

## 血液透析患者の術中血清カリウム値上昇に及ぼす因子の検討

福井 明, 高折 益彦\*, 三平 将彦, 遠藤寿美子, 安川 毅,  
鍵山 光庸\*\*

血液透析(HD)を受けている慢性腎不全患者の二次性上皮小体機能亢進症に対して上皮小体全摘出術, ならびに上皮小体一部自家移植術を受けた76症例の, 周術期管理と術中血清カリウム(K)値上昇の因子について検討した。

その結果術中K値上昇に関与する因子の寄与率は, 最終HDから麻酔開始までのK値の変化率, 最終HDから麻酔開始までの時間, 過去HD施行期間, 術前K値, 術前動脈血pH値, 麻酔導入直後のK値, 術前動脈血重炭酸イオン濃度値, 麻酔導入直後の動脈血重炭酸イオン濃度値の順に高いことが認められた。

したがってこれらの因子を除去することが, 安全な麻酔につながる。また術中にはK値の変動に注意し, 上昇が認められた場合には術中HD施行も含めて対処しなければならない。  
(平成8年7月13日採用)

### A Study of the Factors Causing Increased Intraoperative Serum Potassium Values in Hemodialysis Patients with Chronic Renal Failure

Akira FUKUI, Masuhiko TAKAORI\*, Masahiko MIHIRA,  
Sumiko ENDO, Takashi YASUKAWA and Mitsuyasu KAGIYAMA\*\*

We analyzed the factors causing increased intraoperative values of serum potassium (K) in 76 hemodialysis patients with secondary hyperparathyroidism resulting from chronic renal failure who had undergone a total parathyroidectomy and auto-transplantation of a small portion of the resected parathyroid glands.

The factors causing the increased intraoperative values of K were in that order, the rate of fluctuation of K from the last hemodialysis (HD) up to the start of anesthesia, the duration of time from the last hemodialysis (HD) up to the start of anesthesia, the duration of HD treatment, the preoperative k value, the preoperative pH of arterial blood, the K value immediately after induction of anesthesia, the preoperative bicarbonate ion concentration of arterial blood and the bicarbonate ion concentration of arterial blood immediately after induction of anesthesia.

In conclusion, close attention should be paid to the rate of fluctuation of k during

川崎医科大学 麻酔・集中治療医学教室  
〒701-01 倉敷市松島577

Department of Anesthesiology and Intensive  
Care Medicine, Kawasaki Medical School : 577  
Matsushima, Kurashiki, Okayama, 701-01 Japan  
Emeritus Professor  
Computer Center

\* 同 名誉教授

\*\* 同 コンピュータセンター

operation in patients who have been treated with HD for a long time and whose preoperative k value is comparatively high. (Accepted on July 13, 1996) *Kawasaki Igakkaishi* 22(1): 11-17, 1996

**Key Words** ① Hemodialysis patients ② Secondary hyperparathyroidism  
③ Intraoperative serum potassium values  
④ Management of anesthesia

## はじめに

近年、血液透析 (HD) 療法の進歩により長期 HD 患者数、ならびに新規 HD 導入患者数が増加し、HD 患者の手術が増加してきた<sup>1)</sup>。

HD 患者の周術期管理では K 値を適切な範囲に維持することが安全な麻酔管理につながり、その管理法については多数の報告<sup>2)~11)</sup>が有る。

今回われわれは HD 患者の術中 K 値上昇に関与する因子を検討した。

## 対象と方法

76例の待期的に上皮小体全摘出術、ならびに上皮小体一部自家移植術を受ける HD 患者を対象とした。

対象患者にはあらかじめ本研究の主旨を説明し、その対象になる同意を得た。

術中の K 値が  $5.5 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$  以上に上昇した 25 症例を A 群、 $5.5 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$  以下であった 51 症例を B 群とした。そして術前因子、HD 因子、ならびに麻酔中因子について両群間で比較検討した。

術前因子は年齢(歳)、性別比、体重(Kg)、身長(cm)、慢性腎不全の基礎疾患、過去 HD 施行期間 (HD を開始してからの期間: ヵ月)、一日尿量(ml)、合併症とした。また血清尿素窒素(Bun:  $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ )、血清クレアチニン(Crn:  $\text{mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ )、血清ナトリウム(Na:  $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ )、血清カリウム(K:  $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ )、動脈血 pH、動脈血重炭酸イオン濃度( $\text{HCO}_3^-$ :  $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ )、動脈血炭酸ガス分圧( $\text{PaCO}_2$ : mmHg)、ならびにヘマトクリット(Htc: %)の各術前値も術前因

子とした。術前値とは手術前、かつ HD 前に採血された最新の値を言う。

HD 因子は術前 2 日間の総 HD 時間 (min)、手術直前 HD 時の除水量 (ml)、HD 効率-BUN (%) ((HD 前 BUN 値-HD 後 BUN 値)  $\times 100$  / HD 前 BUN 値)、HD 効率-Crn (%) ((HD 前 Crn 値-HD 後 Crn 値)  $\times 100$  / HD 前 Crn 値)、HD 効率-K (%) ((HD 前 K 値-HD 後 K 値)  $\times 100$  / HD 前 K 値)、最終 HD から麻酔開始までの時間 (h)、最終 HD から麻酔開始までの K 値の変化率 (%) ((麻酔導入直後の K 値-最終 HD 終了時の K 値)  $\times 100$  / 最終 HD 終了時の K 値) とした。

麻酔中因子は、麻酔時間(min)、手術時間 (min)、体重あたりの術中輸液量 ( $\text{ml} \cdot \text{Kg}^{-1}$ )、サイオペンタール、ベクロニウム、ペンタゾシンの体重あたりの投与量 ( $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ )、使用吸入麻酔薬の種類 (セボフルレン: イソフルレン)、K ( $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ )、Na ( $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ )、動脈血の pH、動脈血  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ )、動脈血  $\text{PaCO}_2$  (mmHg) の各麻酔導入直後値、術中の K の上昇率 (%) ((術中の最高 K 値-麻酔導入直後の K 値)  $\times 100$  / 麻酔導入直後の K 値) とした。

結果は平均  $\pm$  標準偏差で表わし、各因子の両群間の比較はカイニ乗検定ならびに Student's t test で判定し、 $p < 0.05$  を有意差ありとした。そして有意差を認めた因子については、統計計算プログラムパッケージ ANALYST (コンピュータ FACOM-M160F、富士通) の多変量解析の変数増加法、ならびに変数減少法を用いた線形判別法で術中 K 値上昇に対する寄与率を求めた。

患者の HD は当院腎センターにて脱酢酸セルロース膜、キングリー™ 液 AF-2号を使用して行った。抗凝固には 1000 単位の全身ヘパリン化法

と500単位・h<sup>-1</sup>の持続投与方法を用いた。そして血液流量は150~200 ml・min<sup>-1</sup>とした。

手術直前は連日HDを原則とし、抗凝固薬にはメシル酸ナファモスタット40 mgを充填液に添加し、40 mg・hr<sup>-1</sup>を静脈内持続投与した。

麻酔前投薬は硫酸アトロピン0.5 mgの筋肉内投与を行った。麻酔導入はサイオペンタールと吸入麻酔薬を用い、ベクロニウム静脈内投与にて筋弛緩を得て気管内挿管を行った。麻酔維持は笑気、セボフルレンまたはイソフルレンの吸入と鎮痛薬として補助的にペンタゾシン静脈内投与を行った。術中の輸液はソリタ™T1号またはT4号液を用い、輸血は行わなかった。

## 結 果

### 1. 術前因子比較 (Table 1)

Table 1に術前因子の比較を示した。

これら術前因子の中で過去HD施行期間はA群99.5±18.2カ月、B群80.1±13.2カ月でA群が長かった(p<0.01)。術前K値はA群5.8±0.8 mEq・l<sup>-1</sup>、B群4.5±0.5 mEq・l<sup>-1</sup>でA群が高値であった(p<0.01)。術前動脈血pH値はA群7.21±0.12、B群7.33±0.13でA群が低値であった(p<0.05)。術前動脈血HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>はA群17.5±2.7 mEq・l<sup>-1</sup>、B群22.3±2.2

Table 1. The preoperative factors related to the increased intraoperative serum potassium values

	A group	B group	significance
age (years)	60±10	58±9	N. S.
sex (male : female)	11 : 14	24 : 27	N. S.
weight (Kg)	48±6	48±6	N. S.
height (cm)	155±6	160±9	N. S.
case of chronic renal failure			
chronic glomerulonephritis	7	20	N. S.
chronic nephropylitis	7	10	N. S.
nephrosclerosis	6	10	N. S.
diabetic nephropathy	4	9	N. S.
traumatic shock kidney	1	2	N. S.
duration of HD treatment (month)	99.5±18.2	80.1±13.2	<0.01
daily urine volume (ml)	194±169	154±261	N. S.
complications			
hypertension	15	22	N. S.
hypotension	6	16	N. S.
diabetes mellitus	8	15	N. S.
anemia	20	39	N. S.
hypoalbuminemia	14	27	N. S.
preoperative Bun (mg・dl <sup>-1</sup> )	82±13	75±11	N. S.
preoperative Crn (mg・dl <sup>-1</sup> )	8.5±2.6	8.5±2.8	N. S.
preoperative Na (mEq・l <sup>-1</sup> )	138±3	139±2	N. S.
preoperative K (mEq・l <sup>-1</sup> )	5.8±0.8	4.5±0.5	<0.01
preoperative arterial pH	7.21±0.12	7.33±0.13	<0.05
preoperative arterial HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mEq・l <sup>-1</sup> )	17.5±2.7	22.3±2.2	<0.01
preoperative arterial PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	42±3	40±5	N. S.
preoperative Htc (%)	25±4	24±7	N. S.

A group : intraoperative serum potassium values were above 5.5 mEq・l<sup>-1</sup>, n=25

B group : intraoperative serum potassium values were below 5.5 mEq・l<sup>-1</sup>, n=51

Results present the mean±S. D.

HD : hemodialysis, K : serum potassium

significance : A group versus B group

N. S. : no significance

**Table 2.** The hemodialysis factors related to the increased intraoperative serum potassium values

	A group	B group	significance
total HD time in preoperative 2 days (min)	469±26	458±34	N. S.
fluid removal volume in HD just before the operation (ml)	1401±114	1444±123	N. S.
removal rate of BUN (%)	41.0±7.4	40.0±6.1	N. S.
removal rate of Crn (%)	41.1±4.5	41.3±8.1	N. S.
removal rate of K (%)	38.4±6.6	40.6±6.7	N. S.
duration of time from the last HD up to the start of anesthesia (h)	19.7±5.3	12.5±5.1	<0.01
rate of fluctuation of K from the last HD up to the start of anesthesia (%)	17.6±3.6	8.9±2.7	<0.01

A group : intraoperative serum potassium values were above 5.5 mEq · l<sup>-1</sup>, n=25

B group : intraoperative serum potassium values were below 5.5 mEq · l<sup>-1</sup>, n=51

Results present the mean±S. D.

HD : hemodialysis, K : serum potassium

significance : A group versus B group

N. S. : no significance

mEq · l<sup>-1</sup> で A 群が低値であった (p<0.01). それ以外の術前因子にはいずれも両群間に有意差を認めなかった.

## 2. HD 因子比較 (Table 2)

Table 2 に HD 因子の比較を示した.

これら HD 因子の中で最終 HD から麻酔開始までの時間は A 群 19.7±5.3 時間, B 群 12.5±5.1 時間で A 群が長期間であった (p<0.01). 最終 HD から麻酔開始までの K 値の変化率は A 群 17.6±3.6%, B 群 8.9±2.7% で A 群が高値であった (p<0.01). それ以外の HD 因子にはいずれも両群間に有意差を認めなかった.

## 3. 麻酔中因子比較 (Table 3)

Table 3 に麻酔中因子の比較を示した.

これら麻酔中因子の中で麻酔導入直後の K 値は A 群 4.9±0.4 mEq · l<sup>-1</sup>, B 群 4.0±0.3 mEq · l<sup>-1</sup> で A 群が高値であった (p<0.01). 麻酔導入直後の動脈血 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は A 群 16.4±2.3 mEq · l<sup>-1</sup>, B 群 19.8±2.5 mEq · l<sup>-1</sup> で A 群が低値であった (p<0.05). それ以外の麻酔中因子にはいずれも両群間に有意差を認めなかった.

## 4. K 値上昇に関与する因子解析

術前因子, HD 因子, ならびに麻酔中因子の総数 36 因子中 A, B 両群間に有意差を認めた 8

因子から得られた線形判別関数 (Z) は,  
 $Z = 0.855839 \times (\text{最終 HD から麻酔開始までの K 値の変化率})$

$+0.715329 \times (\text{最終 HD から麻酔開始までの時間})$

$+0.604915 \times (\text{過去 HD 施行期間})$

$+0.466379 \times (\text{術前 K 値})$

$-0.401013 \times (\text{術前動脈血 pH 値})$

$+0.371930 \times (\text{麻酔導入直後の K 値})$

$-0.211020 \times (\text{術前動脈血 HCO}_3^- \text{ 値})$

$-0.130563 \times (\text{麻酔導入直後の動脈血 HCO}_3^- \text{ 値})$

となり, 上記の順に術中 K 値上昇に対して寄与率が高かった.

また線形判別関数での誤判別得点は以下であった. 術中の K 値が 5.5 mEq · l<sup>-1</sup> 以上に上昇したにも係わらず判別得点が負と算出された比率, すなわち A 群の誤判別率は 5.3% (1/19) であった. また実際は術中の K 値が 5.5 mEq · l<sup>-1</sup> 以上に上昇しなかったにも係わらず判別得点が負と算出された比率, すなわち B 群の誤判別率は 9.8% (4/41) であった.

## 5. A 群の K 値上昇に対する処置と予後

A 群の K 値上昇に対する処置としてブドウ糖

**Table 3.** The anesthetic factors related to the increased intraoperative serum potassium values

	A group	B group	significance
anesthesia time (min)	244±61	221±56	N. S.
operation time (min)	214±65	201±55	N. S.
infusion volume (ml · kg <sup>-1</sup> )	9.5±2.1	9.4±2.3	N. S.
vecuronium bromide (mg · Kg <sup>-1</sup> )	0.12±0.04	0.14±0.06	N. S.
thiopental sodium (mg · Kg <sup>-1</sup> )	4.3±0.9	4.8±0.9	N. S.
pentazocine (mg · Kg <sup>-1</sup> )	0.6±0.3	0.5±0.5	N. S.
sevoflurane : isoflurane	16 : 9	37 : 14	N. S.
K value immediately after induction of anesthesia (mEq · l <sup>-1</sup> )	4.9±0.4	4.0±0.3	<0.01
Na value immediately after induction of anesthesia (mEq · l <sup>-1</sup> )	139±2	140±2	N. S.
arterial pH immediately after induction of anesthesia	7.34±0.13	7.38±0.14	N. S.
arterial HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> immediately after induction of anesthesia (mEq · l <sup>-1</sup> )	16.4±2.3	19.8±2.5	<0.05
arterial PaCO <sub>2</sub> immediately after induction of anesthesia (mmHg)	36±3	38±4	N. S.
increase rate of K during operation (%)	6.2±2.3	5.8±3.2	N. S.

A group : intraoperative serum potassium values were above 5.5 mEq · l<sup>-1</sup>, n=25

B group : intraoperative serum potassium values were below 5.5 mEq · l<sup>-1</sup>, n=51

Results present the mean±S. D.

HD : hemodialysis, K : serum potassium

significance : A group versus B group

N. S. : no significance

とインスリンの静脈内投与が25例すべてに、重炭酸ナトリウムの静脈内投与が12例に、グルコン酸カルシウムの静脈内投与が4例に行われた。これらの処置でもK値が5.5 mEq · l<sup>-1</sup>以下に減少しなかった4例には術中に緊急HDを施行してK値は5.5 mEq · l<sup>-1</sup>以下に低下した。また周術期におけるその他の合併症はA群 : B群で高血圧11 : 18, 低血圧4 : 10であったが、それぞれに有意差を認めず、降圧ならびに昇圧薬の使用により回復し病室に帰室した。対象76例の周術期死亡もなかった。

## 考 察

生体の総K量は3,000~3,500 mEqとされそ

のほとんどが細胞内に存在し、約80%が筋肉、約7%が赤血内に存在する。そして細胞膜に存在するNa-K-ATPaseの作用により細胞内外K濃度は調整され、細胞内は血清中の20倍以上の高濃度に保たれている。このため細胞外Kのうち血漿中には総量として12 mEqしか存在しない<sup>12)</sup>が、Na-K-ATPaseの障害により細胞内外のバランスは破綻し高K血症となる。HD施行期間が長期間になることによりHD効率が低下すると言う報告はない。したがってHD患者ではHD技術の進歩により、HD終了直後のK値は見掛け上は改善されているのではないか。しかしHDの長期化により動脈硬化が進行し、末梢循環不全状態になることが認められる<sup>13)</sup>。過去HD施行期間が長期の患者では、この末梢循環

不全状態により代謝性アシドーシスがHD直後から進行し、麻酔導入直後のK値が短時間に高値になってくる。最終HD終了時から麻酔開始までのK値の変化率が高値であったこと、さらに術前と麻酔導入直後の動脈血 $\text{HCO}_3^-$ が低値であったことは、K値上昇を来した患者ではアシドーシスの進行を示しており、末梢循環不全状態とK値のコントロール不良を支持している。

古谷ら<sup>14)</sup>はHD患者の動脈血pH値と赤血球内K値の変動を検討し、HD前の動脈血pH値がアシドーシスにある患者ではHDにより赤血球内へ多くの重炭酸イオンの流入と水素イオンの除去が起こり、HD後細胞内にKが流入する傾向が強くなるとしている。そしてHDによってKが除去されることは確実であるが、アシドーシスの強い患者は細胞内にKが蓄積された状態でHDが終了する。しかし次回のHDまでには再びアシドーシスが進行して、それに伴い細胞内のKが細胞外に流出するため高K血症を来すとしている。そしてその原因として細胞外pHの変化が赤血球膜に存在するNa-K exchange機構を活発化させ、細胞内に取り込まれたナトリウムイオンをpump outするため、最終的にNa-K-ATPaseが活性化されてKは細胞内に流入すると言う一連の機序を推定している。これらの理由から術前アシドーシスが強い症例では血清内Kが上昇を来しやすい。

HD患者のK値の上昇の原因として、行岡<sup>15)</sup>

らはHD前のK値が高値であること、Haimov<sup>7)</sup>ら、Vaughan<sup>16)</sup>はアシドーシス状態、ならびに動脈血 $\text{PaCO}_2$ の上昇を指摘しており、動脈血 $\text{PaCO}_2$ の上昇以外は今回の結果と一致した。

HD患者で術中K値の上昇を防止するため、手術直前にHDを施行するか、または最終HD後から麻酔開始までの時間を可能な限り短時間にすることが必要になる。しかし行岡ら<sup>17)</sup>はHD患者を術前HD群と手術当日HD群でその循環動態と電解質の変動を比較し、当日HD群でHD前のK値が高値を示す症例では術中のK値の上昇が発生しやすく、手術開始1時間後よりその上昇が始まると報告している。

今回の検討により、麻酔導入直前にK値を測定し外科手術時の血液生化学値の是正值<sup>18)</sup>をみたさないK値が $4.5 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上、ならびに動脈血 $\text{HCO}_3^-$ 値が $20 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下の症例では手術を延期し、術前HD施行回数を増加させて値を改善させる事が適切な術前管理であろう。

したがってHD患者の周術期管理には、最終HDから麻酔開始までのK値の変化率、最終HDから麻酔開始までの時間、過去HD施行期間、術前K値、術前動脈血pH値、麻酔導入直後のK値、術前動脈血 $\text{HCO}_3^-$ 値、麻酔導入直後の動脈血 $\text{HCO}_3^-$ 値を検討し、これらに異常を来す症例では術前に適切なHDを行い、術中はK値の変動に注意すべきである。

## 文 献

- 1) 日本透析療法学会統計調査委員会：わが国の慢性透析療法の現況 1992年12月31日現在。日本透析療法学会統計調査委員会編 名古屋, 1993, pp16-25
- 2) 太田和夫：透析患者の外科手術。透析会誌 21: 1115-1120, 1988
- 3) 飯島一彦, 片山正夫, 稲葉英夫, 日下部伸子, 安藤昌夫, 三枝陸朗, 米澤利英：透析患者の外科手術と麻酔管理。透析会誌 13: 115-121, 1980
- 4) Slawson KB: Anaesthesia for the patient in renal failure. Brit J Anaesth 44: 277-282, 1972
- 5) 宮崎正夫, 柴 禄郎, 橋本 悟, 大畑恵美子, 畑中哲生, 天野京子：腎不全と腎移植の麻酔。日本臨床麻酔学会誌 9: 20-34, 1989
- 6) 小川 龍：腎機能障害患者の麻酔。日本臨床麻酔学会誌 4: 138-148, 1984
- 7) Haimov M, Glabman S, Schupak K, Neff M, Burrows L: General surgery in patients on maintenance hemodialysis. Ann Surg 179: 863-867, 1974

- 8) Pinson CW, Schuman ES, Gross GF, Schuman TA, Hayes JF : Surgery in long-term dialysis patients. Experience with more than 300 cases. *Am J Surg* 151 : 567—571, 1986
- 9) Deutsch S : Anesthetic management of patients with chronic renal disease. *South Med J* 68 : 65—69, 1975
- 10) Bluth M, Berenyi KJ, Urban BJ : Anesthesia for patients on chronic renal dialysis. *Anesth Analg Curr Res* 48 : 420—426, 1969
- 11) Brenowitz JB, Williams CD, Edwards WS : Major surgery in patients with chronic renal failure. *Am J Surg* 134 : 765—769, 1977
- 12) 寺本 滋, 曾田益弘 : カリウムイオンの動きと異常. 臨床検査 Mook No 5 血清電解質と血液ガス. 東京, 金原出版. 1981, pp29—41
- 13) 籠島 忠, 石川兵衛 : 全身動脈硬化. 日本臨床 50 : 1992年増刊号 血液浄化療法下巻. 700—707, 1992
- 14) 古谷裕章, 田部井薫, 嶋中公夫, 進藤靖男, 細井春久, 中村玲子, 浅野 泰 : 慢性血液透析患者の血液 pH と赤血球内カリウムの変動. 透析会誌 20 : 347—350, 1987
- 15) 行岡秀和, 栗田 聡, 藤森 貢 : 慢性腎不全患者の術前透析と術中循環動態, 電解質の変動. 麻酔 41 : 33—36, 1992
- 16) Vaughan RS : Potassium in the perioperative period. *Brit J Anaesth* 67 : 194—200, 1991
- 17) 行岡秀和, 藤森 貢 : 慢性透析患者の術中カリウム値の変動. 麻酔 42 : 402—405, 1993
- 18) 信楽園病院腎センター : 外科手術時の患者管理. 透析療法マニュアル 改定第 4 版. 平沢由平監修. 東京, 日本メディカルセンター. 1993, pp353—355