

ある溶質（水に溶けることができる物質のこと）を含んだ溶液が、我々の体に入ると、我々の体液はどう変化するか？ 溶液が体内に入ると「体液の分布」がどのように変化するかを考えてみよう。「体液」は「細胞内液」と「細胞外液」からなる。「体液」という用語は「細胞内液」と「細胞外液」のどちらを指すのか、あるいは両方を指すのか明確にできない。本書ではできるだけ「体液」という用語を使わず「細胞内液」か「細胞外液」かを明確にして話をすすめることにする。

1. 水を3L急速に飲んだら「細胞内液」と「細胞外液」はどう変化するか？

まずは、すべての基本の水 H_2O を考える。溶質を何も含んでいない水を体内に入れるということを考えてみよう。具体的な数字で考えたほうがわかりやすいので、水3Lを急速に飲みすべて胃腸の毛細血管から血管内に入ったとする。蒸留水の点滴はやってはいけなくて飲むことにした。急速に飲んだので、まだ尿も排泄されていない。われわれの「細胞内液」と「細胞外液」はどのように変化するか、何か困ったことが起きるだろうか。

1-1. 水の分布

水を飲む前の体液の状態、いや、「細胞内液」と「細胞外液」の状態はどうなっているのかを見てみよう。実は本当のところを調べるのは大変難しいようでいろいろな意見がある。本書ではハリソンやワシントンマニュアルやブレンナーの腎臓の教科書やガイトンの生理学などの多くの著名な教科書が採用していることを基本とする。

体内には体重の60%の水= H_2O が存在するとされている（図1a）。脂肪には水がないので、脂肪が多い人は50%と計算する。60%と50%とを区別することは、患者を実際に診る読者にお任せすることとして、本書では基本的に60%を採用する。この水 H_2O は細胞内と細胞外とに区分され、その区分の境界は、細胞膜である。細胞外液は数億年前の海（今の海の1/3の濃さ）の記憶を残し、それと似た成分できているといわれている。さて、細胞内の水と細胞外の水とではどちらが多いだろう

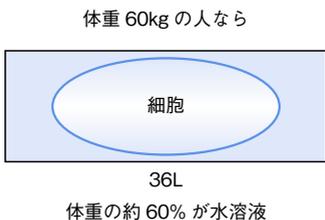


図 1a ●細胞内液と細胞外液

か. 細胞内液量は細胞外液量の 2 倍であると多くの教科書は記述している. よって **細胞内液 : 細胞外液 = 2 : 1** である. よって, 体重 60 kg の人は体内に水が 36 L あり, 細胞内には 24 L, 細胞外には 12 L 存在することになる (図 1b).

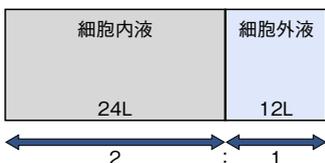


図 1b ●細胞内液と細胞外液

細胞外液は間質と血管内に区分される. その区分の壁は毛細血管である. **間質と血管内には 3 : 1** の割合で水が分布している. 体重 60 kg の人の細胞外液 12 L には, 間質に 9 L, 血管内に 3 L 水が分布することになる (図 1c).

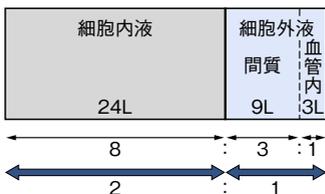


図 1c ●細胞外液は間質と血管内に区分される

1-2. 水の動きについて (消化管から細胞外液へ)

ここで最初の課題にもどろう. 水 3 L を急速に飲みすべて胃腸の毛細血管から血管内に入ったとする. われわれの体液, いや細胞内液と細胞外液はどのように変化

するか。水はまず血管内に入るから、血管内は3Lから6Lに増える?? (図1d, 図1e).

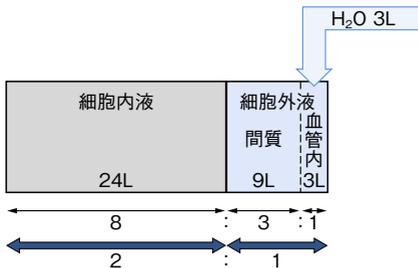
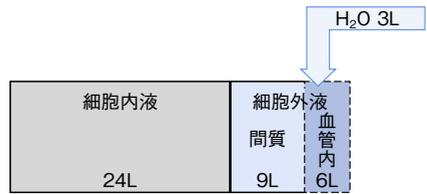


図 1d ●水が血管に入ると



Na 濃度は 140 から $140 \times 3/6 = 70$ に下がる??

図 1e ●水が血管内へのみ分布すると仮定した場合の血清 Na 濃度の変化

そうであるなら、血液検査をすると、血清 Na 値が 140 mmol/L から 70 mmol/L という低 Na 血症になる。いやそんなことにならない。なぜか？ 血管と間質の間の壁である毛細血管の穴は水や Na などの電解質に比べてはるかに大きく、水や電解質は自由に移動できるので、血管内に入った水や電解質はただちに間質にも移動してしまう。よって電解質輸液（英語で crystalloid solution という）の時は、間質と血管内との間の壁は無視できることになる（図 1f, 図 1g）。

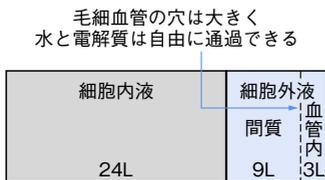


図 1f ●毛細血管の穴の性質



この2つの区分で考えればよい

図 1g ●電解質輸液 (crystalloid solution) やブドウ糖輸液では血管内と間質はほぼ同時に変化するので、細胞外液を2つに分けて考える必要がない。

3Lの水は細胞外液すべてに、すなわち血管内にも間質にも分布（間質に $3 \times 3/4$ L, 血管内に $3 \times 1/4$ L 分布）し、細胞外液は 12 L から 15 L に増える？ それなら血清 Na 濃度はどうなるか。140 から 70 になるのではなく、140 から 112 になる？



血清Na濃度は140から $140 \times 12 / 15 = 112$ に下がる

図 1h ●水が細胞外液のみに分布すると仮定した場合の血清 Na 濃度の変化

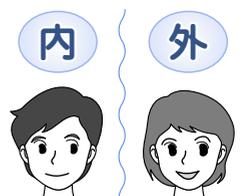
はたしてこれで終わりでしょうか (図 1h) ?

1-3. 水の動きについて (細胞外液から細胞内液へ)

今日のお話の1つ目の山ですが、実はこれで終わりではないのです。これは誤りなのです。細胞内液と細胞外液を分ける壁である細胞膜は、間質と血管を分ける毛細管の穴とは異なり、電解質は容易に通すことはできない。だが、水は自由に通す (図 1i)。



図 1i ●細胞膜は半透膜の性質を持っている。
解説は本文参照



2 人の浸透圧はいつも同じ

ここで重要なのは細胞内と細胞外の浸透圧は常に同じという大原則です。

飲んだ水によって浸透圧の低くなった細胞外液は、この大原則に従って細胞内液にその水を移動させてバランスを取ろうとする (図 1j)。細胞外液の浸透圧と細胞内液の浸透圧が同じになった時点で、水の流れは停止する (図 1k)。よって飲んだ 3 L の水は細胞内外の浸透圧が同じになるように、2 L は細胞内液に 1 L は細胞外液に飲む前と同じ 2 : 1 の割合で分布することになる。

1-4. 輸液の大原則

細胞内と細胞外の浸透圧は常に同じ (図 2)。細胞内液と細胞外液の境界である細胞膜は、水は自由に通すことができる。しかし Na^+ や Cl^- などの電解質は細胞膜を自由に通過できない。よって水が細胞外液に入ると、細胞内液と細胞外液が同じ浸



図 1j ●細胞膜の性質により水が移動する。

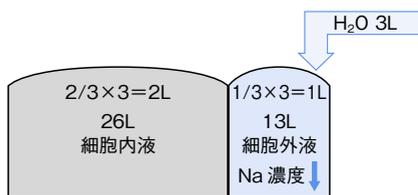


図 1k ●細胞外液に投与されたH₂Oは細胞内と細胞外の両方に均等に分布する。

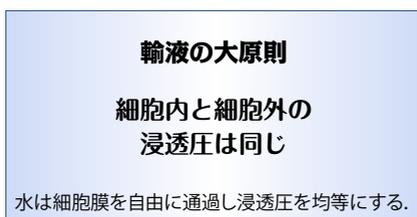


図 2 ●輸液の大原則

透圧になるように（つまり原子や分子の密度が同じになるように）水が細胞外液から細胞内液へと移動していく。輸液によって電解質や水が体内に入り細胞内外で浸透圧の差ができると、この輸液の大原則を維持するために水の移動が細胞内外で起きる。細胞外液の間質と血管内の壁である毛細血管は水と電解質両方自由に移動できていた。細胞内と細胞外の壁である細胞膜と毛細管との違いを明確に認識しなければならない。

2. 水を3L飲んだとき血清Na濃度はどうなるか？

では血清Na濃度はどうなるか？ 3Lの水のうちの2Lは細胞内に、1Lが細胞外に入る。結局、水を飲む前の細胞外液中のNaの量は140 mEq/L×細胞外液量12Lで、水を飲んだ後は細胞外液量が12L+1L=13Lになり、140 mEq/L×12L÷13L=129 mEq/Lに下がる（図11）。Naは細胞外液に閉じ込められていて細胞内には簡単に移動できず、水は自由に細胞内外を自由に移動できるということが重要点である。ここで「低Na血症」になっていることにも注目しておいて下さい。

3. 水を3L飲むことの問題点は何か

この状態は何が問題か。われわれの命の元は細胞である。一時的に細胞外が多少