
 - 加速度計法(簡易型だが運動強度の測定も可能)
 - 腕時計型心拍活動量計

エネルギー必要量

- 基礎代謝や活動代謝(練習量)に応じた食事摂取
- 国立スポーツ科学研(JISS)の基礎代謝推定式

基礎代謝量 = 徐脂肪体重 × 28.5Kcal (徐脂肪体重測定が前提)

＜一般人の基礎代謝量の推定式: Harris-Benedict(1919)＞

男性: $66.47 + 13.75 \times \text{体重(Kg)} + 5.00 \times \text{身長(cm)} - 6.76 \times \text{年齢(歳)}$

女性: $655.1 + 9.56 \times \text{体重(Kg)} + 1.85 \times \text{身長(cm)} - 4.68 \times \text{年齢(歳)}$

