

# カリウム障害



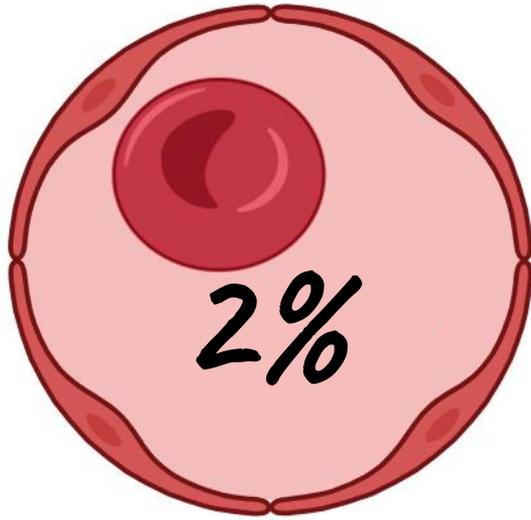
**Ava Tan BVSc, PGCertSci, DACVECC**  
**SASH Alexandria, Sydney (Australia)**

# 本日の目標

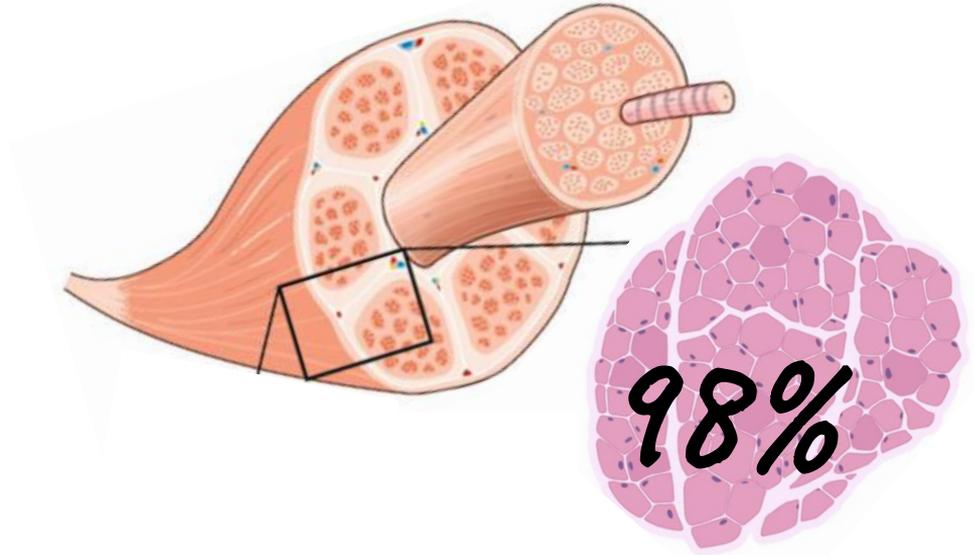
-  カリウムの恒常性 と臨床的関連
-  低カリウム血症と高カリウム血症
  - Causes in ECC
  - CVS changes
-  高カリウム血症の治療
-  カリウムの補給

# カリウムの 恒常性

# カリウムの分布

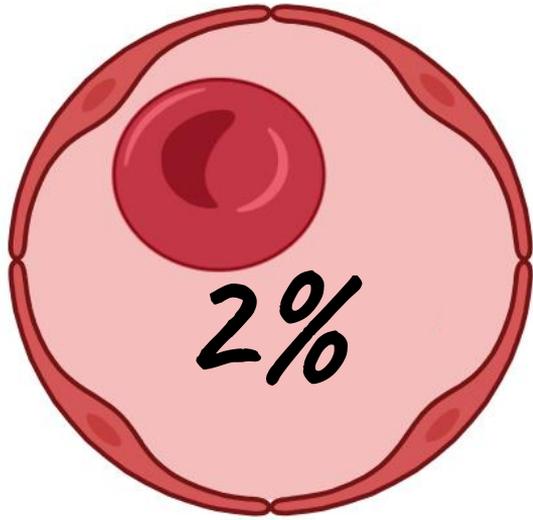


**4 mEq/L**

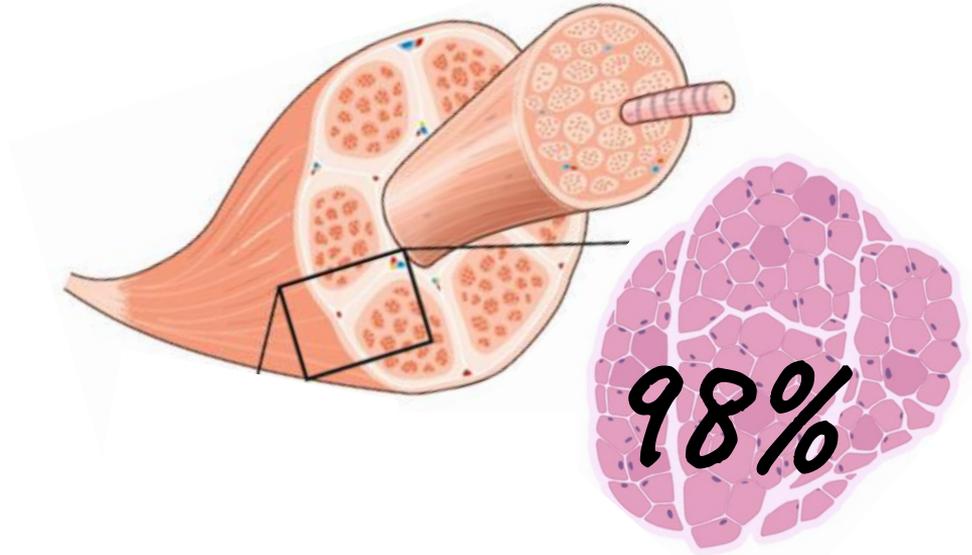


**140 mEq/L**

# カリウムの分布

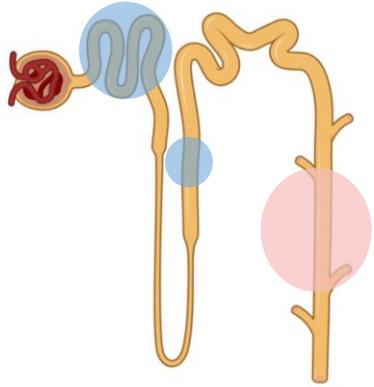


↓ 0.3 mEq/L



↓ 100 mEq/L

# カリウムの恒常性



K吸収 近位尿細管  
K喪失 集合管



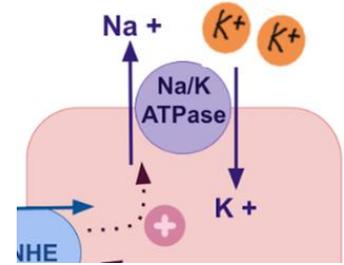
“フィードフォワード”による  
K維持



概日リズムによる  
K喪失の増強

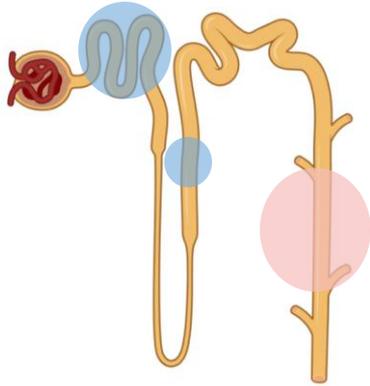


消化管でのK喪失



細胞内への隔離

# 臨床的関連性

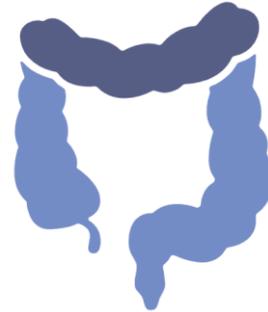


↑K喪失

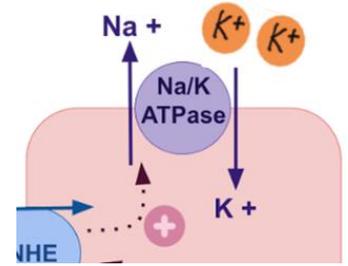
- 原尿量の増加
- RAAS活性化



AM K喪失↑  
PM K喪失↓



↓ 消化器による  
K排出・喪失



高Kの対応

# *Dyskalemias*

高カリウム血症と低カリウム血症

# 罹患率

doi: 10.1111/vec.12889

## 高カリウム血症

8%



13%

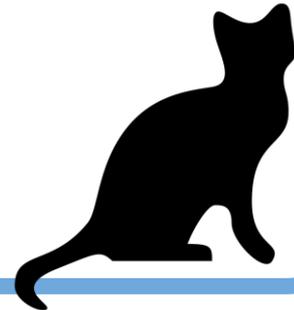


## 低カリウム血症

18%



27%



# 罹患率

高カリウム血症

低カリウム血症

- 死亡率
- 心臓イベント(例：不整脈)
- 入院期間の延長

doi: 10.1111/vec.12889

doi: 10.1186/s13054-019-2679-z

doi: 10.1186/s13613-019-0573-0

doi:10.1136/bmjopen-2022-068387



# 罹患率

高カリウム血症

低カリウム血症

- 迅速な高カリウム血症の補正が死亡率を改善
- 入院中のカリウム変動を抑える事で死亡率軽減

doi: 10.1016/j.ajem.2019.12.012

doi: 10.1186/s13613-019-0573-0

*Break*

# 高カリウム血症

# 高カリウム血症の分類

軽度

5-5.9 mEq/L

中度

6-6.9 mEq/L

重度

>7 mEq/L

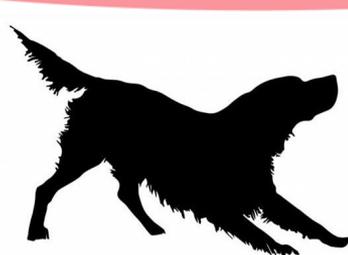
> 6.0

心電図

治療介入

> 6.5

# 高カリウム血症の原因



1

尿路疾患

急性腎障害

腎後性  
(尿管, 尿道)

2

内分泌  
(低アルドステロン)

\* 注: 他の多くの原因あり\*

# 中～重度の高カリウム



急性腎障害

K > 5.3 in 22%

低アルドステロン

K > 6.5 in 40%

尿管閉塞 35%

尿道閉塞 25%

PMID: 37138712

doi:10.1111/vaa.12250

doi: 10.1111/jvim.16375

doi: 10.1111/jsap.13661

doi:10.1111/j.1476-4431.2006.00189.x

doi:10.14202/vetworld.2021.2002-

2008

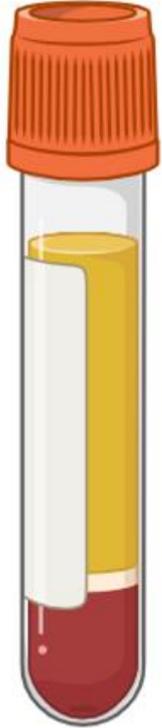
# 高カリウムのその他の原因

麻酔中の  
不明な高カリウム  
(Rare:19 cases/7yrs)

アミノカプロン酸?

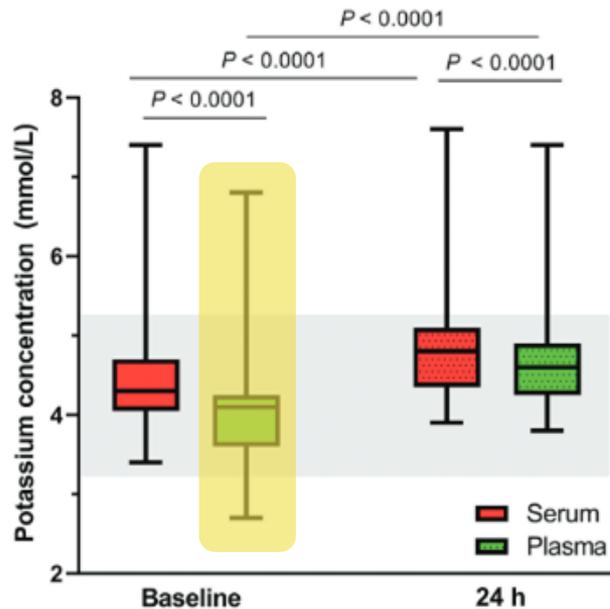
**RAAS阻害**  
ACEi  
ATII 阻害  
スピロラクトン

# 偽高カリウム血症



- 血清サンプル
- 血小板増加症 > 100万
- 白血球増加症 >100,000

# 偽高カリウム血症



Serum  
0.4 mEq/L  
higher

24h later  
0.4 mEq/L  
higher

# 高カリウム血症と心臓

- 高カリウムによる心電図変化  
犬・猫の54-67%



doi: 10.1111/vec.12889

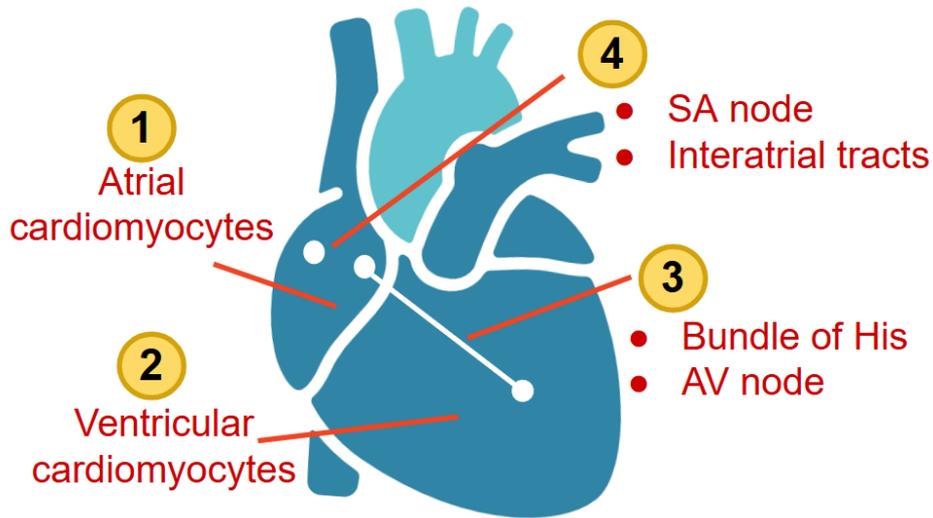
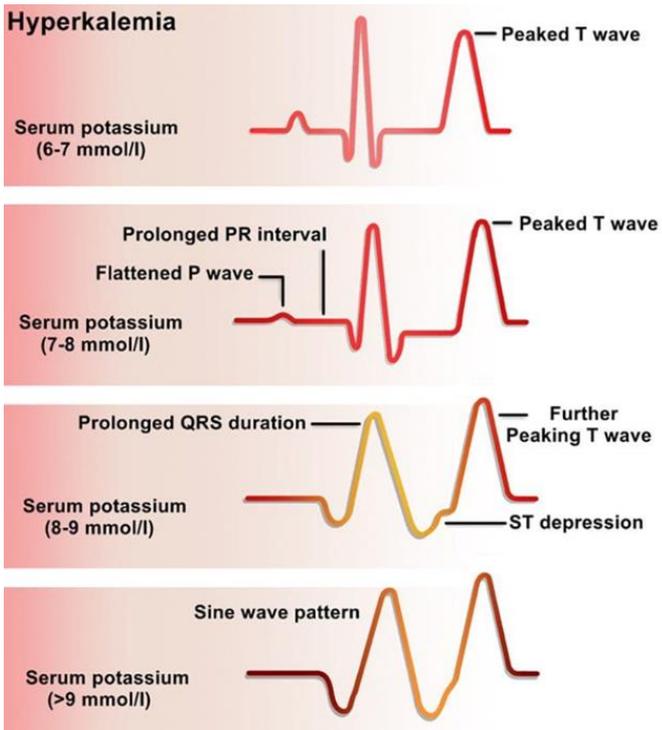
doi: 10.1111/j.1476-4431.2007.00268.x

doi: 10.14202/vetworld.2021.2002-2008

doi: 10.1177/1098612X221127234

# HyperK ECG changes

Severe hyperk



①心房筋 ②心室筋 ③ヒス束 房室結節 ④洞房結節 心房区域

doi:  
10.3389/fphys.2013.00228

# Sine-Wave pattern



- QRS幅の拡大 + テント状T 波
- **心室細動+心静止**

# 心電図の不一致



- 実験での一致した傾向
- 臨床では同じ傾向とは限らない
- 様々な不整脈の可能性

房室ブロック, 心房細動, 右脚ブロック

*Break*

# 高カリウム血症の分類

軽度

5-5.9 mEq/L

中度

6-6.9 mEq/L

重度

>7 mEq/L

> 6.0

心電図

治療介入

> 6.5

# 高カリウム血症の管理

グルコン酸  
カルシウム



B2受容体  
作動薬

透析

インスリン  
+  
ブドウ糖

重炭酸  
ナトリウム

doi: 10.1016/j.phrs.2016.09.039

doi: 10.1016/j.ajem.2019.12.012

doi: 10.1016/j.jemermed.2018.09.007

doi: 0.1002/14651858.CD010344.pub2

# Management of hyperkalemia

**Calcium  
Gluconate**



**$\beta$ 2  
agonists**

**Insulin  
+  
Dextrose**

**Sodium  
Bicarbonate**

**Dialysis**

*doi: 10.1016/j.phrs.2016.09.039*

*doi: 10.1016/j.ajem.2019.12.012*

*doi: 10.1016/j.jemermed.2018.09.007*

*doi: 0.1002/14651858.CD010344.pub2*

# 治療パターン

doi: 10.1016/j.ajem.2019.12.012

doi: 10.1016/j.jemermed.2018.09.007

doi: 10.1177/1098612X221127234

doi: 10.1111/j.1534-6935.2003.00100.x



1-2  
studies  
only



64%

インスリン-ブドウ糖(単独or併用)

36-80%

55%

グルコン酸カルシウム

76-80%

33%

$\beta$ 2 受容体作動薬

---

29%

重炭酸

17-28%

24%

透析

---

## 機構

1. Re-establishes RMP-TP relationship
2. ↑ 伝導速度

グルコン酸  
カルシウム

## 作用時間

効果発現: 即座 (< 1min)

期間: 30-60 min

PMID: 16572868

doi: 10.1016/j.phrs.2016.09.039

doi: 10.1016/j.ekir.2017.10.001

doi:10.1097/CCM.0000000000006376

## グルコン酸 カルシウム

### 容量

50-150 mg/kg slow (5-30 min w ECG)  
(1-1.5ml/kg 10% Ca-Glu)

再投与: 心電図変化の持続

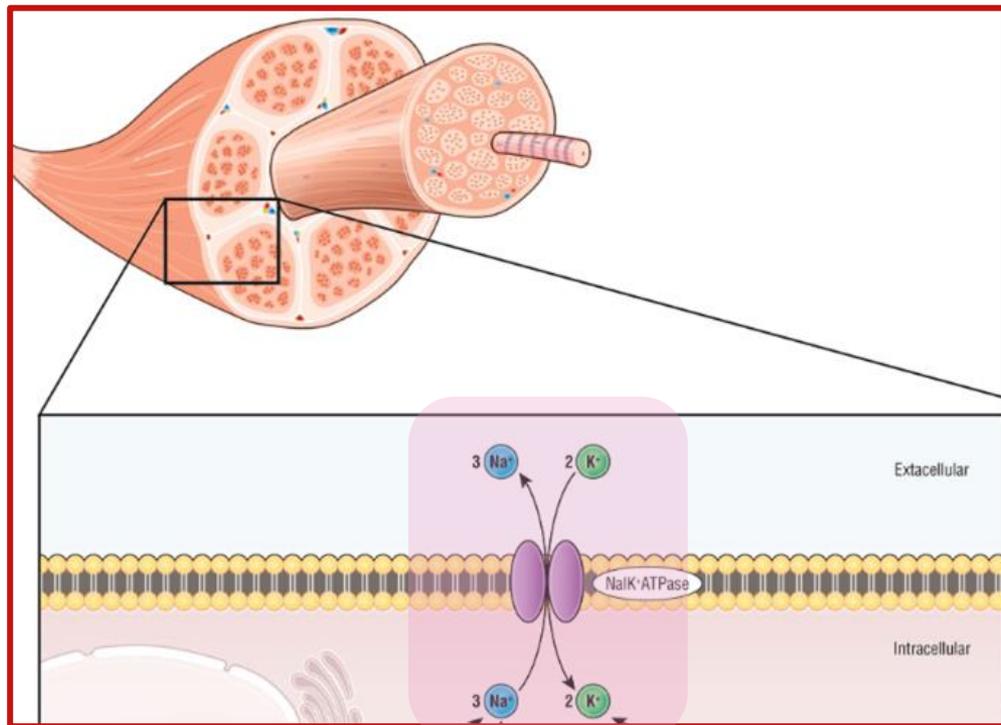
### 意見

- 心電図が正常であれば不要
- $\text{CaCl}_2$  has 3x Ca
- $\text{CaCl}_2$  高浸透圧 + より酸性
- グルコン酸 Ca による壊死あり

インスリン  
+  
ブドウ糖

$\beta$ 2 受容体  
作動薬

重炭酸  
ナトリウム



インスリン  
+  
ブドウ糖

容量

初期: 0.1-0.5 U/kg レギュラーインスリン

ブドウ糖: 1-2g/unit insulin

$\frac{1}{2}$  急速静注  
 $\frac{1}{2}$  1-2時間持続点滴

急速静注

ただ静脈点滴  
に追加する

通常の静脈輸液剤  
2.5-5% ブドウ糖溶液

人では上記全て  
血糖値200mg/Dl以上では不適

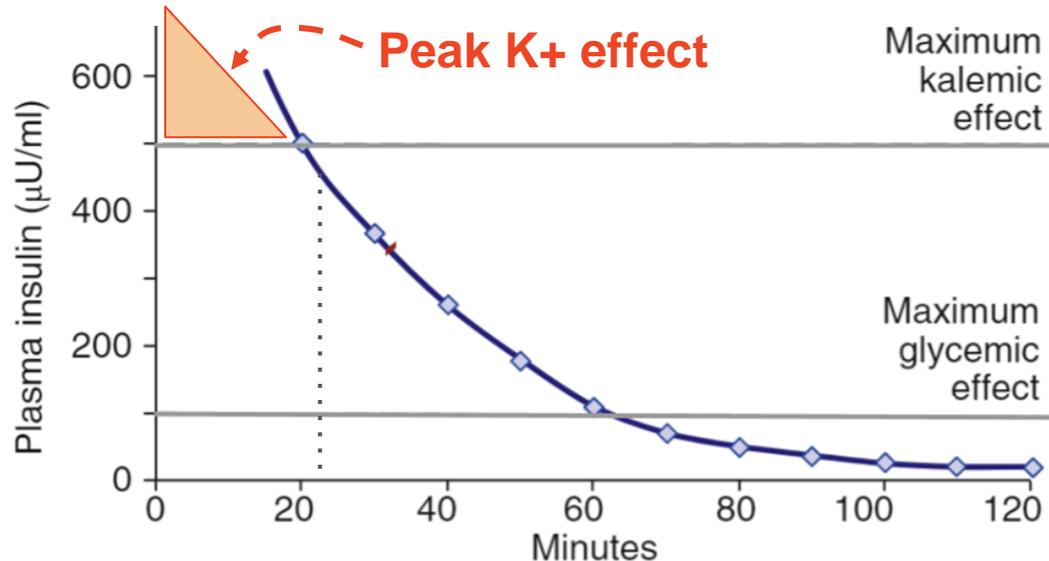
再投与: カリウムが6.0-6.5以上

インスリン  
+  
ブドウ糖

## 期間

発現 15分以内, peak @ 20-60分

期間: 4-6時間



doi: 10.1016/j.kint.2015.11.018

doi: 10.1016/j.ekir.2017.10.001

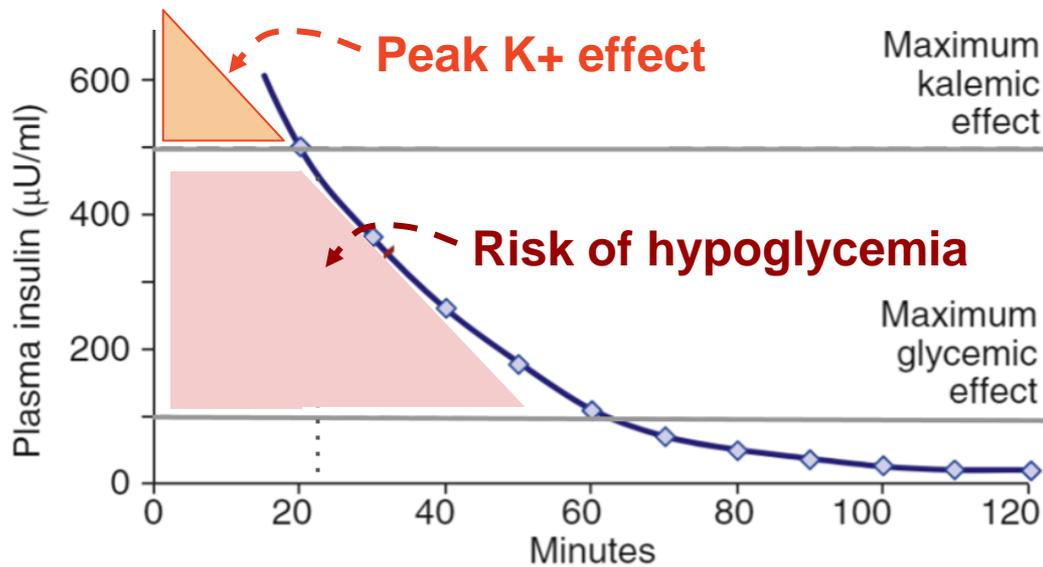
doi: 10.1016/j.jemermed.2018.04.004

インスリン  
+  
ブドウ糖

## 意見

↑ ブドウ糖を補給しても低血糖のリスクあり

0.1-0.14 U/kg bolus





## 低血糖のリスク



15-30%

発生

48%

2.5g-6g/unit

ブドウ糖:インスリン

2g/unit 0.4-  
100g/unit

保護なし

\*\* 当初からのブドウ糖持続点滴でさえ\*\*

doi: 10.1177/1098612X221127234

doi: 10.1186/s13613-019-0509-8

doi: 10.1038/s41598-020-79180-7



## 低血糖のリスク



2.5g-6g/unit

ブドウ糖:インスリン

2g/unit  
(0.4-100g/unit)

### Key points:

- 2g/unit のブドウ糖では十分でない
  - 5g/unit のブドウ糖では？
  - インスリン投与量を減らす  
(e.g 0.1 U/kg)

doi: 10.1177/1098612X221127234

doi: 10.1016/j.ajem.2019.158374

doi: 10.1016/j.ekir.2017.10.009



## 低血糖のリスク



1-3h (peak 90min)

発現時間

6-12h時間以内 (5h)

### Key points:

- 30分おきに血糖値のモニタリング
- その後12時間は1-2時間おきに  
特に最初の6時間までは

## B2受容体 作動薬

- サルブタモール
- アルブテロール
- テルブタリン

### 期間

**発現:** 5分以内  
(注: テルブタリン 20-40 分)

**期間:** 60分で最大効果(90 ug)  
30分で最大効果(450 ug)  
人では2-6時間持続

B2受容体  
作動薬

量

- サルブタモールor アルブテロール
  - 90ug or 450ug per activation
- テルブタリン  
0.01mg/kg slow IV/IM/SQ

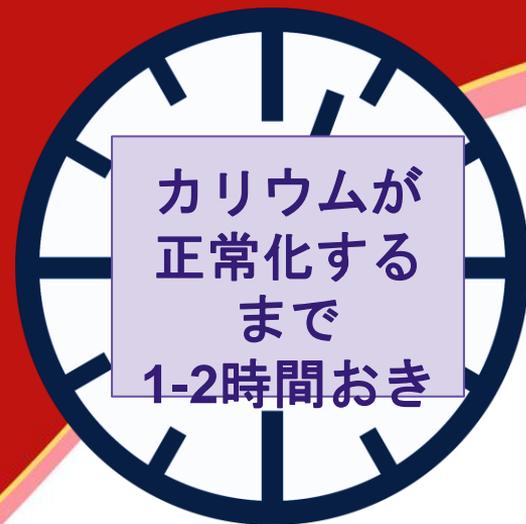
# カリウムの再確認



30 min



60 min



カリウムが  
正常化する  
まで  
1-2時間おき

血糖値の確認も

*Break*

# 低カリウム血症

# 低カリウム血症の分類

**軽度**

**3.5-3 mEq/L**

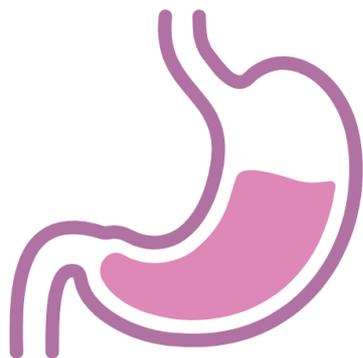
**中度**

**3-2.5 mEq/L**

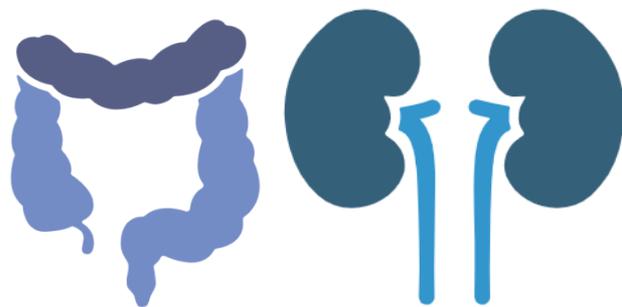
**重度**

**<2.5 mEq/L**

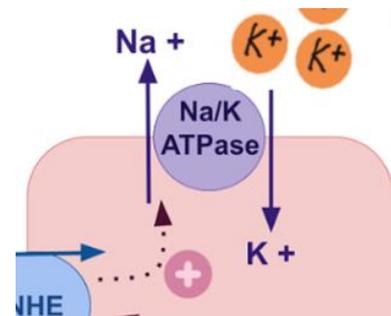
# 低カリウム血症の原因



摂取不足



過剰な喪失



細胞内シフト

# Common causes of hyperkalemia



1

消化器疾患

2

CVS  
(フルセミド?)

尿路  
内分泌

\* 注: 他にも多くの原因あり\*

# Common causes of hyperkalemia



1

消化器疾患

2

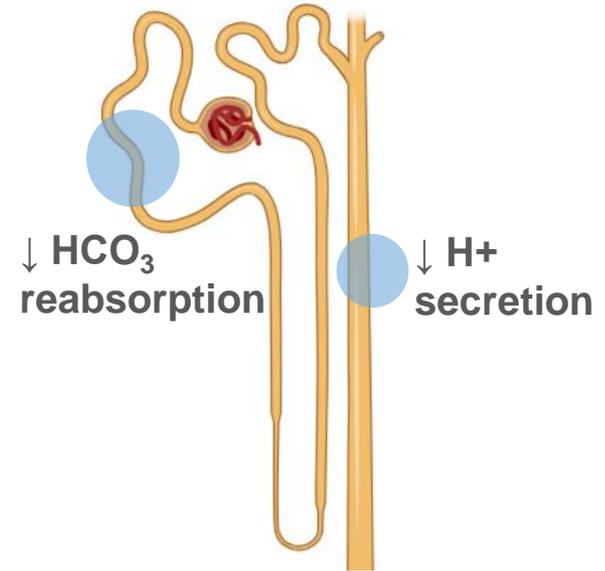
CVS  
(フルセミド?)

尿路  
内分泌

## リスク要因

- 摂取不足
- 輸液療法
- 高血糖
- 消化管喪失
- 腎疾患

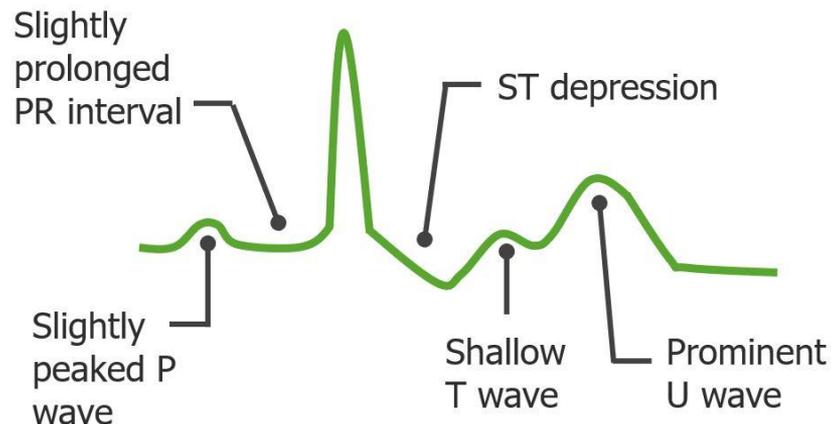
# 薬物と低カリウム血症



尿細管アシドーシス  
(薬物誘発性の可能)

# 低カリウム血症と心臓

- 言語化されたものに乏しい
- 心電図変化は一般的人では40%



doi: 10.1111/joim.13757

doi: 10.1111/joim.13757

doi: 10.1016/j.jelectrocard.2019.09.005

僅かなPR間隔延長 ST低下  
僅かなP波低下 浅いT波 目立つU波

# 低カリウム血症の治療



- 濃縮塩化カリウム
- 0.4-1 mEq/kg/h
  - Max 10 mEq total
- 目標 : 3.5-5.0 mEq/L

医療ミス

高K

doi: 10.1177/0885066617752659

doi: 10.1007/s00246-012-0565-4

doi: 10.5144/0256-4947.2005.105

# 低カリウム血症の治療



- 塩化カリウム経口摂取
- 重度低Kのみ急速静注
- 希釈塩化カリウム

ICU管理	400 mEq/L
一般管理	40 mEq/L



doi: 10.1177/0885066617752659

doi: 10.1136/bmjopen-2019-000666

doi: 10.1136/bmjopen-2016-011179

doi: 10.1097/PCC.0000000000000849

# Treating hypokalemia



十分ではないかもしれない？

TABLE 56.1 Guidelines for Routine Intravenous Supplementation of Potassium in Dogs and Cats<sup>27</sup>

Serum Potassium Concentration (mEq/L)	mEq KCl to Add to 250 ml Fluid <sup>a</sup>	mEq KCl to Add to 1 L Fluid	Maximal Fluid Infusion Rate <sup>b</sup> (ml/kg/hr)
<2.0	20	80	6
2.1 to 2.5	15	60	8
2.6 to 3.0	10	40	12
3.1 to 3.5	7	28	18
3.6 to 5.0	5	20	25

# 低カリウム血症の治療

**軽度**

**3.5-3 mEq/L**

**0.1-0.2**

**mEq/kg/hr**

**中度**

**3-2.5 mEq/L**

**0.2-0.3**

**mEq/kg/hr**

**重度**

**<2.5 mEq/L**

**0.3-0.5**

**mEq/kg/hr**

注: これは演者の好みです

低カリウムが進行するかもしれない場合により役立つ  
(e.g 糖尿病性ケトアシドーシス,利尿)

# 制限はあるか？

## 重篤な低カリウム血症

(呼吸麻痺, 重篤な不整脈)

- $> 0.5 \text{ mEq/kg/hr}$
- Up to  $2 \text{ mEq/kg/hr}$
- ICU + ECG monitoring

重度  
 $< 2.5 \text{ mEq/L}$   
 $0.3-0.5$   
 $\text{mEq/kg/hr}$

doi: 10.1111/vec.12416

doi: 10.1177/0885066617752659

doi: 10.1007/s00246-012-0565-4

doi:10.5144/0256-4947.2005.105

# 補正量計算



中度  
3-2.5 mEq/L  
0.2-0.3  
mEq/kg/hr

*Harry 2.5kg: リフィーディング症候群*

血漿 K 2.7 mEq/L

0.2mEq/kg/h in 乳酸リンゲル6 ml/hr

$0.2 \text{ mEq/kg/h} \times 2.5\text{kg} = 0.5 \text{ mEq/h}$

$0.5 \text{ mEq/h in LRS } 6 \text{ ml/h} = 0.5 \text{ mEq/6ml}$

$0.08 \text{ mEq/ml} = 83 \text{ mEq/L}$

# Practical consideration

## 輸液剤との混和不足

72%: within 5 mEq/L

- 15%: +5 to +20 mEq/L
- 12%: +20 to >280 mEq/L

*doi: 0.1111/jvim.12588*

**よく混ぜる!! 注射ポートから絞り出す+ 4回転倒混和**

# 経口カリウム



開始容量 4.5kgに対して2 mEq 12hおき  
(必要に応じて4-8hおきに)

- 食欲があるまたはチューブによる栄養給餌
- 循環血液量増加に不耐(e.g. 心不全)
- 輸液剤のカリウム濃度が180-200 mEq/L (浸透圧の問題)
- > 0.5 mEq/kg/hr

# 補正量計算



中度  
3-2.5 mEq/L  
0.2-0.3  
mEq/kg/hr

**Harry 2.5kg: リフィーディング症候群**

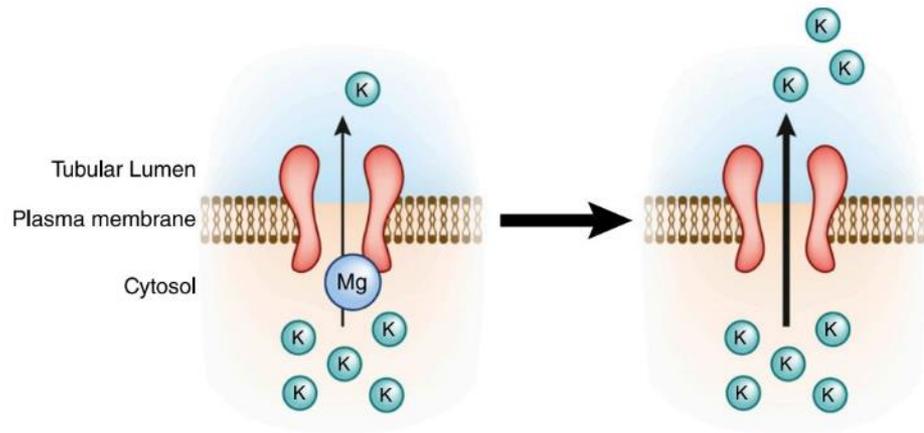
血漿 K 2.7 mEq/L  
0.2mEq/kg/h in 乳酸リンゲル液6 ml/hr

**KCL 83 mEq/L**

浸透圧:  $274 + (83 \times 2) = 440$  mOsm/L

\* 末梢静脈 : 600-700 mOsm/L\*

# マグネシウムが救いの手!



- 持続点滴0.25 to 1 mEq/kg/24h
- 生理食塩液or 5%ブドウ糖液
- 血漿中Mgでは十分ではない

Mgは尿中K喪失を低下させる

doi: 10.2215/CJN.05920613

Small Animal Critical Care Medicine 3rd Edition Chap 58

# 治療目標

Association between potassium concentrations, variability and supplementation, and in-hospital mortality in ICU patients: a retrospective analysis

**Normal 3.5-5.0 mEq/L**

ICU患者におけるカリウム濃度、カリウム変動性、カリウム補充量による入院中死亡率の関連性

心臓手術後の心房細動に対するカリウムによる予防と補正

3.5-4.5 mEq/Lの患者が最も死亡率が低い

3.6 mEq/L以下の補充でも不整脈の発生に差はない

doi: 10.1186/s13613-019-0573-0

doi: 10.1001/jama.2024.17888

# 治療目標

**Normal 3.5-5.0 mEq/L**

ICU患者におけるカリウム濃度、カリウム変動性、  
カリウム補充量による入院中死亡率の関連性

心臓手術後の心房細動に対する  
カリウムによる予防と補正

**Ok target 3.5-4.5 mEq/L**

# ハイライト

不整脈を起こす  
カリウム異常

インスリン 0.1 IU/kg  
高カリウムにおいて

Small drop in blood  
K= large deficit

低カリウム補正の  
割合を検討する

目標 3.5- 4.5 mEq/L



- 月間ニュースレター
- ガイドライン/レビュー
- クイズ
- その他！



Journal Of Veterinary Emergency And Critical Care

- Assessment of change in end-tidal CO2 after fluid challenge as a marker of fluid responsiveness as measured by the aortic velocity time integral in healthy anesthetized mechanically ventilated dogs.  
Tarragona L, Donati PA, ... Otero PE. J Vet Emerg Crit Care (San Antonio) - (Epub 2024 Dec 5) [E29](#)

Frontiers In Veterinary Science

- Utilization of peripheral glucose and lactate differences in the diagnosis of thromboembolism: a multi-center study.  
Yee M, Cuillaumin J, ... Walton R. Front Vet Sci - 2024 Dec 4 - [Open access](#) [E29](#)

REVIEW HIGHLIGHTS



## Feline Aortic Thromboembolism

Recent Advances & Future Prospects



According to recent literature.. [atupdates.org](#)

In a retrospective study evaluating dogs treated with **angiotensin-converting enzyme inhibitors**, which of the following were **risk factors** for **worsening renal function** after treatment?

- A- Proteinuria, spironolactone treatment
- B- Steroid use, hypertension
- C- Concurrent furosemide, pre-existing azotemia

[vetupdates.org](#)

*Questions?*

