

老いない体のつくり方—骨粗鬆症を防ぐ

東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻
(医学系研究科兼任)

東京大学医学部附属病院ティッシュ・エンジニアリング部

鄭 雄一

‡:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

0. はじめに

この講義のねらい

情報の洪水に溺れないために

1. 骨と老化に関して基礎的知識を身につける
2. 論理的で現実的な考え方を身につける

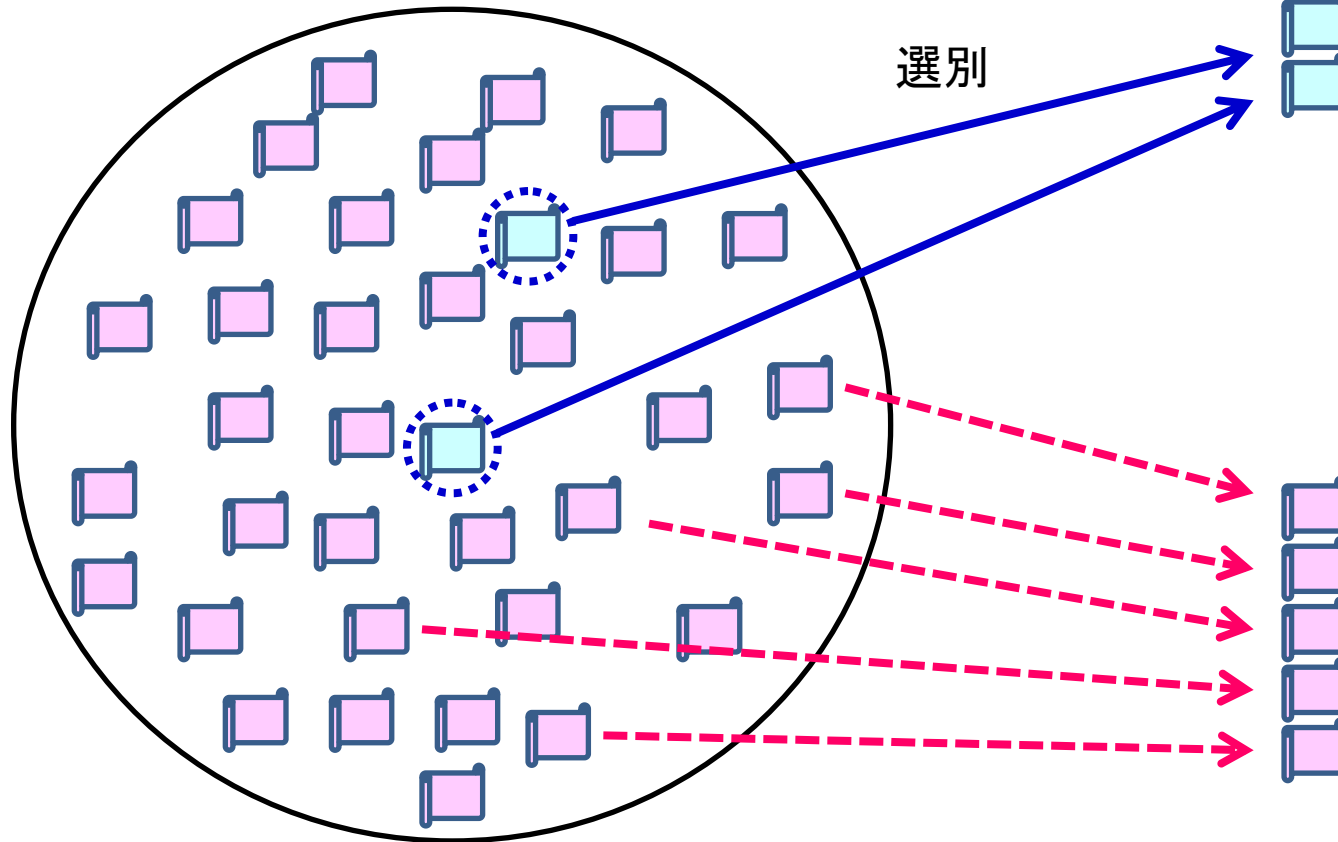
健康で豊かな人生
将来への正しい投資



正しい情報

老化に関する大量の情報

選別



誤った情報(迷信)

「情報の栄養失調」

時間↓
お金↓
健康↓

「人生の栄養失調」

1. 高齢化と骨の病気

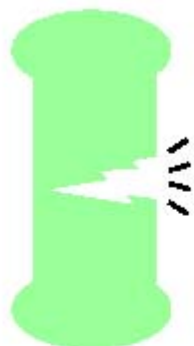
日本は高齢化先進国

- 世界でも有数の長寿国(2006年の統計で女性1位、男性2位)
- 100歳以上は2007年の統計で32,000人超、この10年間で4倍に
- 65歳以上の高齢者は2007年にすでに人口の22%

クオリティー・オブ・ライフ(QOL) を伴った長寿が重要

- 高齢化とともに病気も増加(80歳で平均8つ)
- 65歳すぎから健康な人は減り、
80歳後半になると半数以上が要介護・要医療に
- 単に年齢としての寿命を延ばすのではなく、
健康で活動的に暮らせる「健康寿命」を伸ばすことが大事
- 骨や軟骨の病気はQOL・健康寿命に大きく影響する

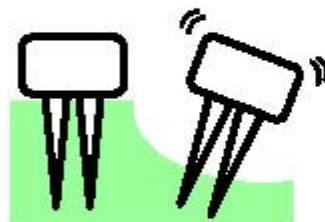
老化に伴う骨と軟骨の病気



骨粗鬆症

- ・ 骨の量が減って骨折しやすくなった状態
- ・ 人口の10%が罹患
- ・ 老人の寝たきりの10%の原因

少くく歩けなくなっても
どうってことないのでは？



歯周病

- ・ 歯を支える歯槽骨が細菌感染により溶ける病気
- ・ 高齢者人口の半分以上が罹患
- ・ 歯を失う原因の半分以上を占める



変形性関節症

- ・ 関節軟骨が変性を起こして、歩行が困難になる病気
- ・ 人口の10%が罹患
- ・ 老人の寝たきりの10%の原因

寝たきりのおそろしさ

廃用症候群

定義

長期間の安静で心身の活動性が低下することにより引き起こされる病的な状態

筋肉 : 1週間の安静で、約10%筋力低下

関節 : 3週間の安静で、硬くなり曲がりにくなる

骨 : 数日の安静で、骨吸収が始まる

心・肺 : 3週間の安静で、機能が10%以上低下

消化管 : 消化吸収機能低下、食欲低下、便秘

神経 : 平衡感覚低下、精神活動の低下

骨軟骨の病気で歩けなくなる



廃用症候群で心身機能低下



さらに動けなくなる



負のスパイラル
元に戻れなくなる

寝たきりの老人
多くが5年以内に亡くなる
80歳以上では1年以内

2. 生理的な老化と病的な老化

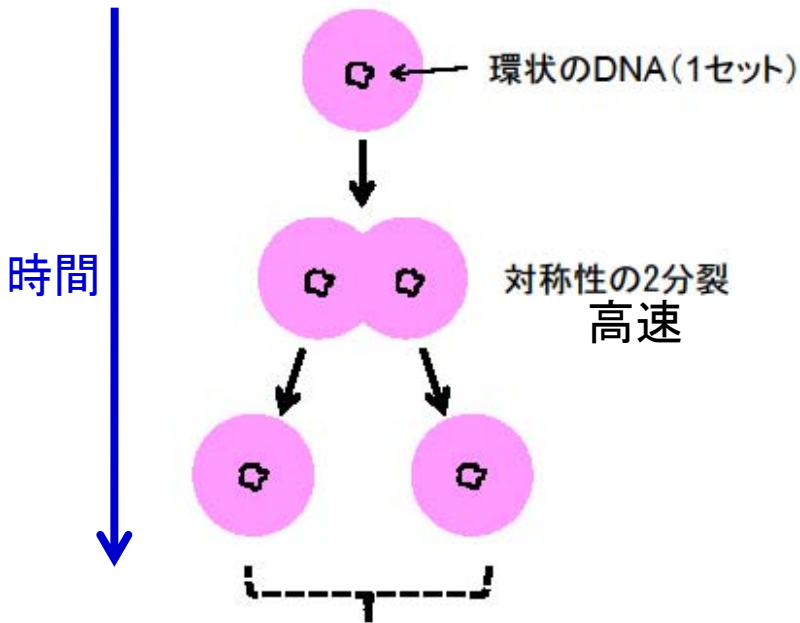
永遠の命をもつ生物が身近にいる

無性生殖をする単細胞生物
細菌など

最初の細胞と等価
永遠の命を持っている

約35億年

この過程を逆にたどる



* オリジナルとコピーの区別は不可能

- ・ 二つの細胞は等価
- ・ 世代間の区別がない

有性生殖をする多細胞生物



体細胞は分化して特殊な機能を担い
細胞の社会である個体を構成

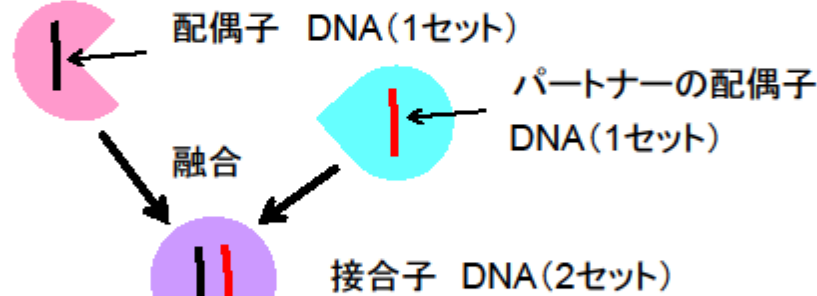
→世代を超える能力を放棄



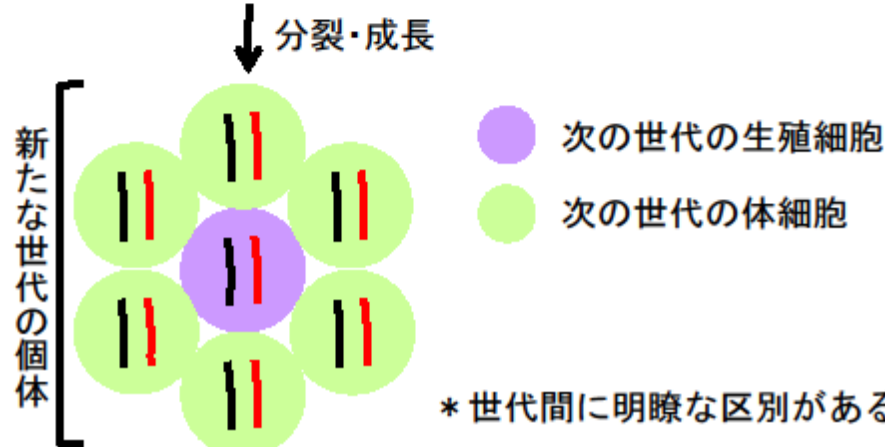
クローンである生殖細胞
を守り未来を託す

++

鄭建一(2010)、「老いない体」のつくり方、ワック株式会社、p.55



← 若返るための仕掛け



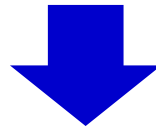
生殖細胞は
世代を超える

ヒトに永遠の命は可能か

細菌のように高速分裂したら？
全て生殖細胞にしたら？  分化する体細胞がいなくなり
「個体」は成立しない

万能細胞やiPS細胞であなた
のクローンを作ったら？  クローンはあなたとは違う個体

永遠の命とは個体の同一性を保ちながら永遠の時を超えること
個体を成り立たせているのは分化した体細胞

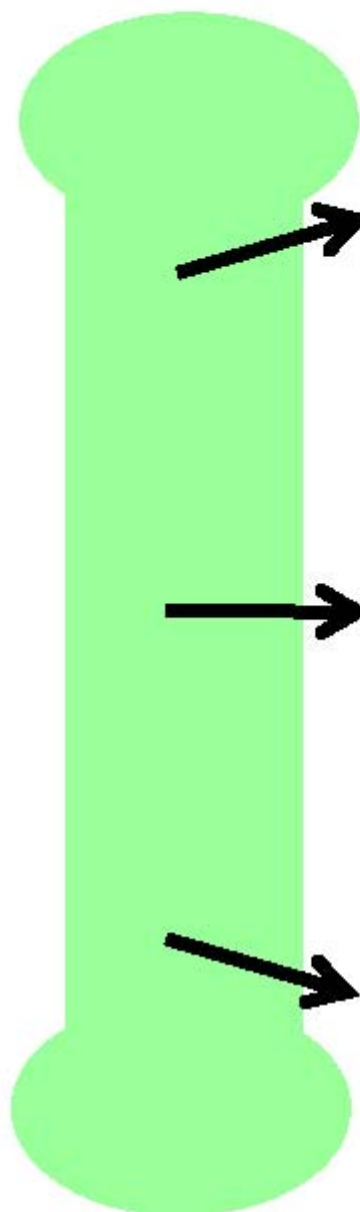


ヒトが細菌のように永遠に生きることは無意味かつ不可能

生理的な老化は避けられない、しかし、病的な老化は防げる

3. 骨の役割と構造

骨の仕事と仕組み



物理的な支持

- ・ 形の維持
- ・ 筋肉のてこ
- ・ 臓器の保護

特に容貌を決める

少しの変化で印象ががらりと変わる

筋肉の力を伝える

地上で効率よく動けるのは骨のおかげ

大事な臓器を守る

頭蓋骨が無かったら脳は四六時中危険

血液を造る

骨髄は血液のもととなる細胞のすみか

血中カルシウム濃度を一定に保つ

余分なときは貯蔵し、不足のときは放出

骨の仕事と仕組み

物理的な支持

- 形の維持
- 筋肉のてこ
- 臓器の保護

血液を造る

骨髄は血液のもととなる細胞のすみか

赤血球も白血球も血小板
も骨髄でできる
爬虫類以降に発達

血中カルシウム濃度を一定に保つ

余分なときは貯蔵し、不足のときは放出

骨の仕事と仕組み

物理的な支持

- 形の維持
- 筋肉のてこ
- 臓器の保護

血液を造る

骨髄は血液のもととなる細胞のすみか

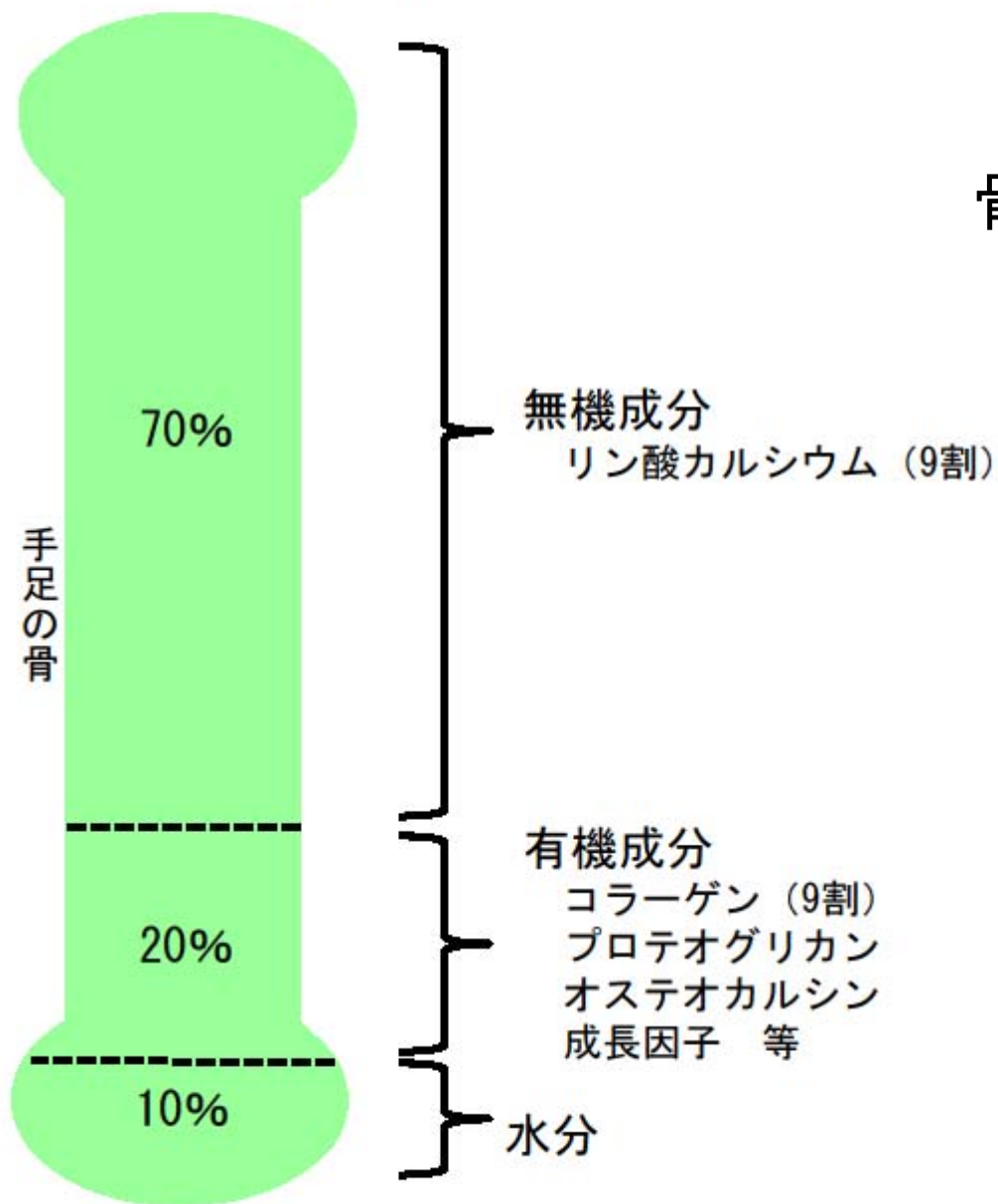
血中カルシウム濃度を一定に保つ

余分なときは貯蔵し、不足のときは放出

血中のカルシウム濃度は
生命維持に重要

濃度の維持は骨の健康よりも優先される

骨を構成する成分



骨は鉄筋コンクリートに似ている

→ セメントに相当
硬いが脆い



硬くて、しかもしなやか



→ 鉄筋に相当
しなやかだが柔らかい

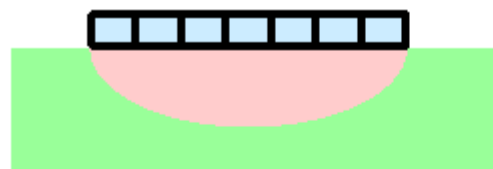
骨のリモデリング



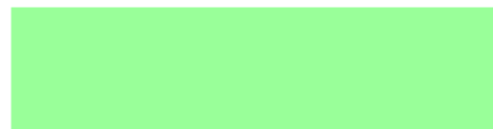
骨の小さな傷



破骨細胞が傷と
その周囲を分解吸収



骨芽細胞が新しい
骨で埋め直す



元通りに！

人工物では決してまねできない
仕組み

- 今この瞬間100万力所以上
- 大体10年で材料が入れ替わる
- 手入れが良ければ100年もつ

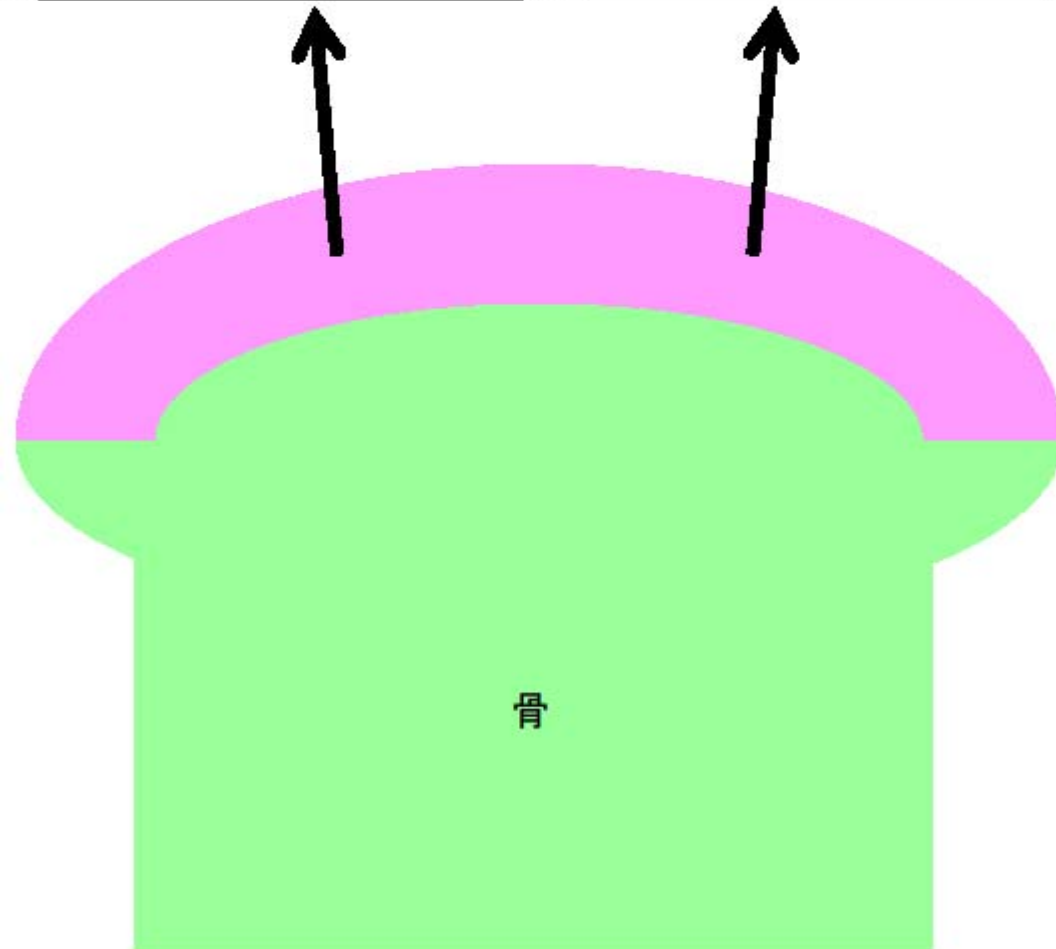
軟骨の仕事と仕組み

衝撃を吸収

- 骨のクッションの役割
- 驚異的な圧縮強度

可動性を与える

- 骨のちょうつがいの役割
- 驚異的な低摩擦（氷と氷の摩擦の10～100分の1）



■ 関節の軟骨は厚い所で
わずか5ミリ

■ その偉大さは無くなるとわ
かる
(痛み、腫れ、変形、運動障害)

軟骨の仕事と仕組み

骨と対照的ななりたち

水分

有機成分

コラーゲン (8割)
プロテオグリカン (2割)

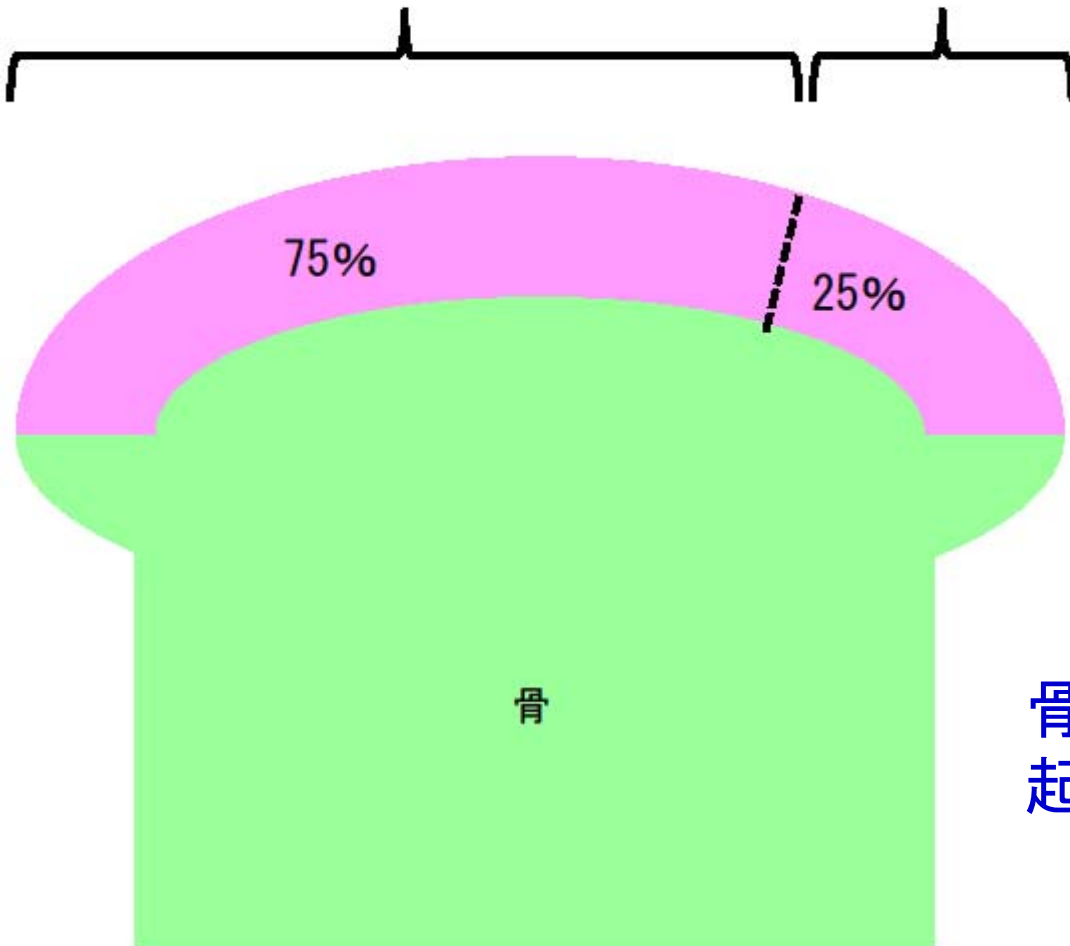
→ 保水性に優れる

一種のゲル



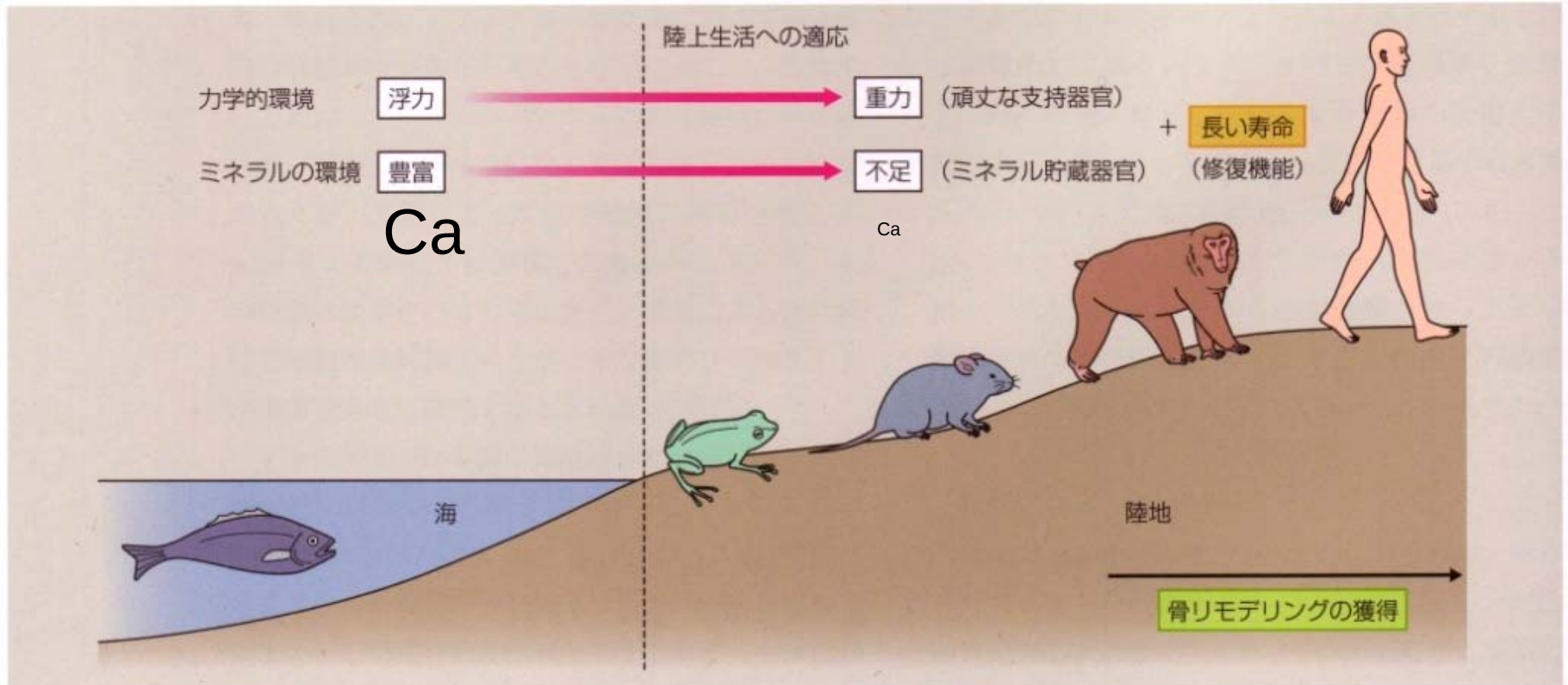
衝撃を吸収し、かつ滑らか
人工的にまねしようとしても困難

骨と違いリモデリングはほとんど
起きない → 再生しにくい



4. 骨の作り方

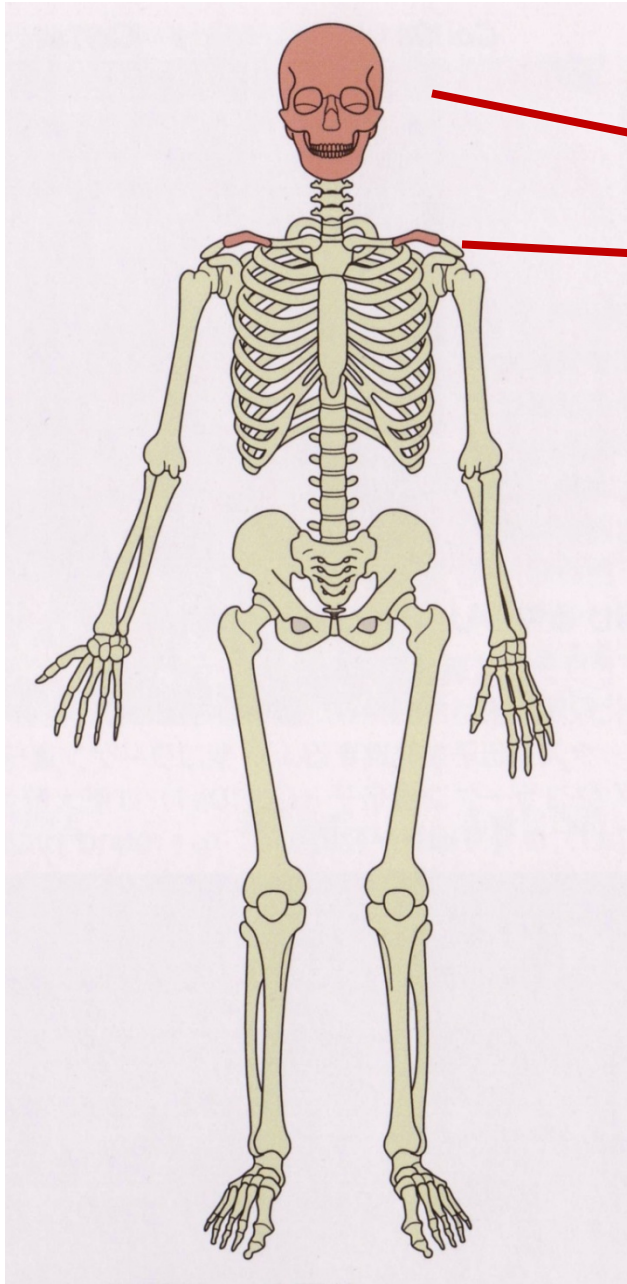
骨の進化



†中村利孝・吉川秀樹 編(2008)「運動器の生物学と生体力学」、中山書店、p.44、図1
聖隷浜松病院 森諭史作成

「重力に耐える」と「カルシウムを貯める」のどちらが先に進化？

骨には二つのグループ



1. 皮膚や神経の仲間(外胚葉)

2. 筋肉や脂肪の仲間(中胚葉)

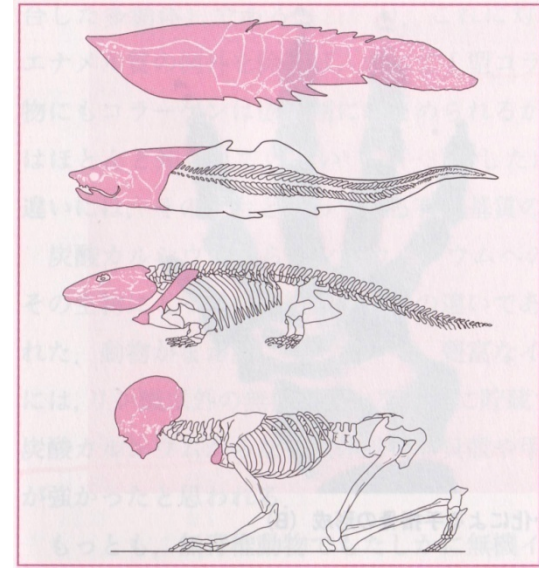
ただし、完成した骨はほぼ同じ

骨のできかた

1 のグループは

「結合織内骨化」

- 結合組織の中に直接骨が形成
- 異甲類の防御組織（皮骨）の名残



顎のない魚
異甲類

顎を持つ魚

両生類

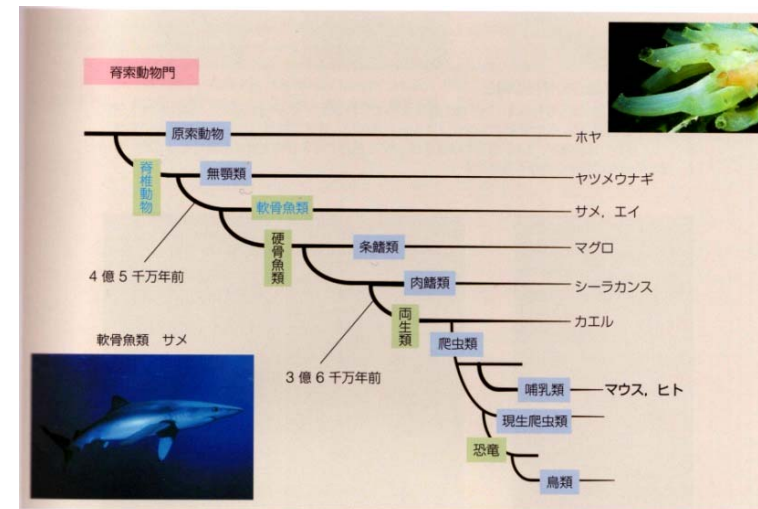
哺乳類

†須田立雄他 編著(2007)「新骨の科学」、医歯薬出版、p.7、図1-5 鶴見大学 後藤仁敏先生作成

2 のグループは

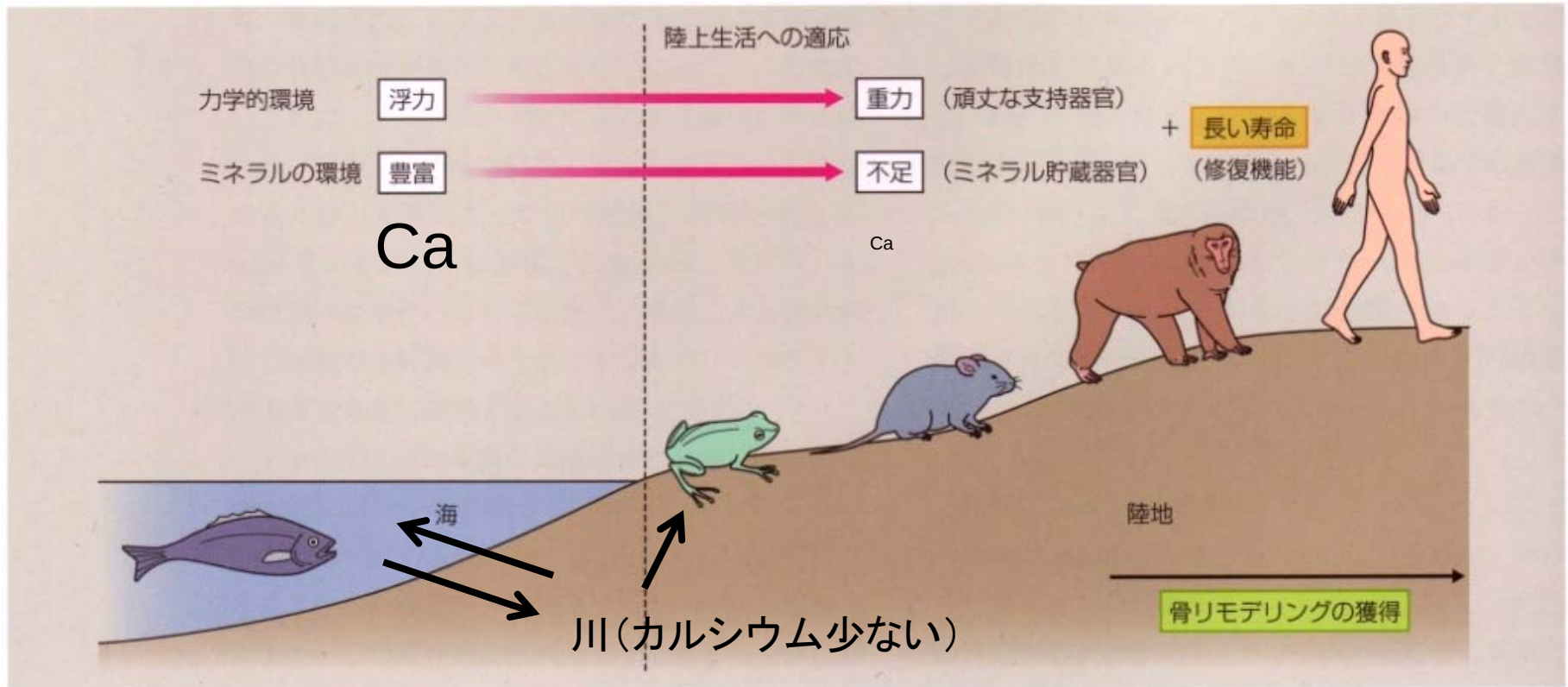
「軟骨内骨化」

- まず軟骨の型ができて骨に置換
- 硬骨魚から発達した様式



†中村利孝・吉川秀樹 編(2008)「運動器の生物学と生体力学」、中山書店、p.35、図13

骨の進化

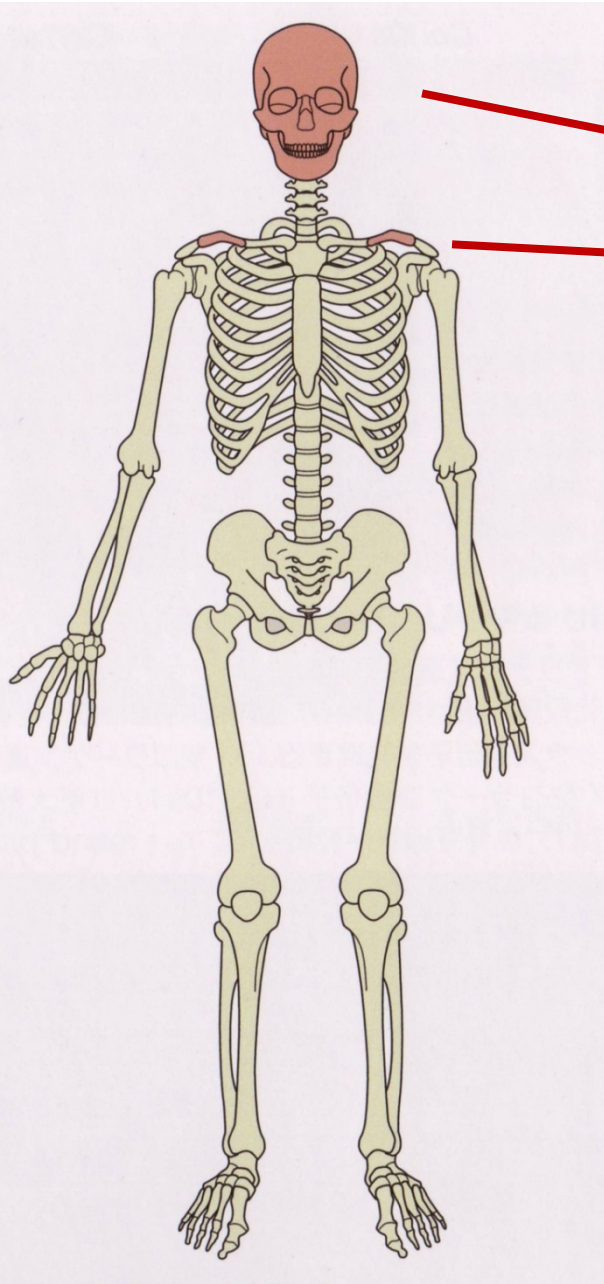


†中村利孝・吉川秀樹 編(2008)「運動器の生物学と生体力学」、中山書店、p.44、図1
聖隷浜松病院 森諭史作成

背骨は硬骨魚からある → 「重力に耐える」が先ではなさそう

「カルシウムを貯める」が先だとしたらなぜカルシウムの豊富な海で？

骨の由来には二つある



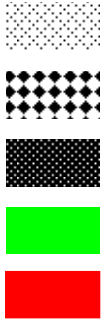
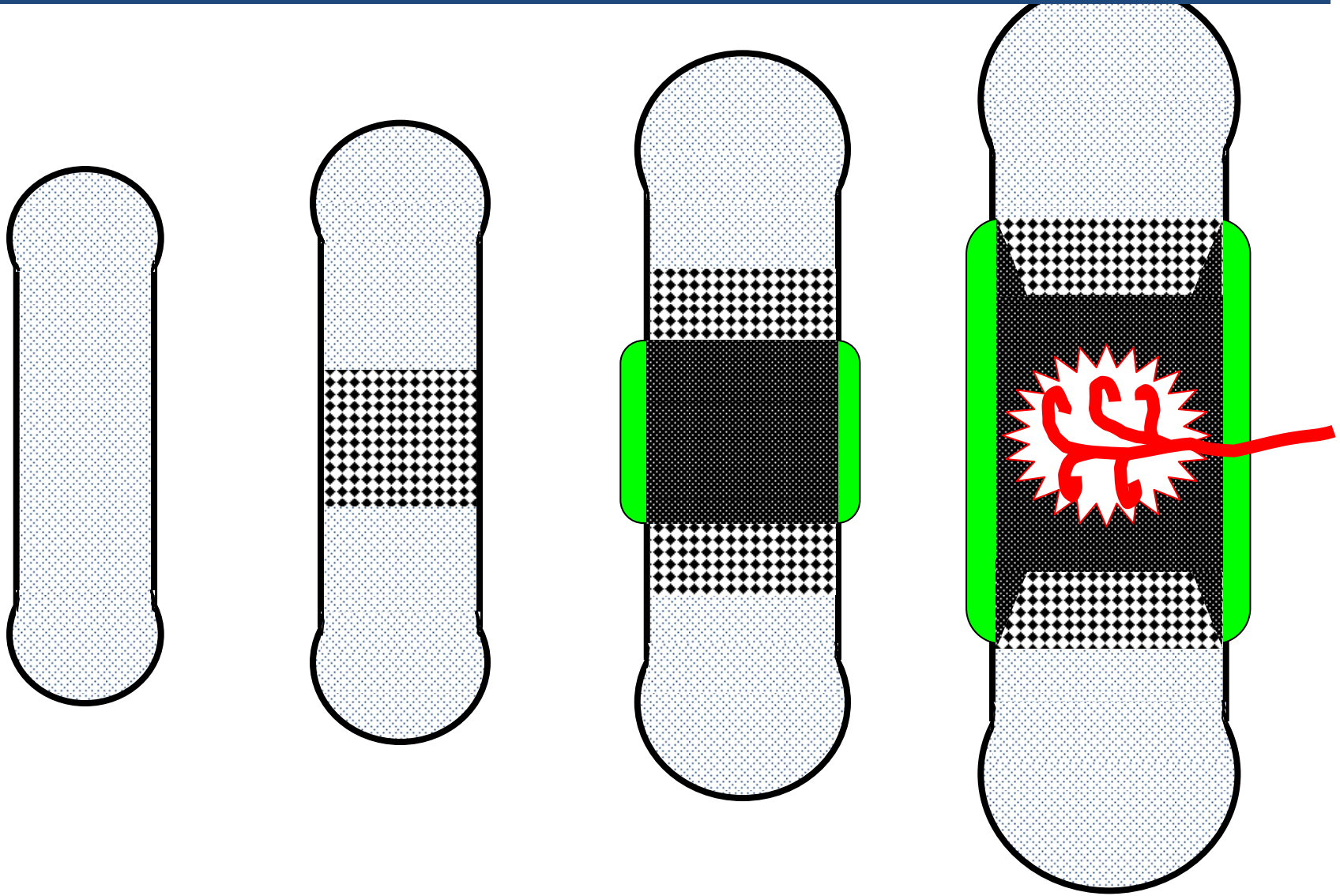
敵から身を守る鎧(古い)

川や陸でのカルシウム貯蔵庫



陸で重力に抗するための構造
(比較的新しい)

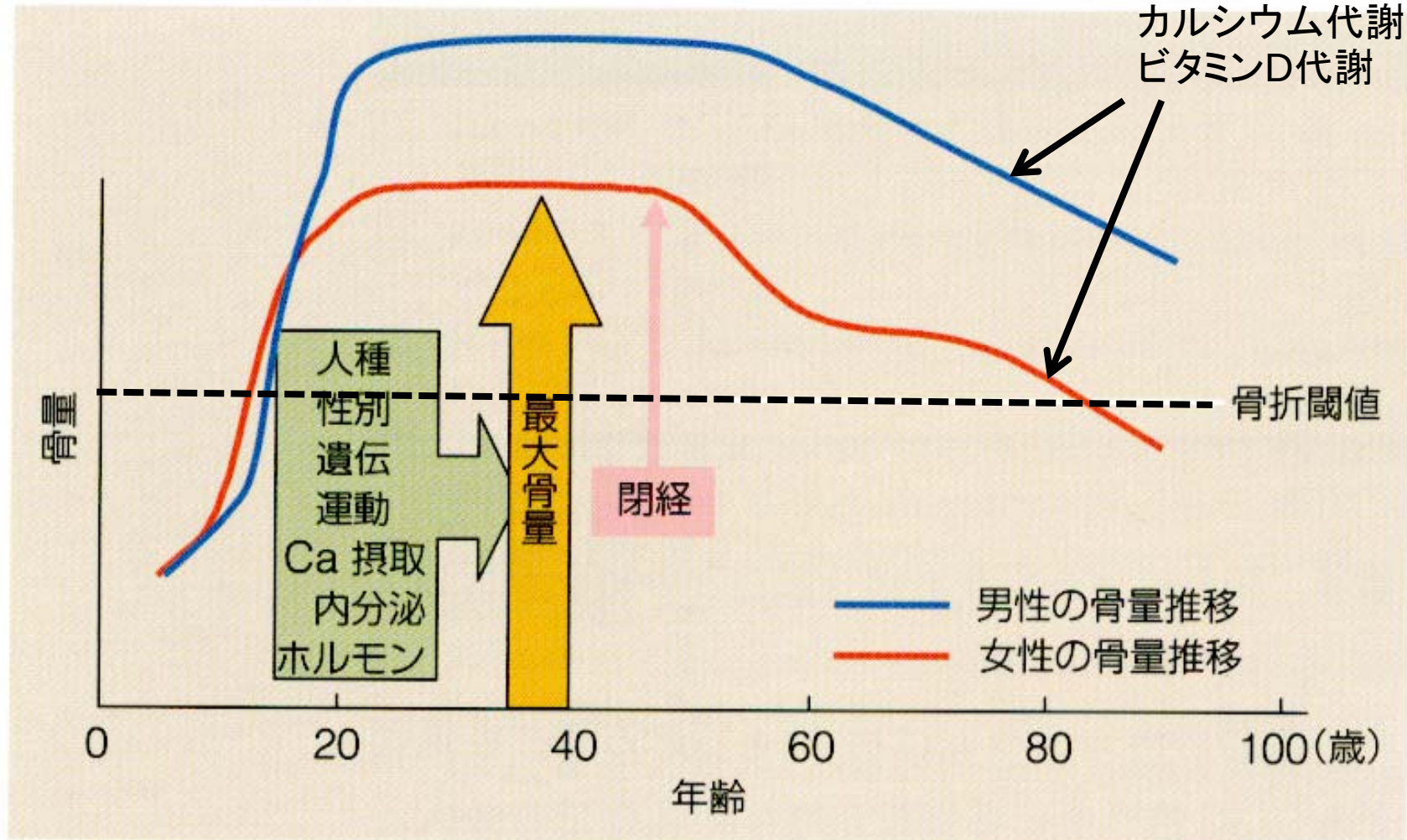
われわれの体の中に数億年の進化の痕跡がある



5. 骨の生理的老化と病的老化

骨の生理的老化

性ホルモン
成長因子
カルシウム代謝
ビタミンD代謝



†中村利孝・吉川秀樹 編(2008)「運動器の生物学と生体力学」、中山書店、p.26、図2
鳥取大学 萩野浩先生

最大骨量の低下、骨量減少の加速が病的老化を招く

骨の病的老化を引き起こす
リスクファクター

食事

- 栄養バランスの悪い食事
- 過度の体重低下

運動

- 過度の運動不足
- 過激な運動

嗜好品

- 喫煙
- 過度のアルコール摂取
- 過度のカフェイン摂取？

カルシウム、ビタミンD不足

血中カルシウム濃度低下で骨吸収分解

タンパク質不足

骨の材料不足、筋力低下

ビタミンK・C、マグネシウム、

微量元素不足

骨形成に異常

栄養不足＋筋力低下

骨の病的老化を引き起こす リスクファクター

食事

- 栄養バランスの悪い食事
- 過度の体重低下

運動

- 過度の運動不足
- 過激な運動

嗜好品

- 喫煙
- 過度のアルコール摂取
- 過度のカフェイン摂取？



古川聡 宇宙飛行士

国際宇宙ステーションに長期滞在予定

http://iss.jaxa.jp/library/photo/furukawa_so.php

骨の分解吸収促進

使わない骨は壊される

極度の体重減少や無月経

骨の病的老化を引き起こす リスクファクター

食事

- ・ 栄養バランスの悪い食事
- ・ 過度の体重低下

運動

- ・ 過度の運動不足
- ・ 過激な運動

嗜好品

- ・ 喫煙
- ・ 過度のアルコール摂取
- ・ 過度のカフェイン摂取？

カルシウム吸収↓、排泄↑

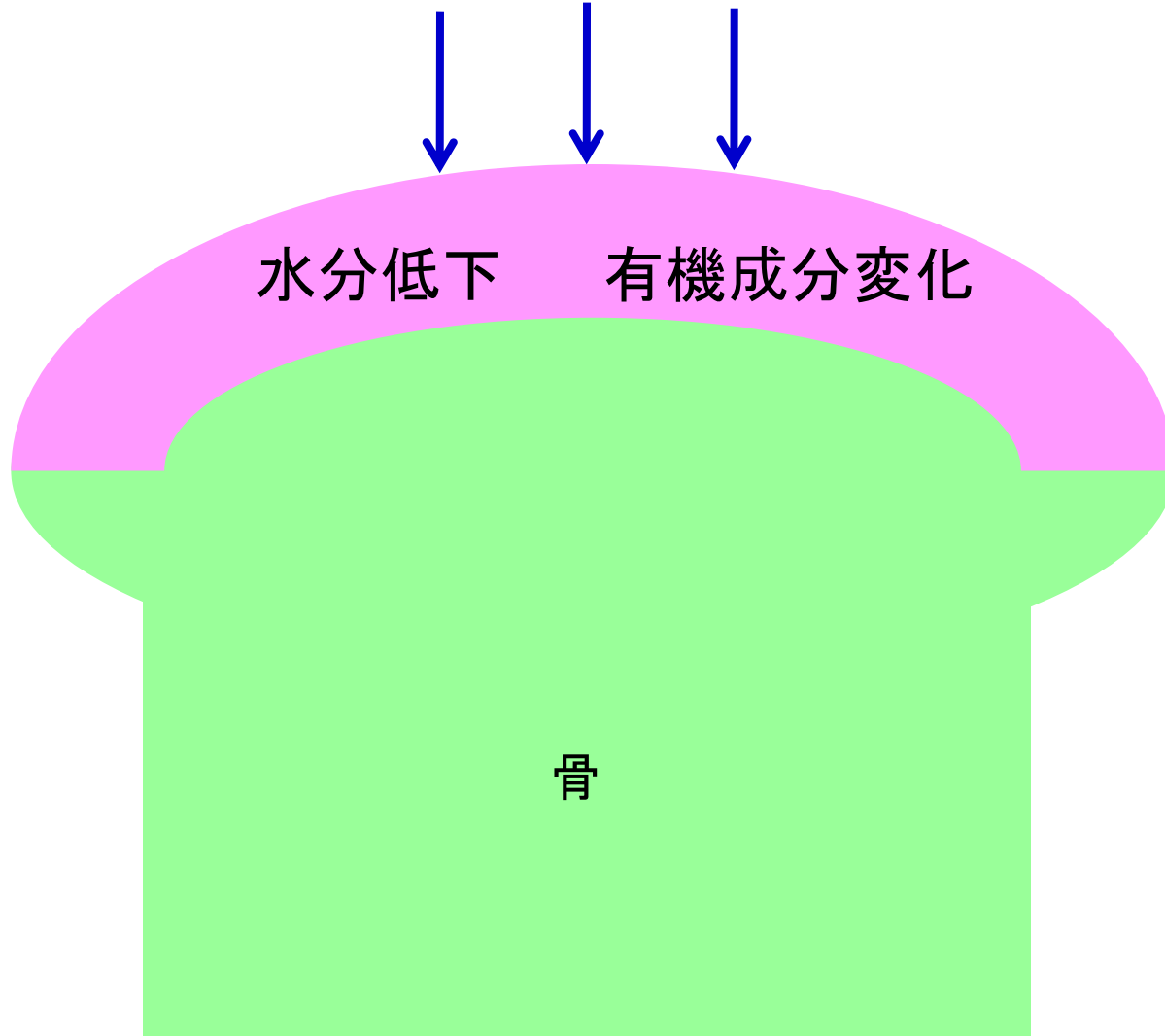
歯周病の悪化

栄養不足

カルシウム排泄↑

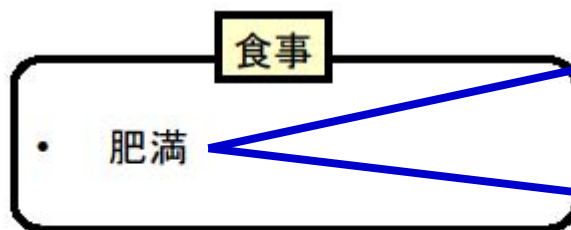
軟骨の生理的老化

関節周囲の筋力低下によるメカニカルストレスの増加



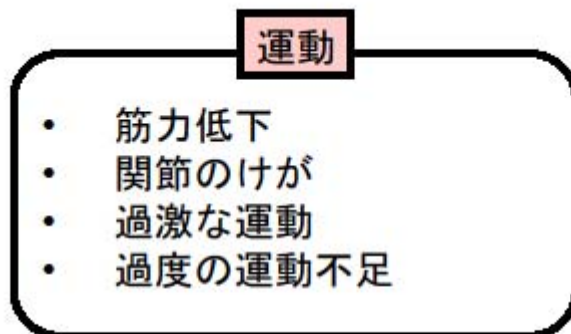
軟骨の変性が加齢とともに緩やかに進む

軟骨の病的老化を引き起こす リスクファクター



過剰なメカニカルストレス
軟骨の変性を促進

脂肪から出る悪玉因子
軟骨の変性を促進



軟骨の病的老化を引き起こす リスクファクター

食事

- 肥満

運動

- 筋力低下
- 関節のけが
- 過激な運動
- 過度の運動不足

→ 過剰メカニカルストレス

→ 直接損傷、過剰メカニカルストレス

→ 関節のけがの危険

→ 使われない関節は萎縮

6. 健康常識の誤り

間違いだらけの健康常識

ダイエット

- 栄養素のバランスは摂りながら、カロリーの総量を制限
- 長期間にわたり一種類の食物をとったり、断食するのは厳禁

サプリメント

- 通常の食事を摂取した上で、不足する栄養素を補うことに使用
- サプリメントだけで、健康に必要な栄養素を構成することはできない
- 過剰摂取や他の栄養素との相互作用に注意

過激なダイエット



栄養不足、筋力低下、月経異常



骨と軟骨の病的老化を促進

間違いだらけの健康常識

ダイエット

- 栄養素のバランスは摂りながら、カロリーの総量を制限
- 長期間にわたり一種類の食物をとったり、断食するのは厳禁

サプリメント

- 通常の食事を摂取した上で、不足する栄養素を補うことに使用
- サプリメントだけで、健康に必要な栄養素を構成することはできない
- 過剰摂取や他の栄養素との相互作用に注意

やせるために喫煙

→ **たばこ自体が骨の病的老化を促進**

やせるためにお酒だけで食事

→ **アルコールはエンプティーカロリー**

間違いだらけの健康常識

ダイエット

- 栄養素のバランスは摂りながら、カロリーの総量を制限
- 長期間にわたり一種類の食物をとったり、断食するのは厳禁

サプリメント

- 通常の食事を摂取した上で、不足する栄養素を補うことに使用
- サプリメントだけで、健康に必要な栄養素を構成することはできない
- 過剰摂取や他の栄養素との相互作用に注意

- 不足が無ければ必要無し
- 一般に高価
- なぜ効くの？というものあり
- 副作用を起こしやすい

ダイエットとサプリメントの併用は論外

骨軟骨は筋肉のように鍛えられるか？

- 動かないで安静に → 骨は吸収され、軟骨は萎縮
体は、使わない部分には資源は回さない
- 過度のメカニカルストレスは軟骨の病的老化を促進
- 衝撃の強い運動ほど骨量が増えるが、軟骨にはリスク
- 過激な運動は、女性の月経を止める「運動性無月経」

過度の安静も、過激な運動も骨と軟骨の健康には望ましくない
中程度の負荷の運動が良い

過大な夢を煽るマスコミ報道に注意

基礎科学の成果が、すぐに画期的な治療法につながることはまずない
マスコミ報道は、以下の3点を常にチェック

- 安全性： ヒトに使って安全か
- コスト： 長期の培養や特殊な機械など、費用が非現実的でないか
- 実現化技術： 「見る」だけでなく、「操る」技術があるか

実用化をうたう科学に関しては、上記を検証すると効率よく選別できる

7. 骨を強くするためにできること

骨と軟骨を強くするためにできること

食事

以下の栄養素に特に注意してバランスよく摂取

- ・ カルシウム：乳製品に豊富、次いで魚類
- ・ ビタミンD：魚類に豊富、日光も適度に浴びる
- ・ タンパク質：アミノ酸の比率を考えて、植物性・動物性の食物を偏り無く
- ・ ビタミンK：納豆やチーズに豊富
- ・ ビタミンC：生野菜やジュースに豊富
- ・ マグネシウム：海藻、野菜、豆などに豊富
- ・ 亜鉛：貝類に豊富
- ・ 摂取カロリーの制限により肥満を防ぐ

→ 牛乳、ヨーグルト、チーズ 等

→ イワシの丸干し、しらす 等

■ 大豆製品、ごま、ひじき、小松菜
にも豊富

■ リンや食塩の摂りすぎに注意

運動

- ・ 運動の強さ：中程度（汗ばむ程度）
- ・ 運動の頻度：毎日30分程度
- ・ 運動の種類：ウォーキングなど
- ・ 関節の周りの筋力を付けるようにする

嗜好品

- ・ 喫煙：やめる
- ・ 飲酒：一日に日本酒で1合以下
- ・ カフェイン：コーヒーは一日2杯まで

「中庸」を守ることが肝心！

骨と軟骨を強くするためにできること

食事

以下の栄養素に特に注意してバランスよく摂取

- ・ カルシウム：乳製品に豊富、次いで魚類
- ・ ビタミンD：魚類に豊富、日光も適度に浴びる
- ・ タンパク質：アミノ酸の比率を考えて、植物性・動物性の食物を偏り無く
- ・ ビタミンK：納豆やチーズに豊富
- ・ ビタミンC：生野菜やジュースに豊富
- ・ マグネシウム：海藻、野菜、豆などに豊富
- ・ 亜鉛：貝類に豊富
- ・ 摂取カロリーの制限により肥満を防ぐ

- 腸からのカルシウム吸収に重要
- 皮膚でつくることができる
- 牛乳や椎茸にも入っている

運動

- ・ 運動の強さ：中程度（汗ばむ程度）
- ・ 運動の頻度：毎日30分程度
- ・ 運動の種類：ウォーキングなど
- ・ 関節の周りの筋力を付けるようにする

嗜好品

- ・ 喫煙：やめる
- ・ 飲酒：一日に日本酒で1合以下
- ・ カフェイン：コーヒーは一日2杯まで

「中庸」を守ることが肝心！

骨と軟骨を強くするためにできること

食事

以下の栄養素に特に注意してバランスよく摂取

- ・ カルシウム：乳製品に豊富、次いで魚類
- ・ ビタミンD：魚類に豊富、日光も適度に浴びる
- ・ タンパク質：アミノ酸の比率を考えて、植物性・動物性の食物を偏り無く
- ・ ビタミンK：納豆やチーズに豊富
- ・ ビタミンC：生野菜やジュースに豊富
- ・ マグネシウム：海藻、野菜、豆などに豊富
- ・ 亜鉛：貝類に豊富
- ・ 摂取カロリーの制限により肥満を防ぐ

- 穀類・豆類・肉類を組み合わせ
必須アミノ酸をきちんと摂る
- 炭水化物などのエネルギー源
も摂る
- 貯蔵できないので注意

運動

- ・ 運動の強さ：中程度（汗ばむ程度）
- ・ 運動の頻度：毎日30分程度
- ・ 運動の種類：ウォーキングなど
- ・ 関節の周りの筋力を付けるようにする

嗜好品

- ・ 喫煙：やめる
- ・ 飲酒：一日に日本酒で1合以下
- ・ カフェイン：コーヒーは一日2杯まで

「中庸」を守ることが肝心！

骨と軟骨を強くするためにできること

食事

以下の栄養素に特に注意してバランスよく摂取

- ・ カルシウム：乳製品に豊富、次いで魚類
- ・ ビタミンD：魚類に豊富、日光も適度に浴びる
- ・ タンパク質：アミノ酸の比率を考えて、植物性・動物性の食物を偏り無く
- ・ ビタミンK：納豆やチーズに豊富
- ・ ビタミンC：生野菜やジュースに豊富
- ・ マグネシウム：海藻、野菜、豆などに豊富
- ・ 亜鉛：貝類に豊富
- ・ 摂取カロリーの制限により肥満を防ぐ

- 食事の最初に野菜を摂るのがお勧め(サラダ、おひたしなど)
- 過食を抑制
- 栄養素の吸収を遅らせる

運動

- ・ 運動の強さ：中程度（汗ばむ程度）
- ・ 運動の頻度：毎日30分程度
- ・ 運動の種類：ウォーキングなど
- ・ 関節の周りの筋力を付けるようにする

嗜好品

- ・ 喫煙：やめる
- ・ 飲酒：一日に日本酒で1合以下
- ・ カフェイン：コーヒーは一日2杯まで

「中庸」を守ることが肝心！

骨と軟骨を強くするためにできること

食事

以下の栄養素に特に注意してバランスよく摂取

- ・ カルシウム：乳製品に豊富、次いで魚類
- ・ ビタミンD：魚類に豊富、日光も適度に浴びる
- ・ タンパク質：アミノ酸の比率を考えて、植物性・動物性の食物を偏り無く
- ・ ビタミンK：納豆やチーズに豊富
- ・ ビタミンC：生野菜やジュースに豊富
- ・ マグネシウム：海藻、野菜、豆などに豊富
- ・ 亜鉛：貝類に豊富
- ・ 摂取カロリーの制限により肥満を防ぐ

運動

- ・ 運動の強さ：中程度（汗ばむ程度）
- ・ 運動の頻度：毎日30分程度
- ・ 運動の種類：ウォーキングなど
- ・ 関節の周りの筋力を付けるようにする

- 歩く距離が長いほど長寿命
- 手軽で安価
- 日本整形外科学会の「ロコトレ」も参照のこと

嗜好品

- ・ 喫煙：やめる
- ・ 飲酒：一日に日本酒で1合以下
- ・ カフェイン：コーヒーは一日2杯まで

「中庸」を守ることが肝心！

骨と軟骨を強くするためにできること

食事

以下の栄養素に特に注意してバランスよく摂取

- ・ カルシウム：乳製品に豊富、次いで魚類
- ・ ビタミンD：魚類に豊富、日光も適度に浴びる
- ・ タンパク質：アミノ酸の比率を考えて、植物性・動物性の食物を偏り無く
- ・ ビタミンK：納豆やチーズに豊富
- ・ ビタミンC：生野菜やジュースに豊富
- ・ マグネシウム：海藻、野菜、豆などに豊富
- ・ 亜鉛：貝類に豊富
- ・ 摂取カロリーの制限により肥満を防ぐ

運動

- ・ 運動の強さ：中程度（汗ばむ程度）
- ・ 運動の頻度：毎日30分程度
- ・ 運動の種類：ウォーキングなど
- ・ 関節の周りの筋力を付けるようにする

嗜好品

- ・ 喫煙：やめる
- ・ 飲酒：一日に日本酒で1合以下
- ・ カフェイン：コーヒーは一日2杯まで

- 
- 嗜好品は「嗜む」程度に
 - ただし、たばこは例外

「中庸」を守ることが肝心！

8. おわりに

万能薬などというものは無い

- 歴史上繰り返し現われる一種の迷信
- われわれの願望を投影した幻影
- 中世の錬金術の話と同じ

だまされないためには、最低限の知識と、論理的な考え方が大事

限りある命の中で、正しい投資をして病的老化を防ぎ
QOLの高い一生を送ることが重要

ご静聴ありがとうございました