

## 輸液療法

### 概念

輸液の目的は大きく次の5つに分けられる。

- ①失われた水分、電解質の補充のための輸液
- ②体液の恒常性を維持するための輸液
- ③栄養補給としての輸液
- ④毒物排泄や副作用軽減をねらった輸液
- ⑤薬剤を投与する手段としての輸液

しかし、目的が何であれ、輸液という行為は経口摂取ができない、あるいは経口投与ではその目的を達しえない状況にある場合においてのみ行われるべきものである。本項では、水電解質の補充のための輸液および恒常性維持のための輸液を中心に概説する。

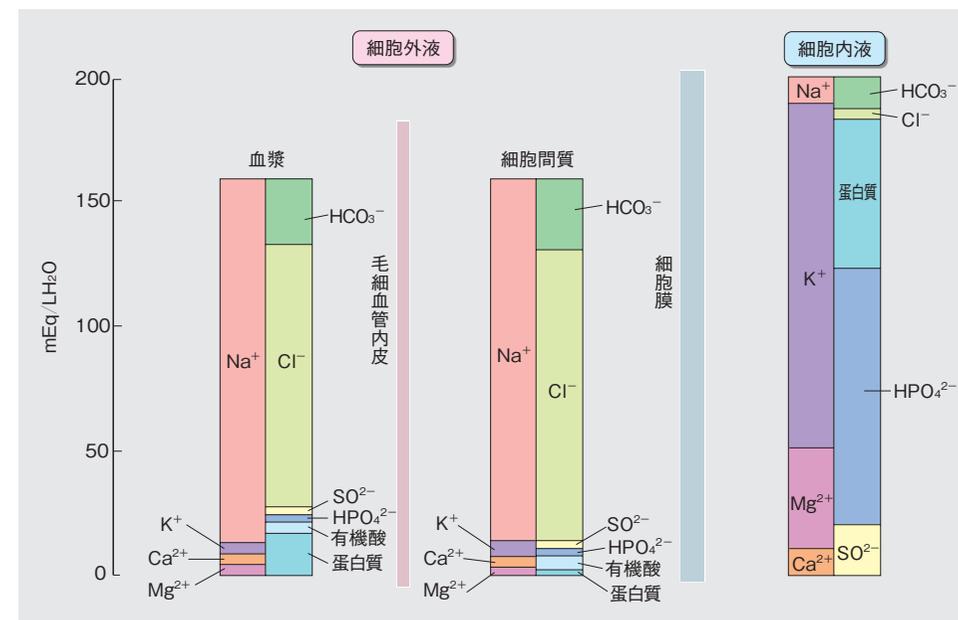
### 体液生理の基礎

人体の水分量は成人男性で体重の約60%を占め、その割合は加齢とともに減少する。また脂肪組織はほとんど水分を含有していないため、やせ型の人には肥満型の人に比べて水分の割合が大きい。通常、輸液量を計算する場合、実測体重ではなく理想体重を用いる理由はここにある。

### 細胞内液と細胞外液

体内の水分量のうち2/3が細胞内に、1/3が細胞外に分布しており、それぞれを細胞内液、細胞外液として区別する。それらの内部環境は29に示すように、電解質組成の点でかなり異なっている。一言でいえば細胞内液はK<sup>+</sup>が豊富で、細胞外液はNa<sup>+</sup>が豊富である。また両者は半透膜で仕切られており、浸透圧は等しく保たれている。浸透圧とは溶液中における解離した分子の総和であり、29に示した各区画内の溶質の総等量異なっていることは矛盾しない。

さらに細胞外液は血管内(=血漿)と血管外(=間質)に分けられ、両者の比は1:3である。血漿と間質の電解質組成はほぼ同じであるが、間質の蛋白濃度



29 主要体液区画の主な溶質の組成

濃度は各区画が主に電解質でできており、またどの区画においても陰性荷電の総数はすべて陽性荷電により中和されている。

は血漿より低いという特徴を有する。この血漿蛋白濃度の違いは、膠質浸透圧 (oncotic pressure) の差として反映され、血漿量の維持ならびに組織の浮腫防止のうえで重要な役割を演じている。

### 輸液剤の種類

現在、数多くの輸液剤があり、それらはいくつかの基本的なグループに分類される。30には、輸液剤を等張食塩液との対比において分類する方法を示した。また、各輸液剤の電解質組成を31に示した。

### 等張液

細胞外液と等張の 300 mOsm/kgH<sub>2</sub>O に近似するよ

うに調整された製剤であり、代償細胞外液とも呼ばれ、急性の細胞外液喪失(たとえば失血、ショックなど)に対して用いられる機会が多い。投与された量のかなりの部分が血管内にとどまりやすいという性質がある。代表的な製剤として生理食塩液が知られているが、

### 30 各種輸液剤と等張液(生理食塩液)との対比

等張液	154 mEq/L	代償細胞外液	急性細胞外液喪失、ショックなど
1/2 等張液	77 mEq/L	開始液 維持液 術後回復液	安全域の高い輸液 成人用維持輸液
1/3 等張液	51 mEq/L		
1/4 等張液	38 mEq/L		
1/8 等張液	19 mEq/L	新生児用維持液	小児用維持輸液

### 31 各種輸液剤と血漿

種別	薬剤名	電解質濃度 (mEq/L)								糖 (%)	浸透圧比
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	lactate <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
血漿		140	5	5	2	103	24			0.1	1
等張液	生理食塩液	154				154					1
	リンゲル液	147	4	5		156					1
	乳酸リンゲル液	130	4	3		109		28			1
1/2 等張液	ソリタ-T1 号 <sup>®*</sup>	90				70		20		2.6	1
	ソリタ-T2 号 <sup>®**</sup>	84	20			66		20	18	3.2	1
	EL-4 号 <sup>®**</sup>	57	25		5	49		25	13	5.0	2
1/3 等張液	ソリタ-T3 号 <sup>®</sup>	35	20			35		20		4.3	1
	フィジオソール 3 号 <sup>®</sup>	35	20		3	38		20		10	2
1/4 等張液	ソリタ-T4 号 <sup>®</sup>	30				20		10		4.3	1
	フィジオソール 4 号 <sup>®</sup>	30	8			28		10		10	2

\*開始液, \*\*細胞内修復液。

この輸液は血清  $\text{Cl}^-$  濃度に比べるとかなり高い  $\text{Cl}^-$  濃度を有しているため、長期大量に用いると高クロル性アシドーシスを招きやすい。一方、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  に加え乳酸を添加して生理食塩液の欠点を補ったものに乳酸リンゲル液があるが、乳酸が体内で代謝され、等価の  $\text{HCO}_3^-$  になることを利用したものである。

## 1/2 等張液

等張という点では 5% グルコース液も生理食塩液も同じであるが、グルコース液の場合は体内で速やかに代謝されるため、結果的には自由水（溶質を含まない水）のみを負荷したに等しい。かといって純水のみは輸液は行えない。ここでいう 1/2 等張液とは、生理食塩液などの等張液を 5% グルコース液と 1:1 の割合に混ぜ合わせ、電解質濃度を等張液の 1/2 に薄めた輸液製剤として理解される。

等張液の過剰投与は生体に急速な  $\text{Na}^+$  負荷をもたらし、うっ血性心不全などを招く危険性が高いのに対し、1/2 等張液は  $\text{Na}^+$  負荷が少ないことより、水分が速やかに細胞内へと移動しやすく、循環への影響は比較的少ない。この製剤は、脱水症を起こしている患者に早急に輸液治療を開始したいが、脱水の種類と程度がその時点で不明である場合などに使用されることが多く、開始液とも呼ばれる。

また、同じ 1/2 等張液のなかに細胞内補充液と呼ばれる製剤がある。 $\text{Na}^+$  濃度は 1/2 等張液とほぼ同じであるが、細胞内の重要な電解質である  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$  を含んでおり、細胞内液が主に欠乏していると考えられる病態、たとえば嘔吐や下痢が続いているような場合や、利尿薬を長期に服用して脱水と電解質異常をきたしているような場合に使用される。しかし腎機能低下患者では、高カリウム血症、高マグネシウム血症、高リン血症を容易にきたすため注意を要する。

## 1/3 等張液

維持輸液として知られている製剤で、5% グルコース液などで電解質濃度を等張液の 1/3 に薄めたものである。

代表的な製剤の一つにソリタ-T3 号® があり、その組成は、 $\text{Na}^+$  が 35 mEq/L、 $\text{K}^+$  が 20 mEq/L、 $\text{Cl}^-$  が 35 mEq/L、 $\text{lactate}^-$  が 20 mEq/L で、総電解質濃度が 110 mEq/L と生理食塩液の 308 mEq/L のおよそ 1/3 となっている。

この種の製剤は、主として生理的不感蒸泄や尿中排泄による水、電解質を補充し、体液バランスを維持する目的に用いられることが多い。

## 1/4 等張液

1/3 等張液をさらに薄くした輸液製剤に 1/4 等張液がある。 $\text{K}^+$  は含まないか、含んでも少量である。術後すぐの患者に比較的よく用いられることから、術後回復液とも呼ばれる。そのほか水欠乏性脱水症、腎機能低下のある患者に用いられる本剤の主たる目的は自由水の補給である。

## 水・電解質バランスと維持輸液

食事で摂取する水と電解質の量は日々変化しており、それらの量をあらかじめ知ることは難しい。しかし、特別な変化（激しい下痢や嘔吐、発熱）がない限り、その人の尿を調べれば 1 日に排泄される水と電解質の量が簡単に把握できる。

## 水バランス

1 日における水のイン-アウトバランスは、体重 60 kg の成人男性を例にとると④⑤のようになるが、これは腎による尿量調節が正常に機能しているという前提に成り立っている。言い換えれば、腎機能が保たれている患者の水バランスをはかるためには、(前日の)尿量 + 600 mL (不感蒸泄 - 代謝水) の水分を 1 日の輸液量として補えばよいことがわかる。

## 電解質バランス

電解質バランスのほうはどうであろうか。1 日に排出される尿を調べてみると、通常  $\text{Na}^+$  として 70~140 mEq が、 $\text{K}^+$  として 20~70 mEq が排泄されており、両者とも平均的な 1 日摂取量に相当する。つまり電解質においても特別なことがない限り、イン-アウトバランスがうまく保たれているということになる。したがって、先に求めた維持水分量の中に、前日の尿に含まれる電解質量を加えて輸液を行えば、体内の水と電解質の恒常性をしばらくのあいだは維持できるといことになる。ただし、 $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  の量だけを考慮に入れた輸液では、他の微量元素が不足してくることに留意すべきである。

### ④ 成人の 1 日の水バランス

摂取		排泄	
食事	700 mL	不感蒸泄	900 mL
飲水	1,400 mL	尿	1,400 mL
代謝水	300 mL	便	100 mL
合計	2,400 mL	合計	2,400 mL

表中の不感蒸泄とは体の表面から失われる水分のことで体重 kg あたり 15 mL であり、代謝水とは細胞の代謝によって産生される水分のことで体重 kg あたり 5 mL である。

## 高齢者、腎不全患者の輸液

乳幼児や高齢者、あるいは腎機能低下患者に輸液を行う場合、慎重に輸液製剤の選択、投与量、投与速度を決定しないと、容易に溢水や電解質異常をきたしやすいので注意を要する。

一般的には、等張液を選択するのであれば投与量および投与速度を控えめにし、投与量を多くしたいのであればより低張な液を選択する。また高度に腎機能が低下した患者に対しては、 $\text{K}^+$  を含まない輸液剤を選択したほうが安全であろう。

## 輸液療法の実際

ここでは輸液の機会に遭遇しやすい脱水症の概略と治療法について述べ、さらに各論として代表的な病態、消化管障害および熱傷時における輸液療法について言及する。

## 脱水症

細胞外液量の減少した状態を指し、その原因として出血、嘔吐、経鼻胃管、下痢、瘻孔からの消化液喪失によるものが多く、これらは体内からの水分の喪失としてとらえられる。しかし、なかには感染、腹水、イレウス、熱傷にみられるように、体液の移動により脱水症を引き起こすことがある。いずれの場合においても、輸液を開始するにあたって、体液の欠乏量、喪失した体液の組成、さらには脱水に至った時間を可能なかぎり推定することが重要である。すなわち急性の体液喪失であればあるほど細胞外液からのものであり、慢性であればそれだけ細胞内液からの影響も加わっているという原則がある程度成り立つ。

### 体液欠乏量の算出

体液の欠乏量の推定に関してはいくつかの方法が試みられている。そのなかで体重測定が最も簡便な方法であるが、体脂肪、筋肉などの実質部分の体重減少分が考慮されていない点や、体液の移動に伴う脱水症の場合、体重の変動がほとんど認められないといった欠点がある。このような場合、ヘマトクリット (Ht) や血清総蛋白濃度 (TP) を参考に体液欠乏量を算出するか (下式)、積極的に中心静脈圧の測定を行い欠乏の程度を知ることが必要である。そしてこれらの推定法により求めた欠乏量の 1/2 ないし 1/3 をまず補正し、その時点で再度欠乏量の推定を行い、少しずつ補正を繰り返しながら正常の状態に近づけていく方法をとるのが望ましい。

$$\text{体液欠乏量 (L)} = \text{健常時体重 (kg)} \times 0.6 \\ \times (1 - \text{健常時 Ht (TP)} / \text{現在の Ht (TP)})$$

### 脱水症の分類

水と  $\text{Na}^+$  のいずれが多く欠乏しているかによって、脱水症の患者を等張性脱水、高張性脱水および低張性脱水の 3 つのタイプに分類する方法がある。これは、脱水症の重症度を推定するうえで、また治療となる輸液剤の選択に有用な情報を与えてくれる。

**等張性脱水**：水分とともに  $\text{Na}^+$  も同程度に失われた場合で、血漿浸透圧に変化がみられないため細胞外液のみが減少する。出血や下痢など大量かつ急速な細胞外液の喪失時に生じやすく、循環血漿量の減少に基づく血圧低下が出現しやすい。したがって、このタイプの脱水症の治療は等張液による輸液が基本である。

**高張性脱水**： $\text{Na}^+$  よりも水分のほうが多く失われる場合で、血漿浸透圧は上昇する。その結果、細胞内から細胞外へ水分の移動が生じ、循環不全などの細胞外液喪失症状は現れにくい。他の脱水症に比べ、口渴が強いのが特徴である。したがって、飲水行動をとれない意識障害者をはじめ、高熱患者、腎機能が低下している幼児や高齢者に多い。治療のための輸液剤は 5% グルコースが用いられる。

**低張性脱水**：高張性脱水とは逆に  $\text{Na}^+$  が水分よりも多く失われる場合で、低ナトリウム血症を呈し血漿浸透圧は低下する。その結果、細胞内へ水分が移動し、血圧低下、顔面蒼白、四肢冷感などの末梢循環不全症状が出現しやすい。この種の脱水症は副腎皮質機能不全症や塩類喪失性腎症を除き、適切な輸液が行われなかった場合に生じる医原性のものがほとんどである。

治療は等張液による輸液が基本であるが、血清  $\text{Na}^+$  濃度が 120 mEq/L 以下の場合、急速な  $\text{Na}^+$  補給を行うと非可逆的な神経障害として橋中心髄鞘融解 (central pontine demyelination) を起こすことがあり、血清  $\text{Na}^+$  濃度 120 mEq/L までは、1 日 10 mEq/L の範囲内で補正することが推奨されている。

## 消化管疾患時の輸液療法

唾液、胃液、胆汁、膵液、小腸からの分泌液を合わせると、1 日におよそ 9 L もの水分が消化管で出入りしている (enterosystemic cycle)。しかも、これら消化管液には相当量の電解質が含まれているので、ひとたび消化管のいずれかの部分に閉塞や吸収障害が生じれば、容易に脱水や電解質異常をきたすことになる。

### イレウス

腸管内容が種々の原因により通過障害を起こし、肛側へ運ばれないために、閉塞口側腸管内に消化管液が貯留して脱水症状を呈する。この種の脱水は、前述したように体液の移動によるものであるが、これに嘔吐が加わると、体液の喪失による脱水症も重なり、症状はさらに悪化する。一般に高位小腸の閉塞は嘔吐を伴っているため、胃液中に含まれる  $\text{H}^+$  が大量に失わ

れるほか、 $\text{Cl}^-$ も同様に失われるので、低クロル性アルカローシスになる。このため生理食塩液などを用いて低クロル性アルカローシスを是正していくのが治療の基本となる。乳酸リンゲル液はアルカローシスを助長するので、用いるべきではない。

一方、下位小腸の閉塞の場合、嘔吐は軽いが予想以上に腸管内への大量の液体貯留をきたすことが多く、脱水量の推定には注意を要する。前述の水分喪失量推定式や中心静脈圧（central venous pressure：CVP）の値を参考にするとよい。

#### 下痢

大量の下痢の場合、通常便中に $\text{K}^+$ と $\text{HCO}_3^-$ が失われて低カリウム性アシドーシスになる。このため乳酸リンゲル液による輸液が脱水症およびアシドーシスの補正に適しているが、炭酸水素ナトリウム（メイロン®）などを用いて急激なアシドーシスの補正を行うと、低カリウム血症がさらに悪化するので注意を要する。

#### 熱傷時の輸液療法

広範囲熱傷の受傷初期の病態は、毛細血管壁透過性亢進による血漿成分の血管外への漏出と、熱傷創面からの水分漏出による循環血漿量の著しい減少であり、この病態を放置すれば容易に循環血漿量減少性ショック（hypovolemic shock）が引き起こされる。したがって、早急な大量輸液が必要である。

現在、一般に行われている輸液方法は、受傷後24時間の総輸液量を乳酸リンゲル液あるいはブドウ糖加酢酸リンゲル液で $4\text{ mL} \times \text{熱傷面積}(\%) \times \text{体重}(\text{kg})$ とし、このうち1/2を受傷後8時間で投与し、残りの1/2を16時間かけて投与するというものである。また、新鮮凍結血漿（fresh frozen plasma：FFP）などのコロイドは受傷後24時間を経過してからの投与が推奨されている。むろん、尿量（0.8～1.0 mL/kg/時）、血圧、脈圧、心拍数は常にモニタリングすべきであることはいうまでもない。

（成瀬正浩，富田公夫）

#### ●文献

- 1) 成瀬正浩，富田公夫：輸液の臨床—1/2～1/3輸液。臨床医 1997；23：2337.
- 2) 内田俊也：水・電解質代謝異常，輸液療法の理論と実際。日本内科学会雑誌 1997；86：1897.
- 3) 中山裕史ほか：栄養・代謝の基礎知識。北岡建樹（編）。ポケット輸液マニュアル。東京：羊土社；2010。p.34.
- 4) 安達政隆ほか：輸液療法の原則。飯野靖彦ほか（編）。経静脈治療オーダーマニュアル。東京：メディカルレビュー社；2016。p.597.