

輸液の分布

輸液の分布は次のように考えるとよいと思います。

1. 人間の体は細胞膜によって細胞内、細胞外に分けられる。
2. 細胞外は血管壁によって間質と血管内に分けられる。
3. 水分は体重の約60%である。
4. 細胞内液は体重の約40%、細胞外液は体重の約20%である。それで細胞内液と細胞外液の比は40:20 つまり2:1である。ただし3:2とも考えられている。
5. 間質液は体重の約15%、血管内液つまり血漿は体重の約5%である。それで間質液と血漿の比は15:5 つまり3:1である。ただし4:1とも考えられている。
6. 自由水は細胞膜も血管壁も自由に通過することができる。
7. ナトリウムイオンは細胞膜を自由に通過することはできないが、血管壁は自由に通過することができる。
8. アルブミンは分子量が大きいので血管壁を自由に通過することができない。
9. 自由水は浸透圧を一定にするために細胞内、間質、血管内を自由に移動する。つまり細胞内の浸透圧が高くなれば、自由水は間質、血管内から細胞内に移動する。血管内の浸透圧が高くなれば、自由水は細胞内、間質から血管内に移動する。
10. 生理食塩水を輸液した時、ナトリウムイオンは細胞内に自由に入ることができないが、血管壁は自由に移動できるために、細胞外に均等に分布する。ナトリウムイオンが均等に分布すると、自由水も浸透圧を一定にするために細胞外に均等に分布する。つまり100mLの生理食塩水を輸液した時、間質に $100 \times 3/4 = 75$ mL、血管内に $100 \times 1/4 = 25$ mL分布する。
11. 5%ブドウ糖液は、ブドウ糖はすみやかにインシュリンで代謝されるため、自由水を投与したのと同じことになる。自由水は細胞膜も血管壁も自由に通過することができるため、自由水は細胞内、間質、血管内に均等に分布する。つまり100mLの5%ブドウ糖液を投与した時、細胞内に $100 \times 40/60 = 67$ mL、間質に $100 \times 15/60 = 25$ mL、血管内に $100 \times 5/60 = 8$ mL分布する。
12. 生理食塩水はナトリウムイオンは154 mEqで、ソリタT3は35 mEqで、ソルデム1号は90 mEqである。ソリタT3は生理食塩水を $35/154$ 、5%ブドウ糖液を $(154 - 35)/154$ つまり $119/154$ で混ぜたものに近い。ソルデム1号は生理食塩水を $90/154$ 、5%ブドウ糖液を $(154 - 90)/154$ つまり $64/154$ で混ぜたものに近い。
13. ソリタT3を輸液した時、生理食塩水の部分は生理食塩水と同じように分布し、自由水の部分は自由水と同じように分布する。つまり100mLのソリタT3を輸液した時、生理食塩水は $100 \times 35/154 = 23$ mL、自由水は $100 \times 119/154 = 77$ mLである。生理食塩水は間質に $23 \times 3/4 = 17$ mL、血管内に $23 \times 1/4 = 6$ mL分布する。自由水は細胞内に $77 \times 40/60 = 51$ mL、間質に $77 \times 15/60 = 19$ mL、血管内に $77 \times 5/60 = 7$ mL分布する。だから細胞内は 51 mL、間質は $17 + 19 = 36$ mL、血管内に $6 + 7 = 13$ mL分布する。
14. ソルデム1号を輸液した時、生理食塩水の部分は生理食塩水と同じように分布し、自由水の部分は自由水と同じように分布する。つまり100mLのソルデム1号を輸液した時、生理食塩水は $100 \times 90/154 = 58$ mL、自由水は $100 \times 64/154 = 42$ mLである。生理食塩水は間質に $58 \times 3/4 = 44$ mL、血管内に $58 \times 1/4 = 14$ mL分布する。自由水は

細胞内に $42 \times 40 / 60 = 28 \text{ mL}$ 、間質に $42 \times 15 / 60 = 11 \text{ mL}$ 、血管内に $42 \times 5 / 60 = 3 \text{ mL}$ 分布する。だから細胞内は 28 mL 、間質は $44 + 11 = 55 \text{ mL}$ 、血管内に $14 + 3 = 17 \text{ mL}$ 分布する。

15. *The ICU Book* では生理食塩水 1000 mL を輸液した時、間質が 825 mL で血管内が 275 mL になるとしている。間質と血管内の比は $825 : 275 = 3 : 1$ で今までの計算と同じだが、 $825 + 275 = 1100 \text{ mL}$ で入れた量よりも 100 mL 増えている。生理食塩水はナトリウムイオン、クロールイオンともに 154 mEq だから、浸透圧が $154 + 154 = 308 \text{ mEq}$ つまり 308 mOsm/L となり、血清浸透圧の 289 mOsm/L より高いため、細胞内から自由水が 100 mL 移動すると考えているためである。ただし生理食塩水はナトリウムイオン、クロールイオンへの解離率が 100% でないため、実際の浸透圧は血清と同じになるという文献もある。
16. アルブミンを投与した時、アルブミンは血管壁を自由に通過できないため、ナトリウムイオンよりも血管内にとどまるものが多く、浸透圧を一定にするため自由水が血管内にとどまりやすくなる。*The ICU Book* によると 5% アルブミンを 1000 mL 投与した時、血管内に 500 mL 、間質に 500 mL になるとしている。別のデータでは 5% アルブミンを投与した時、血管内液は投与量の $0.7 \sim 1.3$ 倍になり、 25% アルブミンを投与した時、血管内液は投与量の $4 \sim 5$ 倍になるとする。

輸液と NaCl、KCl

NaCl の分子量は $23 + 35.5 = 58.5 \text{ g}$ である。NaCl は 1 価だから分子量と 1 当量は同じになるから、 1 当量も 58.5 g である。 $1 \div 58.5 \doteq 0.0171$ だから、NaCl 1 g は約 0.017 当量である。つまり NaCl 1 g は約 17 ミリ当量 (mEq) である。生理食塩水は NaCl が 154 mEq である。これは生理食塩水 1 L に NaCl が 154 mEq 入っているということである。だから 500 mL の生理食塩水を 1 本点滴すると 77 mEq 入る。 $77 \div 17.1 \doteq 4.5$ だから 500 mL の生理食塩水を 1 本点滴すると 4.5 g の塩が入る。これは心不全や腹水や高血圧で塩分制限をしている人には無視できない量である。また生理食塩水 100 mL には NaCl が 15.4 mEq 入っている。 $15.4 \div 17.1 = 0.9$ だから 100 mL の生理食塩水には 0.9 g の塩が入っている。 $0.9 \text{ g} / 100 \text{ mL} = 0.9 \text{ g} / 100 \text{ g} = 0.009$ だから 0.9% の濃度である。

KCl の分子量は $39.1 + 35.5 = 74.6 \text{ g}$ である。KCl は 1 価だから分子量と 1 当量は同じになるから、 1 当量も 74.6 g である。 $1 \div 74.6 \doteq 0.0134$ だから、KCl 1 g は約 0.0134 当量である。つまり KCl 1 g は約 13.4 ミリ当量 (mEq) である。輸液の KN3B は K が 20 mEq である。これは KN3B 1 L に KCl が 20 mEq 入っているということである。だから 500 mL の KN3B を 1 本点滴すると 10 mEq 入る。 $10 \div 13.4 \doteq 0.75$ だから、 500 mL の KN3B を 1 本点滴すると 0.75 g の KCl が入る。