

小型犬を模擬した体外循環下での洗浄液の違いによる血清カリウム濃度の検討
Examination of Serum Potassium Concentration by Different Washing Solution During Extracorporeal
Circulation Simulating a Small Dog.

輪内 敬三 ^{1,2)} Keizo Wauchi	菅井 日奈子 ¹⁾ Hinako Sugai	中武 桃華 ¹⁾ Momoka Nakatake	赤星 壮明 ¹⁾ Somei Akahoshi	越智 翔洋 ¹⁾ Shoyo Ochi
井久保 智怜 ¹⁾ Chisato Ikubo	前田 昂 ³⁾ Subaru Maeda	岸川 源直 ⁴⁾ Motonao Kishikawa	富崎 翔 ⁵⁾ Sho Tomisaki	今田 寛人 ⁶⁾ Hirohito Imada

【要旨】

【背景】小型犬の心臓手術を行う際、大動脈を遮断する鉗子の挿入が困難であり、遮断を行わずにカリウムを直接全身に注入することで心停止させ、心拍再開時にカリウムの洗浄を行ったという報告がある。本研究では、予測式と3種類の洗浄液にて血液を洗浄した血清カリウム濃度の検討を行った。

【方法】閉鎖回路の模擬サーキットを作成した。洗浄液は生理食塩水、重炭酸リンゲル液、乳酸リンゲル液を使用した。限外濾過および組成の測定は、100 mL 注入後に限外濾過を100 mL 行いリザーバー後から採血を行う。血清カリウム濃度が6.0 mmol/L 以下になるまで洗浄を繰り返すこととする。

【結果】予測式では、生理食水で1,100 mL、重炭酸リンゲル液、乳酸リンゲル液で1,500 mL で血清カリウム濃度6.0 mmol/L 以下まで低下した。洗浄では生理食塩水は、1,200 mL で血清カリウム濃度が5.8 mmol/L、重炭酸リンゲル液、乳酸リンゲル液では、1,100 mL で血液凝固した。

【考察】重炭酸リンゲル液と乳酸リンゲル液では3 mEq/L のカルシウムが含まれていたことから洗浄を行った分カルシウムが血中に入り凝固が促進したと推察される。牛血を洗浄することで血清カリウム濃度の低下を実測することは可能であるが、実臨床で同様の結果になるとは限らないことも考慮しなければならない。

キーワード：小型犬、心筋保護液、洗浄液、僧帽弁形成術、粘液腫様変性僧帽弁疾患

Abstract

【Background】There is a report that when performing surgery, it was challenging to insert forceps to block the aorta, so cardiac arrest was induced by direct systemic injection of potassium without blockade, and washing was performed when the heartbeat resumed. In this study, we will examine serum potassium concentrations with the predictive formula and three different washing solutions to wash the blood.

【Methods】We created a meticulously designed simulated closed-circuit circuit, using Saline, bicarbonate Ringer's solution, and lactate Ringer's solution as wash solutions. For ultrafiltration and composition measurements, we performed 100 mL of ultrafiltration after 100 mL injection and collected blood from the reservoir. The washings were repeated until the serum potassium concentration was below 6.0 mmol/L.

【Results】In the predicted equation, the serum potassium concentration decreased to 5.5 mmol/L at 1,100 mL. In saline, the serum potassium concentration was 5.8 mmol/L at 1,200 mL, and in bicarbonate Ringer's solution and lactate Ringer's solution, the blood coagulated at 1,100 mL.

1) 帝京大学福岡医療技術学部医療技術学科 2) 山口大学大学院 共同獣医学部 獣医学科 臨床獣医学講座
3) 社会医療法人雪の聖母会 聖マリア病院 4) 医療法人徳洲会 福岡徳洲会病院 5) 川崎医療福祉大学 大学院医療技術学研究科
6) 広島大学 学術・社会連携室 オープンイノベーション本部 産学連携部 バイオデザイン部門
(受付日: 2024.1.9, 受理日: 2024.1.24)

【Discussion】 The presence of 3 mEq/L of calcium in the bicarbonate Ringer's solution and lactate Ringer's solution led to the inference that the washed-out calcium entered the blood, accelerating coagulation. While it is possible to empirically measure the reduction in serum potassium concentration through washing of bovine blood, it must be considered that achieving similar results may not always be feasible in actual clinical practice.

Key words: small dogs, cardioplegia solution, cleansing solution, mitral valve plasty, myxomatous mitral valve disease

I. 背景

近年、日本では小型犬が好まれる傾向にあり、チワワや豆柴などの飼育犬数は増加している¹⁾。アニコム家庭どうぶつ白書 2022 によると、犬の保険請求割合は、4.9%を循環器疾患が占める。その内訳は弁膜症（72.7%）、病態不明の心肥大および心拡大（3.1%）、不整脈（1.8%）であり、弁膜症の請求割合の年齢は7歳を超えると増加する²⁾。弁膜症の外科手術では、僧帽弁形成術（mitral valve plasty : MVP）がされており、粘液腫様変性僧帽弁疾患（myxomatous mitral valve disease : MMVD）による僧帽弁逆流（mitral regurgitation : MR）の制御の手術となる。

MMVD は、2019 年にアメリカ獣医内科学会から発表されたコンセンサス・ガイドラインにおいて MVP は Stage B2 の症例に対して、手術リスクが低く一定した有効性を示している施設での実施は推奨されている³⁾。

MVP は、変性してしまった僧帽弁あるいは伸びて切れてしまった腱索を糸で直していく腱索再建術と、MR によって心拡大が起こり、それによって僧帽弁輪部も拡大していくため縫い縮めていく弁輪縫縮術を合わせた術式である。僧帽弁の治療選択として僧帽弁置換術もあるが、コストが高額なことやワーファリンコントロールができないことから MVP が第一選択されている^{4,6)}。

臨床的問題として、MVP の対象となる小型犬は、体重 3 kg 程度であることが多く^{7,8)}、そ



図1 小型犬の心臓手術

の大きさはヒト新生児程度である。このような小型犬の場合、心停止を目的とした術野展開時に大動脈を遮断する際、鉗子の挿入が困難であることから、遮断をせずに直接全身に 1 mEq/mL のカリウムを 20 mL 程度注入することで心臓を止め、心拍再開時に洗浄液にて血液を限外濾過（conventional ultrafiltration : CUF）して洗浄することで血清カリウム濃度を低下させたという報告⁹⁾があり、我々も過去に同様な経験をしている（図1）。

そこで本研究では、小型犬を模擬したサーキット（図2）にカリウムを 20 mL 注入し、3 種類の洗浄液にて洗浄した血清カリウム濃度の変化と予測式にて血液を洗浄した血清カリウム濃度を検討した。

表 1 洗浄液の組成

総称名 一般名	生理食塩液 塩化ナトリウム	重炭酸リンゲル液 ビカーボン	乳酸ナトリウムリンゲル液 ソルラクト輸液
	mEq/L	mEq/L	mEq/L
Na ⁺	154.0	135	131
Cl ⁻	154.0	113	110
K ⁺		4	4
Ca ²⁺		3	3
Mg ²⁺		1	
HCO ₃ ⁻		25	
Citrate ³⁻		5	
L-Lactate ⁻			28

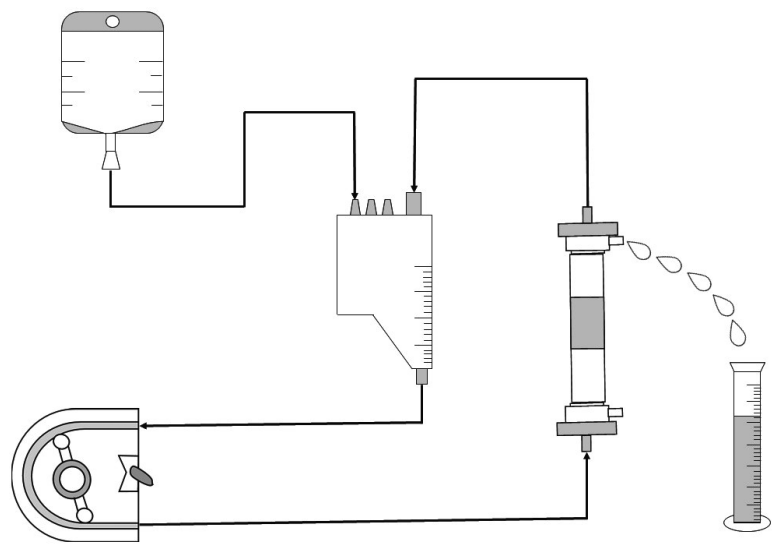


図 2 模擬サーキット

II. 方法

1. 回路構成

小型犬の模擬サーキットは、人工心肺用システム（スタッカー人工心肺装置 S5、ソーリン株式会社）、体外式酸素供給器（BRIZIO、ニプロ株式会社）、人工心肺回路（キャピオックスチューブ 10 mm、テルモ株式会社）、中空糸型透析器（FB-170F α eco、ニプロ株式会社）を使用し、図 2 のように閉鎖回路を作成した。

2. 材料

洗浄液については、生理食塩水 1,000 mL（塩化ナトリウム、扶桑薬品工業株式会社）、重炭酸リンゲル液（ビカーボン 1000 mL、株式会社陽進堂）、乳酸リンゲル液（ソルラクト 1000 mL、テルモ株式会社）を使用した。組成を表 1 に示す。充填量（priming volume : PV）は、生理食塩水 170 mL、カリウムは、補正用電解質液（KCL 補正液 1 mEq/mL、株式会社大塚製薬工場） 20 mL を使用した。また、犬血の入手手段がなかったため、代用として牛血（東京芝浦臓器株式会

表 2 検査所見

		初期値	体外循環開始	カリウム注入後
単位		値	値	値
pH		7.219	7.193	7.179
PCO ₂	mmHg	73.5	18.2	15.3
PO ₂	mmHg	34	41	47
BE	mmol/L	2	-21	-23
HCO ₃ ⁻	mmol/L	30	7	5.7
TCO ₂	mmol/L	32	8	6
SO ₂	%	52	66	73
Na	mmol/L	140	156	168
K	mmol/L	7.2	2.1	>9.0
iCa	mmol/L	<0.25	<0.25	<0.25
Hct	%	36	15	15
Hb	g/dL	12.2	—	—
ACT		無限大		

社)を使用した。3 kg の小型犬を仮定し、全血は体重の 8% であることから牛血を 240 mL とした。

3. 実験系

牛血 240 ml の凝固時間を微量血液凝固計 (Hemochron、平和物産株式会社) で計測し活性化凝固時間 (activated whole blood clotting time : ACT) が無限大であることを確認した。また、血液ガス装置 (i-STAT[®]1 アナライザー、アボット・ラボラトリーズ) で牛血の組成を計測し、血清カリウム濃度が正常であることを確認した (表 2)。

血液ポンプ流量は、ヒト新生児であれば灌流指標 (perfusion index : PI) を 2.7 L/min/m² とするが、犬の場合、PI 2.0 L/min/m² を 100% とし、70% 程度で施行しているため、PI 1.4 L/min/m² (294 mL/min) とした。カリウムは、20 mL を注入し、心停止を仮定した。CUF は洗浄液を 100 mL 注入後に血液ポンプの陽圧により中空糸型透析器を大気開放させることで 100 mL 排液させる。血清カリウム濃度の測定は血液ガス装置を使用し、リザーバー後の三方活栓より採血を行い測定した。なお、実臨床では術後急性腎障害にならないように術中に平均動脈圧を

60 ～ 70 mmHg に保つことで尿量を確保しており、血清カリウム濃度が 6.0 mmol/L 以下になるまで洗浄をしている。そのことから、本研究でも同様に血清カリウム濃度が 6.0 mmol/L 以下になるまで洗浄することとした。

4. 計算式

牛血にカリウム 20 mL を注入したカリウム量を式 1 に示す。

$$TKg = \frac{PK \times 39.1}{BW \times 0.08 + PV} + 39.1 \times IK \quad (\text{式1})$$

TKg = 総カリウム量 (mg)

PK = 現在の血清カリウム濃度 (mmol/L)

39.1 = カリウムの分子量

BW = 体重 (kg)

0.08 = 体重 1 kg 中の循環血液量 (L)

PV = 充填量 (L)

IK = 注入したカリウム (mEq)

牛血にカリウム 20 mL を注入した血清カリウム濃度を式 2 に示す。

$$TK = \frac{TKg}{39.1 \times (BW \times 0.08 + PV + VK)} \quad (\text{式2})$$

TK = 目標の血清カリウム濃度 (mmol/L)

VK = 注入したカリウム量 (L)

計算式より模擬サーキット内の血清カリウム濃度は 48.5 mmol/L とした。

洗浄後のカリウム量を式 3 に示す。

表 3 予測式によるカリウム量、洗浄後のカリウム濃度

生理食塩水			重炭酸リンゲル液		乳酸リンゲル液	
洗浄量 (mL)	カリウム量 (mg)	血清カリウム濃度 (mmol/L)	カリウム量 (mg)	血清カリウム濃度 (mmol/L)	カリウム量 (mg)	血清カリウム濃度 (mmol/L)
0 mL	815.7	48.5	815.7	48.5	815.7	48.5
100 mL	669.5	39.8	674.5	40.1	674.5	40.1
200 mL	549.5	32.7	559.9	33.3	559.9	33.3
300 mL	451.0	26.8	466.9	27.8	466.9	27.8
400 mL	370.1	22.0	391.5	23.3	391.5	23.3
500 mL	303.8	18.1	330.3	19.6	330.3	19.6
600 mL	249.3	14.8	280.7	16.7	280.7	16.7
700 mL	204.6	12.2	240.4	14.3	240.4	14.3
800 mL	168.0	10.0	207.8	12.4	207.8	12.4
900 mL	137.9	8.2	181.2	10.8	181.2	10.8
1000 mL	113.1	6.7	159.7	9.5	159.7	9.5
1100 mL	92.9	5.5	142.3	8.5	142.3	8.5
1200 mL	76.2	4.5	128.1	7.6	128.1	7.6
1300 mL	62.6	3.7	116.6	6.9	116.6	6.9
1400 mL	51.3	3.1	107.3	6.4	107.3	6.4
1500 mL	42.1	2.5	99.8	5.9	99.8	5.9

表 4 洗浄後の電解質濃度

a 洗浄後の血清カリウム濃度				b 洗浄後の血清カルシウム濃度			
洗浄量 (mL)	生理食塩水 (mmol/L)	重炭酸リンゲル液 (mmol/L)	乳酸リンゲル液 (mmol/L)	洗浄量 (mL)	生理食塩水 (mmol/L)	重炭酸リンゲル液 (mmol/L)	乳酸リンゲル液 (mmol/L)
100	> 9	> 9	> 9	100	< 0.25	< 0.25	< 0.25
200	> 9	> 9	> 9	200	< 0.25	< 0.25	< 0.25
300	> 9	> 9	> 9	300	< 0.25	0.29	< 0.25
400	> 9	> 9	> 9	400	< 0.25	0.34	< 0.25
500	> 9	> 9	> 9	500	< 0.25	0.4	< 0.25
600	> 9	> 9	> 9	600	< 0.25	0.47	< 0.25
700	> 9	> 9	> 9	700	< 0.25	0.5	< 0.25
800	> 9	> 9	> 9	800	< 0.25	0.54	0.27
900	> 9	> 9	> 9	900	< 0.25	0.58	0.31
1000	7.8	> 9	> 9	1000	< 0.25	0.63	0.37
1100	6.6	—	—	1100	< 0.25	—	—
1200	5.8	—	—	1200	< 0.25	—	—

c 洗浄後の血清ナトリウム濃度			
洗浄量 (mL)	生理食塩水 (mmol/L)	重炭酸リンゲル液 (mmol/L)	乳酸リンゲル液 (mmol/L)
100	160	150	156
200	159	149	153
300	158	146	149
400	158	144	146
500	158	142	142
600	157	142	141
700	157	138	140
800	155	137	139
900	157	138	139
1000	158	138	136
1100	158	—	—
1200	158	—	—



図3 回路凝固

$$PKg = \{TKg + (SK \times 39.1 \times WL)\} \\ - \frac{\{TKg + (SK \times 39.1 \times WL)\} \times WL \times 0.95}{BW \times 0.08 + PV + VK + WL} \quad (式3)$$

PKg = 現在のカリウム量 (mg)

SK = 洗浄液中のカリウム濃度 (mmol/L)

WL = 洗浄液 (L)

0.95 : カリウムのふるい係数¹⁰⁾

洗浄後の血清カリウム濃度の予測式を式4に示す。

$$K0 = \frac{PKg}{39.1 \times (BW \times 0.08 + PV + VK)} \quad (式4)$$

K0 = 洗浄後の血清カリウム濃度 (mmol/L)

なお、洗浄液が生理食塩水といったカリウムが含まれていない場合はPK=0として計算する。

III. 結果

1. 予測式による血清カリウム濃度の変化

予測式による生理食塩水によるカリウム濃度の変化は、1,100 mL で 5.5 mmol/L、重炭酸リンゲル液では 1,500 mL で 5.9 mmol/L、乳酸リンゲル液では 1,500 mL で 5.9 mmol/L まで低下した (表3)。

2. 洗浄液による血清カリウム濃度の変化

カリウムの洗浄効果についての結果は表4のとおりである。

生理食塩水では 1,000 mL の洗浄を境に血清カリウム濃度が 9.0 mmol/L 以下となり、1,200 mL の洗浄には条件値を下回る 5.8 mmol/L まで低下した。

重炭酸リンゲル液では 1,100 mL の洗浄で図3のように血液凝固してしまったため血清カリウム濃度を 6.0 mmol/L 以下にすることができず測定を中止せざるを得なかった。

乳酸リンゲル液では重炭酸リンゲル液と同様に、1,100 mL の洗浄で図3のように血液凝固してしまったため血清カリウム濃度を 6.0 mmol/L 以下にすることができず測定を中止せざるを得なかった。

IV. 考察

1. 予測式による血清カリウム濃度の変化

本研究で使用した中空糸型透析器と実臨床で使用している血液濃縮器 (アクアストリーム® 株式会社ジェイ・エム・エス) の血清カリウム濃度に対するふるい係数は95%以上である¹⁰⁾。

簡易的に作成された予測式であることから臨床中に即座に計算ができること、体重と洗浄量の一覧表が作成可能となることとなり人工心肺 (cardio-pulmonary bypass : CPB) 装置を操作する我々、Animal Perfusionist にとっては大動脈が遮断できないといった想定外の事態にも操作対応が可能となる。

しかし、樋口ら¹¹⁾は、体外循環開始時の公式や術中時の心筋保護液や尿量も含んだ予測式を作成した報告をしており、今後、我々も検討していく必要があると考えている。

2. 洗浄液による血清カリウム濃度の変化

生理食塩水では血液凝固せず 5.8 mmol/L まで低下することができたが、重炭酸リンゲル液、乳酸リンゲル液では 1,100 mL の洗浄で血液凝固した。これは、事前検査で ACT が無限大であったことから実験系に初回ヘパリンを 150 IU/Kg 注入しなかったことが原因である¹²⁻¹⁴⁾。

輸血用血液製剤には血液凝固をさせないために、3 %前後のクエン酸が含まれている。同様に、牛血にも 3%のクエン酸が必要であると仮定した場合、重炭酸リンゲル液と乳酸リンゲル液には 3 %に満たない量のクエン酸しか含まれておらず、血液凝固を防ぐのに十分な量ではなかったと推察される¹⁵⁾。

凝固機序として、フィブリンがフィブリノーゲンになるためにはカルシウムの存在が必要である。洗浄液として用いた生理食塩水中にカルシウムが入っていないため 6.0 mmol/L 以下まで血清カリウム濃度を低下させることができたのではないかと考えられる。一方、重炭酸リンゲル液と乳酸リンゲル液では 3 mEq/L のカルシウムが含まれていることから洗浄を重ねるごとに血清カルシウム濃度も上昇し、その結果、血液凝固したのではないかと推察される。

3. 洗浄液の評価

ヒトの心臓手術では、高カリウム血症の対策として電解質を崩さないために、生理食塩水 1,000 mL、炭酸水素ナトリウム注射液（メイロン、大塚製薬株式会社）10 ml、塩化カルシウム注射液（塩化カルシウム注射液、ニプロ株式会社）10 ml を混注させ洗浄液として使用している施設や、血液濃縮器の濾過側に透析液を流すこ

とで血液透析と同様に電解質補正するという施設もある^{16,17)}。洗浄液を単体で使用するよりも電解質を考慮した洗浄も検討する必要がある。

4. 動物病院での応用

獣医心臓外科では体重 3 kg の小型犬ともなると急速な希釈がサードスペースへの水分移動を促し、血清カリウム濃度の希釈が十分に行われない可能性がある。また、過度な洗浄は、術後、胸郭に水分が貯留すること、脳浮腫に陥ってしまうことから注意が必要である。そのため、急速な希釈、過度な洗浄は避け、水分、電解質や酸塩基平衡の変動も含め、今後さらに検討を要すると思われる¹⁸⁾。

希釈を行う上での注意点として、希釈前に可能な限り除水を行い、ヘマトクリット値は 20 % を下限とし、血清ナトリウム濃度の変化の少ない希釈液を使用するなどの対策も必要である。

動物病院での動物体外循環技士（Animal Perfusionist）は、ヒトの病院と違い、メインポンプ操作者の First、心筋保護操作者や記録といった Second、Third といったチームが組まれておらず 1 人ですべてをこなさなくてはならない。我々のチームもようやく Second が単発ではあるが参加できるようになってきた。しかし、小型犬の心臓手術の継続や動物体外循環技士を広めていくためには、動物の体外循環の知識を持つ人材育成が必要であり、動物病院での CPB 装置の操作が施行できる環境を整備することが望ましい。

5. 本研究の限界

本研究では、牛血を洗浄することで血清カリウム濃度を実測することはできた。しかし、これは対象犬が腎不全になり尿が出ないという条件下で言えることである。また、本研究で使った血液ガス装置は、上限値が 9.0 mmol/L 以上が表示されなかったことから血清カリウム濃

度の低下の傾向を示すことができなかった。

犬血はヒトの血液よりも脆いとされており、容易に溶血を起こしてしまう¹⁹⁾。そのことから CPB の血液ポンプにより血球破壊やキャビテーションが起こり溶血による血清カリウム濃度の上昇も考慮しなければならない。したがって、計算式や模擬サーキットによる予測は可能であっても、実臨床においては、今回の実験のような血清カリウム濃度の推移を示すとは限らないことを考慮する必要がある。

V. 結論

本研究では体重 3 kg 以下の小型犬を模擬したサーキットを作成し、カリウムにて心停止させた後の心拍再開を仮定とした CUF の血清カリウム濃度がどのように変化するか、洗浄液別に検討した。

今回の実験に用いた生理食塩水では血液凝固がみられず最後まで洗浄することができたが、重炭酸リンゲル液と乳酸リンゲル液では血液凝固が発生してしまい 6.0 mmol/L 以下の結果を得ることができなかった。

今後、実臨床に近づけるために実験系に初回へパリンを注入させることで血液凝固を回避させ、実験を完了させることが必要であると考えている。

VI. 利益相反

帝京大学 福岡医療技術学部紀要の投稿規定の基準による開示すべき利益相反関係は無い。

VII. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、臨床の立場からご助言いただきました廣浦 学様に深謝いたします。

引用文献

1) 一般社団法人ジャパンケネルクラブ [Internet].

犬種別犬籍登録頭数. 2022 - [cited 2023 Nov 3]. Available from: <https://www.jkc.or.jp/archives/enrollment/21072>

- 2) アニコム家庭どうぶつ白書2022 [Internet]. 2022 [cited 2023 Nov 5]. Available from: https://www.anicom-page.com/hakusho/book/pdf/book_201411.pdf
- 3) Bruce W Keene, Clarke E Atkins, John D Bonagura, Philip R Fox, Jens Häggström, Virginia Luis Fuentes, et al. ACVIM consensus guidelines for the diagnosis and treatment of myxomatous mitral valve disease in dogs. *Journal of veterinary internal medicine*. 2019; 33(3): 1127-40.
- 4) Kanemoto I, Mihara K, Sato K. Open-heart techniques and mitral valve plasty for mitral regurgitation in toy- and small-breed dogs: A review. *Open Veterinary Journal*. 2021; 11(1): 14-26.
- 5) Kanemoto I, Taguchi D, Mihara K, Kawase K, Sato K, Iwata K, et al. Long-term survival of two dogs after mitral valve plasty. *Veterinary Science Development*. 2017; 7(1): 51-4.
- 6) Mihara K, Kanemoto I, Sato K, Mori T, Abe H, Niimi S, et al. Open heart surgery with deep hypothermic cardiopulmonary bypass and more than 90 minutes of aortic cross clamp time in 10 small dogs. *Veterinary Science Development*. 2017; 7(1): 83-6.
- 7) 小暮一雄. 犬の僧帽弁閉鎖不全症. *動物の循環器*. 1987; 20(20): 13-23.
- 8) 陰山敏昭, 澤邦彦, 若尾義人, 武藤眞, 渡辺俊文, 宮田雄吉, 他. マルチーズにおける僧帽弁閉鎖不全症の疫学的検討. *動物の循環器*. 1993; 26(2): 65-70.
- 9) 風間繁, 西山清敬, 守屋斗人, 河合靖, 石原昭. 高カリウム心停止施行心臓手術後の血清酵素値の推移. *心臓*. 1982; 14(2): 149-54.

- 10) 中敏夫. 持続的血液濾過透析に使用する膜の選択について—ポリスルホン膜とポリメチルメタクリレート膜の有効性についての比較—. 日体外循環技術. 1994; 20(1): 79-81.
- 11) 樋口浩二, 高橋満彦. カリウム (K+) 濃度予測式作成. 人工臓器. 1994; 20(2): 26-30.
- 12) 南茂, 松本猛志, 峰松佑輔, 加藤篤志, 吉田靖. 体外循環技術 (人工心肺充填液と人工膠質液). 人工臓器. 2020; 49(3): 178-83.
- 13) 輪内敬三, 吉武重徳, 廣浦学, 吉加江凌矢, 酒井康二, 藤岡崇伯, 藁戸由樹, 馬場敬志, 井口和人, 安藤崇則. 人工心肺用送血カニューレに透析用穿刺カテーテルを代用した超小型犬の1例. 動物の循環器. 2023; 56(2): 75-83.
- 14) 日本薬局方 ヘパリンナトリウム注射液 [Internet]. ヘパリンナトリウム注 1 万単位「ニプロ」. 2023 - [cited 2024 Jan 5]. <https://pins.japic.or.jp/pdf/newPINS/00062592.pdf>
- 15) 河内充, 澤田真理子, 臼井幹, 田村真奈美, 岡田和宜, 山下毅, 他. 2kg 以下の新生児に対するエンドトキシン吸着療法施行時のプライミング方法・充填血液補正法に関する当院の工夫. 日本急性血液浄化学会雑誌. 2014; 5(2): 156-9.
- 16) 渡邊文雄, 三浦政直, 井口広靖, 青木優祐, 中村不二雄. 人工心肺使用心臓血管外科症例に対する術中血液濾過透析併用の有効性の検討. Cardiovascular Anesthesia. 2017; 20(1): 139-44.
- 17) 古山義明, 小池龍平, 松井晃, 中村譲, 山岸正明, 野村耕司, 他. 人工心肺充填液に対する血液透析の有用性. 体外循環技術. 1996; 22(1): 76-9.
- 18) 笹川繁, 関口敦, 片倉健二郎, 深谷隆史, 森田高志, 土屋利洋, 他. 限外濾過を利用し高カリウム血症を改善した方法の検討. 日集中医誌. 2012; 30(4): 317-8.
- 19) Gabrio, BW. , Donohue, D. M. , & Finch, C. A. Erythrocyte preservation. V. Relationship between chemical changes and viability of stored blood treated with adenosine. The Journal of Clinical