

－人工心肺業務レポート－

—目次—

1. 心筋保護業務・・・P1～22

① 心臓の生理学・・・P1～5

- 心臓の拍動機序
- 心停止の機序

② 心筋保護液・・・P6～9

- 細胞外液型心筋保護液
- 細胞内液型心筋保護液

③ 当センターの心筋保護液・・・P10～13

- Tepid Blood Cardioplegia
- Cold Blood Cardioplegia
- Hot shot
- Crystalloid Cardioplegia

④ 心筋保護液注入用カニューレ・・・P14～19

- 冠動脈カニューレ(アンテカニューレ)
- 冠状静脈洞カニューレ(レトロカニューレ)
- 冠状静脈洞カニューレ(レトロカニューレ)
- 大動脈カニューレ(ルートカニューレ)
- 大動脈カニューレ(コロナリーチップ 左用)
- 大動脈カニューレ(コロナリーチップ 右用)
- 冠動脈灌流用カテーテル(コロナリーチップ バルーン)
- 大動脈ルートカニューレ(小児用)

⑤ 心筋保護注入に関する注意点・・・P20～22

- MS・MR
- AS
- AR

⑥ 今後の目標(心筋保護)・・・p23

2. 人工心肺業務・・・P24～38

① 人工心肺に関するデバイス・・・P24～25

- リザーバ
- 人工肺
- 遠心ポンプ
- 動脈フィルター
- ECUM

② 人工心肺で使用する薬剤・・・P26～34

- | | |
|------------|-------------|
| ● ソル・メルコート | ● ビスコリン |
| ● メイロン | ● 20%マンニゲン |
| ● コントミン | ● ヘспанダー |
| ● ニカルピン | ● ヘパリンナトリウム |
| ● ノルアドレナリン | ● プロタミン |
| ● DOB | ● エラスポール |
| ● DOA | ● アンスロンビン P |
| ● ミオコール | ● ハプトグロビン |
| ● クラルート | ● ネオシネジン |
| ● レギチーン | ● タンデトロン |
| ● ラシックス | ● PDEⅢ阻害剤 |
| ● 2%キシロカイン | ● トランサミン |
| ● フラビタン | ● 電解質 |

③ L回路の組み立て手順・・・P35～37

④ 今後の反省(人工心肺)・・・P38

1. 心筋保護業務

本項では心筋保護業務に関する項目を記述する。

① 心臓の生理学

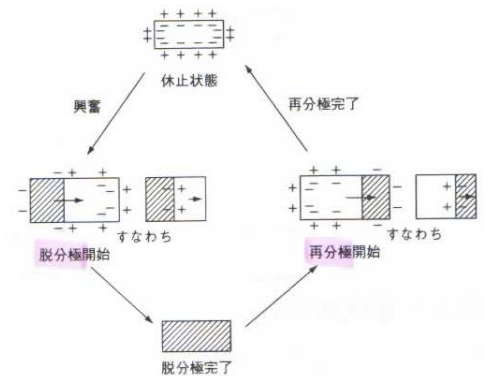
● 心臓の拍動機序

心筋細胞は、外部からの刺激や自動能から始まるイオンチャネルの開閉による電流変動の結果、活動電位と呼ばれる一定の膜電位変化を起こす興奮性を持つ。心筋細胞の興奮性は時間に依存して変化し、いかに強い刺激にも興奮しない絶対不応期(プラトー)、強い刺激にのみ興奮する相対不応期(再分極)に続き、興奮性は回復し、安定する。(図 1)

心筋細胞内液の K イオン濃度は細胞外液より高く、逆に Na イオンや Ca イオン濃度は低い。K イオンが濃度勾配に応じてチャネルを介して内から外に流出する為、細胞膜を挟んで内側が-、外側が+に分極している。

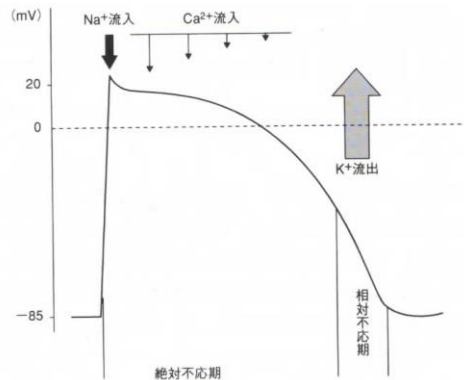
静止状態の心筋細胞内電位は-90mV 程度の電位を示す。膜電位が浅くなり、ある値を超えるとイオンチャネルの透過性が変化し、細胞外から細胞内へ Na イオンが急速流入、Ca イオンが緩徐に流入し、細胞内電位は+となる。(脱分極)その後、細胞内 K イオンが細胞外へ流出し、電位は下降して元の静止電位に戻る。(再分極)

<図 1>



これらの電気現象で心筋は収縮(脱分極)と弛緩(再分極)を繰り返し、拍動している。心筋の電気現象を図 2 に示す。

<図 2>

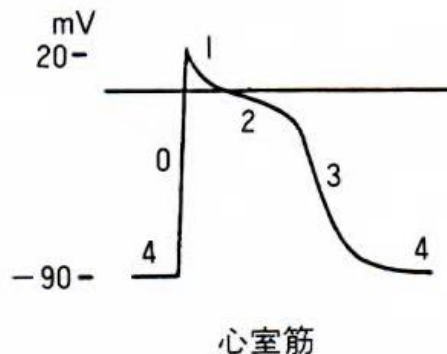


また心筋の電気現象にはその経過によって0~4相の5つに分類されている。
以下に0~4相までの説明を記述する。

0相：活動電位の立ち上がりに相当。
急速な大きいNaイオンの流入がある。

1相：オーバーシュートの後、急に0電位に近づく。

2相：0mV近くで平坦部を作る。プラトーと呼ばれるが、
これが心室筋活動電位の特徴である。
この期間Caイオンが細胞外から細胞内に流入する。



※ Kイオンの流出とCaイオンの流入とで電位が相殺されるため、
プラトーが生じる。

3相：再分極相。Kイオンが細胞内から細胞外へ流出する。

4相：静止膜電位である。(-85~-90mV)

● 心停止の機序

心筋保護液で心停止を得る為に、当センターでは高K心筋保護液(細胞外液型)を用いている。

これは高K液(約16mEq)を冠動脈に注入することで、心筋でのCaイオン流入を阻害し、心筋の電氣的現象を阻害することで心筋収縮を減少させる為である。
これにより、心筋は心停止する。

またK濃度が16mEqである理由としては、当センターの心筋保護液は弛緩的心停止を目的としており、心筋の最大弛緩電位が-60mV程度であるためである。

高カリウム細胞外液による細胞内外のカリウム濃度勾配の減少により、静止膜電位は減少する。

ネルンストの式を用いて、当センターで使用している16mEqのK濃度の心筋保護液を用いた時の静止膜電位を計算すると以下のようなになる。

ネルンストの式： $E_k = 61 \log [K^+]_{out} / [K^+]_{in}$ (E は平衡電位の意、 E_k は K の平衡電位)

↓

$$E_k = 61 \log (4+16) / 146 \div -52.66(\text{mV})$$

$[K^+]_{out}$ は細胞外液中の K 濃度なので、心筋保護液の K 濃度と細胞外液の K 濃度の和として 20mEq。 $[K^+]_{in}$ は細胞内液中の K 濃度なので、細胞内液の K 濃度を代入している。

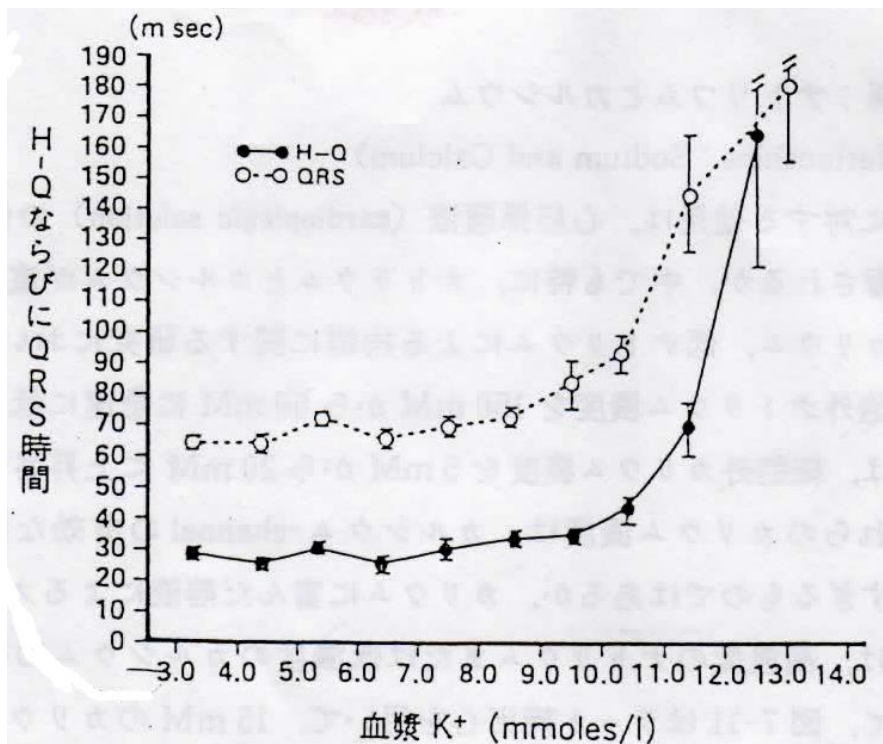
結果は -52.66mV となり、最大弛緩電位に近い値となることがわかる。

※ なぜカリウム濃度 16mEq 以下及び以上ではいけないのか？

カリウム濃度 5~7mEq では心臓伝導系における変化は軽度で比較的意义のないものであり、8~9mEq を超えると、重大で急速な伝導抑制がもたらされる。10~15mEq まで上昇した場合、拡張性(弛緩性)心停止を得ることができる。

徐々にカリウム濃度をあげたときの電気生理学的結果を図 3 に示す。

<図 3>



ただし、より高濃度(25~40mEq)では、静止膜電位は-40~-30mVに減少し、カルシウムチャネルを活性化する効果がみられ、従って、カルシウム流入を抑制するのではなく、反対に促進する。

カルシウムチャネルの活性化とカルシウムの細胞内流入は、エネルギー消耗性の半ば収縮期の状態における心停止(収縮期心停止)をもたらす。

またカリウム濃度は冠血流量すなわち投与液の灌流能力にも関係する。

下記に示す図4でも分かるように、10mEq以上のカリウム濃度では、心拍数は急速に減少し、20mEqに達すると完全な心停止が得られている。

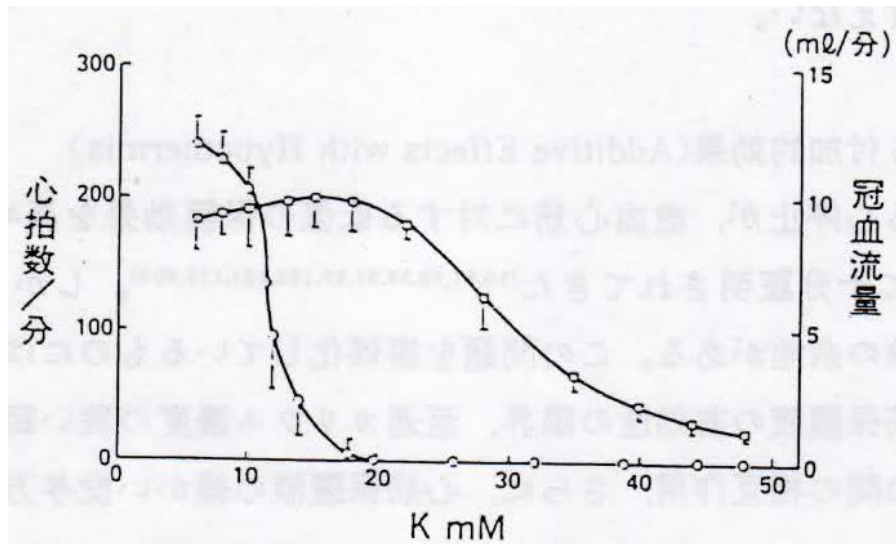
この濃度では冠血流量、つまり投与液の灌流能力に有意な影響はみられていない。

しかし、14~16mEq以上から徐々に冠血管抵抗の進行を認めている。

これはカリウムによる左室静止期張力に由来するものと考えられている。

ここからも心筋保護液の至適カリウム濃度は14~16mEqと考えられる。

<図4>



最後に、無カルシウム・低ナトリウム液を用いてそのカリウム濃度を5~35mEqまで段階的に上昇していくと、組織中のATP値が最高に保たれるのは、心筋保護液中のカリウム濃度が15mEqの場合であったという研究結果も報告されている。

これらの結果をもとに心筋保護液の至適カリウム濃度を考えると、
15~16mEq 程度と考えられ、この値以上でも以下でも最適な心筋保護はでき得ない
と言える。

② 心筋保護液

心筋保護液には大別して、細胞外液型と細胞内液型とに分類される。

本項ではこの二つの心筋保護液に関して記述する。

● 細胞外液型心筋保護液

細胞外液型は細胞外イオン濃度に基づく心筋保護液であり、高カリウム濃度により主に心停止を得る。

原理に関しては前述した通り(心臓の生理学 心停止の機序の項を参照)であるが、細胞外液型に代表される心筋保護液を以下に示す。

Roe 液		Craver 液	
組 成	濃 度	組 成	濃 度
グルコース	278.0 mM	塩化カリウム (KCl)	25 mM
塩化カリウム (KCl)	20.0 mM	重炭酸ナトリウム (NaHCO ₃)	11 mM
塩化ナトリウム (NaCl)	27.0 mM	塩化ナトリウム (NaCl)	154 mM
塩化マグネシウム (MgCl ₂)	1.5 mM	グルコース	11.1 mM
Tris	1.0 mM		
347 mOsm/kg H ₂ O; pH 7.6.		391 mOsm/kg H ₂ O.	

上記の2つの心筋保護液は心臓の電気機械的作用を迅速に消滅させる手段として、カリウムを上げ、ナトリウムを下げるという原則に従った心筋保護液と言える。

カリウムのみに基づく単純溶液は、迅速な心停止によって、エネルギー消費を減少させるという利点を持つ反面、別の組成物質による付加的な保護効果という利点はなく、特にカルシウムを除いた為に起こる有害な影響(calcium paradox)を欠点として持っていた。

しかしながら以下の2つの心筋保護液に関しては異なり、Birmingham 液には基本溶液として Normosol、Tyers 液には基本溶液として乳酸リンゲルが含まれており、この基本溶液にカルシウムが含まれていたため、calcium paradox は起こりにくかったと言える。

Birmingham 液		Tyers 液	
組 成	濃 度	組 成	濃 度
ナトリウム (Na ⁺)	100 mM	ナトリウム (Na ⁺)	138 mM
カリウム (K ⁺)	30 mM	塩素 (Cl ⁻)	98 mM
塩素 (Cl ⁻)	84 mM	カリウム (K ⁺)	25 mM
重炭酸 (HCO ₃ ⁻)	28 mM	重炭酸 (HCO ₃ ⁻)	20 mM
カルシウム (Ca ⁺⁺)	0.7 mM	マグネシウム (Mg ⁺⁺)	1.5 mM
グルコース	27.7 mM	カルシウム (Ca ⁺⁺)	0.5 mM
アルブミン	50 g/l	酢酸塩 (acetate)	27 mM
マンニトール	27.472 mM	グルコン酸塩 (gluconate)	23 mM
300~385 mOsm/kg H ₂ O; pH 7.5.		275 mOsm/kg H ₂ O; pH 7.8.	

また高カリウム溶液に高マグネシウム濃度を付加した St.Thomas 液がある。
これは当センターでも Crystalloid Cardioplegia として用いられている心筋保護液である。

St.Thomas 第 2 液の組成を以下に示し、詳しい説明は後述する当センターの心筋保護液の Crystalloid Cardioplegia の項で説明する。

組 成	濃 度
塩化ナトリウム (NaCl)	110.0 mM
塩化カリウム (KCl)	16.0 mM
塩化マグネシウム (MgCl ₂)	16.0 mM
塩化カルシウム (CaCl ₂)	1.2 mM
重炭酸ナトリウム (NaHCO ₃)	10.0 mM
リドカイン (必要に応じ)	1.0 mM

324 mOsm/kg H₂O ; pH 7.8.

- 細胞内液型心筋保護液

細胞内液型心筋保護液の心停止原理は、細胞外液型と考え方自体は同様であり、心筋細胞膜のイオン勾配を低くすることによって細胞の興奮性を減少させようというものである。

細胞外液型と異なる点は、カリウム勾配を減少させるのではなく、ナトリウム濃度の勾配を減少させることにより、細胞の興奮性を減少させ、心停止を得ようという点である。

組 成	濃 度
塩化ナトリウム (NaCl)	12.0 mM
塩化カリウム (KCl)	10.0 mM
塩化マグネシウム (MgCl ₂)	2.0 mM
塩酸プロカイン	7.4 mM
マンニトール	239.0 mM

320 mOsm/kg H₂O ; pH 5.5-7.0.

上記に示した Bretschneider 液はナトリウムが低く、カルシウムを含まず、プロカインを含んだ溶液である。

プロカインを含んでいる理由としてはプロカインの特性が関与している。

第 1 はナトリウム・カリウム流入阻害による急速心停止を誘導する能力。

第 2 は抗不整脈特性による、再灌流早期のリズム不整の発生の減少。

第 3 はカルシウム流入阻害による虚血心筋保護。

第 4 は虚血由来の膜分解の一因となる phospholipaseA 活性の抑制。

これらの特性から、プロカインを心筋保護液中に加えることによる付加的な心筋保護効果を狙いとしていると考えられる。

また同じ細胞内液型心筋保護液として Kirsch 液が挙げられる。

組 成	濃 度
アスパラギン酸マグネシウム	160.9 mM
プロカイン	11 mM
ソルビトール	247 mM

463 mOsm/kg H₂O ; pH 5.8-7.0.

上記の Kirsch 液はカルシウム・ナトリウムを組成に含まず、アスパラギン酸塩の形で多量のマグネシウムを含む溶液である。

マグネシウムはカリウムに次ぐ主要細胞内陽イオンであるが、心臓を止めるということに関しては、カリウムよりも有効ではない。

これは細胞外高マグネシウムは興奮収縮連関機構を抑制することにより、活動電位の短縮と心内伝導性の減少をもたらすことにより心停止を得る効果を持つが、その効果は細胞外カルシウム濃度の増加によって逆転させられ得るからである。しかしながら、マグネシウムはナトリウムの流入阻害効果をもつため、Kirsch 液のように低ナトリウム心筋保護液と組み合わせて用い、心停止作用を補助する目的で含まれていると考えられる。

※ 細胞内液型に関してもカルシウムを含まないことから calcium paradox を生じる危険性があった。

しかし、Bretschneider 液や Kirsch 液については以下の 3 点の条件が重なり、calcium paradox が発生しにくかったと考えられる。

第 1 : 作成時に用いた化学薬品や水が paradox を防止するのに十分なカルシウムに汚染されていたこと。

第 2 : 非冠動脈性側副血流が paradox を防止するのに十分な血液とカルシウムを供給していたこと。

第 3 : calcium paradox による障害は、同時にナトリウムを低下させるか、温度を低下させることによって遅らせるかあるいは防止することが可能であること。(細胞内液型であり、ナトリウムの低下に当てはまる。)

③ 当センターの心筋保護液

当センターでは細胞外液型の心筋保護液を用いているが、症例によって Tepid Blood Cardioplegia、Cold Blood Cardioplegia、Hot shot、Crystalloid Cardioplegia を使い分けている。それぞれの心筋保護液について以下に示す。

● Tepid Blood Cardioplegia

大人グループで使用。

組成：ソルラクト	500ml
KCl	20mEq/l
ACD-A 液	5ml
クラルート	0.75mg

CP 温度：29℃

比率：初回 2:1、持続 4:1

注入時組成理論値： 初回 2:1	K イオン	17.3mEq/l
	Na イオン	135.6mEq/l
	Cl イオン	115.0mEq/l
	HCO ₃ イオン	16.0mEq/l
持続 4:1	K イオン	12.0mEq/l
	Na イオン	138.0mEq/l
	Cl イオン	111.5mEq/l
	HCO ₃ イオン	19.2mEq/l

※ 組成中の ACD-A 液は Ca イオンキレートにより血液と混合されたときの血液に対する Ca イオン低下作用を目的とする。

クラルートは Ca イオンを拮抗することで心筋の収縮を抑え、冠動脈を拡張し、心筋保護液の注入を促す。

※ 温度に関しては、大人症例は心停止時間が比較的短いこと、血液併用心筋保護液であること、心筋酸素需要量と供給量のバランスから 29℃が選択されている。

- Cold Blood Cardioplegia

血管グループで使用。

組成：ソルラクト 500ml
 KCl 20mEq/l
 ACD-A 液 5ml

CP 温度：14℃

比率：初回 2:1、持続 4:1

注入時組成理論値：Tepid Blood Cardioplegia と同様

※ 血管症例での心筋保護液でクラルートを使用しない理由としては、心筋保護液の温度が 14℃と低温であるため、冠動脈が収縮してしまい、クラルートによる血管収縮抑制の効果が得られないためと考えられる。

※ 温度に関しては、血管症例は心停止時間が比較的長いことを考慮し、14℃という低温下におくことによる心筋保護効果を目的としている。(14℃の心筋保護液での心停止では、心筋酸素需要は 37℃拍動下の心筋に比べておよそ 50 分の 1 まで低下する。)

- Hot shot

大人グループで使用。

Hot shot に関しては虚血後の再灌流障害の回避を目的としており、

狙いとしては以下の三点である。

- ① 持続注入していた心筋保護液の wash out。
- ② 37℃まで温めた心筋保護液をゆっくりと灌流させることにより、心筋温度を正常に戻し、代謝の回復速度を至適化すること。
- ③ 常温心筋保護液で灌流させることにより Na イオンポンプ機能を賦活して細胞内に貯留した Na イオンをくみ出し、Na イオン/Ca イオン交換系を介する Ca イオン過負荷の予防。

組成：ソルラクト 500ml
 KCl 5mEq/l
 ACD-A 液 5ml

CP 温度 : 37°C

比率 : 4:1

注入時組成理論値 :	K イオン	6.0mEq/l
	Na イオン	139.0mEq/l
	Cl イオン	102.6mEq/l
	HCO ₃ イオン	19.2mEq/l

※ K 濃度としては、心停止の維持目的ではなく、大動脈遮断解除前に心臓を正常な状態に戻すことを目的としているため、高 K 濃度は必要ではないことから 6.0mEq/l としている。

- Crystalloid Cardioplegia

小児グループで使用。

組成 : St.Thomas 第 2 液と同一組成であるミオテクターを使用している。

A 液 :	塩化ナトリウム	3214.2mg
	塩化カリウム	596.4mg
	塩化マグネシウム	1626.4mg
	塩化カルシウム水和物	88.2mg
B 液 :	炭酸水素ナトリウム	420.0mg



注) 炭酸カルシウムの沈殿が生じるため、A 液と B 液の混合は使用直前に行うこと。

AB 混合液組成 :	Na イオン	120mEq/l
	K イオン	16.0mEq/l
	Mg イオン	32.0mEq/l
	Ca イオン	2.4mEq/l
	HCO ₃ イオン	10.0mEq/l
	Cl イオン	160.4mEq/l

CP 温度：4℃

比率：Blood 併用の Cardioplegia ではないため、100%ミオテクターである。

- ※ Mg イオンが正常値(15mEq/l 程度)の二倍近い値となっていることに関して、高 Mg の心筋保護液は、Na イオンの流入を阻害する。高 K での Ca イオン流入阻害との相乗効果により、心停止を得ようとする目的である。

また Mg は高リン酸化合物の極めて重要な成分であるとともに、細胞機能や細胞内輸送をコントロールする多くの酵素の必須補酵素であり、全ての細胞内エネルギー伝達反応と深くかかわり合っている。

よって Mg を付加することにより、虚血がもたらす細胞内 Mg の損失を防ぎ、組織保護効果を発揮することが可能であるといえる。

- ※ CP 温度が 4℃であることに関して、Crystalloid Cardioplegia は血液を併用しない。そのため、最大限心筋での酸素需要をなくすことを目的として CP 温度を 4℃まで低下させ、心臓を低温度とする。
(4℃の心筋保護液での心停止では、心筋酸素消費量は 37℃拍動下に比べておよそ 100 分の 1 まで低下する。)

④ 心筋保護液注入用カニューレ

当センターでは心筋保護液注入用カニューレとして、アンテ・レトロ・セレクトティブの注入に対応したカニューレがそれぞれ用意されている。

それぞれのカニューレについて以下に示す。

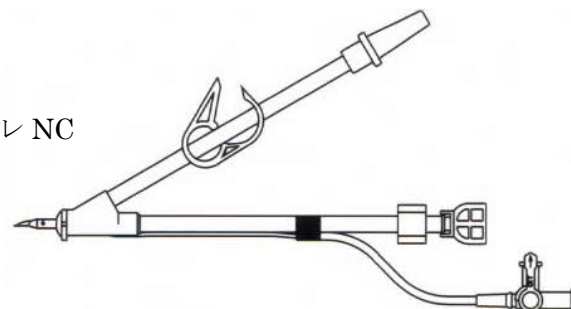
● 冠動脈カニューレ(アンテカニューレ)

販売元 : Edwards Lifesciences 社

商品名 : エドワーズ体外循環カニューレ NC
(心筋保護用ルート)

Fr サイズ : 9Fr(3mm)

ゲージ : 16G

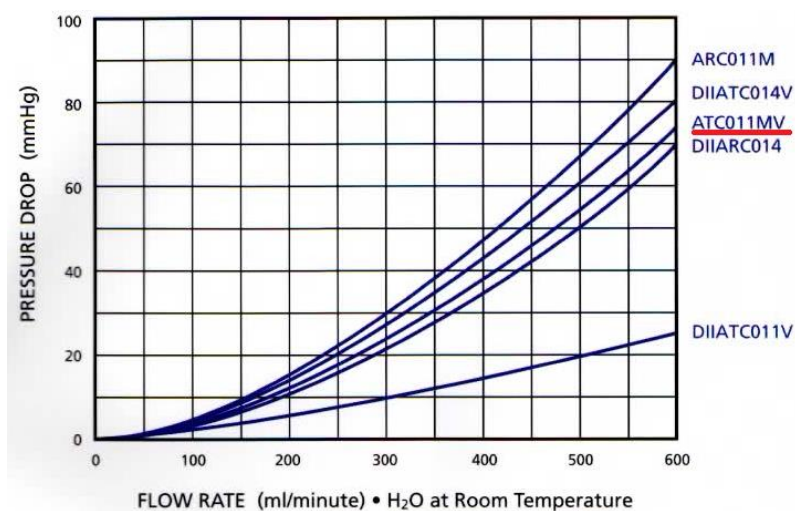


商品説明 : 本商品は「圧モニタリング・ベント付 MV タイプ」と呼ばれる商品であり、ベンティンク用の側枝と、圧モニタリング用の三方活栓付ラインのついたアンテカニューレである。

流量に対する圧力損失を表 1 に示す。(本商品は ATC011MV)

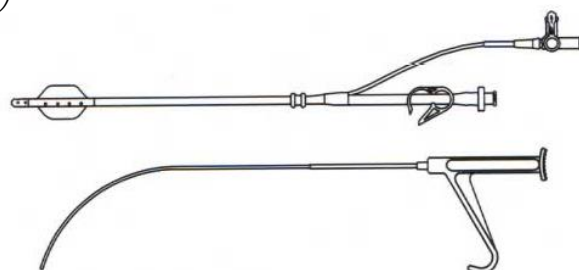
注) 溶血を最小限に抑えるため、心筋保護を注入する際の圧が 53kPa(400mmHg)を超えないようにすること。

<表 1>



- 冠状静脈洞カニューレ(レトロカニューレ)

販売元 : Edwards Lifesciences 社
 商品名 : エドワーズ心筋保護用レトロカニューレ(セルフインフレート)
 ハンドルスタイレットタイプ
 Fr サイズ : 14Fr(4.7mm)
 バルーン : ポリウレタン製
 スムースバルーン(18mm)

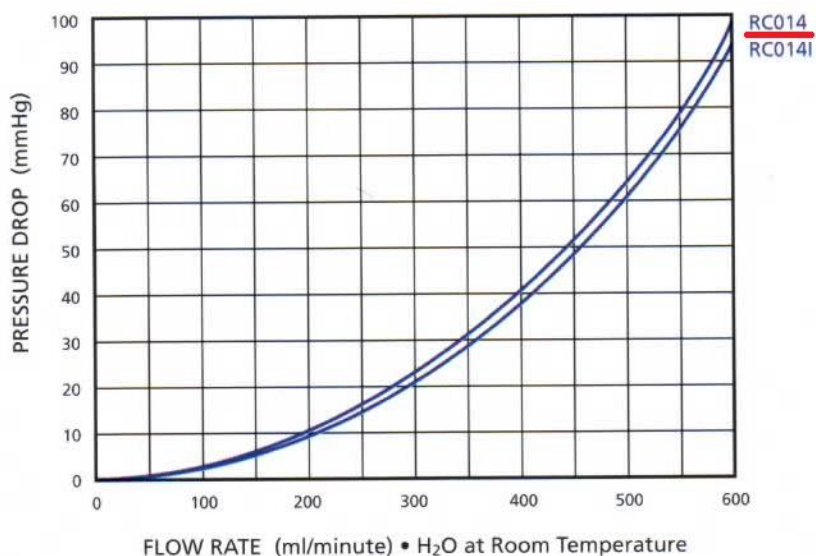


商品説明 : 本商品はバルーンの膨張機構がセルフインフレートタイプのレトロカニューレであり、コロナリーサインス内の圧較差でバルーンが自動的に膨張するタイプである。
 (マニュアルインフレートタイプは術者のコントロールでバルーンを膨張させるタイプである。)

流量に対する圧力損失を表 2 に示す。(本商品は RC014)

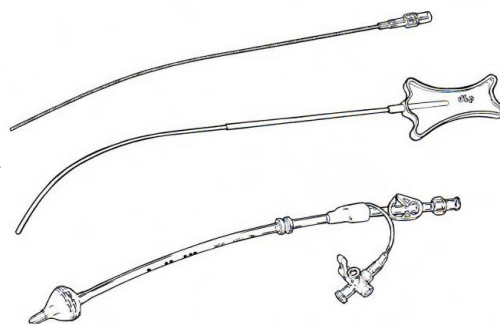
注) 製品の構造上、レトロ注入圧は 50mmHg を超えないように管理すること。

<表 2>



● 冠状静脈洞カニューレ(レトロカニューレ)

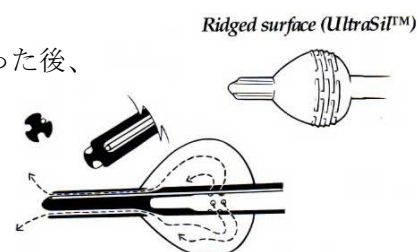
販売元 : Medtronic 社(DLP)
 販売名 : RCSP カニューレ
 品名 : ULTRASIL レトロカニューレ
 AI 15F/TST
 Fr サイズ : 15Fr(5mm)



商品説明 : シリコン製のバルーンを配したオートインフレートタイプのレトロカニューレである。

先端はブルノーズ型で挿入しやすく、バルーンには滑り止めが施されていて固定性にも優れている。

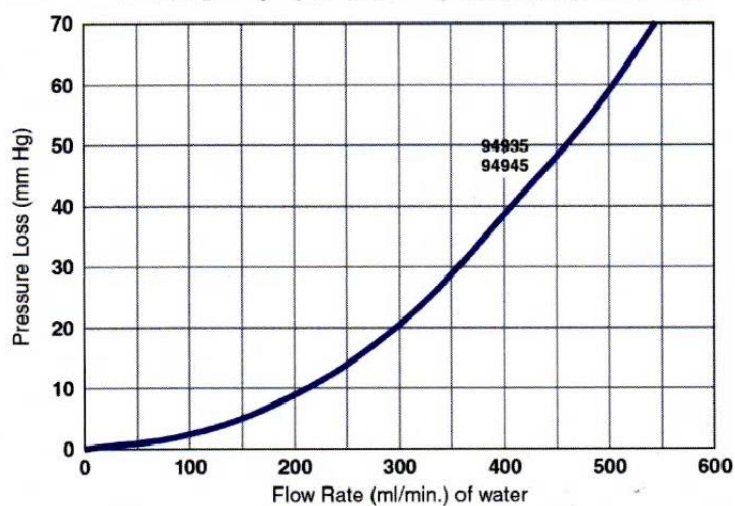
カニューレに送液された心筋保護液は、バルーンに向かう小孔を経て一旦バルン内に入った後、チップに向かう3本のガイド溝から冠状静脈洞に送液される。



流量に対する圧力損失を表 3 に示す。

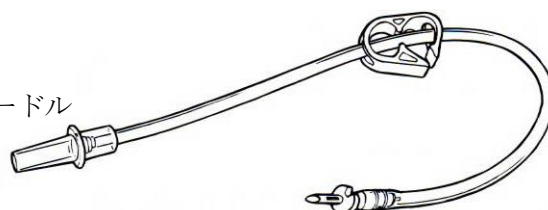
<表 3>

PVCオートインフレートRCSPカニューレ



- 大動脈カニューレ(ルートカニューレ)

販売元 : Medtronic 社(DLP)
 販売名 : DLP 人工心肺用カニューレ
 品名 : エアアスピレーティングニードル
 ゲージ : 16G



商品説明 : 上行大動脈からのエア除去用にデザインされており、2本のスロット孔が付いたフランジ付き 16G ステンレスニードルにソフトでフレキシブルなチュービングがついた商品。

- 大動脈カニューレ(コロナリーチップ 左用)

販売元 : SORIN 社
 製品名 : スタッカート 体外循環用カニューレ
 Fr サイズ : 9Fr(3mm),11Fr(3.5mm),12Fr(4mm)
 14Fr(4.5mm),15Fr(5mm)



カニューレ先端角度 : 135°

商品説明 : 先端のソフトチップは、低温においても柔らかく、組織を傷めない。
 カニューレ本体のステンレスチューブは、自由に曲げることが可能で、術者の取り扱い易いようになっている。(全長 140mm)
 回路接続側はルアーコネクタに接続可能。

- 大動脈カニューレ(コロナリーチップ 右用)

販売元 : SORIN 社
 製品名 : スタッカート 体外循環用カニューレ
 Fr サイズ : 9Fr(3mm),11Fr(3.5mm),12Fr(4mm)
 14Fr(4.5mm),15Fr(5mm)



カニューレ先端角度 : 90°

商品説明 : 上記のコロナリーチップ 左用と同じ

- 冠動脈灌流用カテーテル(コロナリーチップ バルーン)

販売元：セント・ジュード・メディカル社

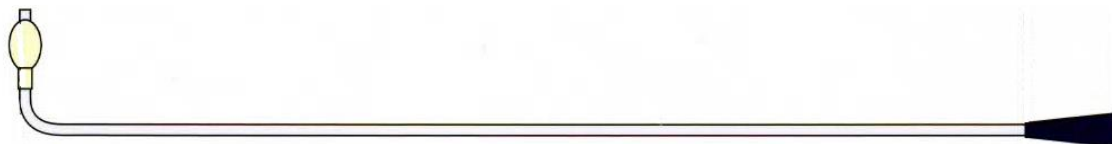
製品名：ディスポーザブル人工心肺セット

バルーン径とカニューレタイプ：4mm 右アングルタイプ(内径 1.5mm)
 4mm ストレートタイプ(内径 1.5mm)
 6mm ストレートタイプ(内径 2.0mm)
 7mm ストレートタイプ(内径 2.0mm)

ストレートタイプ



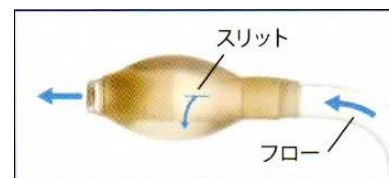
右アングルタイプ



商品説明：冠動脈口へダイレクトに灌流が可能。

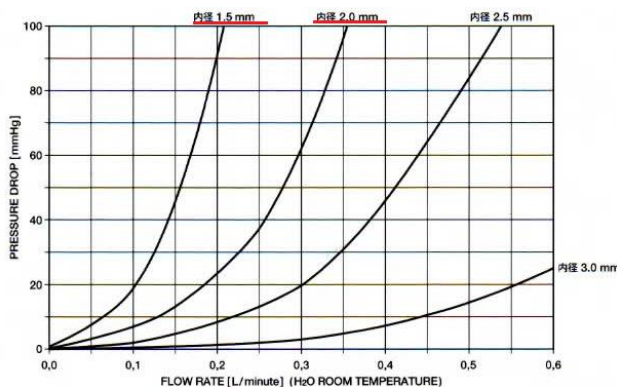
ストレートタイプと右アングルタイプが選択でき、
 右アングルタイプはカニューレの先端部が 90° 曲がった形状をしている。

バルーンはセルフインフレーションタイプであり、
 カニューレ内腔にスリットがあり、
 バルーンが自己拡張するため、
 カニューレが冠動脈口へ自動的に固定される。



先端シャフトはソフトタイプで、カニューレ末端は 1/4 コネクタである。
 流量に対する圧力損失を表 4 に示す。

<表 4>



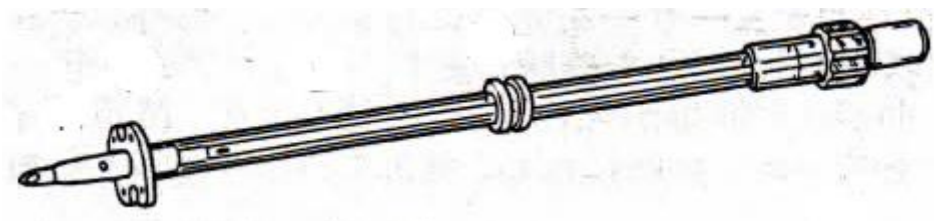
- 大動脈ルートカニューレ(小児用)

販売元：Medtronic 社(DLP)

製品名：DLP 心筋保護液注入用カニューレ

Fr サイズ：14G、16G、18G

タイプ：スタンダードチップモデル



商品説明：本品はポリ塩化ビニルを使用している。

当センターでは小児用心筋保護液注入カニューレとして用いており、大人用アンテカニューレと異なり、ベントラインがなく、一本のカニューレモデルとなっている。

心筋保護注入カニューレとしてだけでなく、ルートベントとしても使用可能である。

⑤ 心筋保護液注入に関する注意点

心筋保護液注入はその症例ごとに注意点は様々であり、症例に応じた心筋保護液の注入を考えるべきであると考え。

しかしながら本項では、基本的な症例に対する注意点として MS・MR、AS 及び AR に対する心筋保護液注入に関する注意点を記述する。

● MS・MR

僧帽弁閉鎖不全症(MR)では僧帽弁からの逆流による容量負荷、僧帽弁狭窄症(MS)では狭窄部の血流抵抗による圧負荷が左房にかかることになる。

左房への容量負荷及び圧負荷による心筋のビルドアップはそれほど顕著な心筋肥大には発展しないが、それでも通常的心筋より酸素需要は高くなっていると考えられる。よって、このような症例の場合には、通常より多くの心筋保護液を注入する必要があるといえる。

● AS

大動脈弁狭窄症(AS)では大動脈弁での血流抵抗による圧負荷が左室にかかることになる。左室は体循環の為のポンプ機能のほとんどを占める高圧系であり、MR や MS 以上の圧負荷がかかる。

これにより左室はビルドアップされ、心筋は著しく発達し、左室は著明な肥大を呈する。AS により発達した心筋での酸素需要は MS や MR のその約 1.5 倍に相当する。

通常より多くの心筋保護液を注入する必要があることに加え、大動脈を遮断し、心筋が虚血にさらされたときの心筋へのダメージは極めて短時間で起こることが予想されるため、心筋保護液注入は迅速に行われる必要性があると言える。

- AR

大動脈閉鎖不全症(AR)に関してはそのARの病態によって異なる。

ARがⅠ～Ⅱ度(時にⅢ度も含む)の場合には、順行性に心筋保護液を注入することが多々ある。

しかし、ARの為に大動脈弁は閉まらず、注入した心筋保護液は大動脈弁から漏れて左室へと灌流することとなり、大動脈基部圧は上がり冠動脈への心筋保護液の灌流は減少してしまう。(漏れの度合いはARの病態が悪いほど多いと考えられる。)

この時に注意が必要なのは左室の過伸展である。

心筋保護液が左室に灌流するため、左室は過伸展を引き起こす恐れがある。

よってARを伴う順行性心筋保護液注入の際にはベントによる過伸展防止が必要であると言える。

ただし、ベントによる過度の吸引はARを増強する原因となるため、左室が過伸展しない程度に適度な吸引を行うことが重要である。

また順行性での注入で、冠動脈への心筋保護液注入が出来ているか否かが疑わしい際には、逆行性での追加注入が望ましいと考えられる。

逆行性での注入であればARによる影響はないため、重度のAR(Ⅲ～Ⅳ度)であっても有効な心筋保護が得られる。

しかし、逆行性の注入では右心系への灌流が乏しいと言われている。

最適な心筋保護を考えるのであれば、順行性での心筋保護注入として選択的冠灌流(セレクトティブ)を行うことが望ましいと言える。

ARⅢ～Ⅳ度の場合には、初回から逆行性の注入を試みることがある。

この場合、自己の拍出がある状態での注入となる為、逆行性に注入した心筋保護液は冠動脈口から大動脈基部に至り、大動脈弁から漏れて左室に行きつく。

左室に至った心筋保護液は自己拍出により大動脈に拍出され、大動脈基部の圧は上昇する。

そうなると、逆行性で注入している心筋保護液は自己拍出の圧力で押し戻され、心筋保護液の注入は不可能となる。

よってペースメーカーを用いたラピッドペーシング下にて逆行性の心筋保護液注入を行う。

※ ラピッドペーシング下での逆行性心筋保護液注入

ラピッドペーシングとは、ペースメーカーにより Vf 様の心臓の動きを作り出すペーシング方法である。

人為的に Vf を作り出すことにより、心臓の拍出機能は無くなる。
これにより、自己拍出による逆行性心筋保護液の押し戻しを防ぎ、心筋保護液のスムーズな注入が可能となる。

⑥ 今後の目標(心筋保護)

心筋保護業務はその症例によってよりよい心筋保護の方法を考えるべきであり、その気持ちを持って、一つ一つの症例を考え、心筋保護を行っていきたい。

経験も浅く、心筋保護の注入の流れや注意点も少しずつ理解しつつあるが、未だ完全とは言えない。

自分が行った心筋保護の反省点や、心筋保護の流れを再度見返すことで、学んでいこうと考えています。

また、術者とのコミュニケーションがうまくとれていない。

術者とのコミュニケーションがとれていないと、安全でスムーズな心筋保護は行うことは不可能といえます。

術者の声に注意し、安全に心筋保護が行えるよう努めたいと思います。

2. 人工心肺業務

本項では人工心肺に関するデバイスと人工心肺に使用する薬剤、人工心肺回路のL回路の組み立て手順について記述する。

① 人工心肺に関するデバイス

- リザーバ

	リザーバ容量(ml)	脱血ポート(inch)	出口ポート(inch)
D100kids	500	3/16 or 1/4	3/16 or 1/4
メラキッズ	1200	1/4	1/4
RR-30	3000	3/8	3/8
RR-40	4000	1/2	3/8
メラ NHP エクセラン	4000	1/2	3/8
オキシア 4.0	4000	1/2	3/8

- 人工肺

	PV(ml)	最大血流量(L/min)	有効膜面積(m ²)	熱交換膜面積(m ²)
D100kids	31	0.7	0.22	0.03
オキシア IC	37	2.0	0.39	0.024
D902	125	2.3	0.6	0.02
CX-RX15	135	5.0	1.5	0.14
CX-RX25	250	7.0	2.5	0.2
クアドロックス	250	7.0	1.8	0.6
オキシア LP	155	7.0	1.2	0.14

- 遠心ポンプ

	PV(ml)	最大回転数(rpm)	最大血流量(L/min)	最大圧力(mmHg)
Gyro	40	4000	10.0	500
Mixflow	20	6000	7.0	950
TERUMO 遠心ポンプ	45	3000	8.0	800

- 動脈フィルター

	PV(ml)	フィルターサイズ(μ m)	最大血流量(L/min)	最大使用圧力(mmHg)
FT-15	15	40	2.5	300
FT-50	50	40	7.0	300

- ECUM

	PV(ml)	有効膜面積(m^2)	最大耐久圧力(mmHg)
AQUA STREAM-04	29	0.4	500
BC60 plus	65	0.7	600
BC140 plus	98	1.35	600
TERUMO ECUM	67	1.1	500

② 人工心肺で使用する薬剤

- ソル・メルコート(副腎皮質ホルモン製剤)

作用：出血・感染によるショック症状改善(免疫抑制)

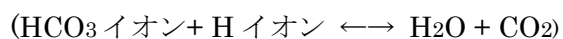
解説：人工心肺回路のチューブに触れることで免疫系が活性化することを抑制し、凝固系の活性を抑制する。



- メイロン(炭酸水素ナトリウム)

作用：アシドーシスの改善

解説：酸塩基平衡の緩衝式



からも分かるように、 HCO_3 を投与すると体内で代謝され、 $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$ は増加し、 H イオンは減少する。これによりアシドーシスが改善する。



- コントミン(クロルプロマジン)

作用：降圧作用

解説：交感神経系の調節下にある動脈系の $\alpha 1$ 受容体を競合的に遮断し、その収縮作用を抑制する。

心機能は抑制されないため、

心拍出量は不変ないし軽度上昇し、

諸臓器の血流量は減少せずむしろ増加傾向を示す。

代謝：肝臓



- ニカルピン

作用：降圧作用

解説：血管の平滑筋に働き、Ca を拮抗し、細胞外から細胞内への Ca イオンの流入を抑制することにより、血管の筋肉の興奮・収縮運動を抑制することで、血管を拡張させ血圧を低下させる。

代謝：肝臓



- ノルアドレナリン

作用：昇圧作用

解説： α 及び $\beta 1$ 受容体には作動するが、 $\beta 2$ 受容体への作動は弱い。
 α 受容体の作動により、平滑筋収縮を強く引き起こし、持続的血管収縮による昇圧作用を生じる。
また心筋の $\beta 1$ 受容体の作動により、収縮力を増強する。



- DOB(ドブタミン)

作用：強心作用

解説：心筋の $\beta 1$ 受容体に直接作用し、心収縮力を増強。
軽度ではあるが、血管の $\beta 2$ 及び $\alpha 1$ 受容体に作用し、末梢血管抵抗を軽減する。

他のカテコールアミン薬と同等の心収縮力増強作用を現す容量で、心拍数増加、催不整脈作用及び血管に対する作用はいずれも他のカテコールアミン薬より少ない。

- DOA(ドーパミン)

作用：強心作用

解説：心収縮力増強作用・腎血流増加作用・
血圧上昇作用を有する。

心臓に対する作用は主に β 受容体に対するものである。

心収縮力、心拍出量を増加し、また冠血流量も増加させるが、
心収縮力程の増加は認めない。

- ミオコール(ニトログリセリン)

作用：抗狭心症作用

解説：末梢血管に対して、細小動脈の拡張と静脈容積の拡大
及び冠血管に直接作用し、これを拡大する。



- クラルート(ジルチアゼム塩酸塩)

作用：降圧作用

(当センターでは冠血管拡張による
心筋保護液灌流促進を目的とする)

解説：末梢血管・冠血管などの血管平滑筋及び房室結節において、
細胞内へのCaイオン流入を抑制することにより、
血管拡張作用及び房室結節伝導時間の延長作用を示し、
降圧作用を示す。

代謝：肝臓



- レギチーン(フェントラミンメシル酸塩)

作用：降圧作用

解説：前述したコントミンと同じく α 受容体遮断作用をもつ。
血管拡張作用による降圧作用を呈する。

代謝：肝臓



- ラシックス(フロセミド)

作用：利尿作用

解説：腎臓の尿細管のループと呼ばれる部分に作用し、
Na イオン・Cl イオンの再吸収を抑制することで
利尿を促進する。利尿による降圧作用も生じる。

代謝：肝臓及び腎臓



- 2%キシロカイン(リドカイン)

作用：抗不整脈作用・局所麻酔作用

解説：イオンチャネルの1つである Na チャネルに結合し、
Na イオンの透過を阻害して活動電位を
不活化することにより、神経伝達を遮断する。
心拍に Na チャネルが関与しているため、
不整脈改善効果を期待し、使用される。



- フラビタン(ビタミン B2 製剤)

作用：ビタミン B2 の付加・色付け

解説：ビタミン B2 は臓器の代謝に非常に重要であるので
これを付加する目的。
また本剤は黄色を呈しており、
人工心肺のプライミング液の色付けとしても重要である。
(MW 376.37)



- ビスコリン(アスコルビン酸=ビタミン C 製剤)

作用：ビタミン C の付加

解説：ビタミン C が不足すると血管がもろくなったり、
出血傾向を生じる。(=壊血病)
これを防ぐためにビタミン C を付加する必要がある。
(MW 176.13)



- 20%マンニゲン(マンニトール製剤)

作用：浸透圧性利尿作用

解説：腎臓でろ過される。

高張液として作用し、末端細環への Na イオンと水分の移動量を増加させることにより尿の生成を促進させる。したがって透析患者には効果はなく、代わりに当センターではグリセレブを使用する。

(MW 182.17)

代謝：腎臓



- ※ グリセレブ(グリセオール)

作用：利尿作用

解説：高浸透圧性脱水作用により、循環血液量が増加し、
血圧増加に伴う利尿作用を呈する。

ただし、循環血液量が増加することで心臓に負担をかける恐れがあるため注意が必要である。

(MW 92)

代謝：肝臓



- ヘスパンダー(ヒドロキシエチルデンプン)

作用：血漿代用剤

解説：体外循環における血液希釈に使用。

浸透圧が血漿に類似するため、

当センターではアルブミンの代わりに用いる。

(MW:70,000)

組成：Na イオン 105.6mEq/l

K イオン 4.0mEq/l

Ca イオン 2.7mEq/l

Cl イオン 92.3mEq/l

Lactate イオン 20.0mEq/l

上記の電解質のほかにブドウ糖とヒドロキシエチルデンプン(MW 70,000)を含む。



- ヘパリンナトリウム

作用：抗凝固作用

解説：アンチトロンビンⅢ(ATⅢ)と特異的に結合することにより、ATⅢのトロンビン、活性化型X因子などに対する阻害作用を促進し、血液凝固阻止作用を示す。

半減期は約 90 分。

そのため当センターでは 1 時間毎に 100U/kg 投与している。

代謝：肝臓



- プロタミン

作用：ヘパリン中和作用

解説：強塩基性の物質で、強酸性のヘパリン及びヘパリン様物質と結合し、安定な塩を作り、ヘパリン及びヘパリン様物質の血液凝固作用を失わせる。

当センターでは、3mg/kg 投与している。

(ヘパリン 1000U に対して 1~1.5ml 注入と規定されている。)

投与時のプロタミンショックに注意。

代謝：肝臓



- エラスポール

作用：好中球エラスターゼ阻害

解説：肺血管内皮細胞や肺胞上皮細胞を傷害し、肺血管透過性を亢進させ、急性肺障害を誘発させる原因となる好中球エラスターゼを選択的に阻害することにより、急性肺障害を改善する。

当センターでは、C-PTE や CA などの循環停止症例で用いる。



- アンスロンビンP

作用：アンチトロンビンⅢの補填

解説：トロンビンの阻害因子であり、活性化第Ⅸ、
第Ⅹ因子などの凝固因子をも阻害する作用をもった
糖蛋白の一種である。

ACTの伸びが悪い、ATⅢ活性が低い場合に使用。



- ハプトグロビン

作用：ハプトグロビンの補填

解説：Hbの腎への取り込み及び尿中への排出を防止し、
肝臓、脾臓及び骨髄への取り込みを促進し、
鉄の体外への漏出を防止する。

溶血している、溶血尿がひどい場合に使用。



- ネオシネジン(フェニレフリン塩酸塩)

作用：昇圧作用

解説：交感神経末梢刺激による末梢血管の収縮によって
昇圧作用を示す。

この血圧上昇はアドレナリンより持続する。

また、心臓刺激作用はアドレナリン様の頻脈を起こさず、
冠動脈血流を著明に増加する。



- タンデトロン(プロスタグランジン E1 製剤)

作用：血管弛緩作用

解説：血管平滑筋弛緩作用による血流量増加作用、
血小板凝集能の抑制作用を有する。

末梢閉塞性動脈疾患治療薬として知られる。



- PDEⅢ阻害剤(コアテック・ミルリノン)

作用：強心作用

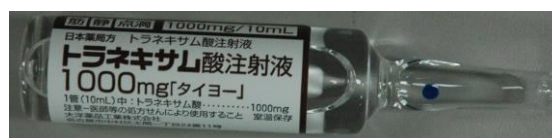
解説：cAMP に特異的な PDEⅢ(フォスフォジエステラーゼⅢ)を
選択的に阻害し、強心作用と血管拡張作用を同時に発現する。



- トランサミン

作用：止血作用

解説：リジン結合部位と強く結合し、
プラスミンやプラスミノゲンが
フィブリンに結合するのを阻止する。
また、フィブリン分解を阻害することによって止血する。



- 電解質

KCl の補正式：(体重×0.2+Priming Volume)
=1mEq/l 上げるための KCl 量(ml)



2%CaCl の補正式：(体重×0.2+Priming Volume)÷0.18
=1mol/l 上げるための CaCl 量(ml)



※ 体重にかけている 0.2 は、体重の 20%が人の
細胞外液量+間質液量に等しい為である。

補正式の中の 0.18 については、2%CaCL は 20ml アンブル。

つまり CaCl は 20ml 中に 0.4g 含まれる。

よって CaCl の MW は 111 なので mol に換算すると、

$0.4/111=0.0036\text{mol}/20\text{ml}=3.6\text{mmol}/20\text{ml}=0.18\text{mmol/ml}$ となる為である。

1ml 中に 0.18mmol/L の濃度が存在するため、1ml で 1L の溶液中の Ca を 0.18mmol 上昇させることが可能である。

8.5%カルチコール 5ml アンプルを使用した補正式

: (体重×0.2+Priming Volume)÷0.2=1mmol/l 上げるためのカルチコール量(ml)

補正式の中の 0.2 という係数は以下の計算式に基づいている。

8.5%カルチコール 5ml アンプルのカルチコール配合量は $5 \times 0.085 = 0.425\text{g}/5\text{ml}$ である。

また、カルチコール水和物の分子式は $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{CaO}_{14} \cdot \text{H}_2\text{O}$ である。

<原子量> C:12.0096、H:1.00784、Ca:40.078、O:15.99903

水和物であるための H_2O は除いて分子量を計算すると $144 + 22 + 40 + 224 = 430$ 。

物質質量÷分子量で mol が求められるので、これを計算。

$0.425 \div 430 = 0.0009883\text{mol}/5\text{ml}$ となる。

これを整理していくと・・・

$0.0009883\text{mol}/5\text{ml} = 0.9883\text{mmol}/5\text{ml} = 0.19766\text{mmol}/\text{ml}$ となる。

これはこのカルチコール水和物を 1ml 添加すると 1L の溶液のカルチコール(Ca)の mol 濃度が 0.19766mmol 上昇することを指す。

つまり、0.19766mmol を 0.2mmol と簡略化すると、上記の式にて 1mmol 上昇させるためのカルチコール量を算出することができる。

50%Tz の補正式 : (体重×0.2+Priming Volume)×10×50(g/dl)
=10mg/dl 上げるための 50%Tz 量(ml)



コンクライト Mg の補正式 : (体重×0.2+Priming Volume)
=1mEq/l 上げるためのコンクライト Mg 量(ml)

7%メイロンの補正式 : (体重×0.2+Priming Volume)÷0.84
=1mEq 上げる為の 7%メイロン量(ml)

※ 補正式の中の 0.84 については、7%メイロンは 250ml。

つまり、メイロン(NaHCO_3)は 250ml 中に 17.5g 含まれる。

メイロン(NaHCO_3)の MW は 84.01 なので mol に換算すると、

$17.5/84.01 = 0.2083\text{mol}/250\text{ml} \approx 210\text{mmol}/250\text{ml} = 0.84\text{mmol}/\text{ml}$ となる。

つまり 1ml で 0.84mmol/l の存在し、1ml で 1L の溶液を 0.84mmol 上げることが可能である。

(7%メイロン 20ml アンプルに関しても結果は同じとなる。)

③ L回路の組み立て手順

- 1) リザーバを取り出し、三連三活の注入口側を全て **OFF** し、ジョイントデバイスを装着後、リザーバーホルダーに確実にロックする。
- 2) 人工肺に CP 側枝を装着後、リザーバ下部のジョイント部に接続する。
- 3) 人工肺のリークチェックを行う。
- 4) リザーバの三連三活右側ラインを人工肺のサンプルポートに接続する。
- 5) 遠心ポンプを接続し、遠心ポンプの人工肺側をクランプする。



- 6) サクション及びベントをリザーバに接続し、液溜めを行う。
(重要なものが見えやすいよう、手前からベント・黄色サクション・青サクションの順に接続する。)
- 7) メイン回路を取り付ける。
(動脈フィルターの接続・動脈フィルターシャントラインの接続とリサーキュレーションラインの接続)



注)動脈フィルター接続後、動脈フィルターの IN・OUT の両側をクランプしておく。

8) タイバンドを付ける
(リザーバ out・人工肺 in と out・CPライン・動脈フィルターの in と out・リザーバ in
の計7ヶ所)

9) エアー抜きを行う。

遠心ポンプ内部のエアー抜き

↓

遠心ポンプ in 側の側枝のエアー抜き

↓

遠心ポンプの out 側クランプを外し、回転数を上げていく

注)このとき、リザーバレベルに注意。

↓

人工肺と CP ラインのエアー抜き

↓

動脈フィルター側枝・動脈フィルターのエアー抜き

↓

最後にエアーの残存がないのを確認し、シャントラインをクランプ

(動脈フィルターのシャントライン・リサーキュレーションラインの計4ヶ所)



10) 圧トランスデューサーを付けて、エアー抜きをした後、0点校正。

11) 流量計を装着し、リザーバ in と三連三活を閉塞し、
流量の0点校正と流量を上げて圧上昇によるオートクランパーの作動と連動する
ポンプの停止を確認する。

12) レベルセンサーの装着。

レベルセンサーを外してオートクランパーの作動確認。

13) 温度プローブの接続と温度表示の確認。

注)動脈と静脈の温度プローブを間違えないよう確認。

- 14) ガスライン・CDI の接続。
- 15) 初期投与薬剤の投与。
- 16) チェックリストでの最終チェック。

※ 回路やデバイスを開封したときには必ず、最初に全てのコネクタ部の緩みチェックを行うこと。

また清潔操作には十分に注意を払うことが重要である。

④ 今後の目標(人工心肺)

今回報告書にも書かせていただきましたが、人工心肺を行うにあたり、人工心肺で使う薬剤及びデバイスは知っているべき事項であるので、今回書かせていただいた以外のデバイスについても勉強し、知識をもっておくようにしたいと考えています。

また適正灌流量やイニシャルドロップの要因などの基礎項目の勉強はもちろんであるが、今後も症例に入った時にはポンプの手技に目を向け、人工心肺の手技や流れ、トラブルの対応も含めて学んでいきたいと考えています。

参考文献：心筋保護法-基礎と臨床-

医歯薬出版 臨床検査学講座 第二版 生理機能検査学

医学書院出版 治療薬マニュアル 2010

医療品医療機器情報提供ホームページ <http://www.info.pmda.go.jp/>