

I 体液量測定

1 生理的意義

健康人の体液はその量、組成、分布ともに常に変動しているが、動的平衡状態にあり、一定範囲内に保たれている。しかし、この平衡状態の維持機構が何らかの原因で破綻した場合には、速やかな処置を行わないと重大な結果を招くことがある。そのため、体液量の評価測定法に習熟することは重要である。

a 体液の量と分布

水は生体体重の50～70%、平均60%を占める。しかし、その比率は体脂肪量によって異なり、脂肪量が多いほど体重に占める水分の比率は低く、脂肪量が少ないほど高くなる。体液量と脂肪含量の間には

$$\text{脂肪含量 (\%)} = 100 - [\text{全体液量 (\%)} / 0.732]$$

の式が成り立ち、脂肪を除いた除脂肪体重に対する水分量はほぼ一定で、約73%である。

体内の水分量の分布は年齢、性別、栄養状態により異なるが(表7-1)、成人男性の場合には全体液量のおおよそ2/3(体重の約40%)が細胞内に細胞内液として、残り1/3(体重の約20%)が細胞外に細胞外液として分布する。細胞外液は、さらに組織間液(体重の約15%)と血漿(体重の約5%)とに分けられる。また、血漿は血管内を循環している循環血漿と各種臓器や皮下組織に貯留する貯蔵血漿とに分類される。

各区分の体液は図7-1に示す組成上の特徴をもつ。細胞外液である血漿と組織間液の組成には血管壁を通過せず膠質浸透圧のもととなっている蛋白分子に違いはあるが、ともに主たる構成要素は陽イオンである Na^+ と陰イオンである Cl^- 、 HCO_3^- である。細胞内液の主な構成要素は、陽イオンが K^+ で、陰イオンが有機リンである。

b 水・電解質の出納

生体は飲料水や食物中の液体成分として、また体内で産生される代謝水として水分を摂取する。摂取する水分量の調節は、主として血漿浸透圧の変化を視床下部にある浸透圧受容体が感知することで行われる。すなわち、細胞外液の浸透圧の上昇を感知すると口渇感を誘発して飲料行動を促す。また、抗利尿ホルモンであるバソプレシンの分泌を増加させ、

■表7-1 健康人の体液区分(体重に対する%)

体液区分	成人男性	成人女性	幼 児	新生児	老 人
全体液量	60	48	60	60～75	50
細胞内液量	40	32	30～40	30～35	27
細胞外液量	20	16	20～30	30～40	23
組織間液量	15	12			
循環血漿量	5	4			

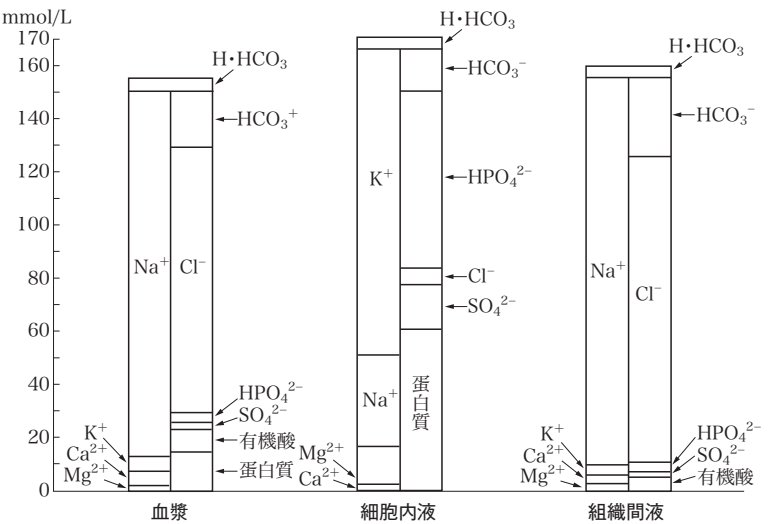


図 7-1 血漿・細胞内液・組織間液の電解質組成

表 7-2 成人 1 日の水の平均的出納量

摂 取 (mL)		排 泄 (mL)	
飲料水	1,500	尿	1,500
固形食物水分	700	不感蒸泄 { 肺	300
代謝水	300	皮膚	600
合 計	2,500	糞 便	100
		合 計	2,500

表 7-3 消化液、汗・尿の量と電解質濃度

種 類	1 日分泌または排泄量 (平均値 ; mL)	電解質濃度 (mmol/L)			
		Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
唾 液	1,500	140	—	105	45
胃液 { 有酸 無酸	2,550	10~110	1~32	8~155	0
		80~120	1~30	100	20
胆 汁	500	130~160	2~12	90~120	38
脾 液	700	110~150	2~8	50~95	110
小腸液	100~6,000	80~150	2~8	40~135	30
糞便 (有形)	100	<10	<10	<15	<15
汗	500~1,000	0~100	0~5	0~100	0
尿	800~1,500	50~70	40~60	50~70	0

尿量を低下させる。

水の排泄は約 60% が尿として腎臓から、残り 40% は不感蒸泄として皮膚や肺からの蒸散により行われる。また、ごくわずかではあるが、糞便中にも排泄される。水の排泄量の調

節は抗利尿ホルモンの作用により、主として腎臓で行われる。腎糸球体では1日150～180 Lの原尿が血漿の濾過により産生されるが、抗利尿ホルモンなどの作用により、その99%が尿細管から再吸収され、原尿の1%のみが排泄される。不感蒸泄量は体温により変動するが、健常成人の場合700～1,000 mL程度である。消化液の分泌量も、1日8～10 Lと大量であるが大部分は腸管で吸収され、健常成人の場合、糞便中には100 mLの水分が排泄されるのみである。体重60 kgの成人の、1日の水の平均的出納量と消化液、汗、尿の電解質濃度をそれぞれ表7-2、表7-3に示す。

2 体液量の評価・測定法

体液の量と分布の評価・測定には、間接的方法と直接的方法とがある。日常診療では間接的方法に頼る場合が多く、生体電気インピーダンス分析（BIA）法以外の直接的測定法により体液量を測定することはほとんどなく、また直接的測定法では、測定用トレーサーの入手が困難なものも多い。各直接的測定法の実施の詳細については、ホームページ（後述）を参照のこと。

a 体液量の間接的評価方法

1. 身体所見

Ⅰ体重

特に短期間内の体重の変動は体液量の変動を示唆する。

Ⅱ血圧

急激に大量の細胞外液量が低下した場合には循環血漿量が減少し、起立性低血圧を生じる。特に臥位から立位への体位変動時の10 mmHg以上の拡張期血圧の低下は典型的である。ただし、心疾患を有する例や糖尿病をはじめとした自律神経障害を有する例では、血圧は体液量評価の指標とはならない。

Ⅲ頸静脈

体液量が減少した場合には頸静脈は虚脱し、視診上臥位での確認が困難となる。一方、体液量が過剰な溢水状態では坐位でも容易に確認できる。

Ⅳその他の身体所見

細胞内液量の減少により細胞容積が減少した場合には、皮膚ツルゴール（皮膚緊張度）の低下がみられる。急激に大量の循環血漿量が低下し、前ショック状態となった場合には、皮膚温の低下がみられる。

2. 検査所見

Ⅰナトリウム利尿ペプチド

ナトリウム利尿ペプチドのうち、心房性ナトリウム利尿ペプチド（ANP）と脳性ナトリウム利尿ペプチド（BNP）は体液量の相対的な指標となる。

ANPは心臓内、主として心房で産生、貯蔵、分泌される。ANPの産生と分泌は循環血漿量の増加に伴う心房の伸展が刺激となるため、血中ANP濃度は細胞外液量、特に循環血漿量の指標の1つとなる。しかし、心房細動などの不整脈、心筋虚血、その他の心筋障

害の影響も受けるため、その評価には注意を要する（⇒p657, 1754 参照）。

また、主に心室から分泌される BNP も、細胞外液量の指標の1つとして用いられる。BNP は慢性的な心室負荷も反映し（⇒p656, 1754 参照）、ANP と同様に合併する心疾患の影響を受けるため、その評価には注意を要する。

基準範囲：ANP；20～40 pg/mL，BNP；～20 pg/mL

②尿量，尿比重，尿浸透圧，血漿浸透圧，ヘマトクリット値，ヘモグロビン値，総蛋白，血液尿素窒素/クレアチニン比など

体液量の欠乏，過剰の間接的評価の指標として用いられる。

b 体液量の直接的評価方法

1. トレーサーを用いた希釈法（図7-2）

全体液量，細胞外液量，循環血漿量の直接的測定は，投与後速やかに溶解して，測定したい各体液分画に均一に拡散，分布するような指標物質（トレーサー）を用いて，その既知量を投与し，投与後一定時間経過した均一な平衡状態での希釈度あるいは濃度を測ることにより行われる。しかし，トレーサーの入手が困難であったり，被曝の危険があるなどから，臨床上トレーサーを用いた体液量の測定が行われることはほとんどない。以下に各体液区分の直接的体液量測定法を列記するが，各方法の詳細についてはホームページを参照のこと。

①全体液量（▶▶HP）

②細胞外液量（▶▶HP）

③循環血漿量（▶▶HP）

④その他の体液分画

細胞内液量は全体液量と細胞外液量の差から求める。また組織間液量は直接測定できず，細胞外液量と循環血漿量との差から求める。循環血漿量は循環血漿量とヘマトクリット値から求める。

	測定法	体液量の分布		
		細胞外液量 血漿 組織間液	結合 繊維水	細胞内液量
全 体 液 量	アンチピリン			
	NAAP			
	重 水			
細 胞 外 液 量	臭化ナトリウム			
	^{24}Na			
	^{36}Cl , ^{38}Cl			
	イヌリン			
	マンニトール			
血 漿	エバンスブルー			
	^{131}I			

■図 7-2 体液量の分布と測定法の関係

生体電気インピーダンス分析(bioelectrical impedance analysis : BIA)法

BIA 法は、家庭用の体脂肪計や医療現場で使用されている体組成計の計測原理である。人体に微弱な電流を流すことによって得られる体内抵抗値（インピーダンス）をもとに体液量や体脂肪、筋肉量を測定する。全体液を細胞外液と細胞内液とに分けている細胞膜には 50 kHz より低い低周波数電流に対しては電気的絶縁体として働き、200 kHz より高い高周波数電流に対しては絶縁体とはならず電流を通す電気的特性がある。1~1,000 kHz (1, 5, 50, 250, 500, 1,000 kHz) の多周波数測定 BIA 法では、この細胞膜の電気的特性を利用して、低周波数の交流を流すことにより得られる体内抵抗値から細胞外液量が、高周波数の交流により得られる体内抵抗値から細胞外液量と細胞内液量、つまり全体液量が測定される (Cha K, et al : J Appl Physiol 79 : 1316, 1995)。

BIA 法を用いた体組成計は非侵襲的で簡便なため、浮腫を認める患者や透析患者の体液量の評価などによく用いられており、保険点数を請求できる機器もある。しかし、ベースメーカーを植え込んである患者には使用できない、また、各メーカーで組織成分を推定するアルゴリズムが異なるため、測定装置間での結果の比較ができない、といった注意点が挙げられる。

3 体液の異常

体液の異常には、量的異常と組成の異常がある。いずれの異常も細胞外液の異常が一次的であり、細胞内液の変化は二次的なものである。

細胞外液の量的異常は組織の灌流量、すなわち有効循環血漿量の異常を生じ、灌流圧の変化として頸動脈洞、傍糸球体装置、心房で感知され、交感神経系、レニン-アンジオテンシン系、心房性ナトリウム利尿ペプチド (ANP) などを介して補正される。また、細胞外液の組成の異常、特に Na 濃度の異常は直接血漿浸透圧に影響し、血漿-組織間液-細胞内液間の水の移動、すなわち体液の分布の変動を引き起こす。さらに、細胞外液の Na 濃度の異常は血漿浸透圧の異常を伴うため視床下部にある浸透圧受容体により感知され、①口渴感を介した経口的水分摂取、②下垂体後葉からの抗利尿ホルモンの分泌を介した腎での水の再吸収に影響し、細胞外液の量的変動を生じる。

このように細胞外液の量と組成、特に Na 濃度の異常は異なる機構により感知、補正されるが、互いに関連しあい、体液の恒常性を保つように機能している。

1. 脱水 (表 7-4)

細胞外液量が欠乏した状態を脱水という。脱水には細胞外液の水と Na の比率が変化しない、すなわち浸透圧が変化しない等張性の場合、Na 比率の上昇した、すなわち浸透圧が高い高張性の場合、Na 比率の低下した、すなわち浸透圧が低い低張性の場合がある。

高張性脱水では細胞外液の浸透圧が上昇するため、細胞内液の水が外液側に移行し、最終的には細胞外液の欠乏は比較的軽微にとどまる。このため循環血漿量の低下に伴う循環器系の症状に乏しく、細胞内液の欠乏症状である口渴が前面にでる。重度の場合には精神錯乱、昏迷、せん妄などの精神症状を伴う。

一方、低張性脱水では細胞外液の浸透圧が低下し、細胞外液が細胞内液側に移行する。

■表 7-4 体液異常，脱水の分類

体液異常の型	臨床例	量の変化		細胞外液の濃度変化			
		細胞外液	細胞内液	Na	浸透圧	TP	H ⁺
等張性脱水	下痢，塩分喪失型腎炎	↓	→	→	→	↑	↑
高張性脱水	海，砂漠での水欠乏	↓	↓	↑	↑	↑	→
低張性脱水	渇中枢の異常 副腎不全	↓	↑	↓	↓	↑	↑

TP：血漿総蛋白（伊藤貞嘉：腎疾患のとらえかた，文光堂，p78，2003より引用改変）

■表 7-5 体液量の異常と臨床症状

		欠 乏	過 剰
細胞外液	循環系	頻脈，脈拍微弱，血圧低下	静脈怒張，静脈圧上昇，肺うっ血，呼吸困難，チアノーゼ，水泡性ラ音
	皮膚，粘膜	皮膚冷感，皮膚ツルゴール低下，舌乾燥	浮腫，腹水
	消化器系	食欲不振，悪心，嘔吐	
	神経系	脱力感，嗜眠	
	Ht，Hb，赤血球数	増加	低下
	血漿蛋白，BUN	増加	低下
細胞内液	消化器系	口渇，食欲不振	
	皮膚，粘膜		皮内浮腫
	神経系	精神錯乱，昏迷，せん妄	頭蓋内圧亢進症状，頭痛，嘔吐，視力障害，痙攣，昏眠

このため細胞外液はさらに欠乏し，循環血漿量の低下に伴う循環器系の症状が前面に出る．また，細胞内液の過剰症状である頭痛，嘔吐，痙攣，意識障害など，頭蓋内圧亢進症状を呈する．

体液量の変化に伴ってみられる症状を表 7-5 に示す．一般に細胞外液量の変化は循環系の症状を呈し，細胞内液量の変化は脳神経系の症状を呈する．

2. 浮 腫

組織間液が過剰に蓄積した状態を浮腫といい，浮腫はその分布により限局性（局所性）浮腫と全身性浮腫に分類される．限局性浮腫は静脈閉塞，リンパ瘤などの局所的障害，あるいは局所のアレルギーなどにより限局的にみられる浮腫を指す．一方，腎疾患の進行により糸球体濾過量が低下した場合や，心不全，肝硬変，ネフローゼ症候群などにより腎における Na，水の出納バランス異常の結果として組織間液が全体に増加した状態は全身性浮腫という．全身性浮腫では，組織間液が健常時と比べ 2.5～3 L 以上過剰になると皮膚の水腫状腫脹が視診上，明らかとなる．

全身性浮腫の発生には ①局所因子として毛細血管レベルでの血管透過性，毛細血管内静水圧，組織圧，血漿膠質浸透圧，組織膠質浸透圧の異常による毛細血管外組織への水の

■表 7-6 浮腫の病態と体液分布の異常

	有効循環血漿量	細胞外液量	血漿量	心拍出量
心不全	↓	↑	↑	↓
ネフローゼ	↓	↑	↓	→
重症肝硬変	↓	↑	↑	→

(伊藤貞嘉：腎疾患のとりえかた。文光堂，p76，2003 より引用改変)

移動，②全身性因子として基礎疾患に関連した腎障害による Na、水の排泄障害，その結果としての Na と水の貯留，組織間液の増加（overflow 説），あるいは基礎疾患に関わる何らかの原因により血漿が血管内から血管外へ漏出し，その結果として生じる有効循環血漿量の低下，さらに有効循環血漿量の減少に伴う二次的な腎における Na、水の貯留，組織間液の増加（underflow 説）が関わっている。

3. 特殊な体液異常，浮腫の病態（表 7-6）

腎性浮腫は，進行した腎疾患が原因で糸球体濾過量が極度に低下した結果 Na と水が貯留し，組織間液が増加して浮腫を生じる。このため，腎性浮腫では有効循環血漿量と細胞外液量は連動してともに変化する。一方，次の 3 疾患でみられる浮腫は有効循環血漿量と細胞外液量の変化が連動せず，腎性浮腫とはその成り立ちが異なる。

①心不全（心性浮腫）

心不全では心拍出量が低下するために，細胞外液量にかかわらず有効循環血漿量が低下したと感知され，腎臓における Na と水の再吸収が亢進する。このため細胞外液量が増加し，浮腫が出現し増悪する。

②肝硬変（肝性浮腫）

進行した肝硬変では全身の血管抵抗が低下するために有効循環血漿量が低下し，腎臓における Na と水の再吸収が亢進し，結果として細胞外液量が増加し，浮腫が出現し増悪する。

③ネフローゼ症候群

大量の蛋白尿により血漿膠質浸透圧が低下するため有効循環血漿量が低下し，結果として細胞外液量が増加し，浮腫が出現し増悪する。

4. 浮腫の治療

健常人の体液はその量，組成，分布ともに動的平衡状態にあり，常に一定範囲内に保たれている。この平衡状態が破綻し組織間液が過剰に蓄積した浮腫では，Na、水の摂取制限と腎臓からの Na、水排泄調節により，その是正を図ることが必要となる。特に全身性浮腫とともに肺水腫がみられる場合には，フロセミドの静注（20～120 mg）あるいは持続静注（2～5 mg/時）による早急な治療が必要となる。しかし，心不全，肝硬変，ネフローゼ症候群に伴う浮腫は，いずれも有効循環血漿量維持のための代償機構が働いた結果として増加した細胞外液，組織間液に由来する側面もある。よって，これらの疾患では安易な利尿薬の使用は時として循環血漿量の減少，静脈還流量の減少，心拍出量の減少を生じ，組織の低灌流を引き起こす。血中尿素窒素/血清クレアチニン比，血中尿素窒素，血清クレアチニンの上昇は組織灌流低下を示唆するため，BNP や ANP などの体液量の相対的な指標と

ともに利尿薬の投与量，投与間隔，体液量の減少目標決定のための参考にする．一般に肺水腫を伴った心性浮腫では，利尿薬投与による2～3 L/24時間程度の体液量の除去は通常，末梢組織の低灌流量を引き起こすような有効循環血漿量の減少を生じることはない．肝硬変では，急激な利尿は肝血流の減少と低 K 血症による腎臓でのアンモニウム産生亢進による肝性昏睡を誘発する可能性があり，注意を要する．また，血清クレアチニン値 4 mg/dL 以上（GFR 10 mL/分以下）の高度の腎不全や，心不全に伴う腎血流量の低下，低蛋白血症や大量の蛋白尿，アシドーシスではループ利尿薬の効果が不十分となる．

トルバプタンは腎集合管にあるバソプレシン V_2 受容体に拮抗して水の再吸収を阻害することで強力な利尿作用を現し，他の利尿薬で効果不十分な心不全や肝硬変の浮腫の治療に用いられる．本剤はフロセミドなどのループ利尿薬やサイアザイド系利尿薬で起こる電解質排泄の増加を伴わないため，低カリウム血症などの懸念が小さい．一方，急激な水分の排泄による脱水症状や高 Na 血症の出現に注意を要する．

（I：佐藤壽伸・石山勝也）