

## グラフ 心電図 ECG の読み方(10)

## 電解質異常と心電図

渡 邊 英 一\*

## 内 容 紹 介

電解質異常(カリウム, カルシウム, マグネシウム)に伴う心電図変化について解説する。日常診療でのスクリーニング, 治療開始の目安, 不整脈リスク評価に役立つ知識を整理し, 近年注目される AI 解析やウェアラブル機器を用いた新しいモニタリングの展望にも触れる。

## は じ め に

電解質異常は入院患者や救急外来でよく見られる病態である。血清電解質は心筋の静止膜電位や活動電位持続時間に直結し, これらの異常は電気生理的变化をもたらす。その結果, 心電図上に特徴的所見が出現し, 致死性不整脈につながることもあるため, 典型的な心電図所見を理解し, 臨床症状や血液データと照合して診断・治療につなげることは重要である<sup>1,2)</sup>。

## I. 高カリウム(K)血症

高 K 血症は腎不全患者やレニン・アンジオテンシン系阻害薬, K 保持性利尿薬内服患者でしばしば認められる。K は細胞内外の膜電位を規定する主要因子であり, 血清 K 濃度の上昇は静止膜電位を脱分極方向に変化させる。その結果, ナトリウムチャネルの不活化が進み, 心筋の伝導速度は

低下する。血清 K 濃度の上昇に伴い, 心電図には特徴的な変化が認められる。血清 K 濃度が 7 mmol/L を超えるような場合は先鋭化した T 波(テント状 T 波), PQ 延長, QRS 幅の延長がみられる(図 1 (A))。さらに重度の高 K 血症では QRS 幅の延長が顕著となり, サインカーブのような波形がみられ(図 1 (B), (C)), 治療を行わないと心停止に陥る。また心室頻拍や心室細動も起こり得る。しかし, 臨床現場では心電図所見だけで高 K 血症を正確に診断することは難しい。急性心筋梗塞の超急性期にもテント状 T 波を認めることがあるため, 鏡像変化や心筋逸脱酵素上昇の有無を確認する必要がある(図 1 (D))<sup>3)</sup>。一般的に, 高 K 血症では心筋の興奮が過度に抑制されて徐脈性不整脈が起こりやすい。

また, 慢性腎不全・透析患者では高 K 血症の典型的所見が出にくいことが知られている。こうした課題に対し, 近年は人工知能(AI)を用いた心電図解析が注目されている。Chiu らは, 12 誘導心電図およびスマートウォッチによる単誘導心電図から血清 K 値を推定する深層学習モデルを開発し, 重度高 K 血症(>6.5 mmol/L)を曲線下面積(AUC) 0.80~0.87 の精度で検出可能であると報告した<sup>4)</sup>。これにより, 腎不全患者が透析間に自宅で非侵襲的かつ連続的に K をモニタリングできる可能性が示された。

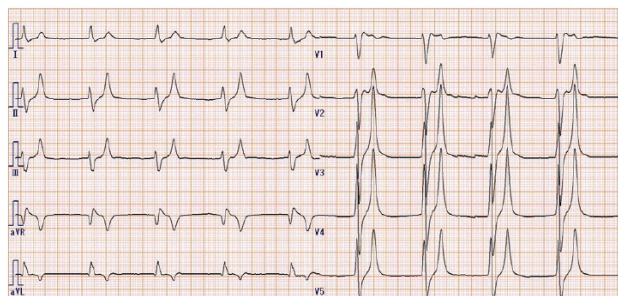
## II. 低 K 血症

低 K 血症は心筋の再分極遅延をもたらし, 異常自動能や早期後脱分極による不整脈を誘発する。原因としてはループ利尿薬使用や消化管からの喪

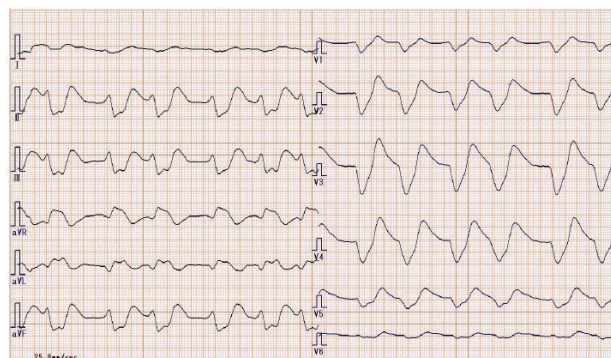
— Key words —  
カリウム, カルシウム, 漢方薬, 腎不全

\* Eiichi Watanabe : 藤田医科大学ばんだね病院 循環器内科教授

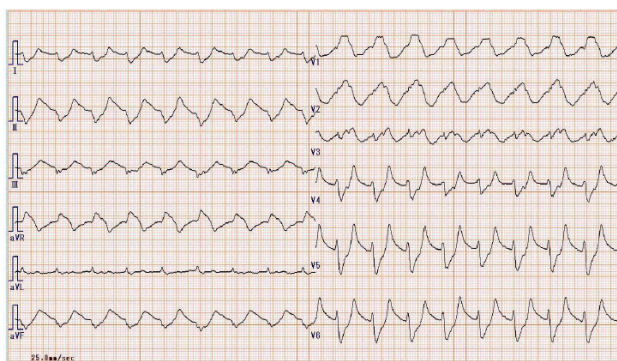
(A)



(B)



(C)



(D)

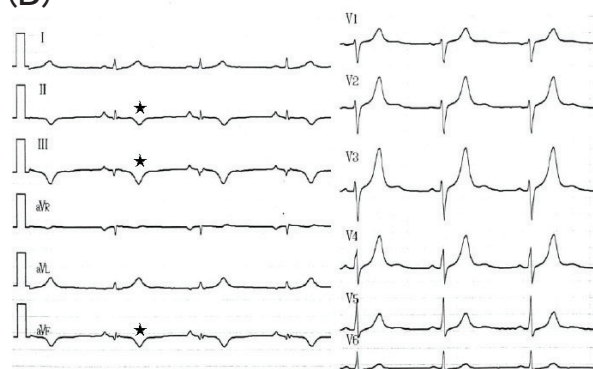


図1 高K血症

- (A) 糖尿病性腎症による腎不全症例。V2-V5 で先鋭化した T 波(テント状 T 波)を認める。血清 K 7.1 mmol/L。QTc 0.473 秒。  
 (B) 前立腺肥大による腎後性腎不全で高 K 血症を認めた(K 10.3 mmol/L)。QRS 幅は 著明に延長し、サインカーブ様波形を呈する。意識障害を伴い救急搬送された。  
 (C) (B)と同一症例。血液透析開始後の心電図。血清 K 8.9 mmol/L。  
 (D) 左回旋枝閉塞による急性冠症候群。テント状 T 波(V2-V4)と、陰性 T 波(II・III・aVF)を認める。血清 K 4.4 mmol/L。

失(嘔吐・下痢)によって発症することが多い。心電図では P-Q 延長, ST 低下, T 波の平低化, U 波の出現, QT 延長などが認められる。代表例として芍薬甘草湯の常用による症例(図2)と、先天性 QT 延長症候群 2 型(LQT2)に低 K 血症を合併した症例を示す(図3)。

### Ⅲ. 高カルシウム(Ca)血症

Ca は活動電位のプラトー相に関与し、心筋収縮に直結する。血清 Ca が上昇すると活動電位持続時間が短縮し、その結果 QT 短縮を呈する<sup>6,7)</sup>。原因としては悪性腫瘍や骨転移、副甲状腺機能亢進症、サルコイドーシス、腎不全、ビタミン D

中毒などが挙げられる。心電図では QT 短縮が特徴的で、特に ST 部分の短縮が目立つ。J 波様変化も認めることがある<sup>8)</sup>(図4 (A))。

### Ⅳ. 低 Ca 血症

血清 Ca 低下により活動電位のプラトー相が延長し、QT 延長を呈する。原因としては甲状腺全摘後の副甲状腺機能低下やビタミン D 欠乏が挙げられる。心電図では QT 延長が特徴で、主に ST 延長によるものであり、その結果 T 波が遅れて出現する(late appearing T wave)。症状として、テタニーや Chvostek 徴候、Trousseau 徴候が知られているが、抑うつ・不安などの精神症状を認



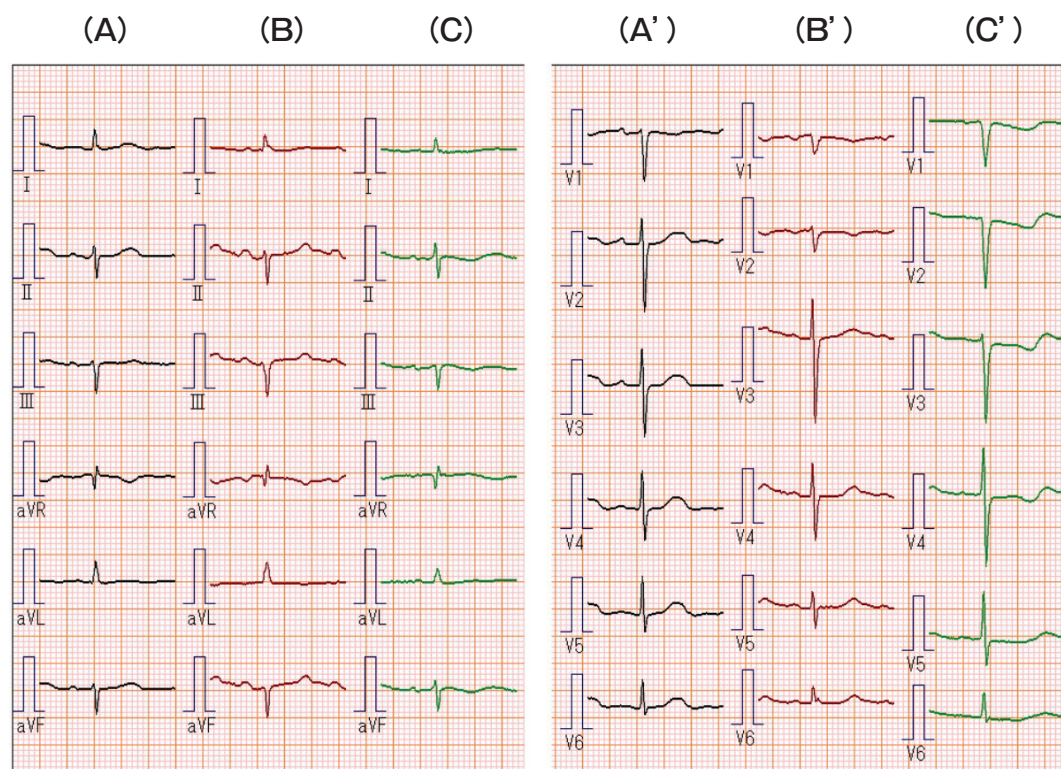


図2 低K血症

こむら返りに対する芍薬甘草湯の常用により、低K血症を呈した。

(A)服用前：K 3.1 mmol/L。QTc 0.449 秒。

(B)服用後：K 2.9 mmol/L。QTc 0.454 秒。

(C) K 2.0 mmol/L。QTc 0.520 秒。胸部誘導でST低下を認める。K低下に比例してQT延長が進行している。

(A') (B') (C')は胸部誘導。

めることもある。重症例では全身痙攣や意識障害をきたす(図4 (B))。

## V. マグネシウム(Mg)異常

Mgは心筋の電氣的安定性に寄与しており、その異常は不整脈の原因となりえる<sup>2)</sup>。低Mg血症は低Ca血症や低K症と同様に、QT延長をもたらし、torsades de pointesの発生に寄与する(図5)。一方、高Mg血症は腎不全やMg含有薬剤(制酸薬、下剤)の過量で生じ、心電図上は徐脈、PQ延長、QRS幅延長、QT延長を呈する。

## 最後に

電解質異常は「心電図のパターン認識」が診断の第一歩である。「T波が高い」「QT間隔が長い／

短い」といった異常に気づくことが診断につながる。さらに近年では、AIを活用した心電図解析やスマートウォッチなどのウェアラブル機器による非侵襲的モニタリングが研究段階に入っており、従来の心電図読影を補完し、電解質異常の早期発見やリスク管理を可能にする未来技術として期待されている。

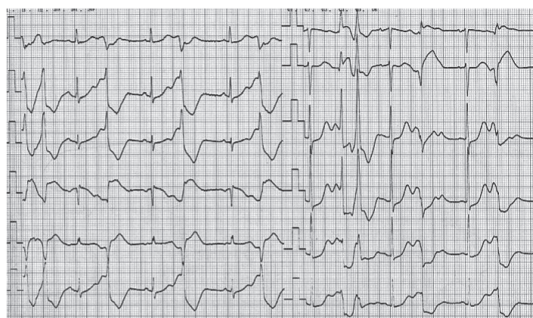
## 利益相反

顧問：フクダ電子

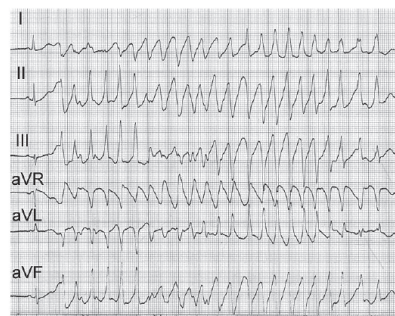
## 文献

- 1) 飯沼宏之：電解質異常と不整脈．井上博編．新不整脈学．南江堂，東京，2003；475-478
- 2) Surawicz B, et al: Electrolytes, temperature, central nervous system diseases, and miscellaneous effects.

(A)



(B)



(C)

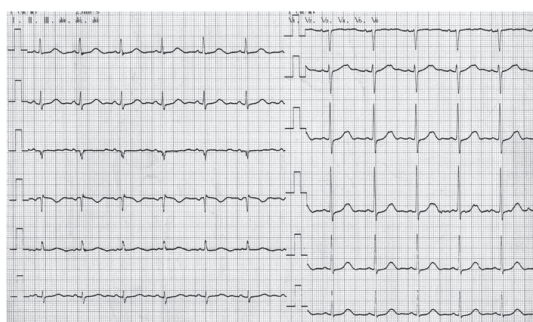


図3 先天性 QT 延長症候群 2 型(LQT2) + 低 K 血症

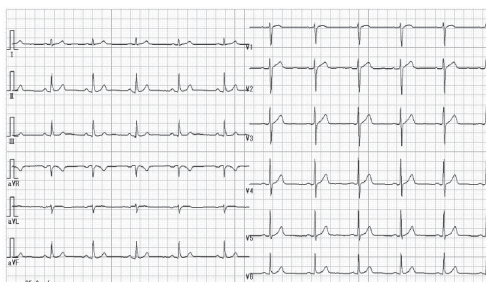
下痢による低 K 血症と繰り返すめまいを主訴に来院。

(A) QT 延長と心室期外収縮の二段脈を認める。血清 K 2.7 mmol/L。

(B) 入院後 torsades de pointes を発症。

(C) カリウム補正後に QT 延長は改善。血清 K 4.1 mmol/L。低 K 血症が LQT の不整脈リスクを増大させる。

(A)



(B)

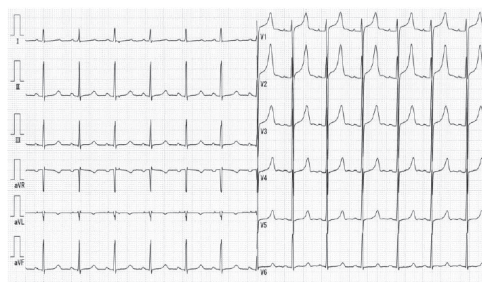
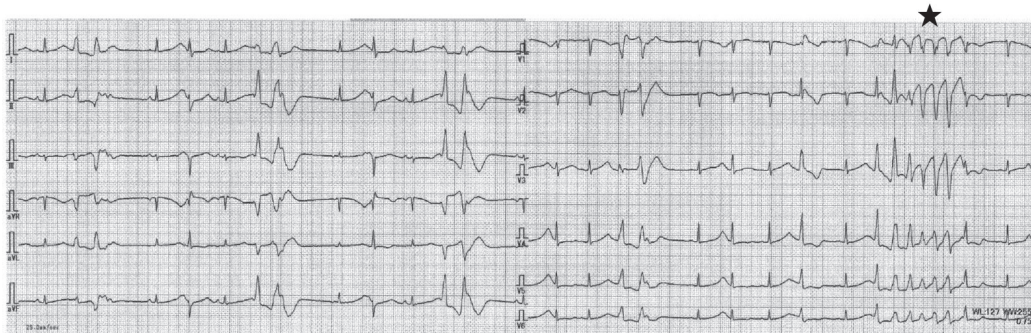


図4 Ca 異常

(A) 高 Ca 血症：進行肺癌による高 Ca 血症(Ca 13.6 mg/dL)。QT 短縮(QTc 0.34 秒)，V46 で J 波様変化を認める。

(B) 低 Ca 血症：甲状腺全摘後に発症(Ca 6.0 mg/dL)。QTc 0.51 秒。T 波の増高 (V1-3) と ST 部分延長による，QT 延長(QTc 間隔：0.510s)。文献 9, 10 より許可を得て転載。





**図5 低 Mg 血症に伴う torsades de pointes**

アルコール依存症患者。Mg 1.0 mg/dL (基準値 1.8-2.4 mg/dL), Ca 8.1 mg/dL (基準値 8.8-10.4 mg/dL), K 3.3 mmol/L. Torsades de pointes (★)を発症。低 Mg 血症は、しばしば低 K 血症や低 Ca 血症を合併し、これらの併存が torsades de pointes 発症の要因となることが多い。

In: Chou's Electrocardiography in clinical practice. Philadelphia: W. B. Saunders; 2008: 532-554.

- 3) Zhao Z, et al: Ominous T-wave changes in an older adult with chest pain. JAMA Intern Med. 2022; 183(1): 78-79.
- 4) Chiu IM, et al: Serum potassium monitoring using AI-enabled smartwatch electrocardiograms. JACC Clin Electrophysiol. 2024;10:2644-2654.
- 5) Diercks DB, et al: Electrocardiographic manifestations: electrolyte abnormalities. J Emerg Med. 2004; 27: 153-160.

- 6) Chorin E, et al: Electrocardiographic manifestations of calcium abnormalities. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2016; 21: 7-9.

- 7) John TJ, et al: Hypercalcaemia and a short QT interval. QJM. 2020; 113: 55-56.

- 8) Chaplin G, et al: Rare ECG finding in a patient with severe hypercalcaemia. BMJ Case Rep. 2021; 14(6): e242000.

- 9) 渡邊英一他: 電解質異常: 低Ca 血症. In: 小田倉弘典, ed. 治療. 南山堂, 東京, 2019; 320-322.

- 10) 渡邊英一他: 電解質異常: 高Ca 血症. In: 小田倉弘典, ed. 治療. 南山堂, 東京, 2019; 317-319.