

血清カリウム

福岡歯科大学 麻酔科

国立福岡中央病院 麻酔科^{a)}

青野 一哉, 富永 晋二, 中島 孝久
園田 博邦^{a)}

カリウム（以下Kと略す）の生体内分布は、細胞内98%、細胞外2%と細胞内外で極めて大きな差があり、このバランスを維持するためには多くの因子が関与している。

従来、術中の輸液には、もっぱら乳酸加リンゲル液（多くはLおよびD乳酸の両者を含むラセミ体含有）が基本的な輸液剤として使われて来た。最近、術中にL-乳酸のみを含む乳酸加リンゲル液¹⁾またはDL-乳酸を含む乳酸加リンゲル液にブドウ糖を添加した液^{2,3)}を輸液すると、血清K濃度が低下することが指摘されている。

今回、われわれは、侵襲度が異なると考えられる手術において、乳酸加リンゲル液（DおよびL

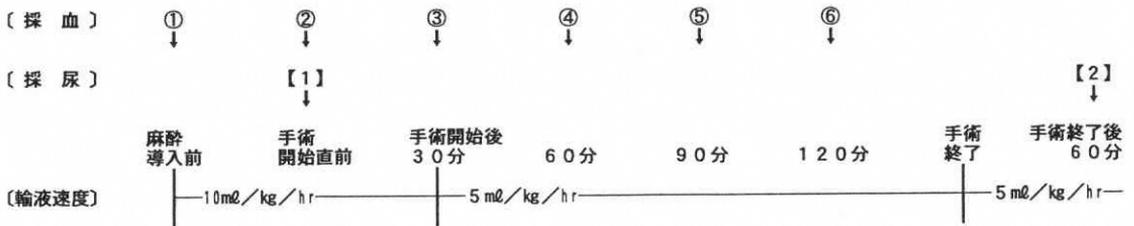
-乳酸を含むもの）を輸液し、術中の血清K濃度の変動とその要因について検討した。さらに、術中のK補充の問題についても言及した。

対象および方法

比較的侵襲が小さい手術として口腔外科手術（上顎洞炎根治術、顎骨嚢胞摘出術など、12例）を、比較的大きいものとして胃切除術（6例）を対象とした。胃切除術群は、さらに「全身麻酔（笑気-酸素-イソフルレンまたはセボフルレン）下の3例」と「硬膜外麻酔（以下硬麻と略）+全麻併用の3例」とに分けた。

両手術群における輸液条件、採血、採尿時期は

【口腔外科手術例】



【胃切除術例】

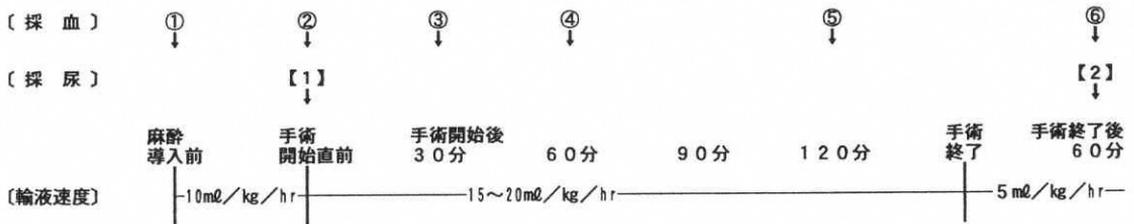


図1 各種手術における輸液速度および採血・採尿時間

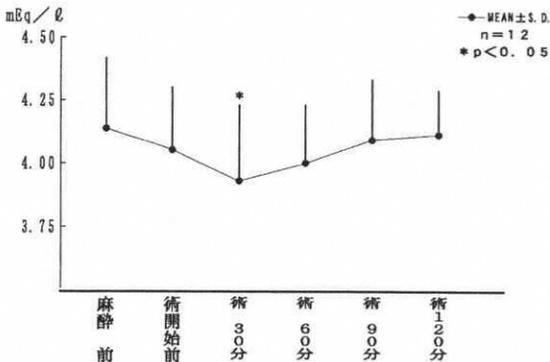


図2 口腔外科手術中の血清カリウム濃度の変動

(図1)に示されている。輸液剤は、すべて乳酸加リンゲル液を主体とした。

採血した血液を遠沈してえられた血清について、電解質(Na, KおよびCl), アルドステロンおよび抗利尿ホルモン(ADH)を測定した。血清電解質はNOVA 5 Electrolyte Analyser, アルドステロンはRIA(硫酸法)*, ADHはRIA(二抗体法)*により測定された。

結果および考察

1. 口腔外科手術および胃切除における血清K濃度

口腔外科手術における血清K濃度は、手術開始後30分には、術開始直前に比べて、有意に低下した(図2)。そのほとんどは正常範囲内の変動であったが、一部に正常範囲以下の値を示す例がみられた。この種の手術には、すべて「笑気-酸素-セボフルレン」による全麻に20万倍エピネフリン添加2%リドカイン液約5mlが併用されている。

一方、胃切除術例における血清K濃度の変動は(図3)に示されている。図の上半分は「全麻」下での症例、下半分は「硬麻+全麻」下での症例における血清K濃度の変動を示している。

前者での血清K濃度は一定の傾向がみられず、多少値がばらつく傾向があり、1例では、終始正常範囲より低値を示している。後者では、血清K濃度は、ばらつきが少なく、術開始後60-90分に、

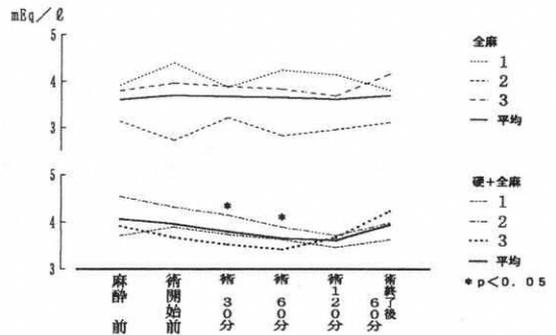


図3 胃切除術中の血清カリウム濃度の変動

術開始前と比べ有意に低下した。

2. 上記三群の術中における血清K濃度変動の要因についての考察

術中に血清K濃度を低下させうる原因を挙げてみると、次のような因子が考えられる。1) 血液pHの上昇 2) 尿中へのK排泄増加(利尿剤投与, アルドステロン分泌増加などによる) 3) ADH分泌の増加 4) 糖質液, インスリンの投与 5) 血中カテコールアミン濃度上昇(外因性…エピネフリン投与, 内因性…ストレス反応としての分泌増加など)。以下順を追って考察を加える。

まず血液pHと血清K値との関連では、pHが上昇するにつれてK値は低くなる⁴⁾。術中には、よほどの過換気でもしない限り、血液pHが上昇する可能性は極めて少なく、むしろ低下する傾向にあるので、術中血清K濃度低下の原因とは考え難い。

このシリーズで、尿中への電解質の排泄量をみると、Na, KおよびClとも、口腔外科手術<胃切除術(全麻)<胃切除術(硬麻+全麻)の順に多くなっている(図4)。各電解質について、輸液量と尿中排泄量とのバランスを計算すると、胃切除術(硬麻+全麻)群のKのみが(-)で-8.9mEq, この群のNa, Clおよび他の二群のNa, K, Clはすべて(+)の値となった。

胃切除術(硬麻+全麻)群では、術中にドーパミン(2~7µg/kg・時)が使われており、平均尿量は752mlと他二群より約2.5倍程度多かった。

*大塚アッセイ研究所に依頼し、測定。

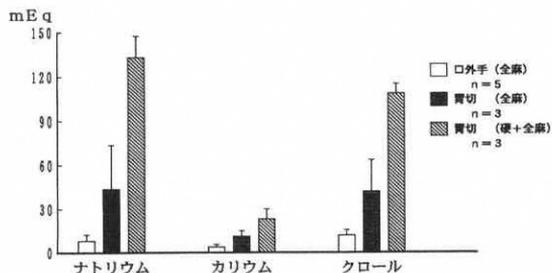


図4 尿中への、電解質の排泄量

以上の所見からみて、胃切除（硬麻+全麻）群で、術中血清K濃度が低下した原因は、尿中へのK排泄が増加したためと考えるのが妥当であろう。

次に各群における血清アルドステロン濃度の変動（図5）には、三群間に差はなく、しかも一定の傾向も認められなかった。従って、口腔外科手術例および胃切除術（硬麻+全麻）例での血清K濃度低下の原因とは考え難い。

同様にして、血清ADH濃度の変動では、口腔外科手術でごく僅かしか上昇しなかったが、胃切除術例では、術開始後明らかに上昇した。胃切除術例のうちでも、「硬麻+全麻」群の方が「全麻」群より、術開始後30分の値は有意に低く、硬麻併用によりADHの術中の上昇は抑制されるようである（図6）。ADHの分泌増加が最も著しかった胃切除術（全麻）例では、血清K濃度の低下はみられなかった。また、ADH分泌増加により水排泄が抑制されて血液希釈が起ったとしても、本来ならばKよりNaにその効果が出る筈である。このような条件下では、ADHは術中の血清K濃度低下の原因とは考えにくい。

要因の次の項目である「糖質液やインスリン」は、術中に投与していないので、このシリーズでの血清K濃度低下の原因とはなりえない。

エピネフリンを注射すると、動脈血・血清K濃度は、注射直後に一過性に上昇し、やがて注射前値以下に低下し、この状態が約30分続くことが、すでに1934年 D'Silva⁵⁾により報告されている。Toddら⁶⁾も1971年、麻酔した犬にエピネフリンまたはノルエピネフリンを2 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{分}$ で約40分間、静脈内へ持続注入すると、やはり一過性の hyper-

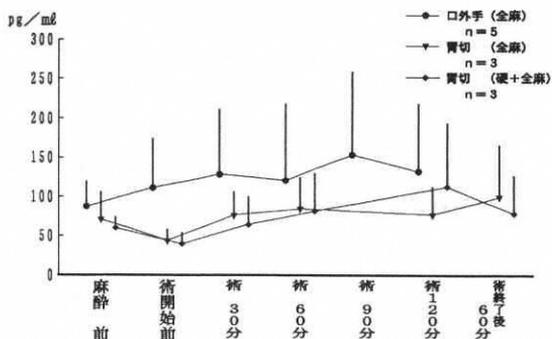


図5 術中の血清アルドステロンの変動

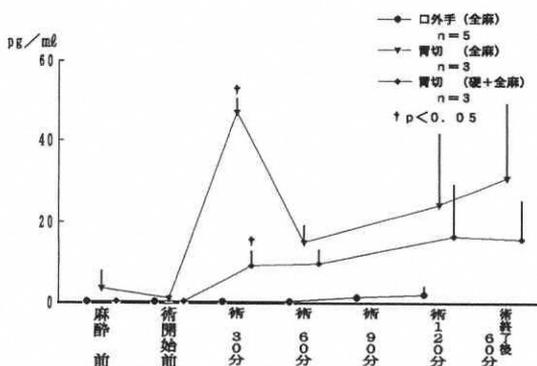


図6 術中の血清ADHの変動

kalemia と引続き持続性の hypokalemia が起こることを報告した（図7）。さらに彼らは、 α および β 受容体の遮断薬・刺激薬を前投与した際の実験結果から、エピネフリン注入直後の一過性血清K濃度上昇は $\alpha \cdot \beta$ 受容体の相互作用により、また引続く血清K濃度の低下は β 受容体の刺激によると結論した。また齊藤ら⁷⁾も、エピネフリン2 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{分}$ を30分静注すると、血清K濃度の一過性上昇の後、持続性の低下が起り、実測値で 3.65 ± 0.32 から $2.91 \pm 0.36 \text{mEq}/\ell$ まで低下した。この低下はエピネフリンの注入を中止しても2時間以上続いたという。

これら一連のエピネフリン投与による血清K濃度の変動をみた研究では、それぞれのエピネフリン投与条件下での血中エピネフリン濃度が測定されていないので、これらの状況と手術侵襲時のエピネフリン分泌増加の場合とを比較することは

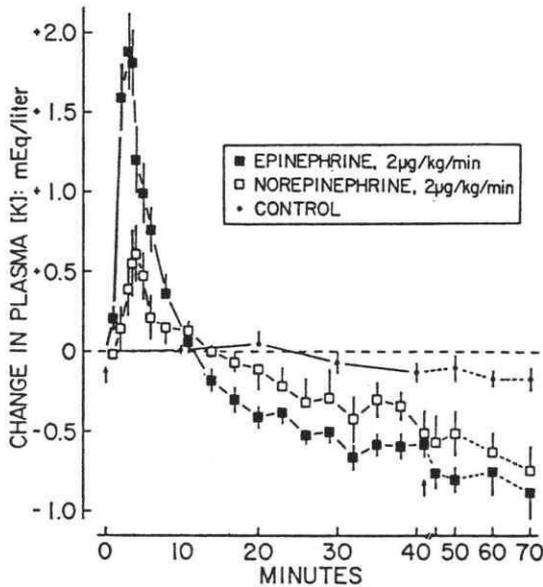


図7 犬における、エピネフリン、ノルエピネフリンおよび0.9%食塩液(対照)の持続注入による動脈血・血漿K(平均値±標準誤差)の変化いずれの輸液も、0分で開始され、41分(矢印)に終了。(Todd ほか, 1971)⁶⁾

きない。

β 受容体刺激が血清K濃度を低下させる機序は、 β 受容体刺激薬は細胞膜に存在する Na-K-ATPaseを活性化することによるNaポンプの働きを促進し、細胞外液中のKが細胞内にとりこまれる事によるとされる⁸⁾。

一方、口腔外科手術時、全麻に加えて、「10万倍エピネフリン添加1%リドカイン液」平均11mlを術野に併用すると、注射したエピネフリンが血中に吸収されて相当高い濃度に(入室時 32 ± 6 pg/mlから執刀 499 ± 59 pg/ml)まで上昇することが、足立⁹⁾により示されている。今回われわれの口腔外科手術例では「20万倍エピネフリン添加2%リドカイン液」約5mlが使われており、この際の血中エピネフリン濃度は上昇したとしても、足立の成績ほどには上昇しなかったのではないかと推測される。これらの口腔外科手術時の血中エピネフリン上昇のピークと血清K濃度が低下した時期は、どちらも術開始後30分とはほぼ同じであった点、および口腔外科手術例ではKの輸液量-尿中排泄量の

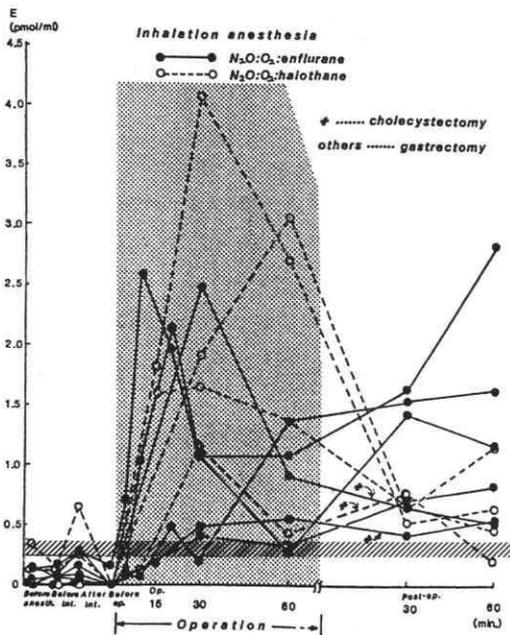


図8-A 上腹部手術(全麻下)における血漿エピネフリン濃度の変化
(陰をつけた部分は術中を、斜線部分は安静時の正常値域を示す。)

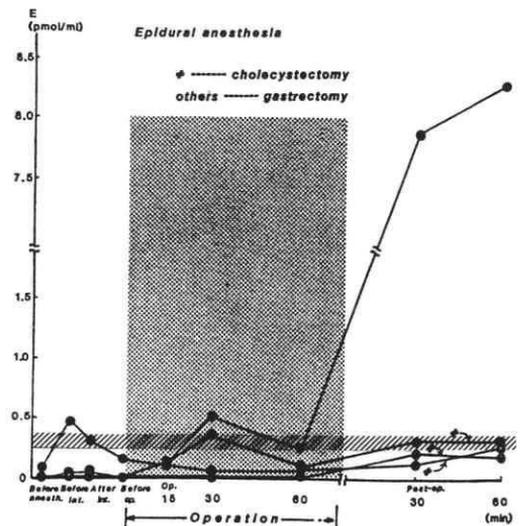


図8-B 上腹部手術(硬麻下)における血漿エピネフリン濃度の変化

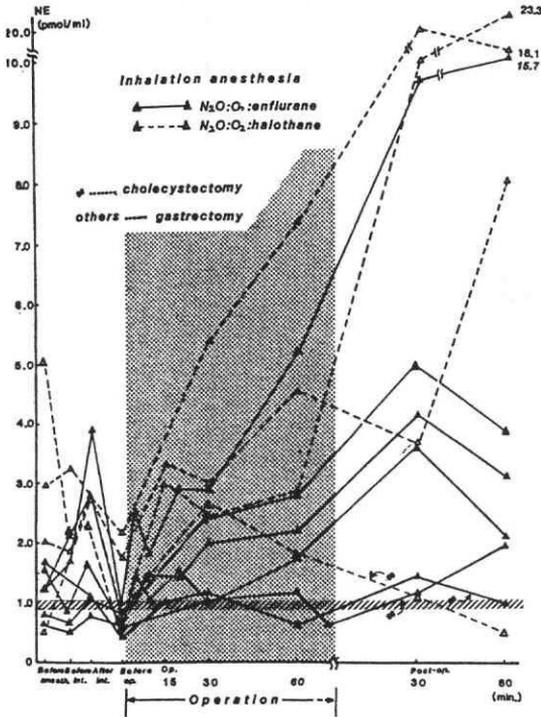


図9-A 上腹部手術(全麻下)における血漿ノルエピネフリン濃度の変化
(陰をつけた部分は術中を，斜線部分は安静時の正常値域を示す。)

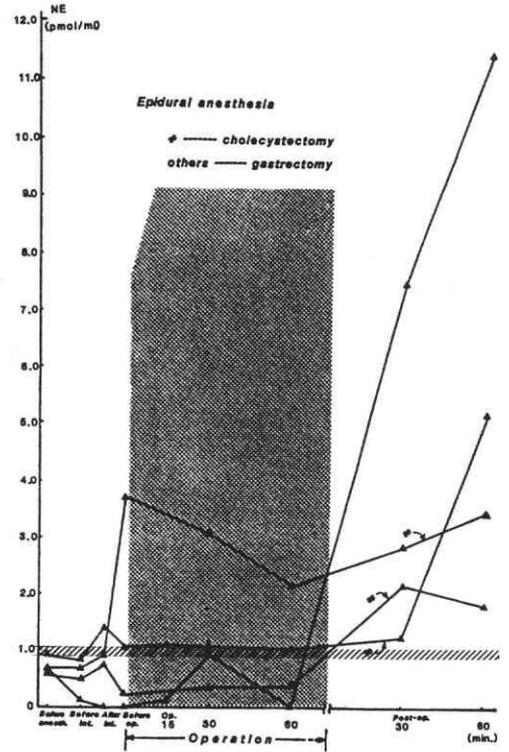


図9-B 上腹部手術(硬麻下)における血漿ノルエピネフリン濃度の変化

バランスが(一)になっていない点から、この群での術中血清K濃度低下の原因として、エピネフリンによる細胞内へのKのとり込みが最も考えやすい。

また、今回とは別のシリーズで、上腹部手術時の血中カテコールアミン濃度を全麻下と胸部硬麻下とで比較した成績¹⁰⁾では、硬麻では全麻の場合にみられた術中のエピネフリン濃度の上昇は相当抑制された(図8 A-B)。同一条件下での血中ノルエピネフリン濃度の上昇も、エピネフリンの場合ほど顕著ではないが抑制傾向がうかがわれる(図9, A-B)。

これらの成績からみても、胃切除術(硬麻+全麻)例で、術中に血清K濃度が低下したのは、いわゆるカテコールアミンによるものとは考え難い。やはり、この群では、ドーパミン使用により尿量が増加し、Kの尿中排泄が増えた事に原因がある

と考えられる。

それでは、術中にエピネフリンおよびノルエピネフリン濃度が著しく上昇すると思われる胃切除術(全麻)例で、なぜ血清K濃度が低下しなかったかが説明しにくい。この説明は、どこまでも推測に過ぎないが、(1)何か他の強力な原因が作用した。(2)エピネフリンの α および β 作用には用量依存性があり、その投与量、換言すれば血中濃度に依存している。すなわち、エピネフリン投与量が少量の場合には β 作用が、大量では α 作用が発現するとされている。胃切除術(全麻)例では血中エピネフリン濃度が著しく上昇したために、 β 作用より α 作用が優位になった可能性が考えられる。

いずれにしても、今後、今回のような条件下で、血中カテコールアミン濃度を血清K濃度と同時に測定し、検討する必要がある。

3. 術中におけるKの補充について

術中に乳酸加リンゲル液(DL 乳酸含有)のみの輸液では、通常、血清K濃度は変化しない^{1,2)}といわれる。しかし、ある程度長い手術中には、抗ケトン作用、遊離脂肪酸上昇の抑制、蛋白節約作用などを期待して、乳酸加リンゲル液に種々の濃度に糖質が添加されることが多い。

木村ら¹¹⁾は、出血量が500ml以下と予想される成人症例を対象とし、C群(乳酸加リンゲル液輸液)、A₁群(乳酸加リンゲル液でKを10mEq/lに調製した液を輸液)およびA₂群(乳酸加リンゲル液でKを20mEq/lに調製した液を輸液)の三群に分けた。またこの三群の輸液剤には、すべてブドウ糖が0.7%に添加されている。輸液速度は、麻酔開始後1時間迄15ml/kg/時間、次の3時間は10ml/kg/時間、さらに次の3時間には5ml/kg/時間とした。

血清K濃度は、輸液開始1時間後にすべての群で低下する傾向があったが、C群に比べて、A₁およびA₂群では低下の程度が少ない傾向がみられた。しかし、血清K濃度の低下は完全に防止され

なかった。また、比較的K濃度が高いA₁およびA₂群での血糖は、輸液開始後1および4時間で、C群と比べ、その上昇が少なかったという。

われわれも、8~10kgの雑種成犬において、種々の濃度のKを含む液を輸液し、口腔外科手術(左側上顎全歯牙の抜歯)を行ない、血清K濃度の変動を観察した¹²⁾。輸液速度は、輸液開始1時間後まで10ml/mg/時間、それ以降は5ml/kg/時間とした。輸液剤は4種類で、K濃度はそれぞれ4-10-20-30mEq/lで、すべて1%濃度にブドウ糖を含んでいる(表1-A)。また対象とした犬の体重、尿量、出血量には、有意な差はなかった(表1-B)。なお出血の補充には、出血量の2~2.5倍量の乳酸加リンゲル液を別途に静注した。

術中の血清K濃度は、術開始前値に比べ、すべての群で低下した。4種類の輸液剤中、Kを30mEq/lに含む液を輸液した群では、術開始後30-60-120分に血清K濃度の低下度がやや緩和される傾向がうかがわれた(図10)。しかし、比較的K濃度が高い輸液剤によっても、血清K濃度は十分に補正できなかった。

表1-A 輸液剤の種類(イヌ)

輸液剤	Na	K	Cl	Ca	Lactate	Gluconate	Glucose (%)
K 4 mEq 含有液	140	4	109	3	35	3	1
K 10mEq 含有液	140	10	115	3	35	3	1
K 20mEq 含有液	140	20	125	3	35	3	1
K 30mEq 含有液	140	30	135	3	35	3	1

(Glucose 以外の成分の単位は、すべてmEq/l)

表1-B 対象各群の例数、体重、尿量(比重)および出血量

対象	症例数 ♂:♀	体重 (kg) mean ± SD	術後尿量(ml) mean ± SD	術後尿比重 mean ± SD	出血量 (g) mean ± SD
4 mEq 群	8 4:4	9.31 ± 1.38	21.4 ± 17.0	1.043 ± 0.010	70.0 ± 47.6
10mEq 群	9 2:7	8.87 ± 1.12	16.8 ± 15.3	1.043 ± 0.010	53.3 ± 19.5
20mEq 群	8 3:5	10.08 ± 1.49	22.9 ± 23.0	1.049 ± 0.014	48.1 ± 21.1
30mEq 群	9 3:6	8.62 ± 1.13	12.0 ± 11.7	1.038 ± 0.022	48.7 ± 23.9

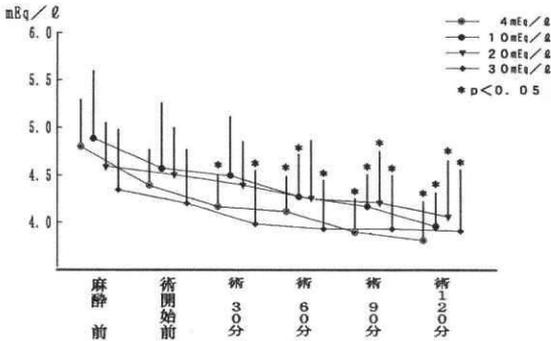


図10 イヌにおける、術中の血清カリウム濃度の変動

これらの研究結果から、術中の血清K濃度の低下（とくに乳酸加リンゲル液に比較的低濃度の糖質を加えて輸液するような場合）には、輸液剤中のK濃度は4 mEq/lより、少し高く、（例えば10 mEq/l程度）に設定した方がよいと考えられる。術中には予測し難い事態が発生する危険性もあるので、輸液剤中のK濃度は相当な安全域を考慮した上での設定である。当然の事ながら、術中の血清電解質および ECG のモニターは必須であることは言うまでもない。

結 語

侵襲度が異なると考えられる口腔外科手術と胃切除術において、乳酸加リンゲル液を輸液し、術中の血清K濃度の変動とその要因について検討した。最後に、術中の血清K濃度低下に対するK補充についても言及した。結果を要約すると、

1. 「全身麻酔下の口腔外科手術」例および「硬膜外麻酔と全身麻酔併用下の胃切除」例では、乳酸加リンゲル液のみの輸液で血清K濃度は低下した。

2. これらの例における血清K濃度低下の要因として、それぞれ、外因性エピネフリンの影響およびKの尿中排泄の増加が推測された。

3. 口腔外科手術中に、1%ブドウ糖含有乳酸加リンゲル類似液（K濃度20または30mEq/l含有）を10→5 ml/kg・時間の速度で輸液しても、血清K濃度の低下に対する補充は不十分であった（イヌでの実験）。

参 考 文 献

- 1) 久世照五, 大田良子, 林 睦子ほか: DL および L 乳酸加リンゲル輸液の乳酸代謝と体液諸因子に及ぼす影響. 臨床水電解質 (1984) 2, 128.
- 2) 久世照五, 渋谷伸子, 広田弘毅ほか: 術中輸液としての乳酸リンゲル液と5%ブドウ糖加乳酸リンゲル液の検討. 臨床水電解質 (1987) 7, 97.
- 3) 高折益彦, 佐々木義仁, 奥坊剛士: 老人麻酔の際の輸液. 日臨麻誌 (1983) 3, 337.
- 4) スクリプナー BH (柴垣昌功訳): 体液-電解質バランス-臨床教育のために一. 中外医学社, 東京 (1973) p. 106.
- 5) D'Silva JL: The action of adrenaline on serum potassium. J Physiol., London (1934) 82, 393.
- 6) Todd EP and Vick RL: Kalemotropic effect of epinephrine: analysis with adrenergic agonists and antagonists. Am J Physiol., (1971) 220, 1964.
- 7) 齊藤裕子, 後藤俱子, 林田裕子ほか: エピネフリンによる血清および赤血球内カリウムの変化と摘脾の影響. 麻酔 (1984) 33, 61.
- 8) 定 常雄, 村上誠一: 麻酔と高K血症. 臨床水電解質 (1984) 2, 294.
- 9) 足立裕康: 交感神経活動を指標とした口腔外科手術, 麻酔侵襲の評価に関する臨床的研究. 日歯麻誌 (1990) 18, 67.
- 10) Aono K, Minote N, Himuro H et al.: Suppression of stress-induced catecholamine release by thoracic epidural anesthesia in upper abdominal surgery. Matsuki A, Ishihara H and Oyama T ed. Endocrine respons to anesthesia and intensive care. Excerpta Medica. Elsevir/Amsterdam, 1990, p. 1-3.
- 11) 木村健一, 遠藤恵美子, 福井 明ほか: 細胞補充液のカリウム濃度に関する研究. 麻酔 (1991) 40, 42.
- 12) 富永晋二, 本村二郎, 青野一哉ほか: 口腔外科小手術における術中輸液剤の適正組成について. 第2報 カリウム濃度の検討. 日歯麻誌 (1992) 20 (抄録号), 159.