

第2回 栄養素

日紫喜 光良

概要

- ①三大栄養素：炭水化物、タンパク質、脂質
 - 炭水化物の分類
 - タンパク質の種類
 - 脂質は構成する脂肪酸によって性質が決まる。
- ②三大栄養素の代謝の概要
 - フローとストック
 - 糖は常に供給され続けなくてはいけない
 - タンパク質は貯蔵できない
 - 関係する臓器
 - ホルモンによる調節
- ③その他の栄養素
- ④その他の栄養素の過剰と不足

エネルギーの用途(仕事)

- 筋の収縮: 心臓、骨格筋
 - 収縮タンパクの活動
- 細胞内環境の恒常性の維持: すべての細胞
 - 「ポンプ」としての膜タンパクの活動
- 生合成: 肝臓、筋肉、その他

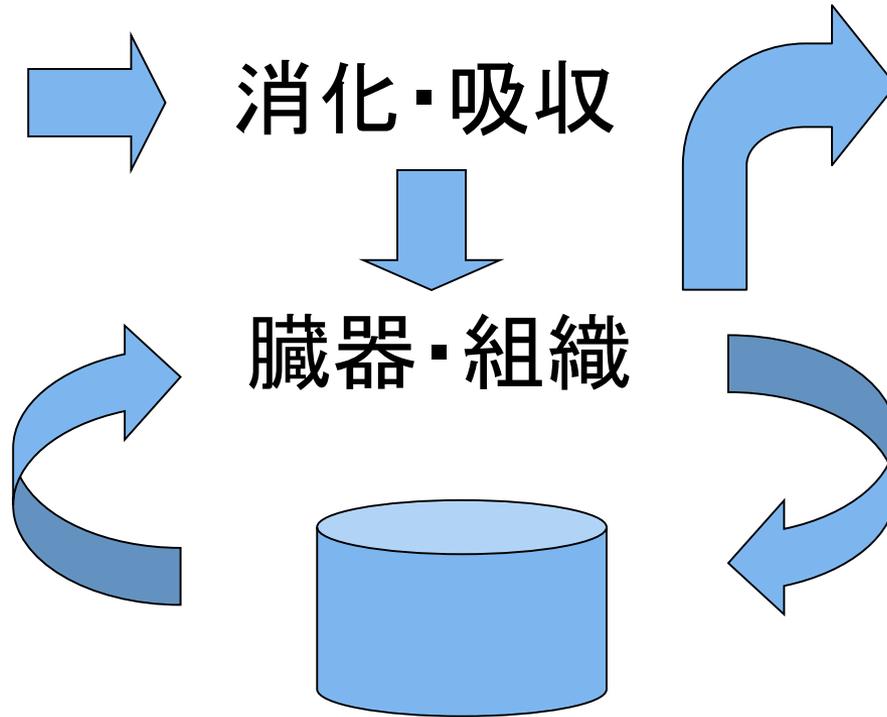
エネルギー代謝

タンパク質

脂肪

炭水化物

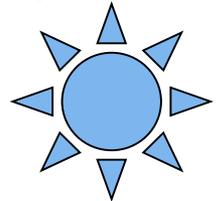
3大栄養素



ATP工場



仕事

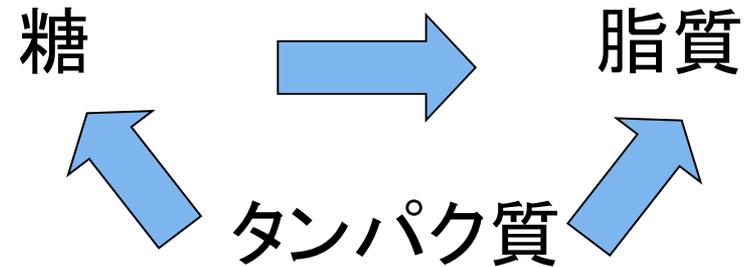


熱

栄養素の種類

- 3大栄養素: エネルギー源

- 糖(炭水化物)
- 脂質
- タンパク質
 - アミノ酸



過剰摂取分は脂肪になる

- ビタミン
- 無機質(ミネラル)

タンパク質

- 細胞の構造
- 酵素
- ホルモン
- 人体固形成分の47-54%
- 生体は20種類のアミノ酸からできている
- うち、必須アミノ酸(9種)
 - 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

糖(炭水化物)

- 単糖類:
 - ぶどう糖(グルコース)
 - 果糖(フルクトース)
 - ガラクトース
- 二糖類:
 - ショ糖(スクロース)
 - 麦芽糖(マルトース)
 - 乳糖
- 多糖類:
 - デンプン(アミロース)
 - グリコーゲン

脂質(脂肪)

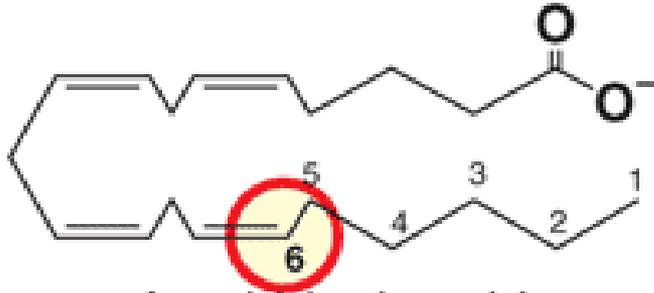
- トリアシルグリセロール
 - グリセリン1分子＋脂肪酸3分子
 - 脂肪酸の種類で性質が決定
- リン脂質
- 糖脂質
- コレステロール

- 脂肪酸 R-COOH
 - 飽和脂肪酸
 - パルミチン酸、ステアリン酸など
 - 不飽和脂肪酸
 - オレイン酸、リノール酸、リノレン酸、アラキドン酸

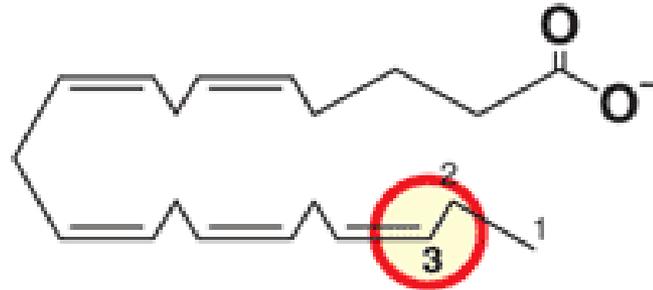
脂肪酸の分類

- 飽和: 炭素間の二重結合なし
- 不飽和: 二重結合あり
 - 二重結合の数で分類
 - 1個
 - 複数
 - 二重結合の位置で分類
 - n-6
 - n-3
 - 二重結合に対する配置で分類
 - シス型: 植物油、魚油ではほぼすべて。乳製品にはわずか
 - トランス型: 人工的に飽和化(水素添加)した脂肪酸に多く含まれる

n-6, n-3不飽和脂肪酸



Arachidonic acid
(20:4, n-6)
found in seed oils



Eicosapentaenoic acid (EPA)
(20:5, n-3)
found in fish oils

アラキドン酸

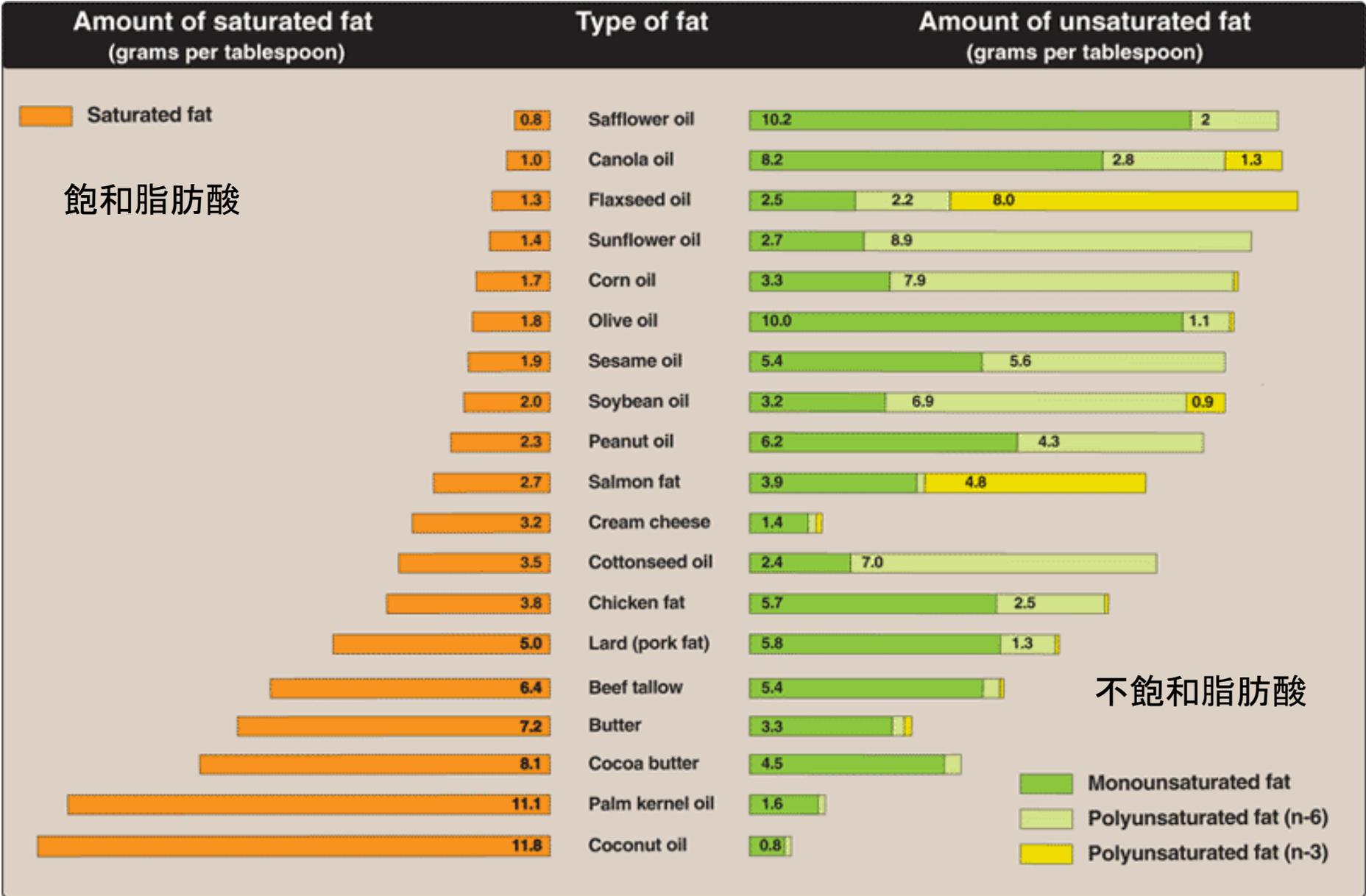
n-6

種子油

エイコサペンタエン酸

n-3

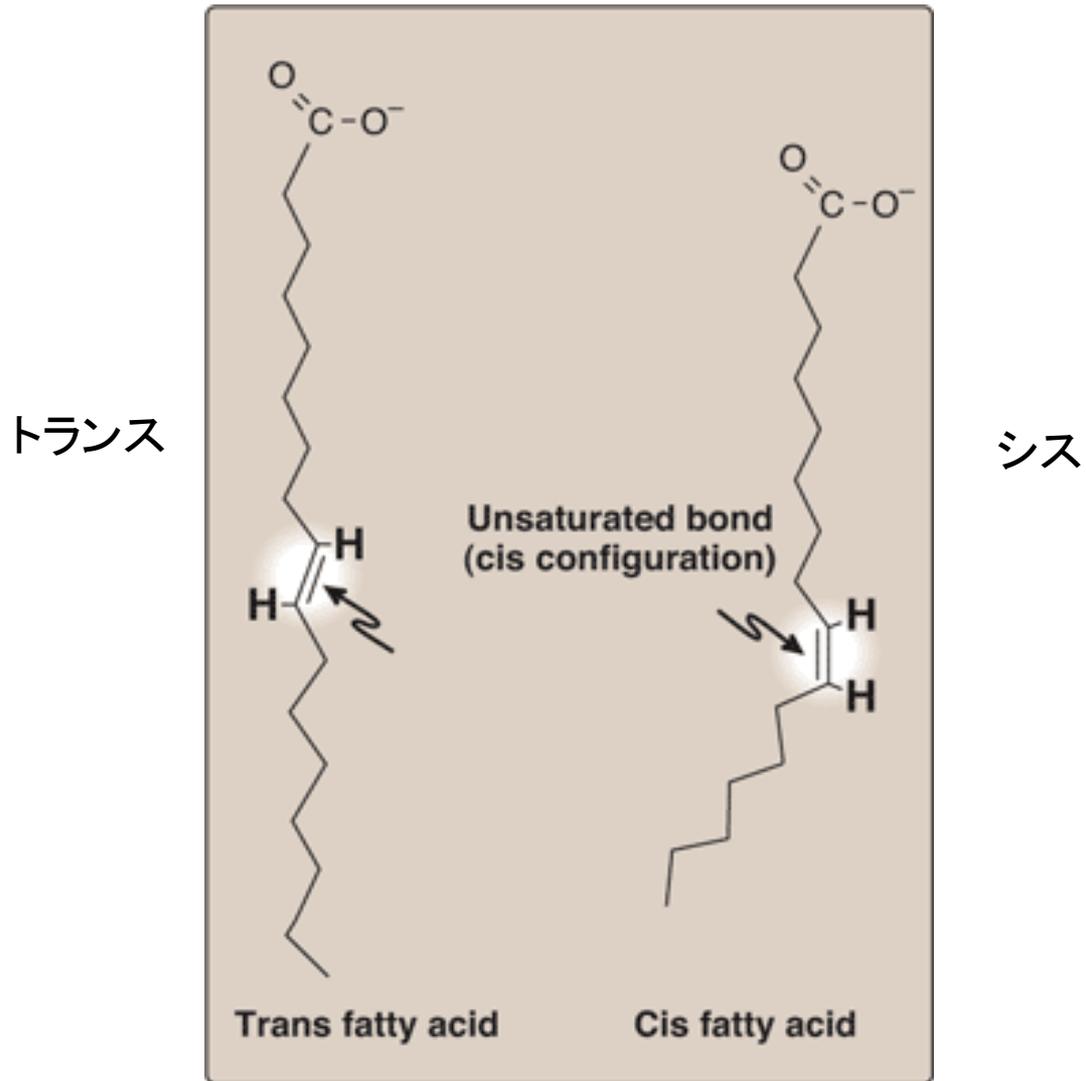
魚油



飽和脂肪酸

不飽和脂肪酸

トランス/シス脂肪酸



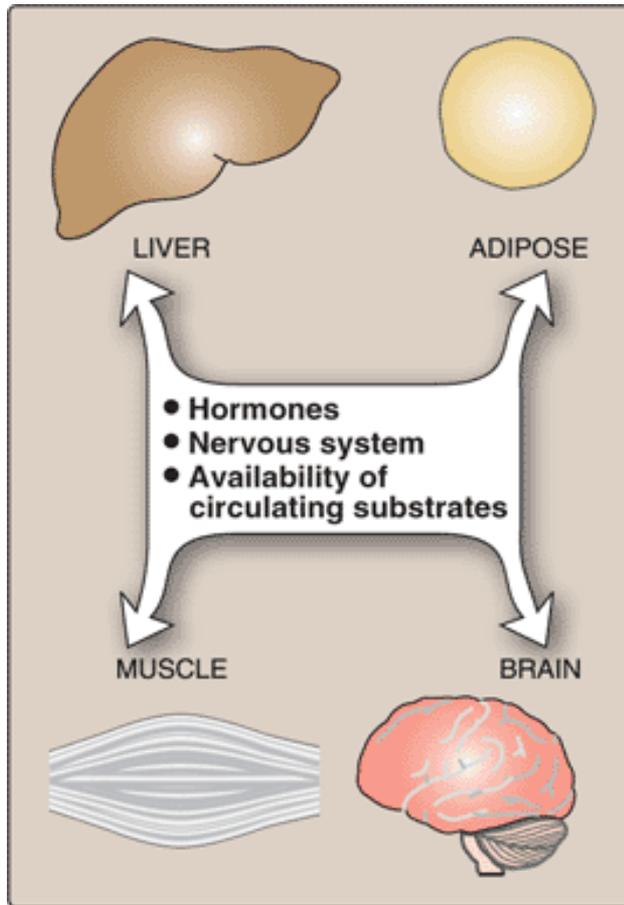
タンパク質代謝：常に補給が必要

- アミノ酸の蓄積はできない
 - 余分なアミノ酸は脂肪になる。
- 毎日20－30g程度分解され、新たに合成される
 - 動的平衡：絶えず交代している状態

糖新生：糖類はつくられ続けなくてはならない

- 脳は、グルコース(ブドウ糖)を主要なエネルギー源とする。
- 血液中のグルコース濃度(血糖)を維持する必要がある。
 - 50mg/dl未満：低血糖→どうき、冷や汗、脱力、頭痛、視覚障害、意識障害
- タンパク質→アミノ酸→グルコース
 - アミノ酸からグルコースへ：肝臓で行われる。糖新生。

肝・脂肪組織・筋・脳が代謝の主役



相互に関連

ホルモンによって

インスリン
グルカゴン

自律神経系によって

血液中を循環する代謝物の
レベルによって

インスリン

膵臓のランゲルハンス島

β 細胞

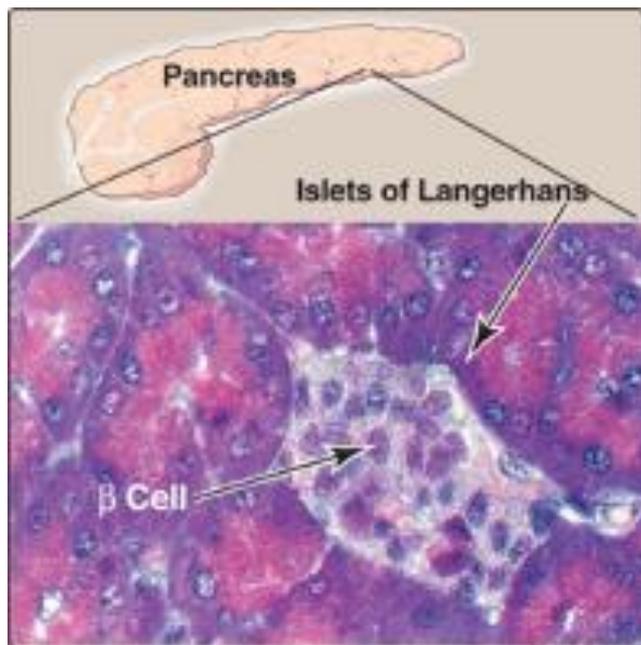
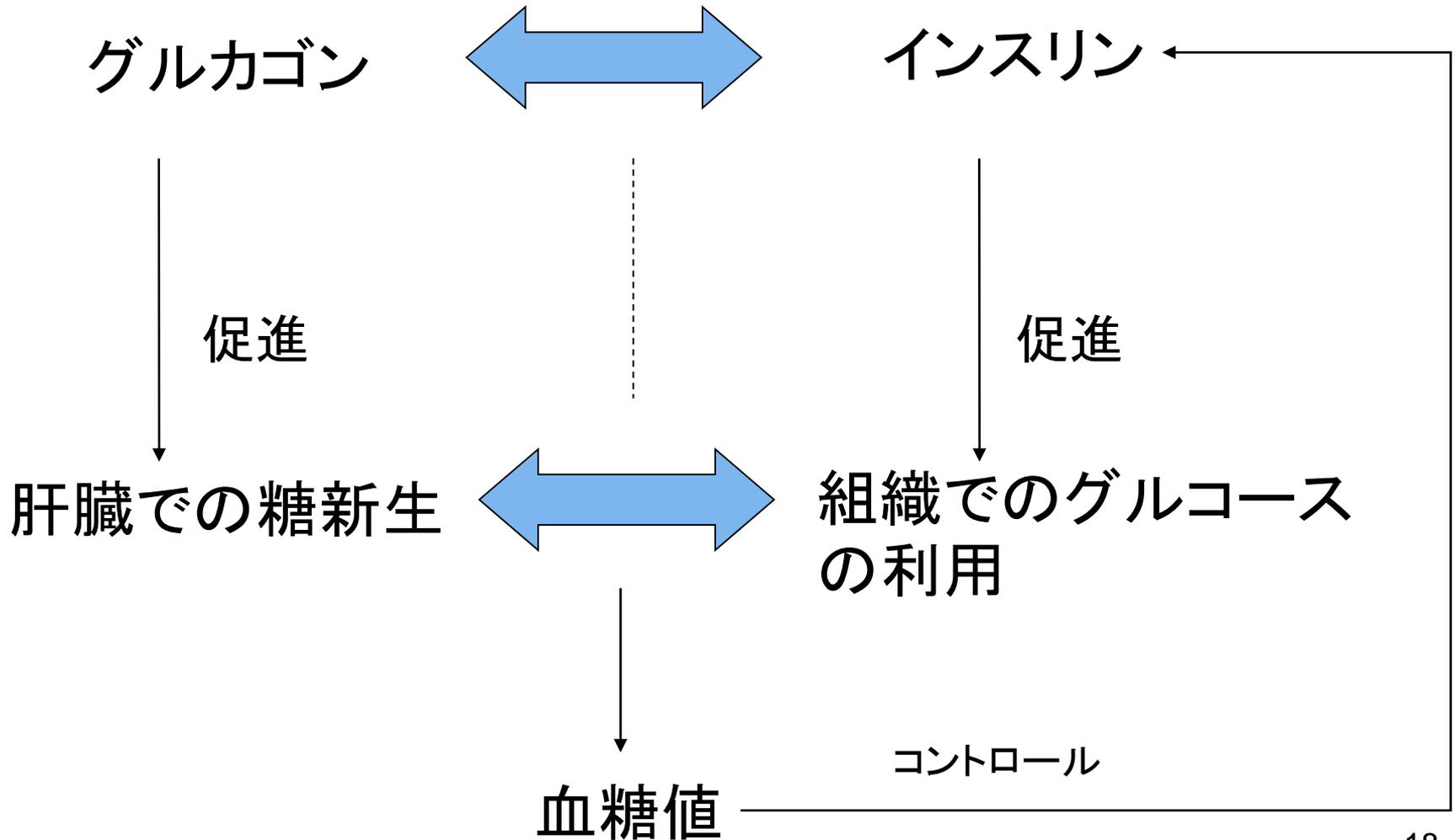


図23. 2

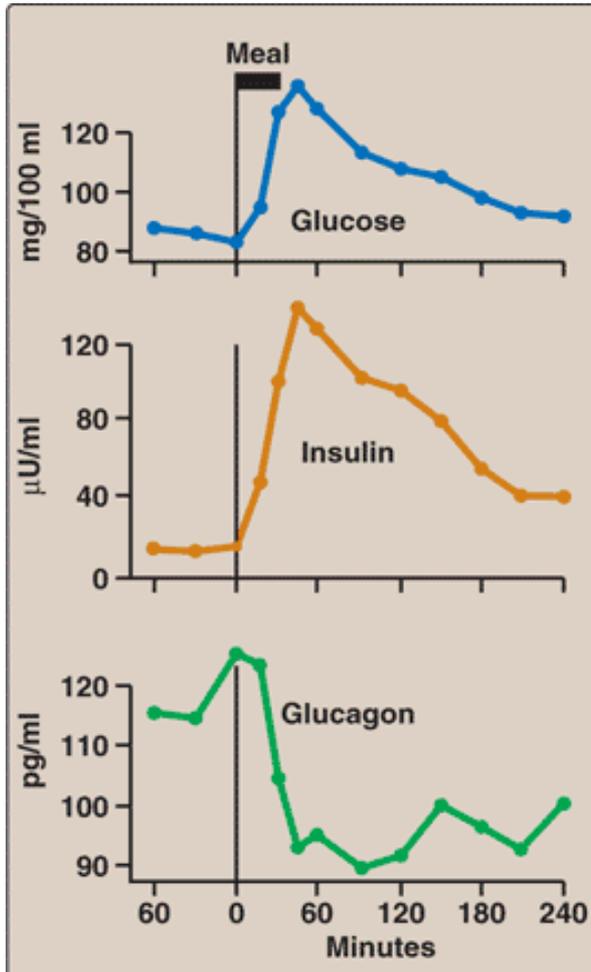
代謝へのインスリンの効果

- 炭水化物代謝: エネルギーの貯蔵(肝、筋、脂肪組織)
 - グリコーゲン合成の増加(肝、筋)
 - 血中からのグルコース取り込みの増加(筋、脂肪組織)
 - 糖新生とグリコーゲン分解の抑制(肝)
- 脂質代謝
 - トリアシルグリセロール(TAG)分解の減少
 - TAG生成の増加
- タンパク質合成の増加

インスリン分泌の調節



グルカゴンとインスリンの拮抗する効果

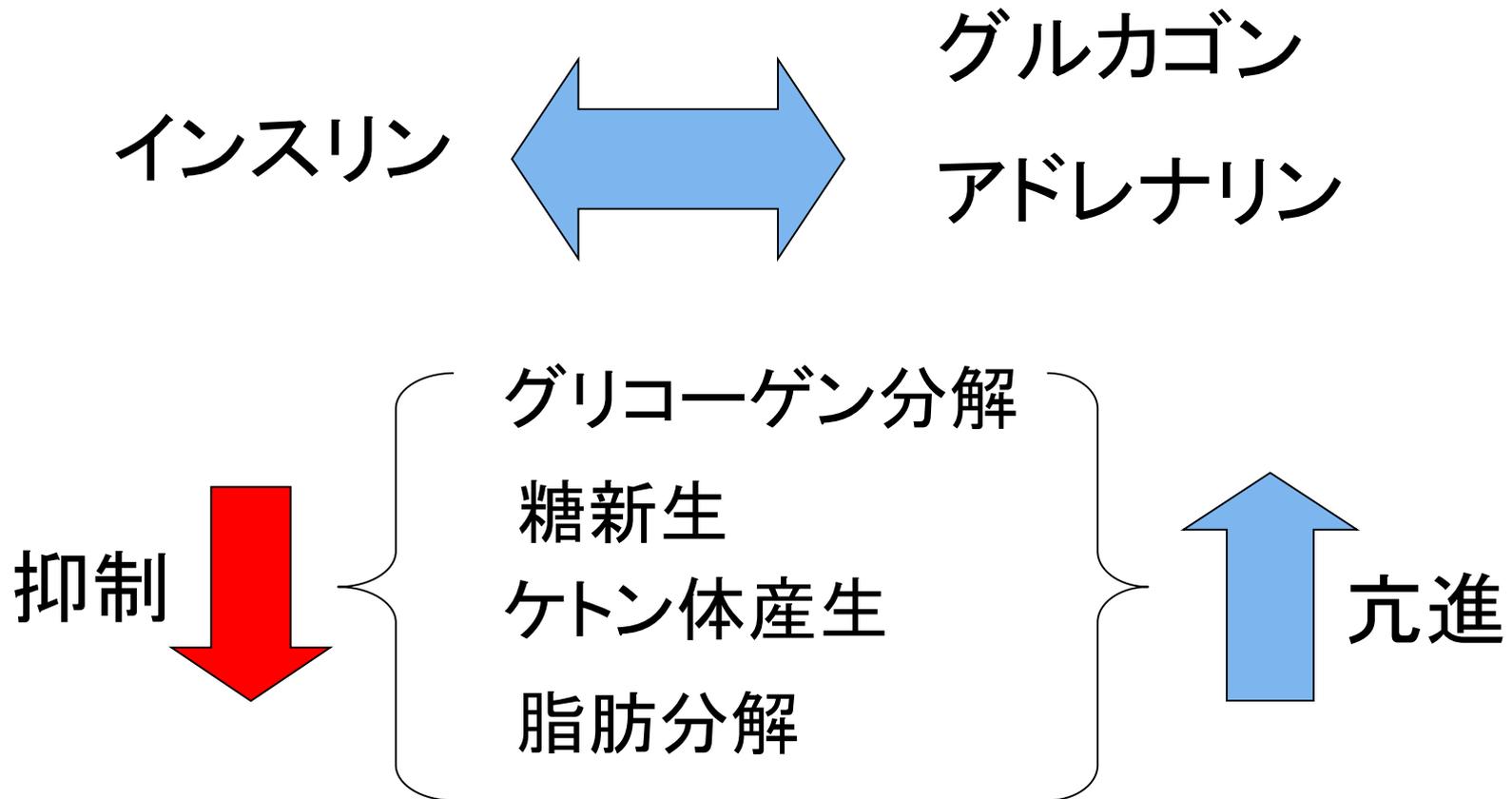


高炭水化物食を摂取後の、血糖(上)、
インスリン(中)、グルカゴン(下)の変動

インスリンの分泌は、血中グルコース
濃度の増加がひきがねとなって起こる

図23. 5

グルカゴンのはたらき



グルカゴンの代謝への効果

- 炭水化物代謝：肝臓への作用
 - グリコーゲン分解の亢進
 - 糖新生の亢進
- 脂質代謝：脂肪組織への作用
 - 脂肪分解の亢進→血中脂肪酸の増加
 - →肝臓でのケトン体の産生亢進
- タンパク質代謝：肝臓への作用
 - 血中からのアミノ酸回収の亢進
 - →糖新生の亢進
 - →血中アミノ酸濃度の低下

肝臓の機能

- ブドウ糖(グルコース)からグリコーゲンをつくり、貯蔵する。
 - 血中グルコースの不足→グリコーゲンをグルコースに分解して血液中に送り出す
- 血漿タンパクをつくる: アルブミン、フィブリノゲンなど
- アミノ酸を分解し尿素と有機酸をつくる
 - 有機酸はクエン酸回路に投入→一部は糖新生へ
- 脂肪酸の分解
- コレステロールをつくる
- ホルモンの分解(エストロゲンなど)
- 胆汁の分泌
- 有毒物質の無毒化、胆汁内への排泄
- フィブリノゲン、フィブリン(血液凝固因子)をつくる
- 血液の貯蔵
- ビタミンの貯蔵

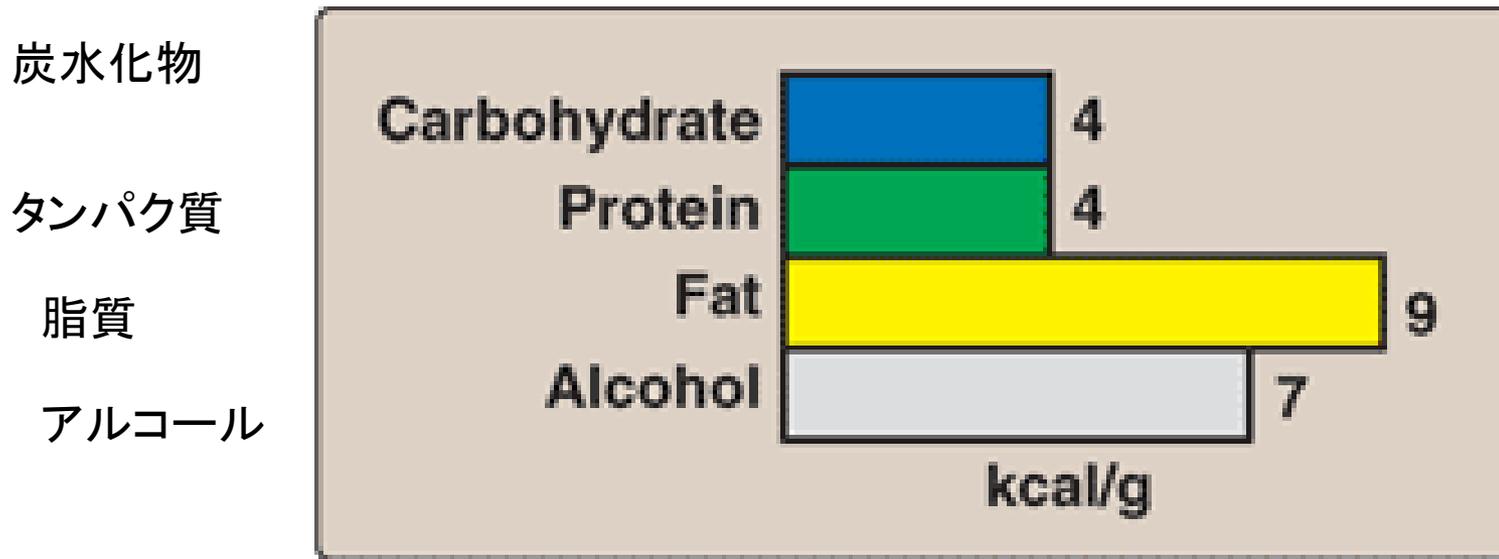
アルコール(エタノール)は糖新生を抑制する

- エタノール→アセトアルデヒド→酢酸
 - アルコールデヒドロゲナーゼによる脱水素反応
 - NAD⁺が水素原子を受け取ってNADHになる
 - 細胞質のピルビン酸がNADHから水素原子を受け取って乳酸となる。
 - NADHは細胞質からミトコンドリアに「シャトル」(リンゴ酸-アスパラギン酸シャトル)を用いて運ばれる。細胞質のオキサロ酢酸が消費される。
- NADH過剰状態→細胞質のオキサロ酢酸、ピルビン酸の減少→糖新生の抑制
- インスリン使用中の患者ではとくに危険

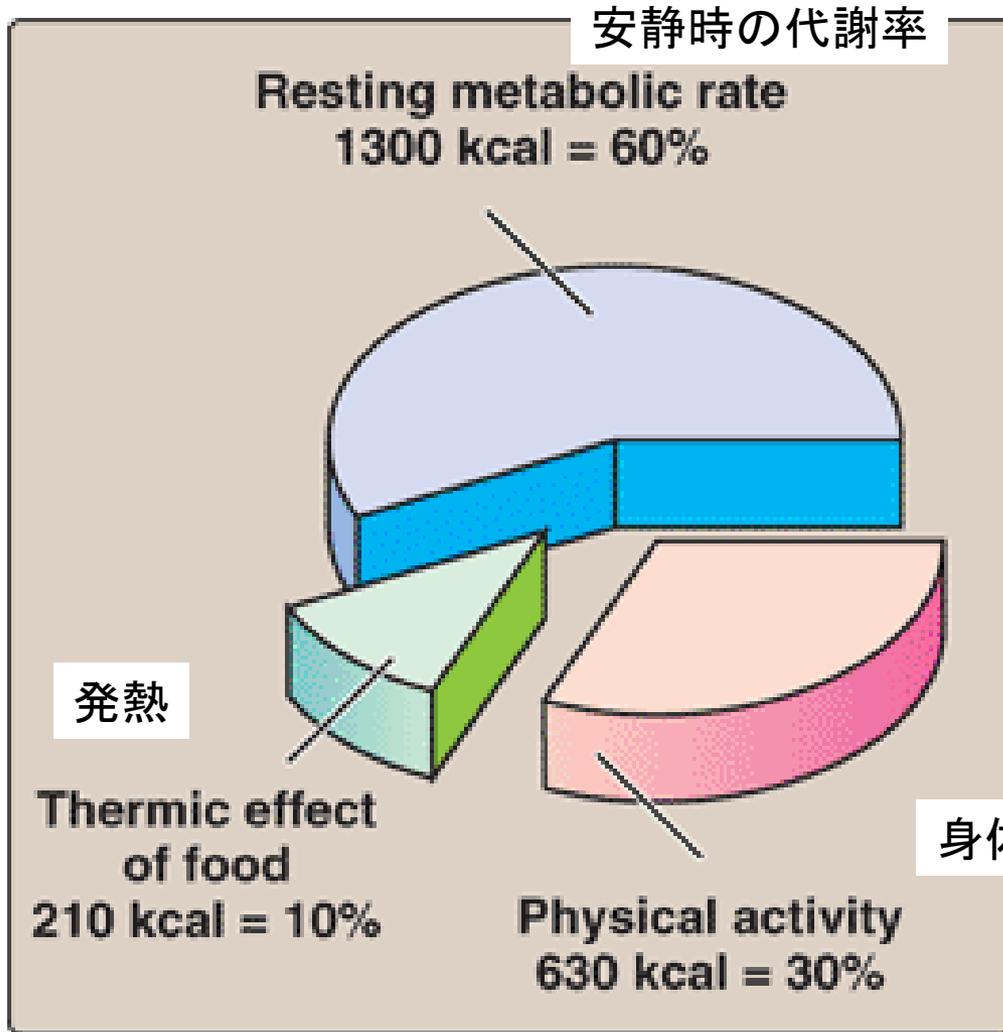
エネルギーの所要量

- 正確に予測することは困難
- おおまかな指標として、成人では
 - 体重の維持に、30kcal/kg/日は必要
 - 普通に活動する生活では、35kcal/kg/日
 - 活発に活動する生活では、40kcal/kg/日

食物のエネルギー含有量



エネルギーの用途



← 20歳女性, 165 cm (5 feet, 4 inches), 50 kg (110 lb), 軽作業.

安静時の代謝率: 70kg男性では1,800kcal

安静時の代謝率はエネルギー消費の50-70%を占める。

必要摂取量：3大栄養素

- 推定エネルギー必要量：2,650kcal（男,18-29歳）、2,050kcal（女,18-29歳）
 - 過剰摂取と過小摂取のリスクの合計が最小になる点
- タンパク質：60g（男性）、50g（女性）（いずれも推奨量）
- 総脂質：20-30 %総エネルギー（男女,18-29歳）（目標量）
- 炭水化物：50-70%総エネルギー（男女,18-29歳）（目標量）

厚生労働省 食事摂取基準 2005年版

<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2004/11/h1122-2.html>

から「別添」参照

主要栄養素(macronutrient)の所要量

- Acceptable Macronutrient Distribution Ranges (AMDR): 主要栄養素許容範囲
 - 必要な量を満たしていて、かつ、過剰摂取による慢性疾患の発生のリスクが低いような摂取量の範囲

主要栄養素許容範囲

MACRONUTRIENT	RANGE (percent of energy)
Fat	20–35
n–6 Polyunsaturated fatty acids	5–10
n–3 Polyunsaturated fatty acids	0.6–1.2*
(Approximately ten percent of the total fat can come from longer-chain, n–3 or n–6 fatty acids.)	
Carbohydrate	45–65
● No less than 130 g/day	
(No more than 25 percent of total calories should come from added sugars.)	
Fiber	
● Men: 38 g	
● Women: 25 g	
Protein	10–35

脂質（総エネルギー摂取量の）20-35%

n-6 多価不飽和脂肪酸 5-10%

n-3 多価不飽和脂肪酸 0.6-1.2%

(総脂質のおよそ10%は、長鎖、n-3, n-6脂肪酸から摂取しても良い)

炭水化物 45-65%

130g/日 以上

(砂糖からのエネルギーは総エネルギーの25%以下に抑える必要がある)

食物繊維

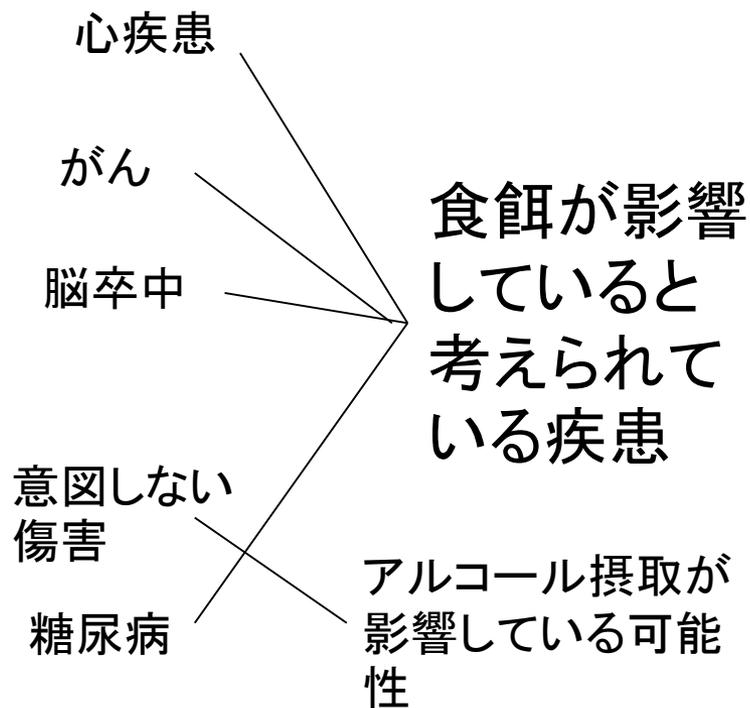
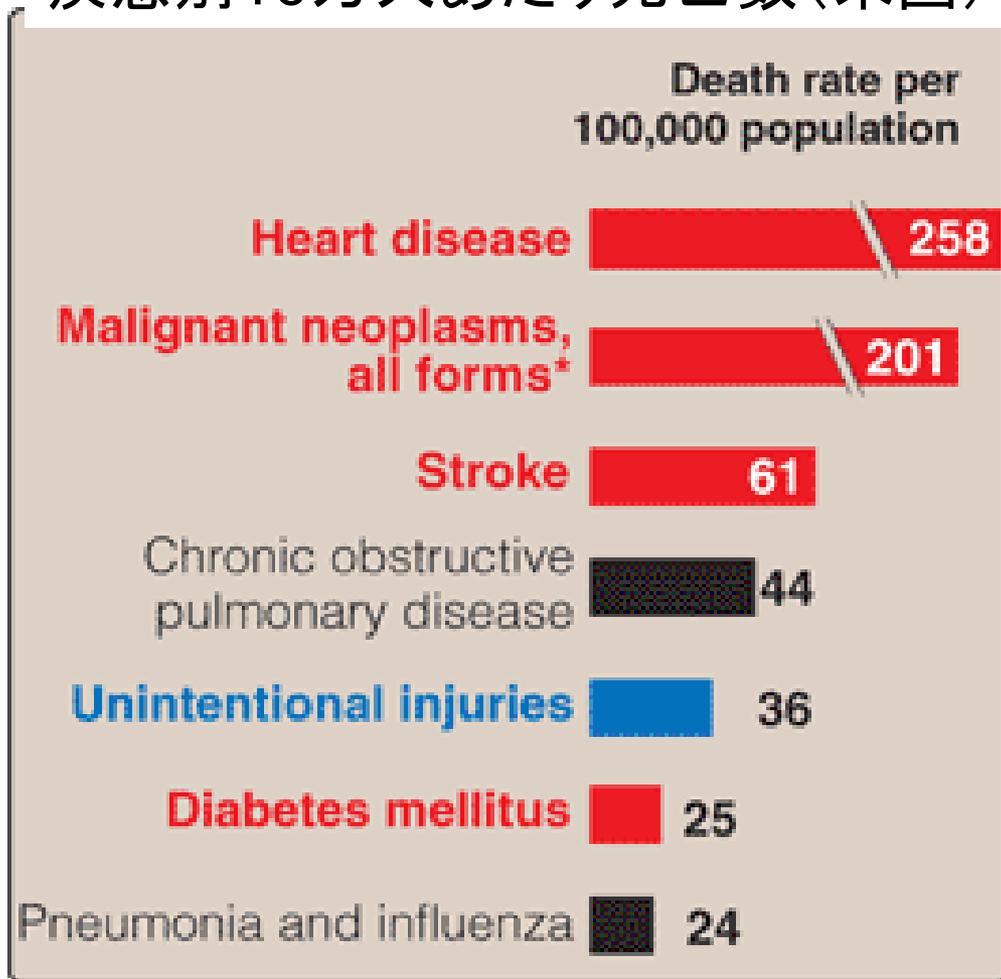
男性： 38g, 女性： 25g

タンパク質 10-35%

イラストレーテッド生化学 図27.7

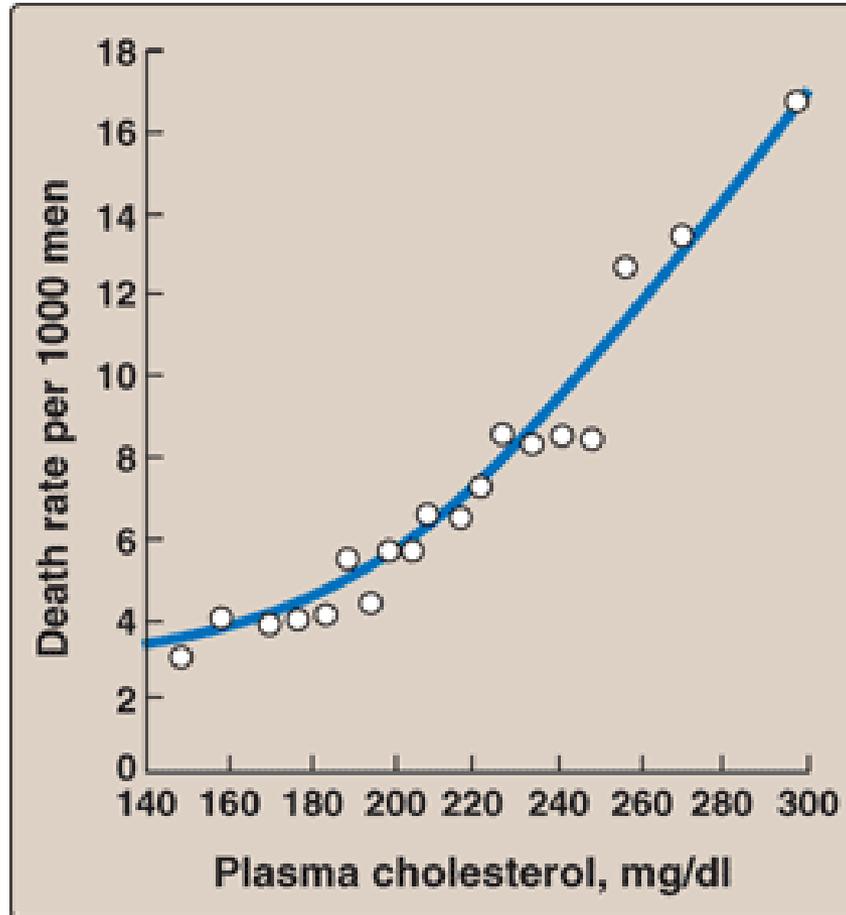
疾患と食餌

疾患別10万人あたり死亡数(米国)



血中コレステロールと死亡率との関係

男性1000
人あたり死
亡率(年齢
で補正)



高コレステロール血症が
関係するもの

動脈硬化

高血圧

脳卒中
(急激な脳血管障害)

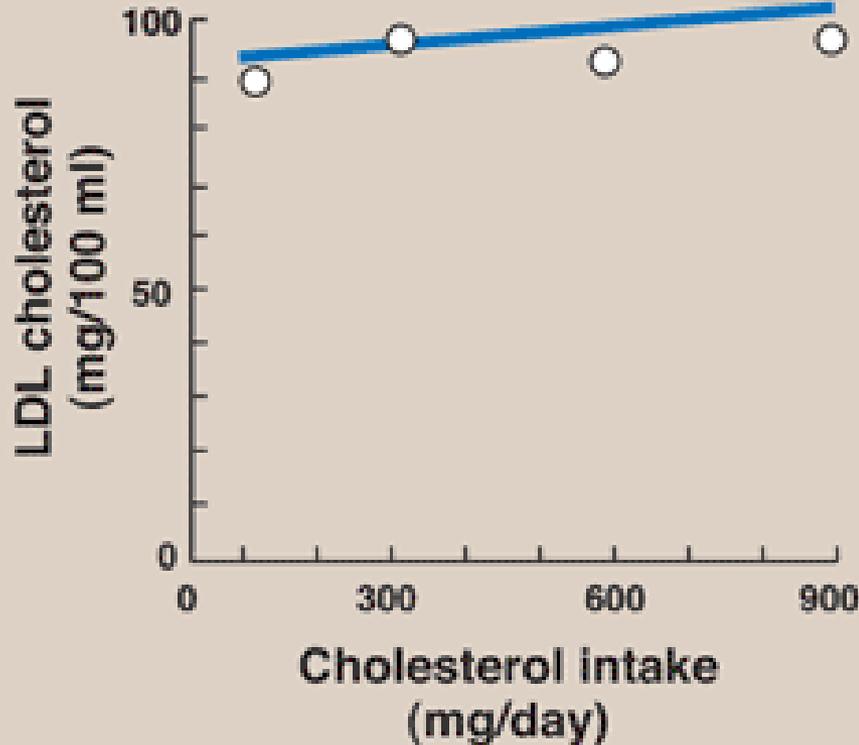
心筋梗塞

血漿コレステロール濃度 (mg/dl)

コレステロール摂取の効果

食餌として摂取したコレステロールは
血漿濃度にほとんど寄与しない。

血漿LDL
コレステロール
mg/dL



肝臓で作られるコレステロールがより強く影響する。

すなわち、むしろ、総摂取カロリーと脂質摂取のありかたが血中コレステロール濃度を決定すると考えられる。

イラストレーテッド生化学 図27.14

コレステロールの摂取量 (mg/日)

飽和脂肪酸

- 種類によって、血中コレステロール値を上げるはたらきが違う
 - 炭素数14(ミリスチル酸)、16(パルミチン酸)の脂肪酸が、最も血漿コレステロール上昇効果がある。
 - 炭素数18(ステアリン酸)のものは、コレステロール上昇効果が小さい

不飽和脂肪酸

- 二重結合が1個の不飽和脂肪酸(一価不飽和脂肪酸)で飽和脂肪酸を置き換えると、総コレステロールとLDLコレステロールを下げ、HDLコレステロールを上げる働きがある。

脂質の冠動脈疾患への影響

脂質の種類	代謝への影響	疾患予防効果
TYPE OF FAT	METABOLIC EFFECTS	EFFECTS ON DISEASE PREVENTION
トランス脂肪酸	↑ LDL ↓ HDL	冠動脈疾患(CHD)の発生率を上げる
飽和脂肪酸	↑ LDL Little effect on HDL	CHD発生率上げる。前立腺がん、大腸がんも発生率上げる可能性。
一価不飽和	↓ LDL ↓ HDL	CHD発生率下げる
多価不飽和, n-6	↓ LDL ↓ HDL Provides arachidonic acid which is an important precursor of prostaglandins and leukotrienes	CHD発生率下げる
多価不飽和, n-3	Little effect on LDL Little effect on HDL Suppress cardiac arrhythmias, reduce serum triacylglycerols, decrease the tendency for thrombosis, lower blood pressure	CHD発生率下げる 心臓が原因の突然死のリスクを下げる

イラストレーテッド生化学 図27.15

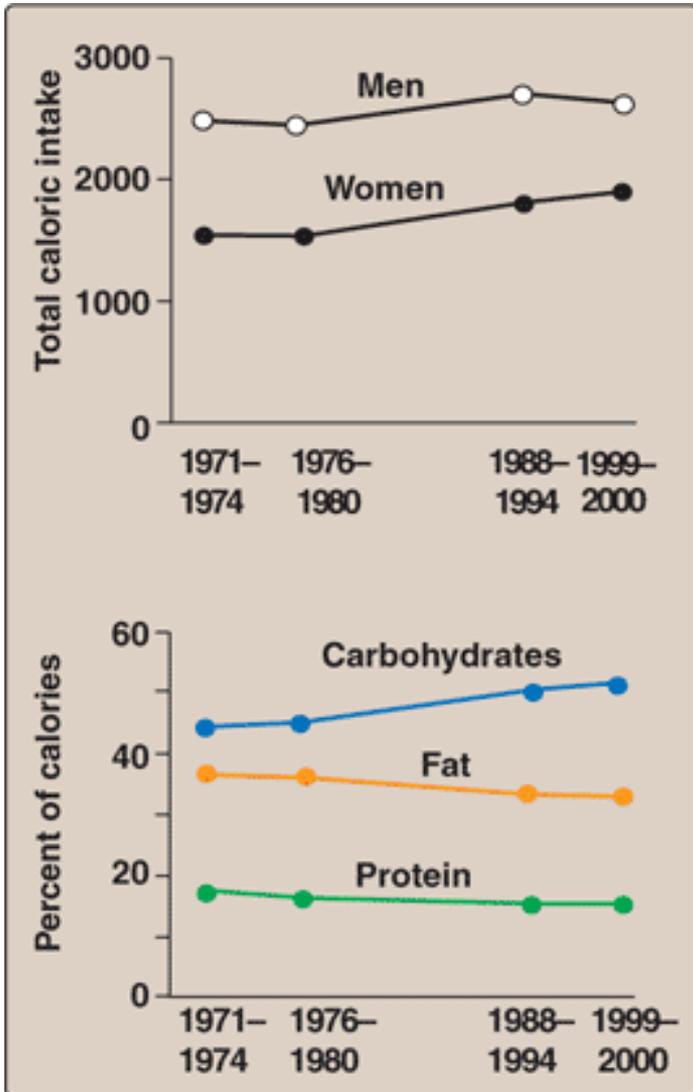
冠動脈疾患に関係するその他の食品

- 大豆タンパク
 - 25–50gの摂取→高コレステロール血症患者の血漿LDLコレステロールを10%低下させる
- アルコール飲用

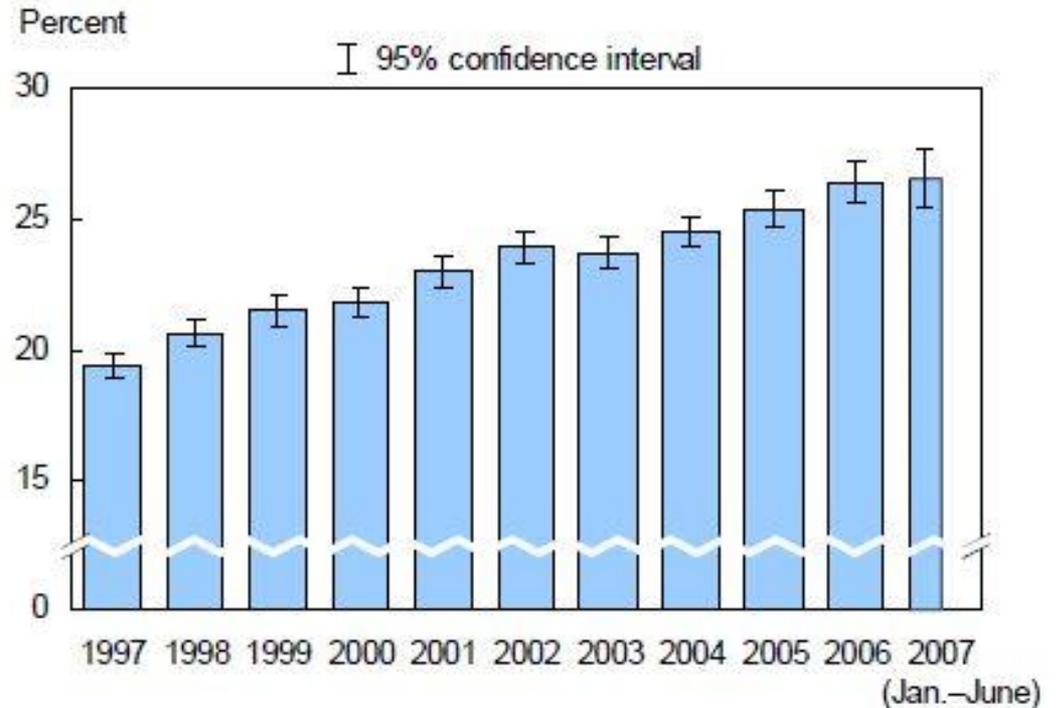
栄養状態の指標

- 体重、とくにBody Mass Index (BMI)
 - 身長を t [m]、体重を w [kg]としたとき、BMIは
 - w/t^2
 - で表される。
 - 日本肥満学会の基準: BMIが22の場合が標準体重。BMIが25以上の場合を肥満、BMIが18.5未満である場合をやせとする。
- 血清総タンパク
 - 6.5-8.0g/dl
- 血清アルブミン濃度
 - アルブミン: 肝臓でつくられる主要なタンパク
 - 4.0-5.0 g/dl

成人の主要栄養素摂取量(米国)



肥満 (BMI \geq 30) 成人の割合の20年間の推移:
合衆国, 1997-2007/7

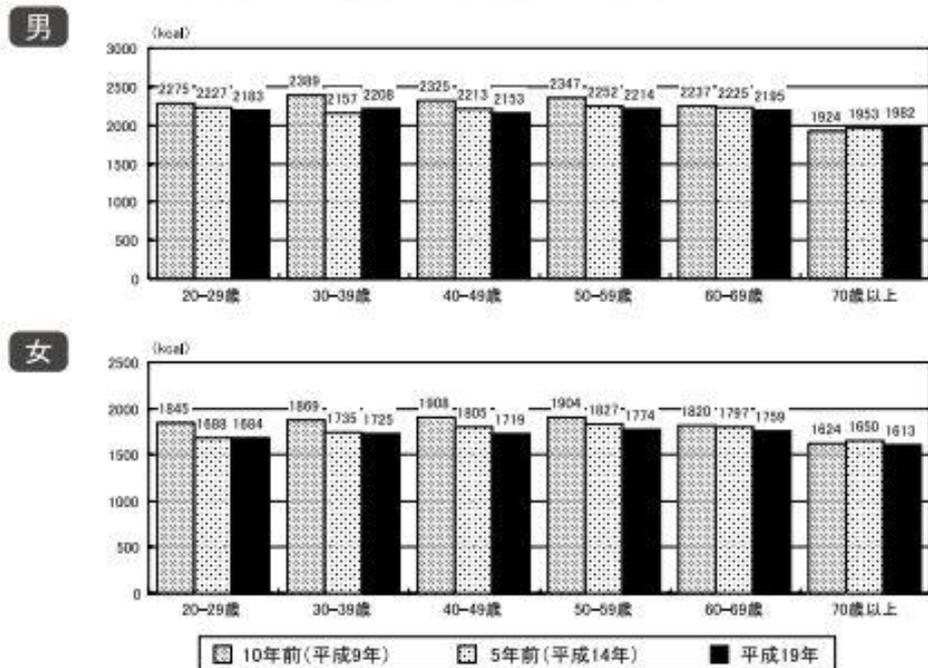


Early Release of Selected Estimates Based on Data From the January-June 2007 National Health Interview Survey (12/2007), CDC NCHS, 2007-11-19, <http://www.cdc.gov/nchs/data/nhis/earlyrelease/200712_06.pdf>.

日本の国民栄養調査(平成19(2007)年) にみる成人の主要栄養素摂取量

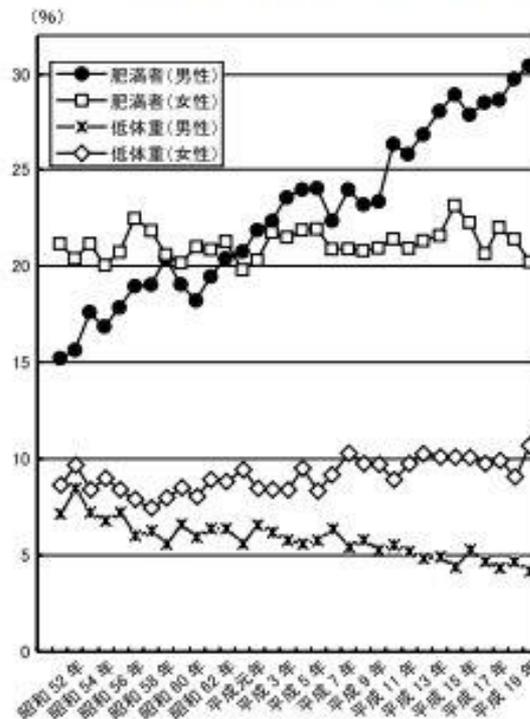
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2008/12/dl/h1225-5d.pdf>

図 22 エネルギー摂取量の平均値の年次推移 (20 歳以上)



平均エネルギー摂取量はエネルギー必要量より少なく(!)、減少傾向。各年齢階層で400~500kcal男性のほうが摂取量が多い。

図 9-2 肥満とやせの状況の推移 (20 歳以上)



ただし、BMI 18.5未満がやせ、BMI25以上が肥満。米国との基準の違いに注意。女性のやせの割合の増加傾向、男性の「肥満」の割合の急増に注意。

低栄養：エネルギーの不足

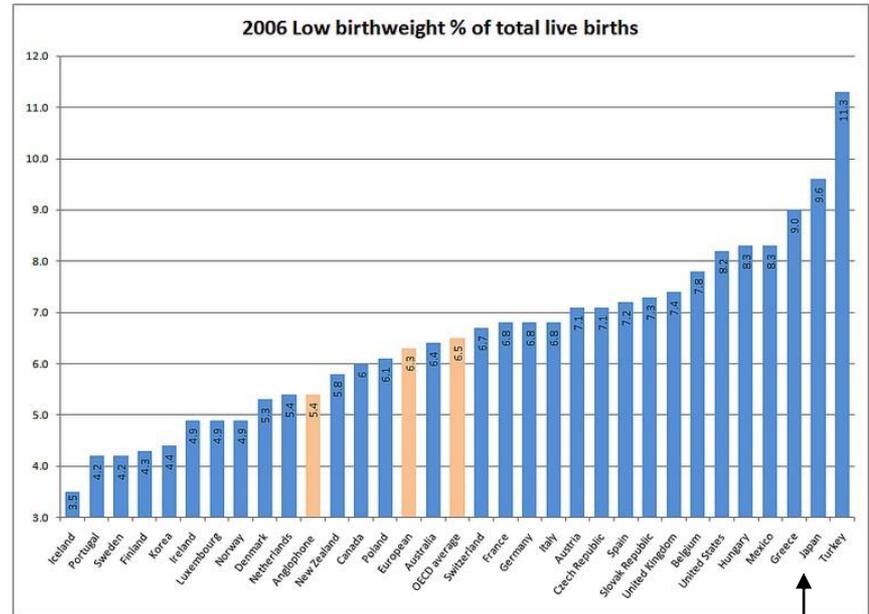
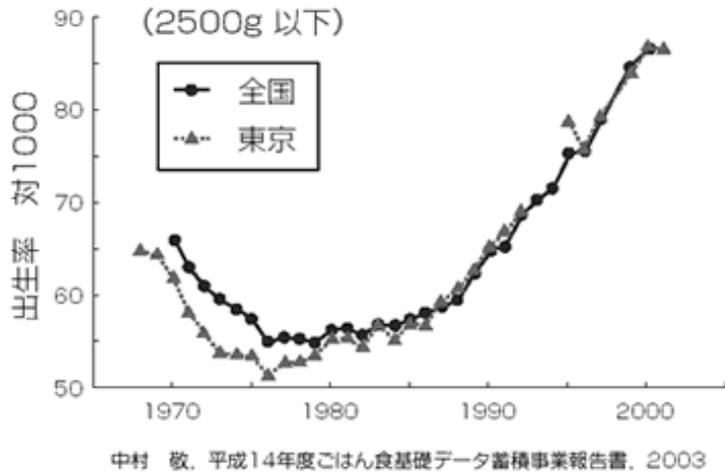
- 飢餓
- 食餌摂取不能
- 食餌摂取の意図的な制限
 - ダイエット
- 食餌摂取意欲の低下

高齢者の低栄養問題

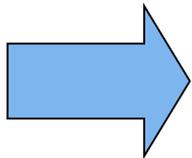
- Aさん(85)は以前、魚の生臭さが嫌いで、入れ歯で硬いものが食べづらく、肉も少ししか食べなかった。
- 数年前に足の骨を折ったこともあり、歩く時にふらつき、外出もおっくうだった。
- しかし、1年前より健康になった、と実感している。「元気に生きる自信ができました」
- 今では積極的に散歩や買い物に出かける。
- 転機は、食生活を見直して栄養不足を防ぐ「低栄養予防プログラム」への参加だった。
- 主食は1食につき、ご飯茶わんに軽く1膳。6枚切りの食パンなら1枚。1日にとる動物性たんぱく質は、肉類60～70グラムと魚介類80グラム。さらに卵1個、牛乳コップ1杯(200ミリ・リットル)。大豆、海藻、イモ類、果物、油脂、緑黄色野菜もとる。
- 肉を調理前に生け花の剣山でたたき、かみやすくする、魚はバターで味付けする、など工夫する。
- 食べ物をよくかんで飲み込みやすくするため、口の動きを良くする体操や、全身の軽い筋力運動もした。

妊婦の低栄養が子に及ぼす影響

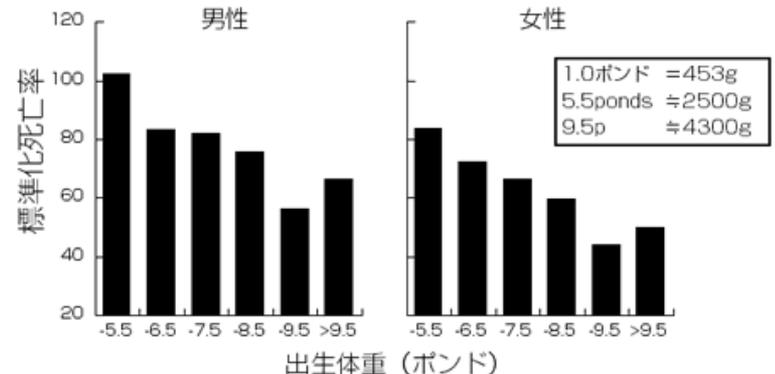
低出生体重児の増加



日本



高血圧、冠動脈疾患、II型糖尿病などの増加?



Osmond C. D. Barker, BMJ 307:1519,1993

ビタミンの種類

- 水溶性
 - ビタミンB1(チアミン)
 - 糖質代謝
 - ビタミンB2(リボフラビン)
 - 酸化還元酵素の補酵素
 - ニコチン酸
 - 酸化還元酵素の補酵素
 - ビタミンB6
 - アミノ酸代謝(アミノ基転移)
 - 葉酸
 - 核酸、アミノ酸代謝
 - ビタミンB12
 - アミノ酸、脂肪酸の代謝
 - ビタミンC(アスコルビン酸)
 - アミノ酸代謝など
- 脂溶性
 - ビタミンA
 - 視細胞のタンパク質(ロドプシン)を構成
 - ビタミンD
 - カルシウム吸収
 - 骨代謝
 - ビタミンK
 - 血液凝固

必要摂取量: ビタミン

- ビタミンB1: 1.4mg(男性)、1.1mg(女性)
- ビタミンB2: 1.6mg(男性)、1.2mg(女性)
- ニコチン酸: 15mg(男性)、12mg(女性)(ナイアシン当量)
- ビタミンB6: 1.4mg(男性)、1.2mg(女性)
- 葉酸: 240 μ g(男女)
- ビタミンB12: 2.4mg(男女)
- ビタミンC: 100mg(男女)

- ビタミンA: 750 μ g(男性)、600 μ g(女性)(レチノール当量)
 - 1 μ g レチノール当量 = 1 μ g レチノール = 12 μ g β -カロテン
- ビタミンD: 5 μ g(男女)
- ビタミンK: 75 μ g(男性)、60 μ g(女性)

ビタミン：欠乏症

- ビタミンA：夜盲症、眼球乾燥
- ビタミンB1：脚気、神経炎
- ビタミンB2：発育不全、栄養障害、口内炎、口角炎
- ニコチン酸：ペラグラ症
- ビタミンB6：脂漏性・剥離性皮膚炎
- 葉酸：貧血（巨赤芽球性貧血）
 - 妊婦では新生児に二分脊椎をおこしやすくなる
- ビタミンB12：悪性貧血
- ビタミンC：壊血病
- ビタミンD：くる病
- ビタミンK：出血傾向

脚気(vitamin B1 deficiency; beriberi) の症状

- 全身の倦怠感
- 食欲不振
- 下腿の浮腫(むくみ)やしびれ

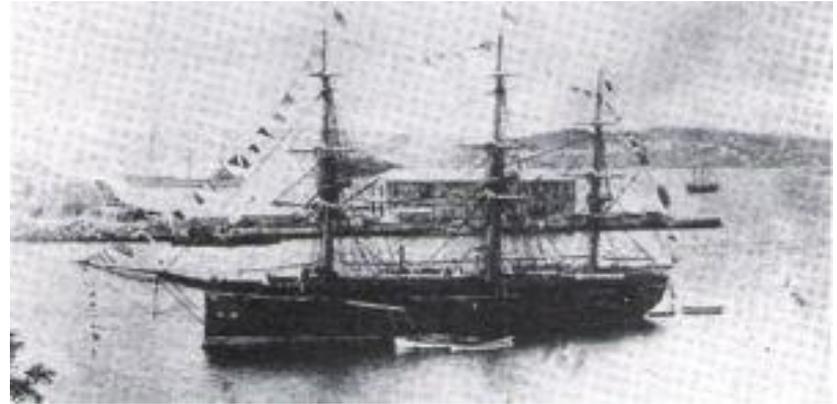


下腿浮腫の原因は他に心不全、腎不全、肝不全、血液の低タンパク、などがある。

脚気を疑いビタミンB1を与えることで改善すればそれが原因だと分かる。

海軍とビタミン欠乏症（壊血病、脚気）

- バスコ・ダ・ガマのインドへの航海は、片道だけで10ヶ月かかり、乗員約150人の、半数以上が壊血病（ビタミンC欠乏症）で死んだといわれている。
- エジンバラのイギリス海軍医リンドは壊血病患者がオレンジで治癒したと発表(1753)
- 1768-71年のキャプテン・クックの航海では、キャベツの酢づけを常備し、陸に着くたび新鮮な野菜を食べるようにし、壊血病死なし。



龍驤(りゅうじょう)（初代, 1864-1893）
1,429t

- 軍艦「龍驤」は明治15年(1882)の暮れから10カ月の航海に出た。
- この航海は乗員378名中169名に脚気（ビタミンB₁欠乏症）が発生し、内23名が死亡。

高木兼寛の推論と実験

- 脚気の原因は食餌だろう
 - 囚人、卒>下士>将校
 - 外国寄港地では発病なし。
- タンパク質不足が原因と推定
- 明治天皇から特別下賜金6万円を受け実施
- パン・肉・野菜
- 1884年、287日の航海で、脚気発病者は333人中14人、死者なし。
 - 14名のうち4名はコンデンスミルクを飲めないもの、8名は肉を食べないもの



筑波(初代, 1853-1905)
1,947t



高木兼寛
(1849-1920)

•パン食不評のため麦飯とする→1887年以降、海軍でほぼ脚気なし

脚気については、鈴木康弘「神経学の歴史2」
(<http://homepage3.nifty.com/sinkei/history2.htm>)などより。

ビタミン：過剰症をおこしやすいもの

- ビタミンA
 - 上限量：3000 μ g（レチノール当量、男女成人）
- ビタミンD
 - 上限量：50 μ g（男女成人）
- 上記はいずれも脂溶性ビタミン。
 - 水溶性ビタミンでは、ビタミンB6を治療目的で大量に長期間摂取した場合に過剰症がおこることがある。

ミネラル (1)

- Na: 細胞外液の主要な電解質
- K: 細胞内の主要な電解質
- Ca: 骨の主要成分
- Mg: 種々の補酵素の成分
- P: 骨の主要成分
- S: タンパク質を構成
- Cl: 細胞外液の主要な電解質。胃液の成分 (塩酸)。

ミネラル (2): 微量元素

- Fe: ヘモグロビンを構成。
 - 所要量: 7.5mg(男性)、6.5mg(女性、非月経時)、10.5mg(月経時)、20mg(妊婦)
- Cu: 血清セルロプラスミンに結合
- I: 甲状腺ホルモンに必要
- Zn: 酵素反応に関与
- F: 歯の形成
- Co: ビタミンB12に含まれる
- Mn: 酵素反応に関与