

「物理量と人体」(続き) 「力と身体バランス」

上野一磨

k.ueno@eng.t-kougei.ac.jp

2025年4月28日

本日の内容

授業計画	
回数	内容
第1回	第1章【物理量と人体】
第2回	第2章【力と身体バランス】1
第3回	第2章【力と身体バランス】2
第4回	第3章【運動モデルとスポーツ】1
第5回	第3章【運動モデルとスポーツ】2
第6回	第4章【熱とエネルギー代謝】1
第7回	第4章【熱とエネルギー代謝】2
第8回	第5章【圧力と循環】1
第9回	第5章【圧力と循環】2
第10回	第6章【音と聴覚】
第11回	第7章【光と視覚】
第12回	第8章【電磁気学と神経・興奮伝導】1
第13回	第8章【電磁気学と神経・興奮伝導】2
第14回	第9章【波と画像診断】
第15回	第10章【放射線と人体】

第1章 物理量と人体

1.1 物理量と人体

1.2 物理モデルと解析

第2章 力と身体バランス

2.1 静力学の基礎

2.2 力と身体バランス

2.3 骨・関節・筋肉

第3章 運動モデルとスポーツ

3.1 動力学の基礎

3.2 歩行・ランニング・跳躍

3.3 衝突・球技

3.4 水泳

第4章 熱とエネルギー代謝

4.1 熱とエネルギーの基礎

4.2 体温

4.3 人体における熱産生

4.4 人体における熱放散

第5章 圧力と循環・呼吸

5.1 圧力・流れの基礎

5.2 血液循環

5.3 呼吸

5.4 圧力差を利用した医療機器

第6章 音と聴覚・発声

6.1 音の性質

6.2 耳と聴覚

6.3 発声

6.4 音を利用した機器

第7章 光と視覚

7.1 光の性質

7.2 眼と屈折

7.3 眼と明るさ・色

7.4 光を利用した機器

第8章 電磁気と神経・興奮伝導

8.1 電磁気の基礎

8.2 神経系の電氣的性質

8.3 心電図

8.4 生体と電磁気

第9章 波と画像診断

9.1 波と画像化の基礎

9.2 超音波

9.3 X線

9.4 γ 線と核医学

9.5 電波と磁気共鳴 (MRI)

9.6 赤外線

9.7 電子線と電子顕微鏡

第10章 放射線と人体

10.1 放射線の基礎

10.2 人体への影響

10.3 放射線治療



到達目標との関係

1. 力の性質を理解して**人体の動き**を調べることができる。
2. 電磁気、波動現象の基本を理解して、
測定器の動作原理を理解できる。
3. 単純化して物事を見ることができる。
4. 簡単なモデル構築をできる。
5. 因果関係を捉えることができる。

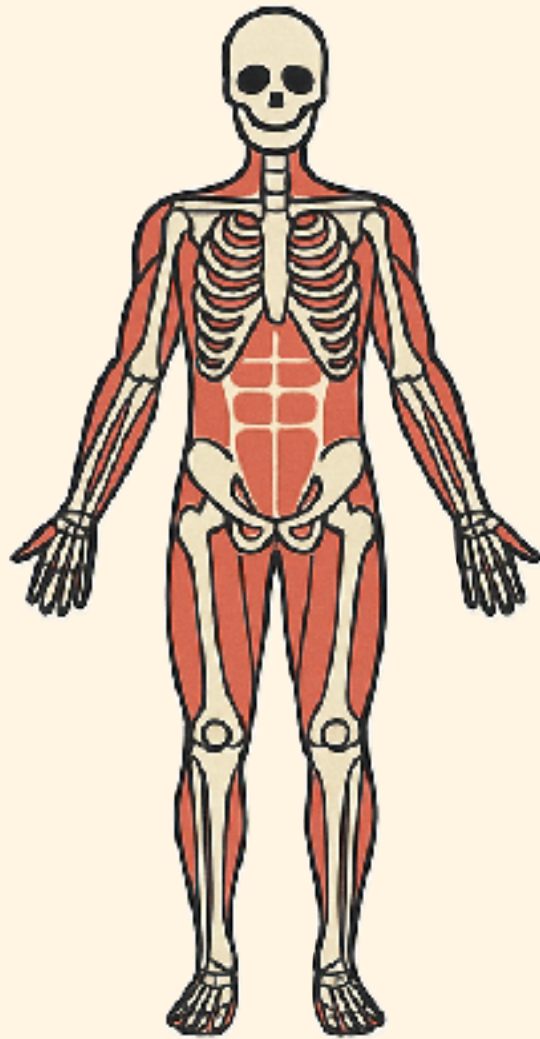
理系大学では、これらを**定量的**に扱う。

第1章 物理量と人体 (続)

2.2 力と身体バランス (1)力と人体

解決すべき疑問：

骨や関節、筋肉において働く力とバランス



骨： 体を支える構造体

関節： 動くところ

筋肉： 動かす力を生む

人体に働く力：☐力と接触して働く力

2.2 力と身体バランス (1)力と人体

人体にかかる重力 F はいくつ？

体重が m [], 重力加速度 g [] とすると



$$F = mg \text{ []} = m \text{ []}$$

SI単位 慣用単位

人体には m [] の
重力がかかっている

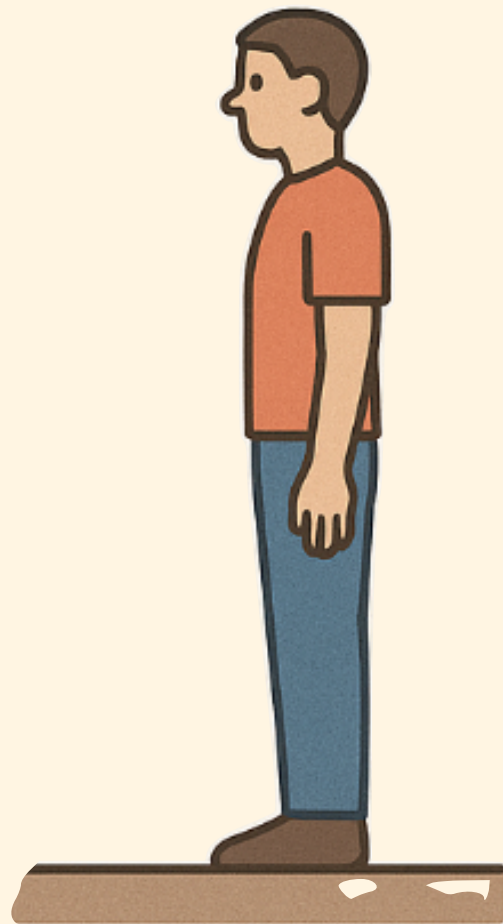
作用 重力

反作用 床からの力

2.2 力と身体バランス (1)力と人体

人体にかかる重力 F は に比例する

$$F = mg$$



$$F = mg$$

立位の場合、
最も重力がかかっている部位は、
 である。

各部位にかかる重力は、
その部位より上の に応じる。

人体にかかる力を考えるには、
姿勢と各部のサイズ・質量を考慮する必要がある

2.2 力と身体バランス (1)力と人体

人体の長さ と質量

身長 H , 体重 M を1とした

表2.1

図2.1

重心は足から $0.55H$ 程度の位置

2.2 力と身体バランス (1)力と人体

加速度と人体の関係

- 加速度の基準：重力加速度 $g = \square [\text{m/s}^2]$
 $\Rightarrow 1\text{G}$ と表す

- 加速度の目安

7-9G

5G以上

3-5G

3G以上

1G

0.5-1G

0G

戦闘機

意識を失う

ブラックアウト

基準（地球の重力）

地震，ブレーキ

無重力（宇宙空間）

2.2 力と身体バランス (1)力と人体



戦闘機パイロットの耐G訓練を素人が体験してみた

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

◎てこの原理

剛体を用いて小さな力で重いものを動かす

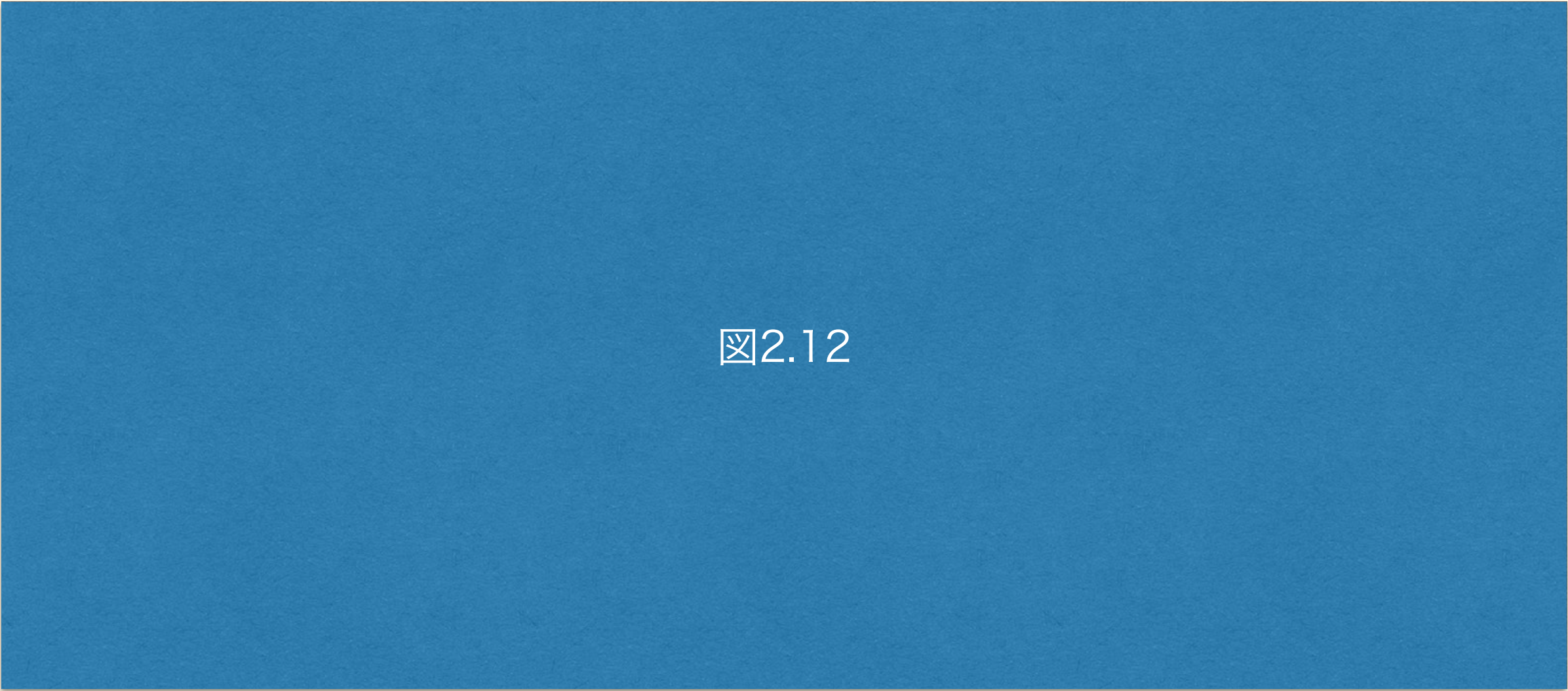


図2.12

W :物体からの力

F :外部からの力

R :支点から受ける力

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

◎人体中のてこ

関節、骨、筋肉で“てこ”を構成している

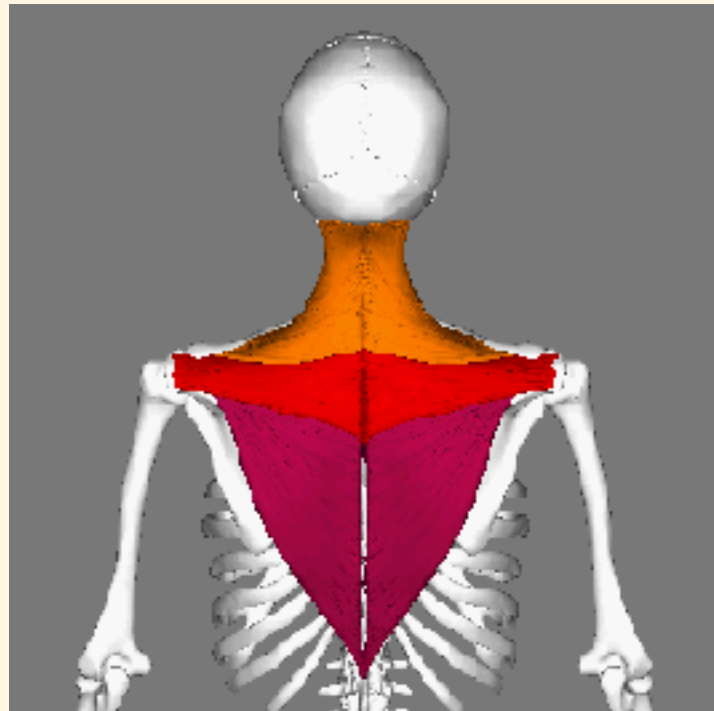
支点：
力点：

関節を支点に、力のつり合い
力のモーメントのつり合い
を考える

支点と力点の距離は短いため
骨や筋肉には驚くほど大きな力が加わっている

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

身体に加わる力の例



そうぼう
◎僧帽筋の張力

↳ 首の後ろを支える筋肉

⇒ □を支えている

Q. どれくらいの力を支えているか

表2.1

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

そうぼう

◎僧帽筋の張力

図2.13

図2.12

第1種のとこ

W :物体（頭）からの力（重力）

$$W = 3.2 \text{ [kgw]}$$

R :支点（首）から受ける力

F :外部（筋肉）からの力（張力）

- 力のつり合い
- 力のモーメントのつり合い

の式を立てる

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

そうぼう

◎僧帽筋の張力

作用点までの距離：それぞれ 6 cm

- ・ 力のつり合い の式（直線運動）

$$M + W - R = 0$$

- ・ 力のモーメントのつり合い の式
（回転運動）

$$6 \times W - 6 \times M = 0$$

これを解くと、

$$M = 3.2 \text{ [kgw]}, R = 6 \text{ [kgw]}$$

僧帽筋の張力は **3.2 kgw**
首にかかる力は **6 kgw**

図2.13

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

身体に加わる力の例

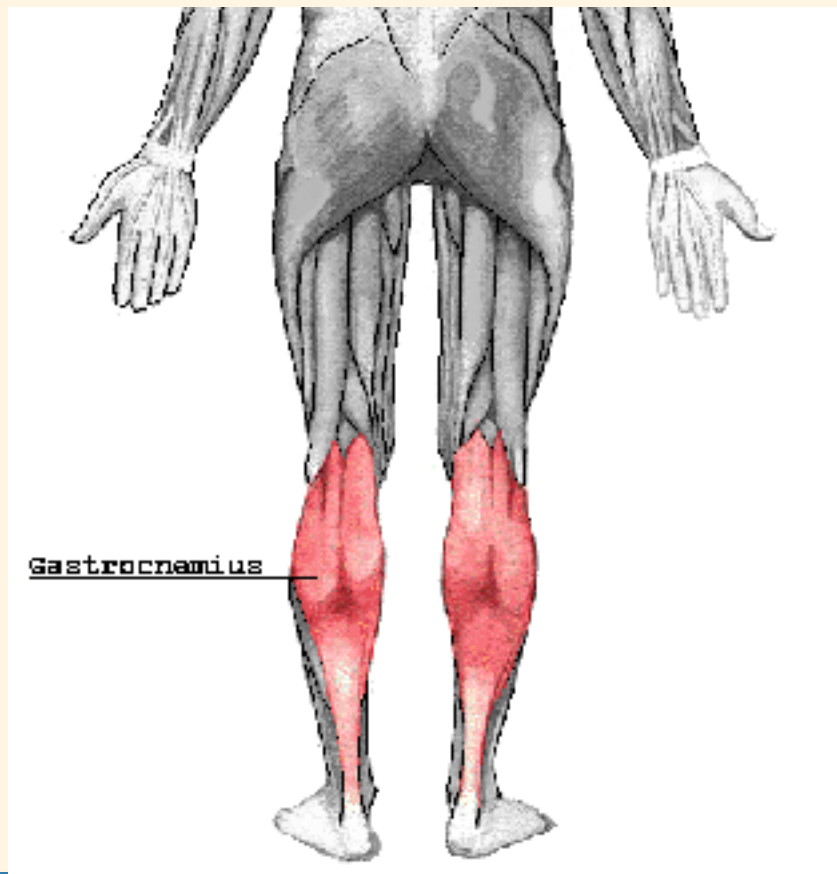


図2.14

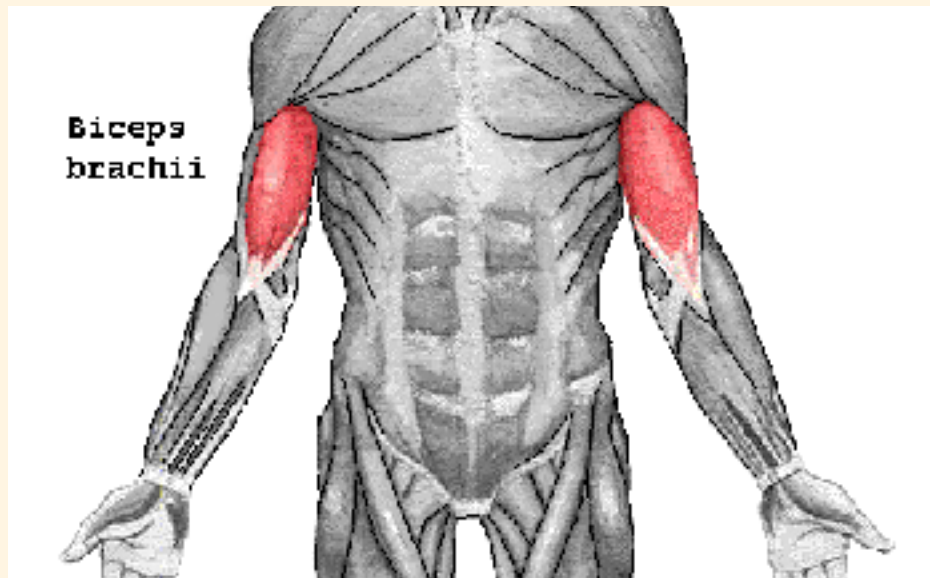
ひふく ◎腓腹筋の張力

↳ かかとを持ち上げる筋肉

課題1 つま先立ちしたいるとき、
 M, W それぞれの力を求めよ。
体重は40kgとし、
・力のつり合い
・力のモーメント
の式を示すこと。

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

身体に加わる力の例



◎上腕二頭筋の張力

↳ 前腕を引き上げる筋肉

図2.15

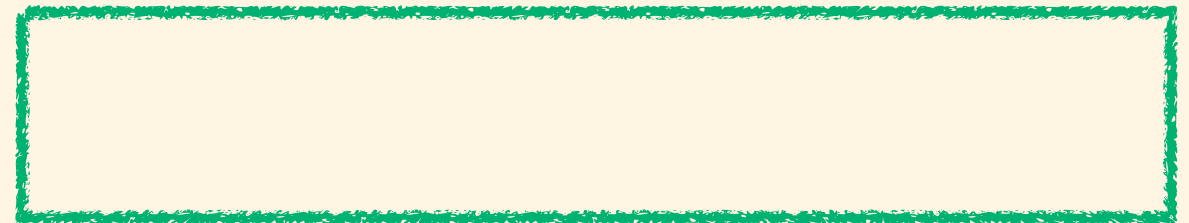
2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

◎上腕二頭筋の張力 (実際には上腕筋も)

図2.15

手の先に 10 [kgw]の物体をぶらさげる

- ・ 力のつり合い の式 (直線運動)



- ・ 力のモーメントのつり合い の式
(回転運動)



図2.12
第3種のとこ

$$M = 73.6 \text{ [kgw]}, R = 62.5 \text{ [kgw]}$$

上腕二頭筋の力は 73.6 kgw
上腕骨のおす力は 62.5 kgw

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

せきちゅうきりつ

ようつい

◎ 脊柱 起立筋と第5腰椎に働く力 (M, R)

モデル化

脊柱：まっすぐな棒

脊柱起立筋：上から1/3の位置で 12° で引っ張っている

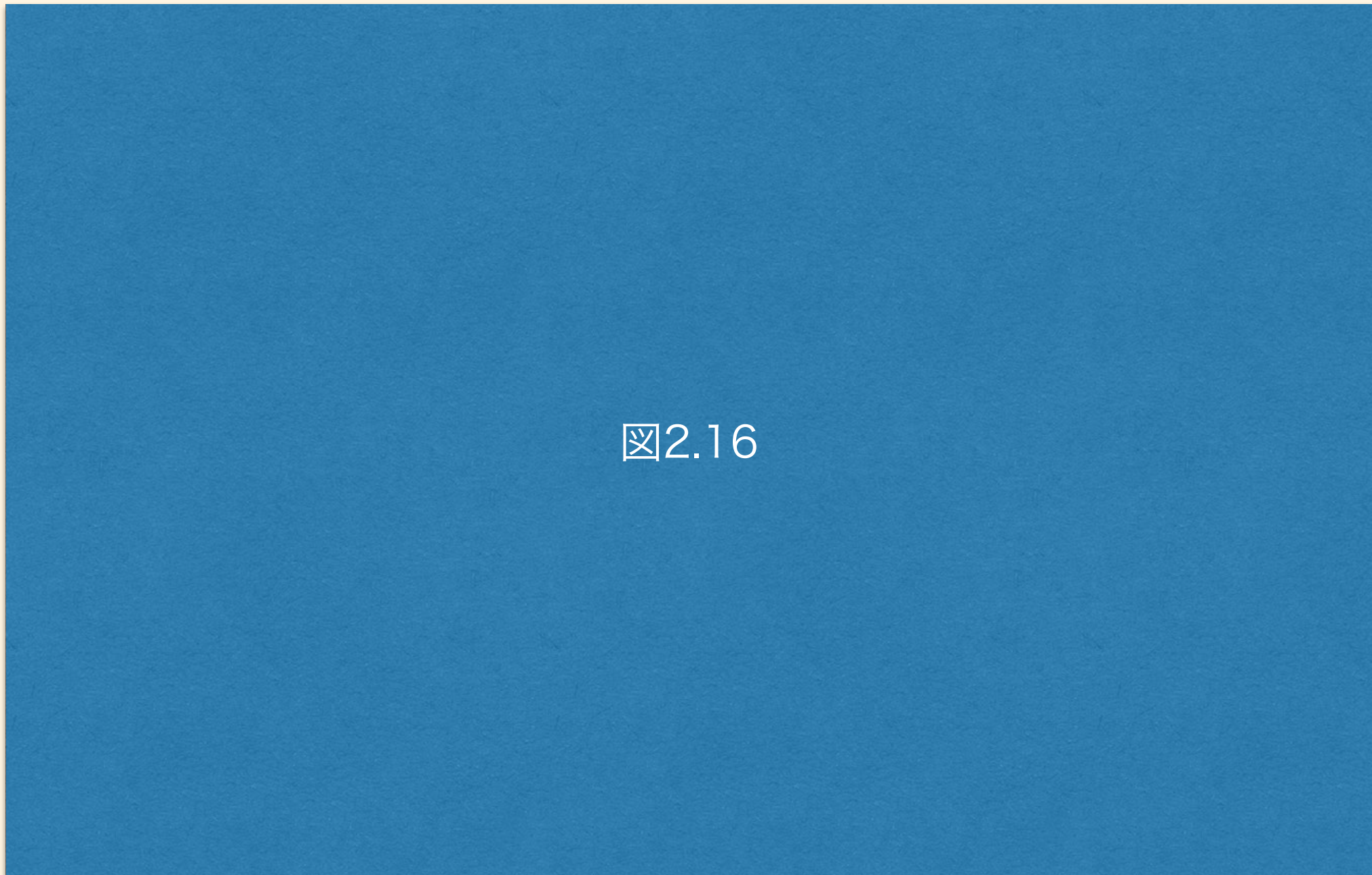


図2.16

2.2 力と身体バランス (2) 人体の静力学

せきちゅうきりつ

ようつい

◎ 脊柱 起立筋と第5腰椎に働く力 (M, R)

図2.16

- ・ 力のつり合い の式 (直線運動)

垂直方向

$$R \square - M \square = 0$$

水平方向

$$R \square - M \square - \square W - \square W = 0$$

- ・ 力のモーメントのつり合い の式 (回転運動)

$$\square M \square - \square 0.50W \square - \square 0.18W \square = 0$$

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

せきちゅうきりつ

ようつい

◎ 脊柱 起立筋と第5腰椎に働く力 (M, R)

- ・ 力のつり合い の式 (直線運動)

$$R \sin \phi - M \cos 18^\circ = 0, \quad R \cos \phi - M \sin 18^\circ - 0.50W - 0.18W = 0$$

- ・ 力のモーメントのつり合い の式 (回転運動)

$$\frac{2L}{3}M \sin 12^\circ - \frac{L}{2}0.50W \cos 30^\circ - L0.18W \cos 30^\circ = 0$$

図2.16

脊柱起立筋に働く力

$$M = 2.68W,$$

第5腰椎に働く力

$$R = 2.96W,$$

$$\phi = 30.7^\circ$$

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

ボディメカニクスの応用

- ↳ 身体の動きや姿勢を効率よく使って、
体に負担をかけずに動作を行う技術や考え方
- ・ ・ ・ 腕を前に出さずに物を持ち上げる
 - ・ ・ ・ 身体に沿って物を持ち上げる
 - ・ ・ ・ 抱き上げる際に肘をついて抱き上げる

作用点を近づける

(モーメントを小さくする)

2.2 力と身体バランス (2)人体の静力学

課題2 (練習2.2)

脊柱起立筋の例で、体重を50kgとして脊柱起立筋と第5腰椎に働く力を求めてみよ。また、手の先に20kgの荷物をぶら下げていたらその力がどうなるか述べよ。

2.2 力と身体バランス (3)立位と身体バランス

立位 = 2本足で立つ姿勢



図2.17



図2.18

立位でのバランスは W と N_R, N_L の

力と力のモーメントのつり合いが常に満たされている

2.2 力と身体バランス (3)立位と身体バランス

◎杖を使った歩行



図2.19



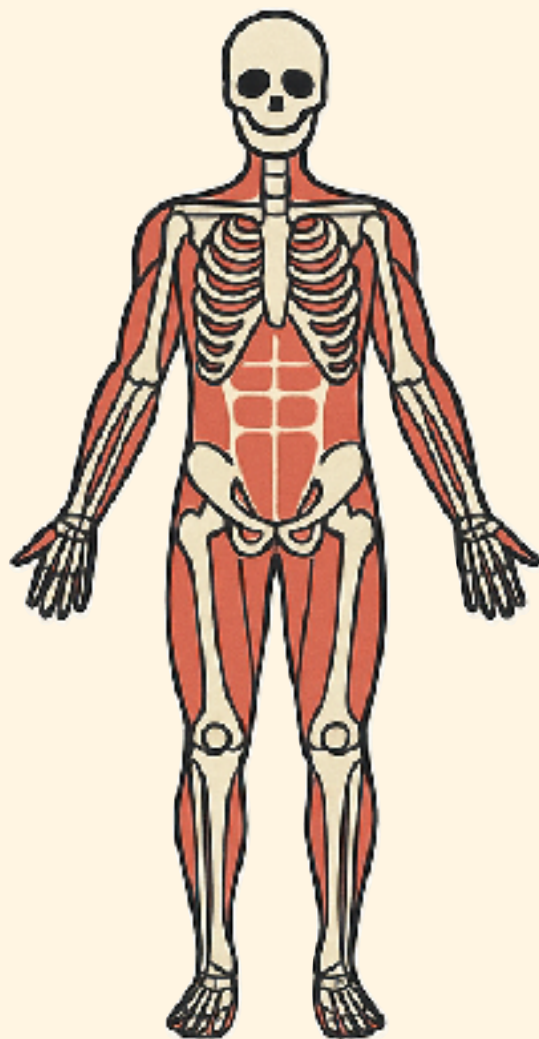
図2.20

適切な使い方は力学で分かる

2.3 骨・関節・筋肉

解決すべき疑問：

どのようなときに骨折するのか、
関節の可動域とは何か、などの疑問に答える



骨： 体を支える構造体

関節： 動くところ

筋肉： 動かす力を生む

2.3 骨・関節・筋肉 (1) 弾性

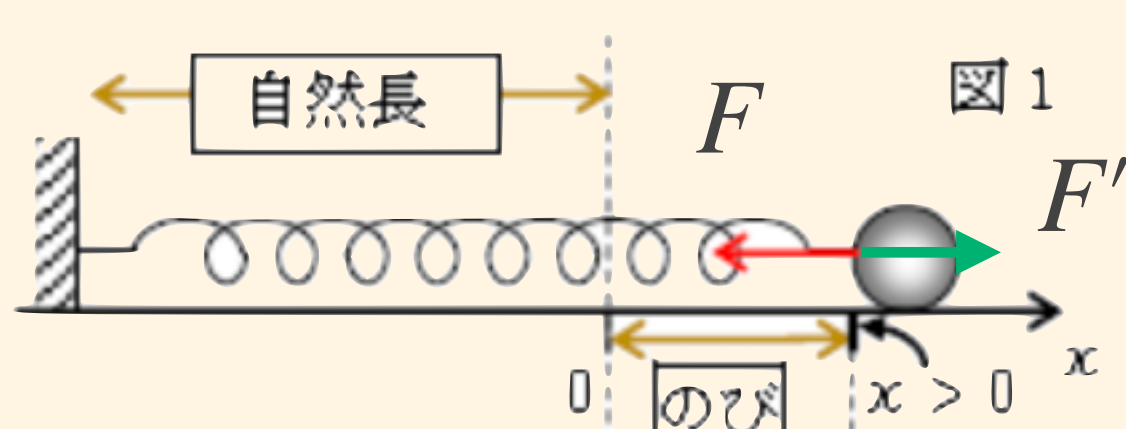
骨・関節・筋肉 は伸び縮みする

↳ 弾性

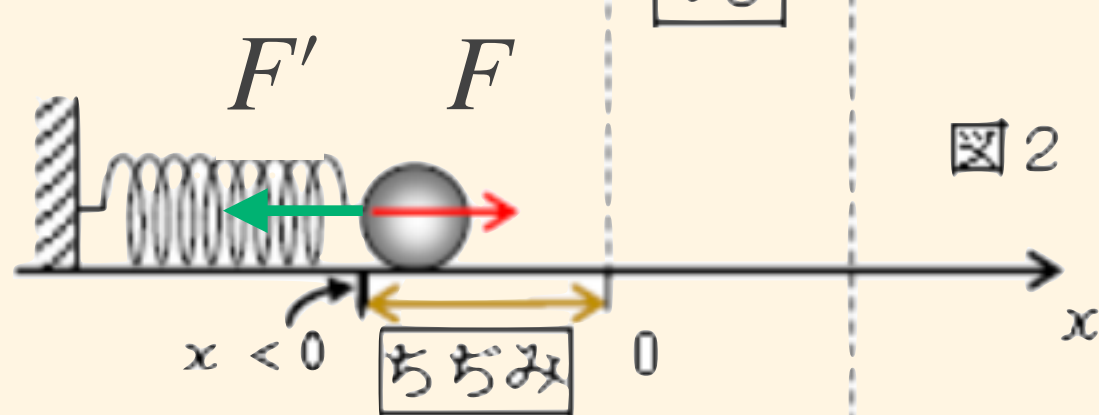
弾性： 外部からの力を取り除いたとき、
変形が元に戻る場合

塑性： 外部からの力を取り除いたとき、
変形が元に戻らない場合

2.3 骨・関節・筋肉 (1) 弾性

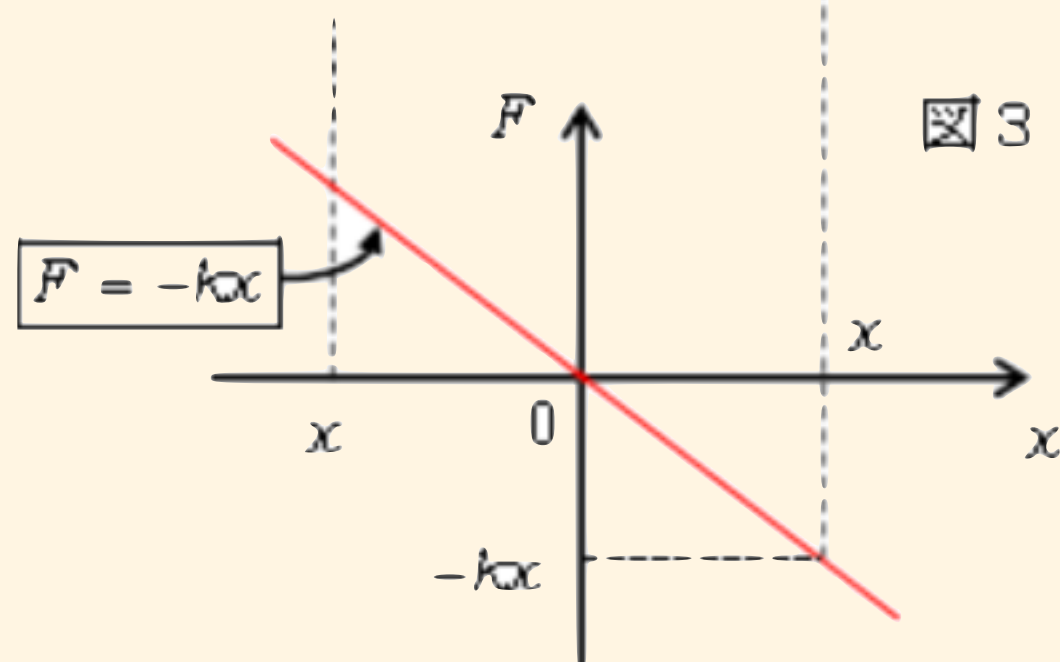


力を加えて伸び縮み ⇒



力を加えて静止した状態

加えた力 = 力
(力)



復元力
(弾性力) $F = -kx$

k : バネ定数

x : 自然長からの変位

$$F' = -F = kx$$

2.3 骨・関節・筋肉 (1) 弾性

円筒状の変形する固体に両側から力を加えた場合

ひずみ：
$$\frac{\Delta l}{l}$$

応力：
$$f = \frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

E ：ヤング率(固さを表す)

図2.21

参考

$$f = \frac{F}{S} = \frac{k \Delta l}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$
$$\Rightarrow k = E \frac{S}{l}$$

2.3 骨・関節・筋肉 (1) 弾性



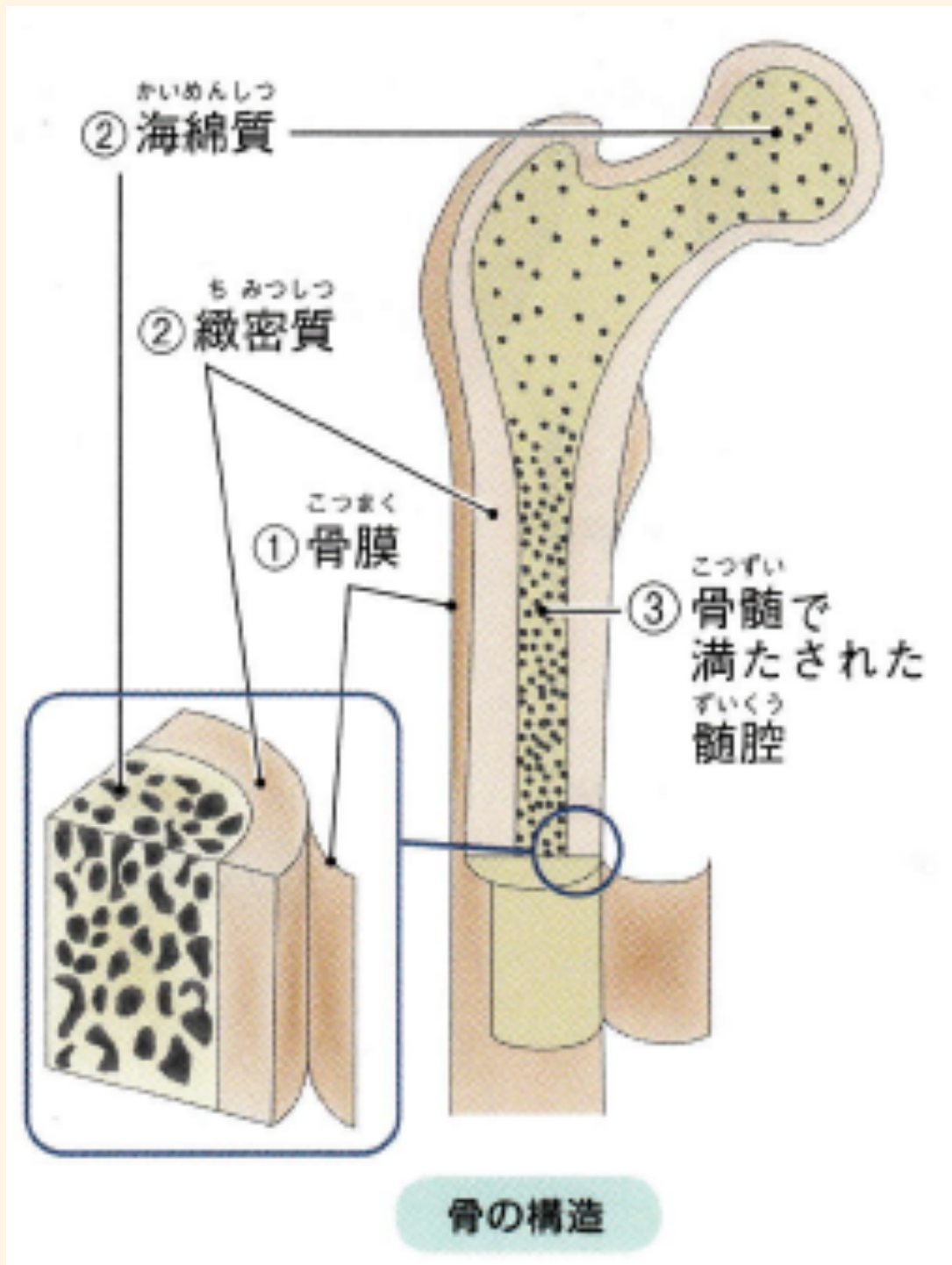
弾性限界応力

破断

図2.22

直線部の傾き $\Rightarrow$ ヤング率 E

2.3 骨・関節・筋肉 (2) 骨と骨折



骨格は骨と関節でできている

骨の主成分：リン酸カルシウム

骨の構造： 外側 - 緻密骨(硬質)

内側 - 海綿骨(軟質)

関節の主成分：コラーゲン

関節の構造： 多孔性 (軟質)

2.3 骨・関節・筋肉 (2) 骨と骨折

表2.2

2.3 骨・関節・筋肉 (2) 骨と骨折

表2.3

骨折

直接骨折： 打撃など

間接骨折： 曲げ, ねじれなど

骨粗鬆症

腰椎の骨密度（単位体積(面積)
あたりのミネラル成分の量）
が70%以下

2.3 骨・関節・筋肉 (2) 骨と骨折

課題3 (練習2.8)

大腿骨の限界圧縮応力が 1.7×10^8 [N/m²]で、断面積 330 [mm²]とする。片足で立ったとき、大腿骨が圧縮応力に耐えられなくなるのは、何 kgの荷物を抱えているときか。

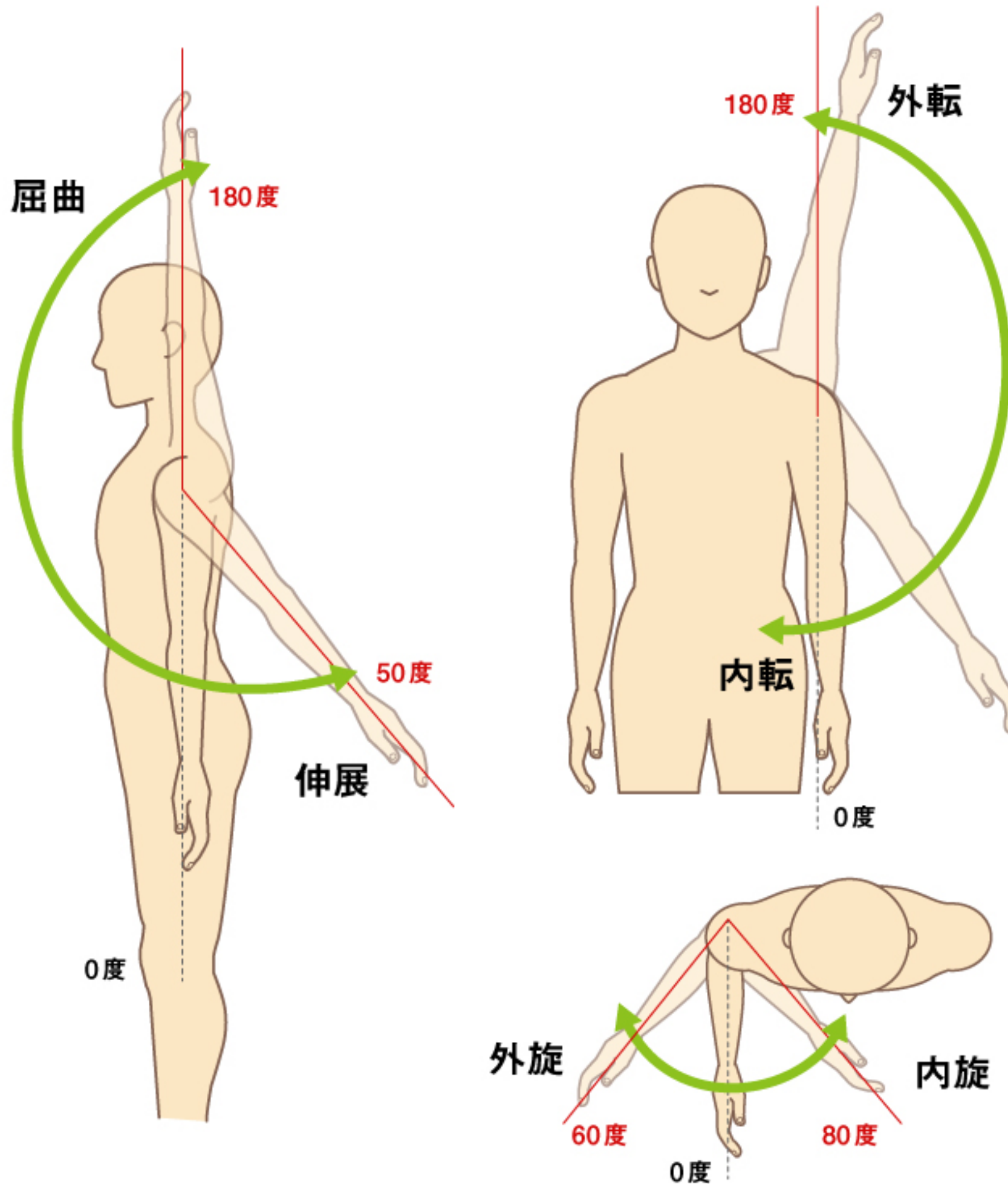
2.3 骨・関節・筋肉 (3) 関節の動き

関節の自由度：回転運動の軸の数

例) 肘：1，肩：3，腕全体：7



図2.23



力と身体バランス - まとめ

- 質量と重力の関係と表し方： m [kg], mg [N], $\square$ [kgw]
- $\square$ の原理（小さな力で重いものを動かす）
 - 力のつり合い： $\square$ 運動
 F
 - 力のモーメントのつり合い： $\square$ 運動
 $F \times \square$
- $\square$ 性と $\square$ 性（外力を取り除いたとき，元に戻るかどうか）
- $\square$ と $\square$ （単位面積あたりの力，単位長さあたりの変位）
- $\square$ ：材料の固さを表す物理量