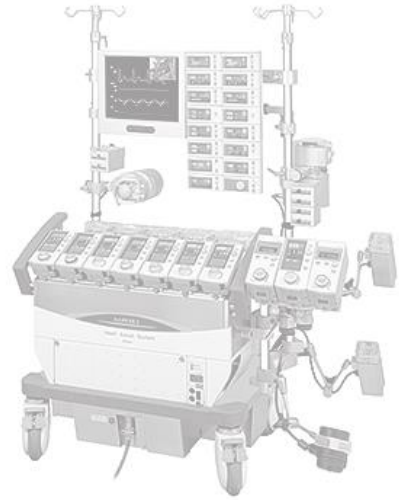
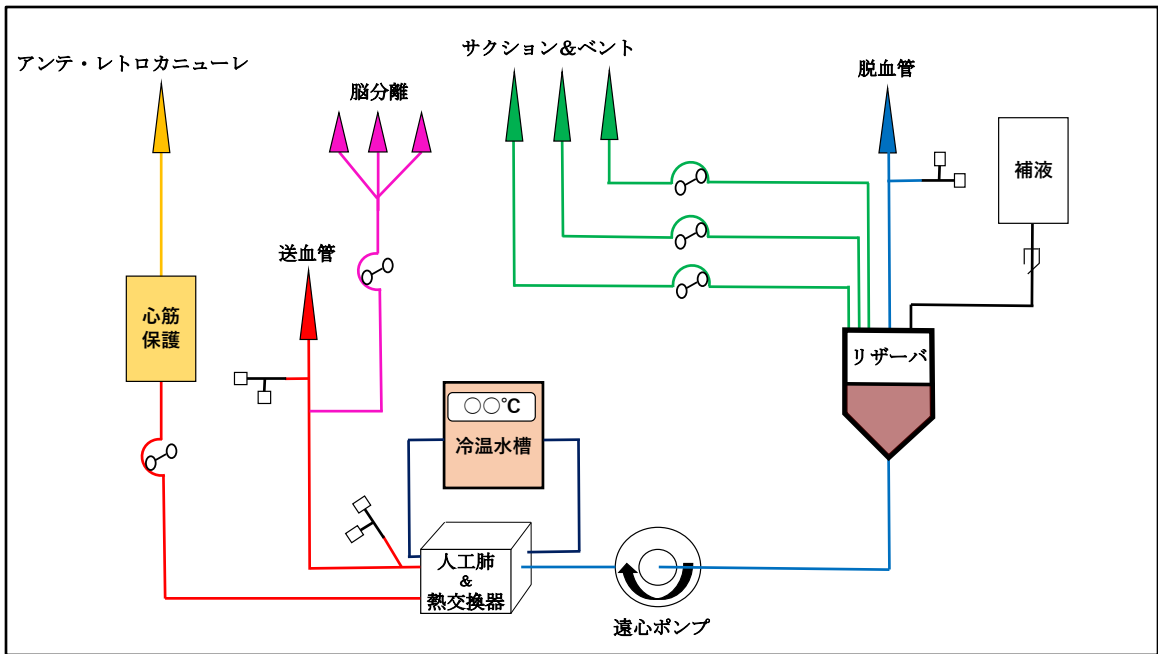
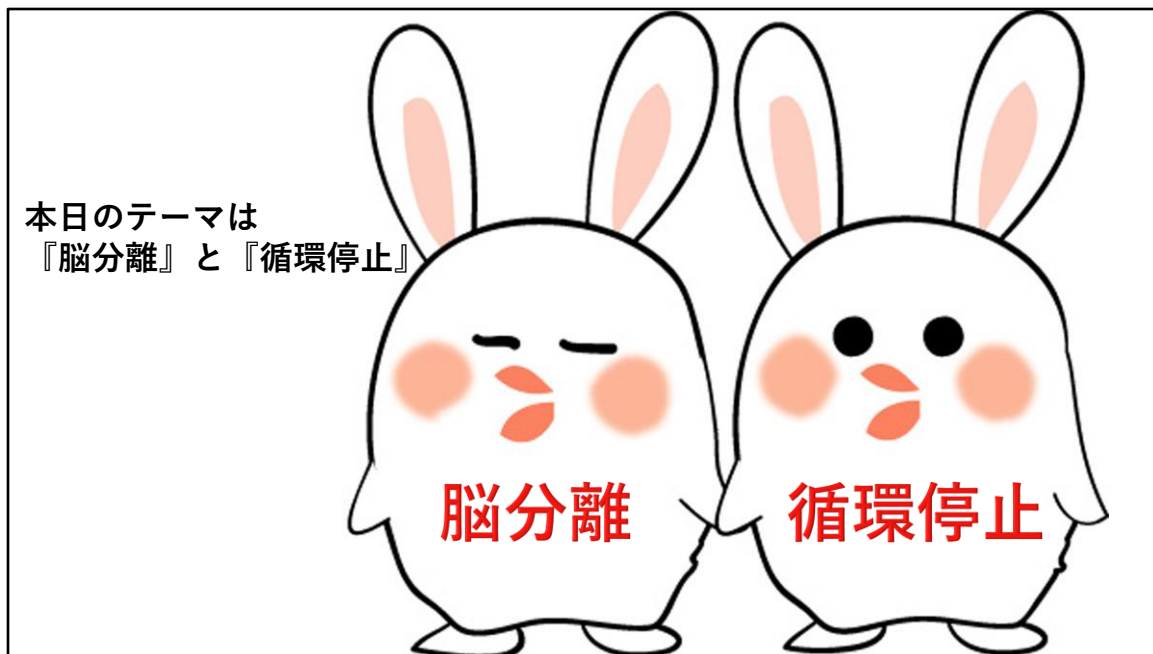


人工心肺 講座 その3





前回のセッションでもお話したように、人工心肺回路はこのような模式図で示すことができます。しかし、ある条件下で追加される回路が存在します。それが脳分離回路です。



脳分離をお話する上で、循環停止は避けられません。
よって本日のテーマは脳分離と循環停止です。

心臓手術の流れ

Ao Clamp

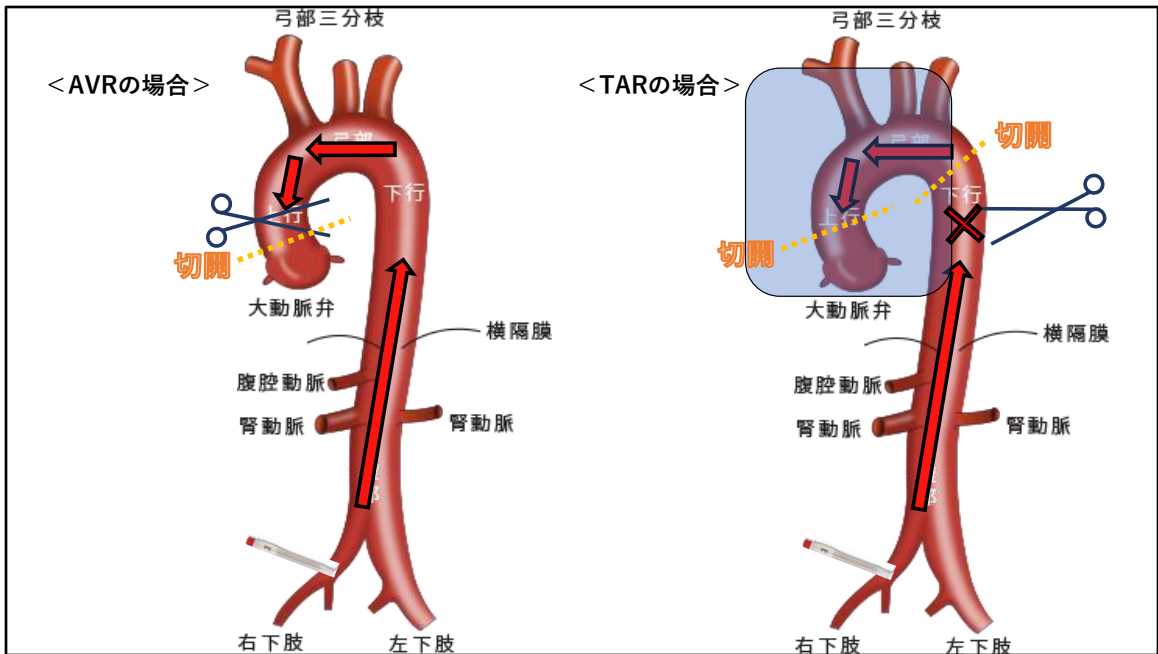


心停止



術式開始

手術の流れは簡単に言えば、大動脈を遮断して、心臓を止めて、術式を行う。
という感じでしょう。
このAoのclamp位置が術式によって異なるわけですが、ここが重要です。

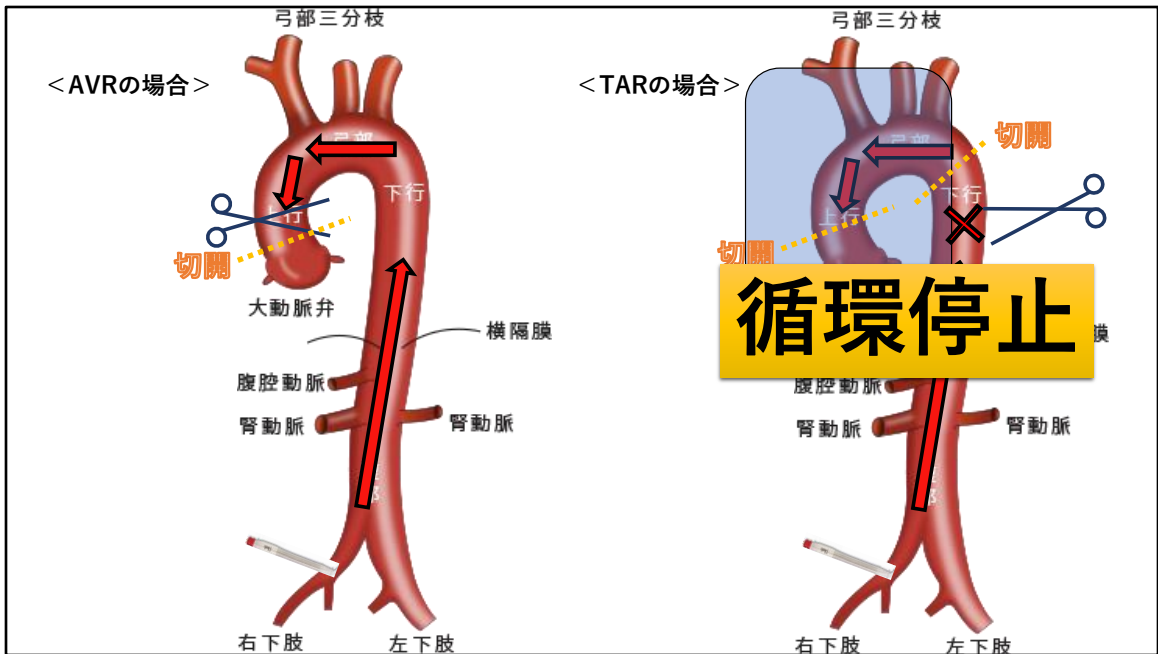


例えばAVRの場合。切開線は大動脈弁直上になります。Ao clampは術野への血流を遮断するために切開より上流で行う必要があるため、クランプ位置は切開線の直上ですね。この様にAo clampした状態で術式を行います。

ではTARの場合を見てみましょう。弓部の置換なので切開線は二か所ですね。よってAo clampは切開線の上流で行うので赤Xポイントがクランプ部位ですね。

しかし、正中切開における心臓外科医の作業範囲はこの青枠の範囲。クランプ部位までクランパーが届きません。よってクランプは不可能となります。Ao clampができない状態では大動脈切断面から血液がドバドバ出てしまって手術どころではありません。

ではどうすれば。血流を止めたいなら心臓も人工心肺も止めてやればいいのです。



これを循環停止と言います。

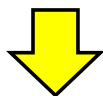
循環停止

1. 超低体温循環停止
(**D**eep **H**ypothermic **C**irculatory **A**rrest)
2. 低体温循環停止 + SCP(**S**elective **C**erebral **P**erfusion)
3. 超低体温循環停止 + CVP up
4. 低体温循環停止 + RCP(**R**etrograde **C**erebral **P**erfusion)

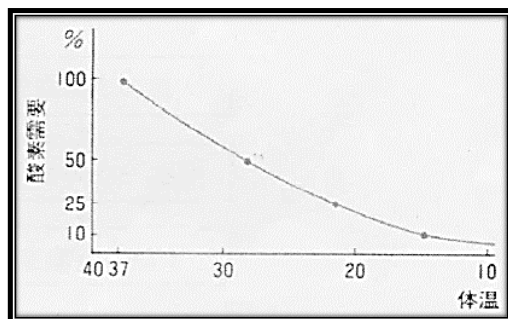
循環停止にはおおまかに三つの種類があります。どれをとっても低体温という言葉が入りますが、そもそも循環停止にはなぜ低体温が必要なのか？

低体温

各臓器の代謝機能抑制



- 酸素消費量を減少
(**1°C低下→7%down**)
- 代謝性アシドーシスの防止



それは主要臓器の代謝を下げるためです。
体温の低下は臓器の酸素消費を一°Cにつき7%減少させます。

低体温

各臓器の代謝機能抑制

- **組織代謝を低下させ、体外循環における安全域を拡大する。**
(主に脳と脊髄の保護が目的)

つまり体外循環中の安全域を拡大が目的なのです。

※酸素消費量が25~30%カットできたなら適正還流量も同じだけカットできるのかと言われるとそうではない。低体温時には酸素解離曲線が左方移動する。つまり酸素親和性が高まり、Hbが酸素を離さなくなるためかなりの低酸素状態にならねば酸素は消費されずそのまま静脈に返ってくる。(組織では物理的に溶解している酸素から利用される) よって酸素消費量は減少するが、還流量は酸素消費量の減少ほどに減少させることはできない。

※低体温のデメリットとしては血液粘度の増大(1°C低下→2.5~5%の粘度増加)。交感神経刺激によるカテコールアミン分泌に伴う末梢血管抵抗増加。血小板凝集能低下による血液凝固能低下。の3つが挙げられる。

循環停止

1. 超低体温循環停止
(**D**eep **H**ypothermic **C**irculatory **A**rrest)
2. 低体温循環停止 + SCP(**S**elective **C**erebral **P**erfusion)
3. 超低体温循環停止 + CVP up
4. 低体温循環停止 + RCP(**R**etrograde **C**erebral **P**erfusion)

それでは順にそれぞれの循環停止について説明していきましょう。

1. 超低体温循環停止

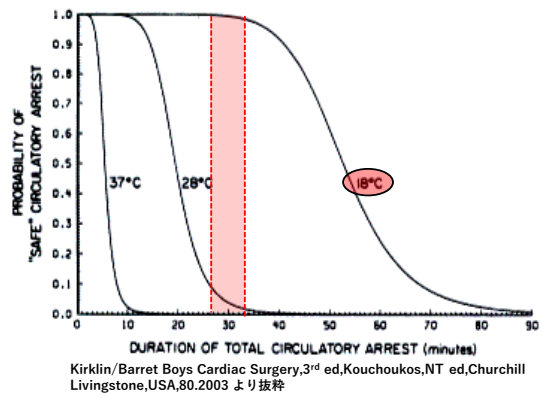
⇒超低体温下で、身体の血液循環を完全停止

<メリット>

カニューレション操作を必要とせず、血管壁損傷の危険が少ない。

<デメリット>

- 切開創からの空気混入の危険性あり
- 20°Cにおける脳虚血許容時間は**最大30分程**(文献によっては15分とも・・・)



まず一つ目の超低体温循環停止は、血液循環を完全に停止させる手法です。メリットはただ心臓も人工心肺も止めるだけなので、特別なカニューレション操作も無いため、血管壁の損傷もなく簡易であることです。デメリットは、切開創が大気開放となるため、空気混入の危険性があることと、安全限界時間が最大30分と短いことです。安全限界時間は右図でもわかるとおり、18°Cで30分前後であるため、20°Cだとこれ以下であると推察できます。文献によっては15分が限界との指摘もあり、時間制限は非常にシビアです。

2. 低体温循環停止 + SCP

⇒低体温下で、脳への選択的送血

<メリット>

低体温を併用した**生理的脳還流**

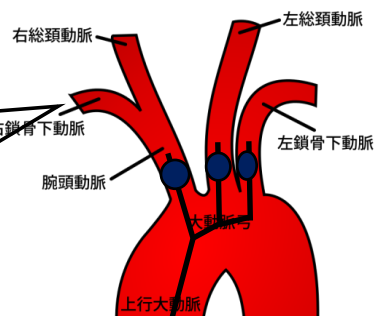
時間制限は**なし**

→ただし、脊髄虚血も考慮すると**90分**までとする文献も。。。

<デメリット>

脳分離カニューレーション操作による
粥腫の脳への飛散と空気の混入・飛散

RA圧ラインに
ローラーポンプ
によるパルス



咽頭温(°C)	25-28	20-23
左右RA圧(mmHg)	50-70	30-50
SCP流量(L/min)	1.0-1.2	0.5-0.8

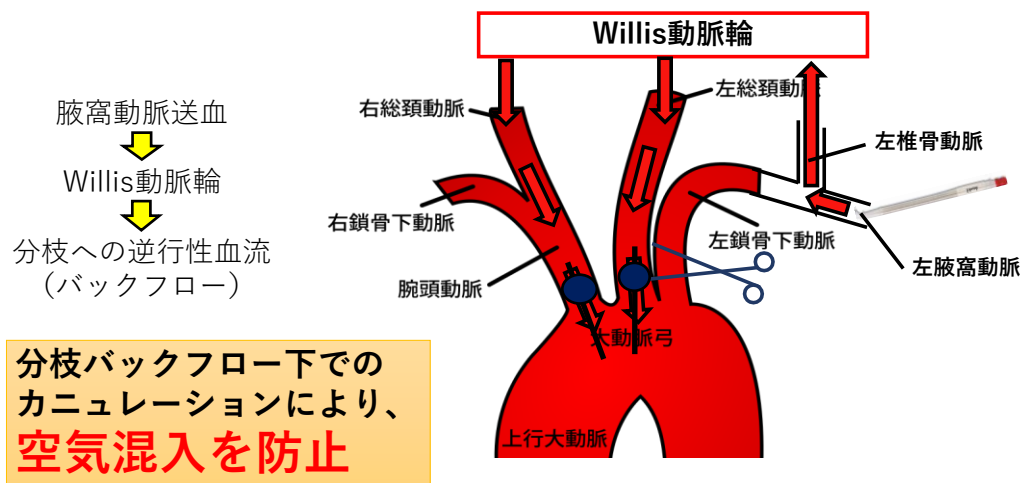
二つ目の低体温循環停止 + SCPは23°C程度の低体温下での循環停止で、脳への選択的送血を追加したものです。

図のようにバルーン付きのカニューレを用いて弓部3分枝それぞれに送血します。この送血にはローラーポンプを用いるため、トウコツ動脈圧ラインでローラーポンプによるパルス波形が見えます。

この手法のメリットは、生理的脳還流を維持できることから時間制限がなくなることです。ただし、文献によっては脊髄虚血の関係から90分とするものもありますが、大きく時間制限から開放されます。

デメリットは、3分枝へのカニューレーション操作により、3分枝に付着した粥腫を剥がしてしまい、送血にて脳に飛散させてしまう危険性があること。またカニューレーション時の空気混入とその飛散です。

腋窩動脈送血による空気混入防止



空気混入に関してはエキカ動脈送血を行うことで回避が可能です。
図のようにエキカ動脈の送血を行っておき、willis動脈輪を経て分枝からの逆行性血流（いわゆるバックフロー）を生じさせ、このバックフロー下で腕頭動脈と左総頸動脈にカニューレーションを行うことで、空気混入やプラークの押し込みを防止することが可能です。
（余談ですが、このクランプによって脳への送血が一分枝分、速やかに開始できることも利点の一つです。）

3. 超低体温循環停止 + CVP up

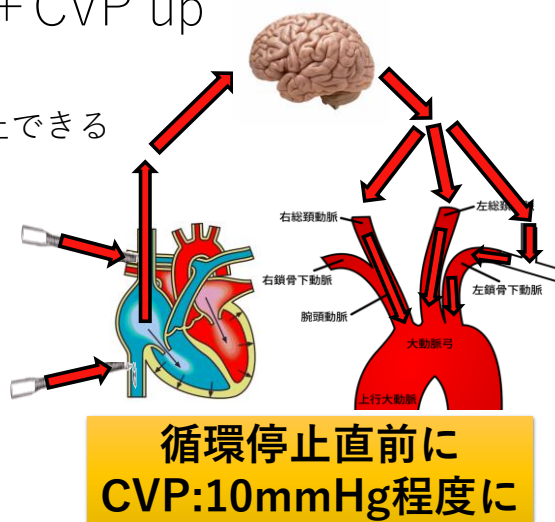
<メリット>

空気混入やデブリ混入を少しでも防止できる

<デメリット>

Ao切開から数分しかBack Flowを得られない。

Ao切開時に出血するため視野が悪くなる。



三つ目の超低体温循環停止+CVPupでは完全な循環停止であり、脳を含む上下肢全ての循環が一時的に停止します。

ただし、循環停止直前にボリュームを心臓に戻すことでCVPを10mmHg程度まで上昇させた状態（つまりは心うっ血状態）で循環停止とし、Aoを離断するという方法です。

これにより、Ao離断時に右房のCVPは図のように脳⇒大動脈弓三分枝を経て離断Aoの方向へ逃げることとなり、結果大動脈弓三分枝からの逆血が得られることとなります。

よって、メリットは大動脈弓三分枝への空気混入やデブリ混入を最小限にできる点であります。

ただし、Ao離断から数分しかバックフローは得られないことがデメリットといえるでしょう。CVPが完全に下がればそれ以上のバックフローは得られないからです。また、Ao離断後はCVPが下がりきるまで大動脈弓三分枝から血液が返り続けるため、視野が悪くなることもデメリットとして挙げられるでしょう。

この手法はあくまでも、脳分離をしない状況下でいかに大動脈弓三分枝に空気やデブリの混入を抑えられるかに焦点をおいた手法であることを念頭におきましょう。

4. 低体温循環停止 + RCP

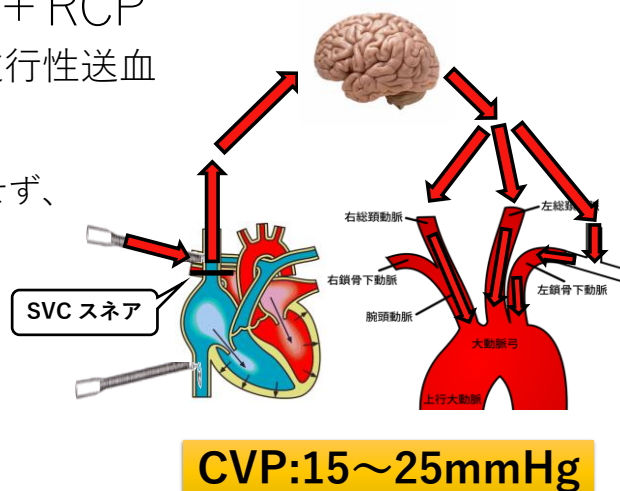
⇒ 低体温下で、脳への逆行性送血

<メリット>

カニュレーション操作を必要とせず、
血管壁損傷の危険が少ない。

<デメリット>

静脈系からの逆行性還流のため、
許容時間は**30～40分程度**



4つ目の低体温循環停止+RCPは23°Cでの低体温下での循環停止に脳への逆行性還流を追加したものです。

メリットは追加のカニュレーションが不要のため、血管壁損傷の危険性が少ないこと。

デメリットは静脈系からの逆行性還流のため、時間制限が30-40分程度と短いことです。

何を注意すればいいの？



循環停止と脳還流については理解できましたね？
ではこれらの管理の間、何を注意すればいいのか。

循環停止・脳分離の注意点

低体温・・・脳保護の観点から、氷による頭の冷却と咽頭温管理

空気混入防止・・・Head Down Position

ivos・・・SCP時の脳還流評価

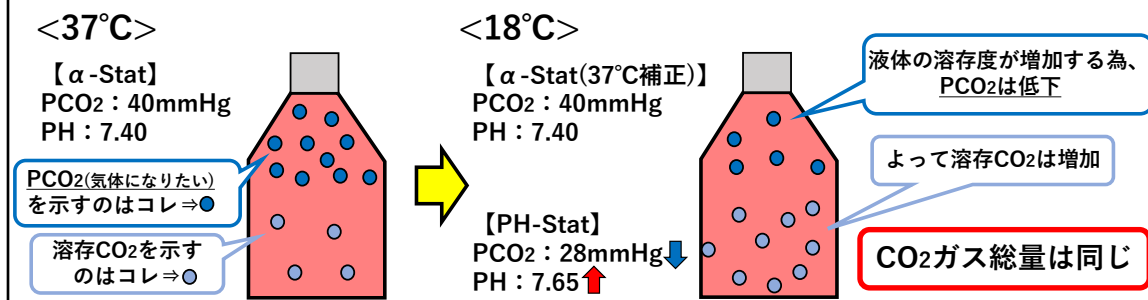
RA圧・・・SCP時の血圧とPulse確認による脳還流評価

PCO₂管理・・・PH-Statによる管理

注意して見て欲しい項目をざっくりと挙げてみました。
低体温では、脳保護の観点から氷による冷却と咽頭温管理
空気混入防止として、ヘッドダウンポジション
IvosはSCP管理の一環として、その推移のモニタリング
RA圧もSCP管理の一環として、血圧とパルス確認による脳還流評価
最後にPCO₂管理。皆さんPH-STATはご存知ですか？

α-Stat と PH-StatによるCO₂値の差

- **α-Stat** : 常温(37°C) とし、検査値を表示する方式。
- **PH-Stat** : 実測温に合わせて補正した検査値を表示する方式。



αスタットとPHスタットの違いを説明しましょう。αスタットは常温として検査値を表示する方式。対してPHスタットは実測温に合わせて補正をした上で検査値を表示する方式である。

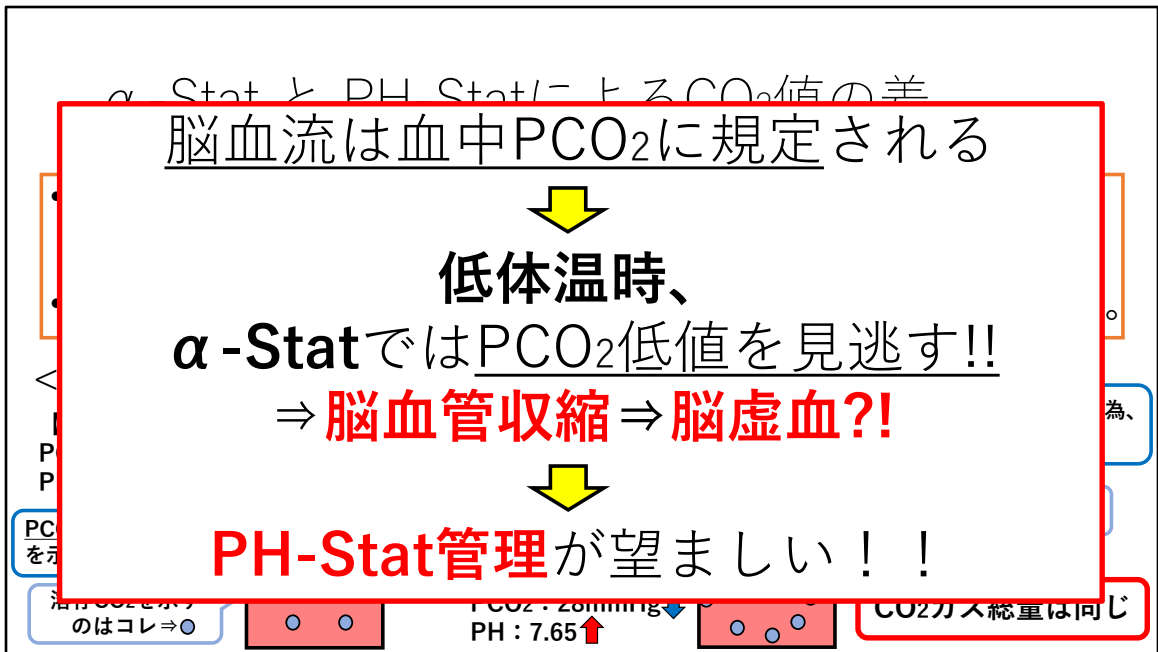
言葉では分かりにくいので例を挙げて説明しましょう。密閉された容器の中の血液、血管と同じですね。これの通常体温(37°C)でαスタットでの血ガスではこのような結果でした。PCO₂とはガス分圧なので気体になりたがっているCO₂を言います。PCO₂に関与しないCO₂は溶存CO₂ですね。この二つを今回は色分けして表示します。

ではこの血液を18°Cまで冷やして検査をすることにします。αスタットは37°Cとして検査値を表示するので当然さっきと結果は変わりませんね。

ではPHスタットで見てください。PCO₂は低下し、PHは上昇しました。これは何故なのか。絵で見てください。絵で見るとわかるように、溶存CO₂が増加していますね。これは液体の性質上、温度が低下するとガスの溶解度が増加するためであり、液体中のCO₂総量は同じでも、溶存CO₂は増加するため、PCO₂が低下してしまう。これに伴いPHも増加する。というわけなのです。

これと逆のことでイメージすると、冷えたコカコーラを暖めてフタを空けると凄まじい勢いでガスが漏れ出ることが想像できます。これは冷えているコーラが温まることでガスの溶解度が減少し、気体になりたいCO₂が増える。

つまりPCO₂が増加することから起こる現象であります。どうですか？イメージできましたか？
つまり何が言いたいかというと

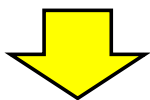


脳血流は血中のPCO₂に規定されます。PCO₂が高いと脳血管は拡張し、逆に低いと脳血管が収縮します。低体温時にαスタット管理を行うとPCO₂低値を見逃してしまい、これにより脳血管の収縮を惹起し、脳血流を落とした結果、脳虚血に陥る危険性があります。よって低体温時のガス管理はPHスタットで行うのが望ましいということです。

最後に学術的な話を少し・・・

一見、無敵に思える低体温管理ですが、デメリットも当然ある！

超低体温(20°C)
vs
中等度低体温(30°C以上)



血小板数は超低体温群で有意に低下

超低体温循環停止手術における血小板機能低下

重田 治 平松 祐司 輪屋 智昭* 榊原 謙

超低体温循環停止手術では、中等度低体温手術に比べて術中の出血量が多く、血小板をはじめとする血液凝固剤の使用量も多い傾向がある。そこで低体温そのものが血小板機能を低下させる一因になっていると仮定し、超低体温手術と中等度低体温手術における血小板機能を比較した。対象は直腸温 20°C で循環停止、順行性脳分断体外循環を行った大血管手術 16 例（低温群）と、ほぼ同時期に直腸温 30°C 以上で 3 時間以上体外循環を行った心臓手術 20 例（コントロール群）とした。体外循環時間ごとに血小板数、 α 顆粒の放出、マイクロパーティクルの形成そして血小板の凝集を比較した。ヘマトクリット値で補正した血小板数は、体外循環 2 時間目以降、低温群で有意に低下した ($3.7 \times 10^9 / \mu\text{l}$ vs. $11.4 \times 10^9 / \mu\text{l}$, $p < 0.0001$)。 α 顆粒の放出を示す GMP-140 (P-セレクチン) 陽性血小板の割合は、体外循環 1 時間以降有意に増加した (11.8% vs. 8.3%, $p = 0.0091$)。マイクロパーティクルの比率は体外循環 2 時間以降低温群で増加し (24.8% vs. 10.5%, $p < 0.0001$)。血小板凝集塊の割合も有意に増加した (3.4% vs. 1.4%, $p = 0.0058$)。血液温が一過性に 15°C 以下になった低温群では、血小板数の減少とともにその活性化が起こり、復温後も回復しなかった。超低体温循環停止を行う手術では、冷却に時間がかかっても最低送血温を 15°C 以上に保つことが大切である。日心外会誌 33 巻 3 号：147-151 (2004)

最後に学術的な話を少し・・・

この論文の問題点は循環停止症例とそうでない症例の比較検討の為、重症度とOPE時間を揃えていないこと！！

しかし、、、

中

- 超低体温管理のIn vitroにおいて血小板凝集塊の割合が増えたこと
- 加温による再解離後、血小板機能低下が示唆されること

この2点は非常に興味深い！

血小板数は超低体温群で有意に低下

8.3%, $p=0.0091$). マイクロパーティクルの比率は体外循環2時間以降低温群で増加し (24.8% vs. 10.5%, $p<0.0001$), 血小板凝集塊の割合も有意に増加した (3.4% vs. 1.4%, $p=0.0058$). 血液温が一過性に15°C以下になった低温群では、血小板数の減少とともにその活性化が起こり、復温後も回復しなかった。超低体温循環停止を行う手術では、冷却に時間がかかっても最低体温を15°C以上に保つことが大切である。日心外会誌 33 巻 3 号: 147-151 (2004)

ある病院でも同様の検討を施行

2005.1~2006.11
待機手術のTAR(n=53)

中等度低体温群(M群)25-28°C
n=28

超低体温群(D群)20-23°C
n=25

	M群	D群	p value
年齢(歳)	71.9 ± 7.8	71.9 ± 6.1	0.996
体重(Kg)	62.4 ± 9.5	62.9 ± 9.1	0.838
男性	22	20	0.898

ある病院でも同様の検討を行っています。先の論文と違うのは、全てを重症度の低い待機手術のTAR症例に絞っていることです。
年齢・体重・性別に有意差はありません

結果1

	M群	D群	p value
下半身循環停止	57.0 ± 9.3	76.0 ± 29.0	p<0.01
心停止	111.6 ± 19.5	133.3 ± 33.2	p<0.01
SCP	135.5 ± 20.3	155.2 ± 33.1	p<0.05
体外循環	200.5 ± 30.6	226.5 ± 35.4	p<0.01
手術	416.8 ± 79.3	502.8 ± 124.0	p<0.01

OPE関連時間に関しては、超低体温群で有意に長い結果となりました。これは冷却と復温の所要時間や低体温による止血困難も関係していると思われます。

結果 2

	M群	D群	p value
出血量(ml)	1702.4 ± 820.5	2293.6 ± 1342.1	0.064
輸血量(U)			
濃厚赤血球	12.1 ± 8.9	15.2 ± 9.3	0.214
血漿	13.5 ± 9.9	18.2 ± 16.3	0.211
血小板	7.9 ± 14.5	24.8 ± 20.9	p < 0.01
ICU帰室後温度(°C)	35.9 ± 0.5	35.5 ± 1.1	0.083
シバリング(%)	14.3	20.0	0.580
ICU帰室後乳酸値(mmol/l)	3.0 ± 1.3	2.9 ± 1.7	0.904

術中～術後にかけては、血小板輸血が超低体温群で有意に多かった結果となりました。

結果 2

	M群	D群	p value
出血量(ml)	1702.4 ± 820.5	2293.6 ± 1342.1	0.064
輸血量(l)			

- **血小板輸血量は超低体温群で有意に増加**
- **出血量は有意差なし・・・血小板輸血による恩恵？**

ICU帰室後温度(°C)	35.9 ± 0.5	35.5 ± 1.1	0.083
シバリング(%)	14.3	20.0	0.580
ICU帰室後乳酸値(mmol/l)	3.0 ± 1.3	2.9 ± 1.7	0.904

出血量に有意差はないものの、この結果は血小板の大量輸血による恩恵だとも言えると考えられます。つまりは、超低体温では血小板が減少し、止血困難となることが示唆されます。

結果3

	M群	D群	p value
ICU挿管(時間)	19.7 ± 12.5	35.5 ± 42.9	0.087
ICU在室(日)	3.6 ± 1.5	4.2 ± 2.7	0.300
早期死亡率(%)	0	1(4.0)	0.285
一過性脳障害(%)	3(10.7)	7(28.0)	0.209
永久的脳障害(%)	0	0	
対麻痺(%)	0	0	

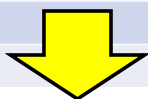
術後に関しては有意な結果はありませんでした。

結果3

以上の結果から超低体温では・・・

- ① OPE時間・体外循環時間が延長する
- ② 血小板数減少による出血傾向が惹起される可能性

永久的脳障害(%)	0	0	0
対麻痺(%)	0	0	0



必要以上の低体温は避けるべき

この三つの結果から、超低体温では、①と②が示唆され、必要以上の低体温は避けるべきだと言えるでしょう。

眠くなってしまった方、すみません。
もう終わります。



と、言うわけで。眠くなってしまった方、すみません。もう終わります。
それぞれには一長一短の特徴があります。
我々臨床工学技士はこれらを踏まえて、患者さんを最大限良い状態で人工心
肺から離脱できるよう努力しております。
今後ともどうぞよろしくお願いいたします。



Thank you for your attention!!

以上です。御清聴ありがとうございます。