

招待講演 2

外科術後患者の輸液・栄養管理 ABC

小林國男

帝京大学医学部 救命救急センター

A. 体液の構成と水・電解質代謝

(1) 体液・電解質の構成と体液分布

生命活動は細胞の中での種々の反応により維持されているが、これらの反応はすべて水のなかで行われている。また、細胞を保護したり、細胞に種々の情報を伝えたり、細胞活動に必要な物質を運搬する媒体も水である。このように体内の水（体液）は生命維持に不可欠の生体構成要素である。

体液は大よそ体重の60%を占めるが、年齢、性別、肥満などにより多少変化する。脂肪組織は水を含まない一方、筋肉組織は大部分が水で構成されているため、脂肪太りの人は体液の体重に占める割合が小さくなり、逆に筋肉質のスポーツマンでは大きくなる。

体液は大きく3つのコンパートメントに分けられる。細胞内液、間質液、血漿であり、組織間液と血漿を合わせて細胞外液と呼ぶ。細胞内液は体液の2/3（体重の40%）を占め、残りの1/3（体重20%）が細胞外液である。細胞外液の3/4（体重の15%）は間質液としてあり、1/4（体重の5%）が血漿として血管内にある（図1）。

輸液の原則を理解するには、溶質と浸透圧による体液の動きを知っておくことが不可欠である。体液中の溶質には、電解質

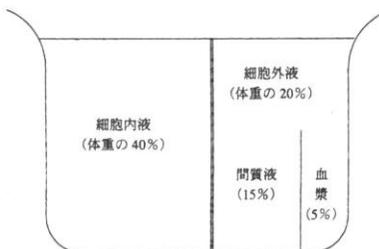


図1 体液の構成

(electrolyte)、晶質 (crystalloid)、膠質 (colloid) の3種類がある。電解質と晶質は半透膜である細胞膜を介して浸透圧を形成し、膠質は毛細血管壁を介して膠質浸透圧を形成する。半透膜とは水を通すが溶質を通さない膜のことで、半透膜で隔てられた溶液は、溶質の濃度（粒子の数）を均一化する方向に水が移動する（図2）。すなわち、水は濃度（粒

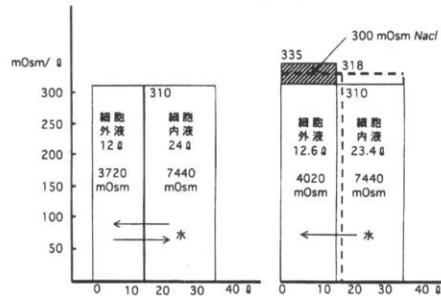


図2 浸透圧変化による体液移動

子の数）の低い溶液から濃度の高い溶液に移動し、この水の移動を妨げようとする圧力を浸透圧という。

体液中の主要な電解質は、Na, Cl, K, P, Ca, Mg などである。このうち体液の調節に最も大きな働きをするのはNaであり、細胞外液中の主要な陽イオンとして細胞外液の浸透圧を保っている。血清Na濃度は140～145mEq/lで、尿中には70～150mEq/lの濃度で排泄されている。Naは細胞内のKと対峙しているが、各種物質の細胞内への transporter として細胞内に入ったNaは、細胞膜のNaポンプによって細胞外へ汲み出される。このポンプは極めて重要で、細胞内で産生される生体エネルギー (ATP) の10～20%が消費されると言わ

れている。血清Na濃度が高くなれば水が細胞内から組織間に出てくるし、低くなれば逆に組織中から細胞内へ水が移動する。陰イオンはHCO₃⁻が自在に調節して陰イオンの平衡を保つため、浸透圧を決める電解質はNaであると言って過言ではない。

ClはNaと対をなす陰イオンであり、細胞外にあって浸透圧を形成する。Naほどの動きはなく、その増減にはHCO₃⁻が対応して陰イオン全体の平衡を保っている。したがって、Clの動きは酸塩基平衡に大きく影響する。

Kは細胞内の主要陽イオンで、細胞外液中には全K量の2%しか存在せず、血清中の濃度は3.5～4.5mEq/lである。しかし、その作用は筋活動、神経活動、酸塩基平衡などに重要な働きをしており、輸液に際しては留意しなければならない電解質である。酸塩基平衡の腎性調節のため、摂取量が少なくても一日に40mEq程度の尿中排泄があるので、摂取量が不足すると全K量は減少する。反対に腎不全では容易に血清K値が上昇する。

Caは体構成電解質で最も多いが、その99%は骨に存在する。Pも80%がCaと結合して骨に存在する。MgはKに次いで細胞内に多いイオンであるが、その多くは骨に存在する。これらのイオンは体内で重要な働きをするものの、急激な体内動態の変化はなく、輸液に大きく影響することはない。

細胞内液、間質液、血漿の電解質組成を図(3)に示す。

晶質 (crystalloid) は、電解質以外の浸透圧を形成する物質であり、ブドウ糖と尿素が

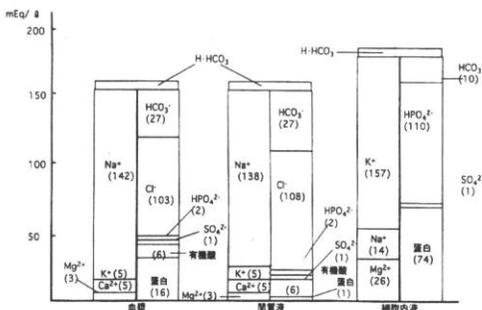


図3 体液の電解質組成

代表であるが、クレアチニン、アミノ酸、ポリペプチドなど多くの物質がある。しかし、電解質に比して浸透圧の形成に寄与する程度は非常に小さく、血清浸透圧は以下の式で表される。

$$\text{血清浸透圧} = 2 \times \text{Na} + \text{血糖値} / 18 + \text{BUN} / 2.8$$

しかし、血糖値が1,000mg/dlにもなるような重症糖尿病ではブドウ糖も浸透圧に大きく影響することになる。

膠質 (colloid) は、基本的にはたんぱく質であり、分子量が大きいため浸透圧には殆ど寄与しない。しかし、毛細血管壁のように電解質や晶質を自由に通す壁を介して膠質浸透圧 (colloid osmotic pressure, oncotic pressure) を形成する。主体は分子量の比較的小さいアルブミンで、膠質浸透圧の約90%を担っている。

(2) 恒常性を保つ4つの因子

細胞が順調に機能するためには、周囲の環境、すなわち細胞外液の恒常性が保たれることが大切である。恒常性の維持には、①体液量、②浸透圧、③電解質組成、④酸塩基平衡、の4つがいずれも正常範囲に保たれていることが必要であり、これらはお互いに連携している。

1) 体液量

体液量の変化は、水分の需給のバランスが崩れ、腎による調節が追いつかなくなったときに起きる。血漿、間質液、細胞内液の順に変化を受け易く、出血による血漿の喪失が最もよく見られる体液の変化である。出血後には間質液が血管内へ移動するため、間質液量も減少する。外傷や熱傷で見られる浮腫の形成も、機能的細胞外液の喪失となる。

2) 浸透圧

浸透圧に大きく影響するのは電解質、とくにNaの変化であるが、糖尿病性昏睡患者のように血糖値が著しく高値の場合には浸透圧も高くなり、細胞内脱水を起こす。血漿の膠質浸透圧の変化では、しばしば低アルブミン血症により膠質浸透圧の低下が見られる。外

科的患者では、栄養障害による慢性の低アルブミン血症、大量の電解質輸液による急性の低アルブミン血症がしばしば見られる。

3) 電解質組成

電解質組成が変化するのは細胞外液であり、主としてNaとClの増加や低下がみられる。消化液中には種々の電解質が含まれるため、胃液の吸引が続くとClが減少する。ClにはHCO₃が対応して動くため、低Cl血症ではHCO₃が増加してアルカローシスとなる。Naは細胞外液の浸透圧を調節する電解質であり、高Na血症では細胞内の水が細胞外に移行して細胞内脱水を生じ、低Na血症では細胞内浮腫を生じる。血清Na濃度は体内水分量と連動するため、血清中の値がそのままNaの過不足を示すわけではない。血清Na濃度が高いのは、水分のみを喪失した高張性脱水か、熱傷時のHLS輸液のようにNaの急速負荷をした時である。血清Na濃度が低いのは、Naの不足か水分の過剰である。慢性の低栄養状態では、125～135mEq/lの低Na血症を見ることがある。栄養障害による細胞内電解質減少により細胞内の浸透圧が低下したのに対応して、低Naにより浸透圧の平衡を保っていることによる。

4) 酸塩基平衡

血清のpHは7.4を正常値としてごく狭い範囲に保たれている。血清pHはHenderson-Hasselbalchの式でみられる通り、代謝性の因子と呼吸性の因子により調節されている。

$$pH = 6.1 + \log \frac{HCO_3^-}{H_2CO_3}$$

HCO₃⁻は代謝性の因子、H₂CO₃は呼吸性の因子で、その比は20:1である。生体の酸塩基平衡は、炭酸と重炭酸塩によるバッファー作用、代謝性・呼吸性それぞれの因子が変化することによって代謝性:呼吸性の比を20:1に近づける代償作用、の二つの機序によって保たれている。これらの生体内での調節で対応できない場合には、輸液を含む外部からの治療が必要となる。

B. 術後患者の輸液管理

(1) 輸液の目的

輸液は細胞の外部環境、すなわち細胞外液の恒常性を是正、維持するために行われる。したがって、輸液の目的は、①水分補給による体液量の補正、②血漿浸透圧、膠質浸透圧の補正と体液分布異常の是正、③電解質の補給と電解質組成の正常化、④酸塩基平衡の是正、であり、これに⑤熱源・蛋白源の補給による栄養障害の改善、が加わる。

(2) 外科系患者の体液変動

外科系の患者は種々の程度の侵襲下であり、最近の低侵襲手術後のように侵襲程度の低いものから、多発外傷や広範囲熱傷のような侵襲の大きい病体まで幅が広い。しかし、いずれの患者も程度の差はあれ、Mooreのまとめた体液変動を示すと考えてよい。すなわち、コルチゾール、カテコラミン、ADHなどの作用により、術後2～3日 (acute injury phase) は、尿量や尿中Na排泄量が減少して水分平衡やNa平衡は正となり、反対にK平衡や窒素平衡は負となる。術後の患者では、術中の輸液管理の影響を引き継ぐため、麻酔中のIn-Outに留意しなければならない。外傷など一般の外科系救急疾患では、出血や浮腫形成などで血漿量や間質液量の減少が見られるのが普通である。

(3) 輸液剤の種類

輸液剤は、水分・電解質補給を目的とするものと、栄養輸液剤に分けられるが、目的が異なるので後者については別に記述する。

一般の輸液剤は、晶質液と膠質液に分けられる。晶質液はさらに電解質液と5%ブドウ糖液に分けられ、膠質液は血漿製剤と人工血漿増量剤に分けられる。

1) 電解質液

電解質液には、種々の電解質を含む電解質液 (複合電解質製剤) と、単一の電解質を含む液 (単一電解質製剤) があるが、一般の輸液には複合電解質輸液剤が用いられる。単一電解質液は原則として単独で用いられることはなく、特定の電解質を補充する目的で他の輸液剤に混ぜて用いられる。複合電解質液は

表1 各種複合電解質輸液剤の電解質組成

製剤分類	Na ⁺ (mEq/l)	K ⁺ (mEq/l)	Ca ⁺⁺ (mEq/l)	Mg ⁺⁺ (mEq/l)	Cl ⁻ (mEq/l)	HPO ₄ ²⁻ (mEq/l)	Lactate Acetate (mEq/l)	糖電解質 (mEq/l)
等張電解質輸液剤								
生理食塩液	154				154			308
リンゲル液	147	4	5		156			312
乳酸リンゲル液	130	4	3		109		L: 28	274
酢酸リンゲル液	130	4	3		109		A: 28	274
低張電解質輸液剤								
開始液 (1号液)	77~90				70~77		0~20	154~180
細胞内補充液 (2号液)	60~84	20~30	0~5	0~2	49~66	0~10	20~49	174~214
維持液 (3号液)	35~50	10~35	0~5	0~5	35~50	0~10	20	110~150
術後回復液 (4号液)	30	0~8			20~28		10	60~76

さらに、等張性電解質液（細胞外液補充液）と低張性電解質液に分けられる。電解質組成は（表1）に示す。

a. 等張性電解質液（細胞外液補充液）

Na濃度が細胞外液に近い輸液剤で以下の製剤がある。

- ①生理食塩液：0.9%NaCl液で、等張であるがNa濃度は細胞外液よりも高く、Clは著しく高い。大量投与で高Na血症や高Cl性アシドーシスを生じる危険がある。激しい嘔吐などCl喪失の病態には適応となる。
- ②リンゲル液：KとCaを加えてNaを生理的濃度に近づけているが、Clは高濃度のままである。長年親しまれてきたが、今では殆ど使われない。
- ③乳酸リンゲル液：Naを130mEq/lに下げるとともに、乳酸塩を加えてClを生理的濃度に近づけている。乳酸塩は肝で代謝されて重碳酸塩となり、アルカリ化剤としても作用する。現在最も広く使われている細胞外液補充液であるが、外傷やショックなどで肝機能が障害されている場合には、乳酸塩の代謝が滞って乳酸アシドーシスを生じる。外傷、熱傷、循環血漿量減少性ショックなどの外科系救急患者に対する初期輸液の第一選択輸液剤である。
- ④酢酸リンゲル液：乳酸塩の代わりに酢酸塩を加えたものである。酢酸塩は肝以外に腎や筋肉組織でも代謝されるため、重症救急患者

に対して使用される機会が増えている。

b. 低張性電解質液

基本的に細胞外液補充液と5%ブドウ糖液を混ぜた液で、混ぜる割合とKの含有の有無によって4つの種類に分けられる。

- ①1号液：細胞外液補充液を5%ブドウ糖液で1/2~2/3に薄め、Kを除いたもの。Na濃度は70~90 mEq/lとなる。腎機能や脱水の程度などがわからない患者に、とり合えず投与する輸液剤として安全に使用できるので「開始液」とも呼ばれる。
- ②2号液：1号液に、K、Ca、Mgなどの細胞内電解質を加えたもので、「細胞内液補充液」とも呼ばれる。
- ③3号液：細胞外液補充液を1/4~1/3に薄めたもので、Na濃度は35~50 mEq/lである。体液の異常がない状態の患者で、経口摂取ができない場合に、尿量や不感蒸泄量を補うために用いられる。「維持液」と呼ばれて術後患者などに広く使用されている。
- ④4号液：総電解質濃度が60~70mEq/l（Na 30mEq/l）と最も低電解質濃度の液で、自由水を提供する目的で使用されるほか、Kを含んでいないので、腎不全など特殊な患者に用いられる。「術後回復液」とも呼ばれている。

2) 5%ブドウ糖液

浸透圧は血清のそれと等しく等張である。ブドウ糖はインスリンの助けを借りて細胞内

に容易に入り代謝されるので、残るのは水だけとなる。すなわち自由水を供給する目的で使用される。また、電解質を含まないので、心不全などNa負荷が望ましくない患者の静脈路確保などにも用いられる。

3) 膠質液

たんぱく質あるいは類似の高分子化合物を含み、膠質浸透圧を形成する輸液剤で、血漿製剤と人工血漿増量剤に分けられる。膠質液は輸注されると血管内に留まり、血液の膠質浸透圧を高めて組織間液を血管内に誘導して循環血液量を保持する働きをする。

a. 血漿製剤

①新鮮凍結血漿：全血より分離された血漿を-20℃以下で凍結保存したものである。以前には循環血漿量減少性ショックに対して大量に使用されたが、平成11年に厚生省医薬安全局血液対策課が提示した「血液製剤の使用指針」により、適応が基本的にPT, APTTの延長している凝固障害の患者に限られたため、使用量も使用頻度も減少している。

②アルブミン製剤：プール血漿から抽出した「人血清アルブミン」で、血漿と等張の5%溶液と、高張の20%, 25% 溶液がある。最近では遺伝子組み替えでも作られている。出血性ショックや重症熱傷など循環血漿量減少や、低アルブミン血症に対して、循環血漿量や膠質浸透圧の保持を目的に投与される。1gのアルブミンは20mlの水を保持する。

③加熱人血漿蛋白：プール血漿から作られた蛋白成分の製剤で、アルブミン濃度は4.4%とやや低い。出血性ショックや低アルブミン血症に用いられる。

b. 人工血漿増量剤

デキストラン製剤（分子量40,000の低分子デキストランと、分子量70,000の高分子デキストランがある）とHES（hydroxyethyl starch）製剤があり、出血性ショックに広く使われている。大量使用では凝固異常や腎障害が見られるので、1,000ml程度の使用に止めるのがよい。

(4) 各輸液剤の特性

上記種々の輸液剤を投与した場合の体内での動態を理解することが大切である。体液は細胞内、組織間、血管内の3つのコンパートメントに分かれることは前述した。

5%ブドウ糖液は、血管内に投与されると組織中ではもとより細胞内にまで分布する。インスリンの助けを借りて細胞内に取り込まれたブドウ糖が酸化されると水だけとなるが、この水はどのコンパートメントにも自由に分布するので自由水と呼ばれる。

電解質液は、血管内に投与されると組織中にまで分布していくが細胞内には入らない。しかし、細胞外の電解質濃度を変化させ、浸透圧により細胞内の水が移動することにより細胞内のコンパートメントに影響する。血管内に投与された電解質液は、平衡に達すると血管内と組織中に均等に分布するため、投与された量の1/3～1/4しか血管内に留まらない。外傷や出血性ショックの初期輸液に用いた場合、出血量の3～4倍量の輸液が必要となり、このため組織の浮腫を生じることになる。

膠質液は、健常人に投与されると組織中に出ることなく血管内に留まるため、投与された量がそのまま血漿の増加に繋がる。外傷や熱傷などの毛細血管壁透過性の亢進した病態では、一部が組織に漏れ、組織の膠質浸透圧を上げる結果となる。組織に漏れたアルブミンや高分子化合物はリンパ流により排除される。

(5) 輸液管理の原則と注意点

輸液には、体液の異常がない人に対して経口摂取が出来ない期間輸液をする場合と、体液の異常を補正する目的で行われる場合がある。

1) 体液の異常がない場合の輸液

健常人では、一日1,500～2,000mlの水を飲水あるいは食物の中から摂取している。この他体内では、ブドウ糖や脂肪が酸化されて出る代謝水（成人で約200ml）がある。一方、体から出る水は尿と便と不感蒸泄である。尿量は排泄すべき溶質の量により調節されるため600～2,000mlと幅があるが、一般には1,000mlと考えてよい。不感蒸泄は約600～

900mlで、75%は皮膚から、25%は肺から出ている。この他、発汗や発熱の場合には、相当量の水が失われる。

侵襲度の低い術後患者では、大きな体液の異常は無いものと考えられ、
 輸液量 = 尿量 + 不感蒸泄量 - 代謝水となる。短期間で経口摂取が可能と思われる患者では、1,500～2,000mlの輸液を低張電解質液（術後当日はKを含まない液）で投与すればよい。5%ブドウ糖も含まれているので、300～400kcalの熱源で多少の蛋白節約効果も期待できる。

2) 体液異常のある場合の輸液

大手術、外傷、熱傷、急性腹症や出血性ショックなどの外科系疾患では、循環血漿量や間質液量、細胞外液の電解質組成や酸塩基平衡の異常がみられるのが一般的である。侵襲後早期には、循環血液量の減少、ADH分泌による尿量減少と浮腫の形成、third spaceへの体液貯留と機能的細胞外液量の減少などがみられ、Naポンプの回復とともにrefillingが起こって循環血液量が増加してくる。これらの外科侵襲急性期には、細胞外液補充液を初期輸液として用いるのが原則であり、出血性ショックなどには膠質液も追加される。いずれにしても、バイタルサイン、尿量、体重、胃管や創部からの排液量、Hb、Ht、血清電解質濃度、尿中電解質濃度、中心静脈圧などの推移を参考にして輸液計画を立てる。心肺機能不全を伴う場合には、Swan-Ganzカテーテルのデータも参考になる。

各種の脱水症など比較的長期にわたる体液異常のある患者では、水・電解質の著明な欠乏をみることもある。このような場合の輸液では、他の全ての薬物と同様に「一度静脈内に輸注したものは回収できない」ことを忘れてはいけない。ショックなど緊急の場合は別にして、体液異常の補正は時間をかけてゆっくり行う。すなわち、水・電解質の補給は、計算上の不足量の1/2を目標に行う。一時の補給は循環系に負荷をかけ、生体に備わった代償機構を無視するばかりでなく、過剰補給された場合の対処は難しいためである。

体液量の変化の把握は以下の式で推定することができる。

$$\begin{aligned} \text{高Na血症時の体液不足量 (1)} \\ &= 0.6 \times (\text{体重kg}) \times \{ \text{Na}/140 - 1 \} \\ \text{低Na血症時の過剰体液量 (1)} \\ &= 0.6 \times (\text{体重kg}) \times \{ 1 - \text{Na}/140 \} \end{aligned}$$

C. 外科患者の栄養輸液

輸液の目的の一つに栄養輸液による強制栄養がある。わが国では調査が乏しいが、欧米では入院患者の30～40%は低栄養状態にあるとされ、栄養評価と栄養治療の重要性が指摘されている。とくに外科系患者では、侵襲による代謝変動が著しく、適切な栄養治療がなされないと急速にlean body massの減少をきたして病状を悪化させることになる。強制栄養法には、経腸栄養法と経静脈栄養法がある。1967年のDudrickらによる経中心静脈栄養法の開発は、栄養輸液に革命をもたらした。その後、腸管を使用しないことによる生体への悪影響、とくにbacterial translocationが問題となり、欧米では1980年代から「腸管が利用できるときは腸管を利用するべし」との原則が周知されている。一方わが国では、最近に至るまで経中心静脈栄養による栄養管理が主として行われていたが、現在では経静脈栄養から経腸栄養に比重が移りつつある。

栄養輸液には、経中心静脈栄養法（高カロリー輸液）と末梢静脈栄養法がある。末梢静脈では、600mOsm/l以上の高張輸液剤を使用すると静脈炎を起こすためエネルギー源の補給は制限されるが、敗血症などの重篤な合併症は回避される。5～7.5%ブドウ糖液、脂肪乳剤などを用いて一日800kcal程度のエネルギー源の補給が可能である。7～10日後には経口摂取あるいは経腸栄養が可能な症例が適応となる。

経中心静脈栄養法は、10日以上消化管が使えない病態、例えば短腸症候群、放射線腸炎、重症急性膵炎、イレウスや癌による腸閉塞などが絶対的適応となる。消化管瘻や広範囲熱傷などの過大侵襲下の患者にも単独あるいは

経腸栄養との併用で施行される。本法の合併症として、①カテーテル挿入時の合併症（気胸、動脈穿刺など）、②カテーテルに起因する合併症（カテーテル敗血症など）、③代謝上の合併症（高血糖、電解質異常、肝機能異常な

ど）、④その他の合併症（消化管粘膜萎縮、胆汁うっ滞など）がある。患者個々の栄養評価を行い、栄養素の必要量を正しく計算してきめ細かい栄養管理を行うことが大切である。