

# 臨床栄養学

## 4. タンパク質・エネルギー代謝

May 10, 2021

# タンパク質の役割

教科書: 基礎栄養学(第5版)P73-87

: 細胞、組織の主要な有機生体分子

アミノ酸が結合 ⇒ ペプチド ⇒ 高次構造(タンパク質の高次構造)

: 人体の乾燥重量の3/4を占める

: 生物システムにおいて最も多彩な機能をもつ高分子

: 触媒、酵素など他の分子の輸送や貯蔵

: 物理的支持

: 免疫防御

: 運動の発生、神経インパルスの伝達、

: 細胞の増殖や分化の制御

① 構造タンパク: 糖タンパク、コラーゲン

② 輸送タンパク: ヘモグロビン、ミオグロビン、血清アルブミン

③ 収縮タンパク: ミオシン、アクチン

④ 防衛タンパク: 抗体、フィブリノーゲン、トロンビン

⑤ ホルモン: インスリン、ACTH、成長ホルモン

⑥ 貯蔵タンパク: カゼイン、フェリチン

# タンパク質の構成単位

**標準アミノ酸**(プロリン以外はすべて $\alpha$ -アミノ酸)

:アミノ基(-NH<sub>2</sub>)とカルボキシル基(-COOH)が同一の炭素原子に結合

:アミノ基とカルボキシル基が水を失ってペプチド結合

**ペプチド**

:アミノ酸残基が2~10個程度つながったもの

**タンパク質**

:アミノ酸残基が30個程度以上

**たんぱく質、ペプチド、アミノ酸の吸収と行方**(図1参照)

食品中のたんぱく質

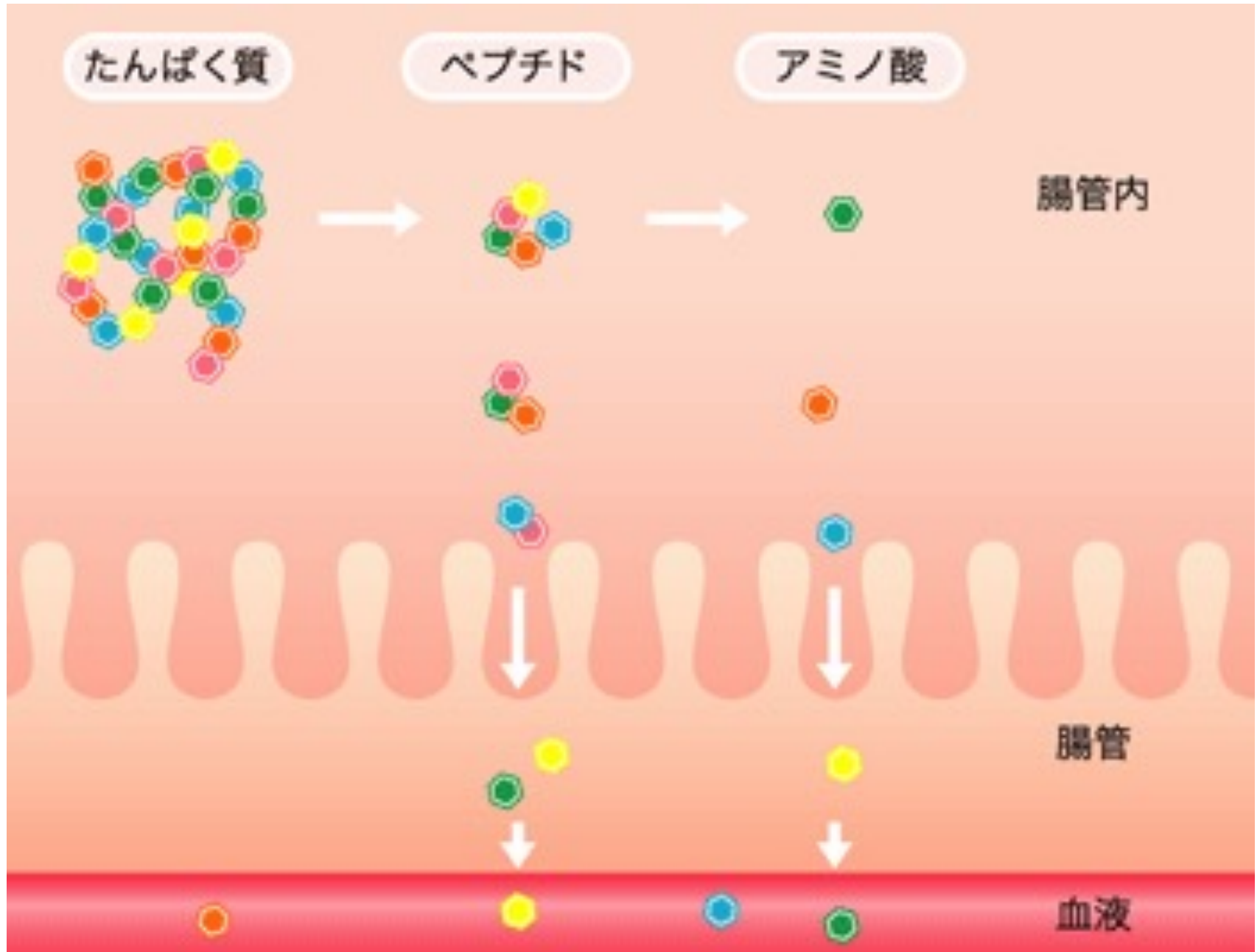
消化(胃、小腸) ⇒ ペプチド、アミノ酸

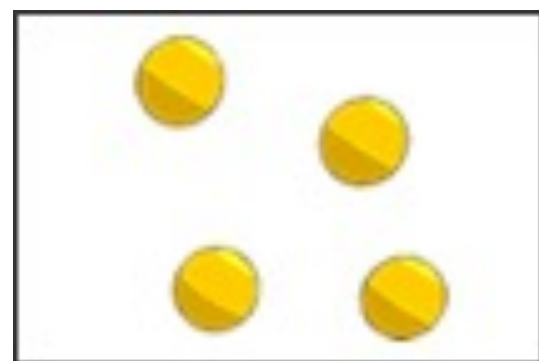
吸収(小腸) ⇒ 小さなペプチド(アミノ酸残基2~3個)、  
ばらばらに消化されたアミノ酸

※最近では、ミルクたんぱく質、大豆、小麦、卵白などのたんぱく質を、工業的に消化酵素で分解しペプチドとしたものが、たんぱく質としての栄養摂取目的に利用されている。

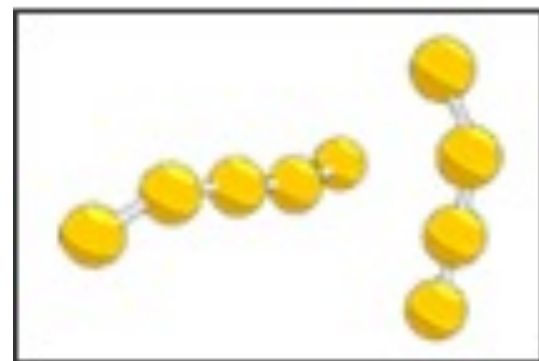
消化吸収力の弱い乳児や高齢者のための食品(赤ちゃん用粉ミルク、高齢者用流動食など)にも用いられている。

図1 たんぱく質、ペプチド、アミノ酸の吸収と行方

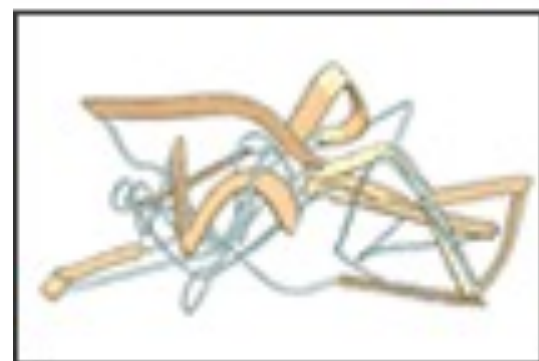




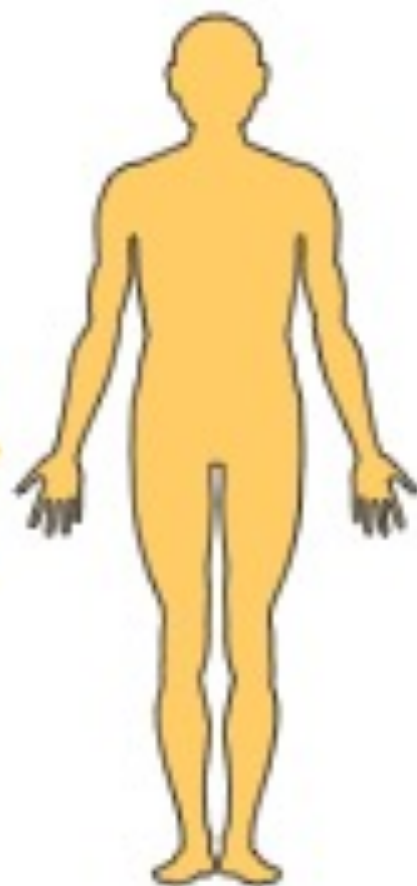
アミノ酸



ペプチド



タンパク質



ペプチドは体に素早く吸収される栄養素です



「ペプチド配合！」と書いてある  
サプリメントがあったら、  
体に吸収されやすい



# アミノ酸の分類

## 必須アミノ酸

- : 体内では合成できない
- : 成長や正常な生理機能を維持するため食品から摂取しなければならない
- : 必須アミノ酸を含むたんぱく質ほど栄養価が高い
- : 動物性たんぱく質の方が、植物性たんぱく質より良質
- : 必須アミノ酸の量だけでなく、たんぱく質にどれくらい転換利用されるかで判断

### ※タンパク質の化学的評価法

食品タンパク質のアミノ酸組成を科学的に分析して、タンパク質の栄養価を評価する方法

- : 植物性たんぱく質でも大豆のように高いものもある
- : 卵、牛乳、牛肉などがよい供給源

## 非必須アミノ酸

- : 体内で合成
- : 非必須アミノ酸も体たんぱく質を合成する素材として必要

# たんぱく質を構成するアミノ酸の種類

## 必須アミノ酸

イソロイシン  
ロイシン  
リジン  
メチオニン  
フェニルアラニン  
スレオニン  
トリプトファン  
バリン  
ヒスチジン

## 非必須アミノ酸

グリシン  
アラニン  
セリン  
アスパラギン酸  
アスパラギン  
グルタミン酸  
グルタミン  
アルギニン  
システイン  
チロシン  
プロリン

※アミノ酸としての体内での重要度は**必須の9種類のアミノ酸**と**差異はない。20種類のアミノ酸**のどれが欠けてもたんぱく質の合成には不都合が生じる。



# たんぱく質の代謝・合成

: 合成と分解を繰り返し、絶え間なく新しいものにつくり換えられている(代謝回転)。

: 代謝回転によって、たんぱく質の半量が入れ替わる期間を半減期という。

※ 半減期は構成する部位によって差異

・ 体全体: 約80日

・ 血液、肝臓、消化器官の組織: 約10日

・ 筋肉組織: 約180日

: 肝臓に運ばれたたんぱく質は、貯蔵される一部を残して、体内の様々な組織に運ばれ、筋肉やホルモン、酵素に合成

# タンパク質の同化と異化

一般成人男性(70kg):体タンパク約10kg

⇒ 毎日250~300g(約3%)のタンパクが入れ替わる!

## ①外因性(食事性)

タンパク100g

## ②内因性タンパク60g

:腸管内の消化液、  
剥離脱落した腸細胞、  
漏出した血漿タンパクなど

腸管から  
吸収

## ①新しいタンパク質の合成 (70~80%)

筋肉:血漿アミノ酸より  
合成(50g)

## ②エネルギー基質として 用いられる(20~30%)

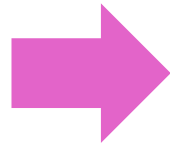
## タンパク喪失

過剰アミノ酸 ⇒ 脱アミノ化 ⇒ 尿素合成 ⇒ 尿素回路を経て排出(腎臓 → 尿中)

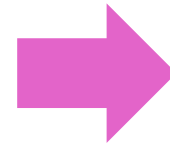
# タンパク異化亢進

: 侵襲時に見られる体タンパクの分解とアミノ酸の流れ

生体  
侵襲

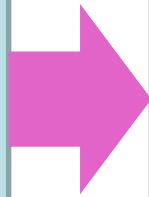


エネルギー  
代謝亢進



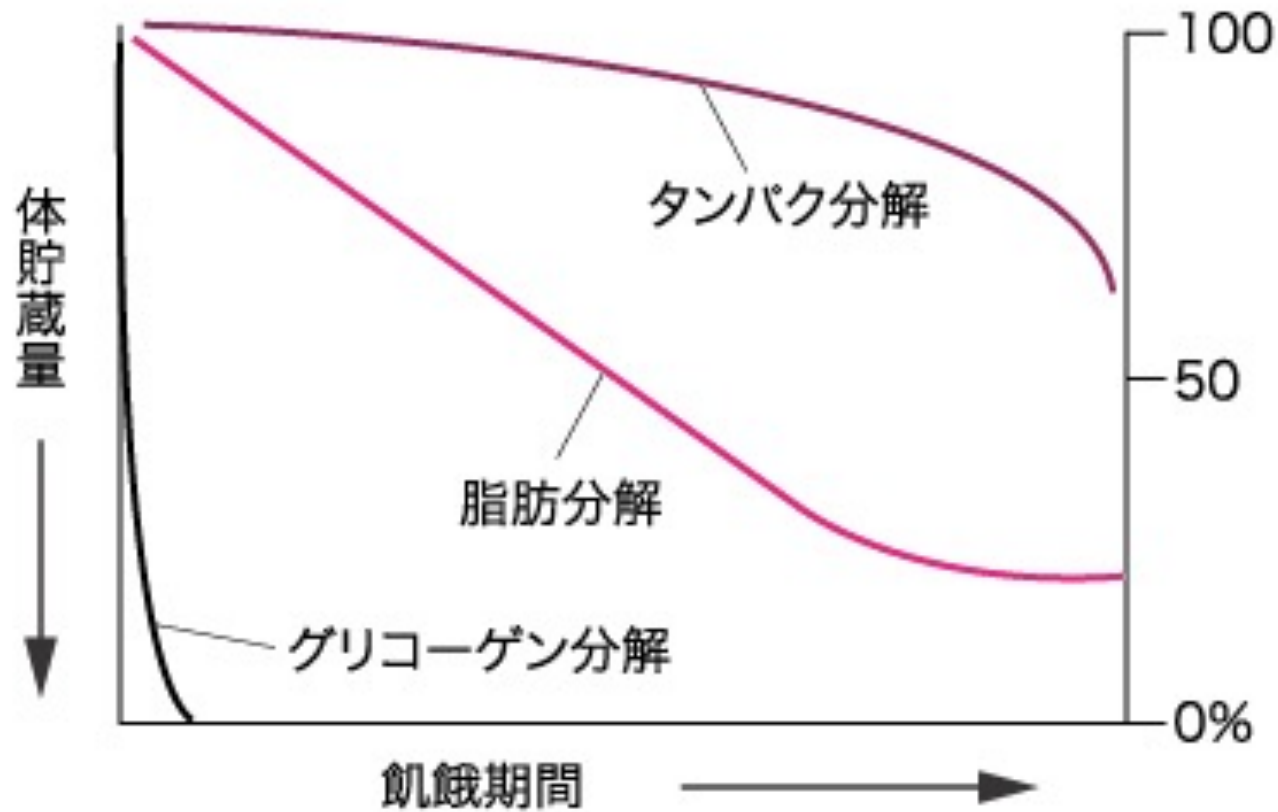
損傷された  
組織を修復

筋タンパク質を崩壊  
グルタミンや  
アラニンなどの  
アミノ酸を動員



血液中に放出  
損傷した組織タンパク合成の  
基質、赤血球、  
脳のエネルギー源として利用

## タンパク質摂取不足：飢餓状態



### ① グリコーゲン分解

- : 脳や赤血球などではブドウ糖を唯一のエネルギー源として利用
- : 貯蔵量約300～400g、ほぼ1日で枯渇

### ② 脂肪分解

- : 血糖低下 ⇒ インスリン分泌低下 ⇒ 脂肪分解 ⇒ ケトン体上昇(ケトーシス)
- ⇒ 元気喪失・食欲低下・乳量減少

### ③ タンパク質分解

- : 筋タンパク質分解 ⇒ アミノ酸産生 ⇒ 糖新生、生命維持に必要なタンパク質産生

# 体タンパク減少

- ① 筋肉量の減少(骨格筋、心筋)
- ② 内臓タンパク(アルブミンなど)減少
- ③ 免疫能の障害(NK細胞、マクロファージなど減少)
- ④ 創傷治癒遅延
- ⑤ 臓器障害(腸管、肝臓、心臓)



生体適応の障害



体タンパク25~30%程度損失



nitrogen death(窒素死)

# たんぱく質の過剰摂取

※糖質や脂質のように体に貯蔵する仕組みがない

過剰分は尿となって排泄



腎臓機能へ負担大慢性化



腎機能障害



カルシウム排泄量増加



**骨粗鬆症発症リスク大！**

# アミノ酸スコアとは 教科書:基礎栄養学[第5版] p86. 図4-14参照)

:たんぱく質の「質」を評価する必須アミノ酸の含有量

※たんぱく質の「質」は、それを構成する”アミノ酸のバランス”  
が大きなキーポイント

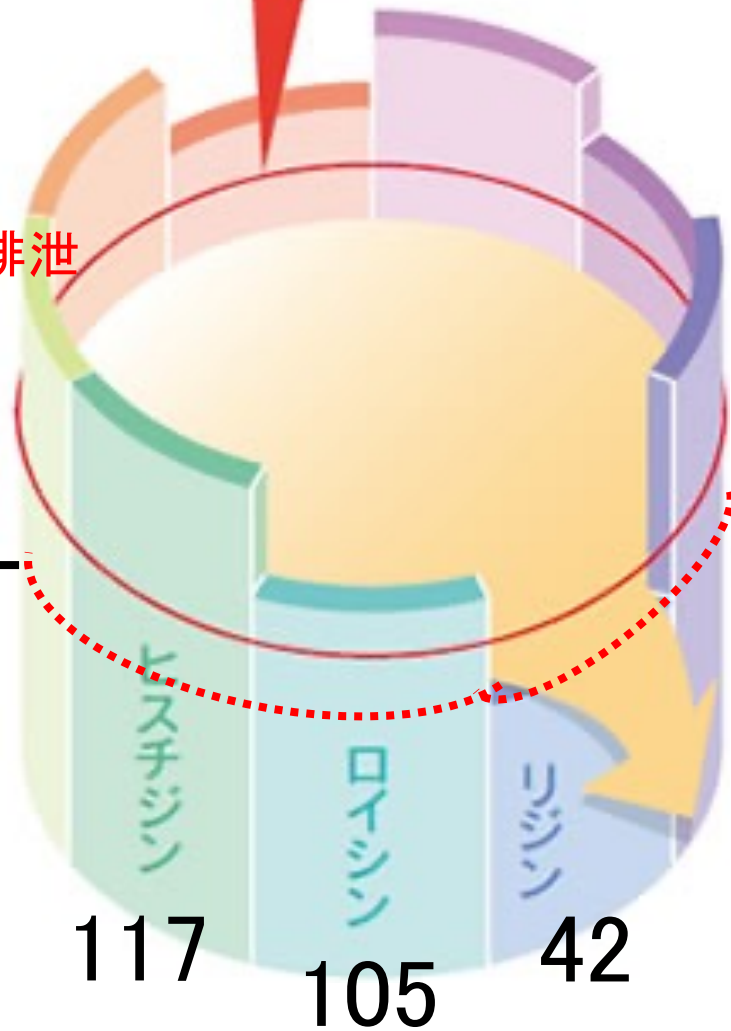
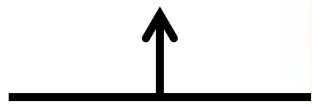
1985年FAO(国際連合食料農業機関)、WHO(世界保健機関)、  
UNU(国連大学)が定めたアミノ酸評点パターンを基準にした  
アミノ酸スコアが、主に用いられている。

:必須アミノ酸の必要量を100として、ほかの食品を評価したもの。  
つまり…









スコア100に近いほどアミノ酸補給に適した良質なたんぱく質  
といえる

各アミノ酸必要量

合成されず排泄  
されてしまう  
(無駄)



食品のアミノ酸スコア

卵	大豆
 100	 100
牛乳	ほうれん草
 100	 64
豚肉	みかん
 100	 51
タイ	食パン
 97	 42

小麦: アミノ算スコア42



アミノ酸は体に貯めることができない、毎食補うのが理想的

アミノ酸には貯蔵器官がない！

他の栄養素(糖質、脂質)は貯蔵できる

① 糖質：肝臓や筋肉中にグリコーゲンとして貯蔵

② 脂質：内臓脂肪や皮下脂肪として貯蔵されて、エネルギーが足りないときに使える。

しかし…

: 余ったアミノ酸は体内に貯蔵できないので分解されてしまう。

: 食事で摂ったアミノ酸がたんぱく質の合成に使われるのは食後2~3時間以内で、その時にたんぱく質の合成に必要なアミノ酸が揃わないと合成に使われなかったものは分解されてしまう。

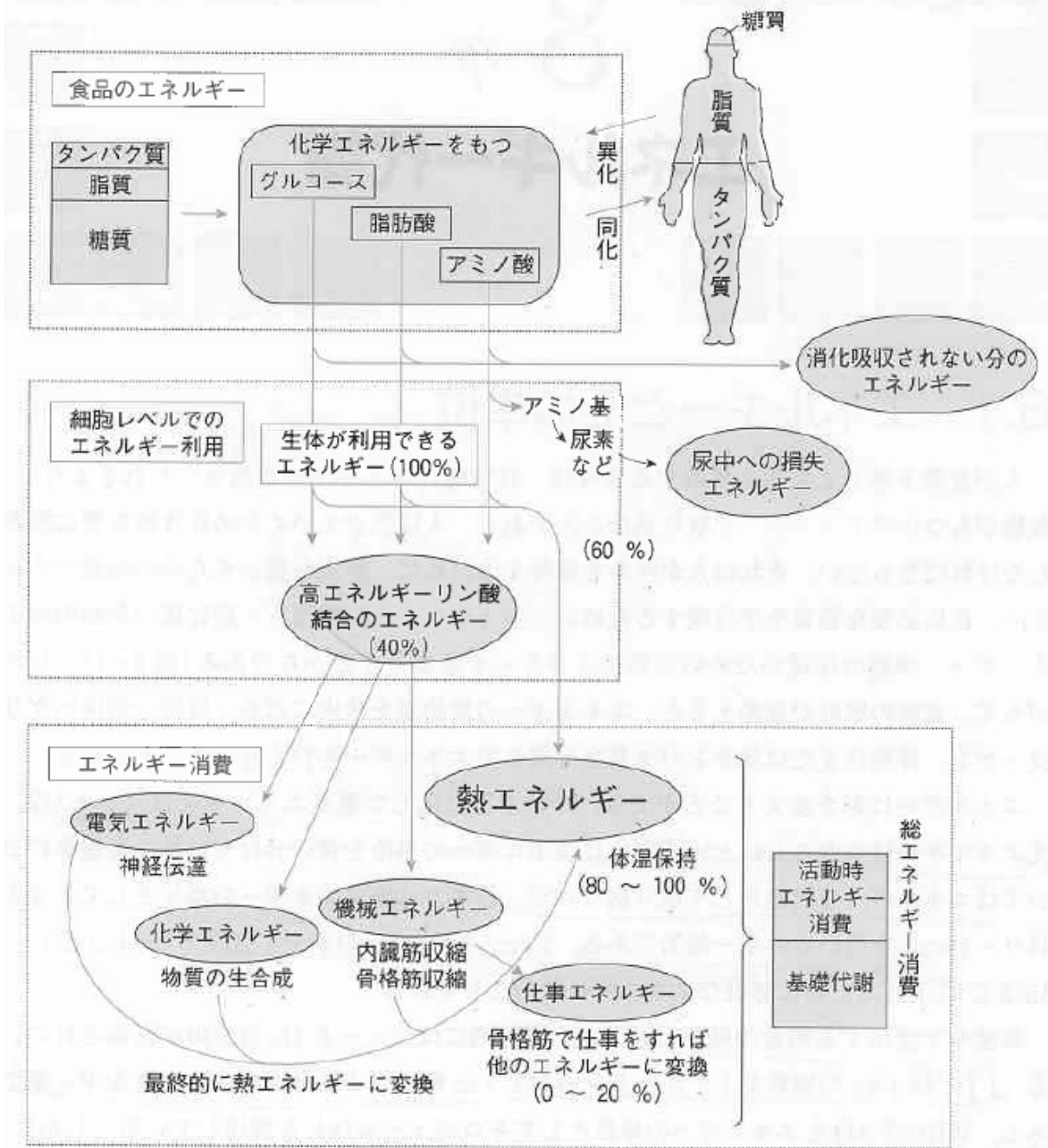
# エネルギー代謝

エネルギー収支について

# 体内のエネルギー消費

- ・ 食物の化学エネルギーの利用
  - 熱エネルギー : 体温維持
  - 電気エネルギー : 神経伝達
  - 機械エネルギー : 筋肉運動
- ・ 測定方法
  - 直接測定法 : 非実用的
  - 間接測定法 : ダグラスバッグ法
    - ・ 一定時間に呼吸で消費した $O_2$ 量と、排出した $CO_2$ 量、排泄尿中のN量から消費熱量を算定

# エネルギー代謝の概念 (教科書p164 図8-1参照)



# 体内で利用されるエネルギー

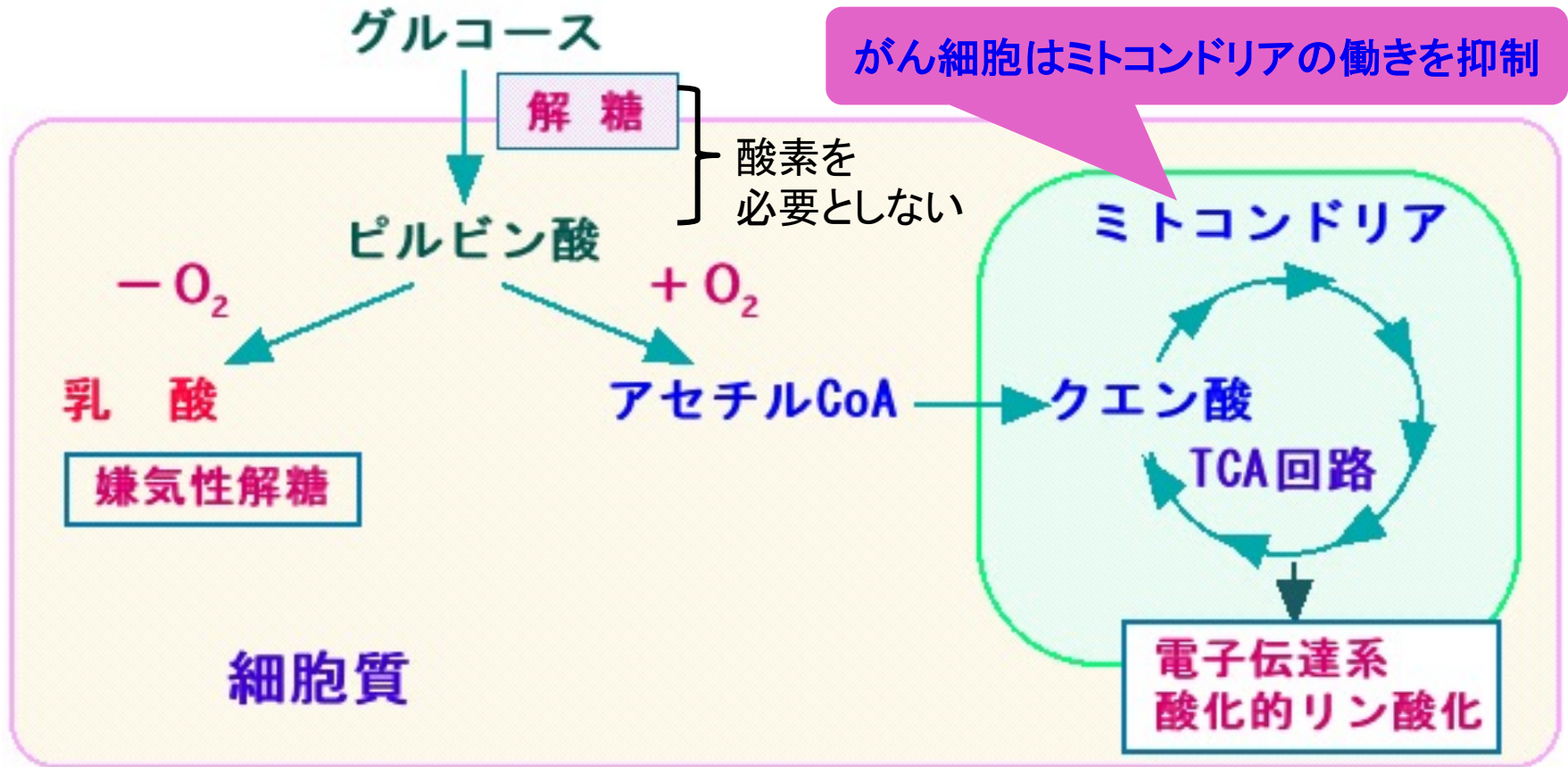
- ・ ATP産生

- 代謝の過程で産生（解糖系やTCA回路の一部）
- ミトコンドリアの電子伝達系

- ・ エネルギーの単位

- 1キロカロリー (kcal / Cal)
- 1気圧のもとで1kgの水を1°C (14.5°C → 15.5°C) 上昇させるのに要するエネルギー量
- 国際的にはJ (ジュール)
  - ・ 1kcal = 4.18kJ (1kJ = 0.239kcal)

# 【細胞内でのエネルギー産生過程】



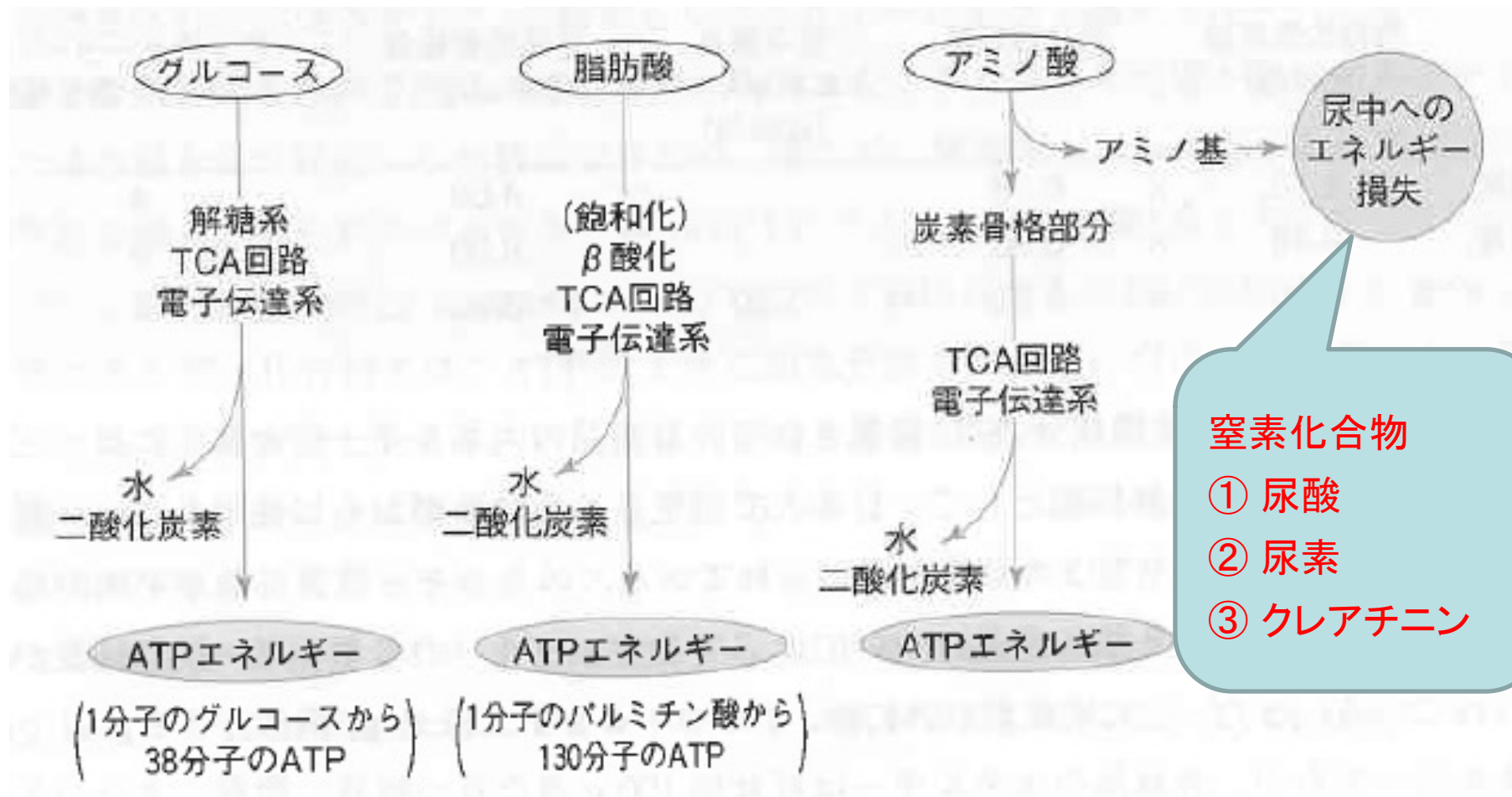
血液中: およそ  $80 \sim 100 \text{mg}/100 \text{ml}$  のグルコースが存在

グルコースは血液中から細胞に取り込まれる。

①解糖系、②TCA回路(クエン酸回路やクレブス回路と呼ばれる)

③電子伝達系による酸化的リン酸化をへて、二酸化炭素と水に分解され、エネルギー産生

# 栄養素によるエネルギー産生 (教科書p165図8-2参照)



# 栄養素のエネルギー

- ・ “ボンベ熱量計”で燃焼させて計測

糖質 1g = 4.10kcal

脂質 1g = 9.45kcal

タンパク質 1g\* = 5.65kcal

\* : 体内では尿酸に代謝されるため、燃焼させた場合( $\text{NO}_2$ )とは1.25kcal/gの差がある



# 栄養素の消化吸収率

- 糖質=98%, 脂質=95%, タンパク質=92%

消化吸収率(%) =

$$\frac{\text{摂取食品中の成分} - \text{糞便中の排泄成分量}}{\text{摂取食品中の成分量}} \times 100$$

- 生理的燃焼値(1g当り)

– 糖 質:  $4.10 \times 0.98 = 4.018\text{kcal}$

– 脂 質:  $9.45 \times 0.95 = 8.9775\text{kcal}$

– タンパク質:  $(5.65 - 1.25) \times 0.92 = 4.048\text{kcal}$



アトウォーター係数(各1gの熱量):

糖質=4kcal, 脂質=9kcal, タンパク質=4kcal

# 体内のエネルギー消費量測定：直接法 (教科書p175:図8-7参照)

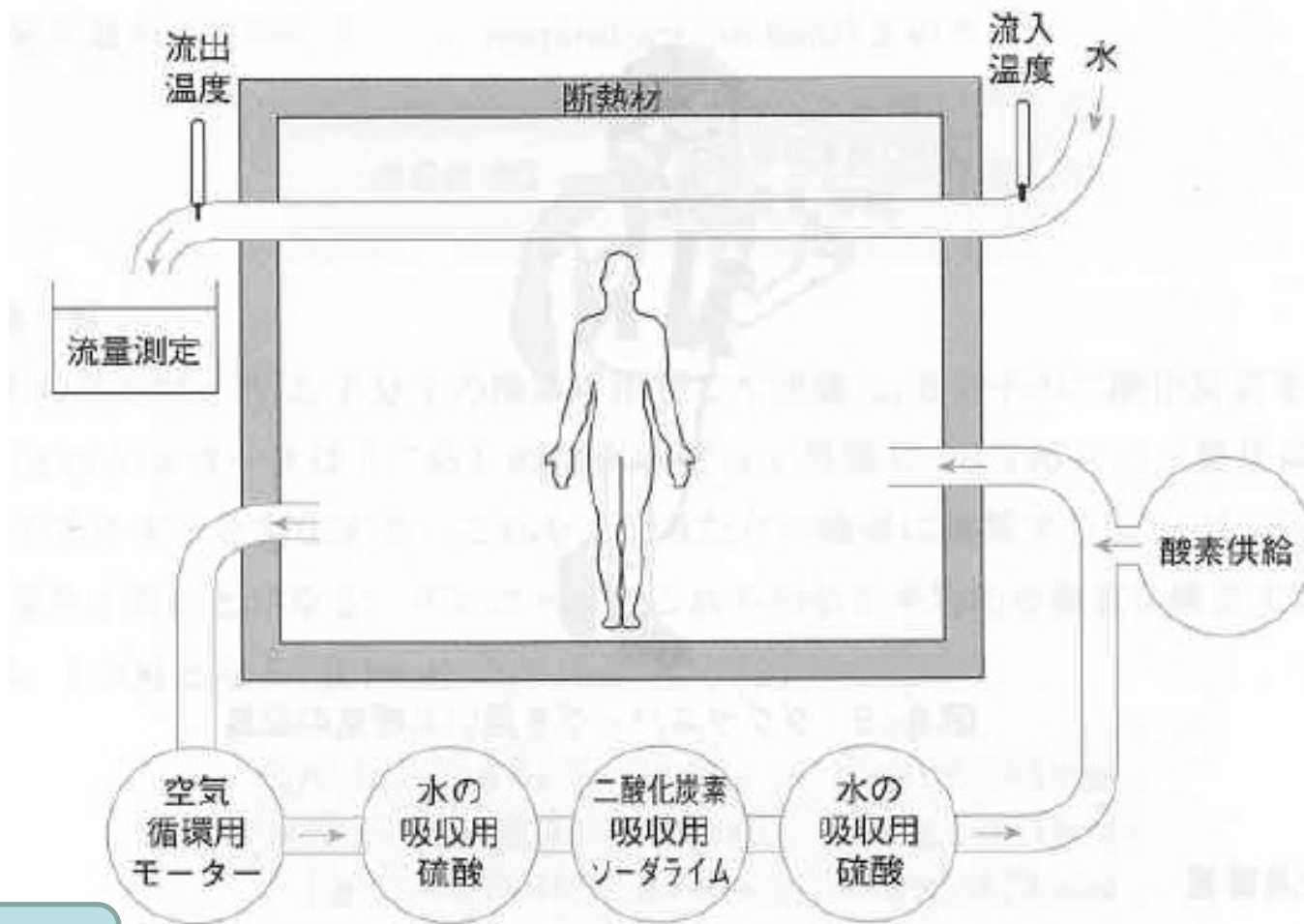


図8-7 アトウォーター・ローザ・ベネディクトの直接熱量計

$$\text{エネルギー消費量} = (\text{水温上昇度} \times \text{水量} \times \text{水の比熱}) + (\text{蒸散量} \times \text{水の潜熱}) \pm (\text{体温変化} \times \text{体重} \times \text{人の比熱})$$

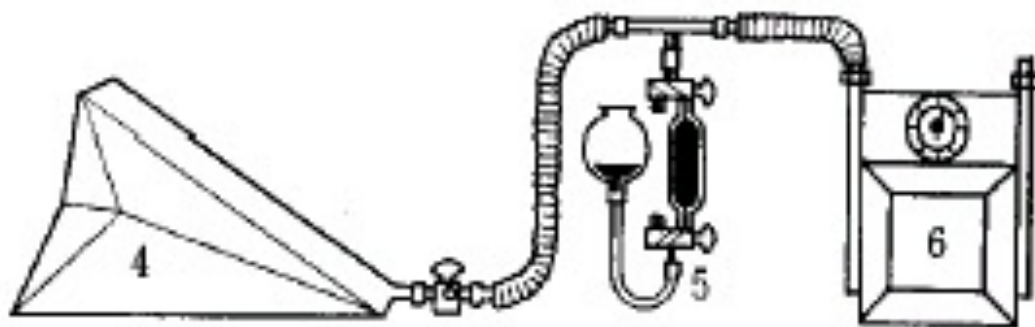
熱エネルギー  
に転換

# 体内のエネルギー消費量測定：間接法

安価な評価装置は市販されていない  
200万円～1000万円以上



- |              |          |
|--------------|----------|
| 1：呼 吸 マ ス ク  | 5：ガス採集管  |
| 2：呼 吸 弁      | 6：ガスメーター |
| 3：3方活栓(袋へ切換) | C：蛇 管    |
| 4：ダ グ ラ ス 袋  |          |



ダグラスバックによる呼気の採集

呼気の容積、酸素濃度、  
二酸化炭素濃度を分析して  
酸素消費量と二酸化炭素  
発生量を求める

# さまざまな運動時の酸素摂取量の測定

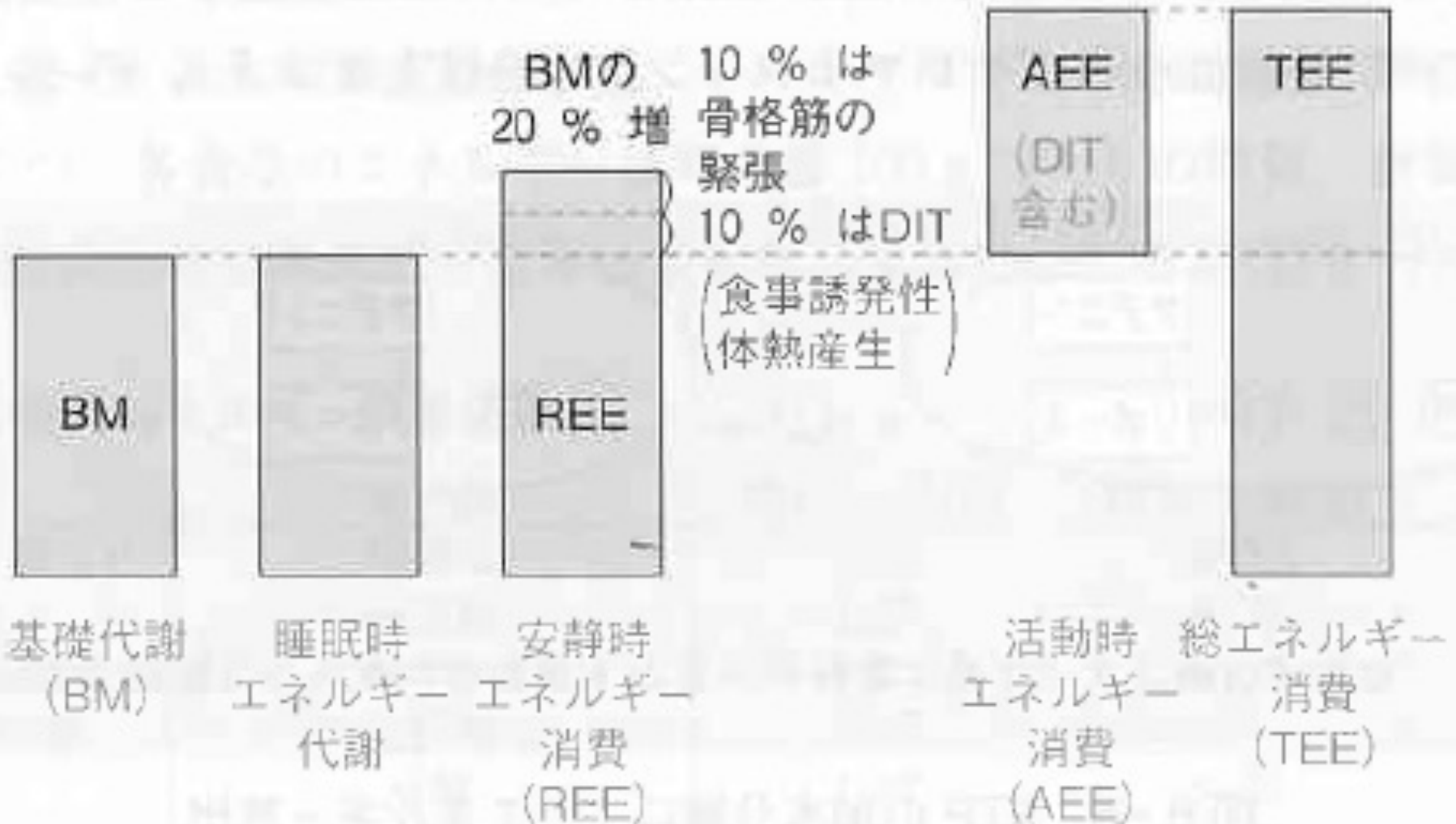
水中運動時

子どもの遊び時



# 消費エネルギー

教科書p168図8-5参照



# 基礎代謝 (BM: basal metabolism)

人が生きていく上で、最低限必要なエネルギー代謝

測定:

前日の夕食後12～15時間経過した翌朝、20～25°Cの室内で覚醒時に精神的、肉体的にも安静な仰臥の状態

基礎代謝量 (kcal/day) =

基礎代謝基準値 (kcal/kg/day) × 体重 (Kg)

(教科書p169表8-2参照)

# 基礎代謝量に影響する因子

## ① 体表面積

: 体内で産生された熱エネルギーは、ほとんどが  
体表より失われる

※体表面積とエネルギー消費量には強い正相関

(体表面積が大きいほど基礎代謝は大きい)

: 体表面積当たりの基礎代謝量は人も動物も  
同じ値

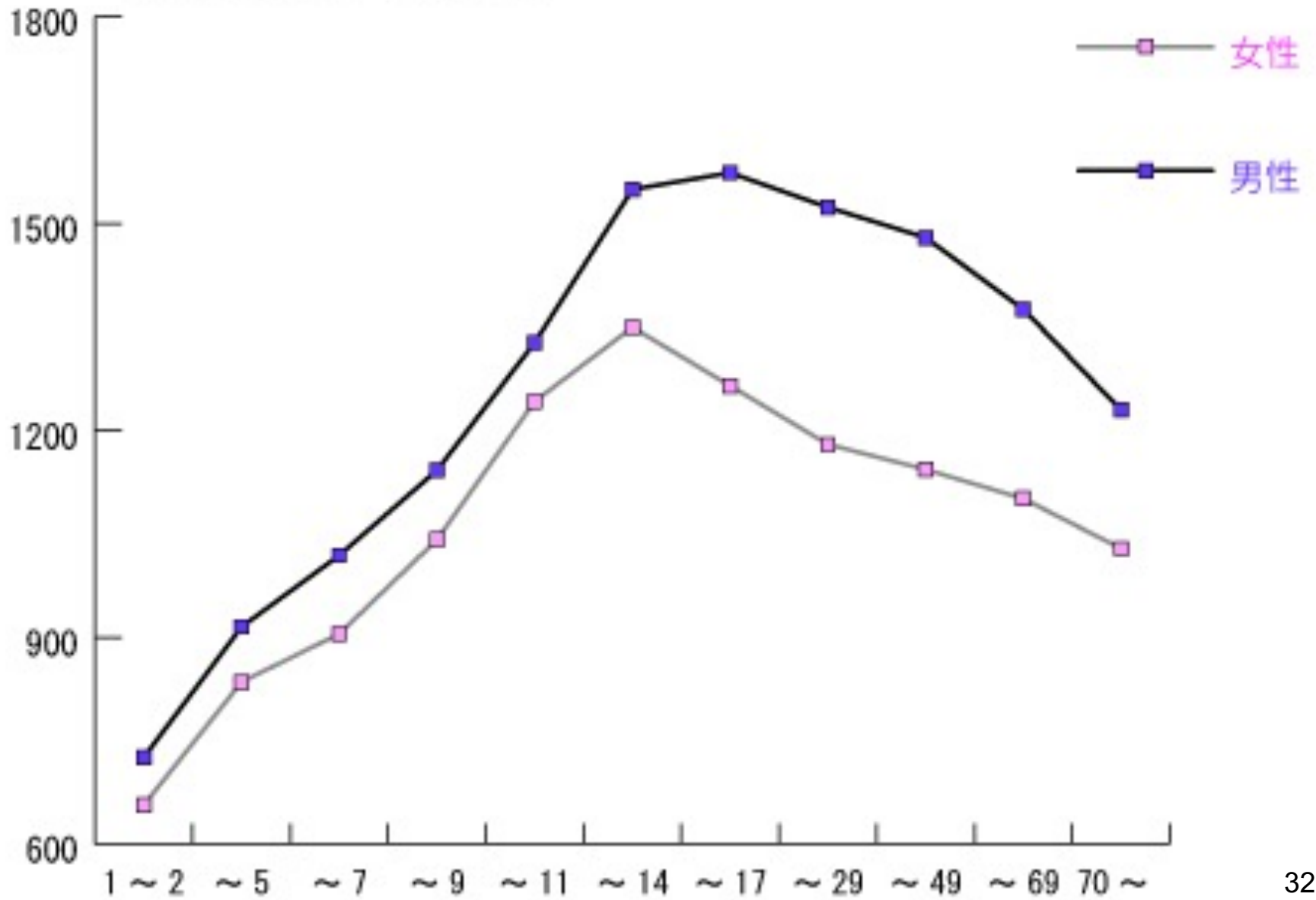
## ② 筋肉量

: 体重が同じ場合、筋肉組織が多いほど基礎代謝  
は高い(脂肪組織が多いほど基礎代謝は低い)

※筋肉細胞組織は代謝活性が高い

### ③ 年齢・性別

基礎代謝の年齢変化





# 性・年齢階層別基礎代謝基準値と基礎代謝量(平均値)

教科書p169 表8-2参照

## ◇ 基礎代謝基準値:体重当たりのピーク

1歳～2歳

男:61.0kcal/kg/日

女:59.7kcal/kg/日

## ◇ 基礎代謝量:体重当たりのピーク

男:15～17歳:1610kcal/kg/日

女:12～14歳:1410kcal/k/日

# 女性は男性より基礎代謝が低い

小児期で5%、思春期以降は10%

その理由は…

: 女性は男性より体脂肪率が高い

※除脂肪体重で比較すると性差はほとんどなし

: 女性は性周期、妊娠によって基礎代謝が変化する

## 基礎代謝向上

- ・排卵後2週間ほど(基礎体温上昇の影響)
- ・妊娠前期5～10%、妊娠後期15～20%(胎児の影響)

## 基礎代謝低下

- ・月経期(基礎体温低下の影響)

## ④環境温度

外気温が低い場合:

体表から体熱放散向上

⇒熱産生促進

(寒くて体が震えるのは筋収縮促進のため)

※寒冷地での長期生活⇒基礎代謝向上(環境適応)

外気温が高い場合:

熱産生抑制

※外気温30°Cで人の代謝量は最低となる

季節変動で夏と冬の差:10%程度

最近では冷暖房完備により基礎代謝の変動幅減少

## ⑤ ホルモン

### 基礎代謝亢進に関与

甲状腺ホルモン(チロキシン)、

副腎髄質ホルモン(アドレナリン、ノルアドレナリン)

男性ホルモン(アンドロゲン)

## ⑥ 栄養・食事

・低栄養状態(臓器の代謝活性低下)

⇒ 基礎代謝低下

・過食による体重増加時

⇒ 基礎代謝亢進

## ⑦ 体温

・体温が $1^{\circ}\text{C}$ 上がると基礎代謝は13%程度上昇

・発熱は基礎代謝亢進

# 食事誘発性体熱産生

(Diet-Induced Thermogenesis : DIT)

- ・ 食後の数時間、エネルギー代謝が亢進して体温が上昇する現象
- ・ 消化、吸収、代謝、運搬にともなう熱産生で生じる現象

－ 栄養素別

糖質＝5%    脂質＝4%    タンパク質＝30%

糖質が50%程度を占める場合：

食物のもつエネルギーの10%程度が食事誘発性体熱産生として使われる

# 安静時エネルギー消費量測定



安静時代謝量  
(kcal/day)



酸素消費量  
(ml/min)



価格: 85万円(税別)

メタボリックアナライザー MedGem(メッドジェム)Health etech社.USA

※携帯用簡易熱量計: 安静時エネルギーを比較的に簡単に測定

ダグラスバックとの相関  
 $r=0.89$

医療機器認証

診療報酬点数

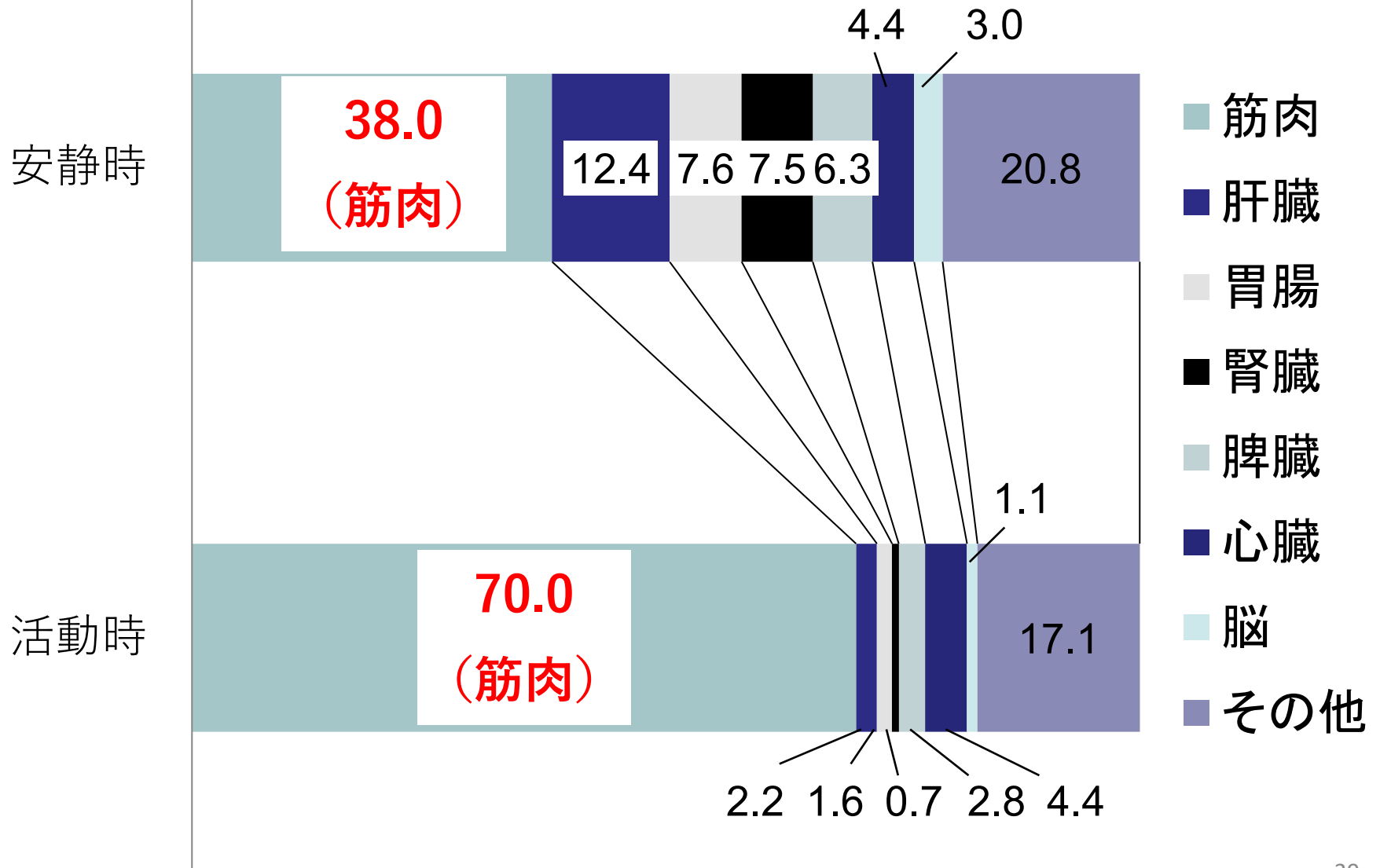
呼気ガス分析 100点

基礎代謝測定 85点

呼吸機能検査等判断料 140点

# 安静時と活動時における各臓器の消費エネルギー(%)

教科書p183図8-6参照



# 臓器別エネルギー代謝

教科書p173図8-6参照

(b) 組織 1 g 当たりの消費エネルギー (kcal / g / 分)

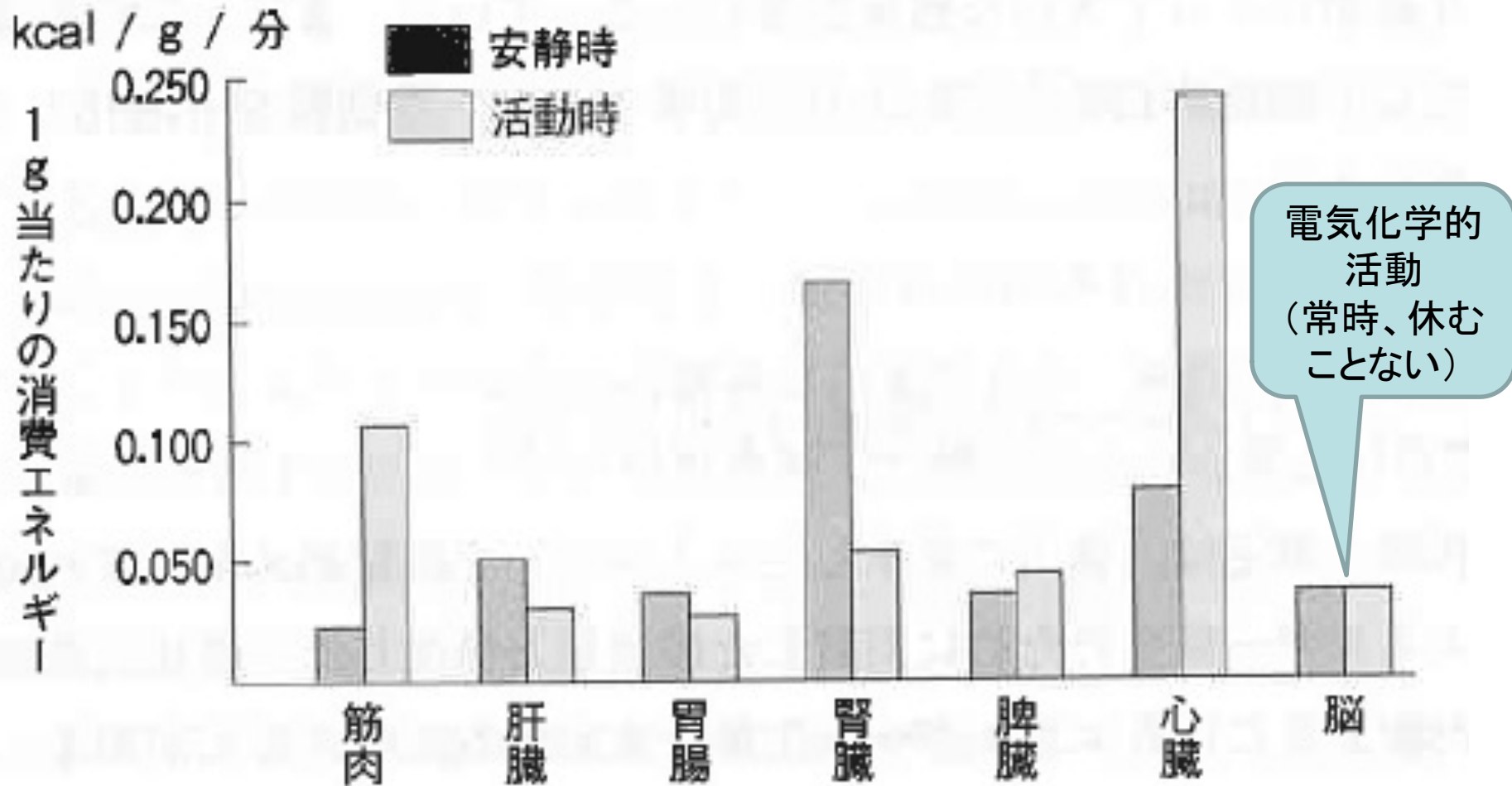


図 8-6 臓器別エネルギー代謝

糸川嘉則, 柴田克己 編, 「栄養学総論(第2版)」, 南江堂(1998).



# <参考資料>

## 特保マーク



2009. 9. 1 移行



- :健康増進法26条の条項により厚生労働大臣の認可を受けた食品。
- :保健の効果を表示する場合には、国において個別に生理的機能や特定の保健機能を示す有効性や安全性等に関する科学的根拠に関する審査を受け、許可を受けることが必要

2009年(平成21年)9月1日より、これまで厚生労働省で行っていた食品表示等に関する業務が消費者庁へ移管

# ※特保は薬ではない

: 疾病や治療や病態の改善に関する表示はできない。

: 2005年に新設された特保の制度では、関与成分の疾病リスク低減効果が医学的・栄養学的に確立されている場合には表示が認められるようになりました。この新たな制度によって疾病リスク低減表示が認められた関与成分は「カルシウム」と「葉酸」

## 「カルシウム」の表示

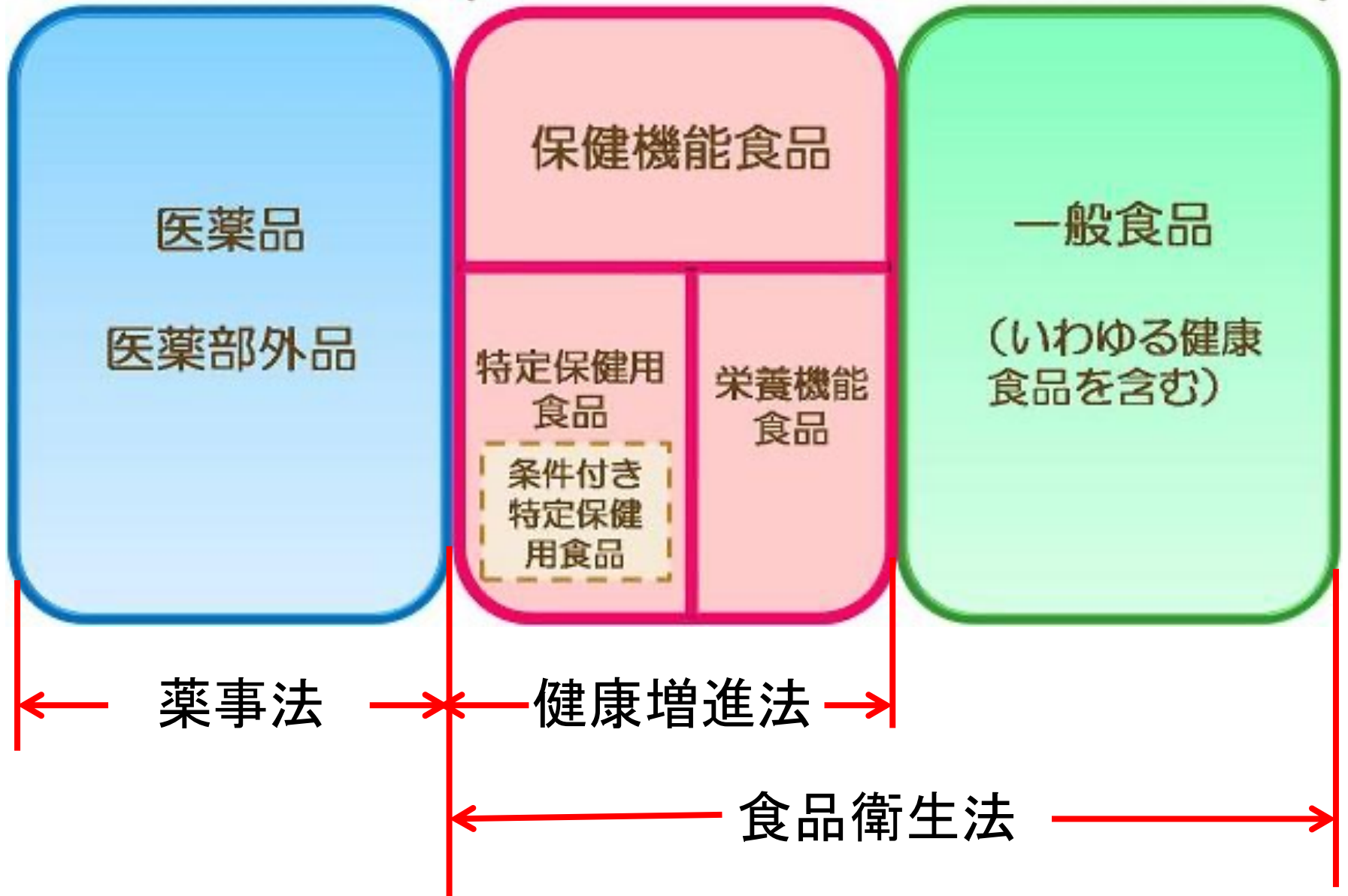
: この食品はカルシウムを豊富に含みます。日頃の運動と適切な量のカルシウムを含む健康的な食生活は、若い女性が健全な骨の健康を維持し、歳をとってからの骨粗鬆症になるリスクを低減するかもしれません。



“健康食品”、“健康補助食品”、  
“栄養補助食品”、“栄養強化食品”、  
“栄養調整食品”、“健康飲料”、  
“サプリメント”など、様々な名前の  
ついた食品が流通！

※これらは、国が制度化した  
ものではない。

# 食品の分類



## 医薬品とは…

- ① 医師が処方する薬
- ② 薬局で買える風邪薬、胃腸薬、目薬、滋養強壮剤などの市販薬

※配合されている有効成分の効果が認められており、病気の治療や予防に使われるクスリ

## 医薬部外品とは…

- : 医薬品ではないが、医薬品に準ずるもの。
- : 効果・効能が認められた成分は配合されているが、それは積極的に病気やケガなどを治すものではなく、予防に重点を置かれたもの。対象となる物もはっきりと定められている。
- : 効果が必ず認められるというものではなく、**効果が期待できるという範囲。**

※この作用の違いが医薬品との大きな違い



## その他

薬用歯磨き剤、 制汗スプレー、  
薬用クリーム、 ベビーパウダー、  
育毛剤、 染毛剤、 入浴剤、  
薬用化粧品、 薬用石けんなど