

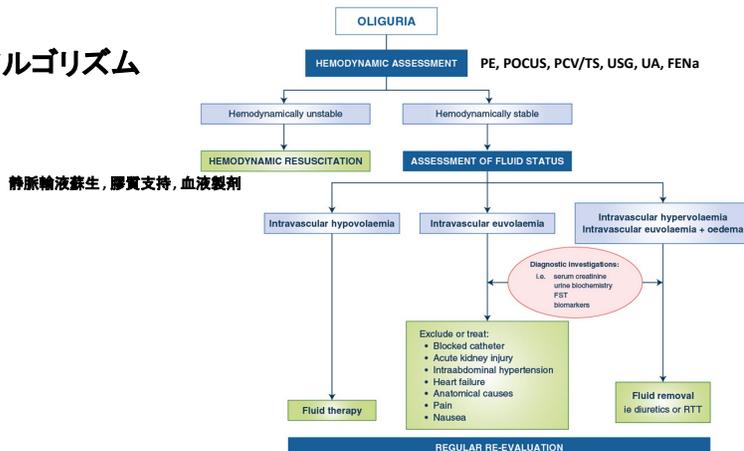
乏尿性急性腎障害の治療法

Jiwoong Her DVM MS DACVECC
Associate Professor
Emergency and Critical Care
Nephrology and Extracorporeal Therapies
North Carolina State University

なぜ尿量を気にするのか？

- 診断能の向上
 - 尿量 + クレアチニン (> クレアチニン単独) (Bianchi, JAMA 2021)
- 合併症
 - 体液過剰, 高カリウム血症
- 予後予測
 - 乏尿: 死亡率に対する確実な危険因子
 - 重症度のマーカー
 - 透析介入なしでの回復の機会は非常に限られる

アルゴリズム



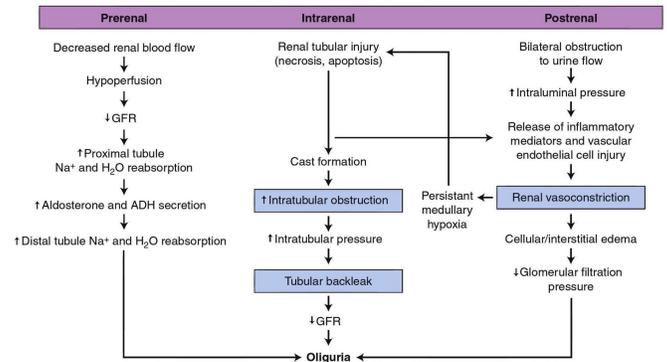
定義

- 正常: 尿量 1-2 ml/kg/h
- 多尿: > 2 ml/kg/h
- 乏尿
 - 相対的乏尿: < 2 ml/kg/h 静脈輸液あり, 腎疾患あり
 - 絶対的乏尿: < 1 ml/kg/h
- 無尿 0-0.05 ml/kg/h

AKI

- 人の乏尿の定義: < 0.5 ml/kg/h over 6h (KDIGO)
- IRIS AKI ガイドライン: < 1 ml/kg/h over 6 hours

AKIにおける乏尿のメカニズム

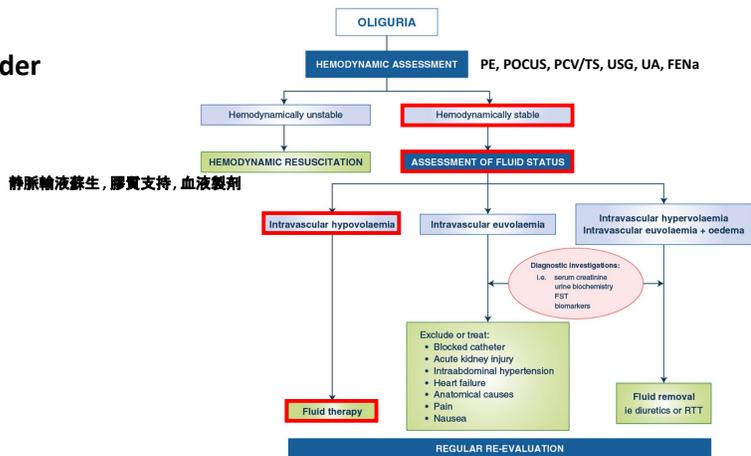


ライダー, 4歳 去勢雄 雑種

- 過去4日間、進行性の嗜眠, 食欲不振
 - 意識混濁、重度の低ナトリウム血症 (108)、高窒素血症、尿量減少のため、プライマリケアの獣医からNCSUに転院
 - 尿量減少の懸念
- 1日目の特記所見
 - PCV 58, TS 7.7, Lact 4.2
 - BUN 173, Crea 2.4, K 5.0
 - USG 1.009
 - Doppler 90~100 mmHg
 - Na 128, K 5.6



Rider



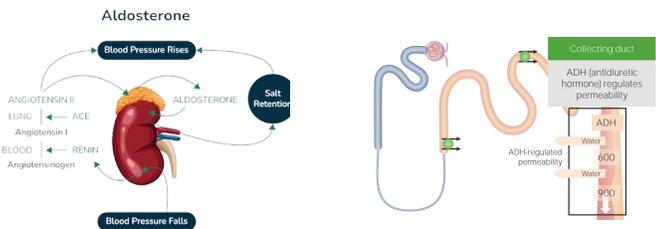
ライダー：容積状態

- 小さい左室拡張末期径
- 高乳酸血症 (4.2)
- PCV/TS上昇
- 灌流パラメータ: 微弱脈拍、心拍数 180、意識混濁、粘膜鬱血、CRT < 1 sec
- Q) 循環血液量減少による乏尿？
- Q) どの輸液を、どのくらいの速度で蘇生させるか？



循環血液量減少における乏尿のメカニズム

- レニン-アンジオテンシン-アルドステロン系 (RAAS) は塩分/H₂O の貯留を促進
- 抗利尿ホルモン (ADH) はH₂Oの再吸収を促進



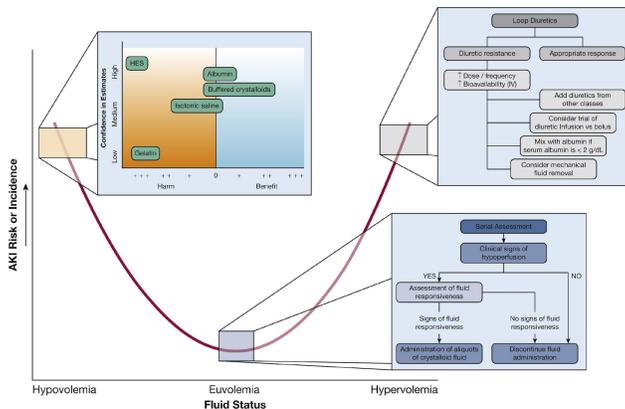
ナトリウムの排泄分画

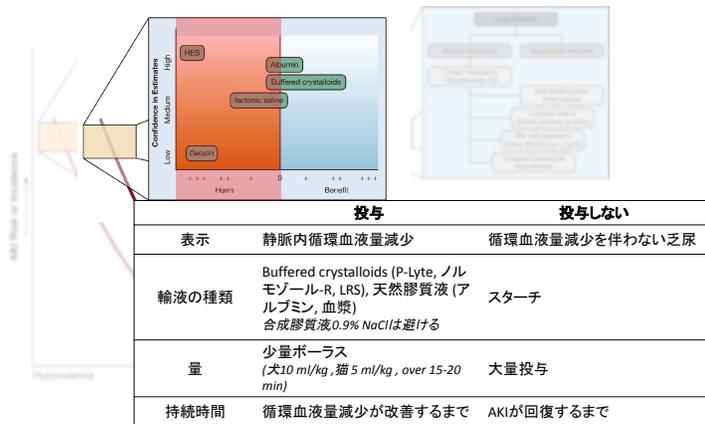
- 通常, Naの > 99%再吸収 = 排泄分画 < 1%
- Na排泄分画 = (尿 Na x 血清 Crea) / (血清 Na x 尿 Crea)
- 尿中に排泄される濾過されたナトリウムの割合を測定
- Na排泄分画 < 1% 容積反応性 (腎前性) AKIを示す
- 腎前性では, 腎臓はナトリウムを保持しようとする → Na排泄分画 < 1%
- 腎内AKIでは, 尿細管障害によりNa排泄分画が高くなる

ナトリウムの排泄分画

- 軽度高窒素血症の患者
 - 病歴/身体検査は脱水/循環血液量減少 + Na排泄分画 < 1% = 腎前性高窒素血症の可能性が高い
- *利尿薬を服用している患者では信頼性が低い

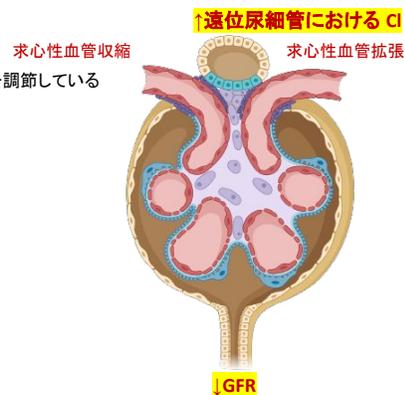
長所	短所
スポットチェック: 測定が容易 (尿, 血清化学検査の同時実施)	一般的に24時間かけて収集の方がスポットよりも信頼できる
これら(品種を除く)にもかかわらず, Na排泄分画はヒトAKIにおいて非常に感度が高い検査	個体間変動 (品種, 性別, 年齢) 個体内要因 (食事, 代謝性アルカローシス)
初期輸液療法は有用性に影響しなかった (JVIM 2018)。Na排泄分画は静脈輸液を同時に行っても糸球体濾過量と相関する (Segev 2015)。	交絡因子: 利尿薬, 静脈輸液, NaHCO ₃ , α-2作動薬, 合併症 (慢性腎臓病, 肝不全, 鬱血性心不全, 敗血症-AKI急性腎障害, 造影剤, 色素性腎障害)
	無尿患者では測定不可





AKIにおける輸液療法

- 健康な状態では、腎臓は以下の方法でGFRを調節している
 - 尿管フィードバック
 - ↑ Cl → ↓ GFR
 - Na/Cl/H₂Oの損失を防ぐ保護機構



Yunos, JAMA, 2012

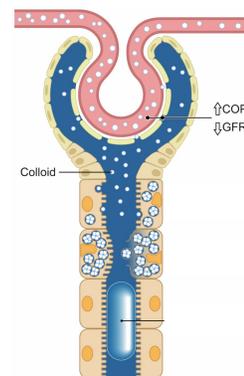
AKIにおける輸液療法

- 0.9% NaClは避ける
 - Cl含有量が高い → GFRの低下
 - ヒトのICU患者では、↑ Cl は以下と関連している
 - ↑ クレアチニン
 - ↑ AKIの発生率
 - ↑ 透析の必要性

タイプ	置換			維持
	等張			低張
製品	LRS	Normosol-R Plasmalyte	0.9% NaCl	0.45% NaCl
Na mEq/L	130	140	154	77
Cl mEq/L	109	98	154	77
Mg mEq/L	-	3	-	-
K mEq/L	4	5	-	-
Ca mEq/L	2.7	-	-	-
Buffer	D/L 乳酸	酢酸/グルコン酸塩	-	-

AKIにおける合成膠質液

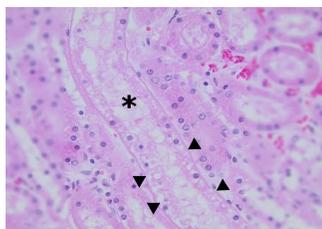
- 合成膠質液は避ける
 - ↓ GFR
 - 尿管細胞機能障害
 - 浸透圧性ネフローゼ, 尿管細胞の膨張
 - 尿管の閉塞 → ↓ 尿量
- したがって,
 - 院内死亡率の増加
 - 腎代替療法の必要性の増加



Adamik, Yozova, Frontiers, 2012

AKIにおける合成膠質液

- 犬でわかっていることは?
 - 尿管空腔化 (= 変性)
 - 合成膠質液の投与量が 1 mL/kg 増加するごとに、尿管空腔化が重症化する確率は 1.6% 増加した



Schmid, JVECC, 2019

AKIにおける合成膠質液

- 私ならどうするか?
 - 循環血液量減少による障害 (虚血性障害) >> 膠質液による潜在的な後障害
 - 例) 経済的な制約から血漿の使用が制限されており、患者が循環血液量減少、低アルブミン血症である場合: 晶質輸液を中止し、必要であれば、vetstarch ボラス (5 ml/kg over 15-30 min) とCRI (20 ml/kg/day) を投与する。
 - できるだけ投与しないようにする

AKIにおける輸液療法

•蘇生後か？

1. 水分補給期: 等張晶質液

- 15 kgの犬、5%脱水 ($15 \times 0.05 \times 1,000 = 750$ ml) を乳酸リンゲルまたはノルモゾール-R を用いて24時間かけて補正 (31 ml/h)

Type	Replacement			Maintenance	Hypertonic
	Isotonic			Hypotonic	Hypertonic
Product	LRS	Normosol-R Plasmalyte	0.9% NaCl	0.45% NaCl	7.2% NaCl
Na mEq/L	130	140	154	77	1232
Cl mEq/L	109	98	154	77	1232
Mg mEq/L	-	3	-	-	-
K mEq/L	4	5	-	-	-
Ca mEq/L	2.7	-	-	-	-
Buffer	D/L lactate	acetate/gluconate			

輸液速度を上げてても GFRは改善しない

静脈輸液速度を上げててもGFRに変化なし



LRS, 10 mL/kg/h for 4 hours



0.9% NaCl, 6 mL/kg/h for 4 hours

Boscan et al. AVJ 2010, McClellan et al. AVJ 2006

AKIにおける輸液療法

•蘇生後は？

1. 水分補給期: 等張晶質液

2. 維持期: 水分不足の患者には維持輸液 (0.45% NaCl) 切り替える

- $(BW)^{0.75} \times 132$ ml/day (dogs)
- $(BW)^{0.75} \times 70$ ml/day (cats)
- ライダー: $(15 \text{ kg})^{0.75} \times 132 = 41$ ml/h

Type	Replacement			Maintenance	Hypertonic
	Isotonic			Hypotonic	Hypertonic
Product	LRS	Normosol-R Plasmalyte	0.9% NaCl	0.45% NaCl	7.2% NaCl
Na mEq/L	130	140	154	77	1232
Cl mEq/L	109	98	154	77	1232
Mg mEq/L	-	3	-	-	-
K mEq/L	4	5	-	-	-
Ca mEq/L	2.7	-	-	-	-
Buffer	D/L lactate	acetate/gluconate			

ライダー: 初期輸液蘇生法

•Q) 循環血液量減少による乏尿？

- はい、疑わしい

•Q) どの輸液をどれくらいの速度で蘇生させるか？

- 乳酸リンゲル10 ml/kg 15 minutes 以上かけて
- その後、維持率 (41 ml/h, 0.45% NaCl) + 5% 脱水補正 (31 ml/h, LRS) 24時間以上かけて

•CBC/生化学検査/尿検査、胸部レントゲン検査、腹部超音波検査、4Dx、レプトスピラ PCV/力価、尿培養



ライダー

•モニター

- PCV/TS、尿量、尿比重、POCUS、静脈血ガス

•結果

- 尿量は2日目に4-5 ml/kg/hに増加、医学的管理を継続。入退院のマッチングを継続。
- 原因不明のAKI
- 5日目に退院



サージ、9歳 去勢雄 GSD

•PU/PD (9日間)、嘔吐 (1日)のため来院

•来院時

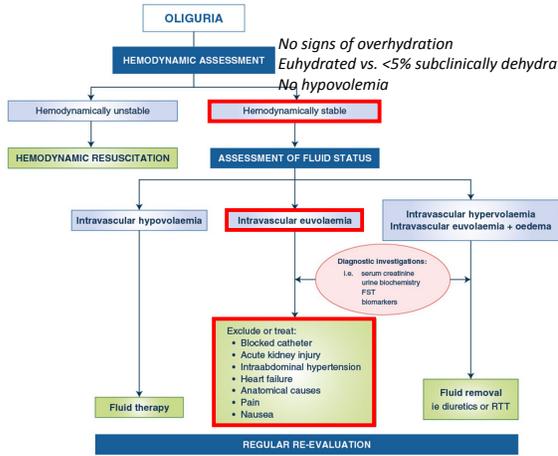
- PCV/TS: 50/8.2
- POCUS: 異常なし、貯留液なし
- BP: 113/83/81
- PE: 脱水の明らかな兆候なし。灌流パラメータは異常なし。

•初期診断

- CXR: 異常なし
- CBC: HC 47%, WBC 11K, PLT 61K
- Chem: **BUN 45, Crea 5.1**, P 10.7, Alb 2.9
- UA: USG 1012, 3+ protein, 3+ blood, 1-3 WBC/hpf
- Witness **lepto (+)**
- CT: **両側腎周囲液貯留**



サージ



サージ

- 初期輸液療法
 - 水分補給のためのP-Lyte + 維持のための0.45% NaClの比
- 尿道カテーテル留置
 - TPR、血圧、PCV/TS、尿比重、尿量、POCUS、腎パネルのモニタリング



乏尿患者のモニタリング

- TPR 6-8h
- 毎日のPCV/TS/グルコース/乳酸、腎プロファイル
- 血圧 q6-8h
 - 目標: 収縮期圧 100~160 mmHg 平均血圧 60-100 mmHg
- +/- ECG (if concerned hyperkalemia)
- 体重 q4-6h
- 尿量 q4-6h

尿量を評価するには？

- 尿道カテーテル留置
- Point-of-care ultrasound: 正確な推定 (+/- 10%の誤差)
 - Formula 1: $UV (mL) = L \times W \times H \times 0.52$ **最も簡単で覚えやすい**
 - Formula 2: $UV (mL) = L \times W \times \frac{DL \times DT}{2} \times 0.625$
 - Formula 3: $UV (mL) = L \times W \times H \times 0.2\pi$



輸液過剰の識別

臨床所見	レントゲン所見	超音波所見
体重増加	体壁浮腫	SQ浮腫
組織浮腫 (肢, 肉球, 結膜浮腫, 従属領域)	胸水貯留	胸水貯留
漿液性鼻汁	心肥大	B-ライン
呼吸数増加または努力	肺動脈拡張	La:Ao拡張
SpO2の低下	後大静脈拡張	後大静脈拡張
新奇雑音, 新奇ギャロップ	肺静脈拡張	後大静脈 collapsibility index低下
胃腸徴候 (嘔吐, 下痢, 食欲不振)	漿膜の詳細の消失	復水
高血圧	腸の膨張	イレウス
		腸壁肥厚
		高エコーの腸間膜と隣臓
		肝鬱血
		胆嚢壁浮腫
		腎周囲浮腫

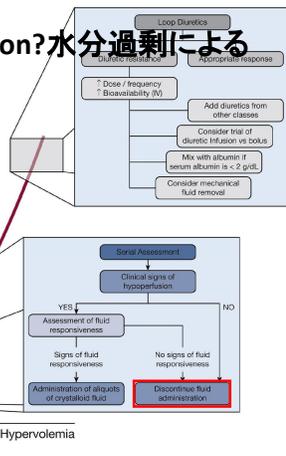
サージ、乏尿

- 1日目夜間尿量
 - 12a: 1.65 ml/kg/h (相対的乏尿), 体重 44kg
 - 4a: 1.26 ml/kg/h,
 - 8a: 0.9 ml/kg/h (絶対的乏尿), 体重 47 kg
- 体重: 44 kg → 47 kg
 - (47-44)/44 = 6.8% 体重増加



Suspect oliguria leading to overhydration? 水分過剰による 乏尿の疑われるか?

1. 静脈輸液を中止
2. 透析 (腹膜透析、血液透析)
3. 利尿薬



乏尿患者における輸液療法

- 乏尿、水分過多の患者の静脈輸液療法: 0.45% NaClを使用し in/outを合わせる
- 水分過多の患者の静脈輸液: 静脈輸液を中止し +/- 利尿薬を使用

In	Out
経胃腸管チューブ栄養 15 ml/h	30kgの犬で1.5 ml/kg/h= 45 ml/h
IV/PO 投薬, フラッシュ 5 ml/h	
静脈輸液ゼロ	
合計20 ml/h	合計45 ml/h
0.45% NaCl 25 ml/h (45 out – 20 in)4-6時間後に新しい尿量を測定	

利尿薬の使用における注意点

- 主な適応: 高カリウム血症の治療を試み、体液過剰の程度を軽減
 - 脱水、循環血液量減少のある患者には利尿薬は避けるべき
- 利尿薬は無尿/乏尿またはAKIを治療しない
 - 非乏尿患者を管理しやすい (高カリウム血症、水分過多を起こしにくい)
 - ↑利尿剤による尿量
 - ≠ GFRの改善
 - ≠ 高窒素血症の改善
- 転帰改善のエビデンスはなくヒト医療では推奨されない
 - 利尿薬による透析遅延の懸念

利尿薬は透析への繋ぎとして、あるいは透析が不可能な場合に考慮できる

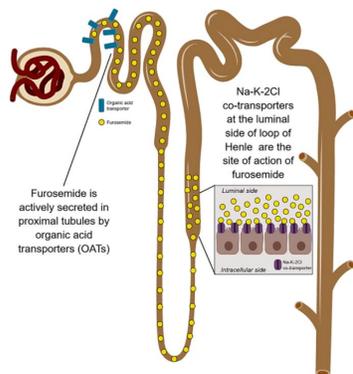
Chapter 3, Canine and Feline Nephrology and Urology

乏尿を多尿に転化させる薬剤として一般に考えられているもの

1. フロセミド
2. マンニトール
3. ドパミン
4. フェノルドパム
5. ジルチアゼム

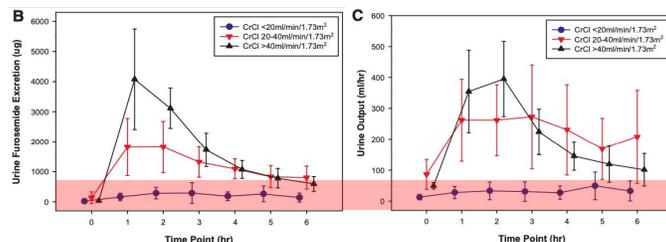
フロセミド

- 作用機序
 - 十分な血流/腎血流
 - 近位尿細管に分泌
 - ヘンレループの太い上行脚に輸送され、NKCCと合流
- フロセミドの目標
 - 尿量を増やす → flush cast
 - 細胞のエネルギー要求量を減少
 - 体液バランス、高カリウム血症を管理
- 投与量
 - 1-4 mg/kg その後 6-12h毎に必要なに応じて投与
 - 0.25-1 mg/kg/hを6 hoursまで投与



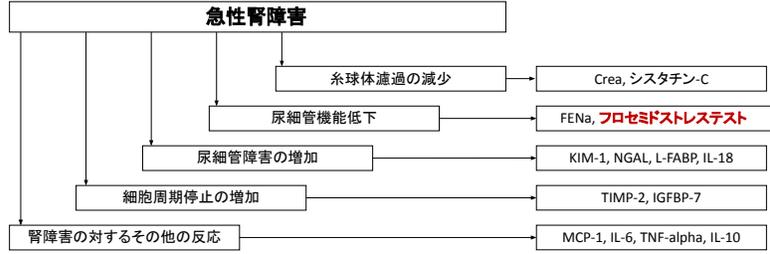
AKIの重症度におけるフロセミドの PK/PD

- フロセミドに対する尿反応は推定GFRにより異なる
 - 単回静脈内ボラス投与(平均体重90kgの患者一人あたり20, 40, または80 mg)、重症ヒト患者
- ↓eGFR (6h CrCl), ↓尿中フロセミド排泄量, ↑血漿中半減期
- 腎機能悪化 (eGFRが低い)、フロセミドが効きにくい



フロセミド負荷試験：バイオマーカー

・フロセミド負荷試験:腎機能の動的機能評価



FSTは透析の必要性を予測する

・反応の欠如は重度 AKIを示すか、透析の必要性を予測する

- ・作用機序
 - ・近位尿細管で分泌される
 - ・ヘンレループに輸送される
 - ・Na-K-2Cl チャネルをブロック

・“フロセミド負荷試験”で尿細管の完全性をチェック

・ヒトの重症患者において、安全性、実現可能性、容認性が高い

・一般に、FSTは重症AKI/血液透析への移行を予測する上で他のバイオマーカーよりも優れている

FST :ヒト

・1~2 mg/kgを単回静脈投与し、2-6時間後に尿量を評価

- ・7日以内に利尿薬を投与された場合は、より高容量 (2 mg/kg) を投与
- ・患者は尿量に合わせて静脈輸液を継続
- ・蘇生が良好な場合、静脈輸液を実施 (absent pre-renal)

・Responders が(定義は研究により異なる)

- ・尿量が2倍になる
- ・尿量 > 1.5 ml/kg/h

・Non-responders

- ・尿量が少ないほど AKI/転帰が悪い
- ・Y/Nだけでなく、数値化することで重症度がわかる

Definition of FST used	Clinical Outcome
IV furosemide 1 mg/kg in diuretic-naïve patients and 1.5 mg/kg in responsive patients. IV furosemide 80-100mg.	UOP < 200ml 2h post furosemide predicts overall stage 3 AKI (UOP < 200ml, Urine Osm from 600 mOsm/400 mOsm, Na change < 196, just subsequent development of AKI)
Postoperative IV furosemide (0.8-1.2 mg/kg per dose between 8 and 24 h after cardiac surgery)	Lack of furosemide responsiveness defined a priori in UOP < 1 mL/h after furosemide predicted subsequent development of AKI
IV furosemide (median dose of 0.6 mg/kg) administered 18 hours post cardiac surgery	The 2- and 6-hour urine flow rates were significantly lower in patients in whom AKI developed
Postoperative IV furosemide (mean dose 1.1 +/- 0.2 mg/kg) with median of 27 hours after cardiac surgery	Lack of furosemide responsiveness defined a priori as a UOP less than or equal to 5 mg/kg predicted fluid overload and prolonged ventilator days
Variable furosemide dose used.	FR could predict AKI progression in patients with high plasma NGAL levels (> 42 ng/ml), while not patients with low plasma NGAL levels exhibited AKI progression
Furosemide responsiveness (FR) was defined as total UOP in 2h (ml) divided by the dose of bolus furosemide (mg administered)	AKI timing of RRT initiation. Only 644 (13%) FST-responsive patients ultimately required RRT while 4790 (28.5%) nonresponders continued to require RRT either received RRT or died (p < 0.001)
Intermittent furosemide (1 mg/kg in furosemide-naïve patients or 1.5 mg/kg in previous furosemide users). FST nonresponsive patients (urine output less than 200ml in 2h) were randomized to early initiation with 4h or standard initiation by urgent diuresis with RRT	AKI timing of RRT initiation. Only 644 (13%) FST-responsive patients ultimately required RRT while 4790 (28.5%) nonresponders continued to require RRT either received RRT or died (p < 0.001)
After initiation of CRRT the first 4h of urine was collected for measuring creatinine clearance. Patients were subsequently randomized to furosemide (0.5 mg/kg/h) or placebo by computerized randomization	Furosemide by intravenous infusion in the recovery phase of hemofiltration-dependent AKI did increase urinary volume and sodium excretion but did not lead to a shorter duration of renal failure or more frequent renal recovery
Furosemide (one time intravenous dose of 100mg) can predict delayed graft function post deceased donor kidney transplantation (DDKT)	The FST predicted DGF with an area under the curve of 0.82 in an active urinary output cutoff of < 600ml at 6h
Furosemide can predict delayed graft function post DDKT	
Single dose of intravenous furosemide, 1.0 mg/kg at 3h after allograft reperfusion. Urine volume measured hourly after FST until 6h. FST was compared to urine NGAL	The 4h urine volume less than 350ml (FST non-responder) was the best cutoff value in predicting DGF with 87.5% accuracy, 82.5% specificity, and 82.5% accuracy. The FST is a more accurate biomarker than urine NGAL

FST: 犬と猫におけるエビデンス？

・獣医学におけるFSTを調査した特別な研究はない

・フロセミドに対する様々な反応を記述した症例集積/報告

- ・JVIM 2018 AKIの犬におけるNa排泄分画
 - ・フロセミド投与後の尿量の反応10/32頭

・BSAVA 2017, 犬8頭、猫4頭において、フロセミドに対する陽性反応 (乏尿から >1 ml/kg/hまたは尿量の倍増) は、他院までの生存とは関連しなかった。

- ・5/12頭がフロセミドに反応

・JVECC 2007, AKIレプトスピラ犬におけるジルチアゼム +/- フロセミド

・フロセミドの使用と反応に関するその他の症例報告/集積 (犬のレプトスピラ症、猫の重度AKI-ユリ中毒、など)

FST: 犬と猫における方法

・適応: AKI、早期 (+/- 進行)、蘇生、水分補給

・単回、静脈内、2 mg/kg

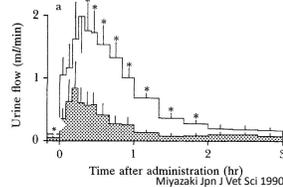
・尿量を定量化するための尿道カテーテル留置

・犬の場合、利尿反応のピークは1時間以内であり、2時間で尿量を評価するのが 妥当な目標であろう

- ・尿量が2倍になる
- ・尿量 > 1.5 ml/kg/h

・FSTの主な有用性は透析の必要性を予測すること

- ・2時間以内に反応なし = 透析の有力な指標



マンニトール

・長所: フリーラジカルスカベンジャー、虚血後の腫脹軽減

・短所: 患者が多尿に移行しない場合、体液過負荷と肺水腫のリスクが高い

- ・ヒトのガイドラインでは、AKI患者にマンニトールを使用すべきではないとされている
- ・乏尿患者へのマンニトールの反復投与は避けるべきである

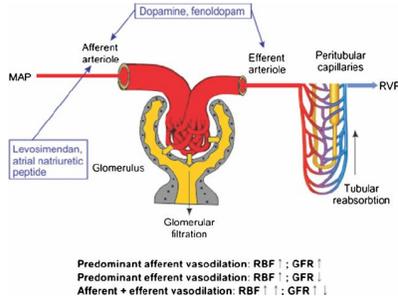
・投与量

- ・0.25-1 g/kg over 15-20 minutes q4-6h (2 g/kgを超えないこと)
- ・60-120 mg/kg/h



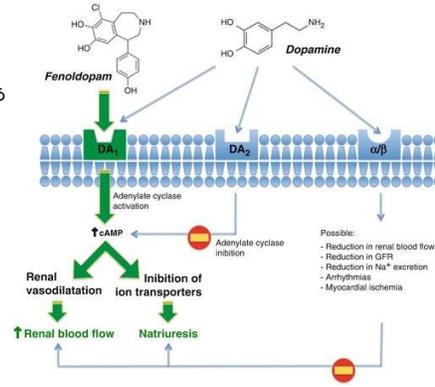
ドパミン

- 機序: 腎血管拡張、ナトリウム利尿、利尿誘導
 - いわゆる“腎用量”ドパミン (1-3 mcg/kg/min)
- ヒトの研究では有益性を示すことができなかった (罹患率、死亡率、透析の必要性の改善なし)
 - 潜在的リスク: 頻脈性不整脈、心筋虚血、高血圧
- ドパミンはAKI治療とヒトには推奨されない



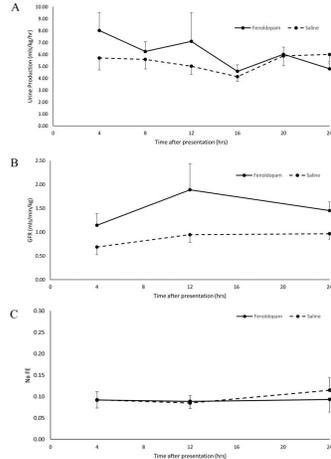
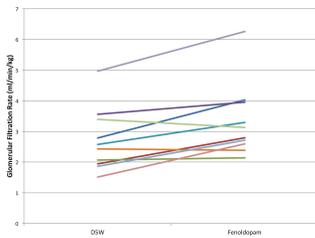
フェノルドパム

- 選択的DA1 (ドパミン受容体) 作動薬
 - ドパミンよりも強力な腎血管拡張作用がある



フェノドパム

- 健康な猫の尿量増加
- 健康な犬におけるNa排泄分画の増加

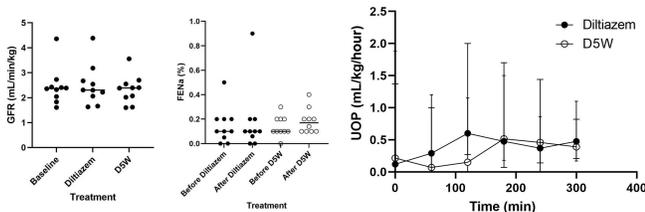


フェノルドパム

- 犬におけるレトロスペクティブ研究では有効性を示せず
 - 熱中症-AKIで0.1 mcg/kg/min
 - Crea、尿量、GFR、ナトリウム排泄分画に変化なし
- AKIの犬および猫を対象としたレトロスペクティブ試験で有効性を示せず
 - 犬で0.8 mcg/kg/min、猫で0.5 mcg/kg/min
 - 入院期間、生存期間、副作用、Crea、BUNの変化
 - 比較的安全だが、低血圧のリスク (末梢血管抵抗低下): 7%
- ヒトでは、
 - フェノドパムはAKI予防に有用かもしれない
 - フェノドパムはAKI患者の結果を改善しない

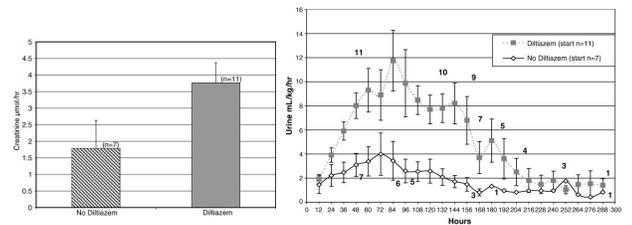
ジルチアゼム

- 機序: カルシウム拮抗薬
 - 求心性細動脈(>遠心性) 血管拡張、腎血流量、GFRと尿量の改善
 - 細胞壊死を防ぐ (細胞内へのカルシウム流入を阻害)
 - リスク: 低血圧
- 健康な犬 (JVIM 2022)
 - ジルチアゼムは糸球体濾過量、ナトリウム排泄分画と尿量を改善しなかった



ジルチアゼム

- AKI-レプト犬、ジルチアゼム
 - 尿量、クレアチニンクリアランスの改善
 - 改善しなかった
 - 腎機能
 - 生存期間
- *本試験の結果はドパミン、フロセミドの影響を受けた。



サージに戻る

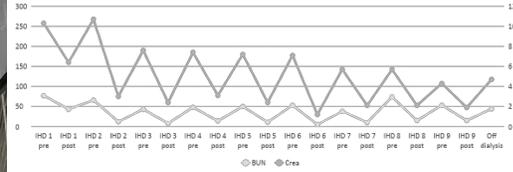
- 尿量
 - 12a: 1.65 ml/kg/h (相対的乏尿)、体重 44kg
 - 4a: 1.26 ml/kg/h,
 - 8a: 0.9 ml/kg/h (絶対的乏尿)、体重 47 kg
- 体重: 44 kg → 47 kg
 - (47-44)/44 = 6.8% 体重増加
- カリウムは 6.5 mEq/L に増加
- Doppler 200 mmHg

飼い主に血液透析を勧めた。一方、フロセミド 2 mg/kg は尿量を改善しなかった。(0.9 to 1.2 ml/kg/h)



サージ: 転帰

- 1週間に4回の治療(入院)、更に、2週間で5回の追加治療
- その後は慢性腎臓病として管理
 - 腎臓の食事療法、毎月の再検査
 - 良好な生活の質



高カリウム血症: AKIではよく見られるか?

- 高カリウム血症 (> 5.5 mEq/L) はAKIでよくみられるが、重度高カリウム血症 (> 7.5 mEq/L) はあまりみられない
- 重度高カリウム血症は閉塞(腎後性)でより一般的

高カリウム血症

- 緊急時: **10% グルコン酸カルシウム**, 0.5-1.5 mL/kg IV 緩徐に(猫一頭あたり 3 mL)
 - 1st 緊急時の選択: 心電図変化、重度徐脈
 - Trade off: ↑Ca x P ミネラル化
- 安定した患者
 - 通常のインスリン 0.5 u/kg IV + ブドウ糖 2 g/インスリン単位 IV; 1.25-2.5%ブドウ糖 CRI 4-6時間を考慮
 - テルブタリン 0.01 mg/kg IV (緩徐に) または IM/SC

Treatments	IV Fluids (no K ⁺)	mechanism
Onset	Furosemide 1-4 mg/kg IV	Dilution, removes k ⁺
15-30 min	Sodium bicarbonate 1-2 mEq/kg IV slowly over 15 minutes	Removes K ⁺
< 1 hr	Dextrose 1 g/kg IV	Translocation
30 min	Regular insulin 0.5 u/kg IV + 2 g dextrose per unit insulin IV	Translocation
20-40 min	B-agonist - terbutaline 0.01 mg/kg IV slowly	Translocation
3-5 min	10% Calcium gluconate 0.5-1.5 mL/kg IV slowly	Membrane stabilization
Hours to days	Polystyrene 2 g/kg in 3-4 divided doses PO	Removes K ⁺
15 min	Dialysis (hemo or peritoneal)	Removes K ⁺

高カリウム血症

- 緊急時: **10% グルコン酸カルシウム**, 0.5-1.5 mL/kg IV 緩徐に(猫一頭あたり 3 mL)
 - 犬は?
 - 犬の中に猫何頭いる?
 - 猫6頭 x 3 mL = 18 mL



AKIにおける高血圧

- 高血圧はAKIとともに起こる
 - 重度高血圧 (≥ 180): 15-62% (犬), 20-28% (猫)
 - 高血圧性網膜症: AKIの犬で16%
- 低酸素血症の重症度との関連はない**
 - 高酸素血症にかかわらず、血圧をチェック
- 体液過剰は高血圧と関連**
 - 適切な静脈輸液療法
 - 透析で体液バランスをとる
- 目標: 収縮期血圧 ≤ 160 mm Hg のコントロール**
 - 頭痛/不安のコントロール
 - アムロジピン (0.1-0.5 mg/kg PO q24h)、アセプロマジン (0.01-0.05 mg/kg q6-12h)、ヒドララジン



血液透析

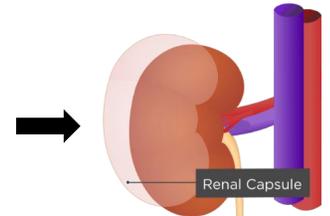
- 内科的治療に抵抗性の高窒素血症の悪化
- 重度の代謝障害
 - 高カリウム血症
 - 酸血症
- 乏尿/無尿
- 体液過負荷

* 乏尿は他の全ての適応症を悪化させるため、血液透析の主要な適応症のひとつ



鬱血性腎症

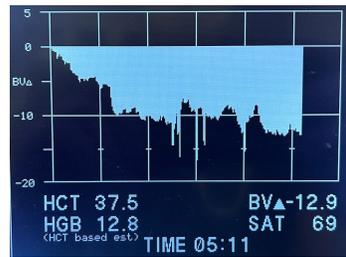
- 腎臓が硬いカプセルに包まれている
- 腎被膜の中で腎臓が鬱血すると、腎灌流が低下し、尿量が減少
- 血液透析は腎臓の鬱血を除去し、腎灌流を改善する効果的な方法



Video credit: Dr. Jeongmin Lee

限外濾過

- 水分過多の患者から水分を除去する効率的な方法
- ヘマトクリット値、混合静脈血酸素飽和度の変化により水分除去の程度をモニター



CarpeDiem (小児用心腎緊急透析機)

- 乳幼児、新生児への持続的腎代替療法用に設計
- 体外容量32-45 ml
- 小型犬や猫 (例, 2.5 kg の犬) でも安全に治療可能 (回路内の血液量の15%) 回路内血液充填の必要なし



AKI-血液透析の予後

- AKI
 - 回復の予後: 50%
 - 残存慢性腎臓病の可能性もあるが、多くは完治

病因	生存率
閉塞性(猫)	70-75%
感染性 (例, レプトスピラ)	58-86%
代謝/血行動態	56-72%
中毒性	18-35%
その他	29-56%



透析が出来ない場合 腹膜透析

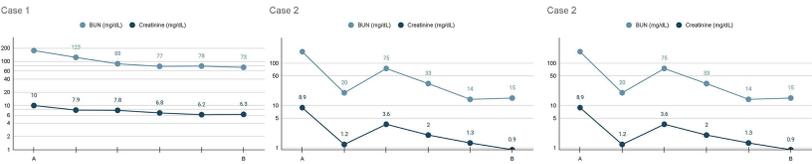
- “低い技術” だが、嚴重な連続監視が必要
- 腹膜を半透膜として使用し、uremic toxinsを除去し、水分過多を管理
- 禁忌
 - 腹壁外傷
 - 腹膜炎

血液透析も腹膜透析も出来ない場合は？



胸膜透析

- 胸膜は腹膜のようなフィルターとして機能
- 3頭の猫で腹膜透析と同等の効果を示し、許容性も良好 (Frontiers 2024)
 - 虚血性心疾患で利用不可、血液透析カテーテルが留置できなかった、SUB留置後などの猫



要約

- 乏尿の転期は早期発見にかかっている
- 輸液療法は個々の患者に合わせて行う
- 輸液過多は脱水よりも更に悪い
- 利尿薬は腎臓病を治療しない
- 血液透析は乏尿性AKIを管理するための主要な治療法である

