

奨励研究報告：総説

下痢症子牛の輸液療法

鈴木一由¹⁾, 田口 清²⁾

¹⁾日本・獣医薬理, ²⁾酪農・生産動物医療

¹⁾〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野1866

(2005年12月25日受付, 2006年1月10日受理)

要 約

脱水した下痢症子牛では, 下痢を生じている間, 腸管からの Na^+ , K^+ , Cl^- および重炭酸イオンの喪失量が増加するため, 酸血症(アシデミア)が生じるだけでなく, 血漿中ナトリウム濃度の減少により血漿および間質液が低浸透圧となる。下痢によって細胞外液浸透圧が低下するということは, 自由水が細胞外液から細胞内液区画へ移動するため血液量が減少して細胞内液が増加する。また, 循環血液量の減少により細胞内の低酸素症が生じるため静止膜電位の脱分極が不十分となり, Na^+ が細胞内に拡散するため細胞内浸透圧がさらに増加する。これらの機序が重度下痢症子牛における血液量減少性ショックの発症に寄与している。今回, 下痢症に伴う脱水子牛の循環血液量と酸塩基平衡の補正を目的とした輸液計画について, 「消費エネルギー」をキーワードに構築する方法について紹介する。

キーワード: アシドーシス, 子牛, 消費エネルギー, 輸液療法

獣医輸液研究会会誌, 6, 1~10. (2006)

1. はじめに

幼齢動物は成熟動物と比較して体液の恒常性の幅が狭く, 体液異常やショックを起こしやすい。これは, 幼齢動物が成熟動物と比較して(1)体重あたりの体表面積が広いことため不感蒸泄量が多い, (2)腎臓での尿濃縮力が未熟なため尿排泄に多量の水分を要する, (3)1日あたりの水分出納率が大きい(1日あたり細胞外液量の1/2を交換する), (4)筋肉が少なく, 相対的な細胞外液成分が多い(細胞内液:細胞外液=1:1)ことによる。従って, 下痢, 食欲不振などで容易に脱水に陥るため, 成熟動物よりも治療として輸液を行う機会が多くなる。特に重度の水溶性下痢症では脱水が深刻となる。新生子牛が糞便中に喪失する水分量は, 1日あたり体重の13~18%にも達することもあり, 経口輸液療法だけでは脱水の進行を止めることができない。幼齢動物の脱水症に対する輸液療法について, (1)循環血漿量の保持(第I相), (2)体液管理を中心とした輸液(第II相), 必要に応じて(3)栄養輸液に分けて考慮するべきである。

表1に脱水の原因について示した。脱水は高張

性(高Na性), 等張性(等Na性), 低張性(低Na性)の3つに大別することが出来る。最も頻度が高いのは等張性脱水である。これは, 失われた体液が等張であるときに生じる。また, 腎臓機能が正常な場合には, 浸透圧の恒常性を維持するために, 低張性脱水では電解質を, 高張性脱水では水分の再吸収割合を増加させることで最終的には等張性脱水へと至る。脱水の程度は, 体重の減少量または臨床所見により評価する。輸液計画を立てる上で最低限必要な臨床所見と脱水の程度の関係について表2に示したので参考にされたい。

脱水した下痢症子牛では, 細胞外液量の減少と細胞内液量の増加が生じる[2,3,11]。下痢を起こしている期間は, 腸管からの Na^+ , K^+ , Cl^- および重炭酸イオンの喪失量が増加するだけで, 酸血症(アシデミア)が生じるのではなく, 血漿中ナトリウム濃度の減少により血漿および間質液が低浸透圧となる。下痢によって細胞外液浸透圧が低下するということは, 自由水が細胞外液から細胞内液区画へ移動するということであり, その結果として細胞内液が増加する。また, 重度脱水では, 血液量の減少により細胞内の低酸素化が生じ

表1 脱水の原因

水分摂取量の減少	昏睡	食欲不振 水分制限
	消化器系	下痢 嘔吐 消化管痙攣, ドレナージ
	皮膚・呼吸器系	高温環境 嚢胞性繊維症 炎症性皮膚疾患
水分喪失量の増加	熱傷	
	泌尿器系	利尿剤 浸透圧利尿 (糖尿病, 造影剤) 腎不全 副腎不全 塩類喪失性腎炎 閉塞性腎症の解除後 尿崩症

表2 臨床所見による脱水程度の予測

脱水率*	臨床所見
< 5%	特になし
5~6%	皮膚の弾力性のわずかな低下
6~10%	皮膚緊張性のわずかな増加 CRT**のわずかな延長 眼球のわずかな陥没 口腔粘膜のわずかな乾燥
10~12%	皮膚緊張性の明らかな増加 CRTの明らかな延長 明らかな眼球陥没 口腔粘膜の乾燥 ショック症状 (頻脈, 弱い脈圧, 冷感) が見られる場合もある
12~15%	ショック症状 (頻脈, 弱い脈圧, 冷感) 瀕死状態

* 体重あたりの水分減少率

** 毛細血管再充填時間

るため静止膜電位の脱分極が十分に得られなくなり, Na^+ が細胞内に拡散する。その結果として細胞内ナトリウム濃度が上昇するため, 細胞外液の低浸透圧変化によらず細胞内液量自身も増加する。いずれの機序にしろ, 下痢症子牛では細胞内液が増量し, その増加量の一部が細胞外液でまかなわれている。これらの機序が重度下痢症子牛における血液量減少性ショックの発症に寄与している。

今回, 下痢症に伴う脱水子牛の再水和を目的とした輸液計画について, 「消費エネルギー」をキーワードに構築する方法を紹介する。

2. 輸液量

輸液量は, 維持量, 欠乏量および予測排泄量の3つのカテゴリーに分類して考える。

- 維持量とは、1日に消費する水分量
- 尿量＋糞便中水分量＋不感蒸散量－代謝水
- 幼齢動物は成熟動物よりも維持量が多い

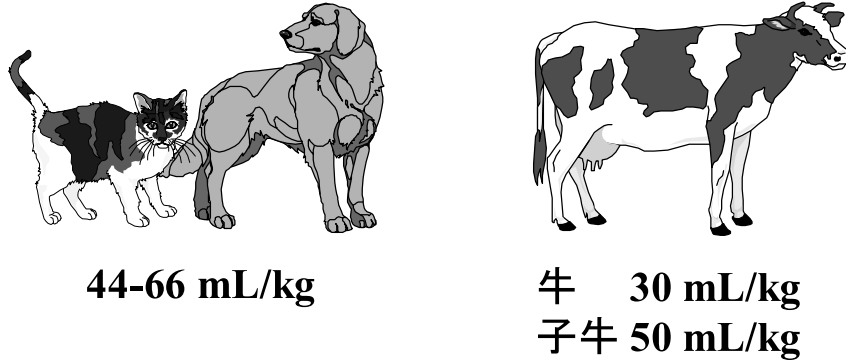


図1 動物種による維持量の違い

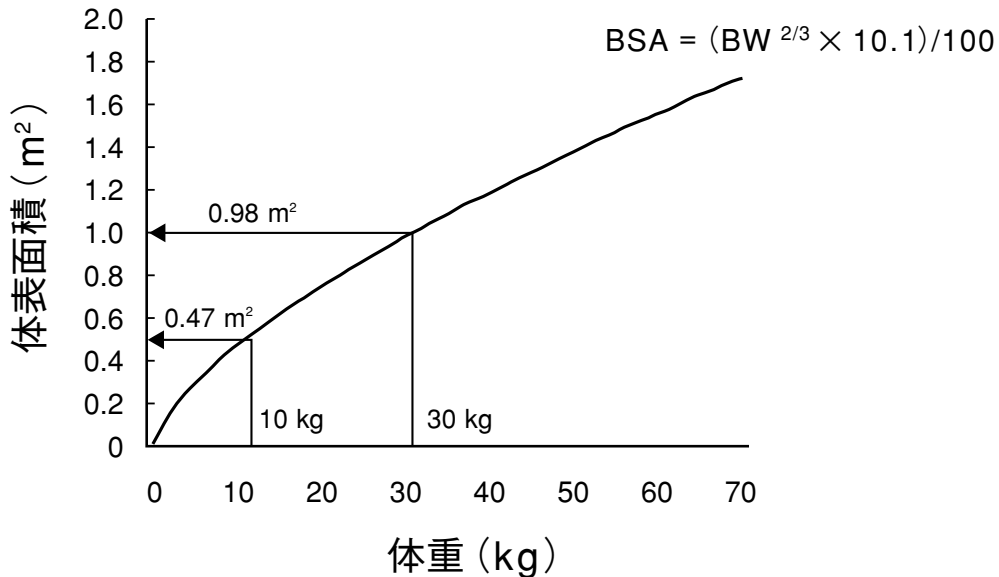


図2 体重 (kg) と体表面積 (m²) の関係

1) 維持量 (Maintenance Fluid Needs)

維持量とは動物が生命維持活動をするために必要な1日あたりの水分量であり、「一日水分維持量」とも呼ばれる。維持量は、尿量、糞便中の水分、不感蒸散量から代謝活動によって生成される“代謝水”の差として考えられる。ヒトでは、成人で20mL/kg/日、幼児で50mL/kg/日が尿として排泄し、2～4 mL/kg/日の水分が糞便中に排泄される。不感蒸散量は成人で15mL/kg/日、幼児で30mL/kg/日と見積もられている。また、代謝活動で生成する代謝水は成人で5 mL/kg/日、幼児で8 mL/kg/日である [8]。したがって、成人

の維持量は、20 (尿量) + 2 (糞便中水分) + 15 (不感蒸散量) - 5 mL/kg/日 (代謝水) より、32 mL/kg/日となるため、便宜上、成人の維持量は約30mL/kg/日として取り扱われている。幼児の維持量を成人と同様に計算すると、約80mL/kgとなる。これは前述したように幼児が成人と比較して体液保持率が高く、水分代謝回転率が2日と早いことによる。

獣医学領域では対象とする診療動物の体重差が大きいため、“維持量”も図1で示したように動物種によって大きく異なる。搾乳していないウシの維持量は30mL/kgであるが、イヌまたはネコの

表3 幼齢動物における消費エネルギーの簡便式

BW (kg)	1日消費エネルギー (kcal)
～10	100 x BW
10～20	1,000+50 x (BW-10)
20～	1,500+20 x (BW-20)

BW：体重 (kg)

例) 5 kg：100 x 5 = 500kcal

15kg：1,000+50 x (15-10) = 1,250kcal

40kg：1,500+20 x (40-20) = 1,900kcal

表4 100kcalの消費エネルギーに対する水分と電解質の要求量

項目	要求量
水分	100mL
Na	2～3 mEq
K	2～3 mEq
Cl	5 mEq
糖質*	20～25kcal

*異化亢進を防ぐ目的でブドウ糖を加える。

例) 一日消費エネルギーが2,000kcalの子牛が必要とする水分および電解質量

項目	要求量	
水分	100mL	100mL x (2,000/100) = 2,000mL
Na	2～3 mEq	2 mEq x (2,000/100) = 40mEq
K	2～3 mEq	2 mEq x (2,000/100) = 40mEq
Cl	5 mEq	5 mEq x (2,000/100) = 100mEq
糖質*	20～25kcal	20kcal x (2,000/100) = 400kcal

* 1 gのブドウ糖が4 kcalの熱量に相当するため、ブドウ糖量は100 g以上。

維持量は一般的に44から66mL/kg/日の範囲であると考えられている [6]。同一動物種内、特にイヌおよびネコの維持量にかなりの幅が生じるのは、維持量が動物の体重 (BW: Body Weight) ではなく“体表面積 (BSA: Body Surface Area)” に比例しているためである。BSA (m²) と BW (kg) の関係は以下の式より算出することができる。

$$BSA (m^2) = (BW^{2/3} \times 10.1) / 100 \quad [9, 10]$$

図2のグラフからも明らかなように、BW-BSA 曲線は体重が少ないと勾配はきつく、体重が多いほど勾配が緩やかになる。つまり、体重の少ない動物ほど体重に対す体表面積が大きくなる

ため、体重あたりの維持量も多くなる。維持量を見積もる際には体重比ではなく体表面積比で算出するべきであるが、体表面積を算出するためには指数計算を行わなければならない。これは臨床現場において容易なことではない。指数計算をせずに維持量を求める簡便法として次式がある。

$$\text{維持量 (mL)} = 30 \text{ (mL)} \times \text{BW (kg)} + 70$$

維持輸液量を消費エネルギーから見積もる方法もある。消費エネルギーに基づいた維持輸液量は、特に水分保持能力が低く、生命維持以外にも成長のためのエネルギーを必要とする幼齢動物では前述の算定方法よりも正確な値となる。本来、消費

表5 幼齢動物の中等度脱水(10%)における水分・電解質喪失量

脱水型	水分(mL/kg)	Na(mEq/kg)	K(mEq/kg)	Cl(mEq/kg)
低張性脱水	100	10~12	8~10	10~12
等張性脱水	100	8~10	8~10	8~10
高張性脱水	100	2~4	0~4	増加

表6 産業動物臨床用の3号液(維持液)の処方例

	調合量	Na*	K*	Cl*	L-lact*	glucose**
1/2リンゲル液 ¹	1,000mL	73.5	2.0	73.5		25
5%ブドウ糖液	3,000mL					150(50 x 3)
1モル乳酸ナトリウム液	80mL			80	80	
1モル塩化カリウム液	80mL	80	80			
3号液(合計)	4,160mL 中	153.5	82.0	153.5	80	175

*mEq, **g

1 等張リンゲル糖-V注射液(日本全薬工業), 等張糖加リンゲル液「ミタカ」(川崎三鷹製薬)

3号液(濃度) 1,000mL	
Na ⁺	36.9mEq/L
K ⁺	19.7mEq/L
Cl ⁻	36.9mEq/L
L-lactate ⁻	19.2mEq/L
Glucose	4.2%

エネルギー量は体表面積に比例するためその算出は煩雑となるが、簡便に算出する方法を表3に示した。この簡便式によれば、4kgのネコでは100kcal×4kgより、400kcalが消費エネルギーとなる。また、18kgのイヌにおける消費エネルギーは、1,000kcal+50kcal×(18kg-10)より、1,400kcalとなる。同様に、50kgの子牛では、1,500kcal+20kcal×(50kg-20)より、2,100kcalとなる。

次に、消費エネルギーに基づく、水、Na⁺、K⁺、Cl⁻の必要量について表4を参考に検討する。100kcalの消費エネルギーあたりに必要な水分は100mLである。同様に100kcalあたりに必要なナトリウムおよびカリウム量は2~3mEq、クロールはナトリウムとカリウムの総量に等しいので5mEqとなる。さらに、タンパク異化を防ぐ目的で、100kcalの消費エネルギーあたり20~25kcalに相当するブドウ糖を添加するとよい。ブドウ糖は1gあたり4kcalの熱量に相当するため、これらの値は5.0~6.3g/100kcalと置き換えることができる。

2) 欠乏量(Deficit Fluid Needs)

欠乏量とは、現在生じている異常な水分喪失量である。急激な体重の変化は水分の喪失と密接な関係にあるため、健常時の体重を知っておくことは重要である。しかし、正確な健常時体重を稟告から得られることは極めてまれであるため、臨床的なアプローチによって欠乏量を見積もらなければならない。臨床的なアプローチとして“皮膚の弾力性と感触、粘膜の状態、眼窩の陥没状況、口腔粘膜の乾燥”などが指標になる(表2)。多くの教科書やレビューでは、脱水率8%未満の場合には経口輸液、8%以上で経静脈内輸液療法を推奨している。経静脈内輸液療法が必要な子牛のほとんどが10~12%程度の脱水に陥っていること、臨床症状から脱水率を推測することは誤差が大きいことなどを考えるとルーチンで輸液計画を立てる場合、脱水率を10%として算定するとよい。各種脱水型において脱水率10%の子牛が喪失している電解質量を表5に示した。

3) 予測喪失量 (Ongoing Losses)

現在進行中である異常な水分喪失量を予測喪失量という。例えば、嘔吐による喪失は1日あたり1～4 mL/kgとして算出できるが、子牛の輸液療法で嘔吐は重要ではない。しかし、我々が見積もらなければならない下痢による水分喪失については、水溶性の下痢で200mL/kg/日まで増加することがあるため、喪失量を正確に判断することは困難である。従って、臨床的診断により予測することが重要となる。

多くの場合、維持量と欠乏量を経静脈内輸液量とし、予測喪失量に相当する量を追加輸液するかどうかは経静脈内輸液療法終了時の再評価結果に基づいて判断すればよい。また、予測喪失量に相当する量を追加投与するにせよ、意識レベルが正常であり、吸乳反射が回復しているのであれば、経口輸液療法に切り替えて対処すべきである。

3. 輸液速度とその調節

輸液投与速度は、動物の病態（または状態）によって判断する。例えば、出血性ショックを呈している動物には迅速に血液量を回復させる必要があり、イヌで70～90mL/kg/時 [4]、子牛では90 mL/kg/時の急速輸液が必要となる [6]。しかし、低ナトリウム血症動物に対して、細胞外液補充剤（生理食塩液など）を急速投与して浸透圧を補正すると、pontine myelinolysis（橋ミエリン溶解）を引き起こす可能性があるため、緩速に輸液する。同様に、高ナトリウム血症の場合でも低張電解質輸液剤による急速補正によって細胞外液浸透圧が低下し、脳浮腫を引き起こす可能性があるため急速輸液は禁忌である [1]。したがって、高ナトリウム血症の補正は、脳浮腫を発症させないために36～48時間かけて緩徐に等張輸液剤を点滴投与すべきである [5]。

Wattらは1965年に、当時英国で市販されていた4種類の人体用輸液セットを検証し、その結果Carton Heaton Drip Setが獣医療分野においてもっとも使い勝手のよい輸液セットであると考えた。Carton Heaton Drip Setとは、15滴で1 mLの点滴筒、チューブ長3フィート（約0.9m）、そして流量調整用のクレンメ（またはクランプ）からなる輸液セットであり、今日でもヒトおよび獣医療分野において“スタンダード”な輸液セットとして汎用されている。わが国において、ヒトお

よび獣医療分野用に市販されている輸液セットのほとんどがCarton Heaton Drip Setの仕様に準じ、点滴筒は15滴で1 mLのものが採用されている。一般に、1分間の滴数と“Drop Factor”の積が1時間あたりの輸液量（mL）となる。Drop Factorとは、60を1 mLに必要な滴数で割った数値である。例えば、15滴で1 mLの点滴筒のDrop Factorは、4（=60/15）である。幼齢動物は急激な輸液剤投与によって溢水症になりやすいため、輸液量および輸液速度には注意が必要である。このような状況に対応するため、小児や幼齢動物に対してより正確な“精密小児輸液セット”を用いるとよい。精密小児輸液セットは60滴で1 mLの点滴筒仕様であるため、Drop Factorが1となり1時間あたりの点滴量の換算が簡便である。実際の診療では、「1分間に何滴を滴下すれば目的の輸液速度になるか？」ということを考える場面が多いと思われる。その場合には次の式で1分間あたりの滴下数を算出する。

$$1 \text{ 分間あたりの滴下数 (滴/分)} = 1 / \text{drop factor} \\ \times \text{輸液速度 (mL/kg/時)} \times \text{BW (kg)}$$

次に考えなければならない問題として、輸液時間がある。24時間の緩速輸液と数時間の急速輸液のいずれが子牛の脱水症改善に有用であるかという命題の答えを得る報告はない。従って、ヒトで推奨されている、「第I相と第II相を24時間かけて行うべきである」という理論を子牛に外挿して考えるのがもっとも正しいと思われる。しかし、24時間の輸液は入院処置が取れるのならばよいが、実際の臨床の場面では困難である。そこで、著者は子牛の脱水補正のガイドラインとして採用されている輸液時間を海外の文献を中心に調査したところ、Garciaのレビューの中に「50kgの12%脱水子牛に対して、6～7Lの輸液を4～6時間で投与する [5]」という記載を認めた。つまり、理想は24時間の緩速輸液であるが、実際的には「4時間以上、できるだけ時間をかけて循環血漿量の改善（第I相）と維持輸液を行う（第II相）」となるだろう。

4. 症例と処方例

次に症例を用いて輸液の処方例を紹介する。症例は次の通りである。

1 週齢子牛，下痢による脱水で12時間以上排尿がない。現在，下痢は止まっているが，ツゴール反応低下，脈圧が弱く，頻脈であり，眼球がやや陥没しており，静脈輸液が必要である（脱水率=10%）。健常時体重は約35kgであり，血清電解質濃度は $\text{Na}^+=137, \text{K}^+=5.6, \text{Cl}^-=99.3, \text{BE}=-10 \text{mEq/L}$ であった。

最初にこの子牛の脱水の型と程度について検討する。日常の診療において健常時体重が確認されていることはまれである。多くの症例の場合，体重の減少量が不明であるため，脱水の程度は臨床所見に基づいて判断しなければならない(表2)。本症例ではツゴール反応が低下し，脈圧が弱くなっているなどの臨床所見から，中等度の脱水（脱水率=10%）であると推察できる。

次に，血清中 Na^+ 濃度から脱水の型を判断する。ウシの血清中電解質濃度の正常値は，次の通りである。

ウシ： $135\sim 145 \text{mEq/L}$

本症例の血清中 Na^+ 濃度は 137mEq/L と正常範囲内であったため，脱水の型は等張性（または等Na性）であると考えられる。次に，水分， Na^+ および K^+ の欠乏量について推測する。健常時体重が35kgの子牛が10%脱水をしているため，水分の喪失量は $3,500 \text{mL}$ ($35 \text{kg} \times 10\% = 3.5 \text{L}$) である。また，等張性脱水時の Na^+ および K^+ の予測欠乏量は表5より次のようになる。

Na^+ 喪失量： $280\sim 350 \text{mEq}$ ($8\sim 10 \text{mEq/kg} \times 35 \text{kg}$)
 K^+ 喪失量： $280\sim 350 \text{mEq}$ ($8\sim 10 \text{mEq/kg} \times 35 \text{kg}$)

水分および電解質の欠乏量が算出できたのであれば，次に生命維持に必要な水分や電解質量である維持量を1日の消費エネルギーを基準に算出する。本症例の健常時体重が35kgであることから，1日の消費エネルギーは表3より以下の通りとなる。

消費エネルギー (kcal) = $1,500 + 20 \times (35(\text{kg}) - 20)$
 = $1,800 \text{kcal}$

この消費エネルギーに対して必要となる水分および電解質量は表4により以下の通りとなる。

水分： $1,800 \text{mL}$ ($100 \text{mL} \times 1,800 \text{kcal} / 100 \text{kcal}$)
 Na^+ ： $36\sim 54 \text{mEq}$ ($2\sim 3 \text{mEq} \times 1,800 \text{kcal} / 100 \text{kcal}$)
 K^+ ： $36\sim 54 \text{mEq}$ ($2\sim 3 \text{mEq} \times 1,800 \text{kcal} / 100 \text{kcal}$)

輸液量は，現在までの欠乏量，1日維持量，そして現在進行中の喪失量の和である。本症例ではすでに下痢が止まっているため，現在進行中の喪失量は0として考えてよい。従って，本症例で補充しなければならない水分， Na^+ および K^+ の総輸液量は次のようになる。

	水 (mL)	Na^+ (mEq)	K^+ (mEq)
欠 乏 量	3,500	280	280
維 持 量	1,800	36	36
総輸液量	5,300	316	316

ここまで，本症例に対して補充する水分および電解質量を算出した。次は，算出した水分および電解質をどのように輸液するかを考える。輸液療法はそれぞれ目的の異なった3相から成る。第I相は初期急速輸液期ともいい，循環血漿量の回復を目的として行う。第II相では，欠乏量および維持量の補充を緩速輸液する。ここまでの輸液を24時間で完結する [7]。そして，第III相では輸液開始後24時間以降の水分管理や第II相までに補正しきれなかった K^+ や酸塩基平衡の補正を行う。なお，第III相を行う前に身体一般検査および血液検査を再度行い，改めて輸液計画を立て直すべきである。

(1) 第I相：循環血漿量の回復

第I相では循環血漿量の回復が目的であるため，ショック症状がない限り等張性複合電解質輸液剤または低張性複合電解質輸液剤である1号液を排尿が認められるまで $20\sim 40 \text{mL/kg}$ /時の輸液速度で投与するとよい [7]。排尿は腎臓が生理的機能を回復するために最低限必要な量の血液が送られていることを示すため，排尿が確認できれば循環血漿量が改善したものと判断できる。おおよそ，10%程度の急性脱水子牛であれば， $20\sim 40 \text{mL/kg}$ の等張性複合電解質輸液剤（生理食塩液，リンゲル液，乳酸加リンゲル液または等張重曹注）を1～2時間投与すれば排尿が認められるはずであ

る。1～2時間と輸液時間に幅があるのは、症例によって循環血漿量の改善に要する輸液量および時間が異なることによる。脱水により尿量が減少した動物において、循環血漿量が改善されると腎臓血流量も増加するため排尿がみられる。従って、排尿が認められた時点で循環血漿量が改善されたと思われ第Ⅰ相を終了する。しかし、1時間以上も等張性複合電解質輸液剤（細胞外液補充剤）または1号液（開始液）を輸液しても排尿が認められない場合には、輸液速度を半分以下のスピードまで遅くして慎重に追加投与を行うべきである。

子牛の下痢症では、代謝性アシドーシスを併発していることが多いので、酸塩基平衡の補正も第Ⅰ相のメニューに含めてしまう方がより効率的である。代謝性アシドーシスの補正に必要な塩基量を次式によって求める。

塩基要求量 (Base Requirement)

$$= \text{BW (kg)} \times \text{BD (mEq/L)} \times 0.5 \text{ (L/kg)}$$

不足塩基濃度 (BD: Base Deficient) は予備塩基濃度 (BE: Base Excess) に-1を乗じた値であるため、本症例ではBD=10mEq/Lとなる。体重35kg, BD=10mEq/Lの本症例に必要な塩基量は、次の通りである。

$$\begin{aligned} \text{BR} &= 35 \text{ (kg)} \times 10 \text{ (mEq/L)} \times 0.5 \text{ (L/kg)} \\ &= 175 \text{ mEq} \end{aligned}$$

BD=10mEq/Lという数値は、中程度の代謝性アシドーシスを示すものである。臨床症状のみから酸塩基平衡を補正しなければならない場合には、BD=10mEq/Lを基準値として輸液計画を立てるとよい。初回に算出した塩基要求量 (BR) の半量を投与し、再評価結果を吟味した後、必要に応じて残りの半量を加えるか否かを判断する。その理由は、酸塩基平衡を調節している呼吸性因子は比較的速く調節系として働くが、代謝性因子である緩衝系の反応は数日単位と遅い。従って、100%のアルカリ化をすると、緩衝系の反応結果が投与後に出現して酸血症を補正するだけでなくアルカリ血症を誘発する可能性がある。これをOvershot-alkalosisという。Overshot-alkalosisを防ぐためにも、塩基要求量の1/2をまず投与し、再評価結果に基づいて追加投与をするか否かを判断する

とよい。

本症例の塩基要求量は175mEqであり、この1/2量にあたる87.5mEqの塩基を初回投与量とする。初回投与する塩基量の全てを等張重曹注で補充するとき、その必要量について次に考える。等張重曹注は、160mEq/LのNa⁺とHCO₃⁻を含む。すなわち、この症例の酸塩基平衡異常を50%補正するために必要な等張重曹注の投与量は546.9mL ((87.5/160) × 1,000mL)となる。但し、等張重曹注など輸液剤は500mLや1,000mL規格で販売されていることから、本症例では500mLの等張重曹注を1本投与するというのが現実的であろう。等張重曹注の投与が終了したら、続けて生理食塩液を排尿が認められるまで投与する。但し、排尿が認められるまでその場を離れずモニタリングすることは必ずしも現実的ではない。従って、500mLの等張重曹注および生理食塩液をそれぞれ30分で投与すれば1時間後に排尿が見られるものと仮定して輸液を計画することが実践的であると思われる。そこで、循環血漿量の確保と酸塩基平衡異常の補正が目的である第Ⅰ相において、等張重曹注と生理食塩液をそれぞれ500mL、合計1,000mLを1時間で投与する。この場合、本症例の体重が35kgであることから、投与速度は28.6mL/kg/時と推奨投与速度の範囲内である。さて、第Ⅰ相においてリンゲル液、乳酸加リンゲル液、1号液（等張リンゲル糖や等張ハルゼン糖など）ではなく、なぜ生理食塩液を選択したかということが問題となる。生理食塩液はカリウムを含まないために急速投与しても循環器系に影響を及ぼすことがないため安全であり、かつ市販輸液剤の中で安価であることがその理由として挙げることができる。従って、第Ⅰ相のメニューと水分および電解質補充量は、次のとおりである。

輸液剤名	投与量	Na ⁺	(Na濃度)
等張重曹注	500mL	80mEq	(160mEq/L)
生理食塩液	500mL	77mEq	(154mEq/L)
合計	1,000mL	157mEq	

(2) 第Ⅱ相：維持輸液

第Ⅱ相の輸液量は、総輸液量から第Ⅰ相で輸液した量の残量である。第Ⅱ相の輸液量は次の通りである。

	水(mL)	Na ⁺ (mEq)	K ⁺ (mEq)	輸液時間
総輸液量	5,300	316	316	24
第 I 相	1,000	157	0	1
第 II 相	4,300	159	316	23

第II相では、4,300mLの水分、159mEqのNa⁺および316mEqのK⁺を23時間で補充すればよい。4.3Lの輸液剤を投与した際に159mEqのNa⁺が補充されればよいので、輸液剤1LあたりのNa⁺濃度は159/4.3より36.9mEq/Lとなる。同様にK⁺についても計算すると、第II相ではNa⁺およびK⁺濃度がそれぞれ36.9および73.4mEq/L配合した輸液剤を4,300mL用意し、23時間かけて緩速輸液すればよいことになる。既製の輸液剤でこの処方に最も近いものを選択できればよいが、Na⁺とK⁺濃度の両方を満たす輸液剤を選択することは困難であるため、まずはNa⁺濃度を優先して輸液剤を選択する。36.9mEq/LのNa⁺濃度に最も近い既製の輸液剤群として低張性複合電解質輸液剤の3号液（維持輸液剤）がある。しかし、3号液のK⁺濃度は20mEq/Lであり、本症例で必要とする56mEq/Lを満たしてはいない。さらに、3号液だけでなく既存の輸液剤のK⁺濃度は20mEq/Lが上限であるため、56mEq/Lという条件を満たす既存の輸液剤は市販されていない。これは、高K⁺液の急速投与により致死的な不整脈をきたす可能性があるため、K⁺の上限が20mEq/Lに設定されているためである。本症例の血清中K⁺濃度は5.6mEq/Lと高値なので急速にK⁺補正をする必要はないが、血清中K⁺濃度が3.5mEq/L以下の低カリウム血症の場合には15%-KClを3号液に添加し、K⁺濃度を40mEq/Lに調整する方法もある。実際には、循環器系に与える影響を考慮して第II相で全てのK⁺を補充することを考えず、必要に応じて15%-KCl液を輸液剤に添加してK⁺濃度を調製するか、第III相で改めてK⁺を補えばよい。KCl液は、1モル塩化カリウム補正用10mL液（清水製薬、10mL中1モル）、1モル塩化カリウム補正用20mL液（扶桑製薬、20mL中1モル）、コンクライト-K（ニプロファーマ、20mL中1モル）、補正用塩化カリウム液（大塚製薬、20mL中1モル）などが販売されている。

さて、ここで大きな問題が生じている。3号液はヒト医療分野において汎用されている「L型乳酸ナトリウムおよびK⁺をそれぞれ20mEq/L配合

した1/4生理食塩液」であり、この製剤は残念ながら産業動物医療用として販売されていない。そこで、3号液を調剤するという作業が生じる。表6に調合例を示す。

ここで、L型乳酸ナトリウムを加えている意義であるが、それは「希釈性アシドーシス」の予防である。漠然と輸液を続けるとHCO₃⁻の希釈やCl⁻の負荷に伴う「希釈性アシドーシス」を生じる。これでは、第I相で酸塩基平衡異常を補正したことが無意味になってしまうので、「希釈性アシドーシスを防ぐ程度のアルカリ化剤」としてL型乳酸ナトリウムを20mEq/L添加している。また、市販のL型乳酸ナトリウム液を選択する理由として、1)既に第I相にて循環血漿量が改善しているため肝臓での乳酸代謝が期待できる、2)子牛ではD型乳酸からL型乳酸に変換する酵素が非常に少ないためD型乳酸ナトリウムは不適である、3)市販L型乳酸ナトリウム液には乳酸代謝に重要な補酵素であるチアミンを配合している等が挙げられる。L型乳酸ナトリウム液は、1モル乳酸ナトリウム液（清水製薬）、コンクライト-L（ニプロファーマ）、補正用乳酸ナトリウム液（大塚製薬）などが販売されている。

調剤した溶液を何に入れるかという問題を解決しなければならない。実践的な話として、ヒト用に市販されている高カロリー輸液用バッグ（例えば、ハイカリックIVHバッグ、HC-B3006A、テルモなど）に充填するのが簡便であり、衛生的である。なお、ヒト用に市販されている高カロリー輸液バッグは3Lが最大容量であるが、4Lまでは十分に充填できる。

(3) 輸液メニュー

これまでの結果をまとめると次の通りとなる。

第I相：循環血漿量の改善（約1時間）

等張重曹注 500mL/30分

生理食塩液 500mL/30分

注意) 1時間で排尿が認められない場合には、前述の注意点を考慮して急速輸液を継続する。

第II相：維持輸液（約3～23時間）

3号液、4,160mL

処方) 1/2リンゲル液 1L

5%ブドウ糖 3L

1 モル L 型乳酸ナトリウム 80mL

1 モル KCl 液* 80mL

**必要に応じて、1 モル補正液20mL
を 4 本使用した場合

第III相：第II相終了時に再検査を行い、必要に応じてK⁺の補正を行う。

5. おわりに

輸液療法、特に子牛の下痢症による脱水の再水和療法については多くの著書や総説があり、それらの良書を読むことで水・電解質代謝の基礎的知識を習得することが可能である。しかし、各症例の病態を正確に診断して輸液計画を立てることは理想であるが、日常の臨床では正確な病態の把握ができないままに何らかの輸液を行わざるを得ない場合も少なくはない。従って、日常の診療では症例毎の輸液メニューを厳密に計画するよりも、それぞれの疾病に標準的な輸液計画を基本とし、これにK⁺やHCO₃⁻などの添加量を微調整するべきである。今回、経静脈内輸液療法が必要と診断されるスタンダードな症例として、「10%脱水、中等度の代謝性アシドーシス」を示す症例の再水和と酸塩基平衡補正療法について基本的なメニューを論理的に紹介した。あとは実際の臨床症状や病態に合わせて微調整し、臨床応用してほしい。

引用文献

1. 栗津 緑：レジデントノート. 1 (4),23-28 (1999)
2. Constable PD, Gohar HM, Morine DE, et al. Am. J. Vet. Res., 57 : 97-104.1996
3. Constable PD, Walker PG, Morine DE., et al. J. Am. Vet. Med. Assoc., 212 : 991-996. 1998
4. Cornelius LM, Finco DR, Culver DH. Am. J. Vet. Res., 39 : 1185-1190. 1978
5. Garcia JP. Vet. Clin. North Am., Food Anim Prac., 15 (3) : 533-544. 1999
6. Greco DS. Vet. Cli. North Am. Small Anim Prac., 28 (3) : 473-481. 1998
7. 五十嵐 隆. 治療. 81 (7) : 27-33. 1999
8. 岩佐正人, 小越章平. 輸液を理解するための基礎知識—水分・電解質代謝の基礎—. pp2-8. 輸液ガイド第2版. Medical Practice 編集委員会 : 文光堂, 東京. 1995
9. Pependop B, Verstegen J. Am. J. Vet. Res., 60 : 1148-1154. 1999
10. Pependop B, Verstegen J. Am. J. Vet. Res., 62 : 490-495. 2001
11. Walker PG, Constable PD, Morine DE, et al. J. Am. Vet. Med. Assoc., 213 : 113-121. 1998