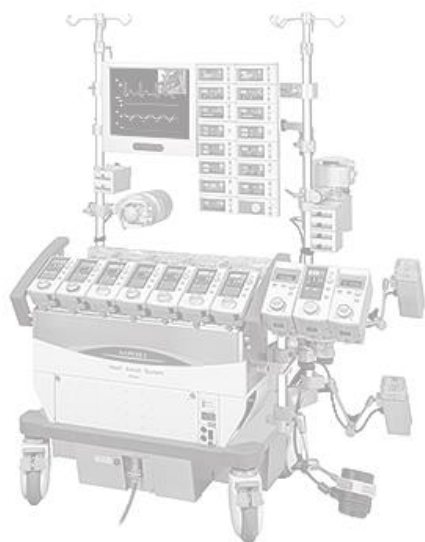
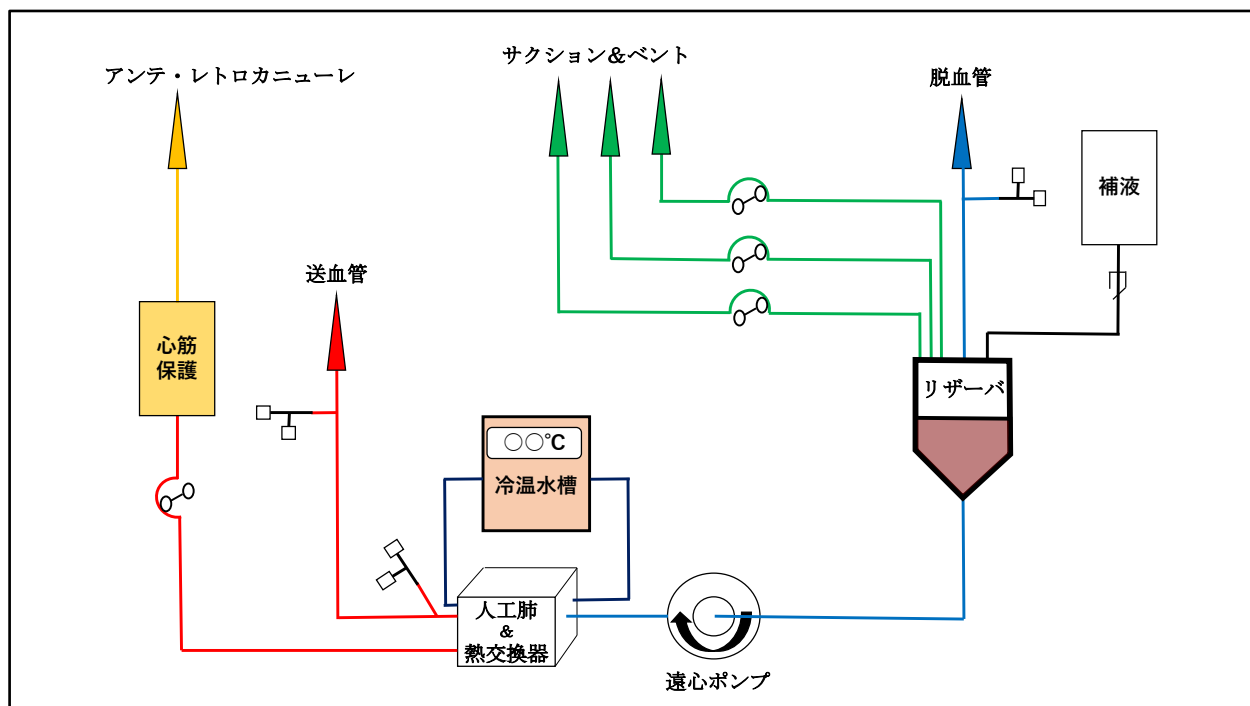
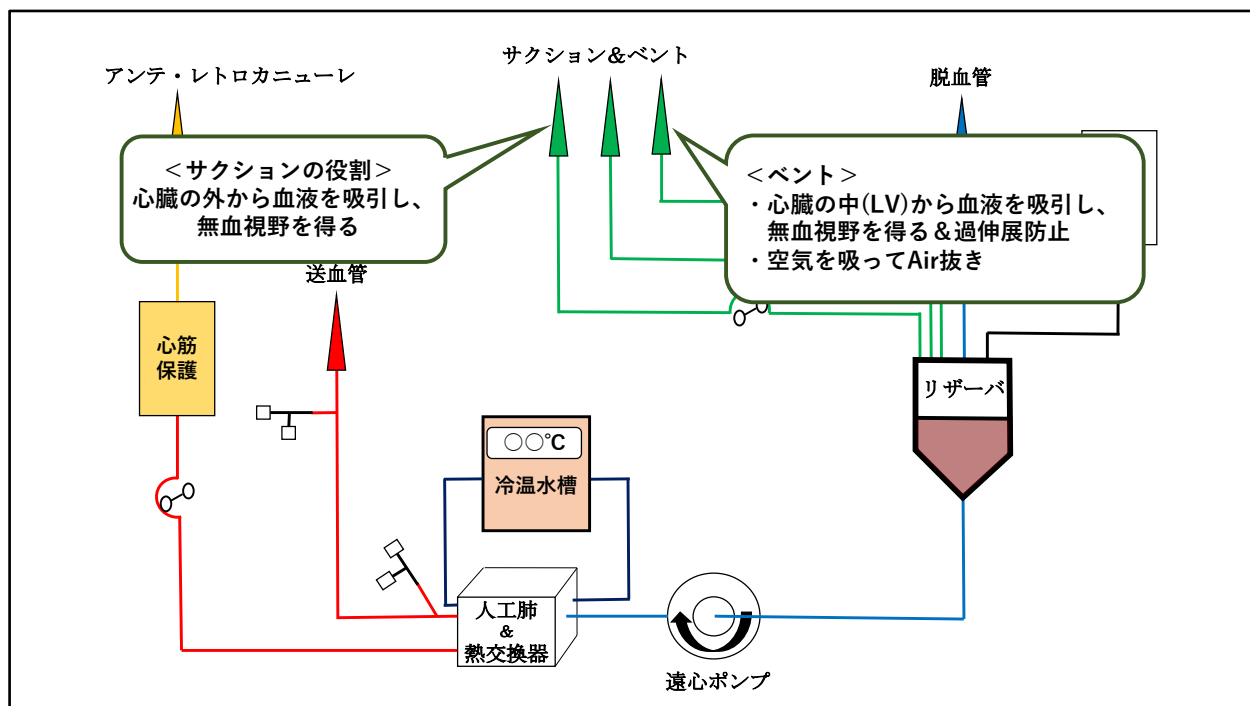


人工心肺 講座 その2





これは人工心肺の簡易な構成図になります。ポンプの流れとしては、脱血管が右房や上下大静脈から血液を引き、リザーバーに溜めます。溜めた血液は遠心ポンプにて任意の流量で送り出すことが出来、人工肺&熱交換器で酸素化と加温や冷却を行い、送血管を通じて患者の動脈へ返されます。人工肺からは心筋保護が分岐し、特殊な液を混ぜた血液をアンテあるいはレトロカニューレから冠動脈へ注入することで心停止を得ます。



ちなみにこのサクシオンとベントは血液吸引機です。サクシオンは心臓の外、ベントは心臓の中の血液を吸うといった違いはありますが、どちらも無血視野の確保が目的です。またベントにはLVに留置するという特性から、心臓の過伸展防止や手術後半での心臓内のAir抜きの役割もあります。我々 Perfusionistはこの人工心肺を用いて心臓外科手術中、患者の循環を担っています。

人工心肺の流れ

1. ヘパリン化

2. Pump On

3. Ao Clamp

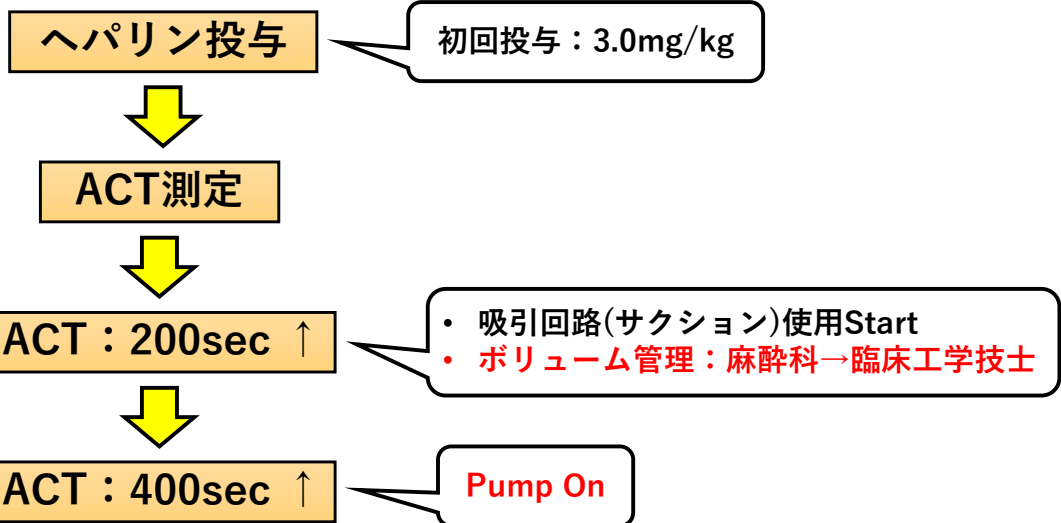
(選択的脳還流 or 低体温循環停止)

4. Ao Declamp

5. Weaning

心臓外科手術における人工心肺の流れは基本的にこのようになります。()の項目に関しては全弓部置換などの症例に限り行われますが、基本としてはこの項目を抜いた1～5の流れで進んでいきます。今回はこの流れにそって講義を進めたいと思います。ではまずはヘパリン化から参りましょう。

ヘパリン化



ACTを測定します。ACTが200秒を超えた時点で、人工心肺において血液を吸引する為のサクションの使用が可能になります。これによりポリウムは人工心肺側に流れますので、この時点でポリウム管理は麻酔科から臨床工学技士へ移行されると考えてもらって結構です。その後ACTが400秒を超えた時点で人工心肺導入可能条件を満たし、Pump Onとなるわけです。いかがでしょうか？少しPump Onまでのイメージがつかえましたでしょうか？

人工心肺の流れ

1. ヘパリン化

2. Pump On

3. Ao Clamp

(選択的脳還流 or 低体温循環停止)

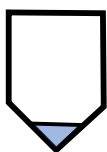
4. Ao Declamp

5. Weaning

それではPump Onの工程へ進みましょう。

Pump On

<人工心肺 OFF>

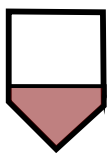


0%



100%

<Partial Bypass>



50%



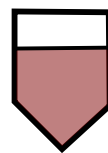
50%

★呼吸を止めるタイミングは？

A.ここです！！

Total Bypassでは肺に血流は流れない。
つまり呼吸は不要！
ただし、ONHのお作法ではAo clamp時
に呼吸止め。

<Total Bypass>



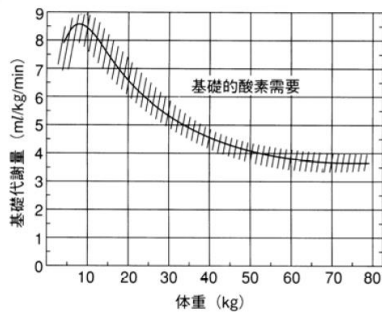
100%



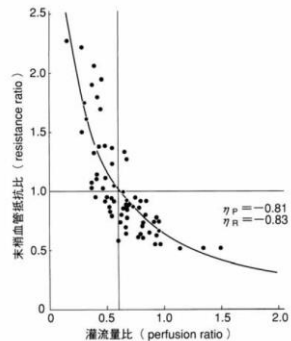
0%

ACTが400秒を超え、送血管・脱血管がカニューレションされればPump Onとなるわけです。ゆっくりとpartialbypassを経てTotal Bypassへと移行していきます。Totalになると心臓に戻る血液は全て脱血してpumpに移行するので、自己心のOutputは0%になり、代わりに人工心肺のOutputは100%となります。この時点で肺への血液還流は無くなるため、麻酔科側の呼吸は厳密には不要ということになります。お作法として、当病院ではアレストを同時に呼吸を止めることになっていますが・・・。

血液はどれだけ送ればいい？



年齢と体重あたりの基礎的酸素必要量の関係
(Clark LC Jr, 1958²⁹)



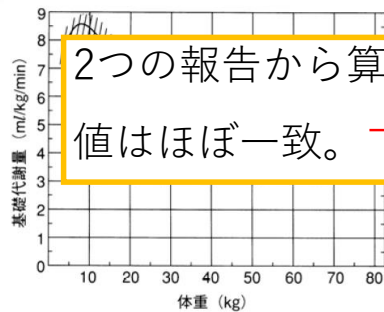
灌流量比と末梢血管抵抗比との関係
(Kawashima Y et al, 1964³⁰)

Clarkらが提唱する、**生体の酸素需要を満たすことが出来る還流量**を適正還流量とする報告。

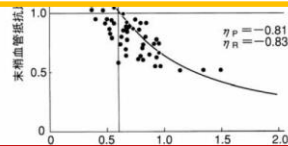
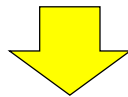
川島らが提唱する、**末梢血管抵抗を術前と同じ生理的な値に維持できる還流量**を適正還流量とする報告。

人工心肺講義その1でお話したので割愛しますが、pumpが始まると我々はこれらのエビデンスに基づき、

血液はどれだけ送ればいい？



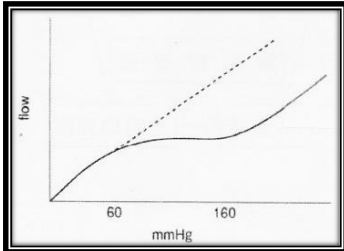
2つの報告から算出された常温における適正還流量の値はほぼ一致。 → **C.I : 2.4L/min/m²**



私のBSAは1.67m²であるので、 **2.4 × 1.67 = 4.008L/min**
つまり人工心肺で私の体循環を**維持**するには
約4.0L/minの血流量を確保する必要がある！！

アウトプットはC.I:2.4で管理します。

血圧は何mmHgがいい？



• Autoregulation

脳血流を維持すべく、生体は常温では50～150mmHgで**自動調整機能**が働き、この圧範囲では、脳血流と脳酸素代謝とのバランスは維持される。

左図：固有循環における脳のautoregulation

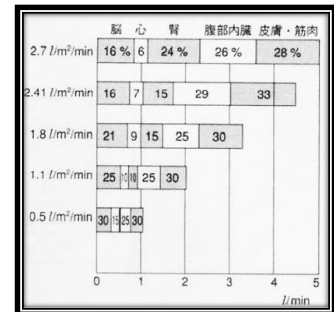
• 尿量

還流量低下に対して生体は**主要臓器を優先**する。

腎血流はC.Iが正常の約1/5になると消失する。

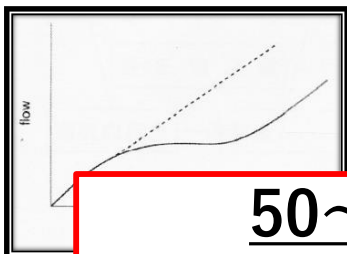
(= **尿量0**)

右図：灌流量の変化に伴う主要臓器への血流分布の変化(Galletti M, Brecher A. 1962)



こちらも人工心肺講義その1でお話したので割愛します。血圧は何mmHgが良いかというと・・・

血圧は何mmHgがいい？



• Autoregulation

脳血流を維持すべく、生体は常温では50~150mmHgで**自動調整機能**が働き、この圧範囲では、脳血流と脳酸素代謝とのバランスは維持される。

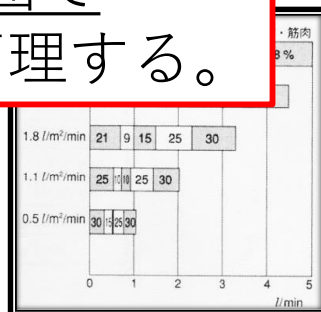
50~150mmHgの範囲で尿量を維持できる血圧で管理する。

還流量低下に対して生体は**主要臓器を優先**する。

腎血流はC.Iが**正常の約1/5**になると消失する。

(= **尿量0**)

右図：灌流量の変化に伴う主要臓器への血流分布の変化(Galletti M, Brecher A. 1962)



血圧は50~150mmHgでハルンが維持できるように管理すればよいと言えます。

Pump onから少し経過して・・・

★『Volume入れてー！！』



A.ベントを入りたい！！



RSPVに風穴が開く
(右上肺静脈)



**Volume 0 だと空気が入る
⇒ 空気塞栓**



**血液が溢れ出るくらいVolume In
⇒ 空気は入らない！！**



麻酔科Drは？

ベントはRSPV⇒LA⇒LVの経路
で留置する。
エコーで視覚的サポート！？

Pump onから少ししてドクターがVolume入れてと要望が。これは一体なぜか？そう、ベントを入りたいのです！

ベントはRSPVから挿入する際に、穴を開けることになります。

この時にVolumeが入っていないと風穴からLVに空気が入って空気塞栓の原因になります。

Volumeを入れておけば血液で満たされて空気は入らないので空気塞栓を予防できるわけです！

ここでの麻酔科Drのサポートとしては、ベントを入れにくそうにしていたら経食エコーなどで視覚的サポートができたなら嬉しいのかな？？なんて思います。

さらに・・・

★『Volume入れたままね！』



A.レトロを入りたい！！



軽くVolumeが入っていると
CSにカニューレし易い！



麻酔科Drは？

レトロはCSに留置する。
エコーでCS位置を描出し、
視覚的支持！？

さらにドクターがVolume入れたままね！と要望が。これは一体なぜか？そう、レトロカニューレを入りたいのです！
レトロはCSから挿入しますが、軽くvolumeが入っているとCSにレトロを入れやすいのです。
レトロはベントを入れたあと続けていれることが多く、よくこのような流れになります。

ここでの麻酔科Drのサポートとしては、レトロを入れにくそうにしていたら経食エコーなどでCSが確認できるような視覚的支持があると嬉しいのかな？？なんて思います。

人工心肺の流れ

1. ヘパリン化

2. Pump On

3. **Ao Clamp**

(選択的脳還流 or 低体温循環停止)

4. Ao Declamp

5. Weaning

それではいよいよAo clamp。心臓を止める 때가やってきます。

Ao clamp後 . . .

★『心肺いけてる??』



A. Ao clampは出来てる？



Aoはclamp出来ている？



Ao clampが甘いとAラインの
圧波形に脈派が残る



しっかりclamp出来ていれば、
脈派は残らない（フラット）

麻酔科Drは？

モニターでAラインを確認。
ドプラーエコーでAo clamp部
を確認。

さてAo clampしたところドクターが「心肺いけてる？」と聞いてきました。これはどういう意図なのか。これはクランプがしっかり出来ているかを聞いています。

我々の確認方法は、Aラインで脈圧がないかどうかです。人工心肺下では血圧はフラットになるはずですが。よって脈圧が有る場合はクランプが甘いということです。

麻酔科Drもモニターで確認をお願いします。エコーではドプラでクランプ部からの拍動性の漏れが見えるはずですが。

Ao clamp後 . . .

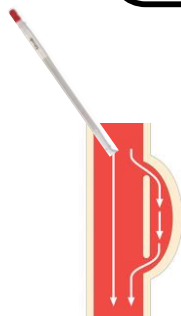
★『心肺いけてる??』



A. 解離はできてない?



送血圧は変化していない?



送血圧の著明な変化で
解離を予測できる!!

麻酔科Drは?

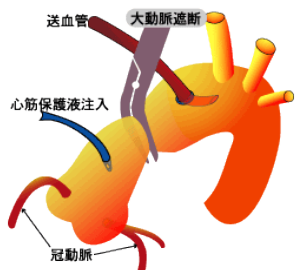
エコーでAo clamp部を確認。
解離腔やEntryの確認。



「心肺いけてる?」にはもう一つ意味があります。それは解離が出来ていないかどうかです。我々は送血圧でこれを判断します。解離が出来ると真腔が圧排されたり偽腔への送血で送血圧が上昇する傾向にあります。この送血圧の変化で解離を予測することが可能です。Ao clampのときに心臓外科医と臨工がワタワタし始めたならエコーでAo clamp部を確認してください。解離腔や解離のEntryを見つけてくれたら大喜です!!

Ao clamp→心停止(=心筋保護液注入)

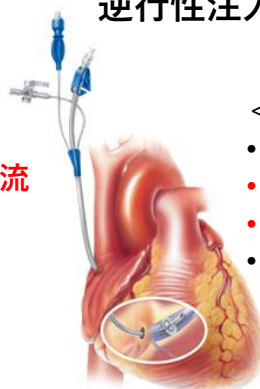
順行性注入法(Ante grade)



<特徴>

- 穿刺が容易
- **生理的な順行性還流**
→**迅速な心停止**
- AR時は注入困難

逆行性注入法(Retro grade)



<特徴>

- OPE中断不要
- **LMT高度狭窄でも注入可**
- **ARでも注入可**
- 右心系の還流が不良

ここは人工心肺講義その1でも話したので割愛しますが、Aoclamp後には心筋保護液を注入します。

Aoclampを行ってまず初めに行うことは心停止させることである。心停止時には心筋保護液の注入が行われる。

注入方法は順行性と逆行性の二種類である。順行性の特徴は生理的な還流であるため迅速で良好な心停止が得られるが大動脈弁閉鎖不全では冠動脈に行くはずの心筋保護液が左室側に逃げるため、注入が困難であること。

逆行性の特徴は、大動脈切開時や左房切開時においてもエアー抜きなどの手技を必要とせず、術者の手技を中断させることがないこと、LMT狭窄やARがあっても注入が可能なが挙げられる。

と、注入方法は先生方もご存知だと思います。

なので今回はもう少し踏み込んで、心筋保護液についてアカデミックにもう少しお話ししたいと思います。

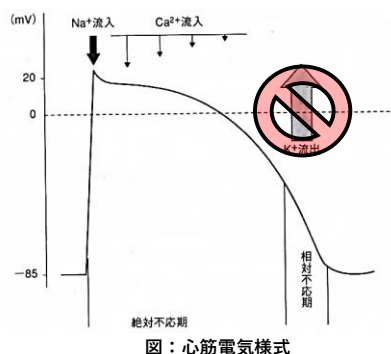
心筋保護液

当院は高K心筋保護液

右図は心室筋の1strokeの電気様式である。
心室筋では**Na-Kイオン channel**が大きく関与している。

Naイオンの急速流入により収縮（脱分極）を生じ、
Kイオンの流出により弛緩（再分極）を生じる。

高K心筋保護液により**Kイオン流出を抑制**し、
電気現象の停止（=心停止）を促す。



高K心筋保護で、

<補足>

当院の心筋保護液は高K心筋保護液である。

右図は心室筋の1ストロークにおける電気様式図であるが、図の通り心室筋ではNa-Kチャンネルが大きく関与している。

Naイオンの急速流入により心筋の収縮を生じ、Kイオンの流出により弛緩を生じる。

当院では高K心筋保護液を冠動脈に注入することにより（クリック）心室筋でのKイオン流出を抑制し、電気現象の停止つまりは心停止を促している。
もちろん低Na心筋保護液を用いてNa流入を抑制する心停止方式も存在するが、低Na心筋保護液を用いない理由は次で示す。

心筋保護液

心臓が**最も休まる**(=エネルギーを使わない)ときはどんなときか？

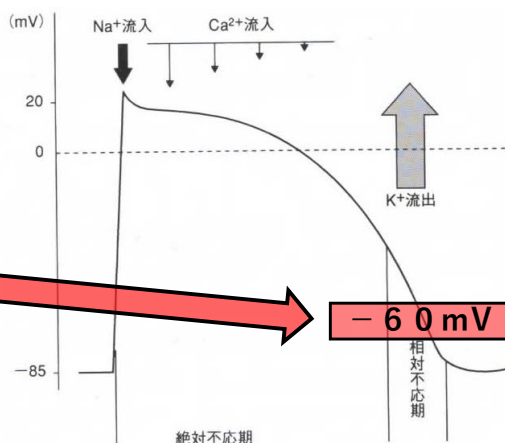


最もダラダラしている時！！

→ **最大弛緩期**



心筋電位が**-60mV**になるようにK値で調整して**最大弛緩期で心停止**させよう！！



最大弛緩期で心臓を停止させます。

<補足>

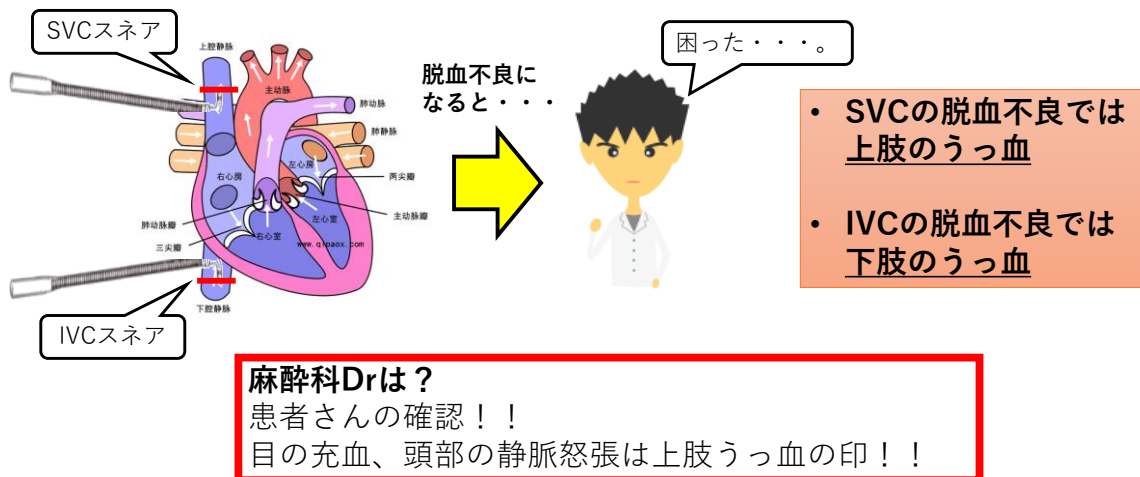
心臓のエネルギー温存を考えるなら、心臓が最も休まるときを考えるべきではなかろうか？ではそれはどんなとき？（クリック）それはもちろんダラダラしているとき。つまり最大に弛緩しているときに決まってるだろう！！じゃあそれはどんなとき？右図は心臓の1strokeの細胞膜電位を示した図であるがどこに当たるのだろうか。（クリック）研究により最大弛緩期は-60mV付近であることが知られている。（クリック）では心筋が-60mVになるようにK値を調整して最大弛緩期で心停止させたら最もエネルギーを温存できるではないか！！

ちなみにK値16mEq時の静止膜電位はというと。（クリック）ネルンストの式を用いて計算すると明らかであり、-52.66mVとなる。これは最大弛緩期に近似し、高Kによる最大弛緩期心停止が実現できている裏づけである。

ちなみにかつて存在した低Na心筋保護液や高Mg心筋保護ではいくらNa濃度を低くしても電位コントロールが困難であり、最大弛緩期心停止が得られがたいため、現在普及しておらず、現在の高K心筋保護がゴールドスタンダードとなっているのが現状である。

※16mEq以下では伝導抑制はもたらされるものの、心停止まで至らず不適切である。逆に16mEq以上であると心停止は得られるものの序々に冠血管抵抗の進行を認める。これはカリウムによる左室静止期張力によるものと考えられ、張力を生じるための心筋エネルギーが消費される可能性が示唆されると同時に冠動脈抵抗進行に伴う冠血流減少が報告されており、これにより心筋保護液の還流障害に繋がり不適切である。さらに5~35mEqまで段階的にK濃度を上昇させた結果、組織中のATP値が最高に保たれるのはK値15mEqの場合であったという研究結果も報告されている。

手術中・・・その1



術中に、SVCとIVCの脱血管部分をくくるスネアという手技をすることがあります。心臓内に血液が返るのを完全に防いだり、脱血管からエアーを吸わないようにする意図がありますが、これによる弊害もあります。この状態で脱血不良になると、血液は行き場を失い、上肢あるいは下肢のうっ血を招いてしまうのです。これは臨工もとても困ります。

麻酔科Drにはうっ血の確認として、患者さんの確認をお願いします。

上肢うっ血時には目の充血や頭部静脈の怒張などの兆候が現れます。見つけたら報告をお願いします。

下肢は麻酔科側で予測するのは困難です。臨工側でも困難なので、心臓外科医にSVCをクランプしてもらってIVCの脱血評価をするなどの対応を行う必要があります。

手術中・・・その2

★『ベント止めてー』



A.弁の逆流テスト or 心内洗浄



ベントが回っていると水が吸引され、
弁評価や心内洗浄ができない。

麻酔科Drは？
心臓外科医が視覚的に行う作業
なので、特になし！！

手術中に「ベント止めてー」と言われるときがあります。これはなぜかという
と・・・弁の逆流テストや心内洗浄をやりたいからです。
ベントが回っていると、水が吸引されて回収されてしまうので、弁の評価や
心内洗浄が出来ません。よってベントを止めてほしいわけですね。

これは心臓外科医が視覚的に行う作業なので麻酔科Drは特にやることはありません。
一緒に見ましょう！

具体例として・・・

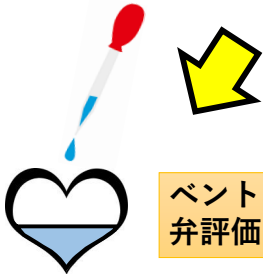
弁の逆流テストはMVPの際にLVに水をいっぱいまで溜めた状態でMVから水
が大きく漏れてこないかで判断。

心内洗浄はソノペットで石灰化を破碎した際のゴミを水と共に洗い流す。

手術中・

< MVP後の逆流テスト >

★ 『
A.弁の逆



ベントが
弁評価や心内洗浄ができない。



①LVにめいっぱい水を注入



②水の圧力でM弁は閉まる



③M弁から水が漏れて
こなければOK!!



心臓外科医が視覚的に行う作業
なので、特になし!!

具体例として・・・

弁の逆流テストはMVPの際にLVに水をいっぱいまで溜めた状態でMVから水が大きく漏れてこないかで判断。

人工心肺の流れ

1. ヘパリン化

2. Pump On

3. Ao Clamp

(選択的脳還流 or 低体温循環停止)

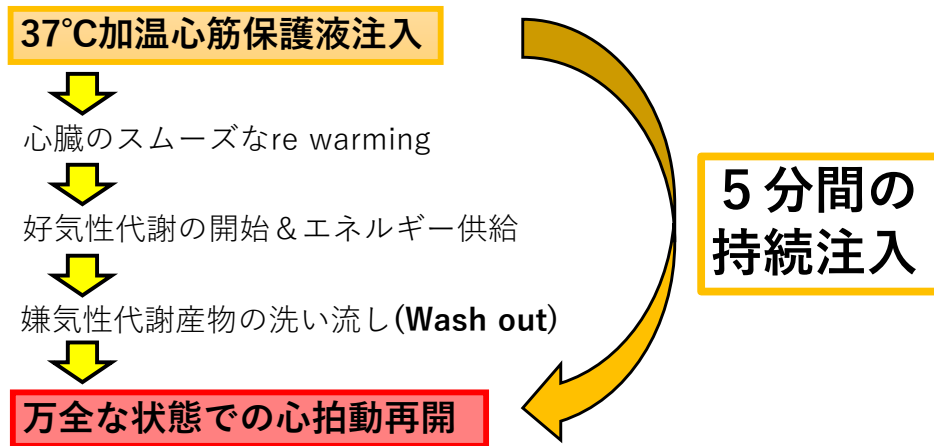
4. Ao Declamp

5. Weaning

では術式も終わり、いよいよAo declampへ移行します。

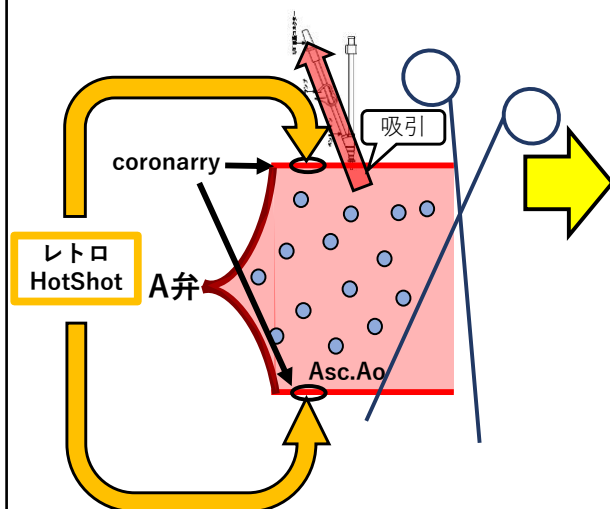
Warm induction(Hot shot)

37°Cに加温した心筋保護液を持続注入する



Declampの際に「ホットショット」と呼ばれる作業を行います。これは病院によっては行わない施設もありますが、当院では心筋保護のHot shotを行っている。この効果については様々な見解があるが、5分間に及ぶ37°Cの心筋保護液注入によりスムーズな心筋の復温を促し、復温による好気性代謝の再開・促進とこれに伴うエネルギー供給。更にはArrest中に生じた嫌気性代謝産物のWash outにより再還流傷害を抑制し、万全な状態での心拍動再開を促すというものである。

Hot Shot中 . . .



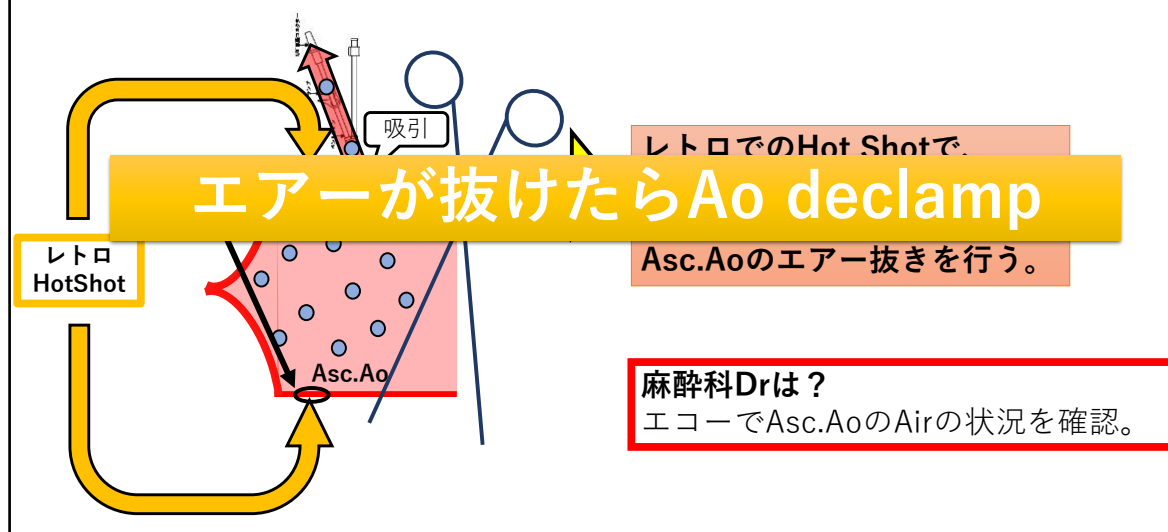
レトロでのHot Shotで、血液がAsc.Aoに流入。同時に、ルートベントでAsc.Aoのエア抜きを行う。

麻酔科Drは？

エコーでAsc.AoのAirの状況を確認。

Hot Shot中に、Asc.Ao(上行大動脈)からアンテ針を用いてエア抜きを行います。レトロでのHot Shotがコロナリーを通じてAsc.Aoに血液が返ってくるため、これをエアとともにアンテから吸いだすわけです。このとき麻酔科DrはエコーでAsc.Aoのエア状況を確認していただけると幸いです。

Hot Shot中 . . .



エアーが十分抜けたらdeclampとなります。

Ao declampから少し経過して・・・

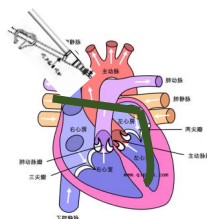
★『Volume入れてー！！』



A. Airを抜きたい！！



しっかりAir抜き



心内にVolumeを入れて、
アンテ(Root Vent)とベントで
しっかりAir抜き！！

麻酔科Drは？

エコーでエアー確認！！

Ao declampから少ししてドクターがVolume入れてと要望が。これは一体なんででしょう？そう、Airを抜きたいのです！
しっかりエアー抜きを行います。心内にボリュームを入れてルートベントとLVベントでしっかりエアー抜きを行います。
ここでの麻酔科Drのサポートとしては、経食エコーでエアー確認をお願いします。

Ao declampから少し経過して・・・

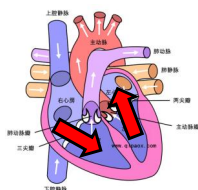
★『Volume入れてー！！』



A. 弁の確認をしたい！！



逆流評価



心内にVolumeを入れて、
弁評価！！

麻酔科Drは？
ドプラエコーで逆流評価！！

もう一つ目的があります。それは・・・そう、弁評価をしたいのです！
弁形成や弁置換後の弁評価はVolumeがないと不可能です。心内にVolumeを
入れて評価します。
ここでの麻酔科Drのサポートとしては、これまた経食エコーで逆流評価をお
願いします。

人工心肺の流れ

1. ヘパリン化

2. Pump On

3. Ao Clamp

(選択的脳還流 or 低体温循環停止)

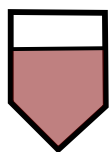
4. Ao Declamp

5. Weaning

では、そろそろweaningに移行しましょう。

Weaning

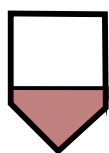
<Total Bypass>



100%



<Partial Bypass>

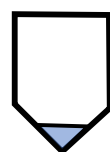


50%



50%

<人工心肺 OFF>



0%



100%

★呼吸を始めるタイミングは？

A.ここです！！

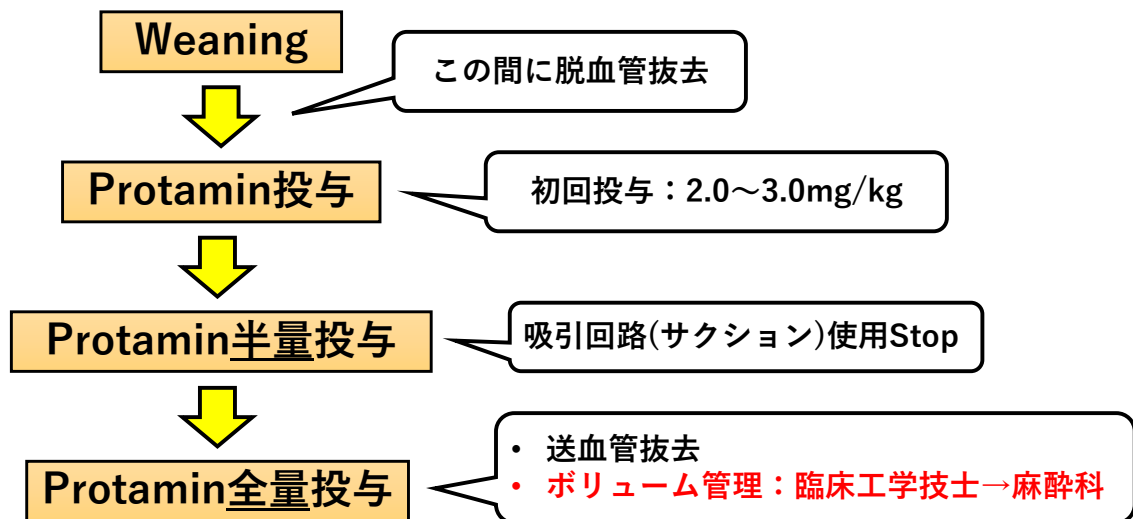
Partial Bypassでは肺に血流が流れ始める。
ただし、当院のお作法では
Ao declamp時に呼吸再開。

Weaningはpump on時の逆の工程である。

Total Bypassから少しずつ心臓にVolumeを返していき、心負荷をかけていく。
Partial Bypassを経て完全にVolumeを心臓に返し、人工心肺の流量が0
になった時点でpump offとなる。

ちなみに当院ではアレスト解除後に呼吸開始というお作法がありますが、こ
のpartial bypassとなった時点で肺の血液還流が再開しますので、厳密に言え
ばこのタイミングが呼吸開始のタイミングだと言えます。

Weaning後の流れ



Weaning後の流れは図の通りです。

Weaningが終了すればすぐにプロタミンの投与が開始されます。その間に脱血管が抜去されますね。プロタミンが半量入った時点でサクシヨンの使用がストップします。これはこの時点で回路が凝固するのを防ぐ為ですね。その後プロタミンが全量投与され、人工心肺のVolumeを必要分送り切ったら送血管抜去となりボリューム管理は臨床工学技士から麻酔科へ移行されます。ハルンもお返ししますので、この後の管理はお願い致します。



Thank you for your attention!!

以上、人工心肺講座でした。長時間御清聴ありがとうございます御座いました。