

西神戸支部臨床栄養勉強会

第3回 「必要エネルギーの算出 ～糖質・アミノ酸・脂質～」

兵庫県立こども病院 辻本 勉

今回の勉強会のテーマは「必要エネルギーの算出～糖質・アミノ酸・脂質～」としています。3大栄養素の投与をどのような量・配分で決定するかを学習する予定です。

ところで、第1回目の勉強会で電解質や浸透圧について学習しました。電解質輸液では含まれる Na^+ の mEq によって水が細胞の外か内に移動すること（等張になるように）を説明しました。2月に開催された JSPEN 前日の薬剤師部会にて奥羽大学の倉本先生がわかりやすい解説をしていたので紹介します。

生理食塩液：等張（浸透圧が生理的）
Saline = 0.9% NaCl 溶液
Saline : NaCl 0.9g/100mL
Saline : NaCl 9g/1000mL

↓

**NaCl 9gから等張液を作るには1000mLの水が必要
(1gあたり111mL)**

↓

生体のhomeostasisは最終的に浸透圧を維持することを最優先させる

↓

NaCl 1g (Na^+ :17.1mEq) は111mLの水分保持力がある

2010/3/23 3

このスライドで、覚えておいてほしいことは

- ① 食塩水が等張であるためには、NaCl 1gあたりに水が111mL必要であること。
- ② 生体のホメオスタシスは、最終的に浸透圧を維持することを最優先にするということ。
- ③ NaCl 1g（これは Na^+ 17.1mEq に相当：前回計算しました。確認してください）は水 111mL の水分保持力がある。ということです。

さて、次のスライドを見てください。ここではフィジオゾール3号 (Na^+ 35mEq/L) を1L投与したときに、細胞内外にどのように水が移動するか考えます。

- ① Na^+ 35mEq の水分保持能力は・・・(17.1mEq が111mL でしたから) $35 \div 17.1 \approx 2 \quad 2 \times 111 = 222 \text{ mL}$ となります。
- ② Na^+ は細胞外液にのみと考えて、1Lのうち

222mL が細胞外液に移行します。1000mL - 222mL = 778mL が自由水であり、これは体重分布に従い全体に移動します。細胞内液は体重の40%、細胞外液は体重の20%ですから778mLは4:2



で分布するため、細胞内液は519mL、細胞外液は259mLとなります。細胞外液は先のNa分と合わせて481mLになります。

A.S.P.E.Nのガイドライン

A.S.P.E.Nガイドライン

- 推定消費エネルギーは20~35kcal/kg/day
- 糖質7g/kg/day (4.9mg/kg/min)
- 脂質2.5g/kg/day (0.1g/kg/hr) 極めて状態が悪い患者では1g/kg/day (0.04g/kg/day)まで
- 必須脂肪酸欠乏症予防には1日エネルギー必要量の1~2%をリノール酸(n-6)で、約0.5%をリノレン酸(n-3)で摂取
- 蛋白は0.8g/kg/dayが適切、代謝的要求に応じて2g/kg/dayまで増加

日本で使用されている大豆油組成は飽和脂肪酸38%、リノール酸52%、リノレン酸10%含む

2010/3/23 5

ガイドラインで覚えておくことは次の4点です。

- * 推定消費エネルギー20~35kcal/kg/day
- * 糖質 5mg/kg/min
- * 脂質 0.1g/kg/hr
- * 蛋白質 0.8g/kg/day

大学の臨床教育は

さて、薬学部6年制により充実した臨床教育・調剤実習が行われていますが、2月のJASPEN 薬剤師部会において星薬科大学の島田先生からスライドのような教育について説明をされました。

薬学部でのNST教育

星薬科大学実務教育研究部門 島田先生

問題1：医師より

「1日の投与量で水分2000~2200mL、Na+70~80mEq、K+40mEq、ブドウ糖80gくらいを投与したい患者がいるのですが、この病院の薬でどのようなものの組み合わせがあるか教えてもらえますか」

上記の問題を学生に提示、準備してある医薬品から選択し、処方を立てていく

2010/3/23

7

この問題では、医師から「水分」「電解質」「糖質」の投与量が示されてそれに該当する輸液を探するという設定になっています。

【考え方1】

輸液の mEq は 1 L 当たりの標記が一般的なので、この例で水分 1 L あたり Na+35~40mEq、K+20mEq、ブドウ糖 40g (=160kcal) の組成に近い輸液を見つけます。輸液の表から、ソリタ T3 やソルデム 3A などがほぼ同じ組成であることがわかります。

したがって、ソルデム 3A 500mL が 4 本と回答します。

【考え方2】

前回にせつかく学んだ知識を利用して、生食と 5%ブドウ糖から該当する輸液を作成してみましょう。

(1 L あたりで考えるのは同じです)

まず、Na+35mEq は生食 (154mEq/L) を $35 \div 154 \times 1000\text{mL} = 227\text{mL}$ となります。1 L で考えていますから残りの自由水を 5%ブドウ糖によって補うと考えれば 773mL 必要なことがわかります。ここに含まれるブドウ糖は $5\text{g} \div 100\text{mL} \times 773\text{mL} = 38.65\text{g}$ となり、 $38.65\text{g} \times 4\text{kcal} = 155\text{kcal}$ 、おおよそ必要な糖質を満たすことができます。次に、K+20mEq は各病院にあるものを使ってください。私の施設では KCL 注 20mEq キットがあるのでこれを 20mL 加えます。

以上から、生食と 5%ブドウ糖をベースに考えれば、生食 500mL、5%ブドウ糖 1500mL、KCL 40mL となります。このときの Na+77mEq、K+40mEq、ブドウ糖 75g となります。

臨床栄養を学んだ学生さんがこれからどんどん来るので、しっかり指導できることが大切ですね。

処方設計の基礎

処方設計

水分

熱

蛋白

脂質

電解質

2010/3/24

9

処方を設計する上で考えることは、スライドに示すとおり「水分」「熱量 (ブドウ糖)」「蛋白 (アミノ酸)」「脂質」「電解質」を考える必要があります。ほかに、ビタミン、ミネラルも大切です。

エネルギーの算出方法

エネルギー必要量の算出

基礎代謝量 (BEE) の求め方

BEE (basal energy expenditure) を Harris-Benedict の公式から算出

♂ 男性

$$66.47 + (13.75 \times \text{体重}) + (5 \times \text{身長}) - (6.76 \times \text{年齢})$$

♀ 女性

$$665.1 + (9.56 \times \text{体重}) + (1.85 \times \text{身長}) - (4.67 \times \text{年齢})$$

BEE: Kcal/day Wt: kg Ht: cm Age: years

2010/3/24

10

エネルギーの算出は幾つかの方法が知られていますが基本となるのはここに示すハリスベネディクトの公式から算出します。このほかには次に示す簡易式や概算式がありますのでそれぞれで計算してみてください。

エネルギー投与量の算出

• 日本人のための簡易式

$$\text{男性 BEE} = 14.1 \times \text{体重 (kg)} + 620$$

$$\text{女性 BEE} = 10.8 \times \text{体重 (kg)} + 620$$

• BEE 概算値 (平均)

$$\text{BEE} \approx 25 \text{ kcal/kg/day}$$

大柳治正:「コメディカルのための静脈・経腸栄養ガイドライン」(日本静脈経腸栄養学会編) pp9-15、南江堂、2000

2010/3/24

11

さて、これらの式で求めた値は基礎代謝エネルギー量 (何もせずじっとしていても生命活動を維持するた

エネルギー投与量の算出Longの方法

必要熱量 = BEE × 活動係数 × ストレス係数 (損傷係数)

活動係数 activity factor		ストレス係数 stress factor	
寝たきり(意識低下状態)	1.0	飢餓状態	0.6~0.9
寝たきり(覚醒状態)	1.1	術後(合併症なし)	1.0
ベッド上安静	1.2	胃切除後急性期	1.2
トイレ歩行	1.3	外傷	1.35
軽労働	1.4	敗血症	1.1~1.3
中労働	1.5	重症敗血症	1.6
重労働	1.6	熱傷(>40%)	2.1
		発熱(1℃ごと)	0.1加える

2010/3/24

12

めに必要なエネルギー量) ですから、活動するにあたっての必要エネルギーを求めるには Long の方法 (上スライド) を用います。これは、基礎代謝エネルギーに活動係数とストレス係数を掛けたもので求めます。

それでは、実際の症例で計算してみてください。

(症例)

- ・身長 180 cm、体重 68 kg、年齢 32 歳、男性
- ・術後合併症なし、寝たきり (覚醒状態)、発熱 (1℃上昇)

(計算式)

H-B 式より BEE を算出すると

$$BEE = 1685 \text{ kcal}$$

寝たきり(覚醒状態) → 活動係数 1.1

術後(合併症なし) → ストレス係数 1.0

発熱(1℃上昇) → ストレス係数 + 0.1

* 必要カロリー = 2039 kcal/day

日本人簡易式 から

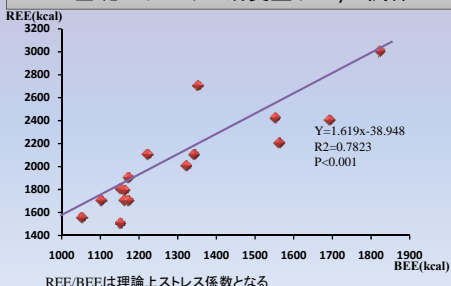
$$\begin{aligned} \text{必要カロリー} &= (14.1 \times 68 + 620) \times 1.21 \\ &= 1910 \text{ kcal/day} \end{aligned}$$

概算値 から

$$\begin{aligned} \text{必要カロリー} &= 25 \times 68 \times 1.21 \\ &= 2057 \text{ kcal/day} \end{aligned}$$

重症侵襲症例の REE と BEE の関係

重症侵襲症例の安静時消費エネルギー(REE)と基礎エネルギー消費量(BEE)の関係

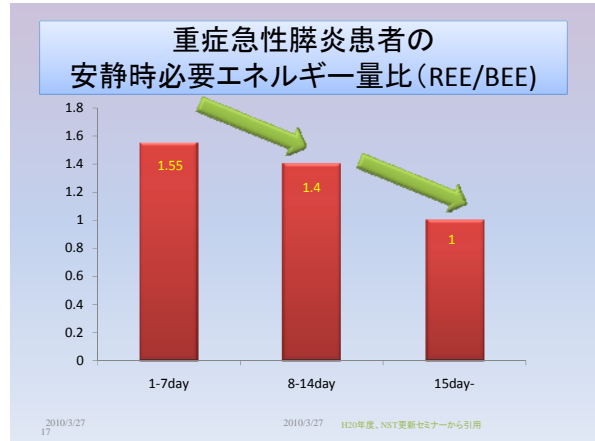


REE/BEEは理論上ストレス係数となる

2010/3/27 16 H20年度、NST更新セミナーから引用

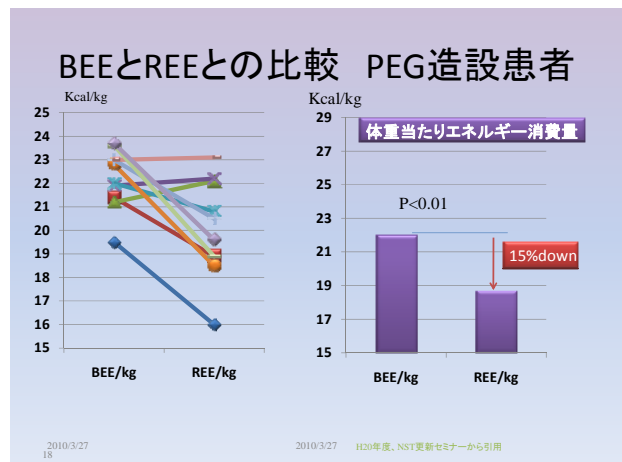
このスライドでは、重症侵襲症例での安静時エネルギーと基礎エネルギー消費量の関係を示しています。この相関での傾きが理論上ストレス係数となります。しかし、重要なことは個々の症例でかなりのバラツキが見られるということです。

重症肺炎患者の安静時必要エネルギー量比



スライドから最初の1週間は REE と BEE の比(ストレス係数に相当)が 1.6 であったのに2週目には 1.4 3週目になると 1 になっています。このことから、ストレス係数は経時的に変化しているということであり患者の状況に応じて投与カロリーをチェックする必要がありますということです。

PEG 増設患者の BEE と REE 比較



PEG 増設患者に BEE と REE のエネルギー量を 6 週間投与した結果、

- ALB・TP は両群ともに差はなかった
- BMI は BEE 群において 6 週間後増加した
- 体脂肪率は BEE 群において 6 週間後増加した
- 除脂肪体重は両群ともに差はなかった
- 安静時代謝は両群ともに差はなかった

というデータがあります。この研究から 寝たきり高齢者に対する PEG の経腸栄養管理では $REE=BEE \times 1.2$ の投与熱量では過剰栄養のリスクがあるということです。考えられる要因は①脳による代謝の低下 ②咀嚼による消費エネルギーが不要であること、と考えられています。

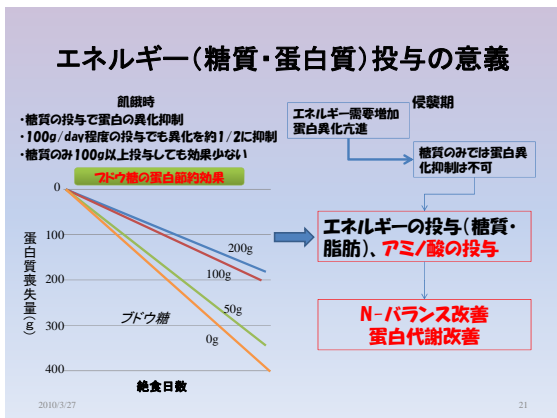
アミノ酸の役割を理解する

次の栄養素は蛋白質（アミノ酸）ですが、本日行われた味の素ファルマ学術担当からのスライド（別資料）で詳細は確認してください。

アミノ酸

1. アミノ酸の役割を理解 **蛋白質合成**
2. BCAA richなのは **侵襲期においてBCAAの酸化が亢進しエネルギー不全状態にある末梢組織のエネルギー源（術後侵襲、幼小児、高齢者）**
3. 特殊アミノ酸の意義 **7ィッシャー比BCAA/AAA**
アミノ酸療法は肝臓や腎臓が障害された際に生じるアミノグラムの異常を正常化させることによって全身の代謝を正常化させる

2010/3/27 20



NPC/N とは

NPC(non protein calorie)/N(nitrogen)

十分なエネルギー源投与

アミノ酸

エネルギー源不足

蛋白質合成

ブドウ糖

エネルギー

蛋白質を効率よく利用するために窒素1g当たりの必要な非蛋白性のエネルギー。一般的なNPC/N比は150~200、腎不全時には300~500とする。

蛋白質に含まれる窒素量の平均が16%であるので、窒素1gは100/16=6.25gの蛋白質に相当する。この6.25を窒素係数といい、蛋白質の量を6.25で割ったものが窒素量となる。

2010/3/27 22

臨床栄養を理解するために覚えておく用語に NPC/N 比があります NPC/N 比はノンプロテインカロリー、窒素比を意味します。

蛋白質（アミノ酸）は1g代謝されるとブドウ糖と同様に4kcalの熱量を発生しますが、その投与目的は蛋白合成であり合成に使われた場合はエネルギーにならないためエネルギーとしてカウントしません。投与したアミノ酸に対して「どのくらいカロリーを与えたか」という指標が NPC/N 比です。アミノ酸は十分なエネルギーの存在下で本来の蛋白合成に使用されますがエネルギーが少ない場合、生体はアミノ酸をαケト酸に転移してクエン酸回路に介してエネルギー合成に使用されます。換言すれば NPC/N 比は蛋白質を効率よく利用するために窒素1g当たりの必要な非蛋白性のエネルギーということになります。ところで蛋白質（アミノ酸）から窒素量の算出方法ですが蛋白質に含まれる窒素量の平均が16%であるので、窒素1gは100/16=6.25gの蛋白質に相当します。この6.25を窒素係数といい、蛋白質の量を6.25で割ったものが窒素量となります。

一般的な NPC/N 比は 150~200、腎不全時には 300~500 となります。高カロリー導入期 120 以下、維持期で 150 以下であれば医師に照会します。理由は NPC/N 比が小さいときは BUN・アンモニア濃度の上昇、自己蛋白が崩壊し筋肉の崩壊が起こるためです。

それでは、NPC/N 比に関する練習問題をやってみましょう。

(練習問題1)

蛋白を含まないエネルギーとして 1500kcal を投与し NPC/N 比を 200 に設定する。アミパレンを何mL 投与すればよいか？

(練習問題2)

アミノフリード 500mL とフィジオゾール 3号 500 mL の組み合わせた輸液の NPC/N はいくか

(解答例1)

200=1500/N から必要な窒素量は 7.5g となる。必要なアミノ酸量としては 7.5×6.25=46.9g、アミパレンの窒素量は 1.57g/dL であるのでそのための用量は 478 mL となる。

(解答例 2)

アミノフリードに含まれるブドウ糖は 37.5g、アミノ酸は 15g で、フィジオゾール 3 号に含まれるブドウ糖は 50g である。

ブドウ糖の合計は 87.5g となりエネルギー換算すると 350kcal となる。アミノ酸 15g に含まれる窒素量は $15 \div 6.25 = 2.4$ なので $NPC/N = 350 \div 2.4 = 146$ となる

侵襲の状態によってアミノ酸投与量は異なる

エネルギー必要量とアミノ酸投与量			
	非蛋白カロリー (kcal/kg/day)	アミノ酸投与量 (g/kg/day)	NPC/N比
非侵襲時	25~30	0.8~1.0	150~200
軽度侵襲時	25~30	1.0~1.2	150~200
中等度侵襲時	30~35	1.2~1.5	100~150
高度侵襲時	35~40	1.5~2.0	100

* 脂肪は全カロリーの10~20%を補う

アミノ酸の投与量はこの表を参考にしてください。先の A.S.P.E.N ガイドラインでもアミノ酸の投与量は 0.8g/kg/day が適切としていました。この表からもわかるように 1 日体重あたり 0.8g~1g ということになります。体重 50kg の成人を想定した場合アミノ酸量としては 40g~50g となります。アミパレン量でいえば 400mL から 500mL ということになります。

脂質

脂質(脂肪乳剤の目的)

1 必須脂肪酸の補給(細胞膜構成成分、PGの基質)
 必須脂肪酸欠乏症(皮膚障害、神経障害、肝障害の防止)
 20%脂肪乳剤 100mL を 3回 / week 投与 or 0.3-0.5g / Kg / day 連日投与

2 エネルギー源(糖質投与の制限目的)
 全投与エネルギーの10~40%、最大 2g / Kg / day まで投与可
 脂肪乳剤には含まれていないが経口経腸栄養として
 * MCT → カルニチン非依存でエネルギー効率が高い
 * ω3系脂肪酸(しじ油、魚油: α1/レン酸) → 免疫賦活、抗血小板凝集、抗炎症作用
 禁忌: 高齢者、高度侵襲時、循環動態不安定、呼吸不全、肝障害
 添付文書の禁忌: 血栓症、重篤な肝障害・血液凝固障害、高脂血症、ケトシスを伴った糖尿病

静脈栄養における脂質(脂肪乳剤)の投与目的は
①必須脂肪酸の補給
②エネルギー基質としての2通りがあります。

最近、学会でも脂肪乳剤の投与速度、投与目的についての発表が散見していますが、スライドに示すような投与速度が適正に行われるよう薬剤師が指導すべきです。添付文書での脂肪乳剤の投与速度は 0.3g/kg/hr となっています。これは開発当時にこれより速い速度で投与した場合有害事象が多かった、ということからの設定であり、アポ蛋白の代謝がよく知られている現在においては、この速度では生体は脂質を上手く処理できないことを知っておいて下さい。

脂肪乳剤は

敗血症や血液凝固能異常の症例にも問題なく使用できる

ただし、**0.11g/BWkg/hr以下**の速度で投与する

20% 100mlの脂肪乳剤の場合、脂肪の量は20g

体重40kgの場合 4.5時間

体重50kgの場合 3.6時間

輸液量と電解質の算出方法

投与輸液量の算出(体重法による計算)

体重(kg)	必要水分量(mL/kg)	計算結果
0~10kg	100mL	A
11~20kg	50mL	B
21kg~	20mL	C
投与輸液量(体温1℃上昇で10%加算)		A+B+C

投与電解質量の算出

電解質	mEq/投与水分100mL
Na+	3
K+	2
Cl-	2
Ca2+	0.1~0.2
Mg2+	0.1
PO4-	0.1

輸液量(水分量)の算出方法は

- ①カロリー量に等しい水分量を投与
- ②予定尿量 X を設定し不感蒸泄(900mL)と代謝水(300mL)から、輸液量 = X + 900 - 300
- ③スライドのような体重法(成人では多くなる傾向)があります。

投与電解質の算出方法は

- ①水分から計算する方法(スライド)
- ②体重から計算(次表: コメディカルのためのガイドラインより引用)

電解質・水分量の設定(制限がある場合は、あてはまりません)

Na ⁺	1~2mEq/Kg	Ca ²⁺	10~20mEq/日
K ⁺	1~2mEq/Kg	P	300~500mg/日
Cl ⁻	1~2mEq/Kg	Mg ²⁺	8~20mEq/日
水分量	30mL/Kg		

症例検討

31歳男性、身長170cm、体重50kg

- (経過)2年前に逆流性食道炎を指摘され、近医にて治療を受けていたが服薬コンプライアンスが悪く再発を繰り返していた。1カ月前より食べ物が喉につかえるようになり数日前から流動食以外は受け付けなくなり入院となる
- (検査)Na137mEq/L, K4.7mEq/L, Cl104mEq/L, BUN 40mg/dL, Cr 0.9mg/dL, WBC 8000, RBC269万, Alb 2.4g/dL, 便潜血(+)
- (症状)意識清明、血圧105/70、脈拍80(正常)、体温37.0°C皮膚軽度乾燥、嚥下時胸痛(+)

2010/4/4

38

症例は「症例から学ぶ輸液療法：鍋島俊隆監修」より引用

本症例は、吐血の既往がなく便潜血 (+)、BUN 軽度上昇、Alb の低下から慢性的出血および蛋白異化の亢進が疑われる。長期間の食事摂取量の不足と食べ物がつかえることから食道狭窄も考えられるので EN より TPN を選択することとする。

症例の問題点および初期プラン

#1: 消化管出血および食道狭窄による摂取エネルギー不足のハイリスク状態

P#1: 消化管出血の危険性、絶食

P#2: 高カロリー輸液の投与
投与輸液処方
輸液量・エネルギー・電解質の算出

2010/4/4

39

症例解説 (各栄養素の考え方例)

- ① 投与エネルギーの算出：170cm、50kg、BMI17.3と痩せはあるが、現体重で計算する。H-B 式より1390kcal、活動係数 1.2、ストレス係数 1.0 とすると REE=1670kcal となります。求めた REE を最初から投与すると高血糖になる可能性があるため最初の3日~5日間は85~90%程度を投与し血糖値に問題がなければ目標値までアップします。したがって初期投与は1500kcal程度になります。
- ② アミノ酸量：0.8g~1g/kg なので40g~50g。
- ③ 水分量：体重法で $10\text{kg} \times 100\text{mL} + 10\text{kg} \times 50\text{mL} + 30\text{mL} \times 20 = 2,100\text{mL}$
簡易体重法で 1500mL
- ④ 電解質量：水分から計算する式を用いて、水分量を2000mLと仮定するとNa⁺60mEq、K⁺40mEq、Cl⁻40mEq、Ca²⁺4mEq、Mg²⁺1.5mEq となります。この方法だと、今回の最初のスライドで説明した水分の分布は細胞の内外でほぼ1:1になることはおわかりですね。この計算式は水分の分布という点では合理的ですが、Ca・Mg・Pの投与量が少なくなっています。成人の必要投与量から考えれば(第1回勉強会参照)本文表にあるように体重算出式の表のようにCa・Mg・Pについては規定量を投与したほうが不足がないかもしれません。となると体重法では1日あたりNa⁺50~100mEq、K⁺50~100mEq、Cl⁻50~100mEq、Ca²⁺10~20mEq、Mg²⁺8~20mEq、P300~500mg となります。
- ⑤ 脂質量: 脂質の投与は全体カロリーの20~30%程度と考えると334~500kcal (脂質36~54g: 20%200mL程度) となります。(脂質は重要であることは承知していますが) 処方設計の最初のステップでは必須脂肪酸の投与に留めておき、糖質の投与限界(5mg/kg/min)を超えた分を脂肪乳剤で投与します。
- ⑥ 以上から
ア 投与カロリー1670kcal (最初は1500程度)
イ アミノ酸40-50g
エ 水分1500-2000mL
オ 電解質 Na⁺60mEq、K⁺40mEq、Cl⁻40mEq、Ca²⁺10~20mEq、Mg²⁺8~20mEq、P300~500mg
カ ビタミン、微量元素 となります。

輸液の投与設計

いよいよ輸液を考えましょう。

先に計算した栄養素を高濃度ブドウ糖、アミノ酸、水、電解質を混合して調整することは基本ですが（一度自分でやってみてください）実際の臨床では非現実的ですので市販の高カロリー輸液用基本液から選択します。

- ① **BCAArich** アミノ酸であるアミパレンは 100mL 中にアミノ酸を 10g 含んでいますからアミノ酸 50g ではアミパレン 500mL ということになります。
 $1500-200=1300\text{kcal}$ (325g) $325\text{g}<\text{BW}50\text{kg}$ の投与限界 360g なので熱源としてブドウ糖のみで可能となります。
- ② これより相当する基本輸液をみるとハイカリック 2号 1400mL にアミパレン 500mL を混合すると、水分 1900mL、熱量 $1400+200=1600\text{kcal}$ となります。
- ③ 電解質はハイカリック 2号に含まれているものを確認すると Na^+0mEq 、 K^+60mEq 、 Cl^-0mEq 、 $\text{Ca}^{2+}17\text{mEq}$ 、 $\text{Mg}^{2+}20\text{mEq}$ 、P300mg であるので、10%NaCl を 34mL 混合すれば Na^+60mEq 、 Cl^-60mEq となります。
- ④ 次にここで処方設計した輸液のバランスを確認するために NPC/N 比を計算して（このメニューでは 1.78）適正であることもチェックしておいてください。
- ⑤ 最後に、電解質の投与量で K が計算値の 1.5 倍になりましたが成人の 1 日所要量が 40~100 から考えると（腎不全等で K 制限がなければ）60 mEq となっても問題はないと考えます。

投与計画

ハイカリ2号	1400	Total.Vol	1954
アミパレン	500	Total.Cal	1600
KCLキット	20	Na+	60
10%NaCl	34	K+	60
マルチミン	1V	Cl-	60
エレメンミック	1A	NPC/N	178