

小堀さんいわく化学工学 A は生体の仕組みとかではなくて化学工学っぽいところをだすとのこと。化学工学っぽいところだけまとめようと思います。授業中でちよくちよくここは出そうとっていたところを黄色蛍光ペンでしめました。(なんとなくリアリティがありそうな順に並べてあります)

5/10 初回 医学と工学 聞こえなかった

5/31 2回目 骨格系の話

- ・骨代謝の話
- ・Ca濃度に関して「9~11mg/dL → 2.5mmol/L の換算とか試験に出すとみんなできないんですよ」と笑っていた。

6/7 3回目 血液と体液の話

- ・CO₂が生体内に代謝されて酸として機能しているにもかかわらず血漿中のpHが7.35~7.45という狭い範囲で保たれている点(血液の緩衝作用)
- ・体液収支

6/14 4回目 循環器系の話

- ・なぜ動脈、静脈の血流速度が違うのか?
- ・Starling の仮説(動脈・静脈ではどちら側に物質が移動するか)

6/21 5回目 呼吸器系の話

- ・軌道分岐と気道抵抗のグラフで気道抵抗にピークがある理由
- ・細胞組織で効率的に酸素を吸収できる理由を酸素解離曲線を用いて説明せよ。
- ・なぜ肺は効率的なガス交換器といえるのか(肺のガス交換能について)
- ・外気とのガス交換について
(酸素と二酸化炭素を交換するメカニズムを分圧を使って説明)
- ・血液におけるガス交換のメカニズム(物理的溶解+化学的溶解)
- ・肺循環と体循環が分かれている理由

6/28 6回目 泌尿器系の話

- ・生態浸透圧に関して 1mOsm/kgH₂O 溶液の浸透圧 19.3mmHg の算出過程を示せ
- ・糸球体ろ過において水をろ過し過ぎないメカニズム(有効ろ過圧の変化の項) →ろ過紙過ぎないメカニズムだったかは確かじゃないが、 π_{GC} が増えていくとっていた話。
- ・クリアランスの概念
- ・ネフロン(腎単位)で水分の再吸収が起こるメカニズム

7/5 7回目 消化器系の話

- ・胃でのひだの役割(伸縮性)と腸でのひだの役割(表面積の向上)
- ・「胃を全摘出した人がダイビング症状にかかるメカニズムは化学工学っぽくていいですね」とっていた。→胃の貯蔵庫としての働きと収支について
- ・胃のpHについて

ページ数長いけど全部読まなくていいはず！特に各節の第一項読み飛ばせばあつというま
だし、小堀さんが嫌な人でなければそれで少なくとも半分くらいはとけるはず!!!

以下で、それぞれの節の第1項は授業の概要をメモがきました。が、化学工学っぽいところ以外は出ないので、何が化学工学っぽいから見極めて勉強してください。ただ、第2項以降を重点的に読んだほうが効率がいいかもしれないです。特に黄色くマークしたところは小堀さんのお墨付きです。(聞き逃しがあるかもしれないので他にも出すかもと書いてたかも知れない。特に2、4、6回の授業は半分レポートやっていたのでちゃんと聞いてないところもあります。)

2. 骨格系の話

2. 1 骨格系概要

骨格系の授業では<骨格の役割と骨について>→<筋肉について>という風にやっていた。

<骨格系の役割と骨>

- 骨の役割には①体の支柱作用②筋肉とともに運動に関係③臓器の保護④造血作用⑤カルシウムの貯蔵 といったものがある。特に今回は⑤のカルシウムの貯蔵について説明していた。
- 骨格系の構成について(頭蓋骨、脊柱、胸部、骨盤、上肢骨、下肢骨)。これをみてもわかるように小腸や大腸は骨に囲われていず、交通事故にあうと危険。
- 頭蓋骨について。頭蓋骨は球形になっている。生物は_____の為に骨を丸くしているらしい。また、子供の頭蓋骨は穴が開いている(大泉門?)。これは生後2~3年でうまるらしい。また、子供の頭蓋骨は顔面頭蓋よりも大きくなっている。これは子供の脳の成長が早いためである。
- 脊柱について。脊柱はS字型で直立歩行がしやすくなっている。
- 骨の成分について。骨をビルにたとえると骨の鉄骨を作っているのがコウ質性コラーゲン、骨のコンクリートにあたるのがヒドロキシアパタイト $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ である。
- 骨は血中のCa濃度にあわせて自ら骨を壊したり(骨吸収)、骨を形成したりする(骨形成)。これにより血中のCa濃度が保たれている。また、Caは骨による出入りだけでなく、食事、尿中排泄などによっても収支が取れている。それは以下の式で書ける。

Ca 収支：食事(600mg)→排泄(450mg)+細胞外液へ(150mg)

細胞外液(150mg)→腎臓で尿中排泄(150~200mg)

←これは糸球体ろ過(5000mg)→再吸収(4800~4850mg)の結果

これプラス細胞外液で骨吸収、骨形成が500mgずつ起こっている。もし血中Ca量が減ってしまった場合は骨吸収量が増え、逆に増えた場合は骨形成が増えるという風にCa量を調節している。

- ・骨粗しょう症について。

<筋肉について>

- ・関節について。関節はぼこぼこ穴が開いているが、これは関節液があるせい。最近あらゆる方向に曲げることができる人工股関節ができたとか。
- ・筋肉のエネルギーのうち機械エネルギーとして使えるものは全体の25%で、残りは熱エネルギーとなってしまう。体温を保つために仕方ないのか？小堀先生が面白いと言っていた。
- ・筋収縮のメカニズム
- ・赤い筋と白い筋について

2. 2骨代謝の話

血中濃度を保つために骨は自ら壊れてCaを血中に放出したり、あるいは血中の過剰なCaから骨を作り出したりしている。

このときの骨代謝の解析が出そう。

骨の物質収支は骨内部での反応がまったくない($r_{AV}=0$)として、以下のようにかける。

蓄積速度 = 1秒あたりの流量 - 1秒で出ていく流量 - 骨内部で骨を形成する量

$$dN_A/dt = V \cdot (dC_A/dt) = F_{A0} - F_A + r_A V = C_{A0} \cdot v_0 - C_A \cdot v_0$$

下線部を0~t、 $C_{A0} \sim C_A$ で積分することによって $\ln(C_{A0}/C_A) = v_0/V \cdot t$ と求められる。

ただし、 C_A は体積あたりモル数で、骨の全分子数は $N_A = C_A \times V$ 、 v_0 は体積流量(濃度 C_A の溶液の体積)、一秒あたりに入ってくるモル数は $v_0 \times C_A$ (但し入り口では C_{A0})となる。

2. 3単位換算

Caの血中濃度が9~11mg/dLであるということは、Caの原子量は40.8(g)だから $9 \sim 11 / 40.08 (\text{mmol/dL}) = 0.22 \sim 0.27 (\text{mmol/dL}) = 2.2 \sim 2.7 (\text{mmol/L})$ である。あんまりでなそう・・・

3. 血液と体液

3. 1血液と体液概要

授業では<体液とは何か？体液の収支について> → <血液のpH、その働きと成分、造血>という流れで講義していた。

<体液とは何か？>

- ・骨格と脂肪以外では体内の組織は7～8割水分を含む。これらを体液と呼ぶ。
- ・体液には細胞の細胞膜内にある細胞内液と、細胞の外にある細胞外液がある。細胞が胃液はさらに、主に循環器系をつかさどる管内液と血管と細胞の間であって物質のやり取りを仲介する間質液(管外液)がある。これらはある場所で区分されている。細胞内から近い順に見ていって
(細胞内液)(細胞膜)(間質液)(血管内の血漿などの管内液) という感じである。

<体液の収支>

- ・体内の体液の量(水分量)の割合は年齢、性別によってかわってくる。
- ・体液の収支について→後で述べる。
- ・水分を摂取しすぎると体内のNa濃度が薄くなって死んでしまう。(水中毒)

<血液のpH>

- ・体内の血液のpHはCO₂水と反応してプロトンを放出するにもかかわらず一定値を保っている。これは血液の緩衝作用、腎臓による再吸収と排出のバランスの調整によるものである。
- ・体内の血液の緩衝作用に異常が起きてCO₂、HCO₃⁻の量のバランスが崩れると障害が出てしまう。この障害には酸化体が増加するアシドーシス、還元体が増加するアルカローシスがあるらしい。この原因としては呼吸性のものと非呼吸性(代謝性)のものがある。

<血液の機能、成分について>

- ・血液の機能としては①O₂、CO₂、老廃物などの運搬②緩衝材としてpHを調整するなど体内の環境の維持③生態防御④止血⑤情報の流通(ホルモン)が挙げられる。
- ・血液は凝固剤を入れると上から順に血漿(担黄色液体)55%、白血球+血小板(薄膜)1%赤血球45%として分離される。凝固剤を入れなかった場合は血漿中のフィブリンと血球(赤+白)が血餅として析出し、それ以外(つまり血漿のフィブリン以外の成分と血小板)が血清として出てくる。
- ・造血について。造血は主に赤色骨髄で行われる。赤色骨髄が死ぬと黄色骨髄になる。(ただし、黄色から赤への再生もでき、なぜか再生した赤色骨髄は前以上の造血作用があるんだとか) 赤ん坊の場合骨髄は全部生きているので赤色骨髄だが、次第に黄色になっていく。しかし偏ぺん骨というところの骨はほとんど全部赤く、造血をし続けるらしい。これはなぜ!?
- ・血液型の話。生物化学で桐村先生が言っていたことと同じ。血液型検査法としてスライドガラス法などを紹介していた。

3. 2 血液の緩衝作用について

血液の緩衝作用としてはそれぞれノートみてほしい。

この作用というのは $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H} + \text{HCO}_3^-$ において、

4. 循環器系の話

4. 1 循環器系概要

循環器系の授業では<循環器系の概要、肺循環と体循環>→<心臓の構造と役目>→<血管・血流について>という流れで話をしていた。

<循環器系の概要、肺循環と体循環>

- ・単細胞生物から多細胞生物になってくると、体内の細胞は直接外気を呼吸することができない。そのために循環器系ができた。
- ・循環器系には血管系とリンパ系の二種類がある。

4. 2 なぜ静脈、動脈の血流速度が違うのか

大動脈の血流速度は 50cm/sec、大静脈の血流速度は 15cm/sec、毛細血管の血流速度は 0.05cm/sec である。この差はどこから出てくるのか。

血流速度は血管の太さと数で決まってくる。そのため大静脈のように太く(そのため断面積が大きく)、数も二本ある(頭の方に向かう大静脈と_____)ものは血流速度が遅くなっている。いまいわからないので、後からまた調べようかと思う！

4. 3 Starling の式について

$$F = K [(P_c - P_t) - (\pi_c - \pi_t)]$$

この式は物質の毛細血管→組織への透過量を表すものである。毛細血管→組織の方向に働く圧力を正として取っている。したがって、 P_c : 毛細管内圧は正にとり、 P_t : 組織圧は負にとる。逆に、膠質浸透圧は水を内側に引っ張る力であり、毛細血管の血漿膠質浸透圧 π_c は毛細血管側(負の方向)に、組織液の膠質浸透圧は組織側(正の方向)にはたらく。したがって、うえのような式になる。これらの圧力の和は物質の透過量に比例する。

さて、この透過量は厳密な量を定義しているわけではない。これは正であるか、負であるかの違いが大事なのであり、正であったときは血管の内側から外側に物質を出す(動脈など)。逆に負であるときは溶質を血管側に吸収する。

5. 呼吸器系の話

5. 1 呼吸器系概要

授業では呼吸についての説明から始めた。

- ・ <呼吸について>

呼吸は酸素を生体内に取り入れ二酸化炭素を外に出すもの

- ・ <呼吸の種類>

外気との間で酸素と二酸化炭素の交換をし(外呼吸)、体内でそれぞれの細胞との間で酸素と二酸化炭素の交換を行う(内呼吸)。

外呼吸にはその呼吸の仕方として腹式呼吸と胸式呼吸がある。

- ・ <肺気量分画法>

授業ノートに書いてある図のほうが圧倒的にわかりやすいです。図をみながら読んでください。

呼吸するときにする空気の量としては、安静時で普通に呼吸している一回の空気量(TV:一回換気量 通常 500ml)だけでなく、肺が最大に大きくなったときは8リットルまで吸う事ができる(最大吸気位=TV+IRV(予備吸気量)+ERV+RV←すぐ後で説明)。また、思いっきり空気を吐いて最大呼気位(=最大呼気位 - IRV - TV - ERV(予備呼気量:通常よりも多く息を吐いたときに出せる空気量) - RV)まで吐き出したとしてもまだ肺の中に空気は残っている。これは肺がぺしゃんこにならないことを考えるとごく自然のことである。そのときに残っている空気の量を残気量(RV)と呼ぶ。先に出てきた思いっきり吐き出せる空気量 ERV(予備呼気量)は肥満により減少していくらしい。

普段肺活量と呼ぶものは最大吸気位(=RV+ERV+TV+IRV)と最大呼気位(=RV)の差 ERV+TV+IRV である。

そして、空気→口→肺(→心臓)→血液により運搬(→全身の細胞と交換)という流れを順にみていった。

- ・ <外呼吸のメカニズムと肺の役割>

呼吸は外気と接している口腔内の内圧と肺胞内圧の差により酸素、二酸化炭素の交換をし、さらに気道を通して肺へ、肺から心臓、心臓から全身へと送られる。

- ・ <酸素、二酸化炭素の血液による輸送>

全身に酸素が送られるのは血液に酸素が物理的、化学的に溶解するから。酸素解離曲線など。

その他のトピックスとして呼吸障害についてもいっていた。

・ <呼吸障害>

環境変化による異常呼吸現象として高山病、火事の際のCO₂中毒、深いところにもぐって地上に出たときに起こる潜函病について簡単に紹介していた。

5. 2 **なぜ肺は効率のいいガス交換器と呼べるのか？**

パワポに載っていた激しい血液の攪拌、短い拡散距離、大きな膜面積によって肺のガス交換能は向上している。これについて述べる。

まず肺胞の膜の厚さは0.1~1 μmしかないらしく、ガスが肺に接したときに肺に吸収されるために入り込まなければならない距離というのは非常に短い。これが短い拡散距離というもので、このため、ガスが入り込みやすくなっている。加えて肺胞はよく知られているように非常に表面積が大きいので吸収できる場所が多く、吸収効率がいいといえる。あと血液の攪拌というのはちょっとわからない。・・・

さらに、空気の出し入れの仕方を工夫することで肺の性能を高めることができるのか。たとえば深呼吸は非常に効率のよいガス交換方法であるらしい。

ガス交換の効率を測る目安は一回の換気でガス交換に寄与しない気量(死腔)がある。また、口腔内圧(=気流ないときは大気圧)と肺の容積の比率($\Delta V/P$)をコンプライアンスとよぶ。最近法的遵守などの意味でコンプライアンスと使われることが多いがその意味での?コンプライアンスである。このコンプライアンスが大きいほど肺が大きく膨らみやすいわけで、効率のいい肺であるといえる。

コンプライアンスは赤ん坊のときは低い。これは赤ん坊の肺が硬いためである。しかし界面活性剤が肺の中で増えてきて張力が減少してきたら次第にやわらかい肺となってコンプライアンスが上昇してくる。これによりおとなの肺は効率のいいガス交換器になれる。

5. 3 **なぜ大気とのやり取りの肺循環と体内の細胞とのやり取りをする体循環があるのか**

本当は循環器系のところで聞かれるのだろうが、肺胞の膜の話であったのでこっちで取り上げていたのだと思う。

自信はないが、肺胞での膜の厚さは0.1~1 μmしかないらしく、この薄膜に大きな圧力がかかるとやぶれてしまう可能性がある。圧力がかからないように?外気とガス交換をする肺循環と、血液とのやりとりをする体循環が分かれている。暇があったら後でまた調べておこうと思う。

5. 4 **口腔から肺までの気道の分岐を増やしていくとき、気道抵抗の極大がある理由**

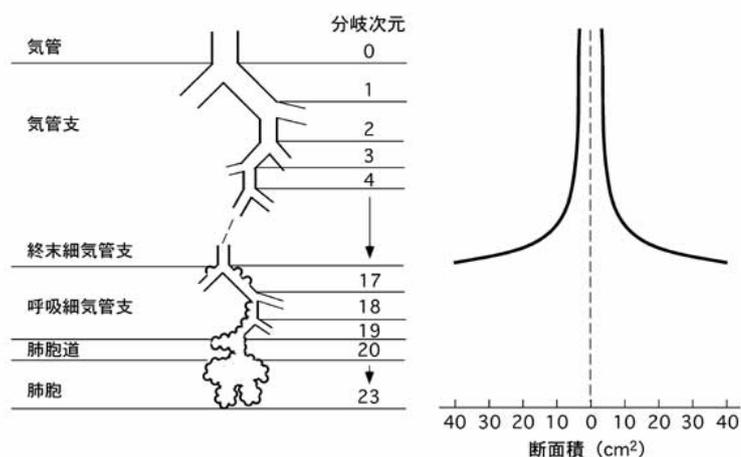
気道抵抗というのは1%の空気を1秒で流すために必要な分圧差であらわされ、気道抵抗が大きいほど肺ごと口腔で大きな分圧差が必要となり、空気を吸いにくくなるとい

える。この気道抵抗は気道の太さ(気道径)、気道の分岐数、呼吸をする速さ、吸う空気の質等の要因によって変化する。

さて、気道が分岐しているほど気道の粒径は小さくなり、気道径が縮まり、気道抵抗が大きくなっていきそうである。(細いほど空気は通りにくいだろう)しかし、実際はパワポに出ていた図のように分岐数がある数よりも大きくなると気道抵抗はだんだんと小さくなっていく。これはどうしたことだろうか。

気道分岐が増えると、確かに気道径の小さい小粒な気道になっていくが、気道の粒の数が増えていくので全体として総断面積は増加すると想像できる。そのため、一個一個の気道径は小さくても、それをあわせた口径は増加する。そのため気道抵抗は小さくなっていくのであろう。

ちなみに気道分岐数は気道が肺胞に近づいていくにつれてだんだんと大きくなっていく。気道の末端の終末細気管支において、分岐数は最も多くなる。下の図参照。



5. 5 外気とのガス交換のメカニズム

ガス交換は肺胞気(吸入気よりも酸素濃度が少なくなっている)と体を一周して酸素が減って二酸化炭素が増えた静脈血との分圧差を利用して行われる。この際、静脈血の分圧としては、適当な場所における静脈血の分圧を考えると酸素をたくさん使うところとそうでないところによってだいぶ事情が変わってきってしまうので、一度肺にもどってきたときの混合静脈血の分圧を考えることにするらしい。だから結局分圧差というのは混合肺胞気と混合静脈血の分圧差である。混合の意味がよくわからないので暇があったら調べておこうと思った。

さて、人の口からはいつの吸入気の酸素、二酸化炭素分圧は以下のとおり。

$$\text{酸素分圧} = 0.21(\text{酸素の割合}) \times (\text{大気圧} - 4.7 \text{ mmHg})$$

4.7 っていうのはどうしても常温でもってしまう分圧とメ

モしてあるのだが、よくわかっていない。

その後、動脈血にいたるまでに酸素量はへり肺胞気の酸素分圧 P_{O_2} は 100mmHg、二酸化炭素分圧 P_{CO_2} は 40mmHg となる。これに対して静脈血の酸素分圧は 40mmHg、二酸化炭素分圧は 46mmHg である。

したがって肺胞気と静脈血の分圧差は酸素で 60mmHg 肺胞気のほうが高く、二酸化炭素で 6mmHg 静脈血のほうが高い。

ここで二酸化炭素が 6mmHg しか分圧差がなくてもちゃんと静脈から肺胞気のほうに移動することができるのは以下の理由による。

分圧差と物質の移動速度の関係は以下のようにになっている。

物質移動速度 = 断面積 × 推進力(分圧差) × 拡散係数

この最後の拡散係数が CO_2 は O_2 の 20 倍の大きさなのである。したがって、分圧差が酸素に比べて小さくても十分移動することができる。

上の式も正確ではないの後で調べておく。

5. 6 血液における O_2 、 CO_2 交換について

① 血液による酸素の輸送

酸素の輸送には酸素の血液に対する物理的溶解、ヘモグロビンに対する化学的溶解がある。物理的溶解はヘンリーの法則によって分圧に比例した量だけ溶解することがわかる。それに対して化学的溶解はヘモグロビンに吸着できる量がヘモグロビン濃度、酸素飽和度によって決まってくる。

物理的溶解(溶解酸素) = $0.003(\text{ml/dl/mmHg}) \times P_{O_2}$

化学的溶解(結合酸素) = $1.34(\text{ml/g}) \times \text{ヘモグロビン濃度}(\text{g/dl}) \times \text{血液量}(\text{dL})$
 $\times \text{酸素飽和度}(\%) / 100$

ただし酸素飽和度は次の項でも出てくるように酸素のくっついたヘモグロビンの割合だとおもう。

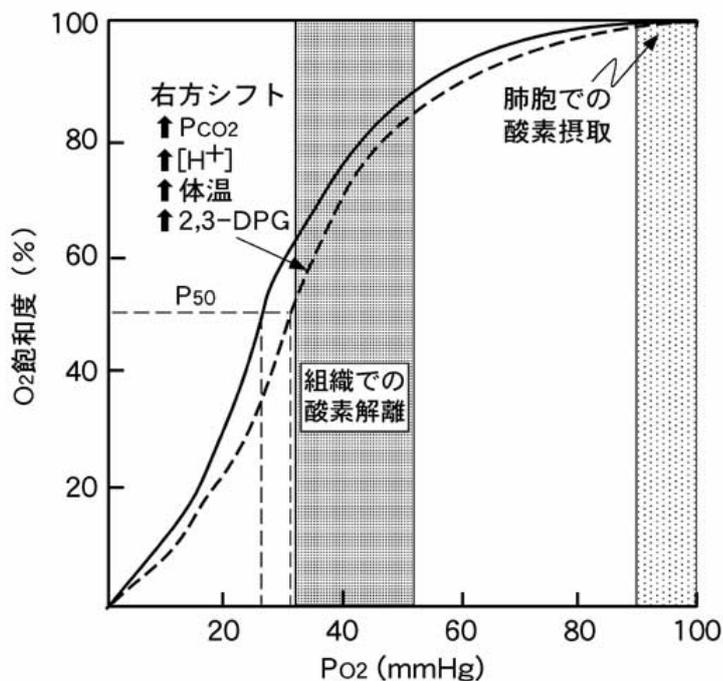
5. 7 細胞組織で効率的に酸素を吸収できる理由と酸素解離曲線

さて、以下に書いていくことに関して

<http://www.lab.toho-u.ac.jp/med/physi1/respi/respi8/respi8.html> に結構詳しく載っているみたいです。授業ノートとあわせて活用すべし。図もそこからいただきました。

下の図において縦軸の飽和度というのは 5. 6 でのべたものと同じである。図を見ると細胞組織のように CO_2 の分圧が高い場所では酸素解離曲線が右に遷移しているのがわかるだろう。右に移るということは少ない酸素分圧のときに、よりヘモグロビンの酸素飽和度が下がるということである。(同じ酸素分圧のときの縦軸の値が小さくなって

いることに着目すればわかる。)だからヘモグロビンが酸素を解離しやすくなるということだ。これによって効率的に酸素を細胞に送り込めるようになっている。



6. 泌尿器系の話

6. 1 泌尿器系概要

授業では<泌尿器系の意味>→<泌尿器系のはたらきを考える上で必要な単位>→<腎臓について>→<人工透析について>という流れでやっていました。

<泌尿器系の意味>

・海水魚が淡水魚になるときに"体内の電解質濃度を保つためのメカニズム"として腎臓ができた。海水魚が淡水魚になったとき、その体内のNa濃度は原始海の濃度と一緒に。それに対して淡水ではずっと濃度が低く、浸透圧の効果で体内に水が入り込んでしまう。だから水を除去するために腎臓が必要。それに対して陸上生物では体内の水分が不感蒸せつによって濃縮されてしまう。だから摂取した水分の再吸収などが必要。

<泌尿器系を考える上で必要な単位>

- ・ $Eq = \text{陽 or 陰イオンの原子価}(-) \times \text{そのイオンの物質質量(mol)}$
- ・ $Osm/L = \text{溶質のモル数(mol)} \times \text{電離後の粒子数}(-) / \text{溶液の体積(L)}$

これらについての説明。

- 泌尿器系に働きを考えると、溶液中の粒子の数、すなわちイオンが重要になってくる。したがって溶液中のイオンの価数、イオン粒子の量を表す単位が必要である。
- イオンの価数を表すには Eq という単位を主に用いる。これは陽 or 陰イオンの原子価 (-) × そのイオンの物質質量(mol) で表され、したがって 1 Eq は原子価 1 の陽 or 陰イオンが 1 mol(アボガドロ数)集まったときの価数の量?である。
- たとえば 10g の Ca^{2+} があつた場合、 $10(\text{g})/40(\text{g/mol}) \times 2(\text{Eq/mol})=250(\text{mEq})$ となる。
このように mEq として用いることが多い。また、原子価は Eq/mol(1 モルのイオンあたりの価数)として表される。
- その他、オスモル濃度というのがある。これについては 6. 2 で述べる。

<腎臓と糸球体ろ過のメカニズム>

- 腎臓の働きは①濃縮された尿をつくり、体液・電解液の調節②血液中の酸塩基平衡の調節(体液と血液の項参照)③タンパク質を代謝する際に生ずるアンモニアを排出③ホルモンをだして骨量、体液量、赤血球数、血圧を調節。 などがある。
- 腎臓はソラマメの形をしていて英語ではキドニンビーンズと呼ばれる。これは背中側にある。胎児のときは骨盤の辺りに腎臓はあつたらしく、胎児の成長とともに次第に腎臓が頭の方に上がってくるのだが、そのときはすでに肝臓や心臓ができていたので上までいくことができず大人と同じ位置に収まる。しかし、胎児のときに骨盤から腎臓が上っていかないと障害を持つ人もいる。
- 腎臓は一日に 180 ℓ の原尿を出す。しかし、水分の再吸収をおこなって結果的には 1.5 ℓ の尿に。この量は生活の様態によって変わる。飲みすぎたときは増えるとか。
- 腎臓はネフロン(内側から糸球体+ボーマン嚢+尿管)が 100 万個集まってできている。それぞれのネフロンでろ過、再吸収などが行われる。
- 腎臓は糸球体によって血中の余分な毒素や血漿成分をろ過する。この際に大量の水を使うが、水分は再吸収して再利用する。
- 糸球体でのろ過は"糸球体の毛細血管内圧が、糸球体の外側にあるボウマン嚢の内圧よりも高いために糸球体から外側に浸透する"ことを利用して行われる。(6. 3 参照)
- 糸球体ろ過の能力は低分子量(イヌリン:分子量 5200)ではほぼ 100 パーセントだが、高分子量(アルブミンなど:分子量 69000)になると 100 個に一個くらいしかろ過できず、血中に残ってしまう。

<腎臓の働きを評価する方法>

- 腎臓がちゃんと機能しているかどうかは GFR(糸球体ろ過量)、RPF(腎血漿流量)、RBF(腎血流量)がある。これらは一種のクリアランスであるといえる。

- ・これについては6. 4で述べる。

<腎臓における再吸収のメカニズム>

- ・これについては6. 5で述べる。

<人工透析について>

- ・ネフロン糸球体にかかる圧力は高い。→糸球体が壊れてしまうこともある。
→腎不全などの病気に
- ・腎臓をわずらった人は人工透析を受ける。人工透析もまた浸透圧を利用して膜によって、血液中の不純物をこす。しかし、血液中の低分子量の不純物に関してはその分離能力は腎臓よりもむしろよいが、高分子量になるとどうしても現状では腎臓にはかなわない。

6. 2 1mOsm/kg の H₂O 溶液の浸透圧が 19.3mmHg であることを示せ(37°C)

最初の方は補足です！一番最後だけ見ればいいかも・・・

オスモル濃度は浸透圧を測るときに必要なってくる。すなわち、モル濃度が異なる溶液間を溶媒が移動するときの圧力を計算するのに用いられる。

まず、オスモル濃度について述べる。

- ・浸透圧 Π はファントホッフの式を用いて以下のように表される。

$\Pi = M(\text{Osm/L}) \times R(\text{atm} \times \text{L/mol/K}) \times T(\text{K})$ ここで R の値は単位が atm なので 0.08206 である。また、Osm/L がオスモル濃度(溶液中の粒子濃度)のことである。

ファントホッフ式に関してはアトキンス上巻 191 ページに載っているのが気になる場合は読むといい。化学ポテンシャルが界面で等しいことから出すようだ…(化工でない)

- ・たとえば 1 mol の NaCl が Na イオンと Cl イオンに電離していたとする。このとき、実際は Na イオン、Cl イオンが 1mol ずつ計 2mol あるのに、モル濃度だとこれを NaCl の 1mol として数えてしまうことになり、溶質中の粒子の数を正確に表すことができない。したがって、「溶液のモル濃度(=溶質のモル数/溶液体積)×溶液中での電離後の粒子数=溶液中での電離した粒子の濃度」をオスモル濃度として決める。
- ・ただし、溶媒の水の体積というのは温度によって変化する。するとオスモル濃度も温度変化していつてしまう。これでは厄介なので体積ではなく溶媒質量 1kg あたりにとけている溶質粒子のモル数(Osm/kg)を考えることも多いらしい。
- ・ちなみに単位質量あたりオスモル濃度(Osm/kg)に気体定数 R と温度(K)をかけると浸透圧になるので、オスモル濃度(Osm/kg)をそのまま浸透圧を表すのに使ってしまうところもあるらしい。この際、オスモル濃度は圧力(atm)ではないので注意！

ちなみに、オスモル濃度の計算はしたの6.3の糸球体ろ過の時にも出てきていて、このばあい、平均分子量5万のタンパク質が6g/dL で含まれていたとして、どのくらいの浸透圧になるかという計算であった。

このときは、溶質濃度が $6\text{g/dL} = (6/50000)(\text{mol/dL}) = 1.2(\text{mmol/L})$ になるから、また、溶液中でも一個の分子であるとして考えて、Osm 濃度もまたに $1.2(\text{mOsm/L})$ であるから結局浸透圧は37度とすると、 $0.0012 \times 0.082 \times 310 = 0.0305 \text{ atm}$ になる。(mmHg に換算するなら760かける。)

さて今回の問題だが、この Osm/kg というのは溶質 1kg あたりの質量オスモル濃度ということになる。それに対して Osm/l はオスモル濃度である。これの換算については書きサイトに載っていたが、下記サイトでの換算だと得られる溶質濃度、溶質の分子量のデータが必要になってくる。それ以外の考え方を考えてみる。

<http://www.gs.niigata-u.ac.jp/~kimlab/lecture/math/b2c-answer.html>

http://www.ryudoshoku.org/sintoatsu_sokuteiho.html

まず、浸透圧の式として、上とは別に

$$\Pi V = x RT$$

を考えることにする。ここに V は溶媒のモル体積(1 mol あたりの体積)、x は溶質のモル分率を表している。水のモル体積は $V=18.01\text{mL/mol} (\rightarrow 18.01\text{mol/l} \div 1\text{g/ml})$ である。Pi それに対してモル分率は上の例では 0.001Osm の溶質が 1kg $\rightarrow 1000/18.01\text{mol}$ の水に溶けているから

$$0.001 \div ((1000 \div 18.01) + 0.001)$$

になる。よって、上の式に代入して解くと 19.327mmHg となる。しかし、37度における水の密度 0.993332g/cm^3 をもちいて水のモル体積を求める必要があるのではないかと思うし、また、この公式においては溶液のモル体積は純粋な溶媒のモル体積と同じであるという風に勝手に解釈してしまっている。これは、実際は希薄溶液になることによって体積変化があるはずで、それを考えなくていいのかという疑問がある。小堀先生に聞きに行ったら、"モル濃度の体積の中には溶質の体積も入っている"というヒントを頂き、この言葉と照らして考えると若干先生が要求していた求め方とは違うのかもしれない。しかし、これ以上はわからない。。

6. 3糸球体ろ過で水分量の調節について

糸球体でのろ過の原動力は糸球体ろ過圧 P_{uf} である。

$$P_{uf} = P_{gc} - P_t - \pi_{gc}$$

として表される。ここでは当然ながら糸球体からそと方向に向かう圧力を正としてとっている。 P_{gc} は糸球体内圧(血圧)、 P_t はボーマン嚢での内圧であり、その差は静水圧差であると考えられる。すなわち、どれくらい外向きの浸透圧があるか。それに対して糸球体に存在するタンパク質(ボーマン嚢内にはほとんどない?)によって、糸球体に向かう浸透圧も存在する。このように、 π_{gc} はタンパク質の為に糸球体にむかって水が浸透する膠質浸透圧である。トータルで考えると、水を糸球体の外に送る静水圧差、逆に内側に送る膠質浸透圧の差によって、糸球体ろ過圧があるということが出来る。

さて、この P_{uf} は π_{gc} が大きくなるにつれて減少していくことがわかる。糸球体の終端部に近づくにつれて水が抜き取られていって糸球体中の膠質濃度が上昇していく。そのため π_{gc} が上昇していく。 π_{gc} が上昇していくと次第に P_{uf} が 0 になり、それ以上水が糸球体から出て行かなくなる。これによって水分量がなくなりすぎない? 激しい運動をすると π_{gc} が減少するらしく、そのため糸球体の終端部、奥の方まで浸透圧が及ぶようになる。

ちなみに糸球体の奥というのは糸球体の出口付近のことであり、つまり細胞外のほうである。必ずしも直線的に考えられるわけではないのだが、この図のように細胞外では確実に膠質浸透圧が上昇している。

6. 4 クリアランスの概念を述べよ

とある物質(イヌリン、パラアミノ馬尿酸など)に関して、尿中の物質濃度 U 、血中の物質濃度 P とすると、一分間の尿量 V に含まれている物質(UV)と同じ量の物質を含んだ血液量(UV/P)。しきをみればわかるが、たとえば尿中に含まれている有害物質を一分間でどれくらいきれいにできるのか、あるいは一分間の尿によってどのくらいの量の血液をきれいにできるのかという風に考えていいはず。クリアランスが高いほど腎臓の働きがいいといえる。

クリアランスの例としては、イヌリンクリアランス(GFR : 正確には糸球体ろ過量)、パラアミノ馬尿酸クリアランス(RPF : 正確には?)があげられる。

なぜ GFR がイヌリンクリアランスと同義とできるかといえば、 GFR は糸球体ろ過量であり、糸球体ろ過圧に比例して $K_f P_{uf}$ として表される。それはすなわち、一分あたりの尿中にふくまれるイヌリンと同じ量のイヌリンをもつ血液量であり、糸球体でろ過してきた血液の量である。これはまさにイヌリンに関するクリアランスである。

ちなみに、 RPF から RBF (腎血流量)も得られる。すなわち、いかの計算を行う。ただし、

Ht はヘマトリックス(なに?)のことである。

$$RBF = RPF / (1 - Ht)$$

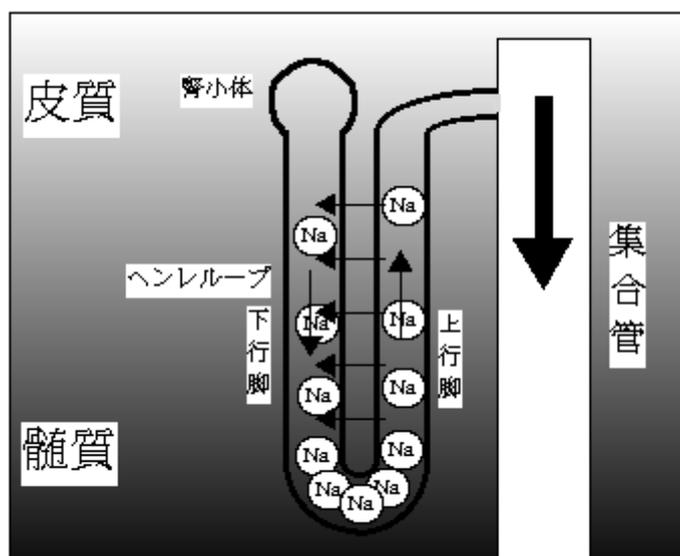
6. 5 腎臓における再吸収のメカニズム

<http://www.libroscience.com/html/images/books/kyoyo/sample07.pdf> がお勧めです。凄くよくわかる。

腎臓における再吸収のメカニズムというのは対向流増幅系によってあらわされる。これは、浸透圧の変化により、次第に尿から血中に水を再吸収して行って濃縮尿をつくるものである。

このとき、腎臓はネフロンはループしていて、以下の図のようになっている。

(http://plaza.umin.ac.jp/physiol/uro/text_040_040.html より拝借)



上の図で、下行脚とよばれるところはあまり溶質を通さず、水を通しやすい。それに対して、上行脚というところでは水は通さず、溶質の Na や Cl だけを通す。この上行脚では外の浸透圧の方が高く(つまり外側の Na や Cl 濃度がたかく、水が管内から外側へ引き抜かれやすい)、これ以上 Na や Cl が外に出るのは難しいといえるのに、Na や Cl が外に向かう。これは、上行脚の膜が能動的に Na や Cl を透過させるものだからである。これで、上行脚から出た Na, Cl は下行脚に送られる。ちなみに Cl が上行脚から選択的に能動輸送され、それにもなって電荷のバランスをとるために Na がでてくるらしい。

これによって下行脚→上行脚→下行脚という風にループしているのでその間の下部では溶質の流れが密になって濃くなっているのが上の図を見るとわかる。しかし、溶質が出て溶質を再吸収するという意味はあるが、外側の溶質濃度が上昇することによって水が再吸収されるというのは上行脚では起こらない。というのは上行脚は水を透過さ

せないからである。

上行脚をぬけると周りの溶質濃度が薄い部分になる。したがってここでは水の放出は起こらない。それに対して、集合管の底の方の管の外では上行脚と下降脚の間の溶質濃度が高い影響で、濃度が高くなっている。したがって、水が管の外に出ることになり、ここで水の再吸収が徹底的に行われる。

ちなみに、寝ているときというのは水の再吸収が最大限に行われていて?尿が相当に濃縮されている。だから、尿意をあまりもよおさなくなるとか言っていたが、よくわからなかった。

7. 消化器系の話

7. 1 消化器系概要

授業では消化器の順に、消化器系の意味→食道のはたらき→胃の働き→腸の働き→食料が腸で吸収された後の行方→大腸の働きという流れでやっていた。

<消化器系の意味>

- ・消化器系は体内に食物や水などの必要なものを取り入れ、不要なものを排泄する働きがある。
- ・消化器系は皮膚が体内にのめりこんで粘膜でおおわれたもの?(唇のことか?)
- ・消化器系には口腔、食道、胃、小腸(十二指腸、空腸、回腸)、大腸(盲腸、上行結腸、横行結腸、S状結腸)、肛門がある。

<食道の働き>

- ・食道は食物を重力の力だけではなく蠕動運動によって下に送り込んでいく。(蠕動運動がなければ無重力の宇宙で人がものを食べるのは無理)
- ・肺にいく気道と胃にむかう食道は

<胃の働きと障害>

- ・胃の第一の働きは食物を一気に腸まで送らずに一時的に貯蔵すること
- ・胃の第二の働きは食物を攪拌してよく胃酸とまぜあわせ、分解したり殺菌したりすること
- ・その他にも胃にはさまざまな働きがある。
- ・胃の中のpHはHClを作ることによって下がっている。このため、時に胃壁が溶かされて胃潰瘍などになることもある。欧米人の場合は胃潰瘍ではなく十二指腸潰瘍であるらしい。この胃の障害の治療法として全摘出手術、ピルロート法(幽門側の胃切除)が考えられるが、これだと7. 3で述べるようにダイピング症候群になってしまう。最近ではパウチ法という空腸に食物の貯蔵庫をつくる方法が考えられている。

ちなみに、胃を経た後消化器系の pH は次第にあがっていく。これは大腸のなかにいる善玉大腸菌などの最適 pH が弱塩基性であること、pH が低いと細胞を傷つけてしまうことなどの理由がある。

- ・人間以外の動物の胃はさまざまな特徴を持っている。草食動物はセルロースを分解して消化吸収できるのだが、これは草食動物の胃や盲腸が発酵タンクとしての役割を持っていて、この中で微生物がセルロースを分解している。牛の場合、胃が4個あり、第一胃はこの発酵タンク&貯蔵庫としての働きをする。(第二がポンプの役割で、第一胃から来た食物を再び第一胃にもどして、さらに消化する。第四胃は胃酸による殺菌作用)馬やウサギの場合盲腸が発酵タンクの役目を果たしていて、食物を吸収するのは大腸。大腸は小腸よりも吸収効率が悪いので馬の糞というのは非常に栄養が多く、昔は肥やしに使われていた。それに対してウサギは栄養の残っている糞を食べて、再吸収しているらしい。

<小腸のはたらき>

- ・小腸は食物の9割方を吸収する。
- ・吸収効率がいいように非常に長く、また、表面積が大きくなっている。
- ・また、消化液を食物と混ぜ合わせるために蠕動運動、分節運動、_____運動をしているらしい。

<消化されたものの行方>

- ・普通は肝臓に言って貯蓄される。体内に必要なものは体内に流れていく。
- ・脂肪だけはサコツ_____脈から心臓に入る

<大腸のはたらき>

- ・ひだがない→表面積小さい→吸収効率わるい
- ・大腸は水の再吸収を行っている。尿のイオンバランスを保つために大量の水が必要になってくるので、そのために大腸での再吸収は非常に重要になっている。

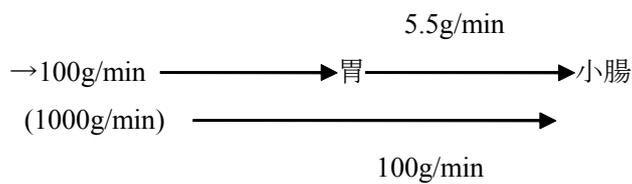
7. 2 胃、小腸におけるひだの役割

胃にひだがあるのは、ひだによって胃の伸縮性を上げるためである。胃は50mL～1800mLまで伸縮する。これができるのは内側についているひだのおかげ。

それに対して腸についているひだはまず表面積をふやす目的がある。輪状ひだにより象徴の表面積は3倍になり、輪状ひだについている絨毛によって表面積が30倍になり、絨毛にはえる微絨毛によって最終的に表面積が600倍になっている。これにより、象徴の吸収効率は格段によくなっている。

7. 3 胃の貯蔵庫としての役割

胃の第一の役目は貯蔵庫としての役割であるを書いた。これはどういうことだろうか。もし胃がなかったら食べた食物がそのまま小腸まで送り込まれる。たとえば10分で1kgの食べ物を食べたとすると100g/minの食物が腸に入るわけである。これに対して、胃が合った場合はこの食物が胃の中で一時的にストックされて、小腸に行く食物の量は(大体食べて3時間後に食物が胃を出ると考えると、1kgを3時間で小腸に送るわけだから)5.5g/minになる。胃がないと20倍近く食物が小腸に来るスピードが早くなってしまう。すると小腸にはかなりの負担がかかってくる。これを避けるべく、小腸に行く食物の量をコントロールするのが胃の役割というわけである。



7. 4 胃の pH について

胃の低いpHのもととなっているHClだが、これはどのように作られているのだろうか。胃と血管の境界の部分、胃内腔、胃壁、血管という風につながっている(胃壁を介して胃内腔と血管が接する)。胃壁ではその内部にある炭酸脱水酵素により血液中のCO₂を分解して、



の反応がおこる。このH⁺を胃内腔におくり、逆にK⁺を胃内腔から胃壁に送り込む。それに対して、HCO₃⁻を血管の方におくりこむ。ここまでだとHCO₃⁻は血管の緩衝作用でうまくpHバランスが保たれるだろうが、胃壁内のイオンバランスが崩れることになる。それを避けるためCl⁻が胃壁から胃内腔に移動する。このH⁺とCl⁻の働きによって、胃酸が生じる。