

# 物理学 (2019)

松本治彦

## 授業概要；

オートクレーブのメカニズム、点滴・輸血時の液体の比重など看護の現場で必要となる様々な事例を取り上げて物理学の理解を深め、科学的なものの考え方を身につける。また、看護師の国家試験に出題されている物理系の問題について紹介する。授業では、「物体の運動」、「運動量と仕事」、「熱と気体の運動」など物理学の基本を復習しながら「患者の移動」、「比熱の計算」、「血圧」などについて学ぶ。グループ討議を設定している。自分の意見を主張して積極的に参加する。

## 到達目標；

看護の現場で物理的なメカニズムを的確につかんで行動する。看護師国家試験の物理系の問題を解く。

## 成績評価法；

質問カードの内容とグループ討議の態度 (20 点)、レポート (30 点)、定期試験 (50 点) で総合評価する。

## 授業計画；

- 第 1 回 9 月 25 日 授業の概要
- 第 2 回 10 月 2 日 2011.3.11 福島原発事故特別バージョンと放射線
- 第 3 回 10 月 9 日 物体の運動、患者の移動、トルク、運動の 3 法則、仕事、衝撃力、骨折、牽引
- 第 4 回 10 月 16 日 要点整理 (グループ討議とレポート 1 提出準備「内容の確認」)
- 第 5 回 10 月 23 日 熱と気体の運動、比熱計算、水枕、熱移動 (レポート 1 提出)
- 第 6 回 10 月 30 日 圧力、表面張力、密度、比重
- 第 7 回 11 月 6 日 血圧、吸引装置、酸素ボンベ、連結ビン
- 第 8 回 11 月 13 日 要点整理 (グループ討議とレポート 2 提出準備「内容の確認」)
- 第 9 回 11 月 20 日 比重計、オートクレーブ、濃度の表し方と物質の溶け方 (レポート 2 提出)
- 第 10 回 11 月 27 日 熱力学、音波、浸透圧、人工透析、心拍数、サイレン
- 第 11 回 12 月 4 日 ファイバースコープ、サーモグラフィ、電気
- 第 12 回 12 月 11 日 要点整理 (グループ討議とレポート 3 提出準備「内容の確認」)
- 第 13 回 12 月 18 日 看護師国家試験の物理系問題の出題例 (レポート 3 提出)

第14回 1月8日 国家試験解答、要点整理（グループ協議とレポート4提出準備「解き方の確認」）

第15回 1月15日 まとめ（レポート4提出）

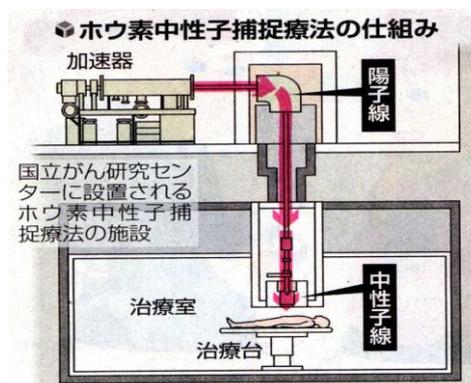
## 授業の概要

### 原子核と放射性物質

放射性物質・放射線・放射能、外部被曝と内部被曝、「確定的影響」と「確率的影響」、福島事故で飛散した放射性物質、放射性崩壊・アイソトープ・電磁波の分類

### ホウ素中性子補足療法

がん細胞にホウ素を取り込ませる、中性子線を照射、ホウ素と中性子が反応し、 $\alpha$ 線ができる、 $\alpha$ 線には細胞を殺す強い働き。飛距離は、細胞1個分以下、周りの正常細胞に影響を与えず、そのがん細胞だけを殺せる、正常細胞をほとんど傷つけない画期的な治療法



力の大きさ； $1\text{kgw} \cdot 1\text{gw} \cdot 1\text{N} \cdot 1\text{dyne}$ 、

力の大きさ； $1\text{kg} \times 1\text{m/s}^2 = 1\text{N}$

トルク・てこ・体位変換

安定・不安定（重心と患者の移動）

ニュートンの運動の3法則は

慣性・運動・作用反作用

運動量＝物体の質量×速度

撃力＝（運動量の変化）÷（ぶつかるまでの時間）

仕事＝（力の大きさ）×（移動距離）

$$1\text{N} \times 1\text{m} = 1\text{J}$$

仕事率；1秒間に1Jの仕事をする割合が1W

1kWの仕事率で1時間に行う仕事が1kWh

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

$K = (1/2)mv^2$ ；運動エネルギーの単位もJ

$U = mgh$ ；位置エネルギーの単位もJ

比熱の計算（1）

1) 冷凍庫から出した直後の氷が $-20^\circ\text{C}$ 。氷の比熱は $0.5\text{cal/g}^\circ\text{C}$ 、 $100\text{g}$ の氷が溶け始める寸前までに、何calの熱を氷は外からもらう必要があるか。また、 $200\text{g}$ の魚がこの氷でくまれているとしたら、はじめ $10^\circ\text{C}$ だった魚は何度まで下がるの？

比熱の計算（2）

1) 0°Cの水と 0°Cの氷：いま、冷凍庫から 1g の氷を取り出した。この氷は-20°C、この氷は 0°Cの水にするには、どれだけの熱が必要なのか？

2) フレーク状の氷 500g (-5°C) に 18°Cの水 100ml を加えて氷枕を患者に用意。その後、氷が溶けて 15°Cの様な水になった。この間に患者から奪った熱は？

#### 100°Cのお湯と蒸気 (問題)

3) 100°Cの湯と 100°Cの蒸気：同じグラム数の 100°Cの蒸気と 100°Cのお湯を身体に浴びた場合を考える。100°Cの湯が体で冷やされて、80°Cに下がったとすると、熱湯 1g につき 20cal の熱を皮膚に与えたことになり、やけどの原因となる。このとき、100°Cの蒸気を浴びたらどうなるのか？サウナでやけどをしない理由は？

#### 熱移動 (1) 伝導による移動 (問題)

接触している物体間で、高温側から低温側への熱の移動を、**熱伝導**という。金属製のスプーンで熱いお湯をかき混ぜると、スプーンがすぐに熱くなって手で持てない。木のしゃもじなら平気である。これは、どうしてか？

#### 熱移動 (2) 対流による移動

液体や気体のことを流体というが、固体物質と違って、流体では流体自体の運動によって熱が運ばれる。このような熱の移動を**対流**という。例として、水の温まり方、部屋の空気の温まり方を上げることができる。

#### 熱移動 (3) 放射による移動

ストーブに手をかざすと暖かいし、熱いアイロンのそばに手を持ってきても暖かく感じる。これは高温のアイロンからエネルギー、つまり電磁波のエネルギーが**放射**されているから。放射による熱移動の計算

#### 「圧力の基本」

圧力を表すのに  $\text{kg/cm}^2$  (正式には  $\text{kgw/cm}^2$ ) という単位をよく使う。ところが、血圧測定に用いる  $\text{mmHg}$  は圧力の強さを水銀柱の高さだけで表し、胸腔ドレナージで扱う  $\text{cmH}_2\text{O}$  は水柱だけの高さで表し、面積の単位を含んでいない。これは、どうしてだろう。答えは、

#### 「圧力の強さ」は同じ面積で考えると、重さだけ (高さだけ) の問題となる

#### 動圧・静圧・表面張力・界面活性剤

ホース、注射器：ホースで水をまくとき、ホースの先端の出口を細くすると、水の流れが急に速くなり、水が遠くまで届く。

注射器の内筒をゆっくりと押しても、針先の狭い穴からかなり速く液体が飛び出す。

↓

#### 「狭い部分は流れが速い」

ホースの出口を押さえ、流れを速くした水に手を当てると手が痛い。流れが遅い水に手を当てても痛く感じない。

これは「流れの速い部分は流れの持つ圧力（動いているために生じる圧力で動圧）が大きく、流れが遅いと動圧が小さい」。

「管の太い部分よりも細い部分の方が流れが速い。流れが速い部分は動圧が大きく、遅い部分は動圧が小さい」

ベルヌーイの定理（動圧+静圧=一定）

側面を押す圧力は側圧、動圧に対して静圧ともいう。

「太い管では静圧が大きく、細い管では静圧が小さい」

ホースの話と合わせると、ネブライザの原理となる

「太い管は静圧が大きい代わりに動圧が小さい、細い管は静圧が小さい代わりに動圧が大きい」

「(動圧) + (静圧) = (全圧) は管の太い、細いによらずどこでも同じ値。これがベルヌーイの定理」

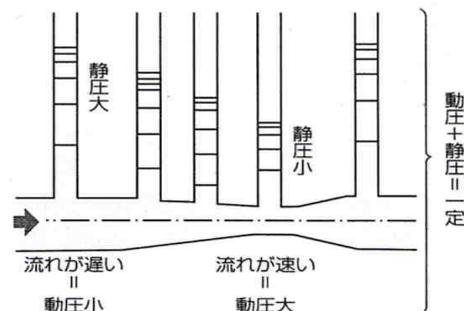


図1 ベルヌーイの定理(1)

表面張力

液体には表面積をできるだけ小さくしようとする傾向が生じ、その度合いを示す量を表面張力という

界面活性剤

表面張力を小さくするのが、洗剤などの界面活性剤。

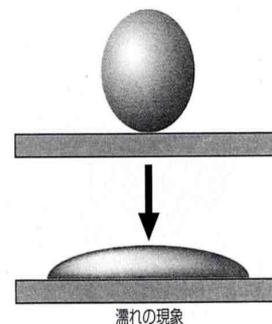


図7 表面張力が低下したら……

「血圧、低圧持続吸引装置、酸素ボンベ、連結ビン」

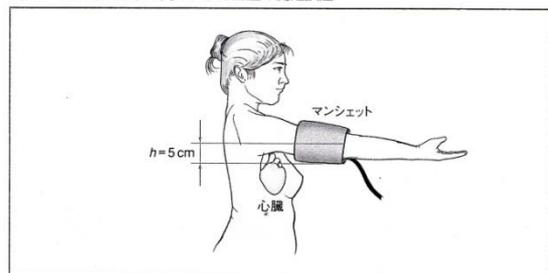
心室が収縮し血液が動脈に排出のとき血圧が最大。最高血圧、心

室が拡張して血圧が最低になるときの血圧が最低血圧

血圧と音の関係は？（渦、衝撃波

マンシェットの高さによる血圧の測定誤差

図42 マンシェットの高さによる血圧の測定誤差



低圧持続吸引装置の原理

同じ高さ、同じ圧力が基本、ガラス管内の水面はいつも1気圧

陰圧（容器内の圧力が外部の圧力よりも小さい）

酸素ボンベ

ボイルの法則：「温度が一定のとき、気体の体積は圧力に反比例する（または、 $PV=一定$ ）」

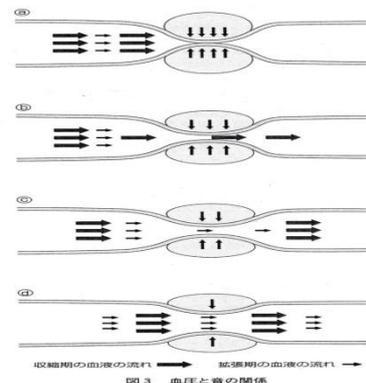


図3 血圧と音の関係

をボイルの法則という。

問1) 吸入を始めてしばらくして、患者が吸引している酸素ボンベの圧力計が  $100\text{kg/cm}^2$  を示していたら、1分間に  $2\text{l}$  で吸入したとして、あと何分可能ですか？

問2) 1分間に  $3\text{l}$  の流量で4時間、吸入を続けたいとき、容量  $10\text{l}$  のボンベであれば、圧力計がどのような値以上を示している必要がありますか？

新しいボンベの圧力計の単位 MPa (メガ・パスカル)

$1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$ 、 $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$ 、 $1\text{kgw}=1\text{kg}\times 9.8\text{m/s}^2=9.8\text{N}$

$1\text{MPa}=10^6\text{Pa}=10^6\text{N}/10^4\text{cm}^2=100\text{N/cm}^2$ 、 $150\text{kgw}/\text{cm}^2=150\times 9.8\text{N}/\text{cm}^2=1470\text{N}/\text{cm}^2$ 、 $14.7\text{MPa}=14.7\times 100\text{N/cm}^2=1470\text{N}/\text{cm}^2$ 、 $150\text{kgw}/\text{cm}^2=14.7\text{MPa}$

問3)  $500\text{l}$  の酸素ボンベ ( $14.7\text{MPa}$  充填) の残圧が  $3\text{MPa}$  のときの酸素残量はいくらか？

問4) 「酸素を  $2\text{l}/\text{分}$ 」吸入中の呼吸不全の患者を、酸素ボンベ ( $500\text{l}\cdot 14.7\text{MPa}$  充填) を用いて検査室に移動することになった。ボンベの内圧計は  $9\text{MPa}$  を示していた。このボンベでの吸入可能時間はいくらか？

圧力の大きさによって生じる疾患

- 1) 潜水夫病
- 2) 高山病

問題5) どうして、1気圧= $1013\text{hPa}$  になるのですか？

### 薬液注入と患者に与える影響

アンプルとバイアル：アンプルとバイアルから薬液を注射器に入れるときに、大きく異なる点は、バイアルから吸い取るとき、注射する薬液と同量の空気を前もってバイアルに入れておかななくてはならない。

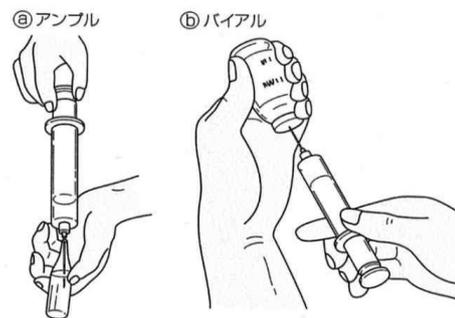


図1 注射器に薬液を入れる

### 点滴静脈注射

問題1) 抗生剤を小児用量  $15\text{mg}$  で、点滴内へ混注するように指示を受けた。ラベルには1アンプル  $200\text{mg}/1\text{ml}$  とある。どのように取り出せはよいか？

問題2)  $550\text{ml}$  を2時間で点滴するように指示を受けた。輸液セット ( $60\text{滴}=1\text{ml}$ ) で点滴すると、滴下数/分はいくらになるか？



問題3) 「10%塩酸リドカイン液  $10\text{ml}$  をブドウ糖液と混合し、 $500\text{ml}$  にして  $2\text{mg}/\text{分}$  で点滴静脈内注射」が処方された。流入速度は何  $\text{ml}/\text{分}$  にすればよいか？

### 「オートクレーブ」

消毒滅菌：オートクレーブは加圧蒸気滅菌装置である。

微生物を殺すことを滅菌といい、殺菌も同義である。

これに対して、病原性のある有毒な微生物を殺すことを消毒という。

### 比重計

体積  $1\text{cm}^3$  で、鉄  $7.86\text{g}$ 、氷  $0.92\text{g}$  の質量。この単位体積 ( $1\text{cm}^3$ ) 当たりの質量 (g) が物質の密度、比重は「物質の密度と水の密度との比」、比重は密度から単位を除いた値

### 濃度の表し方と物質の溶け方

溶液・溶質・溶媒：食塩液は食塩が水に溶けているので「溶質は食塩、溶媒は水、溶液は食塩水」

溶液の中の溶質は固体でなく、液体でも気体でもよい。均一に混ざってさえいればいい  
水とエタノールは両方とも液体、均一に混ざった液も、溶液、水の方がエタノールの量よりも多ければ、水が溶媒、エタノールが溶質

量が逆なら、水が溶質、エタノールが溶媒。食塩液のように、溶媒が水の場合が水溶液、溶媒がアルコールならアルコール溶液

### 問題

25%食塩水  $100\text{g}$  に水  $25\text{g}$  を加えると、濃度はどうなりますか。

25%食塩水  $100\text{g}$  を 10%に薄めるために加える水の量は？

500ppm、次亜塩素酸ナトリウム溶液を 1 リットル作成したい。1.1w/v %次亜塩素酸ナトリウム (ミルトン) は何 ml 必要ですか？

### 「エントロピー増大の法則」

拡散；濃度差があるとき、次第に溶質が広がり散らばって、ついに一様な濃度になる現象

濃度の濃い方から薄い方へ溶液が移動するのは自然の理、逆は起こらない。

拡散現象は一方通行。これが「エントロピー増大の法則」

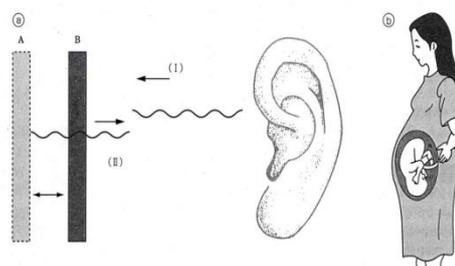
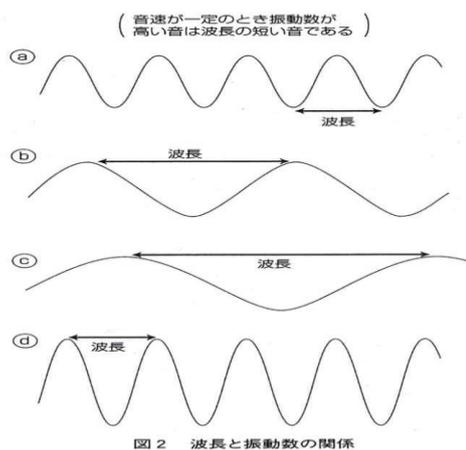
### 心拍数と救急車のサイレン

ドップラー効果：音源や観測者の位置の変化によって生じる音の高さの変化(音が波であるから生じる現象)

### 音源が近づくと

救急車がサイレンを鳴らしながら我々のほうへ近づいてくる場面を想像

救急車停止の場合、サイレンは四方八方へ同じ波長



(同じ振動数) の音波として伝わる

救急車が観測者の方へ近づいてくると、車と観測者の距離が短くなるので、その間隔に同じ個数の波を収めるため、波長は短い

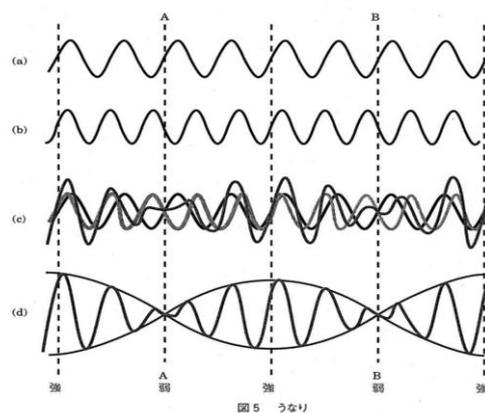
振動数が大きくなり、音が高く聞こえる

逆に、音源が遠ざかっていくと、振動数が小さくなるので、音が低く聞こえる

音源に観測者が近づく場合も振動数が大きくなり、音が高く聞こえる

赤ちゃんの心拍検査

- **図5**の a と b は振動数が少しだけ異なる
- 波が重なり合うと、波の様子は c か d
- 振幅の大小は音の強弱
- 音が強まったり、弱まったりしながら周期的に届く (うなり)
- 心拍検査の場合、心臓が運動すると、ドップラー効果で送信波とは波長がわずかに異なる波を反射
- 反射波を送信波に重ね合わせると「うなり」が生じる
- この原理はドップラー効果と「うなり (ビート)」の現象の組み合わせ、「ドップラービート」とも呼ばれる
- うなりの振動数で赤ちゃんの心臓の状態がわかる



### 紫外線の殺菌効果

紫外線で殺菌できるのはエネルギーが大きく、殺菌の活動抑止や化学結合を変えるから水を除く物質に対し、紫外線は表面殺菌のみ

殺菌灯は空気中の細菌の数を減らすので病院でも用いられ、腐敗しやすい製品の表面殺菌に用いられる

### 医療に役立つサーモグラフィ

サーモグラフィは、患者の身体から放射される赤外線を検出、皮膚に近い部分の温度分布を可視象に換える技術

温度が「絶対零度」でない限り、すべての物体から熱のエネルギーが放出されている。温度が高いほど、たくさんのエネルギーを出す。すべての物体は光を出している。

### 電気

電気は、電気の性質 (電荷) をもつ粒子

粒子は、電子、陽イオンなど

電流は、この粒子の流れ

電流はプラス側からマイナス側に流れる

電子はマイナス側からプラス側に流れる

これは、電流が電子の流れであることを発見する前に、電流の流れる方向はプラスからマイナスときめてしまったため

電流の大きさはアンペア。水の流れが電流だと、水面の高さが電位に相当

電圧；水は水面の高い方から低い方へ流れる。電気も電位の高い方から低い方へ流れようとする。この電気を流そうとする力が電圧、電圧の大きさがボルト（V）

オームの法則；電流は電圧が高いほど大きく、このときの比例定数が抵抗、この関係は、 $V = IR$  V；電圧、I；電流（A）、R抵抗（ $\Omega$ ）。この関係がオームの法則

## 2011.3.11 福島原発事故特別バージョンと放射線

### 放射性物質と放射線

「放射性物質」とは放射線を放出する発生源のこと

「放射線」とは放射性物質から放射された放射線粒子のことで、 $\alpha$ 粒子、 $\beta$ 粒子、 $\gamma$ 粒子などの種類がある

### 放射能

「放射能」とは放射性物質から放射される放射線粒子の「数」と関係、個々の放射線粒子のエネルギーの大きさとは関係しない

### 放射能の強さ

放射性物質に汚染された物質1kg当たり1秒間に放出される放射線粒子の数が放射能の強さで、「ベクレル」(Bq/kg)で表す。放射線量の測定には「ガイガー・カウンター」を使う

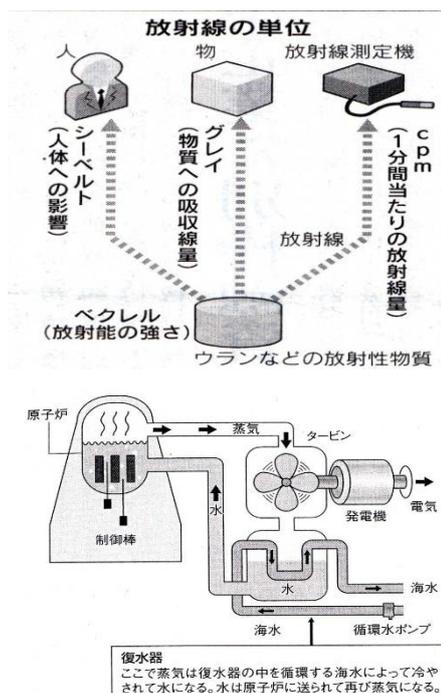
### 人体に対する被曝量

「シーベルト」(Sv)は体内に取り込んだ放射線粒子のエネルギーに関した単位で、「人体に対する被曝量」を表し、通常、1時間当たり(毎時マイクロシーベルト)( $\mu\text{Sv/h}$ )とか1年間当たりで表す。

マイクロシーベルトはミリシーベルト(mSv)の1000分の1で、例えば $10\mu\text{Sv/h}$ の放射線を3時間浴びた被曝総量は $30\mu\text{Sv}$ となる。

### グレイ

物質が吸収される放射線のエネルギーはグレイ(Gy)



の単位を使う。

1 キログラムの物質が 1 ジュールのエネルギーを吸収したとき 1 グレイと呼ぶ。

### 外部被曝と内部被曝

人体の外にある放射性物質から放射された放射線を浴びることを「外部被曝」、放射性物質を飲み水や食べ物として体内に取り込むことを「内部被曝」という。

### 福島事故で飛散した放射性物質

主にヨウ素 131 とセシウム 137、ストロンチウム 90。

放射線を出す「半減期」があり、それぞれ 8 日、30 年、29 年。

半減期 30 年は 30 年で 2 分の 1、60 年で 4 分の 1、90 年で 8 分の 1、時間とともに「放射能」の強さが下がる。

### 放射性物質の崩壊熱

震度 5 以上の地震が発生した場合、原子力発電所の稼働が自動的にストップする。

原子炉の運転停止後も、原子炉内に溜まった放射性物質の崩壊熱のために原子炉を冷やし続けなければならない。

### 原子力発電所の原理

電気機器は簡単に「オン・オフ」ができる。しかし放射線は簡単には「オン・オフ」できない。放射性物質から出る放射線を「オフ」にするにはその放射性物質を何かでカバー（遮蔽）してしまうしか、手がない。

### 被曝量

「被曝量」は時間に関係した量で、被曝される時間が長いほど被曝量は多くなる。放射能の値が弱くても長い間連続して被曝すると、危険な状態に陥る確率が高くなる。しかし放射線が人体に及ぼす影響は、まだ完全には理解されていないのが現状。

### 原子・原子核の大きさ

「核」という言葉は、細胞の核からきている。細胞の中心に核があるように、原子の中心にも核がある

人体を含め、すべての物体は膨大な数の原子の集まりで構成

原子 1 個は 1 億分の 1 センチ程度

原子核の周りを「電子」が回っている

核の直径は原子の直径の約 10 万分の 1

### 電子・陽子・中性子

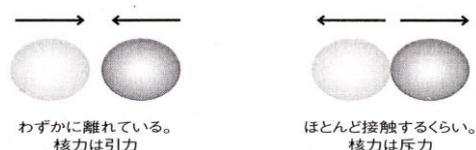
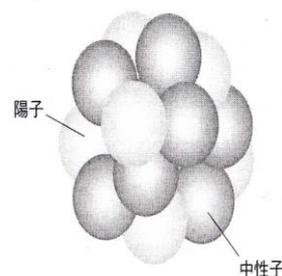
核は小さな粒子がギッシリと詰まっている

「陽子」と「中性子」大きさは「10 兆分の 1 センチ」で重さも同じ

電子は陽子の約 2000 分の 1

電子と陽子は電気を帯びている

電子はマイナス、陽子はプラス



中性子は電氣的に中性

### 核の構造

#### 核力と密度

「核力」は極めて強く、核の密度は極めて大

密度は原子の種類によらずほぼ同じで  $10^{14}\text{g/cm}^3 \sim 10^{15}\text{g/cm}^3$  程度

$10^{14}\text{g/cm}^3$ は、1立方センチメートル当たり、核の重さ  $10^{11}\text{kg}$  という途方もない値

水の密度が1立方センチメートル当たり  $0.001\text{kg}$ 、核の密度は水の密度の100兆倍

#### 二つの顔

「核力」が及ぶ範囲は極めて短い。核子1個の直径ぐらい。

核子同士が完全に接触するぐらいに近づくと、核力は斥力（反発力）に転じる。

二つの「顔」を持つ。このため、核内にひしめき合っている核子は押しつぶされない。

#### 同位体元素（アイソトープ）

原子名が同じで重さの異なる原子。中性子数が異なる。

陽子数が同じで、中性子数の異なる原子（元素）はアイソトープ（同位元素）。

化学的性質は陽子数で決定（化学的性質は同じ）

アイソトープの明示は「質量数」。質量数は核の中の「陽子数+中性子数」。

#### ラジオアイソトープ

自然に放射線を出す性質をもった同位体が**放射性同位体（ラジオアイソトープ）**

#### 放射線は「核」から出る、 $\alpha$ 崩壊

自然で最も多くの陽子をもつ原子はウラン

重い原子核は陽子数を減らそうとしている

ヘリウム核は安定、1個の粒子として動く

重い核が、陽子の数を減らす時、**ヘリウム核（ $\alpha$ 核）を放り出す。**

「アルファ粒子」とも呼ばれる

陽子数2、中性子数2個減る

この現象は「核の $\alpha$ 崩壊」という。

ウラン238の場合、「トリウム」になる。

#### 核の安定比とベータ崩壊

陽子の数が増えると核は不安定に

不安定さを補うため中性子の数は陽子の数より

多い

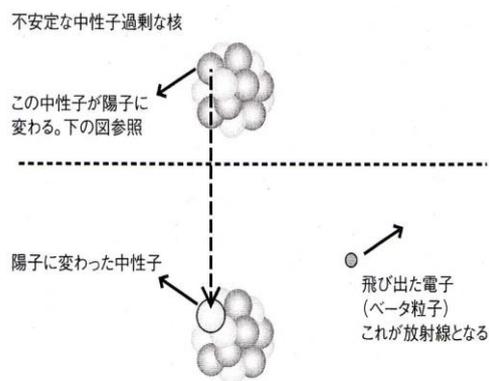
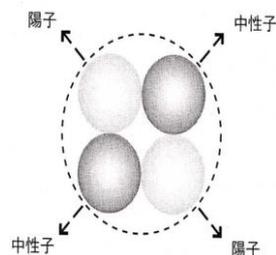
そうすると中性子過剰の核となる

核内の1個の中性子は**電子を放出**、その中性子

は陽子に変化

核から電子が飛び出すのが「ベータ崩壊」

陽子1つ増加し、原子番号1つ増える



セシウムはベータ崩壊しバリウムに

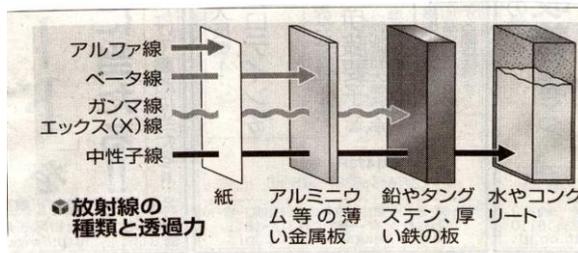
福島原発事故で飛散したセシウム 137 (55+82) はベータ崩壊してバリウム (56+81) になる。

セシウム 137 という原子から構成されている 1 kgのセシウム元素には桁数にして  $10^{24}$  個のセシウム 137 の核がある

核構造変化なしでエネルギー低下

ベータ崩壊後、核エネルギーが十分に低下していない場合

核はエネルギーをさらに下げ安定に「 $\gamma$ 崩壊」



$\gamma$  崩壊は核が  $\gamma$  光子を核外放出する現象  
多数の  $\gamma$  光子が  $\gamma$  線。その正体は電磁波  
放射性崩壊

$\alpha$  線 ( $\alpha$  粒子はヘリウム核)、 $\beta$  線 ( $\beta$  粒子は電子そのもの)、 $\gamma$  線 (電磁波)

3つの放射線はすべて核から放出、このほかに、中性子線、X線がある

核が放射線を出して崩壊する場合「放射性崩壊」という。

不安定な核

不安定な核とは、核内の核子同士はプラス電荷をもつ陽子などの影響であまり強く結ばれていない状態、特に、陽子を多く抱えるウランやプルトニウムのような重い核にはこの傾向が強い

自然現象の一つの特徴はエネルギーが高いほど不安定で、エネルギーの高い状態からエネルギーの低い状態へと遷移していく

放射性物質の半減期

半減期の短い放射性物質は早く崩壊、放射能は強いが放射時間が短い

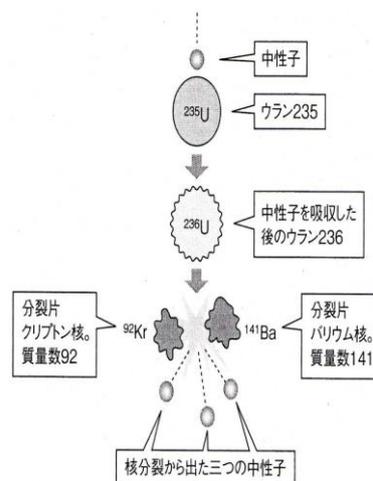
半減期の長い放射性物質は長い間崩壊、放射能は弱いが、放射線を長い間放射

ウラン 238 は  $\alpha$  崩壊、その半減期が 45 億年。放射能は弱い  
が、放出される個々の  $\alpha$  粒子のエネルギーは高い。エネルギーの大きな  $\alpha$  粒子が体内に入ると、細胞を壊す。放射能が弱くても、決して安心できない

プルトニウム 239 は、原子炉の中で「生産」

プルトニウム 239 も  $\alpha$  崩壊、半減期 2 万 4 千年

ウラン 238 の 45 億年と比べ短い、プルトニウム 239 は 1 秒間当たりにより多くの  $\alpha$  粒子を放出。したがって、プルトニウム 239 の放射能はウランの放射能に比べると桁違いに強い。さらに、プルトニウム 239 から出る個々の  $\alpha$  粒子のエネルギーも  $\beta$  粒子よりもはるか



に大きく、細胞を壊す破壊力も大きい。プルトニウム 239 は毒性が強い。

### 薄めれば放射能は弱くなる

ある時刻における放射性物質の放射能は、その時刻の放射線を出す核の数に依存  
放射性物質を他の放射線を全く出さない物質と均等に混ぜると、単位重量当たりに含まれる放射線を出す核の数は減少する

放射性物質は薄められる。半減期は変わらない。放射性物質を薄めることで、放射能の強さを弱めることができる。

### ウラン 235 の分裂過程

#### 核分裂生成物

「核燃料」が燃えると「核分裂生成物」発生。これが蓄積、核燃料の量が減少。使い古しの核燃料が「使用済み核燃料」。核分裂生成物の 100% 近くは放射性物質。核分裂生成物には多種の放射性物質が含まれている。稼働停止後も原子炉内の核分裂生成物から相当に長い間放射線粒子（ $\beta$  粒子・ $\gamma$  光子）が放出。

#### 核分裂生成物は物体に付着

セシウム 137 は窒素分子 28 の 5 倍近く重い。空気中に飛散した核分裂生成物は、下降（地面、木、建物、牧草地、畑などに付着）。付着するのは、セシウムやストロンチウムなど。

放射性物質が付着した食物を人間や家畜動物が摂取すると、「内部被曝」が起こる。体内で放射線を放出。

#### 強い $\alpha$ 粒子の電離作用（内部被曝）

その空気を吸い込むと、最初に肺の細胞にぶち当たり、細胞に傷がつく。細胞自身、自ら修復する能力はあるが、 $\alpha$  粒子のエネルギーは大きい、壊れた細胞は修復不可能になることがある。これが起こると細胞分裂に異常が生じ、癌細胞となったまま分裂増殖が起こる。

$\alpha$  線は体内で最初に出くわした細胞を攻撃するので極めて危険。

#### $\beta$ 線

ヨウ素 131 は半減期が 8 日、放射能が強い。

甲状腺に蓄積、甲状腺がん・確率が高くなる。

甲状腺がすでにヨウ素で満杯の場合、ヨウ素 131 は甲状腺に溜まりにくい。昆布にはヨウ素が含まれる。

セシウム 137 は筋肉・生殖器に溜まりやすい。

ストロンチウム 90 は骨に吸収。骨髄の造血作用を侵害、白血病を引き起こす。



## γ線

重さも電荷もない。電子と反応する

γ光子は核から放出、エネルギーは非常に大

γ線は原子を電離する能力ある

細胞を壊す能力がある

人体に入り込んだγ線は細胞を構成している原子を電離し、また原子同士を結び付けている電子も飛ばし、細胞の働きを妨げ、細胞分裂に異常をきたし、癌細胞化する。

### 植物は内部被曝するのか？

土壌がセシウム 137 で汚染されていると、セシウムをカリウムと思い込んで、植物は土壌からセシウムを吸収する。内部被曝を受ける。野菜を洗っただけでは安心できない

### 防護

放射線による生物体への影響は、細胞分裂の盛んな所ほど大きい。造血器官（骨髄、リンパ節など）、生殖腺などが影響を受けやすい。特に、生殖腺に受けた影響は蓄積して子孫にまで及ぶ。放射線にさらされる危険のあるときには、鉛の薄板でその勝者を遮るなどの防護が必要。

### 確率ということ

放射性物質から放射線粒子が放出されるのは「確率」に基づく

同じ被曝量でも人それぞれの体内で起こっている放射線障害の過程は、必ずしも同じではない。大勢の被曝した人を対象にした「確率」を割り出すしか、ほかに方法がない。

被曝量は時間と距離に関係した量である

### 放射線の正しい知識

放射線被曝の影響の一つである「**確定的影響**」は、一度に高い線量の放射線を浴びた場合に起きる。放射線量がある値を超えると、急性もしくは少し時間がたってから、確実に健康を害する。例えば、全身に 500 ミリシーベルト浴びると、血液中のリンパ球が一時的に減る。1000 ミリシーベルト（1 シーベルト）以上で脱力感などの自覚症状が出始める。7000 ～1 万ミリシーベルトで中枢神経がやられて死亡する。

1999 年に起きた茨城県東海村の JCO 臨界事故で亡くなった作業員はこのレベルを浴びた。1000 ミリシーベルトを超えると確定的影響が問題となる。

一方、「**確率的影響**」は被曝後、数年～数 10 年をかけて出るもので、大勢の人が放射線を浴びるとき一定の割合の人ががんなどが発症することを指している。

「原発から離れた場所に住む人にとって問題になるのは、比較的少ない放射線を受けたときに生ずる、この確率的影響。

体の外から受ける放射線量が累積で 10～50 ミリシーベルトになりそうだと屋内退避、50



ミリシーベルトを超えると予測されると、その地域にいる人に避難指示。

しかし、確率的影響も 200 ミリシーベルトより低い線量では発がんリスクが上がる証拠なし。「広島、長崎の被爆者でも確率的影響による発がんリスクの増加はない」とのことです。

100 ミリシーベルト以下では喫煙など他の要因によるリスクと見分けがつかない。

放射線を使う技師や医師、原子力発電所職員らは通常 1 年間で最大 50 ミリシーベルト（5 年間平均で 20 ミリシーベルト）まで放射を受けても問題ないとされている。

この規制値は、急性で影響が出てくる 1000 ミリシーベルトまでには 20 倍、確率的な発がんリスクと比較しても 2 倍以上の余裕が取ってある。

一般の被曝の限度は、さらに安全をみて年間 1 ミリシーベルト（自然放射線量を除く）。医師らは、放射線について知り線量計などで被曝を常に把握して管理しています。無防備な一般の人はより低い水準にとどめている。

年間 1 ミリシーベルトは、急性の症状が出る 1,000 分の 1 以下。長期の発がんリスクが高まるかどうか検証できないほどの水準。

理論上は、年間 1 ミリシーベルトを生まれたときから 80 歳までずっと浴び続けても、がんの発症リスクの上昇は 0.5% 以下と見積もられています。自然放射線量が 1.5 ミリシーベルトなので、計算してみると  $2.5 \times 80 = 200$  ミリシーベルトになります。

実際には、放射線量は日常的に宇宙から降り注ぎ、岩石に含まれる放射性物質からも出てきます。日本人は平均年間 1.5 ミリシーベルトを浴びている。

規制値はそれを超えれば、すぐに危険という「安全と危険を区切る境界線」ではありません。安全に十分な余裕がとってある。

低線量の放射線が人体に与える影響が確率的。確率はどんなに低くても、全くないとは言えない。

## 利用

放射線は性質を生かして有効に利用

γ 線は透過力が強いので、X 線による透視と同じように、金属製品の構造や内部のいたみなどを破壊しないで調べるのに使われる。

X 線や γ 線を用いたこの透過写真の技術をラジオグラフィという。

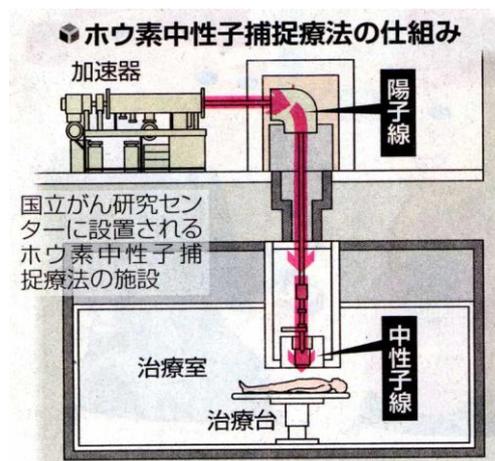
物質の移動や反応の経路を調べるときに添加

する物質がトレーサー、おもに放射性同位体が使われている。これは、人体の病変組織の検査などにも使われる。

じゃがいもに γ 線を照射し、発芽を抑えて長く保存する（照射食品）

放射線を体に照射するとは？

遺伝子を構成する DNA に傷つく



細胞の異常分裂、突然変異、組織破壊、死滅

弱い照射で、DNAのらせん構造の一部が変性、一部ががん細胞に。

強い照射で、DNAのらせん構造がずたずたに切れて細胞は死滅。

正常細胞でもがん細胞でも、強い照射で細胞は死滅する。

がん細胞だけを狙って強い照射を当てるのがポイントとなる。

### ホウ素中性子補足療法とは？

放射線 ガンだけ破壊

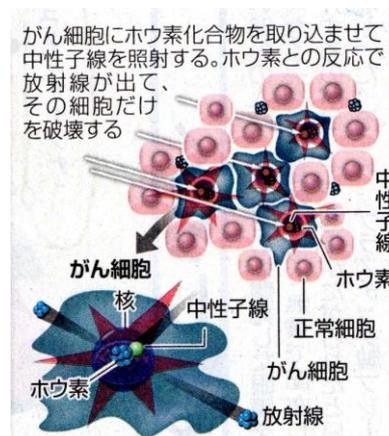
「がん細胞にホウ素という物質を取り込ませて、放射線の一種である中性子線を、人体の影響が少ない低エネルギーで照射します。すると、ホウ素と中性子が反応してα線という放射線が出ます。α線には細胞を殺す強い働きがあります。飛距離は、細胞1個分以下と短いので、周りの正常細胞に影響を与えず、そのがん細胞だけを殺せます。」

「他の放射線療法は、がん組織全体に治療効果のある放射線を当てるため、がん細胞周辺の正常細胞も傷つきます。ホウ素中性子補足療法は、原理的には、がん細胞だけを選択的に殺して、正常細胞をほとんど傷つけない画期的な治療法」  
ホウ素をどのようにがん細胞に入れるのか。

「一般的に、がん細胞は増殖力が強いので、正常細胞よりもホウ素化合物を多く取り込みます。その性質を利用し、アミノ酸とホウ素の化合物を患者に点滴する」「しかし、がんによってはホウ素化合物が十分集まらず、治療のできない場合がある。そこで、がん細胞に効率的にホウ素を集積させる研究が進められている。」

どんながんの治療に使えるか。

「細胞単位で効くため、形がはっきりしない浸潤性や多発性のがん治療に向くが、中性子が入る深さが体表から7cm程度なので、深い部分のがんには向かない。脳腫瘍や頭頸部がん、皮膚がん、肺がんなどが臨床研究で効果が示されている」



	イクス線治療	陽子線治療	重粒子線治療	ホウ素中性子補足療法
主な治療部位	全身	脳、頭頸部、肺、肝臓、食道、前立腺など	脳、頭頸部、肺、肝臓、骨軟部、前立腺など	脳、頭頸部、皮膚、肺など
最大照射深度	30センチ	30センチ	30センチ	7センチ※
特徴	保険適用	正常組織への影響少ない	細胞殺傷効果が高い	浸潤性がんにも有効

※ 肺はより深く届く

2015.1.23 日経 水素イオンを使う陽子線タイプより患部をピンポイントで狙える。

精密照射、体負担少なく、放射線の強さを自動制御、呼吸で動く患部追尾

- 呼吸とともに微妙に動く患部に放射線を正確に当てる。

2015.3.3 日経 がん粒子線装置、三分の一に

三菱電機が粒子線治療装置の小型化に成功

- 現行は直径 20m
- 炭素イオンタイプ

2015.6.22 読売 がん狙い撃ち、微小カプセル、手術困難な患者治療に道（東大）

- がん細胞だけを狙い撃ちする微小カプセル
- 正常な細胞をほとんど傷つけることなく治療
- カプセルの直径は 55nm（ナノは 10 億分の 1）
- 中にガドリニウム、中性子線が当たると、放射線を出す
- カプセルは血管からがん組織にしみ出すように設計

2016.8.5 日経 AI、がん治療法助言、白血病のタイプ見抜く

- 膨大な医学論文を学習した人工知能（AI）が、診断が難しい 60 代の女性患者の白血病を 10 分ほどで見抜いて、東京大医科学研究所に適切な治療法を助言、女性の回復に貢献していたことが 4 日、わかった。使われたのは米国のクイズ番組で人間のチャンピオンを破った米 IBM の「ワトソン」。東大は昨年からワトソンを使ったがん診断の研究を始めており、東條教授は「AI が患者の救命に役立ったのは国内初ではないか」と話している。他にもがん患者の診断に役立った例があるという。AI は物事を学習し、考える能力を持つコンピューターのプログラム。チェスや囲碁などで人間に勝つだけでなく、今後は医療への本格的応用が進みそうだ。
- 女性患者は昨年、血液がんの一種である「急性骨髄性白血病」と診断されて医科研に入院。2 種類の抗がん剤治療を半年続けたが回復が遅く、敗血症などの危険も出た。そこで、がんに関係する女性の遺伝子情報をワトソンに入力すると、急性骨髄性白血病のうち「二次性白血病」というタイプであるとの分析結果が出た。ワトソンは抗がん剤を別のものに変えるよう提案。女性は数カ月で回復して退院し、現在は通院治療を続けているという。東大と IBM は昨年から、がん研究に関連する約 2 千万件の論文を学習させ、診断に役立てる臨床研究を行っている。

2016.8.27 日経 大腸がん幹細胞狙い撃ちの物質、国立がんセンターなど開発

- 国立がんセンターや理化学研究所などは 26 日、大腸がんのもとになる「幹細胞」だけを殺す新しい化学物質を作ったと発表した。がん幹細胞ができるのに必要な情報伝達を邪魔する働きがあり、マウスを使った実験で効果を確かめた。抗がん剤の効かなくなった大腸がんの新しい治療薬になる可能性がある。大腸がん幹細胞は従来の抗がん剤が効かず、再発や転移の原因となっている。研究グループは、がん幹細胞の情報伝達経路を遮断する「NCB-0846」と呼ぶ新しい化合物を作った。経路を遮断されると、がん幹細胞は死ぬ。人間の大腸がんを移植したマウスに、この物質を注射したところ、がん幹細胞がほぼ消えた。動物実験をさらに進め、1~2 年後

の臨床試験実施を目指す。国内で大腸がんで死ぬ人は年間 5 万人。転移がなければ手術で治るが、転移して再発した場合、抗がん剤を併用して治療を続けるうち抗がん剤が効かなくなる。このため、転移のある大腸がん患者の 5 年生存率は約 15%にとどまっている。

## 1. 物体の運動、患者の移動、トルク、運動の 3 法則、仕事、

### 衝撃力、骨折、牽引

#### 加法の応用

#### 患者の水平移動

#### 絆創膏のはがし方

#### 平均の速さ

速さが時間とともに変わる場合には、平均の速さを考える。

時間  $t$  (s) の間の移動距離が  $s$  (m) のときの平均の速さは

$$v = \text{移動距離} / \text{経過時間} = s / t$$

速度：運動の様子は速さと向きを考えないと決まらない。そこで、速さと向きを合わせも

つ量を考え、これを**速度**という。

#### 直線運動の加速度

$$a = \text{速度の変化} / \text{経過時間} = (v - v_0) / t$$

#### 重力による運動

#### 自由落下

物体に重力だけが働いて、

初速度  $0\text{m/s}$  で落下する運動

#### 自由落下の速度と位置

小球は下向きの一定の加速度  $g = 9.8\text{m/s}^2$  をもつ。

$$v = gt, y = (1/2)gt^2$$

#### 力の単位

物体に働く重力の大きさ（これを物体の重さという）は、物体の質量に比例することが分かっている。質量  $1\text{kg}$  や  $1\text{g}$  の物体に働く重力の大きさを **1kgw (重量キログラム)** や **1gw (重量グラム)** といい、力の単位として用いられる。

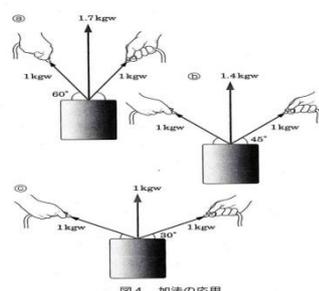


図4 加法の応用

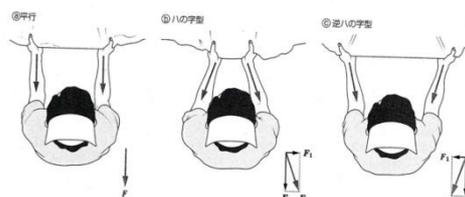


図8 患者の水平移動

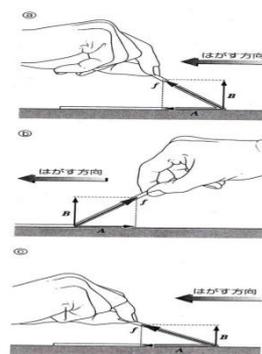


図12 絆創膏をはがすとき

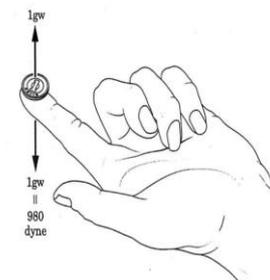


図3 ダインの大きさ

質量 1 kg の物体に働いて  $1 \text{ m/s}^2$  の加速度を生じさせる力の大きさ（質量×加速度）を 1 ニュートン (N) とする。

質量 1 g の物体に働いて  $1 \text{ cm/s}^2$  の加速度を生じさせる力の大きさが 1 ダイン (dyne)。

(問題) この単位を用いると、先ほどの 1 kgw はどうなるでしょう。また、1 gw はどうなるでしょう。答え  
 $1 \text{ kgw} = 1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ N}$

・  $1 \text{ gw} = 1 \text{ g} \times 980 \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ dyne}$

### 単位の接頭語

#### トルク (力のモーメント)

回転効果のことを物理ではトルクといいます。

(トルクの大きさ) =

(腕の長さ) × (加えた力の腕に垂直な成分)

ここで、固定点と着力点を結ぶ線を腕といい、その 2 点間の距離を腕の長さという。

#### 「トルク」と「てこ」の原理

例 1) ドアの場合、同じ力を加えるときにはドアを固定してある場所（ちょうつがい）から遠いところに力を加えた方が大きく回転する。ノブが端についているのもこのため。また、加えた力の垂直な成分が大きいほどトルクが大きくなる。

例 2) ピンセットの場合、人間の加える力よりピン

セットの先に生じる力は小さくなる。ピンセットで物を挟んで持ち上げようとしたとき、落としてしまうのはそれが理由。しかし、ピンセットの場合、この方が好都合な場合が多い。なぜなら、手元で大きな力を加えても先端では小さな力しか生じないので、ピンセットの先で手術部

表 2 単位の10の整数乗倍の接頭語

名称	記号	大きさ	名称	記号	大きさ
エクサ (exa)	E	$10^{18}$	デシ (deci)	d	$10^{-1}$
ペタ (peta)	P	$10^{15}$	センチ (centi)	c	$10^{-2}$
テラ (tera)	T	$10^{12}$	ミリ (mili)	m	$10^{-3}$
ギガ (giga)	G	$10^9$	マイクロ (micro)	$\mu$	$10^{-6}$
メガ (mega)	M	$10^6$	ナノ (nano)	n	$10^{-9}$
キロ (kilo)	k	$10^3$	ピコ (pico)	p	$10^{-12}$
ヘクト (hecto)	h	$10^2$	フェムト (femto)	f	$10^{-15}$
デカ (deca)	da	10	アト (atto)	a	$10^{-18}$

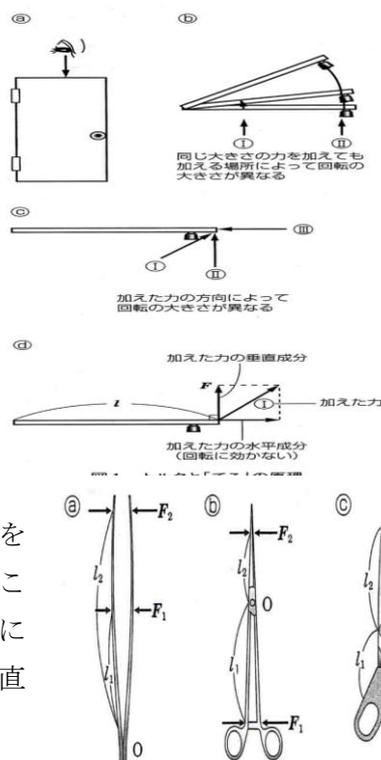
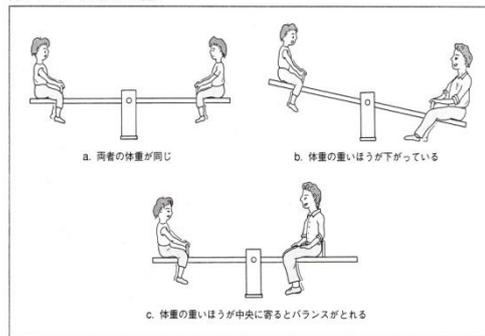


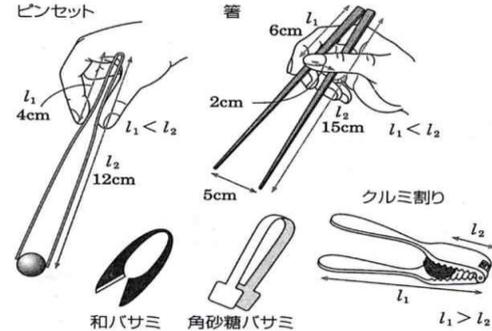
図 3 ピンセット、鉗子、西洋バサミにおける「てこ」の原理

図 9 シーソーにおけるつり合い



位を傷つけることも少ないし、細かい物をつまむことも容易。

- ・ 例 3) 手術でしばしば用いられる鉗子 (かんし) の場合、固定点が中央のほうにあります。そこで、ピンセットとは逆に加えた力より先端には大きな力が生じるので、管を挟んで流れをとめたりできる。
- ・ 例 4) 西洋バサミは、先端で大きな力が出ないが、固いものを切るときには、根元を利用して鉗子と同じ効果を得ている。



体位変換と「てこ」の原理

図 11 a のように患者の両腕を胸で交差させ、手は肩の位置に置き (このとき倒す方向にある腕を下側にすると側じんにするとき腕がくずれない)、両膝をなるべく垂直に立てる (腕の長さを長くしてトルクを大きくする)。次に、患者の膝を手前に倒すと腰が回転し、続いて背中、頭部とついてきて側じんになる。この後、肩と腰を手前に引くと、背筋の緊張が和らぎ、患者にとって楽な姿勢となる。

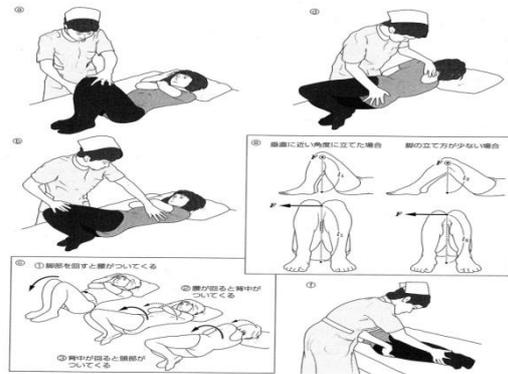


図 11 体位変換における「てこ」の原理

小さくまとめる→膝を立てて回転→楽な姿勢にするが、一連の動作。小さくまとめた方が回転しやすい、例。この体位変換の大きなポイントは膝を立てて回転させること。垂直に立てるのは腕の長さを長くしてトルクを大きくするため。

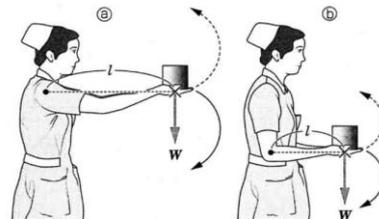


図 9 運搬時の体位

患者の移動 (立ったまま)

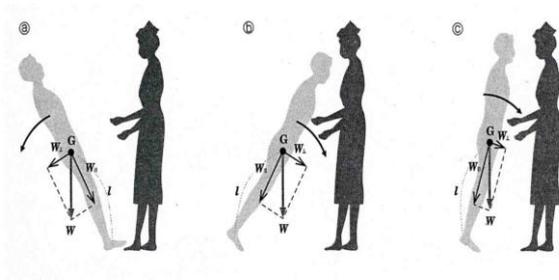


図 15 患者を立ったまま動かすとき

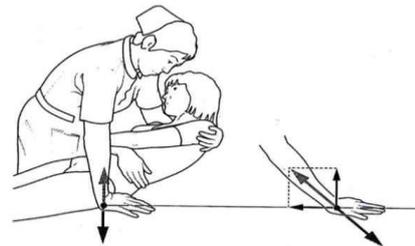


図 5 患者を水平移動する

## 運動の法則

- 1) **慣性の法則**：外部から力が働かない、あるいはいくつかの力が働いてもそれらが釣り合っていれば、静止している物体はいつまでも静止を続け、運動している物体はいつまでも等速直線運動を続ける性質のこと。
- 2) **運動の法則**：物体にいくつかの力が働くとき、物体にはそれらの合力  $F$  の向きに加速度  $a$  が生じ、その加速度の大きさは力の大きさに比例、物体の質量に反比例。これが運動の法則。 $a=kF/m$  ( $k$  は比例定数)
- 3) **作用・反作用の法則**  
物体 A が物体 B に力を働かせると、物体 B から物体に同じ作用線上で大きさが等しく、向きが反対の力が働く。これが作用・反作用の法則。

**慣性の法則を運動の第 1 法則、運動の法則を運動の第 2 法則、作用・反作用の法則を運動の第 3 法則**という。これらの法則は**ニュートンの運動の 3 法則**といわれる。

運動方程式：質量 1 kg の物体に働いて  $1 \text{ m/s}^2$  の加速度を生じさせる力の大きさを 1 ニュートン (N) とする。このように定めると、次のような運動方程式となる。

$$m a = F$$

**質量と重さ**：重力による小球の運動では、小球の質量  $m$  (kg) に関係なく、鉛直下向きの一定の加速度  $g$  ( $\approx 9.8 \text{ m/s}^2$ ) の運動をするから、小球に働く重力の大きさ (重さ)  $W$  (N) とすると、

$$W = mg$$

## 運動量と力積の関係

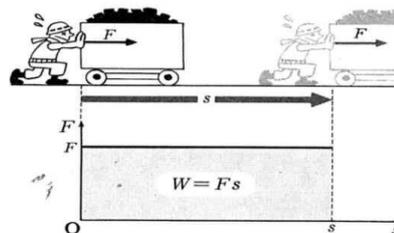
- ・ 例えば、ボールをグラブで受けて止めるとき、ボールの質量が大きいほど、ボールの速度が大きいほど、手の受ける衝撃は大きい。
- ・ **物体の質量  $m$  とその速度  $v$  との積  $mv$**  を、運動している物体の運動の激しさ程度を示す目安で、**運動量**。運動量は速度と同じ向きをもつベクトル

$F\Delta t$  を**力積**という。力積は、力が物体に与えた時間的な効果を表す量。力積は力と同じ向きをもつベクトル。

## 仕事の定義

仕事と力学的エネルギー

仕事：物を運ぶ時、大きな力を必要とするほど、運ぶ距離が長いほど疲労が大きい。



●図 43 仕事の定義

物体に一定の大きさの力  $F$  を働かせ、その力の向きに距離  $s$  だけ動かすとき、 $W = Fs$  をその力（または力を加えたもの）が物体にした仕事。

**1Nの力を物体に働かせて、その向きに1m動かす時の仕事を1ジュール(J)という。**

**(力の大きさ) × (移動距離) = 仕事**

重力に逆らってする仕事

質量  $m$  (kg) の物体を支えている手の力を物体に働く重力  $mg$  (N) よりもわずかに大きくすると、物体は手とともに上方に静かに動き出す。

すぐに、手の力を  $mg$  (N) に等しくすると、物体は一定の速さで上昇。 $h$  (m) の高さに持ち上げた時に手がした仕事  $W$  (J) は

$$W = mg \cdot h = mgh \text{ となる。}$$

これは、重力に逆らって手が物体にした仕事。

仕事率

同じ仕事にどれだけ時間がかかるか、仕事の能率が問題。

$t$  (s) 間に  $W$  (J) の仕事をするとき、1秒間の仕事の割合  $P = W/t$  を考え、これを仕事率と定める。

**仕事率の単位は、1秒間に1Jの仕事をする割合で、1ワット(W)。** 1000Wは1キロワット(kW)。逆に、**1kWの仕事率で1時間に行う仕事が1キロワット時(kWh)。**

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

運動エネルギー

物体が仕事をする能力を持っているとき、物体はエネルギーを持つ。

速さ  $v$  (m/s) の運動をしている質量  $m$  (kg) の物体は、静止するまでに  $(1/2)mv^2$  (J) の仕事をする能力を持っている。

この意味で  **$K = (1/2)mv^2$  を運動エネルギーという。**

仕事と運動エネルギーの関係

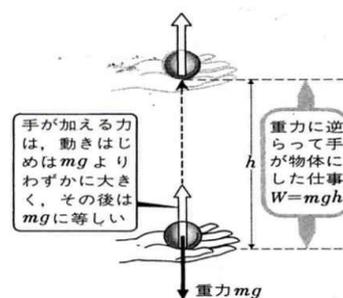
物体の運動エネルギーは、その物体に与えられた仕事の量だけ変化する。これがエネルギーの原理

位置エネルギー

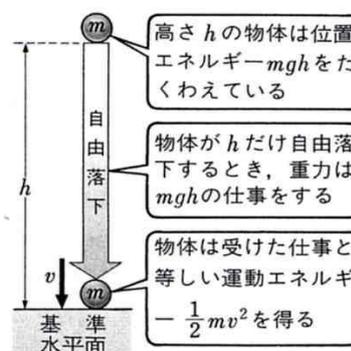
高いところにある物体の持っているエネルギー。

質量  $m$  (kg) の物体が  $h$  (m) だけ自由落下し、速さが  $v$  (m/s) に。この間の重力は  $mgh$  (J) の仕事をするので、エネルギーの原理から  $(1/2)mv^2 = mgh$  が得られる。

基準とする水平面よりも  $h$  (m) だけ高いところにある質量  $m$  (kg) の物体は、基準水平面に達すると、 $mgh$  (J) と等しい運動エネルギーを持つ。



● 図 45 重力に逆らってする仕事



● 図 50 重力による位置エネルギー

これは物体が高所にあるためであるから、 $U=mgh$  を重力による位置エネルギーという。  
力学的エネルギーの保存

物体がもっている運動エネルギーと位置エネルギーとの和を力学的エネルギーという。  
 重力や弾性力による物体の運動では、力学的エネルギーは一定に保たれる。  
 これを、力学的エネルギーの保存の法則という。

車の受ける撃力の差

撃力は、色々なところで経験。例えば、車の衝突、球技、空手、相撲など。骨折も撃力の大きさが直接関係する。

運動量とは、進む勢いのようなもの。進む勢いは、速度と質量が大きいほど大きい。

$$\text{運動量} = \text{物体の質量} \times \text{速度}$$

撃力は運動量の変化量が大きいほど大きい。さらに接触時間が短いほど大きい。

$$\text{撃力} = (\text{運動量の変化量}) \div (\text{ぶつかった瞬間に要した時間})$$

ベランダから落ちたときの撃力

図4 同じ質量 (10 kg) の子どもが4階のベランダから落ち、時間とともに落下速度が増加、ぶつかる直前の速度は 14m/s。a は道路にたたきつけられて速度が 0、運動量の変化量は  $10 \text{ kg} \times 14\text{m/s} = 140 \text{ kg m/s}$ 。

たたきつけられた瞬間が 0.05 秒とすると、子どもの受ける撃力は

$140 \text{ kg m/s} \div 0.05 \text{ s} = 2800 \text{ kg m/s}^2 = 2800\text{N}$ 、約 280 kg の物体に上から乗られた場合に相当。一方、b の場合は植え込みがクッションの役割、速度がゼロになるまで1秒とすると、撃力は  $140 \text{ kg m/s} \div 1 \text{ s} = 140\text{N}$  で20分の1に激減。

滑車と張力

牽引療法は、整形外科療法における基本的治療技術の1つで、両手・両足、胴、人体の主要部分に牽引力を持続的に加え治療する方法。牽引するには、牽引力と同じ大きさの力を反対方向に加える。もし力が釣り合っていないならば、身体が移動してしまう。

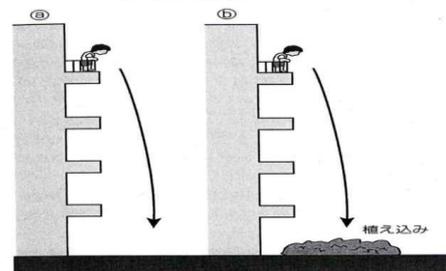
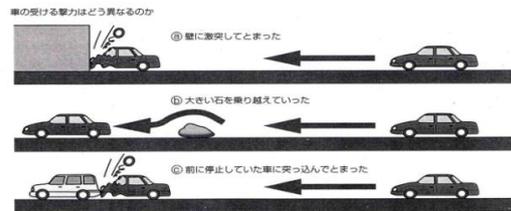
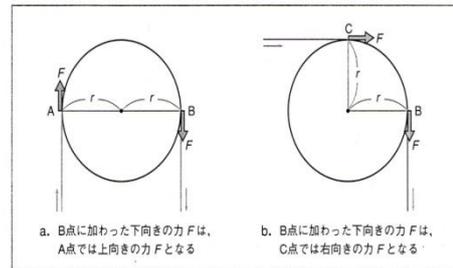


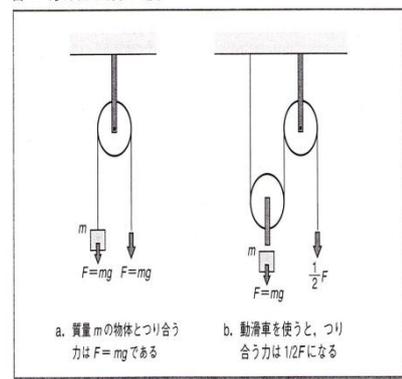
図4 ベランダから子供が落ちたときの撃力は

図15 力の向きを変える滑車



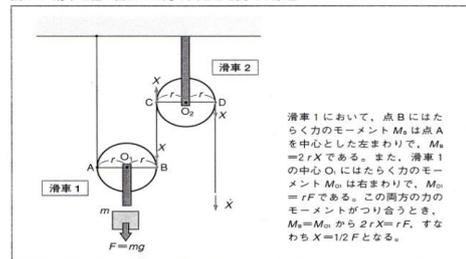
a. B点に加わった下向きの力Fは、A点では上向きの力Fとなる  
 b. B点に加わった下向きの力Fは、C点では右向きの力Fとなる

図16 力の大きさを変える滑車



a. 質量 m の物体とつり合う力は  $F = mg$  である  
 b. 動滑車を使うと、つり合う力は  $1/2F$  となる

図17 滑車を組み合わせて力の大きさを変える原理



滑車1において、点Bにはたらく力のモーメント  $M_B$  は点Aを中心とした左まわりで、 $M_B = 2rX$  である。また、滑車1の中心O<sub>1</sub>にはたらく力のモーメント  $M_{O_1}$  は右まわりで、 $M_{O_1} = rF$  である。この両方の力のモーメントがつり合うとき、 $M_B = M_{O_1}$  から  $2rX = rF$ 、すなわち  $X = 1/2F$  となる。

### 力の向きを変える滑車

### 力の大きさを変える滑車

### 滑車を組み合わせて力の大きさを変える原理

#### ロープで引く力と反対牽引力

牽引療法は骨折の治療、筋の拘縮（こうしゅく、筋肉の持続性収縮）の治療に患者の安楽だけでなく痛みの軽減に役立ち、機能回復を早める効果。牽引の基本となる力学的知識は「力のつりあい」で4つ。

1. 角度（患者に対して）
2. おもりの量（何kg）
3. 滑車の数
4. 反対牽引

#### 滑車と張力

図 1a、1kg の牽引力（質量 1kg の物体に働く重力、1kgw）が働く。b（引っぱる方向が斜め）、c（真横）でも同じ 1kgw。1 本のロープを通じて直接力がかかる。d は静止しているときベッドにつけたロープを考えなければ a と同じ。e は（自動介助運動）静止して

いない。膝に働く重力より大きい力で引かないと膝が持ち上がらない。f はこの状態を保つことはできない。しかし、g と h はこの状態を保つ。反対牽引力は体重で行える。しかし、水平方向への牽引の場合は、図 5 のように身体を斜めにすることによって垂直下方に働く重力が斜め方向にも力の成分をもつ。実際には、これに患者とベッドのあいだに摩擦力が働く。そこで、ベッドの傾きに神経を使う必要はない。

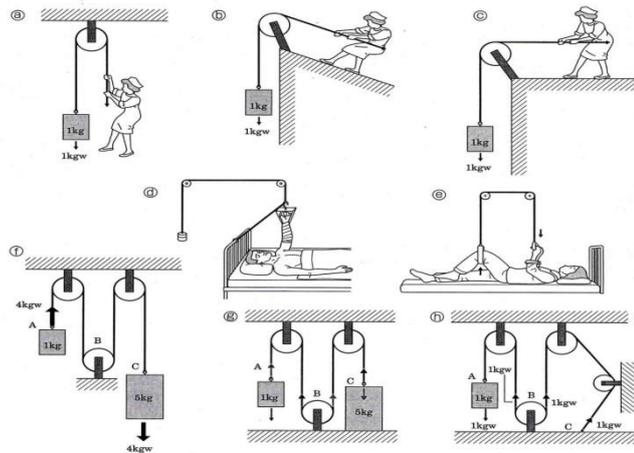


図 1 滑車と張力

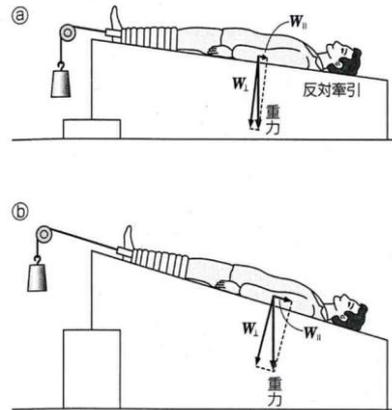


図 5 ベッドの挙上による反対牽引

## 2. 熱と気体の運動、比熱計算、水枕、熱移動

### 「比熱の計算、水と湯たんぽ、氷枕、熱移動の計算」

#### 各物質の比熱

## 比熱の計算

出入りする総熱量 $Q$ は、

$$Q = \text{比熱 } c \times \text{質量 } m \times \text{温度変化 } \Delta t \quad \text{①}$$

固体・液体・気体

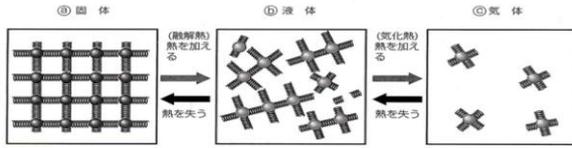


図1 固体→液体→気体

### 比熱の計算 (1)

1) 冷凍庫から出した直後の氷は、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、氷の比熱は  $0.5\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$  とすると、 $100\text{g}$  の氷が溶け始める寸前の状態になるまでに、何 cal の熱を氷は外からもらう必要があるのか。また、 $200\text{g}$  の魚がこの氷でくまれているとしたら、はじめ  $10^{\circ}\text{C}$  だった魚は何度まで下がる？

(簡単のため、水分の多い魚の比熱を  $1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$  とする)。

### 比熱の計算 (2)

1)  $0^{\circ}\text{C}$  の水と  $0^{\circ}\text{C}$  の氷：いま、冷凍庫から  $1\text{g}$  の氷を取り出したとする。この氷は  $-20^{\circ}\text{C}$ 、この氷は  $0^{\circ}\text{C}$  の水にするには、どれだけの熱が必要？

2) 氷枕：フレーク状の氷  $500\text{g}$  ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) に  $18^{\circ}\text{C}$  の水  $100\text{ml}$  を加えて氷枕を患者に用意。その後、氷が溶け  $15^{\circ}\text{C}$  の水に。この間に患者からどれだけの熱を奪ったのか？

### 100°Cのお湯と蒸気 (問題)

3)  $100^{\circ}\text{C}$  の湯と  $100^{\circ}\text{C}$  の蒸気：同じグラム数の  $100^{\circ}\text{C}$  の蒸気と  $100^{\circ}\text{C}$  のお湯を身体に浴びた場合。たとえば、 $100^{\circ}\text{C}$  の湯が体で冷やされて、 $80^{\circ}\text{C}$  に下がったとすると、熱湯  $1\text{g}$  につき  $20\text{cal}$  の熱を皮膚に与えたことになり、やけどの原因となる。このとき、 $100^{\circ}\text{C}$  の蒸気を浴びたらどうなるのか。サウナでやけどをしない理由は？

### やけどとサウナ

#### 熱移動 (1) 伝導による移動 (問題)

表1 各物質の比熱

状態	物質名	比熱 (cal/g°C)
固体	鉄	0.15
	銅	0.09
	ガラス	0.16
	水	約0.49
	コンクリート	約0.20
	砂	0.19
液体	水	1.00
	エチルアルコール	0.57
	水銀	0.03
	海水	0.94
	ナタネ油	0.49
気体	水素	3.38*
	酸素	0.22
	空気	0.24

\*水素は他の気体に比べてとても軽いので、 $1\text{g}$  当たりの熱量の値が非常に大きくなる

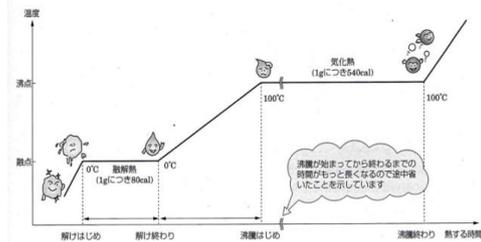


図2 1気圧下での水の変化

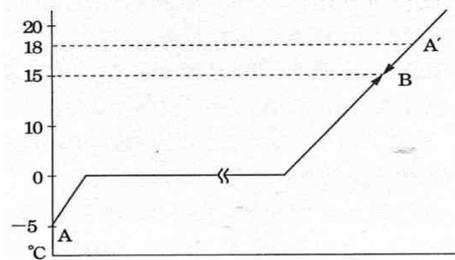


図3 氷枕使用時の熱の奪い方

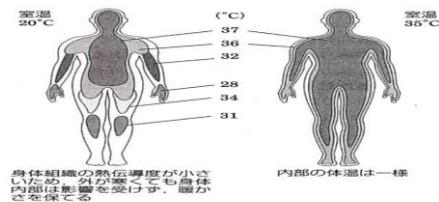


図1 体内深部の等温度分布線 (Aschoff's e)



図4 やけどとサウナ

1) 接触している物体間で、高温側から低温側への熱の移動を、熱伝導という。金属製のスプーンで熱いお湯をかき混ぜると、スプーンがすぐに熱くなって手で持てない。木のしゃもじなら平気である。これは、どうしてか？

熱移動 (2) 対流による移動

液体や気体のことを流体というが、固体物質と違って、流体では流体自体の運動で熱が運ばれる。このような熱の移動を対流という。水の温まり方、部屋の空気の

温まり方。

熱移動 (3) 放射による移動

ストーブに手をかざすと暖かいし、熱いアイロンのそばに手を持ってきても暖かく感じる。これは、高温のアイロンからエネルギー、つまり電磁波のエネルギーが放射されているから。

伝導による熱の移動は、1秒当たり

$$\boxed{\text{熱伝導度}} \times \boxed{\text{接触面積}} \times \boxed{\text{単位厚さ当たりの温度差}} \quad \textcircled{1}$$

という式で求められます。



図2 伝導

対流による熱の移動は、1秒当たり

$$\boxed{\text{対流熱伝導度}} \times \boxed{\text{表面積}} \times \boxed{\text{温度差}} \quad \textcircled{2}$$

この式の対流熱伝導度というのは、対流による熱の伝え方の度合いをいいます。

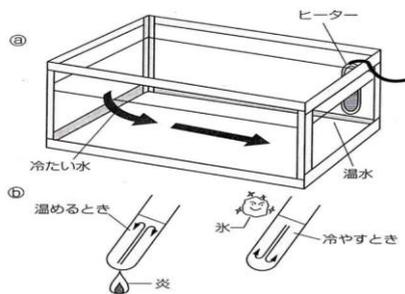


図3 対流

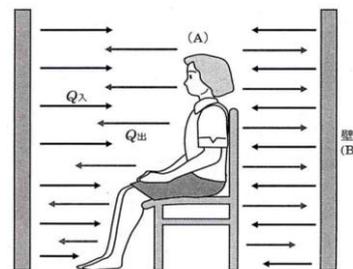


図4 放射

放射による熱の移動は、1秒当たり

$$\boxed{\sigma} \times \boxed{\text{表面積}} \times \boxed{(\text{絶対温度})^4} \quad \textcircled{3}$$

この  $\sigma$  は  $1.36 \times 10^{-11}$  (kcal/sm<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) という定数で『シュテファン・ボルツマン定数』といいます。

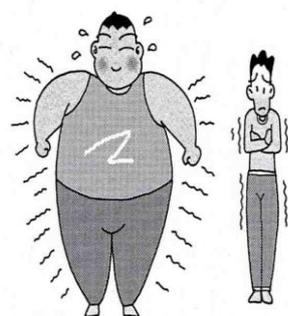


図5 体熱の産生は体積に、喪失は表面積に比例する

### 3. 圧力、表面張力、密度、比重

#### 圧力の基礎知識

#### 看護に必要な圧力の知識：

看護に圧力の知識を必要とするケースが非常に多い。どのくらいの大きさの圧力がどこに作用するのか、圧力を減じるといことはどういう現象を生むのか、などを知らなかったために、取り返しのつかない事態をまねくことも珍しくない。

#### 問題

圧力の強さと全圧力：重さ 500gw のレンガをゴムの

上に置いたときの圧力の強さは、圧力の強さ（単に圧力ともいう）＝力/（圧力の働いている）面積。つまり、単位面積当たりの力を、圧力の強さと定義、同じ力でも狭い面積に集中すると圧力は大きくなる。また、全圧力とは面全体を押している力のこと。

ところで、堅い木のベッドよりも柔らかい布団のほうが楽なのは、どうしてですか？

#### 圧力による U 字管の水面の違い

#### 同じ高さ⇔同じ圧力：

図の (a) の U 字管に水を入れて平らな場所に置いたとき、A と B の水面が同じ高さになっています。

その理由は、両方の水面に働いている圧力

（大気の圧力＝ $P_0$ ）がともに等しいからで「同じ大きさの圧力が働くと同じ高さになる」「同じ高さであるとき同じ圧力が働いている」ことを示している。

(b) のように左側におもりを載せて水面の高さが違うとき、A の水面における圧力は同じ高さの B。すなわち、

$$A \text{ の圧力 } (P_0 + \text{おもりの圧力}) = B \text{ の圧力 } (P_0 + \text{高さ } h \text{ の水の圧力})$$

(c) では左側におもりを載せていないのに、水面の高さに違いがある。

これは右の管の先端の圧力 ( $P^{\wedge}$ ) が  $P_0$  よりも高さ  $h^{\wedge}$  の水の圧力分だけ低いことが、

$$P_0 = P^{\wedge} + h^{\wedge} \text{ から導ける。}$$

この「同じ高さ」⇔「同じ圧力」は、重要。

(d)、(e) は吸引でよく見かける図、(d) で管の中の水面が周囲の水面よりも低い理由は、管の中の圧力が周囲の水面での圧力より高いから。(e) で管の中の水面の方が高いのは、周囲の水面の圧力より低いから。

#### 圧力の単位

圧力を表すのに  $\text{kg/cm}^2$ （正式には  $\text{kgw/cm}^2$ ）という単位をよく使う。ところが、血圧測定

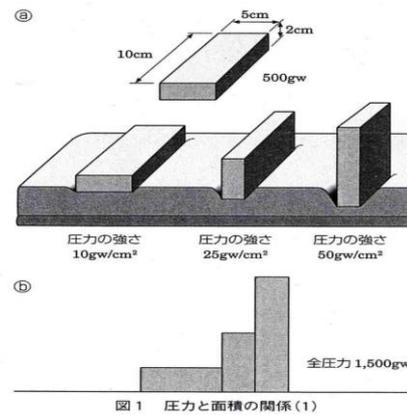


図1 圧力と面積の関係(1)

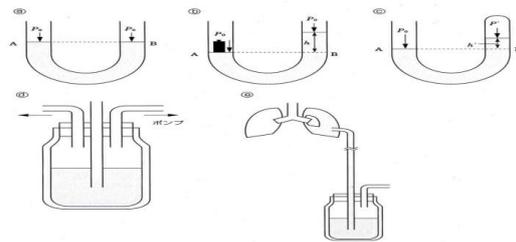


図2 圧力によるU字管の水面の違い

に用いる mmHg は圧力の強さを水銀柱の高さだけで表し、胸腔ドレナージで扱う cmH<sub>2</sub>O は水柱だけの高さで表し、面積の単位を含んでいない。これは、どうして？。答えは、圧力の強さは柱の底面積の大きさにはよらないからです。

（「圧力の強さ」は同じ面積で考えると、重さだけ（高さだけ）の問題となる）

**圧力と面積**

**水銀と水の関係**

水銀も水も液体、水銀は金属（常温では液体）なので重く、水の 13.6 倍の重さ。

密度が水 = 1g/cm<sup>3</sup>、水銀 = 13.6g/cm<sup>3</sup>

1cm の水銀柱が及ぼす圧力を水で考えると、13.6cm の水柱が必要

水は水銀の (1/13.6) 倍の重さ、おなじ圧力を生じさせるには、高さを 13.6 倍にしなければならない。

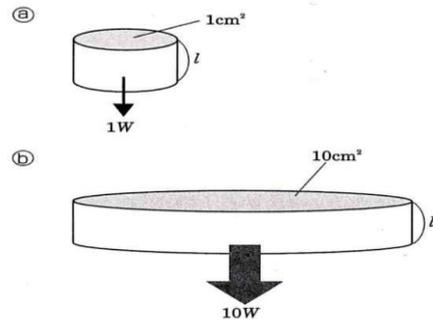


図3 圧力と面積の関係(2)

**水銀柱と水柱**

したがって、1mmHg = 13.6mmH<sub>2</sub>O = 1.36cmH<sub>2</sub>O。もしも血圧を水銀を用いず、水で測定したとしたら？

この場合、2m ぐらいのガラス管が必要になり、実用的ではない。

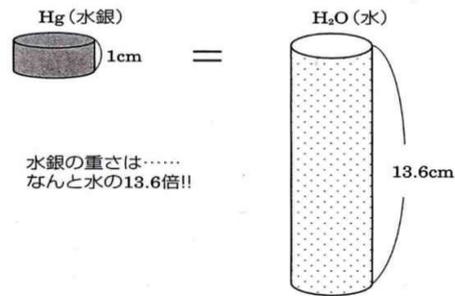


図4 水銀柱と水柱の関係

**体圧の表示**

体圧を表すとき、mmHg で表示したり、g/cm<sup>2</sup> で表示したりする。今、底面積 1cm<sup>2</sup>、高さ 1cm の水銀柱を考えると、体積が 1cm<sup>3</sup> なので 13.6g の水銀を含んでいることになります。つまり、圧力は 13.6g/cm<sup>2</sup>。また、1cmH<sub>2</sub>O = 1g/cm<sup>2</sup>。

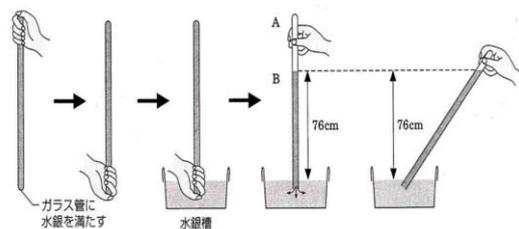


図1 トリチェリの実験

**全ての基本は空気の圧力**

気圧の大きさ：地球上を空気が覆い、その圧力が気圧

我々は普段、身体に何の負担も感じていないで、そんなに大きい圧力だとは想像はできない。

しかし、縦、横、高さともに 1m の箱の中の空気だけでも、0℃のとき、約 1.3kgw もある。

地球を覆っている空気は地上 1000km 以上もの高さまであり、我々はその底に住んでいるので、かなりの圧力があっても不思議ではない。

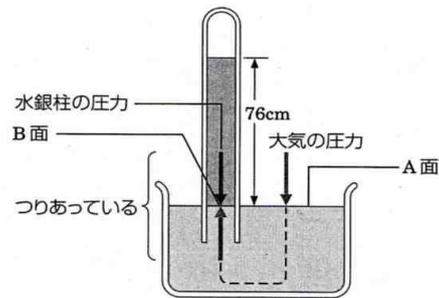


図2 トリチェリの実験の説明

### トリチェリーの実験 (1)

初めて地上の気圧を具体的に測ったのは 1643 年、イタリア人のトリチェリー

図 1 のように一方の端を閉じたガラス管に水銀を満たし、それを水銀槽の中に逆さまに立てると、管内の水銀は、水銀槽の中に広がり出て、水銀面から垂直に測って約 76cm の高さまで下がって止まった。

### トリチェリーの実験 (2)

なぜそれ以上水銀が管を下がらなかったのか？

それは図 2 のように水銀面に働いている大気の圧力が、管内の水銀を上へ押し上げているから大気の圧力、つまり気圧が水銀柱の押す圧力と釣り合っているから。

「気圧 = 76cm の水銀柱の圧力」が 1 気圧。管の上部の空間には何も入っていないので、B 面を押す圧力は 76cm の水銀柱のみ。

また、A 面を押す力は気圧である。同じ高さ ⇔ 同じ圧力より「76cm の水銀柱の圧力 = 気圧」と考えてよい。

水銀柱の高さは、大気の状態により少し低いこともあれば高いこともある。

そこで、ちょうど 76cm の高さになった時の気圧を 1 気圧とし、圧力の大きさを表す単位として用いられている。

気圧を表す atmosphere の頭文字をとって atm (アトム) と書き、次の関係式となる。

### 1 気圧 (atm) = 76cmHg (760mmHg)

#### 1 気圧と圧力の色々な単位

1cm<sup>2</sup> の上に 76cm の水銀が立っていることを考えると、底面積 1cm<sup>2</sup>、高さが 76cm の水銀となるので、水銀 1cm<sup>3</sup> が 13.6g であることから、 $76 \times 13.6 = 1033.6\text{g} \approx 1\text{kg}$ 、つまり、1cm<sup>2</sup> 当たり約 1kg の重りを載せたものも 1 気圧に等しいことがわかる。

### 760mmHg = 760Torr (トル) = 1 気圧 $\approx$ 1kg/cm<sup>2</sup>

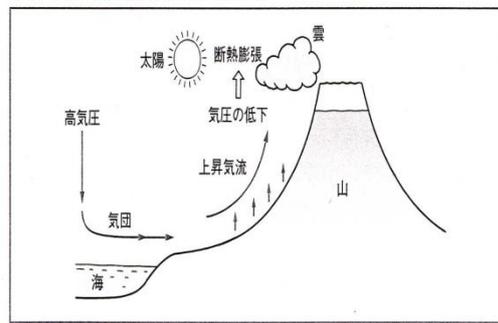
### 大気の流れ

富士山頂の気圧が 0.7 気圧の場合、532mmHg となる。また、1 気圧より圧力が大きい場合、単位として、mmHg ではなく、kg/cm<sup>2</sup> を用います。本当は 1kgw/cm<sup>2</sup> とすべきですが、1kg/cm<sup>2</sup> とします。kg は質量の単位なので kgw (重力) で表さないと、圧力 = 力/面積に矛盾します。しかし、習慣上、kg/cm<sup>2</sup> としています。

1cmHg = 13.6cmH<sub>2</sub>O なので、 $76\text{cm} \times 13.6 = 1033.6\text{cm} \approx 10\text{m}$  となる。

圧力の単位をヤード・ポンド法で表すと、ポンド/inch<sup>2</sup>。1 ポンドは約 0.454kg、1 インチは約 2.54cm なので、15 ポンド/inch<sup>2</sup> を計算すると、

図 88 大気の流れ(断熱膨張による雲の発生)



15 ポンドが  $0.454 \times 15 = 6.81\text{kg}$ 、 $1\text{inch}^2$  が  $2.54 \times 2.54 = 6.45\text{cm}^2$  なので、

$15 \text{ ポンド}/\text{inch}^2 = 6.81\text{kg}/6.45\text{cm}^2 \doteq 1.06\text{kg}/\text{cm}^2 \doteq 1 \text{ 気圧}$ 。

ポンド/ $\text{inch}^2$ は pound per square inch (パウンド・パー・スクエア・インチ) と読み、頭文字をとって psi (プシー) と略す。

**15psi が約 1 気圧。**

1 気圧 =  $760\text{mmHg} \doteq 1\text{kg}/\text{cm}^2 \doteq 10\text{mH}_2\text{O} \doteq 15\text{psi}$

天気予報でよく使う気圧の単位ミリバール (mb)、最近ではヘクトパスカル (hPa)。ヘクトは 100 を表わし、パスカルが大事な単位。

パスカルはニュートン (N) という力の単位を使って、圧力を表したものの。

$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$      $1\text{hPa} = 100\text{Pa} = 100\text{N}/\text{m}^2 = 100\text{N}/10000\text{cm}^2 = 0.01\text{N}/\text{cm}^2 \doteq 1\text{gw}/\text{cm}^2 = 1\text{cmH}_2\text{O}$

**問題**

1 気圧 =  $1013 \text{ hPa}$  になるのですが、これを導いてみてください。

「私たちの身体が 1 気圧の圧力をもつ空気と接している」ことは「私たちの身体の  $1\text{cm}^2$  ごとに  $1\text{kgw}$  のおもりが載せられている」ことを意味する。

人間の表面積を考えると、全体で非常に大きな重りを私たちは背負っている。

しかし、日常生活に何の不便も感じないのは、私たちは外からかかる 1 気圧と同じ圧力を身体は外へ向けて持っているから。

気圧は大きい圧力を持っている

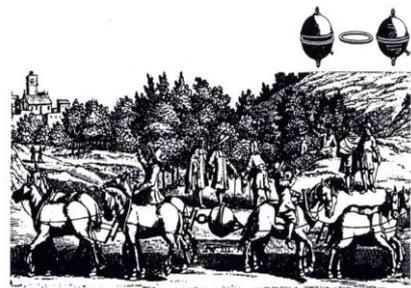


図3 マグデブルクの半球の実験

**1 気圧とは  
ポンド・インチとは?  
圧力の単位**

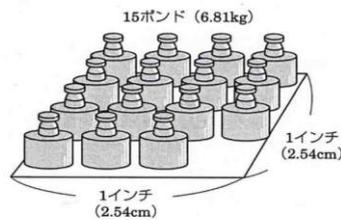


図5 15ポンド/inch<sup>2</sup>とは?

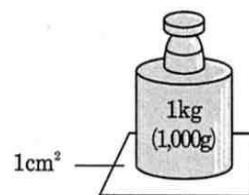


図4 1 気圧とは

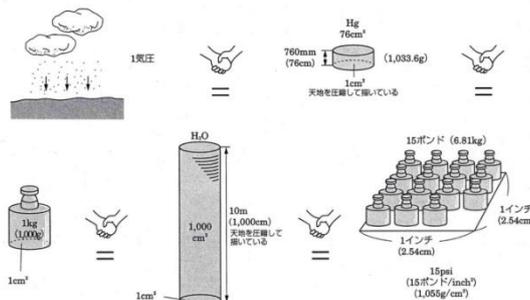


図6 圧力の単位

## 液体の及ぼす圧力

### 「動圧・静圧、表面張力、界面活性剤」

#### 動圧と静圧

ホース、注射器：ホースで水をまくとき、ホースの先端を手で押さえて出口を細くすると、水の流れが急に速くなり、そのため水が遠くまで届く。注射器の内筒をゆっくりと押しているにもかかわらず、針先の狭い穴からはかなり速く液体が飛び出す。「狭い部分は流れが速い」

ホースの出口を押さえ、流れを速くした水に手を当てると手が痛い。流れが遅い水に手を当てても痛く感じない。この現象を科学的に言うと「流れの速い部分は流れの持つ圧力（動いているために生じる圧力で動圧という）が大きく、流れが遅いと動圧が小さい」となる。

「管の太い部分よりも細い部分の方が流れが速い。流れが速い部分は動圧が大きく、遅い部分は動圧が小さい」

#### ベルヌーイの定理（動圧と静圧の合計は常に一定である）

太い部分と細い部分をもった太さが一様でない管を水平に置き、水を流し、その時、管の上部に穴をあけ、垂直な方向に管をつけておくと、一部の水が管を上昇してくる。これは、水が大気の圧力に抵抗しつつ、側面に対して垂直にたてた管を上昇していく現象で、管の太い部分では側面を押す圧力が大きい（水が高く上昇する）。

側面を押す圧力は側圧、動圧に対して静圧ともいう。「太い管では静圧が大きく、細い管では静圧が小さい」ホースの話と合わせると、ネブライザの原理となる「太い管は静圧が大きい代わりに動圧が小さい、細い管は静圧が小さい代わりに動圧が大きい」「 $(動圧) + (静圧) = (全圧)$ 」は管の太い、細いによらずどこでも同じ値となる。これをベルヌーイの定理という」

#### ベルヌーイの定理（1）

#### 変化球の原理

##### 「マグヌス効果」

今、ボールは左方向に投げたとする。ボールは右側に向かって空気の流れを受ける。このとき、ボールを時計回りに回転させながら、投げると、ボールの下の部分では、空気の流れとボールの回転方向が一致し、空気がボールに引っ張られて流れが速くなる。



図7 液体の及ぼす圧力の実験

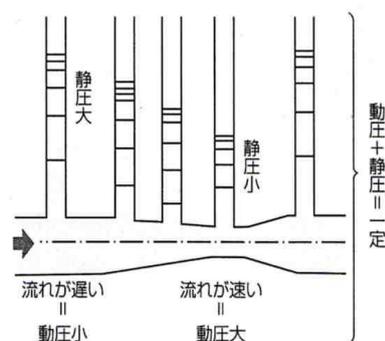


図1 ベルヌーイの定理(1)

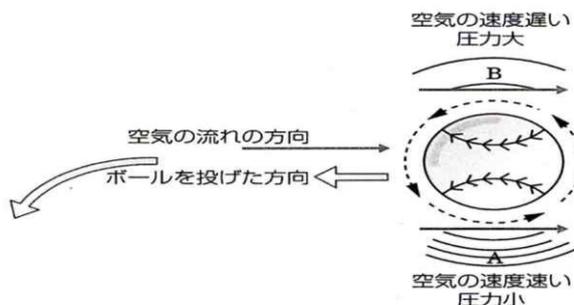


図3 変化球の原理

ボールの上の部分では、方向が逆なので空気の流れが遅くなる。すなわち、ボールの下部では圧力が小さく、上部で圧力が大きい。

ボールはボールの上部で圧力を受けてカーブする。飛行機の翼は上面は下面よりやや膨らんだ構造で、上面のほうが曲線距離が長くなり、空気の速度は上面のほうが下面よりも速くなる。したがって、速度の遅い

下面は上面より圧力が大きくなって上に押し上げる力が生じる。これが飛行機の揚力を得る主な原因。

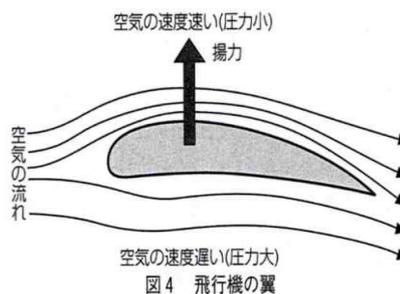


図4 飛行機の翼

### 飛行機の翼

#### 表面張力

乾湿球湿度計で湿球につけたガーゼに

水が上がるのは、毛管現象である。

「液体中に細い管を立てると管内の液面の高さが管外の液面の高さとは異なってくるが、その差は管が細いほど大きいので、毛細管現象と呼ばれる。

しかし、いつも液が細い管を上がっていきばかりとは限らない。

水銀中に細いガラス管を入れると、

管内の水銀は下がる。常温なら半径 1mm のガラス管を、

水なら約 1.5cm 上がり、水銀なら約 0.5cm 下がる。液

が上がるか下がるかは、液体と管の材質の組み合わせによるだけで、本質的な問題ではない。毛管現象の原因は

表面張力であるが、表面張力とは一体、どんな力なのか。図5は液体が空気と接している図。Aの液体分子はまわりの分子から一様に引っばられている。結局、力を受けていないのと同じ状態。Bの分子は液表面上にあるため

外側の空気中からは引っばられず、内側の隣接分子によって内側の方向のみ引っばられる。その結果、液体には表面積をできるだけ小さくしよう

(表面が縮まろう、縮まろう)とする傾向が生じ、その度合いを示す量が表面張力。

物体が体積一定のまま表面積が一番小さい形状は球状。液体にはこのような表面張力が働く結果、外力の影響を無視できるとき球形になり、例えば雨だれが球形になって落ちてくる。

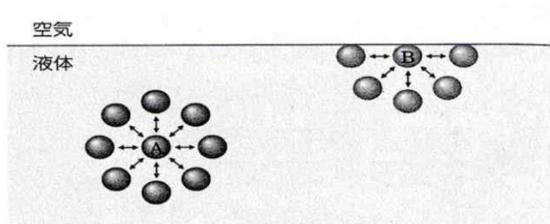


図5 表面張力の原因

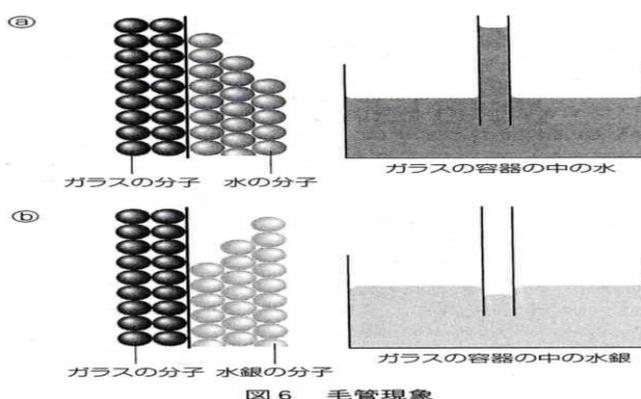


図6 毛管現象

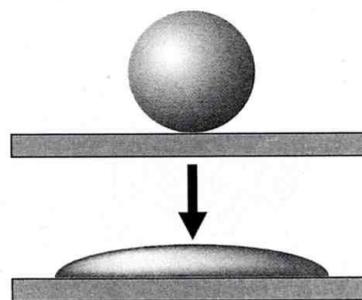


図7 表面張力が低下したら……

## 表面張力の原因

芋の葉に宿る露、注射器の針先の液が球形。図5は液体と接している面が空気だった（自由表面）場合で、図6の場合は、液体が接する相手（ガラス）に対する表面張力を考えることが必要。

水の分子はガラスの分子を好み、仲間の分子を避けたがるので、aのようになる。一方、水銀はガラスの分子を避けたがるのでbのようになる。このことは液体と容器の組み合わせによるだけで、例えば、水銀を銅の容器入れると、aのようになる。

## 界面活性剤

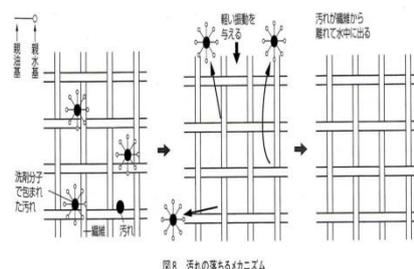
毛管現象の原因となる表面張力は様々な場面で顔を出す。この表面張力を小さくするのが、洗剤などの界面活性剤。

表面張力が大きいと液体は球形になるので、表面張力が低下すると、球形からべたっとした平らな形となる（図7）。

## 表面張力の低下

このことを「濡れの現象」という。洗剤の溶けた液は表面張力が低下するので「濡れ」を起こし、繊維にしみ込んで、しみ込んだ洗剤の分子が汚れを包み、軽い振動が与えられることによって、布から汚れとともに離れていく。

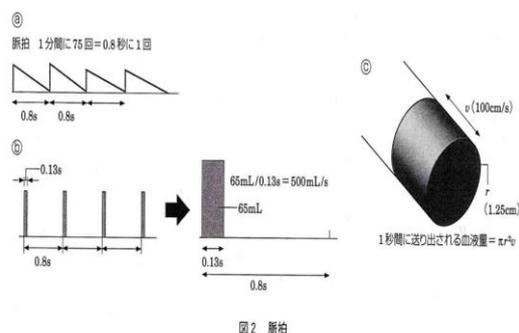
汚れの落ちるメカニズム



## 4. 血圧、吸引装置、酸素ポンペ、連結ビン

### 血圧に関する知識

血圧という圧力：血液の循環は、左心室→大動脈→筋性動脈→細動脈→毛細血管→細静脈→筋性静脈→大静脈→右心房へ流入する体循環と、右心房に戻った血液が右心室→肺動脈→肺毛細管→肺静脈→左心房へ流入する肺循環をいう。心室が収縮して血液が動脈に排出されるとき血圧が最大。これが最高血圧（または収縮期血圧）、心室が拡張して血圧が最低になるときの血圧が最低血圧（拡張期血圧）。



## 脈拍

動圧はなぜ無視できるのか？：「なぜ大動脈における動圧でさえ約 4mmHg 程度に過ぎないのか」

安静状態で心臓から 1 分間に動脈へ拍出している血液の量は約 5000ml である。

1 分間の脈拍を 75 回とすると、1 回の拍出量は約 65ml。つまり、心臓の各収縮ごとに動脈へ押し出す血液量が、平均 65ml (0.8 秒ごとに脈拍を 1 回打つが) であるが、この拍出は心臓が収縮している間の約 0.13 秒という非常に短い時間にパルスの型で行われる。

したがって、心臓からの 1 秒当たりの最大拍出量を  $Q$  とすると、

$Q \times 0.13 \text{ s} = 65 \text{ ml}$  となるので、

$Q = 500 \text{ ml}$  となる。一方、大動脈の半径を  $r$ 、血液の流速を  $v$  とすると、

$Q = \pi r^2 v$  なので、 $r = 1.25 \text{ cm}$  と仮定すると  $v = 100 \text{ cm/s}$  が求まる。

動圧は  $(1/2) \rho v^2$  で表されるので、動圧 =  $(1/2) \times 1 \text{ g/cm}^3 \times (100 \text{ cm/s})^2 = 5000 \text{ ダイン/cm}^2 \approx 3.8 \text{ mmHg}$  となる。

## 血圧とは

血圧測定と音の関係：血圧は上腕部にマンシェットを巻きつけ、それに空気を送り込み、筋動脈に当たった聴診器から聞こえる音の変化によって血圧を読み取る。

血管内圧を徐々に下げた時に聞こえる血管音をコロトコフ音という。

血圧と音の関係はまだはっきりとせず、いくつかの考え方があり（渦、衝撃波）。

ここでは、収縮期の血圧を最高血圧、拡張期の血圧を最低血圧とみなしていることを前提とする。

## 血圧と音

①はじめに、触診法で目安をつけた最高血圧よりも、20-30mmHg 高めの圧をかけ（大きい圧によって血液の流れがとめられているから、拍動を感じない。音も聞こえない）、徐々に圧を減じていき拍動を感じた（血液が流れ始めた。音が聞こえ始めた点）ときの示度を最高血圧とする。

その理由は、大きな加圧に抵抗して血液が流れうるのは、収縮期の血液だからである。このとき音が聞こえる。

②続いて圧を減じていくと、拡張期の血液でさえ圧による抵抗を受けつつではあっても、一部流れ始めるようになる。このとき勢いのよい収縮期の血液は、もう圧による妨げをなんら感じることなく流れる。

だから、この間も拍動を感じているし、①とは違ってもやはり音は聞こえているはず。

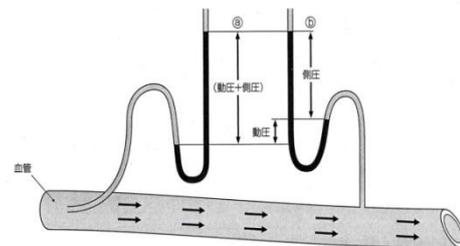


図1 血圧とは

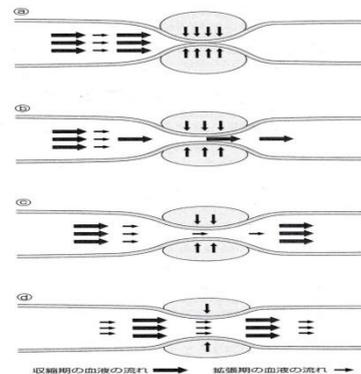


図3 血圧と音の関係

③さらに減圧すると拍動（あるいは音）が消えるが、これはマンシエットによる加圧が小さくなって、勢いの弱い拡張期の血液でさえ、なんの妨げ（抵抗）も感じずに流れることができる。

このときの示度を最低血圧とする理由は、拡張期の血圧の観察に相当するから。音は聞こえなくなる。

図 40 聴診法の原理

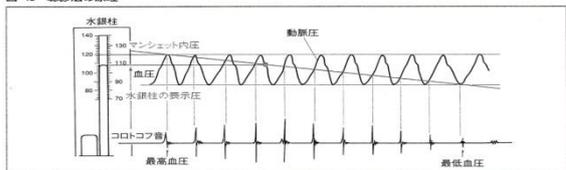


図 42 マンシエットの高さによる血圧の測定誤差

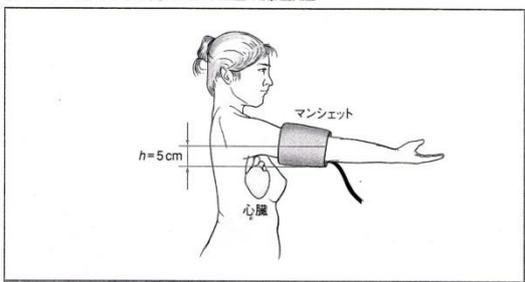


図 45 オシロメトリック法の原理

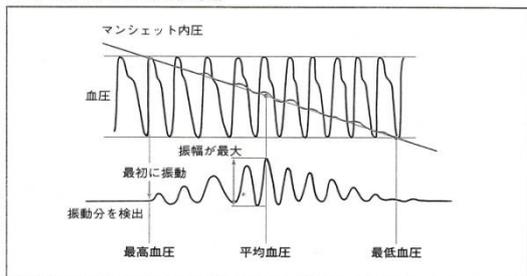


図 39 非観血式血圧測定法



図 41 水銀柱による圧力の測定

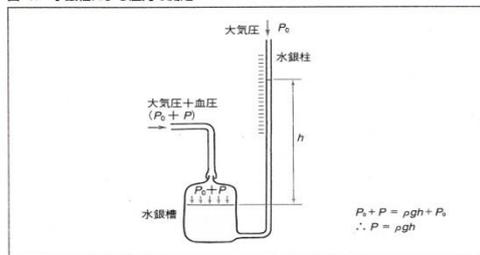


図 43 水銀柱の目盛りを読みとるときの誤差

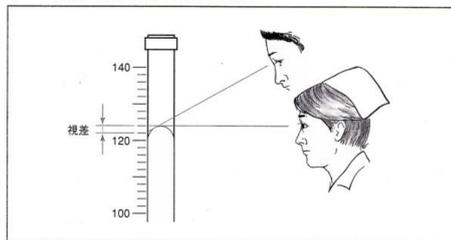
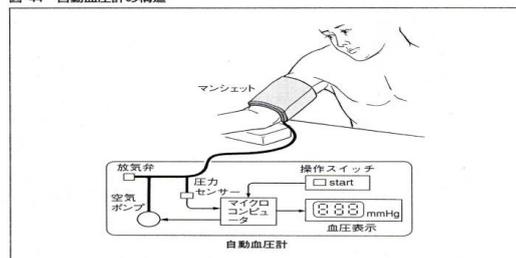


図 44 自動血圧計の構造



## 非観血式血圧測定法

### 聴診法の原理

### 水銀柱による圧力の測定

### マンシエットの高さによる血圧の測定誤差

### 水銀柱の目盛りを読み取る時の誤差

### 自動血圧計の構造

### オシロメトリック法の原理

マンシエット内圧を徐々に低下していくとき、血圧の影響でマンシエット内圧はわずかに振動しながら低下していく。この変化を圧力センサーで検出して、振動のパターンから血圧を求める。この測定法をオシロメトリック法という。

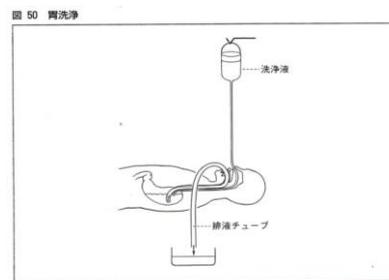
## 胃洗浄

### 効率よく排液を行う条件

胃の内部の液面が、排液チューブ出口の先端よりも高い位置にあること。

排液チューブの中はすべて液体で満たされていること。

この条件が整うと、途中の排液チューブがどの位置にあっても、排液は途絶えることなく行われる。



### 低圧持続吸引装置の原理

同じ高さ、同じ圧力を吸引圧制御ビンに応用すれば：ディスプレイザブル、吸引装置、吸引圧制御ビン、特徴は1本のガラス管が一端は空気中に、もう一端は水中に挿入されていること。同じ高さ、同じ圧力が基本、ガラス管内の水面にはいつも1気圧の圧が働いている。

図1の a は、ポンプが何も作用していないので、どの水面にも大気圧（1気圧： $P_0$ ）の圧が働き、どの水面も同じ高さ。

b はポンプが作動し、ビン内の圧力が  $P_0$  よりも低くなり（ $P'$  の圧）、管内の水面が 5 cm 下がったとする。同じ高さ、同じ圧力を A、B に適用すると

A の圧力 =  $P' + 5 \text{ cm 水柱}$  = B の圧力 =  $P_0$  より、びん内の圧力  $P' = P_0 - 5 \text{ cm 水柱}$  となって、1気圧よりも 5 cm 水柱の圧力分だけ低い圧で、以後これを  $-5 \text{ cmH}_2\text{O}$  の陰圧（容器内の圧力が外部の圧力よりも小さくなっていること）とする。

e のように、管が 10cm しか挿入されておらず、管内の水面が下がろうにも下がれない状態では、f のように空気がガラス管を通して水の中に入ってくる。その結果、ポンプの吸引が続く → びん内の圧が必要以上に低下 → 望ましくない → 空気がガラス管を通じて、びん内の空間に入ってくる → びん内の空気が濃くなる → びん内の圧の低下がとまる。

つまり、ガラス管は空気を引き込むことによって、ポンプの引きすぎから生じる圧の低下にブレーキをかける重要な役割を果たしている。このびんが吸引圧制御びんと呼ばれる名前の由来。

### 吸引圧制御びん

#### 二連ボトルとは？

図3は二連ボトルと呼ばれる装置。どちらも吸引圧制御びんを持っているが、a は水の入ったびん（水封びん）、b は単に廃液を受けるびん（排液びん）が連結されている。胸腔内は大気圧よりも低くなって

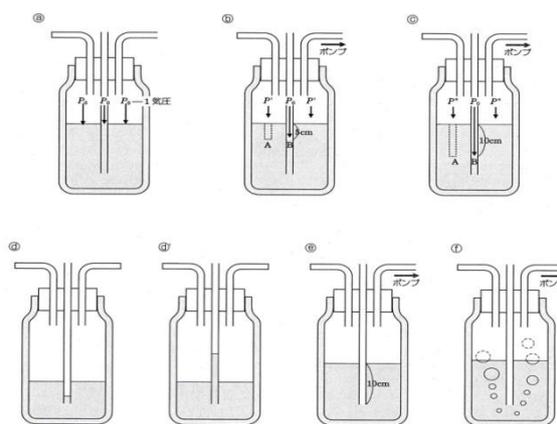


図1 吸引圧制御びん

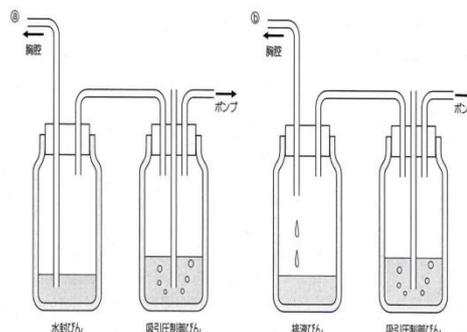


図3 二連ボトル

いる。だから、胸腔につながれた管の一端が大気中に出されると、空気が胸腔内に逆流する危険がある。その危険を防ぐために管の一端を水封しようという目的で用いられているのが a である。

したがって、一端が水封されていない b は空気の逆流という危険を伴うので望ましくない。胸腔（ベット上）に対して a の装置は通常 80~100cm くらい下（床上）に置かれている。つまり、胸腔内へ逆流する危険は、びん内の圧が 1 気圧のとき胸腔内圧が -80~-100cmHg の陰圧である場合に生じる。だからどんなにひどいしゃっくりをしても、どんなに大きな深呼吸をしても、図 2 のような位置関係を保っている限り、逆流の心配（たとえ排液が加わっても）は

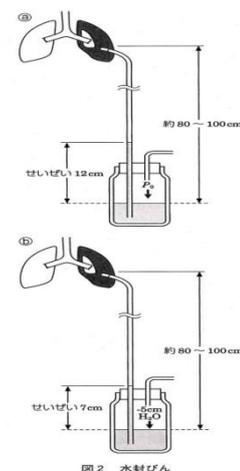


図2 水封びん

ない。

### 二連ボトル

二連の水封びんのもつ欠点

吸引圧制御びんでは、 $P + h_1 \text{ (cmH}_2\text{O)} = P_0$ 、

水封びんでは、

$$P + h_2 \text{ (cmH}_2\text{O)} = p \text{ で } p = P_0 - (h_1 - h_2) \text{ (cmH}_2\text{O)}$$

したがって、この場合、胸腔には  $-(h_1 - h_2) \text{ (cmH}_2\text{O)}$  の陰圧がかかる。もし、 $h_1 = h_2$  になると、胸腔の圧は陰圧ではなく、1 気圧となる。

さらに、 $h_1 < h_2$  になると、胸腔には 1 気圧よりも大きな圧がかかる。排液がたまってくると、このような状況が起こる可能性がある。それを避けるには、排液が水封びんにたまってくるに従って、胸腔からの管を少しずつ引き上げ、管が液に 2~3cm しか挿入されないようにする。

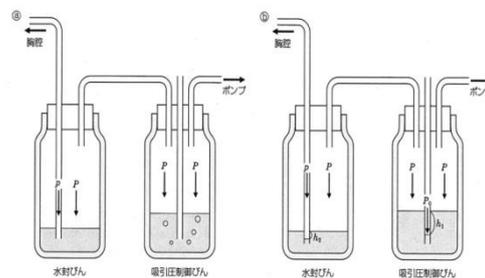


図4 二連ボトルにおける水封びんの欠点

二連ボトルにおける水封びんの欠点

三連ボトルの特徴

図 3 を整理すると、a では、排液の増加とともに、胸腔にかかる圧が 1 気圧以上になる危険性がある。

B では、空気が逆流する危険性がある。それらの欠点をなくしたのが、図 5 に示す三連ボトル。  $p = P_0 - (h_1 - h_2) \text{ (cmH}_2\text{O)}$  三連ボトルでは水封びんの中に排液が入ってこないで、二連ボトルのような危険を避けることができる。

また、胸腔からの管の先端が水封されていないと感じると思います。しかし、排液びんは水封びんの管に連結されているので、胸腔内の圧 = 水封びんの管内の水面にかかる圧、つまり、胸腔からの管の先端は水封されていることになる。

このように二連ボトルを組み合わせた三連ボトルは優れものであることが分かる。

### 三連ボトル

#### ディスプレイザブル・ユニット

吸引中では、胸腔内圧＝設定吸引圧＋水封びんの管内の水位である。今、設定吸引圧を $-15\text{ cmH}_2\text{O}$ とする。吸引圧制御びんの水の中に管

が $15\text{ cm}$ 挿入された状態で、管の中の水面は下端まで下がっている。

このとき、水封びんの管内の水面が $2\text{ cm}$ さがっているとすると（図6 a）、

胸腔内圧＝ $(-15\text{ cmH}_2\text{O}) + (+2\text{ cmH}_2\text{O}) = -13\text{ cmH}_2\text{O}$ となる。

もし、水封びんが図6 bのようになっているとすると、

胸腔内圧＝

$$(-15\text{ cmH}_2\text{O}) + (-5\text{ cmH}_2\text{O}) = -20\text{ cmH}_2\text{O}\text{となる。}$$

吸引停止では、胸腔内圧＝(1気圧)＋(水封びんの管内の水位)、胸腔内圧は1気圧よりもどれだけ大きい、小さいかを問題にするので、習慣上、1気圧の部分は省いて表現する。

#### ディスプレイザブル・ユニット

吸引装置における注意点

①吸引圧制御びんの管から空気がびん内に入ってくるのを遮らないこと：ぼこぼこ音がしてうるさいと言われても、管の先端をふさいで空気の流入をじゃましてはいけない。空気の流入によって圧の低下を防いでいるので。

もし、空気が入ってこなければ、ポンプの吸引によって圧の低下が起こる。ユニットの場合でも、備え付けのキャップ（マフラー）以外のものをかぶせてはいけない。

②ポンプの吸引圧にも注意すること：吸引の圧の単位に注意すること。また、ポンプの圧の振れに注意を払うこと。

③ユニットは必ず患者の胸部よりも低い位置に設置すること：低い位置に設置しないと、排液が患者へ逆流する危険がある。

④気密性の確認をすること：気密が不完全である（エアリークがある）と、吸引が安全に行えないので、吸引を行う前に気密性を確認する必要がある。

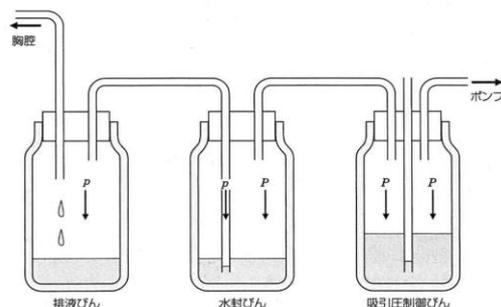
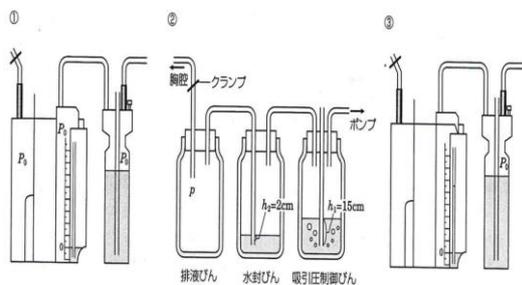
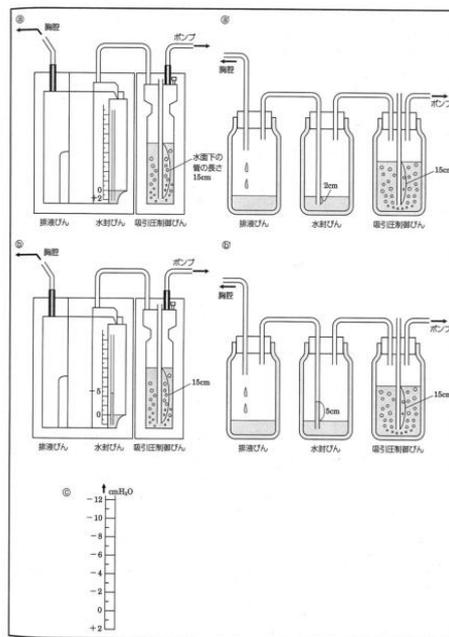


図5 三連ボトル



⑤むやみに発泡量を多くしないこと：発泡が多すぎると、発泡音が大きいだけでなく、水位の動きが激しいため設定吸引圧に誤差が生じかねない。

### 酸素ボンベ

ボイルの法則：「温度が一定のとき、気体の体積は圧力に反比例する（または、 $PV=一定$ ）」をボイルの法則という。

### ボイルの法則

#### 酸素吸入への応用

ボンベから酸素を流し、酸素吸入を行うとき、ボンベも患者も同室だから、ボンベ内で圧縮されていた酸素が患者のところへ流れてくる状況は「温度一定のもとで、圧力が変化する」、つまり、「ボイルの法則」を適用できる。

ボンベの圧力計の単位は  $\text{kg/cm}^2$  であり、 $1\text{kg/cm}^2 \div 1$  気圧（平圧）と考えてよいので、もし、圧力計が  $150\text{kg/cm}^2$  を示しているなら、酸素は平圧の約 150 倍の圧力でボンベ内に閉じ込められていることになる。この酸素がボンベから出て患者のところにやってくる時、患者の周囲は平圧なので、酸素にかかる圧力は一挙に  $1/150$  に減る。

したがって、体積は 150 倍に膨らむ。そうすると、100 入りのボンベから取り出して、患者に全部供給すると 15000 になる。もし、1 分間に 20 の流量で流し続けると、750 分（12 時間半）も酸素吸入が可能になる。

問 1)

さて、吸入を始めてしばらくして、患者が吸引している酸素ボンベの圧力計が  $100\text{kg/cm}^2$  を示していたら、1 分間に 20 で吸入したとして、あと何分可能ですか？

問 2)

1 分間に 30 の流量で 4 時間、吸入を続けたいとき、容量 100 のボンベであれば、圧力計がどのような値以上を示している必要がありますか？

### 酸素ボンベと圧力計

新しいボンベの圧力計の単位 MPa

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

$$1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$$

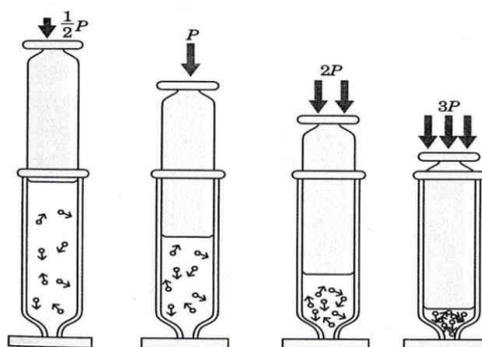


図 1 圧力による気体の体積変化(ただし温度一定)

表 1 ボイルの法則

P	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3
V	3	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
$P \times V$	1	1	1	1	1

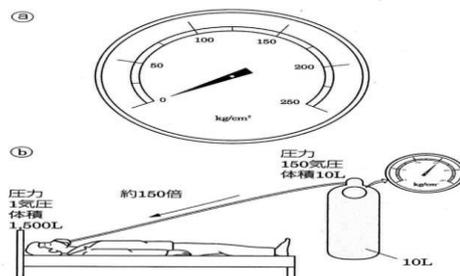


図 2 酸素ボンベと圧力計

$$1 \text{ kgw} = 1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ N}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N} / 10^4 \text{ cm}^2 = 100 \text{ N/cm}^2$$

$$150 \text{ kgw/cm}^2 = 150 \times 9.8 \text{ N/cm}^2 = 1470 \text{ N/cm}^2$$

$$14.7 \text{ MPa} = 14.7 \times 100 \text{ N/cm}^2 = 1470 \text{ N/cm}^2$$

したがって、 $150 \text{ kgw/cm}^2 = 14.7 \text{ MPa}$  の関係が成り立つ。

問 1)

5000ℓの酸素ボンベ（14.7MPa 充填）の残圧が 3MPa のときの酸素残量はいくらですか？

問 2)

「酸素を 2ℓ/分」吸入中の呼吸不全の患者を、酸素ボンベ（5000ℓ・14.7MPa 充填）を用いて検査室に移動することになった。ボンベの内圧計は 9MPa を示していた。このボンベでの吸入可能時間はいくら？

### 問題

どうして、1 気圧 = 1013 hPa になるのですか？これを以下のヒントを参考にして導いてください。

ヒント； $1.0336 \times 9.8 \div 10.13$ 。水銀で考えると、1 気圧 = 76 cm Hg、水銀 1 cm<sup>3</sup>は 13.6gw の重さである。このことから、1 気圧 = 76 cm × 13.6gw/cm<sup>3</sup> = 1033.6 gw/cm<sup>2</sup> = 1.0336k gw/cm<sup>2</sup> となる。1kgw = 1kg × 9.8m/s<sup>2</sup>。また、1/cm<sup>2</sup> = 10<sup>-4</sup>/m<sup>2</sup>。1N = 1 kg × 1m/s<sup>2</sup>、1Pa = 1N/m<sup>2</sup>、1hPa = 100Pa である。

### ボンベの種類と注意点

一般に使われている酸素ボンベは 500ℓ入り、1500ℓ入り、6000ℓ入りの 3 種類がある。これは、ボンベの内容積ではなく 150kg/cm<sup>2</sup>

(14.7MPa) の高圧に充填された酸素がボンベの外に出たときの体積である。1500ℓ入りで 16.5kg、6000ℓ入りで 61.0kg なので、大変重く運搬は慎重にして、決して転がしたりしないで、専用車を用いる。

### ボンベの種類

ボンベは細長く倒れやすいので、使用中は確実に固定しておくこと。万一火災が起きたら、使用中のボンベはただちに閉じなければならない。

ボンベの中の気体の種類を誤って取り扱っていると大惨事になりかねない。中の気体が何か一見してわかるようにそれぞれのボンベには色が塗られている。たとえば、酸素は黒、水素は赤。しかし、ボンベは古くなると色が剥げ落ちているので注意。

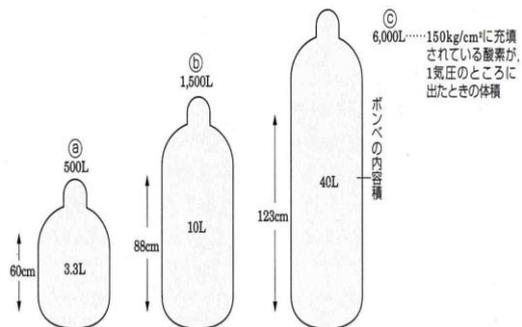


図3 ボンベの種類

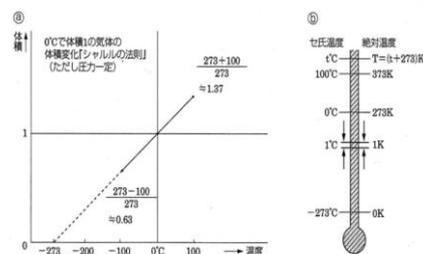


図4 セ氏温度と絶対温度の関係

### 酸素の燃焼の性質

空気中で起こる燃焼はしばしば激しい発熱を伴うので、酸素の取扱いには、火気厳禁である。患者に酸素を吸入させるときには、酸素の吹き出し口に十分に注意が必要である。

酸素テントの中に燃えやすいものや電気機器などを入れると危険なのは当然で、そばに付き添っている人がタバコを吸うのも控える必要がある。

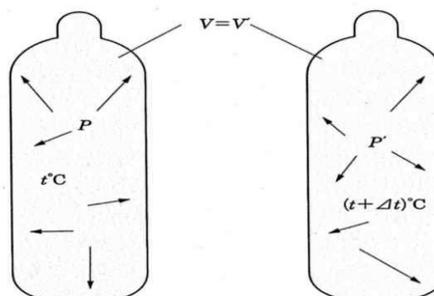


図5 ボンベ内の圧力に及ぼす温度変化

### コルベンと酸素の体積

コルベンに乾いた酸素を送り込むと苦痛なので、酸素に湿り気を与えるためのもの。

送られてきた酸素は、長い管からいったん水の中に入る。水は酸素を溶かしにくいので、すぐに大半の酸素は水から出て短い管から患者のほうに送られる。

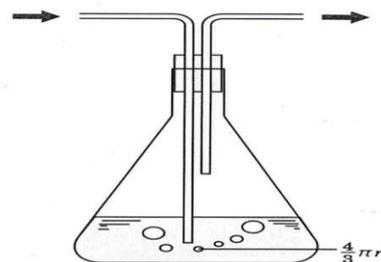


図6 酸素吸入時の気泡体積

コルベンに流量計が付いていない場合、大雑把な方法として、酸素の気泡の数を数える方法がある。

### エウスタキオ管

飛行機に乗っていて急に外圧が変わると、耳がツーンとしたり一時的に聞こえにくくなるのは、鼓膜の内外の圧力が等しくなくなったからである。

そんなとき、あくびをしたり唾を飲み込んだら、内外の圧が等しくなって耳の中が軽くなったようになる。

これは、中耳の鼓室が喉（鼻）に通じていることによる。この両者を連絡する管つまり耳管をエウスタキオ管という。

耳は、外耳、中耳、内耳の3つに分かれているが、中耳の鼓室は空気で満たされた狭い腔で、広さは角砂糖1個ほど。

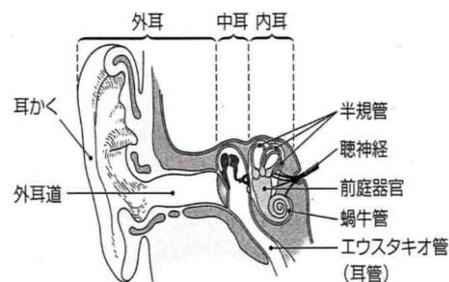
もし、エウスタキオ管が閉じていると、外圧が2/3に減ったとき、鼓膜の内外の圧が内外の圧が等しくなるためには、「ボイルの法則」によって鼓室の体積が1.5倍に広がる必要がある。しかし、角砂糖1個分の広さしかないので、そんなに広がることはできない。

そのため、エウスタキオ管が開いて喉（鼻）と通じ、鼓膜の内外の圧を等しくする。

なお、かぜなどの感染症で管がふさがれると、調整が効かなくなり、聴覚がにぶくなる。

### 圧力の大きさによって生じる疾患

1) 潜水夫病：40mの水深にいる潜水夫は10mの水柱が1気圧なので水圧で4気圧、水面



を押している気圧が1気圧あるので、合計5気圧の圧力を受けている。

この場合、服やヘルメット空気を送り、圧力を加えて高い水圧とバランスを保つようにしている。

浮上する場合、少しずつ服の中の圧力を減らしていかなければならない。さて、1気圧のもとで空気を吸ったとき、窒素  $N_2$  は身体の中に取り込まれず、そのまま呼気として出て行くが、炭酸飲料と同様に、高い圧力がかかると空気中の  $N_2$  が組織の中に溶け込んでいく。ところが、急に減圧されると、 $N_2$  は溶けきれずに気泡となって血管に寒栓を起し、限局性疼痛やめまいの症状が出る。気泡を作る場所によっては恐ろしい結果を招く。

これを防ぐには、組織内に吸収された  $N_2$  を血液中にゆっくりと放出して、気泡をつくらずに減少させることが大切。

そのため、潜水夫はある深さのところ何度かとまりながら、ゆっくりと上昇していく。

2) 高山病：高山病は高度の変化に対する急性の反応であるが、2,000m までの高さでは発現しないとされている。

年齢や体質によって異なるが、4,000~4,500m くらいの高さになると急増するという報告がある。空気は5,000m ごとに約1/2の薄さになるので、高山病の一番大きな原因は、やはり大気中の酸素分圧の減少である。低酸素濃度になった組織は、正常な働きができないので、あらゆる症状を呈する。

頭痛、めまい、疲労、呼吸困難など、もっと進めば、意識障害や失神にまで及ぶ。

また、高山では、大気圧も減少しているので、潜水夫病と同じ「空気寒栓」が起こることになる。

また、吸い込んだ空気や消化管内で発酵した気体が大気圧の減少で膨張して、激しい腹痛を招くことがある。

高山における紫外線の急増も問題で、赤色素や赤血球の増加の原因となる。

3) 気圧が及ぼす体調の変化：気象が体調に影響を及ぼすことは、年百年も前から言われている。

しかし、科学的な研究はまだ歴史が浅い。我々は天気予報で低気圧、高気圧という言葉をよく耳にするが、まわりよりも気圧が低ければ低気圧、高ければ高気圧である。

ミルズ博士は「気候が人間をつくる」という著書で、「不機嫌と気圧計の降下とは並行する。健康体であっても、気圧が下がり湿度が上がると人々は虚無感にとりつかれたり、気力がなくなっていらいらしたりする」と述べている。

ペンシルベニア大学医学部では、関節炎患者を2~4週間、人工気象室に隔離して検査した結果、「温度や空気の運動の変化は何の影響も与えなかったが、嵐か近づく状態を真似て気圧を下げ、湿度を上げたところ、10人中8人までが関節の疲れや腫れを訴えた。

ところが、気象状況が安定すると直ぐによくなった」という驚くべき結果を出した。しかし、原因についてはよくわかっていません。

## 薬液注入と患者に与える影響

アンプルとバイアル：アンプルとバイアルから薬液を注射器に入れるときに、大きく異なる点は、バイアルから吸い取るとき、注射する薬液と同量の空気を前もってバイアルに入れておかななくてはならない。

これは、バイアルが密閉されているので、空気が自由に出入りできず、薬液を吸引すると、そのぶんだけバイアルの中が陰圧になるからである。

### アンプルとバイアル

#### バイアル内の圧力

もし 5ml 入れるところを、0.5ml くらい不正確になって、5.5ml の空気を入れてしまった場合、どうなるのか。5.5ml の薬液を吸出し、注射するときに 0.5ml ぶんだけ注射器に残せばよい。しかし、自分で 5.5ml 入れてしまったことを気づかなかつた場合である。いま、内容積 10ml のバイアルに薬液が 8ml あるとする。

ここから 3ml の薬液を取るには、3ml の空気を前もって注入しておかなければならないが、うっかりして 0.5ml だけ多くの空気を注入してしまった。3ml の液体の体積の代わりに 3.5ml の空気を押し込んだので、当然気体は圧縮され圧力が大きくなる。

5ml の容積に 5.5ml の空気が押し込まれたので、圧力は  $5.5/5 = 1.1$  気圧となる。

このバイアルから続いて薬液を吸い取るとき、液の一部が勝手に入ってくるように感じる。逆に、

極端な例として空気を入れずに無理やり吸引したとすると、はじめバイアル内にあった 2ml の空気が 5ml の体積に広がったことになり、中の圧力は当然  $2/5 = 0.4$  気圧となる。

#### 薬液と注射器

この圧力の下で薬液が吸引されると、注射筒内 n 薬液の圧力は 1 気圧よりもかなり小さくなり、薬液を入れたまま、注射器の内筒を引っ張ることをやめて、放置すると、内筒が徐々に薬液を押し出していく。

#### 連結ビンと圧力

c は「ボイルの法則」にしたがって、ボトル内の液が出ていくにつれて、空気が外から入ってくる。

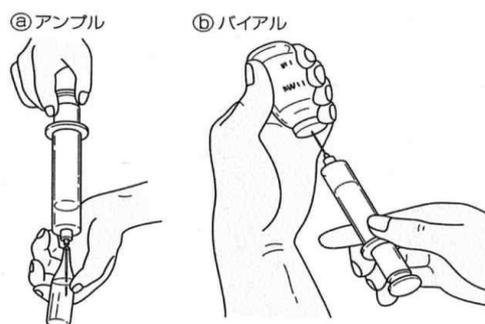


図1 注射器に薬液を入れる

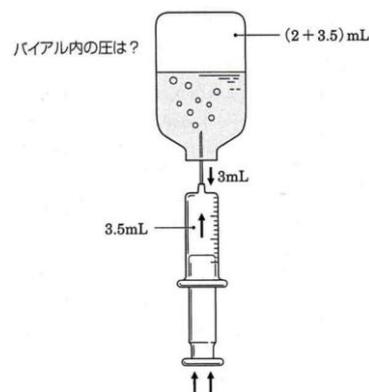


図2 余分に空気を注入したバイアル内の圧力

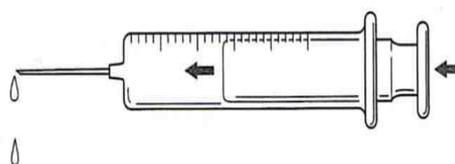


図3 少なめに空気を注入して薬液を吸引した注射器

a では、はじめにエア針から少し液が出るが、輸血をはじめるとボトル内の空間の気圧が下がるので、エア針は 1 気圧よりも小さい状態を保ちエア針より空気が送られて、輸血が行える。b の場合でも同じ。薬液を 2 本以上使用する場合、患者に一番近いボトルから少しでも液が出ると陰圧になるため、次のボトルから同量が吸い込まれ、そのために陰圧になった 2 番目のボトルは 3 番目のボトルから同量が吸い込まれ、最後のボトルに空気が入ってくる。

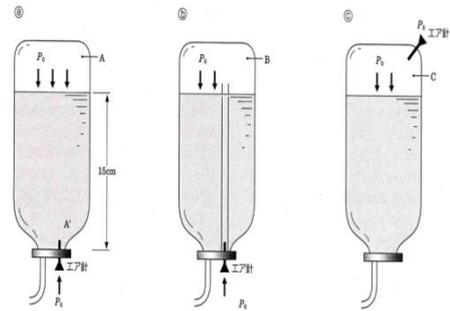


図4 エア針のつけ方を変えた点滴のしくみ

けれども、ボトルがたくさん連結され、しかも液に粘り気があるとき、スムーズに流れないときには、少しずつ段差をつける。

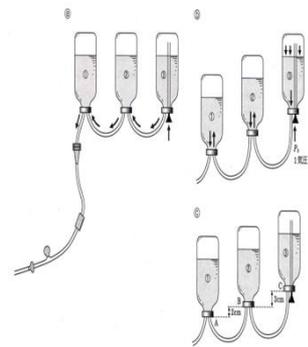


図5 薬液のそれぞれを以上調整する場合

### 点滴静脈注射

#### 点滴量の調整

管路内における粘性のある流体の流れ

ローラークレンメの構造

薬液が注射針から出る速度の計算

計算のもとになる式は「ベルヌーイの定理」。この式で、内筒の押される速度を無視、注射針の傾きを無視すると、次のように簡単になる。

$$(1/2) \rho v^2 = F/S \text{ となる。}$$

$\rho$  は薬液の密度、 $v$  は薬液が針先から飛び出す速度、 $F$  は内筒を押す力、 $S$  は内筒の断面積である。

#### 薬液の速度計算 (1)

問題

抗生剤を小児用量 15mg で、点滴内へ混注するように指示を受けた。ラベルには 1 アンプル 200mg/1ml とある。どのように取り出せはよいか？

550ml を 2 時間で点滴するように指示を受けた。輸液セット (60 滴 = 1ml) で点滴すると、滴下数/分はいくらになるか (小数点以下四捨五入) ? 「10% 塩酸リドカイン液 10ml をブドウ糖液と混合し、500ml にして 2 mg/分 で点滴静脈内注射」が処方

図 32 点滴量の調節



図 34 ローラークレンメの構造

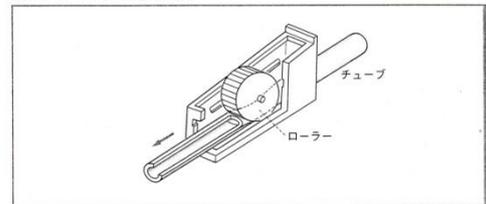
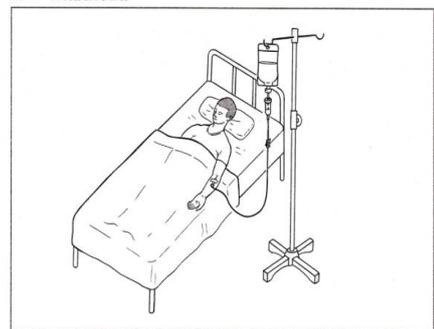


図 28 点滴静脈内注射



された。流入速度は何 ml/分にすればよいか？

薬液の速度計算 (2)

問)

力 = 1 gw (= 1 g × 980 cm/s<sup>2</sup> = 980 ダインの力) で断面積 S = 2 cm<sup>2</sup> の内筒を押したとする。

薬液の密度 ρ は水と同じ (1 g/cm<sup>3</sup>) とすると、速度はどうなりますか？

点滴、輸血、経管栄養時の液体の落下速度

高さ と 落下速度 の 関係：看護で落下速度が問題になるのは、点滴、輸血、経管栄養、浣腸などです。図 1 をみると、針先の位置を基準にすると、液表面は h (m) の高い位置にある（したがって、液体は位置エネルギーを持っている）。

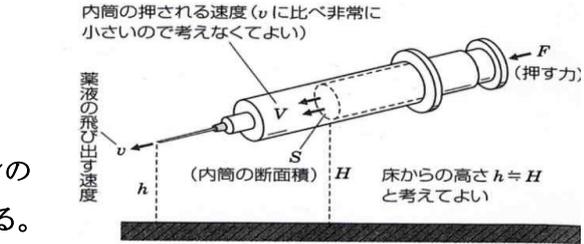


図 6 注射針から出る薬液の速度計算 (1)

ボトル液の落下速度と高さ

一方、針先の位置を基準にしているため針先の高さはゼロである（位置エネルギーはゼロ）が、液は動いている（運動エネルギーを持っている）。

言い換えると、ボトルの液表面では位置エネルギーしか持たない液体が、針先では運動エネルギーのみになってしまう。

これを計算することで落下速度がわかる。

h (m) の高さから落下すると、おおよそ  $\sqrt{20 \times h}$  m/s の速度を持つ。

粘り気と落下速度の関係

粘性が強いほど、それに逆比例して速度が遅くなり、管の中心から遠ざかるにしたがって速度が小さくなり、管の壁に接している部分の液体の速度はゼロになる。

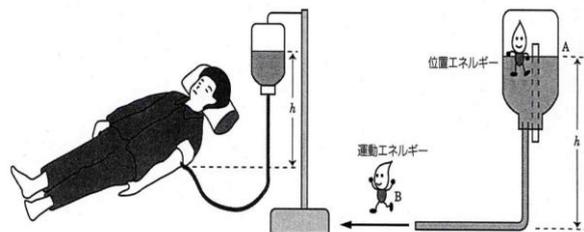


図 1 ボトル液の落下速度と高さの関係は？

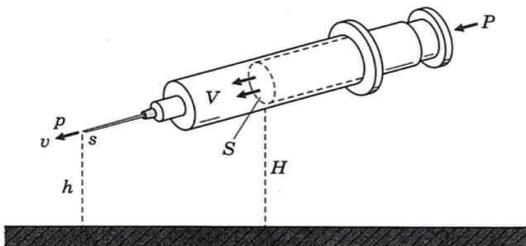


図 9 注射針から出る薬液の速度計算 (2)

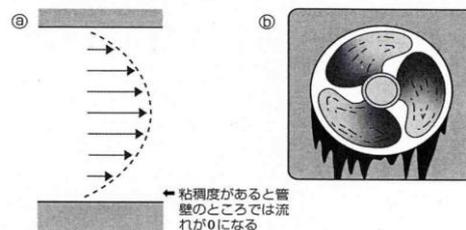


図 3 粘り度のある流体の流れ

液体の温度と落下速度の関係

温度が低くなると、粘性が高くなって速度が遅くなる。

## 5. 比重計、オートクレーブ、水銀体温計、濃度の表し方と

### 物質の溶け方

「血液比重計、体温計、オートクレーブ」

#### 比重計

密度と比重：体積  $1\text{cm}^3$  当たり、鉄は  $7.86\text{g}$ 、氷は  $0.92\text{g}$  の質量。この単位体積 ( $1\text{cm}^3$ ) 当たりの質量 (g) を物質の密度。

鉄の密度は  $7.86\text{g/cm}^3$ 、氷の密度は  $0.92\text{g/cm}^3$  となる。密度は物質の持つ特性の1つ、物質の密度を測定すれば、その物質が何であるかを確認する有力な手段となる。しかし、密度に体積が関係し、体積は温度によって変化するので注意が必要。

固体の温度による体積変化は大きくないので、あまり影響はないが、液体や気体では影響が大きく、温度に注意が必要。

例えば、血液の密度は  $20^\circ\text{C}$  で  $1.060\text{g/cm}^3$ 、 $37^\circ\text{C}$  で  $1.056\text{g/cm}^3$

とかなり変化。気体は温度だけでなく圧力による体積変化が大きいので、温度は  $0^\circ\text{C}$ 、圧力は1気圧のときの体積を基準、および密度を  $\text{g/cm}^3$  で表すと大変小さな値になるので、 $1\text{l}$  当たりで表す場合が多い。

比重は「物質の密度と水の密度との比」である。

ここで、水の密度  $= 1\text{g/cm}^3$  を頭に入れておく。そうすると、鉄の比重は  $7.86$ 、ダイヤモンドは密度が  $3.51\text{g/cm}^3$  だから比重は  $3.51$ 。比重は密度から単位を除いた値。

物質の密度

アルキメデスの原理

「アルキメデスの原理」は「流体（液体や気体）の中の物体は、物体が押しのけた流体（つ

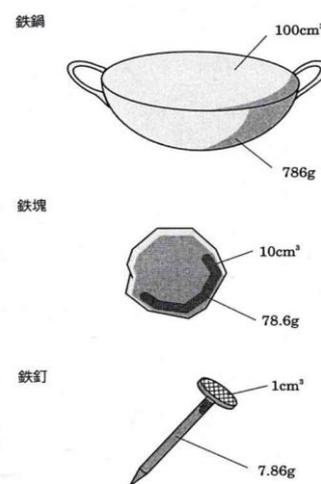


図1 物質(鉄)の密度

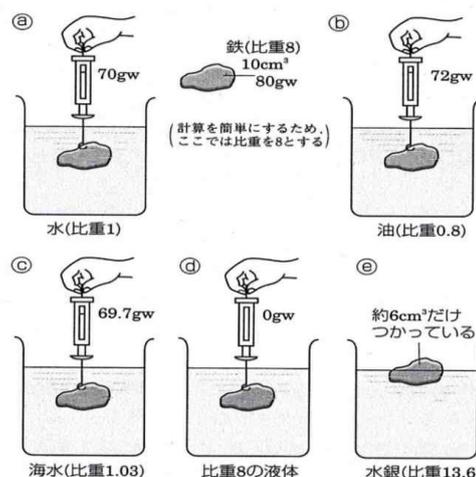


図2 液体の比重と浮力

まり流体中にある物体と同体積の流体)の重さだけ軽くなる」。10cm<sup>3</sup>、80gw(比重8)の塊を水に入れたとき、鉄の押しかけた液体(水10cm<sup>3</sup>)の重さ1cm<sup>3</sup>当たり1gwなので、この場合に10gwだけ軽くなるので、70gwになる。液体の比重が物体の比重よりも大きくなれば、物体は浮き上がり、一部だけが液中につかる。

一方、物体が底に沈めば液体より物体の比重が大きいことが分かる。

そして、両者の比重が等しいとき、物体は液面に浮き上がりもせず底に沈みもせず、液中に浮遊する。

このように、液体の比重が分かっている

ば、その中で物体の浮遊状態をつくることにより、物体の比重を知ることができる。

### 液体の比重と浮力

水中にある物体に働く浮力

#### 血液比重計

血液の比重は水よりも若干大きいので、比重が1.015~1.063までの硫酸銅溶液を用意する。血液を1滴滴下して、もし血球の比重が硫酸銅溶液の比重より小さければ浮き上がり、大きければ沈み、等しければ、浮きも沈みもしない。

たとえば、女性の献血可能な血液の比重を1.052以上とすると、比重1.052の硫酸銅溶液を用意し、血液を1滴落としたとき、上に浮いてくれば、血液の比重は1.052以下で献血不可、液面から2~3cm入ったところで止まれば1.052、底に沈めば1.052以上と判断される。

#### 血液の比重測定

##### 尿比重計

どんな尿に入れても尿比重計の浮子は尿中に一部分つかり、残りの部分が浮き上がった状態になっている。

浮子が浮き上がっているのは浮子の重さ(沈み込もうとする力)と、浮子が押しかけた尿によって生じた浮力(浮かび上がらせようとする力)が等しいことを示している。

尿比重測定には、現在この「浮き秤法」より「屈折計法」が多く用いられている。

屈折法は尿を1,2滴プリズムの面上に滴下し、ふたをする。

次に、接眼レンズを回転しながら焦点を合わせ、視野を覗くと屈折率がわかる。

図26 水中にある物体にはたらく浮力

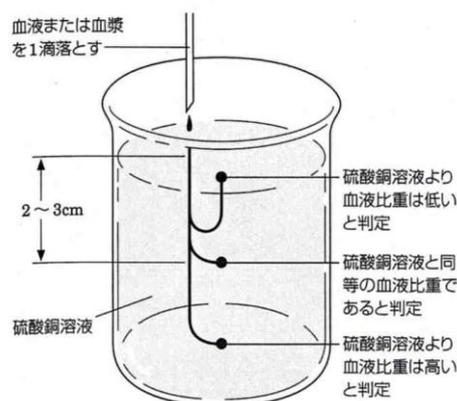
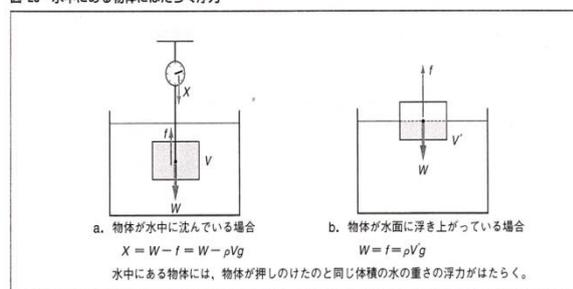


図3 血液比重測定法(硫酸銅法、滴下後10秒以内に判定する)

屈折率は比重によって変わりその換算法もあるので、ただちに尿比重がわかる。

## 尿比重計と浮子

### 屈折計

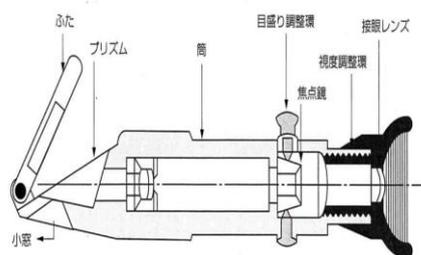


図5 屈折計法

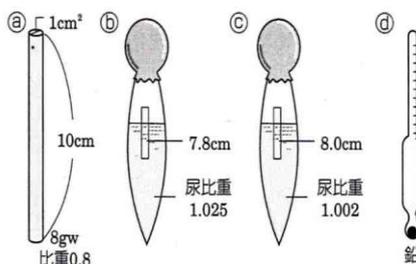


図4 尿比重計と浮子

## ハバードタンク

### 人体は浮く



図6 ハバードタンク

## 水中リハビリテーション

### 体温計

1) 水銀体温計:「温めるとなぜ膨張するのだろうか」「水銀を包んでいるまわりのガラスも膨張しているはずなのに、なぜ水銀だけが上昇するのだろうか」。物質はすべて原子から構成されているが、水銀も小さな水銀原子の粒の集まり。それらの原子はいつも手をつなぎあっている。

### 水銀原子の集まり

ところが、熱を与えると熱エネルギーをもらった原子は運動が活発になり、つなぎあっている手が伸びる。これが膨張現象。ガラスも膨張するが、水銀のほうがずっと膨張の割合が大きい。

2) 破損した体温計の水銀: 水銀を集めた後、放置しておく、水銀の有毒な蒸気が空気中にでる。そこで、亜鉛の粉をこぼれた水銀の上からまき、混ぜてやると、水銀は固体状の粒を作る。こうすると、簡単につまめる。

### 水銀の処理方法

3) 電子体温計: 電子体温計はサーミスタを利用したもの。

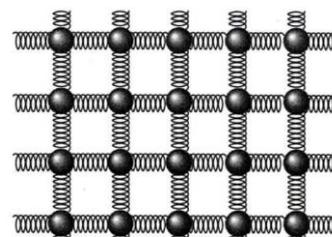
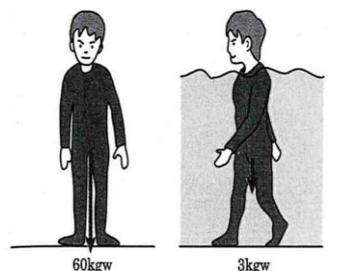


図1 水銀原子の粒の集まり

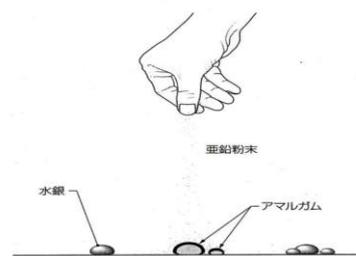


図6 床にこぼした水銀の処理法

金属は熱すると電気抵抗が大きくなって電流の流れを邪魔し、電流が流れなくなる。ところが、半導体は温度が上がると逆に抵抗が小さくなり電流が流れやすくなる。体温で熱せられた半導体は電気抵抗が小さくなって電流が増加する。体温のように測定温度範囲が狭い場合、直線的に変化するように回路を組むことができるので、それを読み取っているのが電子体温計である。また、測定時間が短いのは、体温を予測する方式だから。初期に見られる温度変化から最終到達温度を予測するのが電子体温計の原理。

### 目盛り

摂氏目盛りとは、1気圧のもとで氷の溶ける温度を0°C、水の沸騰する温度を100°Cと決め、その間を100等分し、この目盛りを0°C以下、100°C以上にも広げたもの。

華氏目盛りは、0°Cを32Fとし、100°Cを212Fとし、その間を180等分して目盛りを決めた。1 F = 5/9°C、C = 5/9 (F - 32) で求められる。絶対温度の0 Kは-273°C（正確には-273.15°C）であり、目盛りの間隔は摂氏と同じ。

### オートクレーブ

1) 消毒滅菌：ここで取り上げるオートクレーブは加圧蒸気滅菌装置である。

微生物を殺すことを滅菌といい、殺菌も同義である。

これに対して、病原性のある有毒な微生物を殺すことを消毒という。

2) 圧力と料理：圧力釜とは、蓋に圧力をかけ水蒸気を容易に外に逃がさないので、釜内の圧力が上がるようになっていくだけ。「水の沸点は、周囲が1気圧であれば100°Cである。

周囲が1気圧より低ければ100°C以下で沸騰し、1気圧より高ければ100°C以上で沸騰する。

3) 飽和状態と飽和蒸気圧：容器が密閉されていると、気体分子は容器の外に出て行けないので、容器内でひしめき合い、もうこれ以上気体分子を含めない飽和の状態に達する。

この状態の気体を飽和蒸気といい、このときの容器内の飽和蒸気の示す圧力が飽和蒸気圧。飽和蒸気圧は気体分子がもうこれ以上含めない数だけ含ん

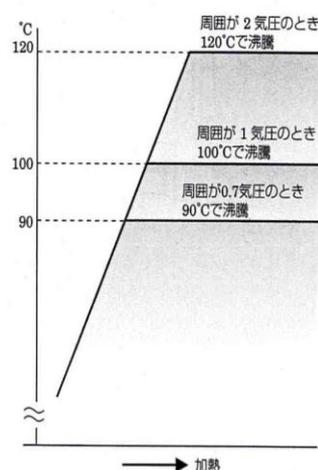


図1 周囲の圧と水の沸点の関係

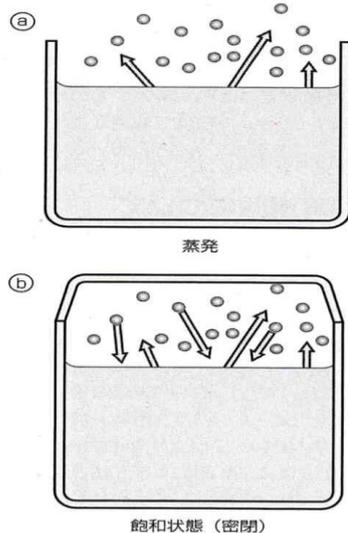


図2 蒸発と飽和状態

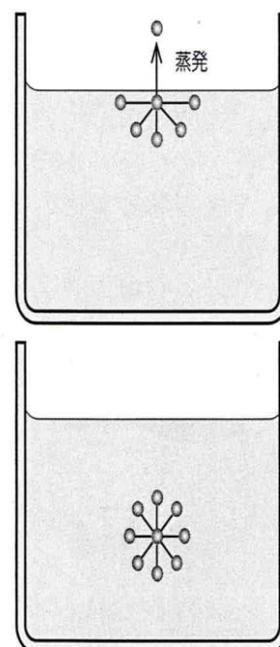


図3 蒸発と沸騰

でいる状態の圧力、温度が高くなればなるほど気体分子はたくさん含むことができる。しかも、分子は活発に動き回ることができるので、温度が高いほど飽和蒸気圧が高いといえる。

4) 蒸発と沸騰: 液体の表面から気化するのを蒸発、液体内部から気化が起こる現象が沸騰。

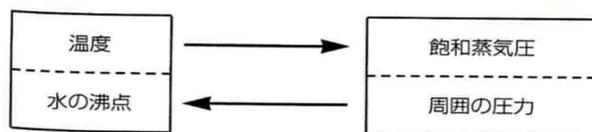


図5 温度と飽和蒸気圧の関係

オートクレーブの原理: 圧力釜と同様に、周囲を1気圧よりも高圧にすることによって沸点を高くし、高温の蒸気を得て、100℃沸騰の蒸気では殺せなかった菌を滅菌できるようにする。

「濃度の表し方と物質の溶け方」

濃度の表し方と物質の溶け方

溶液、溶質、溶媒: 食塩液は食塩が水に溶けているのだから「溶質(溶けている物質)は食塩、溶媒(溶かしている物質)は水、溶液(物質の溶けている液全体)は食塩水」という。しかし、溶液

の中の溶質は固体でなく、液体でも気体でもよい。均一に混ざってさえいればいい。

水とエタノールは両方とも液体であるが、均一に混ざった液も、溶液といい、水の方がエタノールの量よりも多ければ、水を溶媒、エタノールを溶質という。

量が逆なら、水が溶質、エタノールが溶媒となる。食塩液のように、溶媒が水の場合を水溶液といい、溶媒がアルコールならアルコール溶液という。

重量パーセント: 重量パーセント (w/w%) = {溶質の重量 (g) / 溶液の重量 (g)} × 100  
wは weight (ウエイト、重量) を意味し、分母も分子も重量で表すので、w/w と書く (本来は gw であるが、習慣で g とする)。

w/v % の場合、分母に容量 (volume) を用いる。

問1)

- 25%食塩水 100g に水 25g を加えると、濃度はどうなりますか。

問2)

- 25%食塩水 100g を 10%に薄めるために加える水の量は?
- 500ppm、次亜塩素酸ナトリウム溶液を 1リットル作成したい。1.1w/v %次亜塩素酸ナトリウム (ミルトン) は何 ml必要ですか?

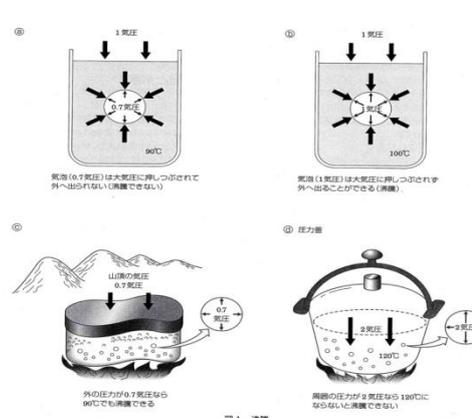
表1 水の温度と飽和蒸気圧

④温度と飽和蒸気圧

温度 (°C)	飽和蒸気圧 (Atm)
0	0.006
30	0.042
60	0.197
80	0.467
90	0.692 (約0.7)
100	1.000
110	1.414
120	1.956 (約2)
140	3.567
160	6.10

⑤ 8 ~ 21℃までの温度と飽和蒸気圧

温度 (°C)	8	9.....12	13.....20	21
飽和蒸気圧 (mmHg)	8.05	8.61...10.5	11.2...17.5	18.7



### 重量パーセント

vは volume (ボリューム、容量、体積) を意味し、分母も分子も容量で表すので v/v と書く。このことを vol% と書いたりもする。

水 100g とアルコール 20g の和は 120g であるが、水 100mL とアルコール 20mL の和は 120mL ではなく、それよりもやや少ない量である。塩酸と水酸化ナトリウムの混合液は少し増加する。このように容量に加法性が成り立たない。そこで、v/v% は①を用いる。

### 重量パーセント(w/w%)

$$= \frac{\text{溶質の重量 (g)}}{\text{溶液の重量 (g)}} \times 100$$
$$= \frac{\text{溶質 (g)}}{\text{溶媒 (g) + 溶質 (g)}} \times 100$$

### 容量パーセント

溶解度: 固体の液体への溶解ある温度で一定の溶媒に溶ける溶質の限度は、溶媒、溶質の種類によって異なる。

通常、100g の溶媒に溶けることのできる溶質の最大の g 数を、その溶質のその溶媒に対する溶解度という。20°C の水に対する砂糖の溶解度は 204g、100°C では 487g である。「20°C における砂糖の飽和溶液の濃度は」について考えると、20°C の水 100g に 204g の砂糖が限度だから、このとき  $204 / (100 + 204) \times 100 = 67\%$  の濃度になる。

### 容量パーセント(v/v%)

$$= \frac{\text{溶質 (mL)}}{\text{溶媒 (mL) + 溶質 (mL)}} \times 100 \quad \text{①}$$
$$= \frac{\text{溶質 (mL)}}{\text{溶液の容量 (mL)}} \times 100 \quad \text{②}$$

### 気体の液体への溶解

気体は高温になると運動が活発になって空気中へ飛び出し、液体内にとどまる割合が少なくなるので、気体の溶解度は固体とは逆に低温の方が大きい。

気体の溶解度には圧力が高いほど融け易いという特徴がある。

これは「一定の温度で、一定量の液体に溶ける気体の質量は気体の圧力に比例する」という「ヘンリーの法則」である。

例えば、冷たいサイダーの蓋を取り、室温で放置しておくと、清涼感のないまずい飲み物になってしまう。

これは、蓋を取ったため圧力が低下および、温度上昇で二酸化炭素の溶解度が小さくなったため、サイダーから炭酸が出て行ったことが原因。

SI システム (単位の国際制度) によると、物質の濃度を表すのに mol/l の単位が用いられている。

また、臨床では「結合当量」という概念から濃度を論じるときには Eq/l を用いる。

浸透圧では Osm/l、Osm/kg という単位もしばしば見られる。

実際には mmol/l、mEq/l、mOsm/l、mOsm/kg といふように、どれも一番前に m の文字が入っているが、これはミリ (1/1000) を表しているもので、mol (モル)、Eq (equivalent : イクイバレントの略で当量を意味する)、Osm (osmol ; オスモルの略) がわかればよい。

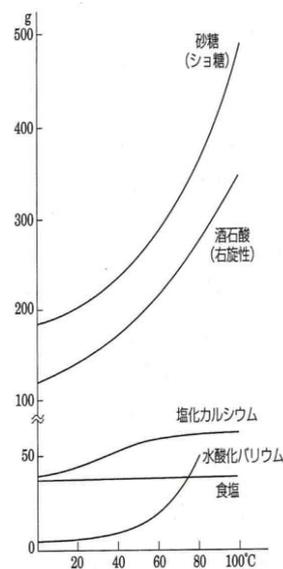


図2 溶解度曲線(水100gに溶ける溶質のg数)

## 溶解度曲線

### 原子量とモル

物質はいろいろな原子から成り立っているのですが、各原子の質量は互いに異なる。

しかし、どの原子も 1 個の質量は大変小さい。そこで、炭素原子 (C) の質量を「12」と決めて、他の原子の「相対的な質量を表す」ことにしている。

この値を「原子量」と呼んでいる。

水素 H、酸素 O の原子量は 1、16 なので水素原子は炭素原子の 1/12、酸素原子は炭素原子の約 1.3 倍の重さがあることを意味する。

「もし各原子が  $6 \times 10^{23}$  個だけ集まると、その集団は H なら 1g、C なら 12g、O なら 16g (つまり原子量に g をつけた分だけの質量)」ということである。

この  $6 \times 10^{23}$  個をアボガドロ数といい、この数だけ集まった集団を 1 モルという。

分子でも同じで、水分子  $H_2O$  は H が 2 個、O が 1 個から水分子 1 個ができていますので、2 モルの H と 1 モルの O から  $H_2O$  が 1 モルできる。

H が 2 モルで 2g、O が 1 モルで 16g、したがって  $H_2O$  1 モルは 18g である。

したがって、コップ一杯の水 (180g とする) を飲んだら、10 モルの水、つまり  $6 \times 10^{24}$  個の水分子が胃の中に入ったことになる。

### 原子量とモル

#### 分子量とモル

原子量に g をつけた値がその原子 1 モル ( $6 \times 10^{23}$  個の原子の集まり) に相当するが、分子も分子量に g をつければ、その分子 1 モル ( $6 \times 10^{23}$  個の分子の集まり) 分の質量になる。

二酸化炭素は  $CO_2$  で  $12 + (16 \times 2) = 44g$ 、食塩  $NaCl$  は  $23 + 35.5 = 58.5g$  が 1 モルである。

もし、1 日に 6g の食塩を摂取したとすると、約 0.1 モルつまり  $6 \times 10^{22}$  個の  $NaCl$  分子を体内に取り入れたことになる。

溶液 1ℓ 中に何モル溶けているかを モル濃度 といい、mol/ℓ という単位で表す。

海水 (1ℓ 中に約 30g の  $NaCl$  が溶けている) では、約 0.5mol/ℓ の濃度であることがわかる。

問)

ブドウ糖 (1 モルは 180g) 9g をお湯に溶かし、ブドウ糖液 100ml をつくったとき、モル濃度はいくらになりますか？

#### 水の分子とモル

##### モルと当量の関係

医療では体液を問題にすることがしばしばあります。体液には電解質が溶けています。水に溶けてプラスやマイナスの電気を帯びたもの (イオン) に分かれる (電離する) 物質を

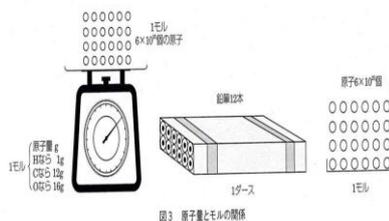


図3 原子量とモルの関係

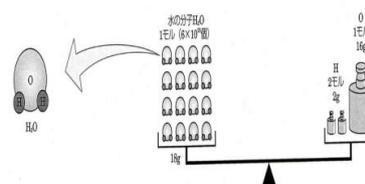


図4 水の分子とモル

電解質といいます。例を上げると、食塩は陽イオンの  $\text{Na}^+$  と陰イオン  $\text{Cl}^-$  に電離する。また、ブドウ糖や尿素のようにイオンに分かれないものを非電解質という。

溶けている電解質の濃度を論じるとき、 $\text{mol}/\ell$  の代わりに  $\text{Eq}/\ell$  を用いることがある。 $\text{Na}$ 、 $\text{Ca}$  (カルシウム) の原子量はそれぞれ 23, 40 なので  $\text{Na}$  の 1 モルは 23g、 $\text{Ca}$  の 1 モルは 40g、ところが、 $\text{Na}$ 、 $\text{Ca}$  は電離するとそれぞれ  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  の陽イオンになる。

$$\boxed{\text{mol濃度}} \times \boxed{\text{原子価}} = \boxed{\text{Eq濃度}} \quad \textcircled{3}$$



※+のイオンになることは-の電気を失ったことと同じ  
 図5 モルと当量の関係

イオン電荷の数 (プラス、マイナスにかかわらない) を原子価という。 $\text{Na}^+$  なら 1、 $\text{Ca}^{2+}$  なら 2、 $\text{Cl}^-$  なら 1。原子量に g をつけたものが 1 モル、それを原子価で割った値 (原子量 (g) / 原子価) を Eq (当量) という。

$\text{Na}^+$  の 1 モルは 23g、 $1\text{Eq} = 23/1\text{g} = 23\text{g}$  で 1 モルと 1 当量は等しい。

$\text{Ca}^{2+}$  の 1 モル 40g、原子価が 2 なので  $1\text{Eq} = 40/2\text{g} = 20\text{g}$ 、1 モル =  $2\text{Eq}$  となり、モルの値と Eq の値は等しくない。

原子価が 1 なら  $1\text{mol} = 1\text{Eq}$ 、原子価が 2 なら  $1\text{mol} = 2\text{Eq}$ 、原子価が 3 なら  $1\text{mol} = 3\text{Eq}$  という相互関係がある。

また、mol で表された濃度を Eq 濃度にするると、 $\text{mol 濃度} \times \text{原子価} = \text{Eq 濃度}$  となる。

例えば、血漿の  $\text{Cl}^-$  の濃度は  $100\text{mmol}/\ell$  であるが、これは  $100\text{mEq}/\ell$  になり、 $\text{Ca}^{2+}$  の濃度  $2.5\text{mmol}/\ell$  は  $5\text{mEq}/\ell$  となる。

### モルと当量

モル (mol) とオスモル (osmol) の関

液に濃度の差があると薄いほうから濃い方へ、まるで水が引き込まれるように移動する (浸透圧) 現象がある。

そこでは、 $\text{Osm}/\ell$  という単位を使う。Osm (osmol ; オスモル) は溶質の個数に関係した量であるから Eq とは異なり、非電解質にも用いられる。

非電解質のオスモルは mol 濃度と同じ。

非電解質 (A とする) はイオンに分かれていないので、水の中でも (A のままで) 個数は変わらない。一方、食塩は  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の 2 つに分かれるので個数は 2 倍となり 1mol は  $2\text{Osm}$  となる。硫酸ナトリウムは  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  の 3 つに分かれるので 1mol は  $3\text{Osm}$  となる。

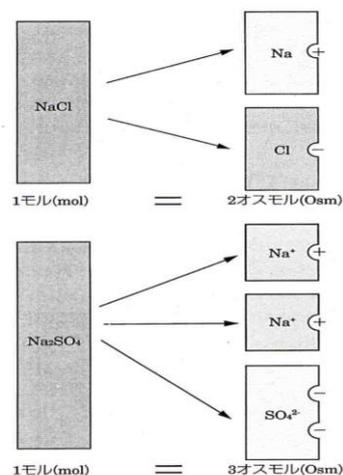


図6 イオン化する物質

したがって、 $\text{mol 数} \times \text{分離する数} = \text{Osm 数}$  となる。なお、これは 100% 完全に分離する場合

で、現実にはもう少し少なめとなる。

モルとオスモル

$$\boxed{\text{mol数}} \times \boxed{\text{分離する数}} = \boxed{\text{Osm数}} \text{ ④}$$

イオン化する物質

## 6. 熱力学、音波、浸透圧、人工

### 透析、心拍数、サイレ

### ン

「人工心臓、浸透圧、心拍数と救急車のサイレン」

人工心臓

人工心臓は基本的には心室のポンプ機能を代行するもの。心臓機能で最も重要なのは、左心室ポンプ機能 (図 53)。

血液は左心室尖部からポンプ部に流入、ポンプ部で圧力を高められて大動脈に送り出される。ポンプの出入り口には、それぞれ一方向にしか血液を流さないための弁がついている (図 54)。人工弁は、血液に圧力を加えるために、ダイアフラムを外圧力で変形させ、血液室の容積を変化させる。

左心補助人工心臓

ポンプ室の構造

ポンプ室の機構 (図 56)

a は、陽圧のタンクの空気と、陰圧のタンクの空気とを弁で切りかえてダイアフラムを作動させる。

b はシリコンオイルをシリンダーにつめて、ピストンを動かすことでダイアフラムを作動させる。

c はモーターとねじでダイアフラムと一体となった板を動かす。

ポンプの動作機構

図 53 左心補助人工心臓

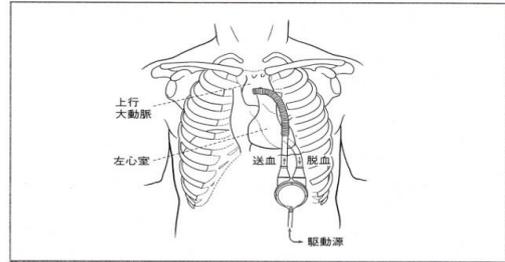


図 54 ポンプ室の構造

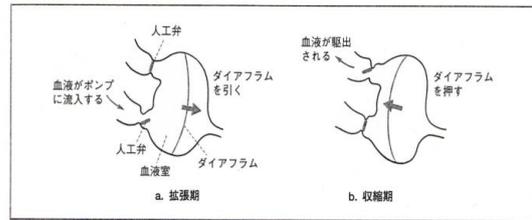
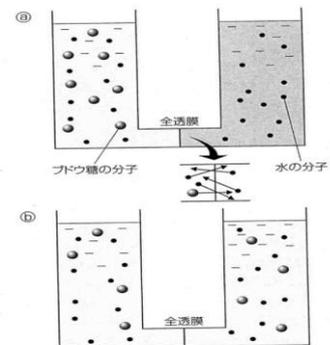
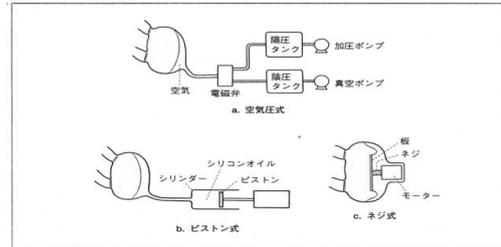


図 56 ポンプの動作機構



<エントロピー増大の法則>

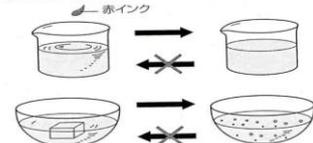


図 1 全透膜と拡散

浸透圧

エントロピー増大の法則：コップの中に赤インクを1滴落とすと、みるみるうちにインクは広がり、液は一様に薄い赤色を示す。いま、左側にブドウ糖液を入れ、右側に水を入れて全透膜で仕切る。

**図1** 全透膜はどんな分子でも自由に通すことのできる膜で、ブドウ糖分子も全透膜を通り抜けて次第に右側に散らばり、最後に一様に混ざる。

**「エントロピー増大の法則」**

このように濃度に差があるとき、次第に溶質が広がり散らばって、ついに一様な濃度になる現象を拡散という。

濃度の濃い方から薄い方へ溶液が移動するのは自然の理であり、逆は起こらない。**拡散現象は一方通行である。**これが「エントロピー増大の法則」である。

全透膜と拡散

水を引き込む「浸透圧」

同じ濃度になると水やブドウ糖の分子がじっとしているかという、そうではない。

水もブドウ糖も絶えず移動している。

しかし、同じ割合で移動するので濃度に差が生じず見かけ上移動が止まったように見えるだけである。

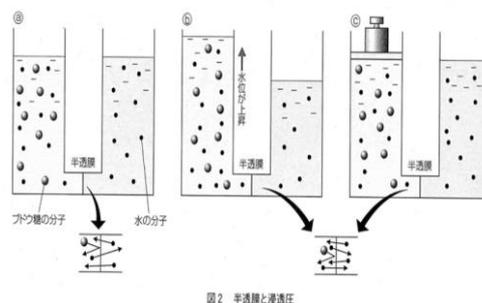


図2 半透膜と浸透圧

ところで、**図2**のaをみると、**図1a**と同じように見えるが、これは半透膜で仕切っている。

半透膜は全透膜と違って、溶媒の水は通すが、溶質のブドウ糖は通さない。

左右から同じように分子は移動を試みるが、左から来る分子のいくらかはブドウ糖の分子なので、膜を通過できない。

一方、右から来る分子は全て水分子なので、差し引き右から左へ移動する水分子の数のほうが多くなり、左の水位が上がる (**図2b**)。

水位の差をなくし、しかも、左右の水分子の移動を等しくさせるためには、無理やり左側に圧力をかける必要がある。

その圧力を浸透圧と呼んでいる (**図2c**)。

**図2a**で左側の溶液の濃度が高いほど（左右の濃度差が大きいほど）、水位の差が大きくなる（浸透圧が大きくなる）。

つまり、水は濃度の濃いほうへ浸透していくので、浸透圧は「水を引き込む力」と言い換えることができる。

また、浸透圧は溶液の濃度差に比例する。例として、赤血球をいろいろな濃度を持つ食塩水中に入れると分かる。

人間の赤血球は 0.85%の食塩水と同じ濃度なので、0.85%食塩水（当張液）に入れても両者の浸透圧が等し

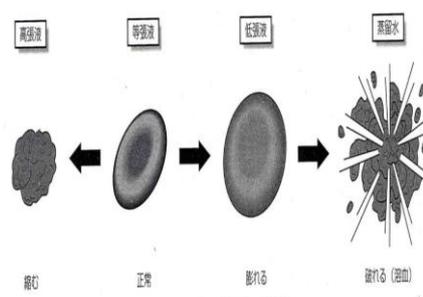


図3 浸透圧の変化と赤血球の様子

いので、水の浸透はおこらない。

しかし、2%食塩水（高張液）に入れると高い濃度のほうへ水の浸透が起こり、赤血球は縮む。逆に低張液に入れると水が赤血球へ浸透して膨らみ、蒸留水に入れると赤血球の膜は破れ、溶血する（**図3**）。

### 半透膜と浸透圧

浸透圧の変化と赤血球の様子

同じ濃度でもなぜ「浸透圧」が違うのか？

浸透圧は水の分子運動の結果、濃度の濃い液のほうへ水が引き込まれて生じるが、これだけでは不完全である。

図4a はブドウ糖と食塩水を入れて半透膜で仕切った図で、両方とも濃度は1%（つまり、溶液100g中、ブドウ糖または食塩を1gずつ含んでいる）。

上記の考えでいくと、水の移動は起こらないことになる。

しかし、水は左→右へ浸透する（**図4b**）。

すなわち、食塩水のほうが浸透圧が高いことになる。等濃度なのにどうしてなのか？

**図2**では、水分子の個数に差が出て浸透現象が生じた。

したがって、通れない分子の個数が多いほど、移動する水分子の個数差が大きくなり、水位に差ができる。そこで、**図4**をみると、ブドウ糖も食塩も1gずつ溶けているが、各々の分子量（分子が $6 \times 10^{23}$ 個集まったときのグラム数）が異なる。

分子量はブドウ糖が180、食塩が58.5なので、同じ

グラム数を溶かした場合、個数にしたらブドウ糖は食塩の約三分の一しか溶けていない。

しかも、食塩は溶液内で $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ に解離しているのだから、粒子の数としてはブドウ糖の約6倍となる。

このことから、浸透圧は、溶液中に溶けている溶質の粒子の個数に比例するといったほうがよい。

### 分子量と浸透圧

「浸透圧」の求め方

5%ブドウ糖液の浸透圧は、溶液1ℓ中に50gのブドウ糖（分子量180（分子式は $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ で原子量 $\text{C}=12$ 、 $\text{H}=1$ 、 $\text{O}=16$ なので $12 \times 6 + 1 \times 12 + 16 \times 6 = 180$ となる））が溶けているので、浸透圧は $50/180 \approx 0.278$ となる。

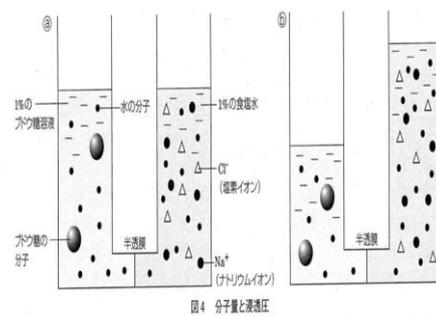


図4 分子量と浸透圧

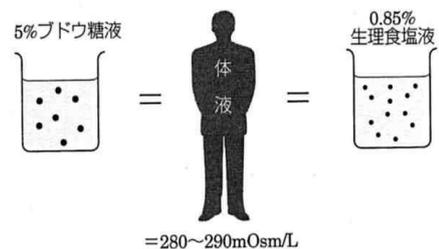


図5 5%ブドウ糖液と生理食塩液の浸透圧

これを 1000 倍して約 280 とした値を  $\text{mOsm/l}$  という単位で表す。

0.85%生理食塩液の浸透圧は、溶液 10中に 8.5g の食塩 (分子量は  $\text{Na}=23, \text{Cl}=35.5$  なので 58.5) が溶けているので、浸透圧は  $8.5/58.5 \times 2 \times 1000 = 290 \text{ mOsm/l}$  となる。

体液の浸透圧は約  $285 \text{ mOsm/l}$  なので、上記の 2 種類の液は体液と浸透圧が等しいこととなり (図 5)、皮下に注射しても大丈夫となる。

### 5%ブドウ糖液と生理食塩液の浸透圧

#### 透析にも活躍する半透膜と「浸透圧」

半透膜を介して物質が移動する性質を用いて異種分子を分離することができる。

これを透析という。図 6 のように、半透膜で作られた袋の中に、アルブミンと尿素有る混合液を入れ外を水で覆うと、尿素は小さいので膜を通り抜けるが、アルブミンは大きくて通過できない。

しかし、尿素は袋の内外で同じ濃度を持つように拡散するので、袋の中の濃度は低くなりはしてもなくなる。

ところが、外の水を流し続けると、水の中の尿素有る濃度が低くなるので、袋の内外で等濃度になろうとする尿素は、袋の外の水の中に出ていき続ける。

その結果、袋の中の液はアルブミンのみになる。私たちの体の細胞膜も半透性を持っています。

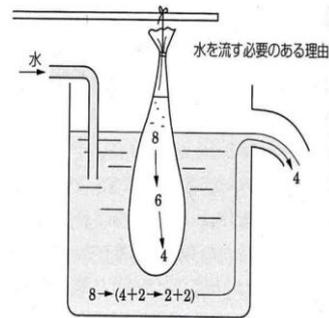
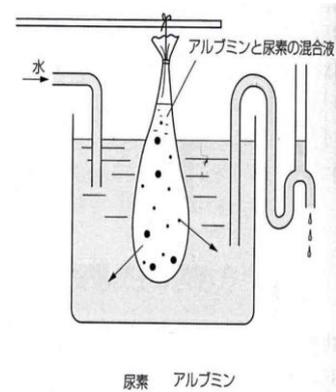


図 6 浸透圧の原理

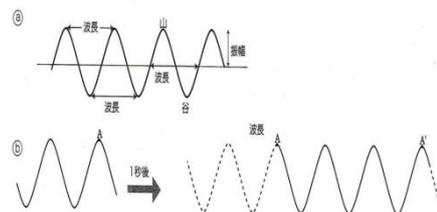


図 1 波形

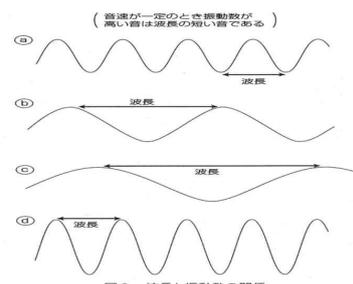


図 2 波長と振動数の関係

### 音波

音波; 音の源は振動し、その振動が空気を伝わって聞こえる。

音は波の一種で、一般には音波と呼ばれる。

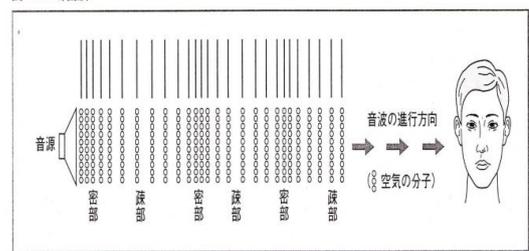
音波は、音源から空気分子の疎と密になる部分が発生し、空气中を伝わる。真空中では音は存在しない。

ここでの音は、人間が聞くことのできる周波数の範囲 (20~20000 Hz) で可聴域。これ以上は超音波と呼ばれる。

### 音の 3 要素

音を区別する重要な要素として、音の高さ、強さ、音色の 3 つがある。

図 194 疎密波



音の高さ；振動数の違いは音の高さの違い。2つの音の高さの比が音程、1オクターブ高い音は振動数が2倍。振動数は1秒間に空気が振動する回数で単位はヘルツ（Hz）。

音の強さ；和太鼓を強くたたくと、窓ガラスが振動するが、これは音波でエネルギーが運ばれたことを示す。単位はデシベル（dB）。

音色；波形の違いで生じる。

疎密波

音の高さ

### 心拍数と救急車のサイレ

ドップラー効果とは：音源や観測者の位置が近づいたり遠ざかったりすることによって生じる音の高さの変化を言います。

これは音が波であるから生じる現象です。

波の速度は「速度＝振動数×波長」です。音速をV、振動数をf、波長をλで表すと「 $V = f \times \lambda$ 」です。我々が音を聞くと、まず音の高低と強弱を意識するが、音の高低は振動数fで決まり、fが大きいほど高い音、小さいほど低い音に感じる。

音の強弱は振幅の大小で決まる。しかし、音の強弱はドップラー効果には関係ない。

ところで、音の速度が一定なら波長が短いほど高く聞こえることが速度の関係式からわかります。

### 音源が近づくと

今、救急車がサイレンを鳴らしながら我々のほうへ近づいてくる場面を想像します。

もし、救急車が止まっているのなら、サイレンは四方八方へ同じ波長（同じ振動数）の音波として伝わる。

しかし、救急車が観測者の方へ近づいてくると、車と観測者の距離が短くなるので、その間隔に同じ個数の波を収めるには、波長が短くなるしかないのです。

したがって、振動数が大きくなり、音が高く聞こえます。逆に、音源が遠ざかっていくと、振動数が小さくなるので、音が低く聞こえるのです。図3

### 観測者が音源に近づくと

音源に観測者が近づく場合も同じように振動数が大きくなり、音が高く聞こえます。

### 超音波とは

超音波とは、我々の耳に感じない振動数の大きい音波を意味します。

通常 16 k Hz (16000 Hz (回/s)) 以上の音波をいい、超音波診断に用いられるのは 1~15 MHz

図 195 音の高さ

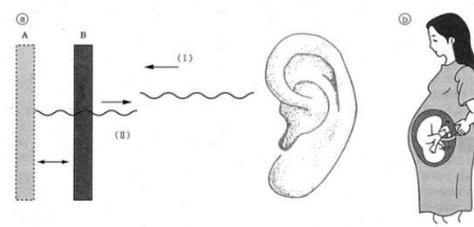
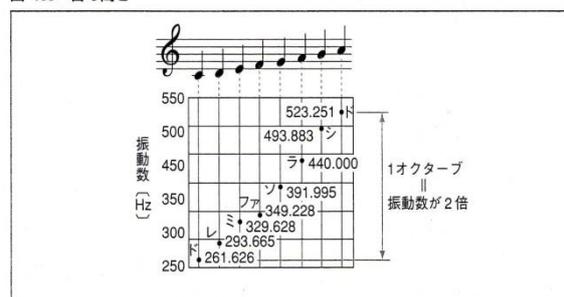


図4 音源と観測者

(1MHz=100万ヘルツ)程度とされている。

超音波は振動数が大きいので指向性がよい、すなわち、一定の方向に進む特徴があり、組織の中に伝わるにつれて減衰が大きくなる。

そこで、深部の組織の診断にはあまり大きい振動数の超音波は使えず、産婦人科領域や腹部には1~3MHz、眼球のように体表近い部分には7~15MHzの超音波が使われることが多い。

超音波の性質としては「指向性がよい」「異なる媒質(物質と考えてもよい)に出会うと境界面で反射する」ことがあげられる。これを医療に応用したのが超音波診断です。

### 赤ちゃんの心拍検査

図4aのように、Aの板が右方からやってきた音波(I)を反射、その反射した音波(II)を我々が聞く場合を考える。

Aの板が(I)の音波を受けるとき、Aが観測者になり、その後Aの反射音を耳で聞くと、Aが音源、耳が観測者となる。

板がAの位置に留まっているのなら、送られてきた波(I)と同じ振動数をもった音波をそのまま反射するが、板がAとBの間を往復運動すると、音源が観測者、あるいは観測者が音源に近づいたり遠ざかったりする効果をもつ。

したがって、我々の耳には送信波と異なった振動数の音が受信される。

この板の振動を赤ちゃんの心拍に置き換えてみる。

図5のaとbは振動数が少しだけ異なる。つまり、波長が少しだけ異なった波である。

この2つの波が重なり合うと、波の様子はcまたはdになる。

この新しい波は振幅が一定ではないが、規則的である。

振幅の大小は音の強弱を示すので、我々の耳には音が強まったり、弱まったりしながら、それが周期的に届くことになる。

この現象を「うなり」という。なお、2つの振動数の差がうなりの回数となります。

赤ちゃんの心拍検査の場合、心臓が運動すると、ドップラー効果によって送信波とは波長がわずかに異なる波を反射します。この反射波を送信波に重ね合わせると両者の間に「うなり」が生じる。

この原理はドップラー効果と「うなり(ビート)」の現象の組み合わせなので、「ドップラービート」とも呼ばれる。

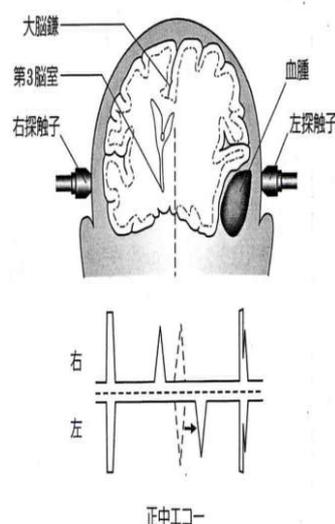
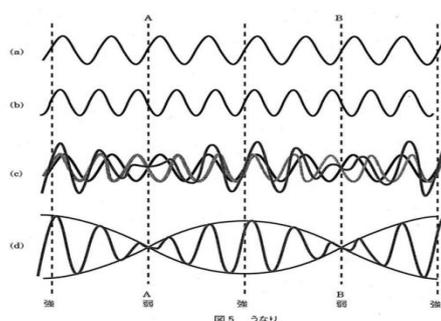


図7 第3脳室エコーの側方偏位検出法の原理

このうなりの振動数によって反射物体「赤ちゃんの心臓」の運動状態を知ることができる。

### エコー法

パルス反射法（エコー法）は、超音波の生体内での速度が  $1570\text{m/s}$  ( $37^\circ\text{C}$ ) であることがわかっているので、「エコー（反射）の到達時間からエコーの源（反射物質）の位置を知ることができる」を利用している。

## 7. ファイバースコープ、サーモグラフィ、電気

### 「ファイバースコープ、サーモグラフィ」

#### 光が媒質に出会うと

光がまっすぐに進むことは日常経験しているが、光がある媒質（物質と考えてもよい）中を直進したとき、別の異なった媒質に出会ったときどうなるのか。図1のように空気中を直進してきた光が水面に出くわすと、光の取るべき鼓動は2つある。1つは水面で反射する、もう1つは水中に入っていく。水中に入っていく場合、Bのように進行方向が変わる。これを屈折という。反射の法則にしたがい、入射角＝反射角である。

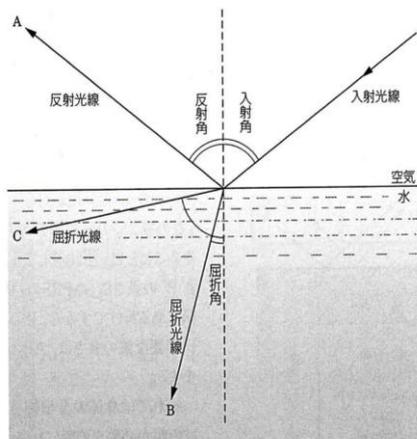


図1 反射と屈折

図2のように鏡（平面鏡）で像のでき方を考えると、Aから四方八方に出た光の一部は鏡で反射されるが、そのとき入射角＝反射角にしたがって反射する。ところが、これらはバラバラで一点に集まらない。Aの像ができる（結像）にはAから出た光が集まらなければならない。

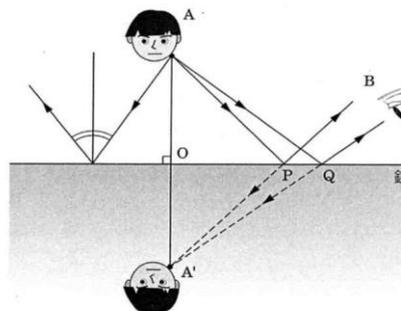


図2 鏡による結像

P、Qで反射された光を点線のように延長すると、1点に集まるように見える。

このことはAの像がA'にできたように見える。

「光がA'に集まって結像している」と思うのは錯覚で、実際には実線の矢印の方向へ反射されており、実像ではなく、虚像なのである。

#### 鏡による結像

#### 屈折のいたずら

空気→水、空気→ガラス、ガラス→水のように、媒質の組み合わせにより、すべて異なった屈折の仕方をする。

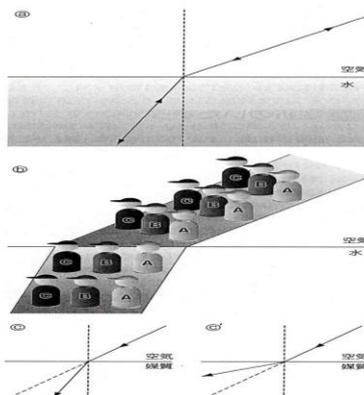


図4 空気に接している場合の光の屈折

しかし、空気中からやってきた光は相手が何であれ、いつも垂線に近づくように屈折する。

同時に、空気中に光が出て行く時には、逆に垂線から遠ざかるように進む。

空気中での光速が最も速く、異なった媒質中に入ると光速が遅くなる。**図4、図5**

空気に接している場合の光の屈折

屈折光のいたずら

光が外に出られなくなる

図6aのように水中の石が照らされ、そこから光が四方八方に出ていく場合、入射角が少しずつ大きくなると、屈折光は次第に水平方向に近づく。入射角が臨海角より大きいと、光は外へ屈折せず、全部反射する。この現象は光が屈折率の大きい媒質から小さい媒質へ進む時に起こる。水、ガラス、ダイヤモンドなどすべて空気よりも屈折率が大きいので、これらの媒質が空気と接していると、これらの媒質中で全反射が可能。

臨界角と全反射

### ファイバースコープ

全反射を利用したのがファイバースコープ。これはガラス製のファイバー（繊維）、すなわちガラスファイバーを多数束ねたもので、1本の直径は数マイクロ

ンメートルから数百マイクロメートル。

光が被写体の異なった部分からやってくる時、多くの光が何回も全反射を繰り返すと、混ざってしまい、像をつくることができない。

そこで、1本の細い管が被写体のごく狭い部分からの光を送る役目をすれば、その管を多数束ねることによって全体像をつくることできる。

ファイバースコープが多数の細いガラスファイバー（ガラス繊維）かを束ねてできているのは、このような理由かである。

この束は両端を接着剤でかためてあるが、そのほかの部分には接着されていないので、柔軟な内視鏡として役立つ。**図7、図8**

### 十二指腸鏡

### ガラスファイバーと全反射

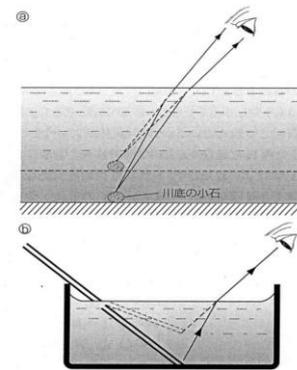


図5 屈折光のいたずら

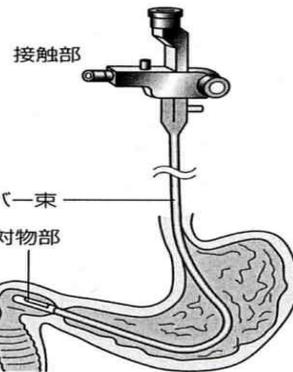
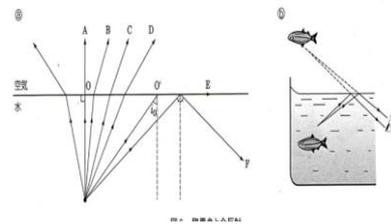


図7 十二指腸鏡

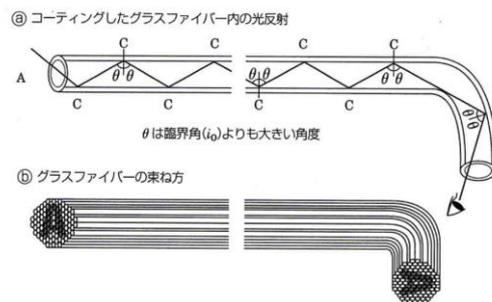


図8 グラスファイバーと全反射

## 物体の大きさと遠近感

左右の目で物体を挟む角度を光角という。

遠い物体は光角が小さく、近い物体は光角が大きい。目で物の見かけの大きさを判断するのは、網膜上にできる像の大きさによる。1つの目で物体の両端を挟む角度

を視角という。我々は視角の大小で物体の見かけの大小を決める。

同じ物体でも遠くにあると視角が小さくなり、視角が小さいと見かけの大きさを小さいと我々の脳で判断するからである。 **図9**

### 光角と視角

#### 視力検査

視力の検査は「視力Vは、2点または2線として分離識別できる最小視角Aの逆数で表される。近視の人は近寄らないと2点を識別できない。したがって、Aが大きくなる。

通常、最小視角を分(′) = (1/60°)で測る。最小視角が1′なら視力は1.0。5′では0.2となる。1.0とは、5m離れたところから1.5mmの分離の識別がギリギリできることに相当する。 **図10**、**図11**

### tanθと角度

#### 最小視角

#### 明るさと視力の関係

#### 光度と照度

「明るさ」には2つあって、1つは光源のもつ明るさ、もう1つは光源によって照らされた物体の表面の明るさ。

前者を光度、後者を照度という。

光度の単位はカンデラ (cd) で、同じ40W

でも電灯よりも蛍光灯の方が明るく、それぞれの光度は約50cd、約280cd。

部屋の明るさなど、看護に出てくる明るさは照度を意味する場合が多い。

照度は照らされた面の明るさなので、面に入ってくる光の量で表され、単位はルクス (lx)。

「1ルクスは1カンデラの光源から1m離れたところで、光を面に垂直に受けるときの照度」。

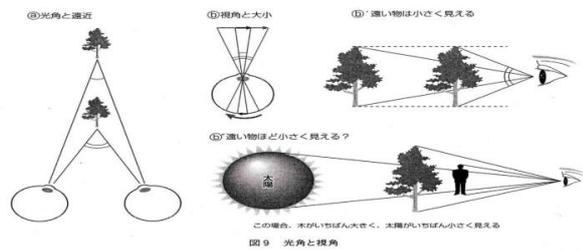


図9 光角と視角

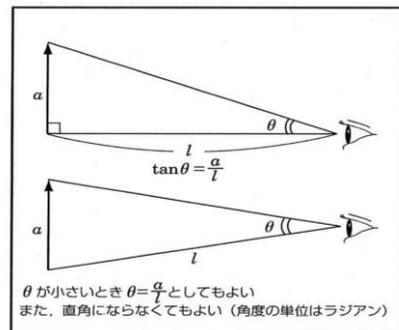


図9 光角と視角

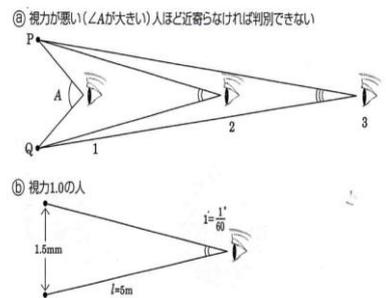


図10 最小視角

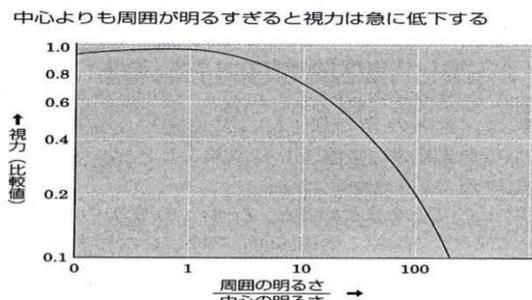


図11 明るさと視力の関係

字を読み書きするのに望ましい照度は 200lx 以上。

40W の蛍光灯 (約 280cd) の光を垂直に受ける机が 1m 離れたところにあるならば、そこでの照度が 280lx。

同じ光源で照らされていても、遠くに行けば行くほど暗くなる。

「照度は光源からの 2 乗に反比例する」。 **図 12**

### 光度と照度

#### 内視鏡

硬性鏡；かたい筒の中にライトガイドファイバーで外部から明るい照明光を送り、レンズを組み合わせることで体内を観察するもので、膀胱鏡、腹腔鏡、間接鏡などがある。

軟性鏡；ライトガイドファイバーで外部から照明光を送り、イメージファイバーで観察する。本体は自由に曲げられる。先端部は操作によって上下、左右への屈曲、回転などの角度操作が可能。消化器内視鏡、気管支内視鏡、喉頭鏡などがある。

#### 各種の内視鏡

#### 気管支ファイバースコープ

#### サーモグラフィ

紫外線：紫外線を大きく分けると近紫外線 (波長 4000~3000Å)、遠紫外線 (3000~2000Å)、極端紫外線 (2000Å) に大別できる。

1 Å は  $10^{-8}$  cm で  $1 \mu\text{m} = 10000 \text{Å}$ 。 **図 1、図 2**

#### 紫外線の殺菌効果

紫外線で殺菌できるのは紫外線の持つエネルギーが大きいため、殺菌の活動を抑えられたり、化学作用をもつ、つまり化学結合を変えることによる。

紫外線は波長によってその効果が異なる。殺菌作用は 2600Å あたりが最高、3000Å でその効果は 30% に減少、3400Å では 0.1%。

地上に到達する太陽光線は約 2900Å 以上の波長をもつ紫外線である。

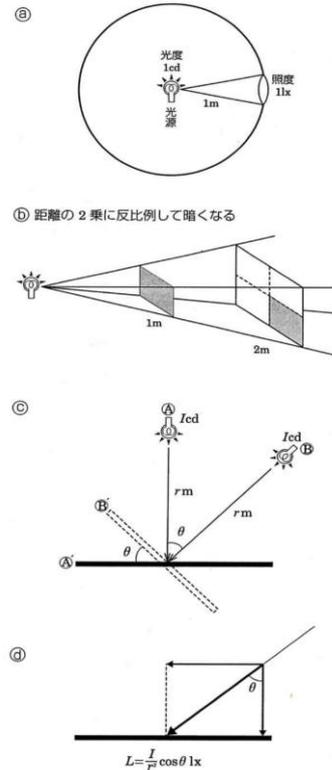


図12 光度と照度

図 162 各種の内視鏡

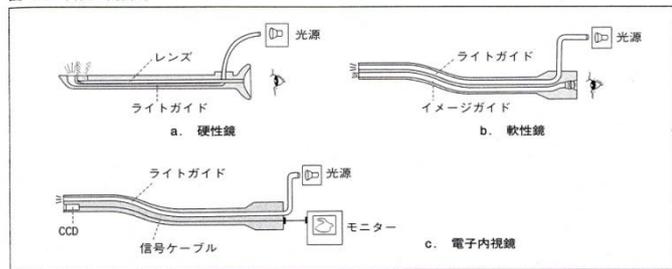
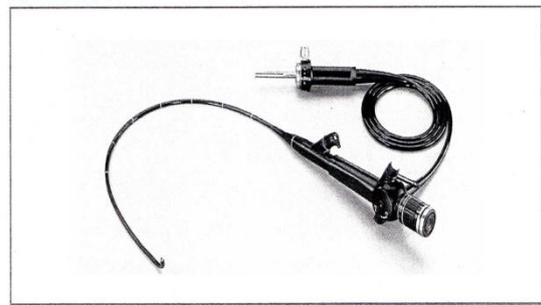


図 163 気管支ファイバースコープ(写真提供 オリンパス光学工業(株))



紫外線は多くの物体に対して透明ではない。多くの物体を紫外線は通り抜けることができない。

水を除いた他の物質に対し、紫外線は表面殺菌に終わる。殺菌灯、殺菌ランプは紫外線

が透過するガラスを管壁に用いた蛍光灯型低圧水銀灯で 2537 Å の紫外線を出す。

この種の殺菌灯は空気中の細菌の数を減らすので病院でも用いられ、腐敗しやすい製品の表面殺菌に用いられる。図3、図4、図5

### 日光皮膚炎

殺菌効果をもつ紫外線と日焼けの効果を持つ紫外線ではその波長が異なる。

前者は約 2600 Å、後者は約 3000 Å。

### 赤外線

赤外線は紫外線と比べて波長が長いので、光の持つエネルギーが小さいので分子の化学結合を変えたりできないが、分子を揺さぶって熱を生じさせる。赤外線が熱線と呼ばれるのはこのため。

電磁波の波長による区分

### 紫外線

#### 殺菌能力

#### 波長と作用の相対的効果

#### 物体から放射される光の波長と温度の関係

#### 医療に役立つサーモグ

医学に応用されているサーモグラフィは、患者の身体から放射される赤外線を検出し、皮膚に近い部分の温度分布を可視象に換える技術。

温度が「絶対零度」でない限り、すべての物体から熱のエネルギーが放出されている。

温度が高いほど、たくさんのエネルギーを出している。すなわち、すべての物体は光を出している。図6

#### サーモグラム

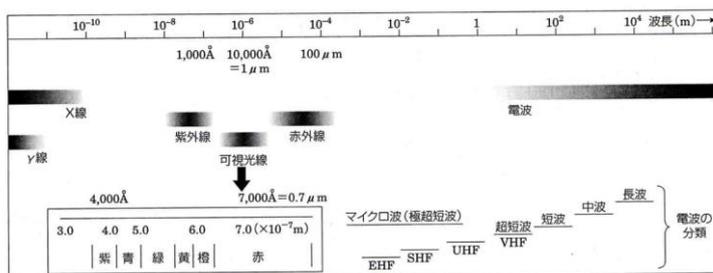
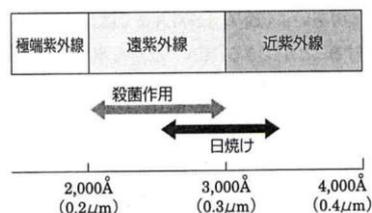
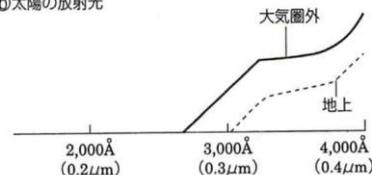


図1 電磁波の波長による区分

#### ③紫外線の波長による区分



#### ④太陽の放射光



#### ⑤紫外線と殺菌・日焼け効果

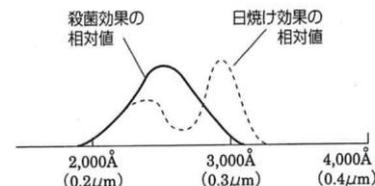


図2 紫外線

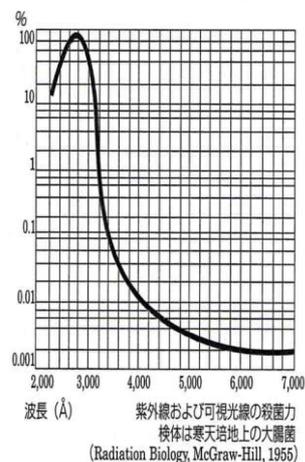


図3 照射エネルギー量当たりの相対殺菌力

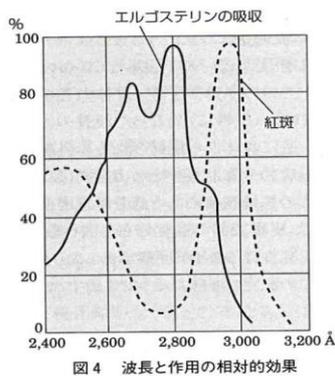


図4 波長と作用の相対的効果

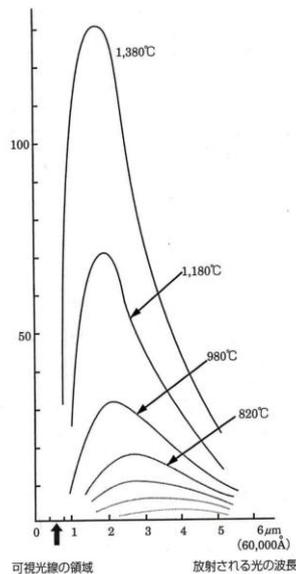


図5 物体から放射される光の波長と温度の関係

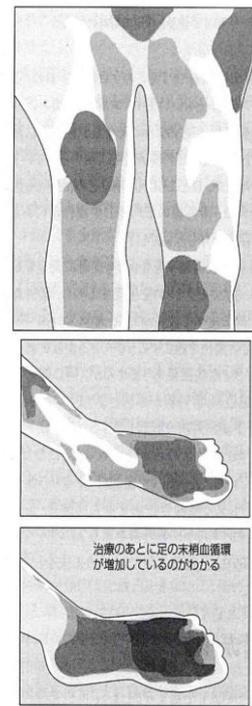


図6 温かい部分を暗く示すサーモグラム(温度分布図)

## 電気

### 電気機器の安全性

電気の実体；電気とは、電荷（荷電）と呼ばれる、電気の性質をもった粒子。この粒子には、マイナス（負）の電荷を帯びた電子や、プラス（正）の電荷を帯びた陽イオンなどがある。

電流；この粒子の流れのことを電流という。

流れる向き；電流はプラス側からマイナス側に流れる。このとき、電子はマイナス側からプラス側に流れる。これは、電流が電子の流れであることを発見する前に、電流の流れる方向はプラスからマイナスときめてしまったため。

電流の大きさ；アンペア（A）の単位であらわす。水の流れが電流だとすると、水面の高さが電位に相当する。

電圧；水は水面の高い方から低い方へ流れようとする。これと同じように、電気も電位の高い方から低い方へ流れようとする。この電気を流

図 93 電圧と電流

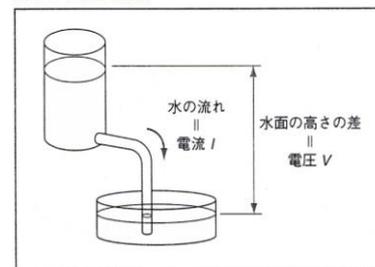


図 94 電気抵抗

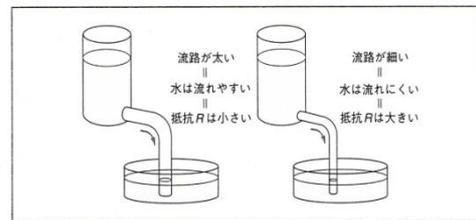
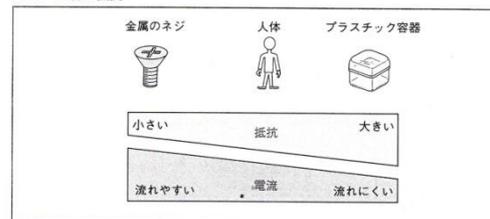


図 96 人体の抵抗



そうとする力を、水圧になぞらえて電圧とよび、電圧の大きさをボルト (V) という単位で表す。

オームの法則;電流は電圧が高いほど大きく、このときの比例定数を抵抗といい、こ

の関係は、 $V = I R$  ;電圧、I ;電流 (A)、R 抵抗 ( $\Omega$ )。この関係をオームの法則という。

### 感電ショック (電撃) とアース

感電するのは、電流が体の中を流れるから。このとき、人間の体は  $1\text{ k}\Omega$  の抵抗と同じになる。もし、家庭用の  $100\text{V}$  電源に両手で触れると、オームの法則によって、

$I = V/R = 100/1000 = 0.1\text{A}$  となる。これは、身体にとってかなり危険な電流である。

感電ショック (電撃);電流が人体を流れると、神経や筋肉が興奮したり、収縮したりして、異常な動作をする。このような電気による刺激のことを言う。

感電ショックには、マクロショックとミクロショックがある。

マクロショック;体表から皮膚を通して電流が流れ込んで、再び皮膚を通して流れ出ていくときに起こる電撃ショック。

ミクロショック;電流の流れこむところ、または流れ出るところが身体の内部、特に心臓の内部やその周辺の場合の感電ショック。

漏れ電流;本来流れない電気機器の部分の流れしめる電流、これに触れ、電流の通り道になったとき、感電ショックが起こる。

### マクロショックの人体反応

アース (接地);マクロショック防止には、アースを取る。漏れ電流を大地に流したり、流す部分をつける。

アース効果;電流が漏れた場合でも、アース接続で、電流は流れやすい方に流れるので、人体に感

図 97 漏れ電流の通り道

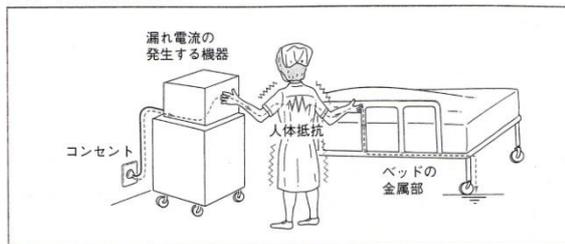


表 9 マクロショックの人体反応

電流値(1秒間通電)	反応および影響
1 mA	ビリビリと感じる電流(最小感知電流)
5 mA	手から手または足にゆるしうる最大電流(最大許容電流)
10~20 mA	持続した筋肉収縮(自力で離脱できる限界=離脱電流)
50 mA	痛み、気絶、激しい疲労、人体構造の損傷の可能性。心臓、呼吸系統は興奮する
100 mA~3 A	心室細動の発生、呼吸中枢は正常を維持
6 A 以上	心筋の持続した収縮、一時的な呼吸麻痺、火傷など

(50 Hz または 60 Hz)

図 98 アースをとった場合の漏れ電流の流れ

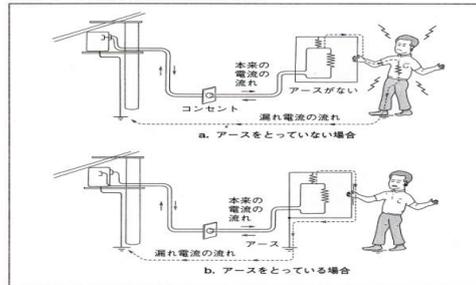


図 99 アースの原理(等電位化)

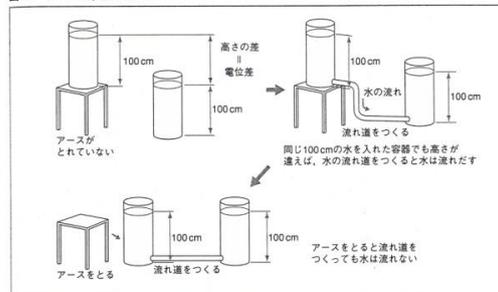


図 100 3P プラグと 3P コンセント

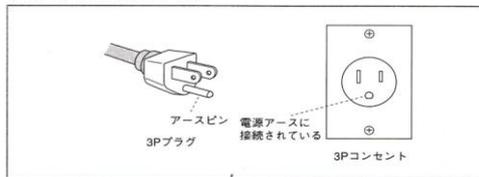
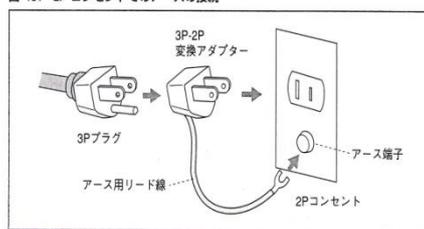


図 101 2P コンセントでのアースの接続



電ショックを与えることはない。

3P コンセント、3P プラグ；医療機器の場合に使用されるコンセントとプラグ。

マイクロショック対策；マイクロショックでは 0.1mA の電流でも心臓の機能が停止する可能性あり。漏れ電流が 0.01mA 以下になる安全対策として、機器には、10MΩ 以上の絶縁対策

がしてある。

### 電気メス

電気メスは、外科手術に伴う出血を抑えて、組織を切開することができる装置。メス先からは約 1A 程度の電流を直径 1mm 以下の部位に集中して流し、組織を切開する。

なぜ、電気メスでは 1A の電流を流しても、心室細動をおこさないのか？

### 電気の流れ方

直流；乾電池で電球をつけるようなときの電流の流れ方で、電流はいつも乾電池のプラス側からマイナス側に流れる。

交流；100V のコンセントにコードを差し込んで、電球をつけるようなときの電流の流れ方で、常に電流の向きと大きさが変化する。

商用交流；家庭などで使う 100V の交流。関東で 1 秒間に 50 回、関西では 1 秒間に 60 回、流れが変化する。

交流電圧は、一定の振れ幅で正弦波状に変化。片側の最大値が振幅、100V が実効値、この時の最大電圧は  $100 \times \sqrt{2} = 141V$

交流の大きさは実効値で示す。1A の電流の振幅は 1.41A となる。

### 電気メスの原理

最少感知電流；人体がビリビリ感じ始める最小の電流。これを超えると感電ショックを受ける。これは周波数で異なり、50Hz ~ 100Hz ぐらい。この間が最も敏感。

図 102 電気の流れ方—直流と交流

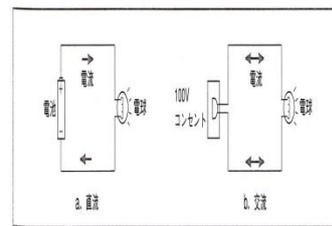


図 103 直流と交流による電圧の変化の違い

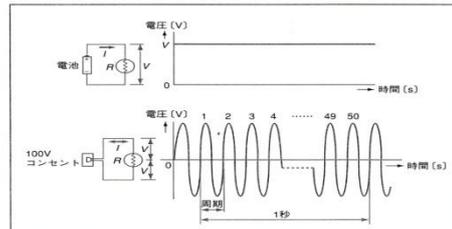


図 104 交流電圧の実効値

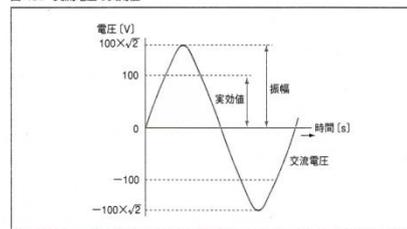


図 105 最小感知電流と周波数

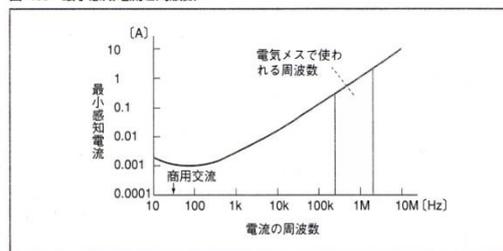


図 106 電気メスによる電気の流れ道

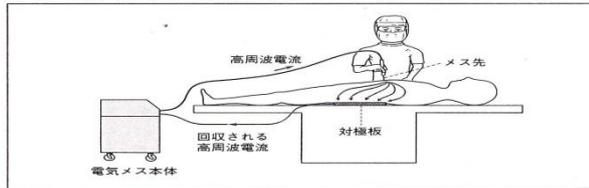
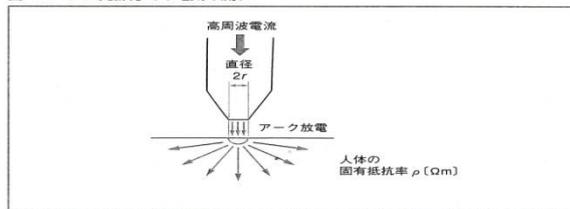


図 107 メス先部分での電気の流れ



高周波電流；電気メスで使用する電流は、周波数が 200 kHz ~ 2MHz の非常に高い周波数の電流。人体は少し多めの電流がながれても異常な動作をしなくなる。

しかし、麻酔かけていない場合、かなり熱く感じる。この熱の発生がポイント。

高周波になると、分子レベルでの影響が強くなる。主に、人体組織内の水分子が激しく振動して熱を発生、瞬間に数百度に熱せられた水分は爆発するように蒸発し、そのときに周りの組織を一緒にはじき飛ばし、メスを当てた部分の組織が切れる。電気メスの先端部が熱くなって熱で焼き切っているわけではない。熱くなるのは、人体そのもの。(電子レンジと同じ仕組み)

### 切開モードと凝固モード

切開モード；高周波を連続して発生させる。サクサクと切れていく反面、血はだらだらと出る。

凝固モード；やや弱めの高周波を断続的に発生させる。組織の温度が約 100°C をキープできるように調整する。

組織を 100°C に加熱すると凝固 (止血) できる仕組みは、ゆで卵と同じ原理。タンパク質は 70°C ~ 100°C ぐらいで変形して固まる。

### 電気メス操作時の電流の流れ

電気メス本体からメス先まで電線を通して高周波電流が導かれている。手術者がスイッチオンにすると、電流が流れる。メス先の狭い場所に集中して電流が流れる。メス先が当たる切開部から人体に流れ込んだ電流は、広い範囲に分散する。

人体の他の部分に、電流を回収する対極板 (電極) を付け、そこから電気メス本体に高周波電流は戻る。このとき、メス先では、アーク arc 放電という放電現象によって、狭い部分を電流が流れている。

### ジュール熱

電流が流れている部分の直径を  $2r$  とすると、この部分の抵抗  $R$  は、  $R = \rho / (2\pi r)$  こ

図 108 半球の体積

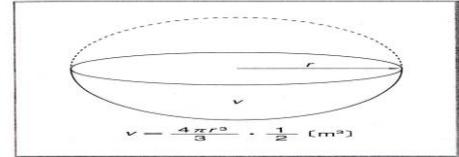


図 109 電気メスの先端部

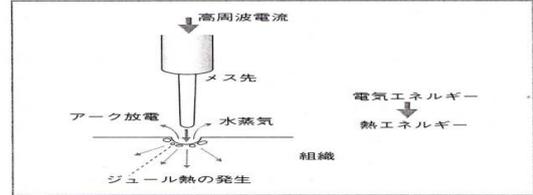


図 110 切開と凝固の波形

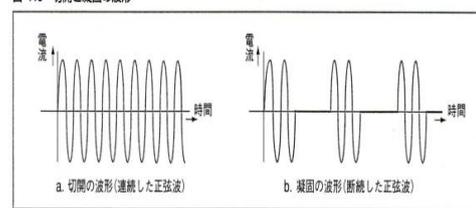


図 111 心臓の興奮伝導系

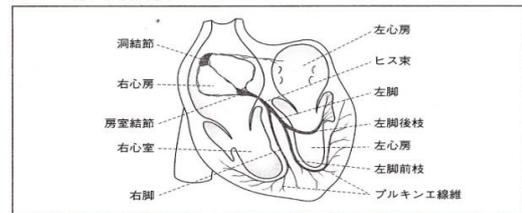


図 112 膜電位の測定

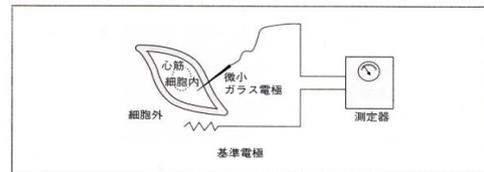


図 113 心筋の活動電位

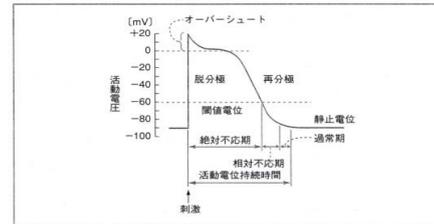
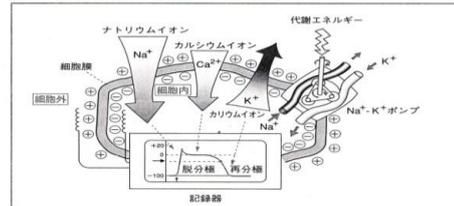


図 114 心筋細胞の活動電位の変化



ここで、 $\rho$  は固有抵抗率「 $\Omega\text{m}$ 」、 $r$  は電流通過部の半径「 $\text{m}$ 」。このとき、 $r$  は  $0.5\text{mm}$  以下、生体の固有抵抗率  $\rho=0.5\sim 5$ 「 $\Omega\text{m}$ 」程度の値となる。実際には、 $R=200\sim 1000$ 「 $\Omega$ 」程度の値となる。この抵抗  $R$  に高周波電流が流れると、ジュール熱が発生する。ジュール熱は、抵抗  $R$  に電流  $I$  が流れた時に抵抗に発生する熱のこと。

1 秒間あたり、 $q=RI^2$  となる。 $q$  は 1 秒間に発生するジュール熱「 $\text{W}$ 」。

### ジュール熱と電力

1 秒間に発生する、電気による仕事が電力、その大きさはワット「 $\text{W}$ 」。電力  $W$  は電圧  $V$  と電流  $I$  から、 $W=VI$ 。これにオームの法則  $V=IR$  を代入すると、 $W=RI^2$  となり、ジュール熱と同じ式になる。これは、抵抗を電流が流れると、電気エネルギーが熱エネルギーに代わることを意味している。今、 $R=500$ 、 $I=1$  を使うと、 $q=500\times 1^2=500\text{W}$  となる。

### 電気メスによる組織の切開

電気メス先端部分を半径  $0.5\text{mm}$  の半球とすると、その体積は、

$$v = 4\pi r^3/3 \times 1/2 = 2.62 \times 10^{-10} \text{「m}^3\text{」}$$

また、この部分の密度  $\rho$ 「 $\text{kg}/\text{m}^3$ 」が水とほぼ等しいとすると、この部分の質量  $m$  は、

$$m = v\rho = 2.62 \times 10^{-10} \times 1000$$

$$= 2.62 \times 10^{-7} \text{「kg} \text{」となる。}$$

2015.2.18 日経 脳腫瘍、レーザーを活用  
光線力学的療法 (PDT)。2014.1 に悪性脳腫瘍  
の保険適用治療

開頭による腫瘍切除と併用、患者にレーザー光線に反応しやすい特殊薬剤を注射、腫瘍切除後に、光る部分にレーザーを照射、がん細胞を変性、壊死させる。

手をかざしても熱さを感じない程度のレーザー光、患者の負担は少ない

2015.2.18 日経 肝臓がん「電熱」選択肢、切除、転移部分も逃さずラジオ波焼灼療法で、AMラジオに近い周波数の熱でがん細胞を焼き殺す。

皮膚の外側から太さ  $1.5\text{mm}$  の糸状電極を刺す

図 129 心臓各部の活動電位と心電図

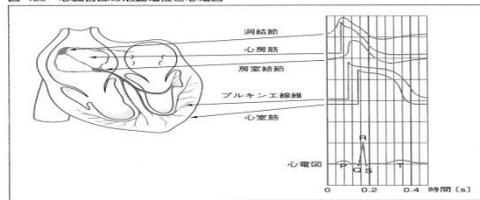


図 130 心電計の構成

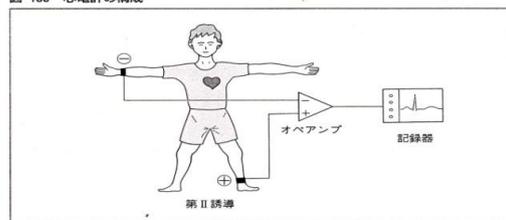
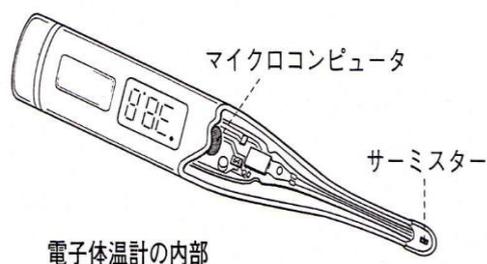
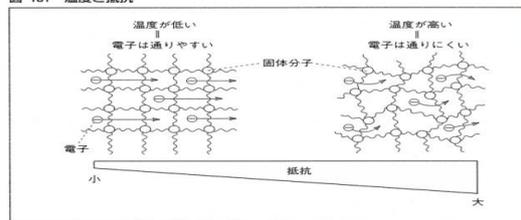


図 131 温度と抵抗



超音波画像で位置確認しながら行う。

### 心電図

随意筋；自分で思うように動かすことができる筋肉のこと。それができない筋肉は不随意筋。

歩調とり（ペースメーカー-pacemaker）；心臓の筋肉はほかの筋肉と違い、筋肉の細胞1個ずつが、自動的に収縮と弛緩（しかん）を繰り返す。この動きのリズムを決める役割をしているのが歩調とり。この部分は、定期的に電氣的興奮をおこして、きわめて少量の電気を発生させている。

歩調とりの電気信号は、電気の通りやすい部分の流れで、心臓全体に伝えられ、心筋は規則正しく動き、体全体に血液を押し出している。

興奮伝導系；心臓全体へ電気信号を伝えるような部分をいう。

洞結節；心臓の歩調とりを担っている部分で、この部分が1分間に60～80回、定期的に電氣的興奮を起こしている。ここから出た電気信号は房室結節にいたる。

活動電位；神経や筋肉などの興奮性細胞を刺激すると、興奮が起こる。この現象を電氣的にとらえたものを活動電位という。

静止電位；図112で微小ガラス電極を刺し、測定器で測ると、細胞の外と比べて-90～-80mVの電位差となる。この電位のことを言う。

心電図は、心筋細に発生する小さな電位を、電氣的に増幅してグラフにしたもの。心筋細胞に発生した信号を、電気を取り出すための電極を体の外からあてて観察する。

心筋の個々の活動電位は、図113の波形。

心電図を記録する場合、心臓全体の活動電位を合わせた記号を観察する。これは各心筋の活動電位の足し算になる。

図130で、オペアンプは、電気信号が微弱なため、記録器で1mVが10mmの振幅で表されるように増幅している。

### 電子体温計

電氣的に体温などを測定する場合、物質の抵抗値が温度で変化する原理を用いている。

導体；銅、鉄など電気を通しやすいもの。

絶縁体；ガラス、プラスチックなど電気を通しにくいもの。

半導体；両者の中間の性質のもの。

抵抗温度計は、この電氣的な抵抗の温度変化を利用したもの。

## 看護師国家試験の物理系問題の出題例

看護国家試験 2008～2017 のうち看護計算、物理系問題抜粋

H29.2.19 看護師国家試験 午前

問題 21

オートクレーブによる滅菌法はどれか。

1. 乾熱滅菌、2. プラズマ滅菌、3. 高圧蒸気滅菌、4. 酸化エチレンガス滅菌

問題 32

放射線療法について正しいのはどれか。

1. Gy は吸収線量を表す、2. 主に非電離放射線を用いる、3. 電子線は生体の深部まで到達する、4. 多門照射によって正常組織への線量が増加する。

午後

問題 3

光化学オキシダントの原因物質はどれか。

1. ヒ素、2. フロン、3. 窒素酸化物、4. ホルムアルデヒド

問題 17

血漿と等張のブドウ糖溶液の濃度はどれか。

1. 5%、2. 10%、3. 20%、4. 50%

問題 21 Kaup (カウプ) 指数の計算式はどれか。

1.  $\frac{\text{体重 (g)}}{\text{身長 (cm)}^2} \times 10$ 、2.  $\frac{\text{体重 (g)}}{\text{身長 (cm)}^3} \times 10^4$ 、3.  $\frac{\text{体重 (kg)}}{\text{身長 (m)}^2}$ 、4.  $\frac{\text{実測体重(kg)} - \text{標準体重(kg)}}{\text{標準体重 (kg)}} \times 100$

問題 35

病室環境に適した照度はどれか。

1. 100～200 ルクス、2. 300～400 ルクス、3. 500～600 ルクス、4. 700～800 ルクス

問題 72

放射線療法に関わる看護師の健康管理に必要なのはどれか。

1. 線量計を装着する、2. ヨウ素剤を服用する、3. ゴーグルを着用する、4. N95 マスクを着用する、5. 鉛を含んだエプロンを着用する

問題 89

6%A 消毒液を用いて、医療機材の消毒用の 0.02%A 消毒液を 1500ml 作るために必要な 6% A 消毒液の量を求めよ。ただし、小数点以下第 2 位を四捨五入すること。

問題 90

体重 9.6 kg の患児に、小児用輸液セットを用いて体重 1kg 当たり 1 日 100ml の輸液を行う。このときの 1 分間の滴下数を求めよ。ただし、小数点以下の数値が得られた場合には、小数点以下第 1 位を四捨五入すること。

2016.看護国家試験 午前

問題 37

根拠に基づいた看護 (EBN) で最も適切なものはどれか。

1. 患者の好みは参考としない。
2. 先輩看護師の行動を模倣する。
3. 研究論文の有用性を検討する。
4. 既存の看護業務基準を遵守する。

問題 85

パルスオキシメータによる経皮的動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) の測定に適した部位はどれか、2 つ選べ。

1. 背部。
2. 上腕。
3. 指先。
4. 耳たぶ。
5. 大腿部。

問題 90

500ml の輸液を 50 滴/分の速度で成人用輸液セントを用いて順調に滴下し、現在 80 分経過した。このときの輸液の残量を求めよ。ただし、小終点以下の数値が得られた場合には、小数点以下第 1 位を四捨五入すること。

午後

問題 3

地球温暖化をもたらす温室効果ガスはどれか。

1. 酸素。
2. 水素。
3. 窒素。
4. 二酸化炭素。

問題 22

成人用輸液セント 1ml 当たりの滴下数はどれか。

1. 20 滴。
2. 40 滴。
3. 60 滴。
4. 80 滴

問題 23

ゴム製湯たんぽに入れるお湯の温度で適切なものはどれか。

1. 40℃程度。
2. 60℃程度。
3. 80℃程度。
4. 100℃程度。

#### 問題 73

触診法による血圧測定で適切なのはどれか。

1. 血圧計は患者の心臓の高さに置く。
2. マンシエットの幅は上腕全体を覆うサイズを選ぶ。
3. 150mmHg まで加圧して減圧を開始する。
4. 加圧後に1拍動当たり2~4mmHg ずつ減圧する。
5. 減圧開始後に初めて脈が触知されたときの値を拡張期血圧とする。

#### 2015・午前

21. 生理食塩水の Nacl 濃度は、いくらか。

- 1 0.9%、
- 2 5%、
- 3 9%、
- 4 15%

#### 2015.午後

21. 最も高い照度を必要とするのは、

- 1 病室、
- 2 手術野、
- 3 外来の廊下、
- 4 ナースステーション

23. 輸液ポンプに設定する項目は

- 1 流量、
- 2 開始時刻、
- 3 薬剤の濃度、
- 4 薬剤の処方内容

24. 酸素ボンベと流量計、調節するには、

図で示す。

25. 直流除細動器の使用目的は、

- 1 呼吸の促進、
- 2 血圧の降下、
- 3 不整脈の治療、
- 4 意識レベルの評価

90. 5%のクロルヘキシジングルコン酸塩を用いて0.2%希釈液2000mlを作るのに必要な溶液量は、

- 1 40ml、
- 2 80ml、
- 3 120ml、
- 4 150ml

#### 2014・午前

21. 酸素吸入中に使用禁止するのは、

- 1 携帯電話
- 2 ライター
- 3 電動ブラシ
- 4 磁気ネックレス

39. クリティカルシンキングで適切なのは、

- 1 直観的アプローチである。
- 2 主観的情報を重視した考え方である。
- 3 物事を否定的にみる思考過程である。
- 4 根拠を持ち実践することを可能にする。

41. 無菌室で使用する物品とその滅菌方法の組み合わせで適切なのは、

- 1 ビニール袋に入った菓子-酸化エチレンガス滅菌
- 2 ステンレス製のスプーン-高圧蒸気滅菌
- 3 プラスチック製のはし-乾熱滅菌
- 4 紙製の絵本-低温プラズマ滅菌

2014・午後

90. フロセミド注 15 mgを静脈内注射の指示を受けた。注射薬のラベルに「20 mg/2ml」と表示されていた。注射量で正しいのはどれか。ただし、小数点以下第 2 位を四捨五入する。

- 1 1.5ml、 2 2.0ml、 3 2.5ml、 4 3.0ml

2013・午後

18 点滴静脈内注射 1800ml/日を行う。一般用輸液セット（20 滴 $\equiv$ 1ml）を使用した場合、1 分間の滴下数はどれか。

- 1 19 滴、 2 25 滴、 3 50 滴、 4 75 滴

80 放射線被曝後、新たな発症について、長期の観察が必要な障害はどれか。

- 1 胃炎、 2 食道炎、 3 甲状腺がん、 4 高尿酸血症

89 身長 160 cm、体重 64 kgである成人の BMI はどれか。小数点以下第 1 位を四捨五入。

- 1 20 2 25 3 30 4 35 5 40

90 酸素を 3l/分で吸入している患者、移送に使用する 5000 $\ell$ 酸素ボンベ(14.7MPa 充填)の内圧計 4.4MPa、使用可能時間（分）はどれか。小数点以下は四捨五入。

- 1 40 分、 2 45 分、 3 50 分、 4 55 分、 5 60 分

2012・午前

13 医療で用いる放射線量の単位はどれか。

- 1 Gy、 2 IU、 3 mEq、 4  $\mu$ g

22 日本の法令で定められている酸素ボンベの色はどれか。

- 1 赤、 2 黄、 3 緑、 4 黒

2012・午後

46 点滴静脈注射 750ml/5 時間の指示があった。20 滴で約 1ml の輸液セントを使用した場合、1 分間の滴下数はどれか。

- 1 25 滴、 2 50 滴、 3 75 滴、 4 100 滴

2011・午前

36 光化学オキシダントで正しいのはどれか。

- 1 都市部の夜間照明と関係がある。 2 二酸化炭素が主体である。 3 消火器への影響が強い。 4 注意報が発令される。

68 体重 10 パーセントイル値の説明で正しいのはどれか。

- 1 1 か月前と比べて体重が 10%増加。 2 同年齢で同性の児の平均体重よりも 10%軽い。 3 同年齢で同性の児の身長相応の体重よりも 10%軽い。 4 同年齢で同性の児 100 人中、10 番目に軽い体重。

81 感染予防のために、献血された血液のスクリーニング調査の対象となる疾患はどれ

か。

- 1 麻疹、 2 結核、 3 C型肝炎、 4 伝染性単核球症、 5 クラミジア感染症

2011・午後

24 輸液ポンプを 50ml/時に設定し、500ml の輸液を午前 10 時から開始した。終了時刻はどれか。

- 1 午後 2 時、 2 午後 4 時、 3 午後 6 時、 4 午後 8 時

43 150kgf/cm<sup>2</sup>、5000酸素ポンベの内圧計が 90kgf/cm<sup>2</sup> を示している。この酸素ポンベを用いて、20/分で酸素吸入を行うことになった。採用可能時間はどれか。

- 1 30 分、 2 45 分、 3 100 分、 4 150 分

45 点滴静脈内注射 360ml を 3 時間で行う。一般用輸液セット (20 滴/ml) を使用した場合の滴下数はどれか。

- 1 18 滴/分、 2 36 滴/分、 3 40 滴/分、 4 60 滴/分

2010・午前

21 看護師のボディメカニクスで正しいのはどれか。

- 1 立位では基底面を広くとる。 2 動作時の重心は高い位置に置く。 3 重心線は基底面の利き腕側におく。 4 足と床との間の摩擦力を小さくする。

2010・午後

1 日本人の体格指数 (BMI) で「普通 (正常)」はどれか。

- 1 17、 2 22、 3 27、 4 32

36 クリティカルシンキングで適切でないものはどれか。

- 1 看護過程のどの段階においても有効である。 2 物事を否定的にみる思考過程である。 3 問題解決的アプローチを可能にする。 4 看護研究に応用できる。

2009・午前

14 オートクレーブを使用するのはどれか。

- 1 乾熱滅菌、 2 濾過滅菌、 3 ガス滅菌、 4 高圧蒸気滅菌

15 輸液ポンプ使用の主目的はどれか。

- 1 異物の除去、 2 感染の防止、 3 輸液速度の調整、 4 薬物の効果判定

32 ダイオキシシンで正しいのはどれか。

- 1 毒性は弱い、 2 水に溶けやすい、 3 規制する法律はない、 4 廃棄物の焼却で発生する

2009・午後

41 500ml の輸液を 2 時間で行う指示。1ml 約 20 滴の輸液セットを用いた場合、1 分当たりの滴下数はどれか。

- 1 約 40 滴、 2 約 60 滴、 3 約 80 滴、 4 約 100 滴

2008・午前

51 スクリーニング検査で特異度を高くした場合に正しいのはどれか。

- 1 偽陽性率は高くなる、 2 偽陽性率は低くなる、 3 偽陰性率は高くなる、 4 偽陰性率は低くなる

53 京都議定書が解決を目指す環境問題はどれか。

- 1 酸性雨、 2 海洋汚染、 3 地球温暖化、 4 オゾン層破壊

## 追加資料；

### 看護学生のための物理より抜粋

#### 重いものを持つにはどうしたらよいか？

力のモーメント（看護ボディメカニクスの物理の基本となる）を考える。てこの原理（高校では仕事の定義）と同じで、加えた力と動かす距離との積は一定。アンブル。

支点を中心とした回転の作用の大きさを表す量（力のモーメント、トルクで  $r F$ ）

#### 重いものを持つ時の5つの基本

重いものに自分ができるだけ近づく、腰ではなく膝を曲げる、荷物に正対したまま持ち上げる（荷物に真正面に向き合って、そのまま真っ直ぐに身体に沿わせながら持ち上げる、身体を左右にひねらない）、力を徐々に加える、準備運動してから作業する

#### 看護ボディメカニクスの物理；

最小のエネルギーで最大の効果、それには、人体の構造を考慮した上で物理的力学の法則に則った効果的・効率的な看護動作を考える必要がある。このような視点の学問体系をいう。

作用反作用の法則、円弧を描きながら

#### 仰臥位（ぎょうがい）から側臥位への体位変換の方法；

動作終了後に患者と向き合う側に立って作業、看護側の手を伸ばし脇から少し離す、逆側の手は体の中心におく（患者を小さくまとめる）、看護と逆側の膝を屈曲させ、足を直立させる（膝を立てる；ここがポイント）、実施前には必ず患者に声掛けをして協力してもらう、立てた膝頭に水平の引力を加え、膝を看護側に倒す（回転させる）、腰が浮いてくるので、腰を支えて回転の手助けをする。腰が回転し始めると、次は背中が浮いて、肩を支えて回転を手助け、最終的に頭が回ってくる。足側も同様に回ってくる。

#### 看護ボディメカニクスの物理的重点事項（10項目）；

ベッドをフラットに、高さも調節、両足を広げ、安定性を増す、膝を曲げて低い姿勢をとる、持ち上げるより水平にずらす、自分に近づける方向に引っ張る、自分の横方向への作業は非効率、力を節約するための工夫、最も重い部分を広い面積で支える、強い筋肉を

優先的に使い、自分の体重も利用する、急激な速さの変化や方向の変化は避ける

#### 陽子線・重粒子線治療；

粒子線治療に使われる粒子線は、水素イオン線（陽子線）と炭素イオン線（重粒子治療）がある。炭素イオン粒子は質量が陽子よりも 12 倍も大きく、照射速度が光速の 60~70% に加速してあるので、運動エネルギーが非常の大きい（運動エネルギー＝質量×速度の二乗）。これが標的にあたって静止すると、その大きなエネルギーによって生体組織は大きなダメージを受ける。γ線や電子線（電子の質量は陽子の 1836 分の 1）を照射する場合は、表面付近の線量が最も大きく、深さとともに減衰するのに対し、陽子線や重粒子線では表面付近の線量が小さく、深部の患部まで到達できる特徴がある。

放射線を身体に照射すると、遺伝子を構成する DNA が傷つき、細胞の異常分裂、突然変異、組織破壊、死滅など、いろいろな影響を受ける。弱い照射の場合、DNA のらせん構造の一部が変性するか切れることがある。こうした障害を受けた細胞が、がん細胞になることがある。強い照射の場合、遺伝子のらせん構造がずたずたに切れて修復不可能になり、その細胞は死に至る。正常細胞であってもがん細胞であっても、強い放射線を照射すると、その細胞は死んでしまいます。そこで、がん細胞だけを狙って強い放射線を当てることができれば、正常細胞への影響は少なく、がん細胞だけ死滅することができる。

#### 陽電子放射断層撮影 (PET)；

X線 CT が人体の内部構造（組織の形態）を写し出す装置であるのに対して、陽電子放射断層撮影（positron emission tomography PET）は、人体の機能やはたらきを写し出す装置である。陽電子（positron）とは、プラスの電荷をもった電子  $e^+$  のことである。陽電子の連続した流れは  $\beta^+$ 線となる。まずこの陽電子を放出する放射性同位元素を含んだ薬剤を体内に注入してから、PET で放射性薬剤の体内での集積状況を調べる。放出した陽電子は近くの電子と結合して消滅するが、そのとき 1 対の  $\gamma$ 線を正反対の方向に放出する。この 1 対の放射線を人体周囲に並べたシンチレーション検出器で同時に計測することで、放射線源の存在位置がわかる。そして、同時に計測したデータをコンピュータで処理することに三次元画像を構築し、放射線源の体内集積状態を正確に把握する。トレーサー用の陽電子を放出する放射性薬剤の放射性元素の半減期は、一般に分単位でとても短いので、検査直前にサイクロトロンで陽電子や重陽子を照射して作成し（長半減期のトレーサーが少ないのが難点）、これを体内に超微量投与する。PET で放射能測定をすると、体内の局所で放射能が変化していく様子、すなわち代謝の様子が把握できる。がん細胞は正常細胞よりも数倍も高いブドウ糖代謝をする（ワールブルク効果）ので、放射能強度の高い部位が特定できれば、がん組織の存在位置やその程度が判断できる。ただし、がんの種類によって、有効に判定できるがんと、検出しにくいがんがある。

PET を使って人体の機能を調べるのに、最も興味深い部位は「脳」である。陽電子を放

出す放射性同位元素を含んだブドウ糖を静脈注射して、脳のどの部位でブドウ糖を多く消費するかマップを描くことができる。たとえば、勉強をしている時、音楽を聴いている時を PET で診たとする。おそらく前者の知的活動中は左脳が、後者の情緒的活動中は右脳が、ブドウ糖を多く消費しているはずである。また、加齢による脳の変化も調べられており、認知症の診断にも役立っている。PET と CT を一体化した PET/CT 装置も開発され、1 回の検査で両装置からの有用な情報が同時に得られ、より正確な診断が下せる段階になっている。なお、この PET のように放射性同位元素（ラジオアイソトープ）を用いて機能やはたらきを写し出す画像診断を、核医学検査（ラジオアイソトープ検査、RI 検査）、あるいはシンチグラフィという。放射性同位元素から放出される  $\gamma$  線を、 $\gamma$  カメラ（シンチカメラ）で捕らえ画像化する。骨、心筋、脳、肝臓、腎臓などシンチグラフィ検査がある。検査する臓器によって、使われる放射性同位元素の核種は様々に変わってくる。

#### 磁気共鳴画像装置 (MRI) :

磁気共鳴画像装置 (MRI) による診断は、無侵襲的で、X 線 CT のような放射線による障害の危険性もなく、イオン化ももたらされず、人体に特別な危害を与えない。MRI によって得られた画像は、X 線 CT 画像や超音波画像とは全く違った特徴を持っている。それは従来の方法でははっきりしなかった病巣の形態や代謝の状態を、高分解能でハイコントラストに写し出せることである。また、X 線 CT は線源と検出器との機械的位置関係によって空間的制約を受け、横断面しか撮影できないが、それに対して MRI は、患者を仰向けに寝ている状態で、純電氣的操作によって、三次元的任意の方向にスライス断面画像が自由に得られる。MRI は核磁気共鳴 (NMR) の原理を応用している。NMR 信号の強さは陽子密度に対応しているので、NMR 画像をみれば体内の水素の原子核、すなわち、水の濃度分布を知ることができる。つまり臓器の組織によって水の濃度分布が違うので、それを利用して画像化している。これは明瞭な形態学的な画像となる。さらに、交流磁場に共鳴してエネルギーを与えられた陽子が元の平衡状態に戻るまでの時間（緩和時間）を測定することによって、試料の化学的及び物理的状态を知ることができる。すなわち、がん組織の緩和時間は正常組織のその何倍も長いので、そうした差を画像上で区別しておけば、臨床的診断に役立つ。また最近、血流速度を MRI によって測定することが可能になり、血流の動態を造影剤を使用しなくても画像化できるようになった。こうした血流のダイナミックな解析は、今後、基礎研究においても臨床応用においても、大きな貢献が期待される。

こうした核磁気共鳴現象を捉えるためには、極低温における超電導現象を利用した超電導磁石が発生する強磁場が必要となる。磁場が強いほど、精密で高コントラストな画像が得られる。このため本格的 MRI では、設備が膨大となり多大な費用が必要とされる。そこで磁場の強さには限りがあるものの簡便な、超電導の電磁石ではなく強力永久磁石を使用したオープン型 MRI が登場した。これは、高価な液体ヘリウムや極低温維持装置を使わなくてもすむので、多くの医療機関に普及している。MRI の利点としては、X 線などの放射

線を使用しないので、放射線被曝の影響を避けられる。組織ごとの画像コントラストが CT よりも高い。CT では調べられない、軟骨、筋肉、靭帯などの軟組織の異常を調べることができる。MRI の欠点としては、強磁場にさらされるため、入れ歯、メガネ、金属製装身具も、暴れたり画像を乱したりするので、取り外す必要がある。ペースメーカーや金属製人工骨の装着者には不適合である。機器構造上大きな騒音を発生するので、耳栓やヘッドホン装着することもある。検査時間が CT よりも長い。閉所での検査となるため、心理的圧迫感があり、閉所恐怖症になることがある。

### やりなおし数学・物理より抜粋

パルスオキシメーター；

酸素の運搬の主役・ヘモグロビン；血液の生理作用の1つが酸素の運搬、酸素は水にはごくわずかししか溶けないので、実際に酸素を運搬する物質は赤血球、もっと正確に言えば赤血球のなかにあるヘモグロビン（血色素）。1gのヘモグロビンは、最大で1.34mlの酸素を結合することができる。成人の血液1dl中には約15gのヘモグロビンが存在するため、成人の血液1dlは最大で約20mlの酸素を結合する。1dlの動脈血は、実際に約20mlの酸素を結合しているので、動脈血はその能力を最大限に発揮していると言える。

動脈血はなぜ「鮮紅色」？；動脈血は鮮やかな赤色をしているが、これは、酸素と結合したヘモグロビン（酸化ヘモグロビン）が鮮紅色を呈するから。なぜかという、酸化ヘモグロビンが赤い色を吸収するから。これが「吸光」という物理現象。この性質を利用すると、動脈血を採取することなく、動脈血を酸素飽和度を検査することができる。このような検査方法を非観血的（ひかんけつてき）・非侵襲性（ひしんしゅうせい）検査と称す。

吸光を利用したパルスオキシメーター；

動脈血酸素飽和度を測定するのに、臨床現場でよく使用する機材の名称はパルスオキシメーターでし、非常にコンパクトな機材で、2つのパーツからなっています。1つは被験者の人差し指に装着するクリップで、もう1つは測定装置本体。両者はケーブルで接続されている。クリップには赤色光と赤外線（交互に）指先に照射する装置と、指先を通過してきた光を感知するセンサーが組み込まれている。光が指先を通過する間に「吸光」が起こる。指先にはいろいろな組織があるが、そのなかで拍動しているのは動脈だけ。したがって、センサーに届いたシグナルのうち、拍動性の成分が動脈からのシグナルとなる。つまり、拍動の頻度が心拍数に反映する。

### 新聞記事

日経 2017.8.17 ゲノム革命、生命の設計図、自在に操作、競う米中欧、遅れる日本

生命の設計図とされるゲノム（全遺伝子情報）が医療や農業を大きく変えようとしている。遺伝子を自在に切り貼りできる「ゲノム編集」と呼ぶ画期的技術が登場、解析コストも劇的に下がって一気に活気づいた。一方、安易な生命操作や差別などの課題も抱える。

顕微鏡をのぞきながら、卵子にガラス針を刺して精子を注入する。実験の様子は不妊治療で使う体外受精と変わらない。だが、できた受精卵には、重い心臓病を起こす遺伝子の異常が消えた。修復を可能にしたのがゲノム編集だ。

「神の領域」へ

「原因遺伝子を血統から取り除くことになる」。米オレゴン健康科学大学のシュークラト・ミタリポフ教授は今月上旬に発表した成果をこう説明する。修復された遺伝子は子や孫に引き継がれ発症を防ぐ。似た研究は中国でもあるが、成功率や安全性が大きく向上、臨床応用も視野に入る。1つの遺伝子の異常が招く病気は数千種類あると言われ、克服も夢ではない。成果は親が望む容姿や能力を持つ「デザイナーベビー」にもつながる。臨床応用に慎重な意見が多く、研究チームは受精卵を母体に戻さず廃棄した。しかし将来はどうなるのかわからない。「神の領域」に踏み込む日は近づいている。

人のゲノムが解読されたのは2003年。米国が主導した国際計画は1人分の解析に13年の月日と約3000億円を投じた。それが今は1週間以内で終わり、費用も10万円ほどだ。様々な遺伝子の解明が進んだところにゲノム編集が登場、応用への熱が高まった。

「最も画期的」

12年に新しい編集技術「クリスパー・キャス9」が公表されると、さらに研究が加速した。訓練すれば高校生でも扱え、格段に短い時間とコストで遺伝子操作が可能だ。遺伝子の鎖を切るハサミの役割の物質と狙った位置に正確に導く分子を組み合わせた。開発した米仏の女性研究者はノーベル賞確実とされる。

「ゲノム編集で生命科学や医学は一変した」。6月、米ボストンで開かれた国際学会で、京大の山中伸弥教授はこう語った。これまでに会った「最も画期的な技術」と評する。

ゲノム編集は遺伝子解明が進む農林水産分野で威力を発揮する。1回の編集で狙った品種改良が可能だ。「従来は30~40年かかったが、数年に縮まる」と、大きくなるマダイの開発に挑む京大の木下助教は説明する。実の量を6割増やすことに成功し、トラフグでも取り組む。国内では、毒の少ないジャガイモや受粉しなくても実がつくトマトなどが開発された。だが、日本の状況は明るくない。ゲノム編集に関する科学論文の数は米国が5割前後と圧倒的に多く、中国、ドイツが続き、出遅れた日本は4番手集団だ。特許はさらに深刻だ。1993~2014年に世界で出願された特許を国別にみると、米国54.5%、中国18.8%、欧州18.4%に対し、日本はわずか3.3%。企業の出願は日本全体の1割に満たず、動きは鈍い。NTTデータ経営研究所の野田グループマネージャーは「産学連携を大規模に進めない」と差は縮まらない」と指摘する。

## 読売 2017.8.27 期待高まる HIV ワクチン、エイズ「防ぐ」時代へ

エイズウイルス(HIV)が発見されて30年以上。感染者はアジアやアフリカを中心に3670万人いるとされ、新たな感染者も毎年200万人近くに上る。根治療法が見つからない中、日本ではエイズの発症を防ぐワクチンの開発や新薬の研究が進んでいる。エイズ治療の最

前線を探った。

#### HIV 免疫システム破壊

HIV が体内で増える仕組みは巧みだ。いったん体内に入る込むと 1 日で約 10 億～100 億個近く仲間を増やし、同時にウイルスなどから人の体を守ってる免疫システムを壊す。体内に入った HIV はまず、免疫細胞にくっつき、自身の遺伝情報が詰まったりボ核酸 (RNA) を細胞内に取り込む。RNA は、逆転写酵素で DNA に変身。細胞の DNA に潜りこむ。潜り込んだ DNA は細胞の増殖システムを利用し、ウイルスの部品となるたんぱく質などを細胞に作らせる。それを材料にウイルスが増え、免疫細胞は壊れる。

免疫システムを担う免疫細胞が壊れるため、ウイルスがますます増え、やがてエイズを発症する。熊本大エイズ学研究センターの松下教授は「しかも、HIV は増殖の際に変化しやすく、すべてのウイルスを排除するような薬を作るのが難しい」と言う。このため、ワクチンによる感染予防やウイルス排除による根治が難しく、現在はウイルスがそれ以上増えるのを抑える治療が行われている。

#### 疑似ウイルス、発症を抑制

こうしたなか、ウイルスが増えない仕組みを体内に作り、エイズの発症を防ぐワクチンの開発が進められている。国立感染症研究所や遺伝子治療・再生医療研究を手がける民間企業「ID ファーマ」などの研究チームが試みているのは、HIV の疑似ウイルスを使う方法だ。チームは人に無害な「センダイウイルス」の RNA に、HIV の遺伝子の一部を組み込み、疑似ウイルスを作製。これを鼻から人の細胞に感染させると、細胞内に RNA が送り込まれ、疑似ウイルスに組み込んだ HIV の特徴を持ったたんぱく質が作られる。

これを粘膜などにある免疫細胞の一種の樹状細胞が認識し、HIV を「異物」と判断。その特徴を免疫システムに伝え、HIV を見分けて攻撃する免疫細胞「T 細胞」が作られて HIV に備える。そして HIV が大量に増える前に、T 細胞が攻撃し、エイズ発症を抑える仕組みだ。同チームは 2013 年、非営利組織「国際エイズワクチン推進構想」とともに英国やケニア、ルワンダで、計 65 人にワクチンの臨床試験を実施。その結果、重い副作用はなく、ワクチンによって免疫細胞がうまく活性化できたことが確認できたという。感染研の俣野エイズ研究センター長は「開発は 6 合目。あと 10 年ほどで実用化できるようにしたい」と語る。薬も進化している。従来の治療薬では、薬の量が多いうえ、毎日飲み続けないと薬が効かなくなる問題があった。だが、国立国際医療研究センターの岡センター長は「かつては 1 日計 20 錠必要な時代もあったが、効き目の強い成分の発見などで 1 日 1 錠で済む薬も出てきた」と話す。現在は、週や月に 1 回飲めばウイルスのぞうしよくを抑えられる新薬の研究も進む。ただ、医療は進化しても、国内で HIV に新たに感染する人は後を絶たない。松下教授は「ワクチンや薬の開発とともに、感染予防や早期発見できる体制の充実も必要だ」と話している。

日経 2017.8.14 万能細胞実用化競う、再生医療で治験続々、ES・iPS 問わず、ゲノム編

## 集活用へ

再生医療や創薬で革新を起こそうと、体の様々な組織になる幹細胞の活用に世界が大きく動き出した。幹細胞の中でも万能細胞と呼ばれる iPS 細胞を京大の山中伸弥教授が開発してから 10 年余り。医療現場は「使えるか」という期待を超え「どう使いこなすか」を考える時代に入った。遺伝子を自在に改変する「ゲノム編集」などバイオ技術の急速な進歩も追い風になっている。

「細胞がしっかりと定着し、異常もない」。6 月中旬、米ボストンで開かれた国際幹細胞学会、イスラエル・ヘブライ大学のベンジャミン・ルビノフ教授の表情は自信に満ち溢れていた。胚性幹細胞 (ES 細胞) から作った網膜の細胞を「加齢黄斑変性」という目の病気の患者に移植する臨床試験 (治験) に取り組む。再生医療の先駆けとして ES 細胞を使う治験は、既に米国や英国、韓国など世界各地で始まっている。米国は iPS 細胞でも米国立眼科研究所のカピル・バーティ主任研究員らが 2018 年度をめどに治験を始める。

日本では 14 年、理化学研究所の高橋プロジェクトリーダーらが患者の iPS 細胞から作った網膜の細胞を目に移植する世界初の臨床研究を実施した。日本で再生医療への応用といえば、世界とは逆に iPS 細胞が先行する。

ES 細胞と iPS 細胞は幹細胞の中でも万能細胞と呼ばれ、体のほとんど全ての細胞に育つ。同じ万能細胞でも、受精卵から生み出す ES 細胞は生命倫理上の問題があると日本では受け止められてきた。そこに皮膚や血液の細胞からでも作れる iPS 細胞が日本で誕生した。政府は iPS 細胞に支援を集中し、ES 細胞の研究は停滞した。この間にも海外では、不妊治療でいらなくなった受精卵を ES 細胞研究に生かし、データを着実に積み上げた。世界は「再生医療に使うなら、ES 細胞と iPS 細胞に大差はない」との考えが大半だ。万能細胞をいかに使いこなすかに研究の焦点が移っている。ES 細胞か iPS 細胞かという二者択一の議論よりは、「再生医療に使うにはどうすべきか」という発想が行き渡る。患者への応用はまだ先だが、将来を見据えた考えができるのは、再生医療研究が最新のバイオ技術と次々に結びついているからだ。米ハーバード大のジョージ・チャーチ教授は「この 2 年間、細胞治療に、遺伝子操作を応用する研究の増加はすさまじい」と話す。期待がかかる技術の一つがゲノム編集だ。万能細胞は様々な細胞に変わり、望まない細胞ができてしまう問題がある。ハーバード大のダグラス・メルトン教授はゲノム編集の技術を応用し、必要な細胞だけに育つ「デザイナー細胞」の開発を目指している。糖尿病の治療にインスリンを分泌する膵臓のベータ細胞をつくらうとしている。ベータ細胞とは違う細胞に変える遺伝子をゲノム編集で壊し、「ベータ細胞だけが強制的にできるように設計する」という。日本では京大の斎藤教授らが人工合成した RNA を細胞内に入れ、「スイッチ」のように使って細胞の種類を効率よく選別する手法を開発した。人工 RNA のオン・オフを切り替え、それぞれの臓器や組織にふさわしい細胞を仕分ける。心筋細胞では 95% 以上の割合で作れた。移植した細胞を患者の免疫が異物とみなす拒絶反応の問題も新技術で乗り越えようとする。米ワシントン大学のデイビッド・ラッセル教授らは、万能細胞の免疫型を決める遺伝子を改変し、

誰に移植しても拒絶反応を起こしにくい「ユニバーサルドナー細胞」を開発する。免疫型に関わる「HLA」というたんぱく質の組み合わせを変え、免疫細胞の攻撃を免れる。再生医療を多くの患者が利用するまでには、多くの難題が待ち受けている。世界の最前線では、様々な技術の融合に活路を見出す動きが広がっている。

## 読売 2017.5.28 がん細胞に薬を直送

狙った患部に薬を運んだり、ゆっくり成分を溶かしたりして、薬の効果を高めつつ副作用を減らす「ドラッグ・デリバリー・システム (DDS)」。これに、10億分の1m単位の微小な「ナノ・テクノロジー」を組み合わせ、がんの特徴も利用した、新たな抗がん剤の開発が進む。

### ナノ・テクノロジー活用

薬は、使用した分量全てが効き目を発揮する訳ではなく、患部に到達する前に分解されたり、副作用を起こしたりすることがある。この欠点を克服しようと、DDSの会派は1960年代に始まり、80年代に本格化した。DDSには多様な仕組みがある。まずは薬の効き目を長持ちさせるタイプで、その一例が「徐放剤」だ。効能は同じでも、溶ける速度が異なる複数の薬剤をカプセルなどに入れ、長時間、血中濃度を維持できるようにする。気管支ぜんそくや高血圧など慢性疾患を中心に実用化している。狙った場所に薬を投入する仕組みもある。たとえば、「腸溶剤」は、胃で溶けると副作用を起こしたりする薬の表面を、胃酸で溶けない素材で覆い、腸まで運ぶ。また、鼻の粘膜や皮膚などの吸収しやすい場所から投与する「吸収改善」というタイプもある。最近では、患者が多いがんの治療に使う試みも進む。このDDS抗がん剤は、ナノテクと「EPR (Enhanced Permeability and Retention) 効果」という、がん特有の性質を利用する。「高透過性・高滞留性」を英語で表現したものだ。がん細胞周辺に新しくできた血管の壁は構造が粗く、正常な組織の血管にはない数十～数百ナノ・メートルの隙間があり、ナノ単位の高分子が通り抜けやすい。また、がん細胞には薬などの異物が滞留しやすい性質もある。EPR効果は86年、前田熊本大学名誉教授と松村国立がん研究センター新薬開発分野長が発表し、ノーベル賞広報に挙げられている。

### 副作用大幅減の可能性

DDS抗がん剤は、数十～200ナノ・メートルの高分子素材でできた容器に薬を入れるなどして、点滴を通じて血液に注入する。血管の壁の隙間を抜け、がん細胞に届くと、酸性度が高いがん細胞で容器が溶けて薬が集中的に攻撃する。普通の抗がん剤だと全身に広がり、正常な細胞を傷つけ、重い副作用が出やすい。前田さんは「DDS抗がん剤なら副作用を大幅に減らせる可能性がある」と話す。容器の素材は主に二つだ。一つは特殊な脂質でできた「リボソーム」。エイズ患者が発症するカポジ肉腫や、再発した卵巣がんを使う「ドキシソルビン」のリボソーム製剤は国内で承認済みだ。もう一つは、ひも状の人工高分子でできた「高分子ミセル」で片岡東大特任教授らが開発した。ミセルとは、多数の分子が集まってできた微粒子で、片岡さんらは液体中で球状になったミセルの内部に薬を入れた。

一緒に研究した西山東工大教授は「ミセルは、リポソームでは難しい 20~100 ナノ・メートルまで小さくできる」と利点を語る。治療が難しいすい臓がんなどへの効果が期待され、臨床試験が進む。ただ、すべての薬ががん細胞に届くとは限らない。松村さんは「DDS 抗がん剤は工夫の余地がある」と述べ、大腸がんの表面のタンパク質に結びつく高分子の抗体を開発中だ。これを使った抗がん剤で数年後の臨床試験を目指す。

再生医療でも注目

DDS 研究は医学や薬学、工学など多分野の連携で発展してきた。山中伸弥京大教授が開発した iPS 細胞などを使った再生医療でも、作製した細胞を必要な組織へ確実に届ける手段として注目を集める。抗がん剤の分野も発展が著しいが、がんの種類によっては効果が低い例もあり、さらなる研究の進展が期待される。

### **2015.7.19 日経 体内菌、ミクロの「医師団」、免疫や精神状態など左右**

人間は、細菌のおかげで生きている。人の体には約 37 兆個の細胞があるが、その 10 倍をはるかに超える約 1000 兆個の細菌が棲みついている。この細菌たちが、病気になるのを防いだり、時には精神状態まで左右したりしていることがわかってきた。腸内細菌を入れ替えて病気を治す新しい医療技術も生まれている。最新の研究で見えてきた人と細菌との共生関係を探った。

あかちゃんは子宮の中では無菌状態だが、産道を通るとき、母親の持つ細菌がくっつく。出生後は周囲の人々との接触や食事などを通じ、細菌を取り込みながら成長していく。こうして大腸や胃、口の中、泌尿器、皮膚など、至る所に膨大な種類と数の細菌を持つようになる。人体にすむ細菌のことを常在菌といい、その全体をマイクロバイオーーム（細菌叢；そう）と呼ぶ。人は約 1000 兆個もの細菌からなるマイクロバイオーームを持つ。最も密集しているのが大腸で、ふん便 1g あたり 1 兆個の腸内細菌がいる。記念、遺伝子解析技術の発達で、体内にある細菌の数と種類を丸ごと調べることが可能になった。腸内細菌は人が消化できない植物を分解して栄養素を供給しているだけでなく、人体の免疫や神経系の働きに影響し、健康状態を直接左右していることがわかってきた。理研などの研究グループは、腸内細菌が作る脂肪酸の一つである「酪酸」という物質に腸管の炎症を防ぐ働きがあることを、マウスを使った実験で突き止めた。下痢を繰り返す潰瘍性大腸炎や腸がきょうさくするクローン病などの炎症性腸疾患は、本来体を外敵から守るはずの免疫細胞が過剰に反応する結果、異常な炎症が続くために起きるとされる。この免疫細胞の暴走を防ぐのが「制御性 T 細胞」という細胞。研究グループは、制御性 T 細胞が未分化な T 細胞からできる際に働く遺伝子が、腸内細菌が出す酪酸によって活性化することを突き止めた。免疫細胞の一種の樹状細胞が腸内細菌を取り込み、未分化な T 細胞に伝えると、制御性 T 細胞になる。酪酸はこの過程を促進する。大腸炎を起こしたマウスに酪酸を与えると制御性 T 細胞が増え、炎症が治まることも確認した。理研の大野は「ある種の腸内細菌に炎症やアレルギーを抑える効果があることは知られていたが、そのメカニズムを初めて確認できた」

と語る。腸内のマイクロバイオームのバランスが崩れると、腸の病気だけでなく、様々な病気の原因になるとの見方が強まっている。肥満や動脈硬化、がんとの関係が示唆されており、研究が進んでいる。

体の病気だけでなく心の状態にも、腸内細菌が深く関与しているらしいことも分かってきた。九大の須藤らのグループは、マウスを使った実験で腸内細菌と心の関係の解明を進めている。マウスを狭い空間に閉じ込め、ストレスを与える実験をした。体内に細菌がない無菌マウスは、通常のマウスと比べてストレス関連ホルモンの血中濃度が高まり、強いストレスを感じていることがわかった。また記憶と学修に関する脳の海馬や前頭葉などで、ニューロンの発達を促す物質の濃度が低下していた。だがこの無菌マウスにビフィズス菌の一種を投与したところ、同じストレスを与えてもストレスホルモンが通常のマウスと同程度にしか増えないことがわかった。別の実験で、無菌のマウスは「そわそわ動き回る」「ビー玉を何度もケージの中に埋めようとする」など、人の注意欠陥多動性障害 (ADHD) などに似た症状を起こしやすいことも分かってきた。腸の内壁にある神経は、迷走神経を通じて脳とつながっている。腸の神経がホルモンなどの情報伝達物質を介して影響し合う「脳腸相関」が知られているが、腸内細菌はこれに一枚かんで、中枢神経に影響を与えているらしい。常在菌を利用した新たな治療も登場している。健康な人の便を患者の腸に入れる「ふん便微生物移植」だ、13年にオランダのグループが、院内感染の下痢を繰り返し発症した患者に実施し、顕著な効果があったと報告した。校内では慶応大学が昨年、潰瘍性大腸炎などの患者を対象にふん便移植の臨床研究を進めている。責任者の金井は「病気と関係する特定の腸内細菌がわかれば、ふん便ではなく有効な微生物だけを選んで移植する方法も有効だ」と話している。

マイクロバイオーム (ゲノム解析で研究に弾み) ;

ある環境に存在する細菌をはじめとする微生物全体をさす言葉。細菌叢 (そう)、微生物叢ともいい、腸内細菌の場合は腸内フローラと呼ぶこともある。英語では **Microbiome** と各。遺伝子全体のことをゲノム (**Genome**) というように、生物学ではオーム (-ome) という接尾辞を付けて何かの「全体」を指すことが多い。ゲノム解析技術の進展で、ある場所にいる生物の種類と数を1度につきとめる「メタゲノム解析」という手法が2003年ごろに登場。様々な種が混在した細菌の遺伝子情報を効率よく解析できるようになり、マイクロバイオームの研究が広がった。

### **2015.5.23 読売 線量の目安決め全国で点検、CT 過剰被曝減少へ一歩、同じ検査でも施設で差**

医学検査での患者の放射線被曝を最小限に抑える取り組みが、大きく前進し始めた。望ましい線量の目安「診断参考レベル」が来月、正式決定され、全国の医療施設に各自の線量を点検してもらうことで、過剰な被曝を減らせると期待される。

世界1のCT普及率;1回の医学検査で、私たちはどれくらいの放射線を受けるのだろうか。

放射線医学総合研究所（放医研）などによると、全身への撮影の目安となる「実効線量」は、胸部X線撮影で0.06ミリ・シーベルト、胃のバリウム検査で3ミリ・シーベルト、コンピューター断層撮影法（CT）検査で数ミリ・シーベルト～30ミリ・シーベルトくらいだという。がんのリスクが増すと言われる「100ミリ・シーベルト以上」よりは低いですが、10ミリ・シーベルトを超えることもあるCTの線量は、気になる人も多い。国連科学委員会の報告書でも、様々な種類の放射線診断による被曝全体のち、約4割がCT検査によるものと指摘されている。中でも日本は、人口当たりのCT設置数が世界一多く、医学検査による国民全体の被曝線量も高めだと言われる。それだけ、被曝を必要最小限に抑える注意が、医療施設には求められる。とはいっても、医療被曝の低減は一筋縄ではいかず、長年の懸案となってきた。診断の目的によって必要な画質のレベルは違う。高画質を得るには高い線量が要するという傾向があるが、同じ画質を得るのに必要な線量が、装置の種類によっても変わる。画一的な基準で規制できるようなものではないのだ。そこで、国や地域ごとに実態調査をして、線量が低い方から順に並べ、まずは全体の約75%に位置する線量を「診断参考レベル」とする方法が、国際的に推奨されている。この場合、約25%の施設がそのレベルを超える。それらの施設に「適切な線量か」「減らせないか」と点検を促し、過剰な被曝の削減につなげる。欧米に比べて、日本はこうした取り組みが遅れていた。関係学会などを集めて5年前に発足した「医療被ばく研究情報ネットワーク」が先月、初の参考レベル案をまとめた。その基になった実態調査では、同じ体の部位の検査でも、使われる線量は施設間で大きな差があることがわかった。必要以上に高い線量の施設も少なくないと思われる。6月の正式決定後に、各学会などを通じて参考レベルが周知されると、それを見て「うちは高めだ」と気付いた施設が線量を点検し、低減を検討していくと期待される。同ネットワークは「参考レベルは決して「上限」ではない。必要な場合は超えてもよい」と強調する。線量を下げすぎて不十分な画質しか得られなければ、結果的に無駄な被曝となってしまう。目指すのは、それぞれの診断に必要な画質を得られる、最低限の線量に抑えることだ。