4 輸液による栄養療法の基本

輸液の目的には，水分や電解質の補充のほかに，栄養成分の補給がある。前者はすでに概説してきたので，ここでは輸液による栄養療法を中心に解説する。

1 栄養状態とは

栄養状態とは，生体が生命活動を営むうえで必要とされるエネルギーを産生する栄養素ならびにそのエネルギーを活用・利用するための代謝関連物質の需給・貯蔵状態を評価する主観と客観を包括した総合的な指標といえる。栄養状態を実際に形作っているものは，①エネルギー基質（主に糖質，脂肪，蛋白），②水分，③電解質，④ビタミン，⑤微量元素，そして，⑥これらを代謝・合成・貯蔵する身体構成組織と，⑦代謝動態を制御する各種ホルモンやサイトカインなどの生体反応物質などである。

これら多種多様の物質の過不足によって代謝上のバランスを失った状況を栄養状態が不良であると表現するが，一般的には栄養素の不足によってもたらされた状態のみを栄養不良という。このように栄養状態を良好あるいは不良の尺度として用いるならば，栄養状態はときには見ただけの全く主観的な印象から種々の客観的データまでのあらゆる手法によって把握され表現される評価法と解釈される。したがって，栄養状態の把握には主観的なものと客観的なものとがあり，これらを包括して栄養状態の良・悪が決定されることになる。

2 栄養障害とその種類

栄養管理を軽視してエネルギーや種々の栄養素の投与を適切に行わないと，生体は著しい栄養障害に陥る。一般に，臨床で経験する栄養障害はいくつもの栄養素が欠乏して生じるが，その多くは蛋白とエネルギーの欠乏（protein-energy malnutrition；PEM）である。PEM には蛋白とエネルギーがともに欠乏した“marasmus”と，主として蛋白が著しく欠乏した“kwashiorkor-like syndrome”，そしてその両者の混合型である“marasmic kwashiorkor”がある。経口摂取障害による栄養障害は marasmus 型，感染症を代表とする各種消耗性疾患や外傷，さらに手術などの生体侵襲（ストレス）による蛋白異化によって惹起される栄養障害は kwashiorkor-like syndrome 型を示すとされる。

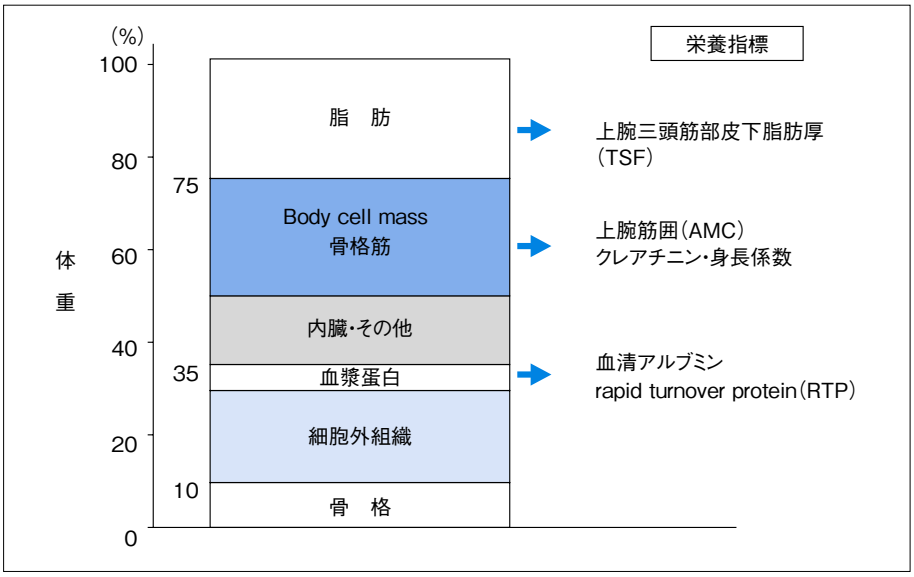
担がんに伴う栄養障害は，慢性消耗性疾患に類似した蛋白喪失（sarcopenia）が基盤となり，進行とともにあるいは治療による副作用として食欲不振を来し，結果的に両者の混合型を示すものと考えられる。また，脂肪のうちの必須脂肪酸や各種ビタミンや微量元素などの欠乏によっても種々の栄養障害が惹起される。

3 栄養評価法*

栄養状態を評価する最も簡単で最も大切なものが体重の変化である。一般に，長期間をかけて徐々に小範囲の体重変化があった場合は生命活動に支障を来すことは少ないが，逆に短期間に変化があった場合には，例えそれがわずかなものであって

＊：**栄養評価**
臨床データ，食物摂取データ，身体計測データ，生化学データを収集し，栄養不良状態の患者を判定して適切な栄養療法を計画すること。

図９　人体構成成分と栄養指標



〔日本静脈経腸栄養学会 編，コメディカルのための静脈・経腸栄養手技マニュアル，南江堂，2003，より一部改変〕

も栄養管理が必要となる。体重の減少を通常の体重に対する割合・体重減少率（%）で示すと，①1 週間で 1～2%の減少があった場合，②1 カ月で 5%以上，③3 カ月で 7.5%以上，④6 カ月で 10%以上の場合，有意な体重変化として栄養管理が必要と判定される。しかし，体重の変化だけでは栄養状態を詳細に把握できるとはいえない。生体は**図 9** に示すように脂肪，骨格筋，内臓蛋白，血漿蛋白，細胞外組織，骨格などの種々の構成成分によって形成されており，一概に体重が減少してもこれらのどの部分が減少しているかは把握できない。そこで詳細な栄養状態を把握するためには栄養評価が必要となり，その成績に基づいて栄養管理が必要か否かの判定や，どのような栄養管理法が適切かなどの栄養療法の選択や決定が可能となる。

すなわち，栄養評価の意義としては，①栄養障害の有無，②栄養障害の程度（重症度），③栄養療法の適応の判定，④栄養管理法の選択，⑤栄養療法の効果判定，⑥定期的あるいは反復して栄養評価を行うことによる栄養管理法の修正や適正化，⑦手術症例の予後の推測などが挙げられる。前述のように栄養評価の方法には，主観的評価法と客観的評価法がある。

1 主観的栄養評価法

主観的栄養評価法とは，身体計測値や血液検査成績などの客観的な指標ではなく，患者の病歴や食事摂取状況あるいは自覚症状などを参考にして，あくまで検者の主観によって栄養障害の有無を判定する方法である。一般に，栄養管理を実施する際に，まず栄養管理を実施する対象を抽出するために用いられる手法であり，入院時に全患者に対して栄養状態の一次スクリーニングを行う際に用いられている。主観的評価法としては，主観的包括的栄養評価法（subjective global assessment；SGA）が一般的だが，それに患者あるいは家族の自己評価法（self assessment）や

簡単な血液検査成績を加味した入院時初期評価などを実施する施設もある。SGA は体重変化や食事摂取状況の変化，消化器症状，ADL，病状の簡単な問診と皮下脂肪，筋肉の損失状態，浮腫，腹水，毛髪の状態など，身体状況のチェック項目から構成されている。

② 客観的栄養評価法

客観的栄養評価法は，1977 年に Blackburn らによって確立され，静的栄養指標，動的栄養指標，総合的栄養指標などがある。

1）静的栄養指標

静的栄養指標は，現時点での普遍的な栄養状態を示すが，短期間での栄養状態の変化を評価することは困難とされている。しかし，代謝学的変化を誘導するさまざまな因子のダイナミックな変動には逆に影響されにくく，普遍性のある信頼度の高い指標である（**表 6**）。特に，体重の変化をはじめ上腕三頭筋部皮下脂肪厚（TSF）や上腕周囲（AC），上腕筋囲（AMC）などの身体計測値は，いつでもどこででも定量的な評価が可能で，しかも安価であるため臨床栄養のうえで有用な指標とされている。

2）動的栄養指標

静的栄養指標と異なり，短期間での代謝変動やリアルタイムでの代謝・栄養状態の評価が可能である。しかし，逆に感受性および反応性が鋭敏で，種々の因子によって影響を受けやすく，かつ変動幅も大きく普遍的でないためその評価には注意が必要である。この動的栄養指標には，血液・生化学的指標として半減期が短く，合成・代謝速度ともに早い rapid turnover protein（RTP，**表 7**）のほか，蛋白合成能や蛋白崩壊状況を評価するアミノグラムや窒素平衡（N-balance）[*1] などがある。また，間接熱量計[*2] を用いれば，リアルタイムでのエネルギー消費量[*3] の測定も可能である（**表 8**）。

3）総合的栄養指標

栄養評価を行う際にあまりにも多くの指標があり，しかも指標によって異常を示すものもあれば正常範囲内にとどまるパラメータもあるため，総合的な判定が困難なことがある。特に，栄養状態から手術危険度を判定する場合，このように各測定値がバラバラであればどのパラメータを信頼すればよいのか困惑させられる。そこで 1980 年に Buzby らは，予後推定栄養指数（prognostic nutritional index；PNI）という総合的栄養指標を考案した。これは手術後の合併症の有無で有意差があった術前の栄養指標を数理学的に同定し，さらに重判別分析という統計学的手法を用いて，これらの栄養指標が合併症の発生にどの程度関与しているかを算定するとともに一つの数式で術後合併症の発生の有無を予測する予後推定式である。本邦においても，**表 9** に示すような種々の総合的栄養指標が考案されている。

＊1：**窒素平衡（N-balance）**
窒素出納/窒素バランス。生体による全窒素摂取量と全窒素排泄量の差。
健常成人では，Nin＝Nout，
Nin＞Nout：正の窒素平衡，
Nin＜Nout：負の窒素平衡。

＊2：**間接熱量**
呼気中の CO_2 排泄量と O_2 消費量を測定し，安静時エネルギー消費量（REE）および呼吸商を算出するもの。

＊3：**エネルギー消費量**
単位時間内（通常 1 日）に消費された熱量の総和。

表 6　静的栄養指標

1．身体計測指標
1）身長・体重：
①体重減少率，②%平常時体重，③身長体重比，④%標準体重，⑤body mass index（BMI）
2）皮厚：上腕三頭筋部皮下脂肪厚（TSF）
3）筋囲：上腕筋囲（AMC），上腕筋面積（AMA）

2．血液・生化学的指標
1）血清総蛋白，アルブミン，コレステロール，コリンエステラーゼ
2）各種血中ビタミン，微量元素
3）末梢血中リンパ球数

3．皮内反応
遅延型皮膚過敏反応

表 7　栄養アセスメント蛋白

栄養アセスメント蛋白	トランスサイレチン（プレアルブミン）	レチノール結合蛋白	トランスフェリン	アルブミン
略　号	TTR（PA）	RBP	Tf	ALB
役　割	サイロキシンの輸送 RBP と結合し RBP の腎からの漏出を防ぐ	レチノール（ビタミン A）の輸送	鉄の輸送	浸透圧の維持 物質の運搬 酸化還元緩衝機能
半減期	2 日	0.5 日	7 日	21 日
分子量	55,000	21,000	76,500	87,000
基準値	男：23～42 mg/dL 女：22～34 mg/dL	男：3.6～7.2 mg/dL 女：2.2～5.3 mg/dL	男：190～300 mg/dL 女：200～340 mg/dL	3.9～4.9 g/dL

表 8　動的栄養指標

1．血液・生化学的指標
1）Rapid turnover protein（RTP）
①トランスサイレチン（プレアルブミン），②レチノール結合蛋白，
③トランスフェリン，④ヘパプラスチンテスト
2）蛋白代謝動態
①窒素平衡，②尿中メチル-ヒスチジン
3）アミノ酸代謝動態
①アミノグラム，②Fischer 比（分岐鎖アミノ酸/芳香族アミノ酸），
③BTR（分岐鎖アミノ酸/チロシン）

2．間接熱量計
1）安静時エネルギー消費量（REE）
2）呼吸商
3）糖利用率

表９　総合的栄養指標（手術症例を対象とする）

１．胃がん患者に対する栄養学的手術危険指数（Nutritional risk index；NRI）…佐藤ら，1982

NRI＝10.7×Alb＋0.0039×TLC＋0.11×Zn－0.044×Age

NRI＜55；high risk group　　NRI≧60；low risk group

２．食道がん患者に対する栄養評価指数（Nutritional assessment index；NAI）…岩佐ら，1983

NAI＝2.64×AC＋0.6×PA＋3.7×RBP＋0.017×PPD－53.8

NAI≧60；good　　60＞NAI≧40；intermediate　　NAI＜40；poor

３．StageⅣ消化器がんおよびStageⅤ大腸がんに対するPNI（Prognostic nutritional index）…小野寺ら，1984

PNI＝10×Alb＋0.085×TLC

PAI≦40；切除，吻合禁忌

４．肝障害合併症例に対するPNIS（Prognostic nutritional index for Surgery）…東口ら，1986

PNIS＝－0.147×体重減少率＋0.046×体重身長比＋0.010×三頭筋部皮厚比
＋0.051×ヘパプラスチンテスト

PNIS≧10；合併症なし　　5≦PNIS＜10；移行帯　　PNIS＜5；合併症なし

Alb：血清アルブミン値（g/dL），TCL：総リンパ球数（/mm^3），Zn：血清亜鉛濃度（μg/dL），AC：上腕周囲（cm），PA；pre-albumin：トランスサイレチン（mg/dL），RBP：レチノール結合蛋白（mg/dL），PPD：ツベルクリン皮内反応（mm^2）

4 栄養管理のプランニング

栄養管理は，①栄養評価（アセスメント）に基づく栄養療法実施の適応の判定から，②経静脈栄養法，経腸栄養法，経口投与などの栄養管理法の選択，③栄養障害の程度と状態に応じた治療内容の選択，④栄養管理の実施，⑤実施内容や状況のモニタリング，⑥実施した効果判定などの一連の基本的な事項に沿って行われる。実際の臨床の場では，入院症例に対して，①入院時の栄養スクリーニング（一次スクリーニング）→②栄養アセスメント（二次スクリーニング）→③栄養管理プランニング→④栄養管理の実施→⑤栄養管理のモニタリング→⑥栄養管理の再プランニング→⑦栄養管理の評価→⑧退院の順序で栄養管理は進められている。

1 栄養管理法の選択

各種栄養指標を詳細に解析することにより各症例の栄養障害の原因が明瞭となり，次にその改善に有効な栄養管理法の選択がなされる。栄養管理法には，①経静脈栄養法，②経腸栄養法，③経口投与があるが（**図 1**），一般に**図 2** に示すような栄養管理法の適正選択指針に従って各症例の栄養管理法が推奨されている。この指針で重要なことは，栄養管理はできる限り経口・経腸栄養で行い，不必要な経静脈栄養，特にカテーテル敗血症などの重篤な合併症を来す可能性のある中心静脈栄養（TPN）を避けることである。すなわち，経静脈栄養が必要な症例は，消化管の使用が困難か，望ましくない病態を有する症例に限定される。さらに，経静脈栄養が必要とされる期間が比較的短く２週間未満の場合には，末梢静脈栄養（PPN）が選択され，２週間以上の長期の経静脈栄養が必要と思われる症例のみがTPNの対象となる。

表 10　栄養管理内容の決定法

1. **水分必要量**
   1 日必要量＝尿＋不感蒸泄＋糞便中水分量－代謝水≒35 mL/kg 体重
2. **必要エネルギー量（kcal/日）**
   基礎エネルギー消費量（BEE）×activity factor×stress factor
   BEE：Harris-Benedict の式より算出
   男性：66＋(13.7×体重 kg)＋(5.0×身長 cm)－(6.8×年齢)
   女性：655＋(9.6×体重 kg)＋(1.7×身長 cm)－(4.7×年齢)
   Activity factor＝1.0～1.8（安静：1.0，歩行可能：1.2，労働：1.4～1.8）
   Stress factor＝1.0～2.0（重症度・術後病期・状態に応じて）
3. **蛋白(アミノ酸)投与量（g/日）**
   1 日投与量＝体重(kg)×stress factor
4. **脂肪投与量（g/日）**
   1 日投与量＝総投与エネルギーの 20～50%（0.5～1.0 g/kg 体重）
5. **糖質投与量（g/日）**
   1 日投与量＝総投与エネルギー － 蛋白(アミノ酸）投与量 － 脂肪投与量

注：がん悪液質（不可逆的）の患者には適用しない。

2 栄養投与成分の決定

個々の症例に適した栄養投与成分を決定・選択するには，まず，①水分投与量，次いで，②電解質量，③必要エネルギー投与量，④蛋白（アミノ酸）投与量，⑤脂肪投与量，⑥糖質投与量，⑦ビタミン・微量元素の順に決定し，これに最も適した経腸栄養剤や輸液剤を選択する必要がある（**表 10**）。

3 水・電解質投与量の決定

糞便中の水分量と代謝水は，ほぼ等しいため，一般には 1 日尿量と不感蒸泄の和が 1 日水分必要量となり，約 35 mL/kg 体重となる。また，正常な腎機能をもつ平均的成人の場合，1 日に産生される溶質負荷はおよそ 600 mOsm で，不要な溶質を尿として排泄するには腎の最大濃縮能が 1,200 mOsm/kg であることから，約 500 mL 以上の水を必要とする。一方，組織で生じる代謝水が 200～300 mL/日あり，肺と皮膚からの不感蒸泄が約 0.4～0.5 mL/kg/h（体重 50 kg の場合，480～600 mL/日）である。したがって，摂取すべき水分の必要最少量は，最大濃縮尿として必要な水分量と不感蒸泄として失われる水分量の和から代謝水を差し引いた，およそ 680～900 mL/日となる。平均的成人が輸液によって水分を補給するとき，脱水とならない 1,000 mL/日以上の尿量を保ち体液平衡を維持するには，30～35 mL/kg/日の輸液が必要となる。しかしながら，この輸液量は平均的成人にとって妥当でも，膠質浸透圧の低下した終末期がん患者にとっては相当量の体液が細胞間，組織間隙，体腔内に貯留し，医原的な浮腫や胸水・腹水の生成を生じうる。終末期においては，1 日の輸液量として生理的必要量は減少することから，輸液を行う場合には輸液量を 500～1,000 mL の範囲におくことが妥当であると考える。

電解質は体外への体液の排出がなければ，1 日維持量（Na：1～2 mEq/kg/日，

K：1～2 mEq/kg/日，Cl：酸塩基平衡の維持に必要な量）の投与を行う（**表 3**）。ただし，胃液などの消化液や創部，熱傷などの浸出液があれば，基本的には排液分をリンゲル液などの補充輸液で補うことが必要とされる（**表 2**）。

④ 必要エネルギー量の決定

一般的な 1 日必要エネルギー量の算出法としては，Harris-Benedict の式から計算される基礎エネルギー消費量（BEE）×活動因子（activity factor）×侵襲因子（stress factor）が用いられている。しかし，肝疾患などの臓器障害を有する症例や集中治療を要する患者，終末期を除く担がん症例などでは，エネルギー消費量が亢進していることが多く，後述するが終末期に向かって悪液質が進行した症例では，逆にエネルギー消費量が減少することもあり，症例によっては間接熱量計を用いて実測し，それに応じた必要エネルギーを設定することもある（P48 参照）。この際には，短時間での測定から 1 日量を推定することになり，誤差を生じることがあるので注意を要する。

⑤ 蛋白（アミノ酸）投与量の決定

必要エネルギー量を決定したあと，1 日蛋白投与量を設定する（基本的に質量で示す蛋白とアミノ酸は等価とする）。1 日蛋白投与量は体重（kg）×stress factor の式より算出する。蛋白投与量は，非蛋白カロリー窒素比（NPC/N）[*1] を利用して算出する。蛋白（アミノ酸）投与量は,一般の非侵襲下では 0.8～1.0g/kg/日で NPC/N 比が 150～200 になるように設定される。一般に経静脈栄養の場合，蛋白はアミノ酸として投与され，病態に応じたアミノ酸が選択される。蛋白やアミノ酸の投与は，生体内での蛋白合成の基質の供給に重要で，特に生体内で合成されない必須アミノ酸の投与は欠かせないので注意を要する。なかでも分岐鎖アミノ酸（BCAA）は侵襲下においても効率のよいエネルギー源となり，また蛋白崩壊の抑制や蛋白合成能の促進など，他のアミノ酸にない特性を有しており，肝障害や敗血症発生時，また周術期をはじめ集中治療に際して好んで用いられている。一方，グルタミンは血中濃度が最も高いアミノ酸であるが，侵襲時には免疫担当細胞や腸粘膜での要求性が高い。非必須アミノ酸ではあるが，需要が大きく，ときに欠乏状態を招きやすく条件付必須アミノ酸ともいわれており，蛋白代謝では重要なアミノ酸である。

⑥ 脂肪投与量の決定

1 日脂肪投与量は，総投与エネルギーの 20～50％とされており，一般的には 0.5～1.0 g/kg 体重の投与が必要で，およそ 20～50 g の脂肪が投与されることになる。脂肪にも生体内で生成されない必須脂肪酸があり，この投与を行わないと生体反応が維持できなくなるので注意が必要である。脂肪は 9 kcal/g と他の栄養素に比べて効率的にエネルギーが投与できるだけでなく，代謝によって産生される炭酸ガス量は，ブドウ糖の約 70％と少なく，人工呼吸器からの離脱や慢性肺疾患により呼吸機能の低下している症例，肺がんや転移性肺腫瘍などのがん終末期においても重視されている。ただし，脂肪乳剤[*2] をあまりに短時間で経静脈的に投与するとエネルギー基質として十分に代謝されないことから，0.1～0.2 g/kg 体重/h の速度での投与が推奨されている。

＊1：非蛋白カロリー窒素比（NPC/N）
投与した蛋白（アミノ酸）を蛋白合成に向かわせるための最適比。150～200 になるよう設定する。
（参考）**非蛋白熱量（NPC）**
アミノ酸は代謝により 1g 当たり 4 kcal の熱量を産生する。しかし，利用後は有毒なアンモニアに代謝され，肝臓の尿素回路にて尿素として排泄される。その代謝過程でエネルギー源としてブドウ糖が利用されることから，一般に輸液療法ではアミノ酸を総カロリーに加えない非蛋白熱量（NPC）を用いる。

＊2：脂肪乳剤
水に溶けない脂肪（トリアシルグリセロール）を界面活性剤である卵黄レシチンで乳化したもの。

7 糖質投与量の決定

糖質の1日投与量は，総投与エネルギーからアミノ酸と脂肪投与によるカロリーを差し引いて算出する。蛋白（アミノ酸）および脂肪の単位当たりのエネルギー量はそれぞれ4 kcal/gと9 kcal/gである。プランニングした蛋白（アミノ酸）と脂肪の投与g数からこれらのエネルギー量を算出し，総投与エネルギーからこれらを差し引いた残りのエネルギー量を，糖質の単位当たりのエネルギー量である4 kcal/gで除した値が糖質投与量となる。栄養輸液を行う場合には，すでに糖やアミノ酸濃度が決められた輸液剤（キット製剤）が市販されているが，キット製剤を最初から決めるのではなく，個々の症例の必要エネルギーや栄養素を計算したうえで，最もそのプランに近似するものを選択することが本来のやり方である。

8 微量栄養素の効果と投与量

高齢者や術前に十分な食事摂取が困難であった症例では，ビタミンや微量元素などの微量栄養素が欠乏している症例が少なくない。微量栄養素の欠乏は感染症や褥瘡発生のリスクを増加させるだけでなく，ときに著しい代謝障害を来すこともあり注意を要する。投与量は日本人の1日必要量とされているが，経静脈的に投与できるものには限界があり，できる限り早い時期に経口・経腸的な投与を開始することが大切である。また，脂溶性ビタミンや微量元素などはときに過剰症を呈することもあり，βカロテン*の過剰投与で発がんの危険性を指摘する報告もあるので，適正投与量を遵守することが大切である。

＊：**βカロテン**
βカロテン（ベータカロテン，β-carotene）は，植物に豊富に存在する赤橙色色素の一つ。ビタミンAの前駆体（不活性型）である。