

補助循環定期講習会

補助循環

今回は補助循環の概要についてお話していこうと思います。

今日のメニュー～

•IABPシステムと管理

•PCPSシステムと管理

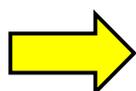
今日のメニューはこの2つ。『IABPシステムおよびPCPSシステムとその管理』についてです。

ではまず初めにIABPに関して、お話を始めることにしましょう。

IABP (Intra-Aortic Balloon Pumping)

IABPとは・・・

30～40mlのバルーンを胸部下行大動脈に留置し、
拡張・収縮させることにより**心補助(圧補助)を行うもの**である。



心補助効果：10～20%

IABPとは、30-40ml程度のバルーンを胸部下降大動脈に留置し、バルーンを拡張・収縮させることにより心臓の補助を行うものであります。これによる心補助効果は10-20%です。

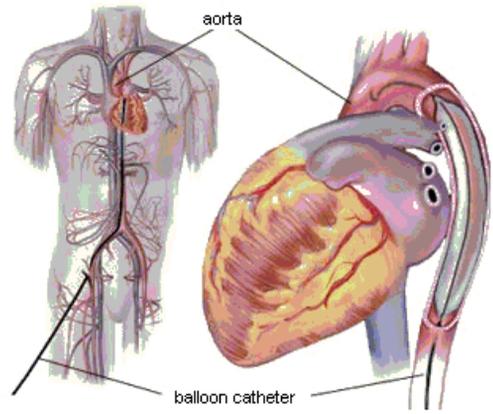
目的

心拍動に同期してバルーンを**膨張・収縮**させ、
この動きによって生み出される圧補助効果により
心臓をサポートする。

よって、IABPの目的は、心拍動に同期してバルーンを膨張・収縮させ、この動きによって生み出される圧補助効果により心臓をサポートすること。

と、言えます。

しかし、この文面だけでは心臓をどうサポートしているのかイメージしづらいですね。では導入から管理までの流れに沿って、もう少し詳しく見ていきましょう。



サイト: Cardiac Chaosより引用

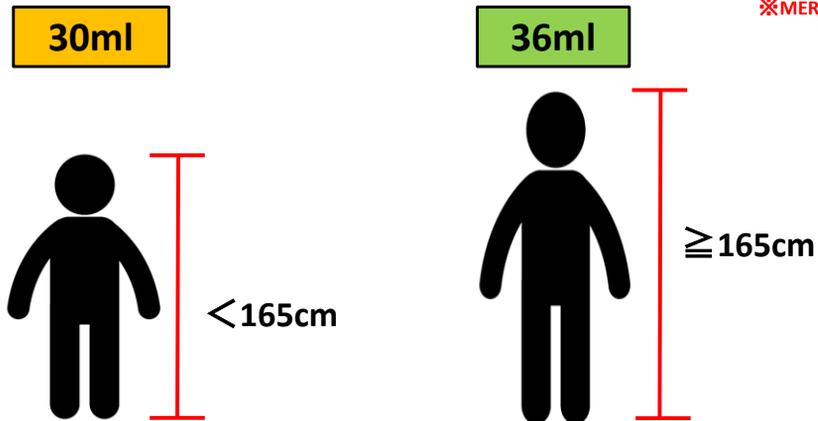
導入！！

では早速患者へIABPを導入しましょう

Balloon Size

バルーンサイズは30・36mlの2種類が存在します。

※MERAの場合



まずはIABPのバルーンサイズを決めましょう。これは当院で使用しているMERA社製のIABPレパートリーであり、30mlと36mlがある。

患者の身長によってサイズ選定が必要ですので覚えておくといいいでしょう。

図のように、165cm以下なら30ml。165cm以上なら36mlのバルーンを使用します。

他の会社でも同様に身長による適応サイズが定められています。

※バルーン長は30ml:170mm 36ml:210mm

Approch

基本は大腿動脈 (Femoral Artery) アプローチ！！

アプローチは基本的に血管径の大きいところから！

ただし、

動脈硬化や血管蛇行が激しいなどの要因がある場合は
「上腕動脈」や「腋窩動脈」を用いることもある。

次にアプローチ部位を選びます。

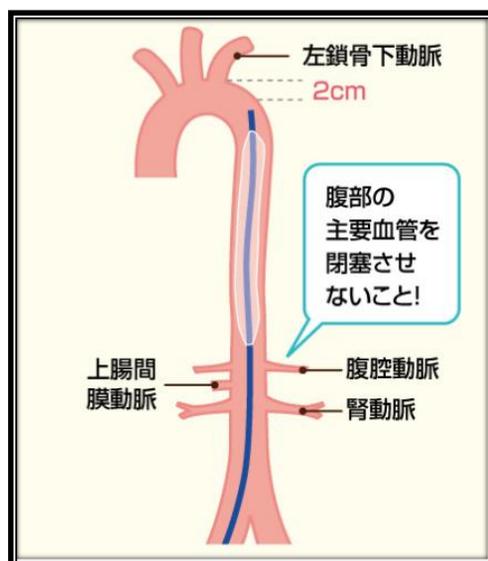
アプローチは基本的に血管径が大きいことから大腿動脈より行います。ASOや蛇行が激しいなどの要因により、大腿動脈アプローチが困難な場合には、上腕動脈や腋窩動脈を用いることもあります。

バルーン位置

バルーンの留置位置は
腹部主要動脈(腹腔動脈・
上腸間膜動脈・左右腎動脈)
より上部！！



腹部動脈を閉塞させない



バルーンの留置位置は左鎖骨下動脈より2cm下を目安とし、腹腔動脈・上腸管膜動脈・左右腎動脈といった腹部主要動脈を閉塞しないように留置することが重要です。

効果1

膨張 = Diastolic Augmentation



- 冠動脈血流量（酸素供給量）の増加

バルーン膨張により**拡張期圧**が上昇⇒**冠動脈血流が増加**
※冠動脈の血流は拡張期に多く流れる為

- 平均大動脈圧の維持

拡張期圧上昇により平均大動脈圧を維持
⇒脳や腎臓などの**重要臓器への血流維持**

ではIABPによってどんな効果が得られるのか？

効果の一つはバルーン膨張による効果であり、これをダイアストリックオーグメンテーションと呼びます。（Augmentation=増強）

もたらされる恩恵は2つあり、一つは冠動脈血流量の増加です。冠動脈の血流は、心臓の拡張期に多く流れる性質があります。バルーン膨張により拡張期の血圧が上昇することにより冠動脈血流が増加するしくみです。冠動脈血流量が増えると運搬される酸素の量が増えるため、心臓にとって大きなアシストとなります。

二つ目は平均動脈圧の維持です。拡張期圧が上昇し、血圧の底上げされることで平均動脈圧が維持されます。これにより、脳や腎臓などの重要臓器への血流が維持されます。

効果2

収縮 = Systolic Unloading

- 心仕事量の減少 (= 心筋酸素消費量の減少)

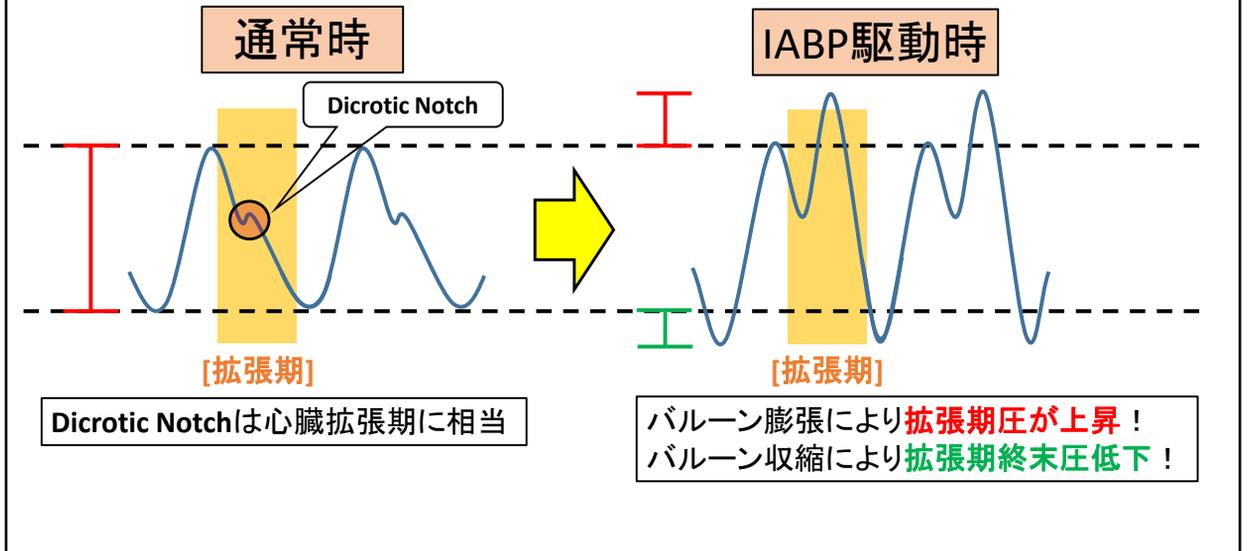
心臓の収縮直前にバルーンが収縮することでバルーン容積分の血液を引き込み、血液駆出の際の負荷を軽減 (**後負荷軽減**)



効果のもう一つはバルーン収縮による効果であり、シストリックアンローディングと呼ばれます。

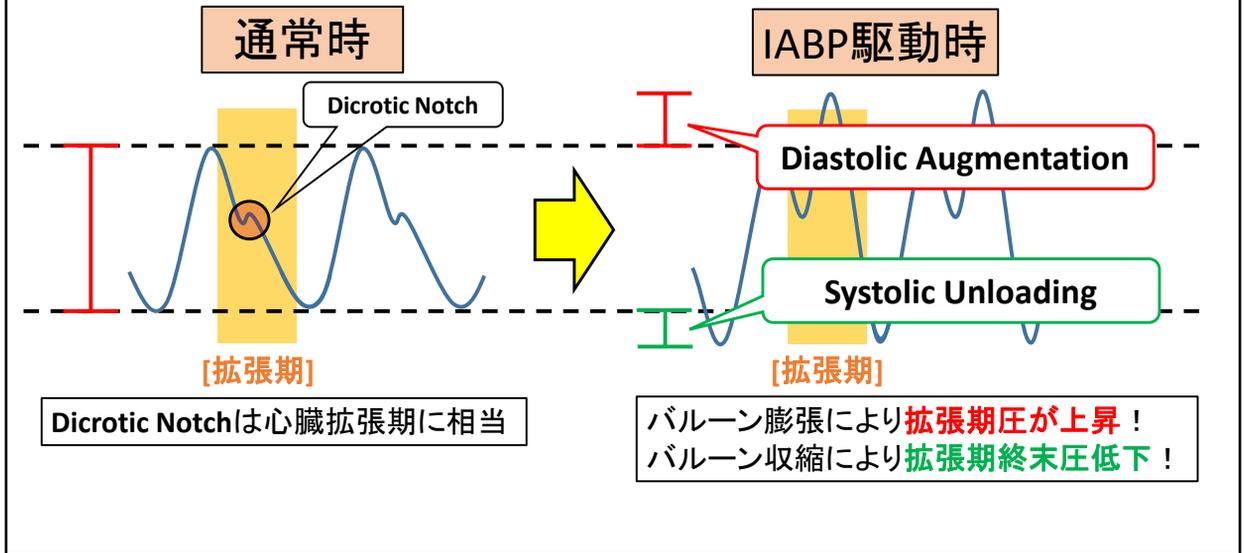
もたらされる恩恵は心仕事量の減少です。心臓の収縮直前にバルーンが収縮することで、バルーンの容積分の血液を引き込み、大動脈圧の減圧が生じます。これにより心臓が血液を駆出する際の負荷が軽減される。というわけです。これは後負荷軽減とも呼ばれます。

圧波形



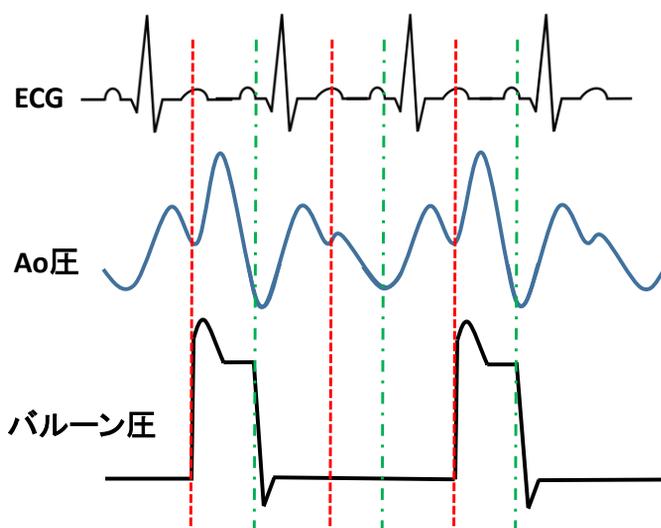
では実際の圧波形を見ていきましょう。左が通常時の動脈圧です。A圧のちょこっと圧をディクロティックノッチといい大動脈弁閉鎖によって生じるものである。つまりここは心臓の拡張期に相当しています。よってバルーン膨張のタイミングはこれに合わせます。ではIABPを駆動させます。右図はIABP駆動時の動脈波形であるが

圧波形



これが先程説明した通り、赤がダイアストリックオーグメンテーションによる圧上昇、緑がシストリックアンローディングによる圧低減に相当します。IABPの効果が目で見て分かりますね。

心電図・圧波形との正しい同期



IABPは『ECG』と『Ao圧』に同期し、
バルーンの**拡張・収縮タイミング**を
決定している。

さて、では心電図とバルーン波形も合わせて見てみましょう。

IABPとの関連が分かりやすいように1:2作動の状態の説明します。

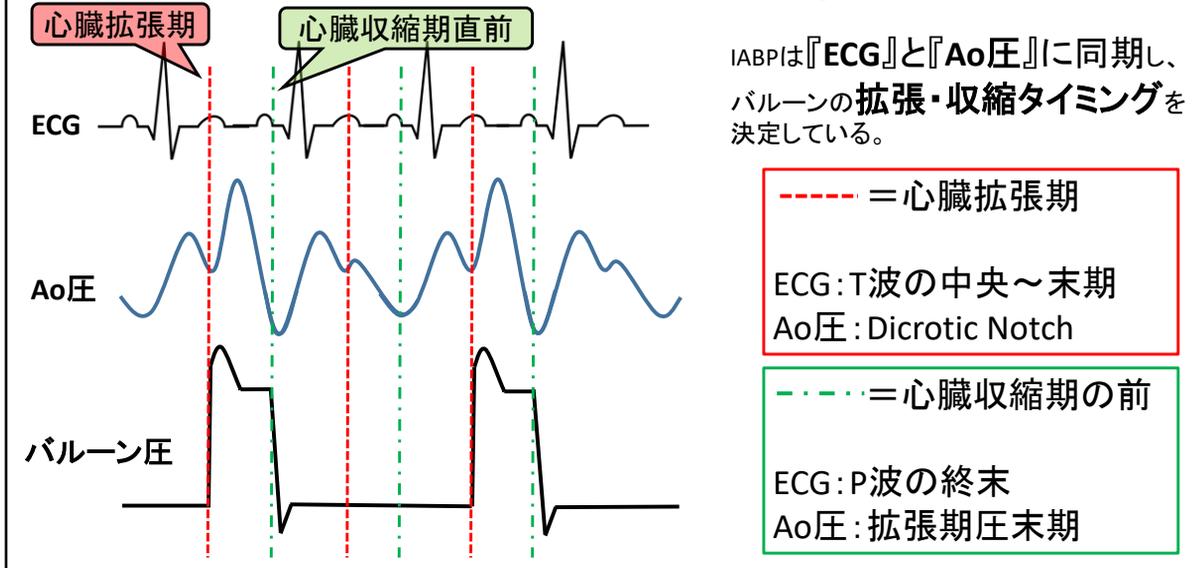
波形は上からECG・Ao圧・バルーン圧の波形を示しています。

赤の点線はバルーンの拡張タイミング、緑の点線は収縮タイミングです。1:2作動なので、真ん中の一拍ではタイミングが来てもバルーンは動作していません。

IABPはECGとAo圧に同期し、バルーンの拡張・収縮タイミングを規定しています。

どこを目安にしてタイミングを決めるかというと・・・

心電図・圧波形との正しい同期

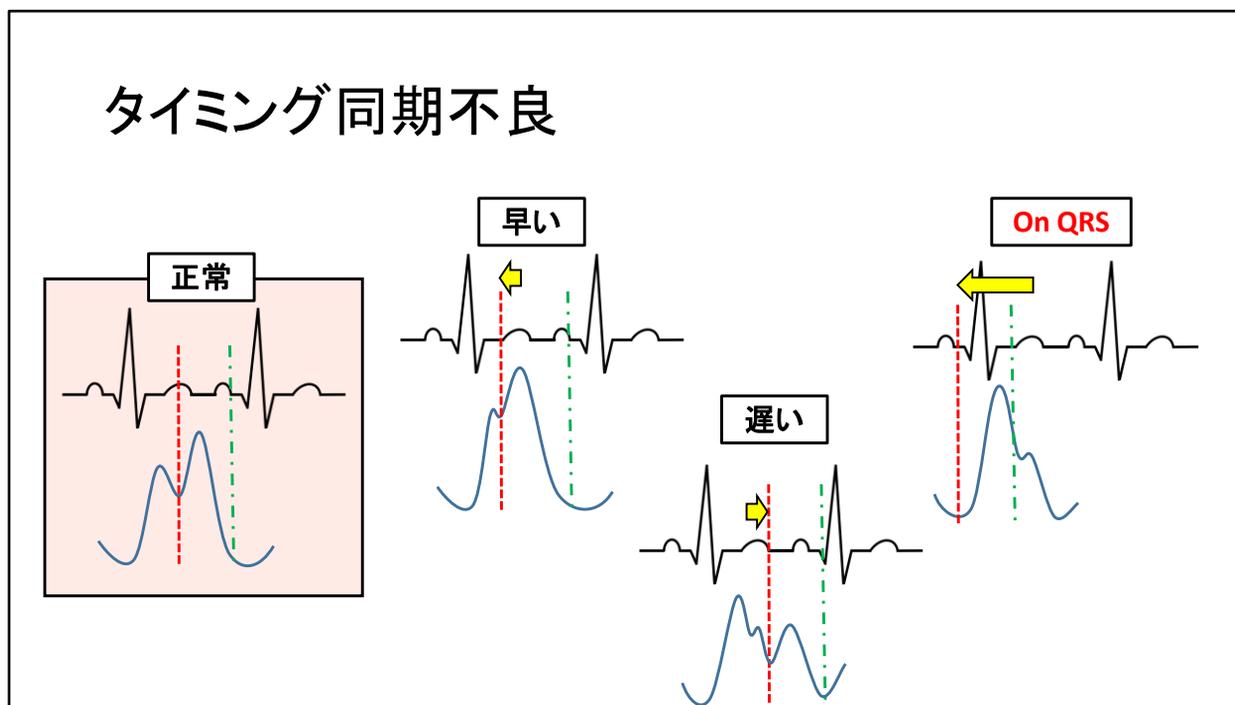


バルーンの膨張タイミングは心臓の拡張期に、収縮タイミングは心臓の収縮期直前に合わせます。

心臓拡張期はECGではT波の中央～末期、Ao圧では先に説明したディクロティックノッチがこれに相当するので、ここにバルーン膨張タイミングを合わせましょう。

心臓収縮期直前はECGではP波の終末、Ao圧では拡張期圧末期がそれに相当するので、ここにバルーン収縮タイミングを合わせると良いでしょう。

タイミング同期不良



では、バルーンの膨張・収縮タイミングが合っていない悪い例、いわゆるタイミング同期不良の例を説明しましょう。

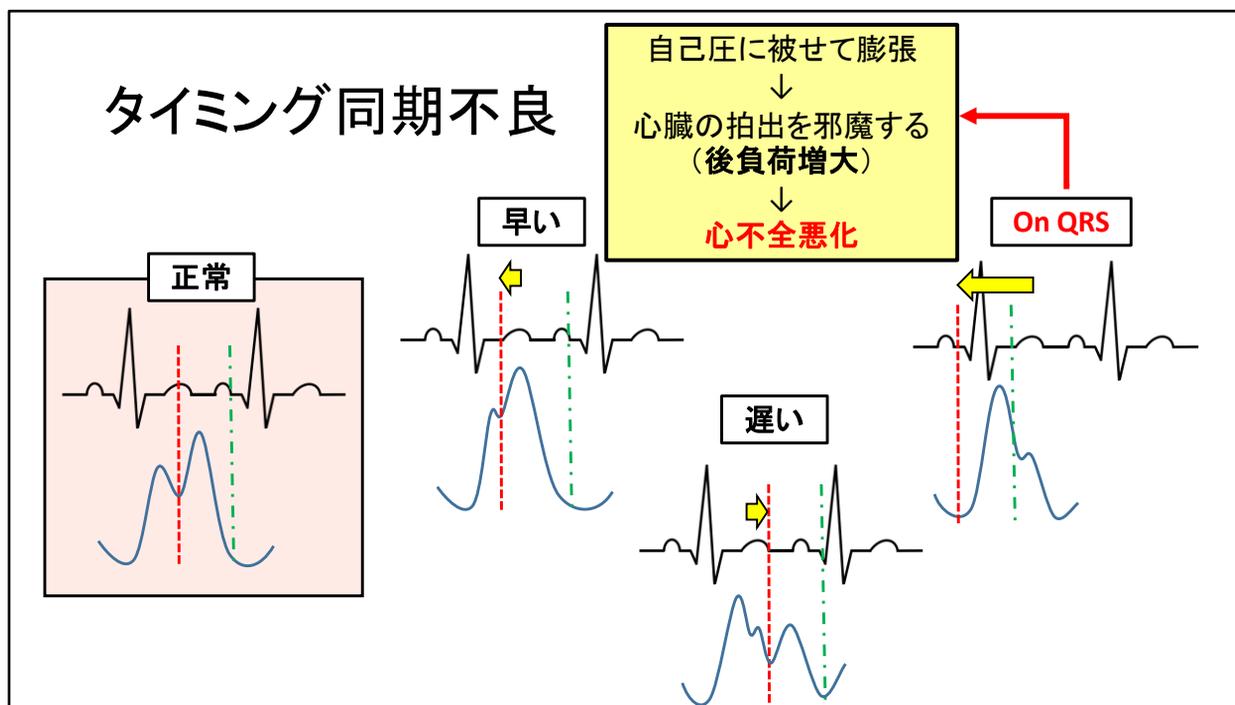
正常なタイミングのIABPアシスト時の波形を左に示します。

タイミングが早い例では、自己圧の直後にバルーン膨張が生じており、拡張期圧を効率的に上昇できているとは言えません。少しタイミングを遅らせる必要がありますね。

タイミングが遅い例では、ディクロティックノッチよりだいぶ後にバルーン膨張が生じており、これも十分なアシストは得られませんね。

最後に一番右の波形では、

タイミング同期不良



自己圧に重なるタイミングでバルーン膨張を生じており、心臓の血液拍出をバルーン膨張により通せんぼし、心臓の邪魔をしている状態です。On QRSの状態ですね。これでは後負荷はむしろ増加し、心臓は通常よりもしんどい状態になり心不全を悪化させる可能性もあり極めて危険です。すぐにタイミングを合わせる対処をしましょう。

まとめ

- 膨張効果 (Diastolic Augmentation) により **冠動脈血流量増加** と **平均血圧維持** が得られる。
- 収縮効果 (Systolic Unloading) により後負荷減少による **心負荷軽減** が得られる。
- バルーン位置は **腹部主要動脈より上位** に配置する。
- 膨張・収縮は『ECG』や『Ao圧』で規定され、**タイミングは重要** である。

IABPのまとめです。

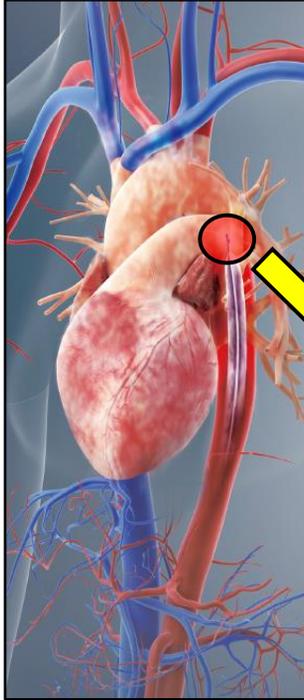
Diastolic Augmentationにより、冠動脈血流量増加と平均血圧維持が得られる。

Systolic Unloadingにより後負荷減少による心負荷軽減が得られる。

バルーン位置は腹部主要動脈より上位に配置する

膨張・収縮はECGや動脈圧で規定され、そのタイミングは重要である。

IABPについては以上です。

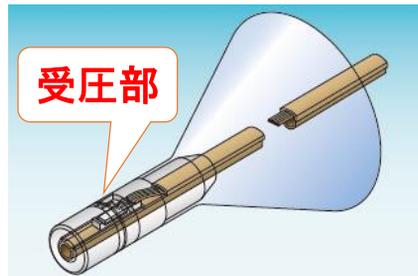


おまけ

【コラートBP専用 センサーバルーン P2】

体動OK！！

Aライン不要



上図:バルーン先端構造

- カテーテル挿入と同時に動脈圧表示が可能
- 光センサーにより圧のタイムラグ無し
- 2時間に1回の圧自動補正による正確性

ちなみに、余談ですが、

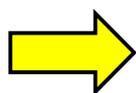
MERA社製のコラートシリーズには、光センサーが内蔵されています。

カテーテル先端に光センサーが付いており、動脈の圧を測定することが可能です。よってAラインがなくとも動脈圧が観察可能です。さらに体幹に位置するために体動によるノイズ混入がほぼないことが特徴です。

PCPS (Percutaneous Cardio Pulmonary Support)

PCPSとは・・・

遠心ポンプと膜型人工肺を用いた閉鎖回路の人工心肺装置により、動静脈経路で**心肺補助(流量補助)を行うもの**である。



心補助効果：50～70%

※重症呼吸不全に対して**同装置**により**呼吸補助を行う**治療法を**ECMO**(ExtraCorporeal Membrane Oxygenation)と別称する。
ただし当治療におけるアプローチは心補助を必要としない為、
動静脈バイパス(V-A bypass)ではなく**静静脈バイパス(V-V bypass)**が一般的である。

さて、それでは次にPCPSについてお話していきます。

V-A ECMOと呼ばれることもあるPCPSですが、PCPSとはなんなのか？

PCPSとは、遠心ポンプと人工肺を用いた閉鎖回路の人工心肺装置です。動脈一静脈経路で心臓と肺の補助可能なシステムです。主目的は心臓の補助であり、その心補助効果は50-70%と極めて高い補助能力を有しています。

補足ですが、重症呼吸不全つまりは肺の疾患を有する患者に対して呼吸補助を主目的として同装置を用いることがあります。この場合、アプローチは動脈一静脈経路ではなく、静脈一静脈経路となる点が異なり、名称もPCPSではなくECMOと呼称され、差別化されています。紛らわしいのでご注意ください。

目的

- 血液ポンプを用いて心臓ポンプ機能を代行し、迅速かつ確実に全身循環を補助すること。(亜急性期)
- また心臓蘇生時には不可逆性変化に陥る前に全身の循環を回復させること。(急性期)

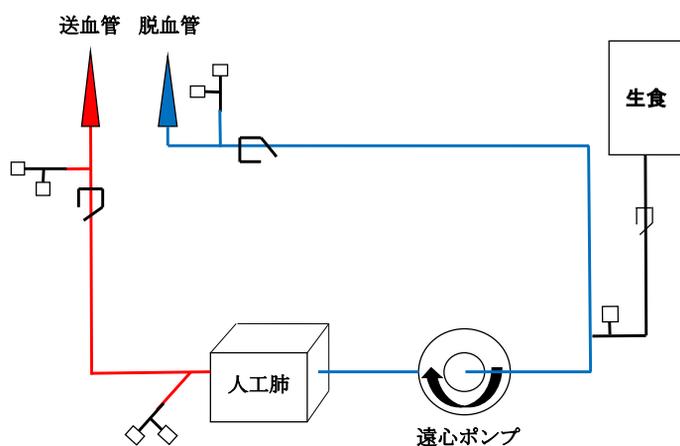
➡ **循環supportが目的!!**

PCPSの目的ですが、心臓機能を代行し、全身循環を補助すること。また心臓蘇生時の全身循環の速やかな回復を目的としており、先ほどお話した通り心補助つまりは循環のサポートが主目的となります。

では、PCPSを導入しましょう！！

ではここからは導入から管理までの流れにそってPCPSの理解を深めていきましょう。急患が運ばれてきたようです。心肺停止で復帰しません。急いでPCPSを導入しましょう。

PCPSのシステム構成



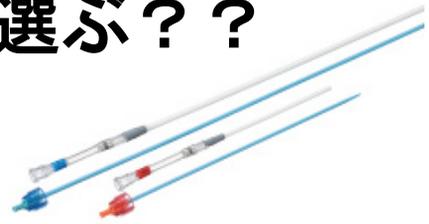
SOLAS

- 充填量(priming volume): 563ml
- 最大血流量: 7L/min
- 人工肺膜面積: 約2.3m²
- 人工肺材質: シリコン膜
(支持体: 多孔質ポリプロピレン)
- 抗血栓コート: メラNSHコーティング
(ヘパリン分子イオン結合コート)

MERA社製のPCPSシステムを示しています。構成は血液を抜く管である脱血管・心臓の代わりに血液を拍出する駆動源となる遠心ポンプ・肺の代わりに呼吸機能を担う人工肺・血液を返す管である送血管です。これらでシステムが構成されています。

※MERAのコーティングはヘパリンの表面残存性を高めるコーティングであり、ヘパリンコーティングではないことに注意！

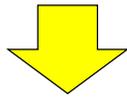
送脱血管は何を選ぶ??



では皆さんに質問です。送血管と脱血管は何を選びますか？
「うちはいつも迷わないように15Frと18Frに決めている！！」という施設もあるよう
です。
ではなぜ用意されているのは15Frと18Frなんですか？
ここがとても重要です。

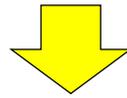
送脱血管

送血カニューレ



出口

脱血カニューレ



入口

まず始めに。ご存知の通り送血管は血液の出口。脱血管は血液の入口です。脱血管から血液を吸い込んで送血管から返すわけです。

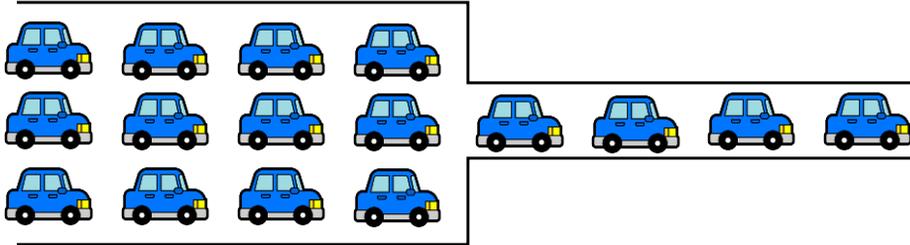


渋滞をイメージしてみましょう。

送脱血管

- 細いカニューレを選んだ場合

 = 血流



細いカニューレを選択すると車(=血流)は渋滞し、流量が制限される。

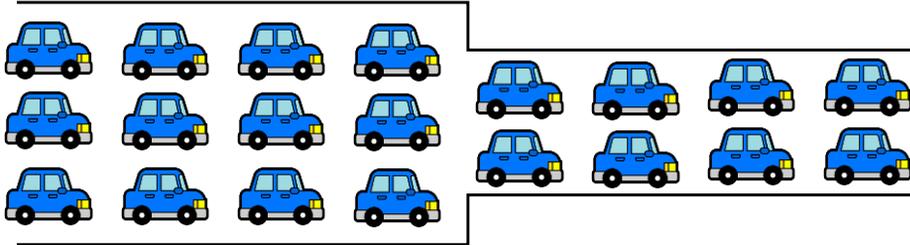
血流を車に見立てて説明しましょう。細いカニューレを選んだ場合、車は渋滞し、交通量は制限されます。

これはつまり、細いカニューレを選択すると血流が制限されるということです。流れにくくなるわけですね。

送脱血管

- 太いカニューレを選んだ場合

 = 血流



太いカニューレを選択すると通過できる車(=血流)は増加し、流量が増える。

では太いカニューレを使用すればどうでしょう？

交通量は先ほどより格段に増加しました。つまり太いカニューレならばより血液を送れる量が増加するのです。これは嬉しいですね。

PCPSの最大血流量は カニューレの太さに規定される！！

太いカニューレ⇒高流量
細いカニューレ⇒低流量

なにが言いたいかというと、PCPSの最大流量はカニューレの太さに規定されるということです。

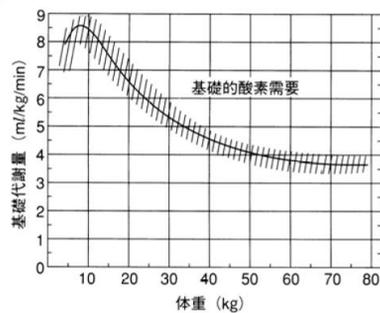
つまり、太いカニューレならば高流量が出せ、細いカニューレならば低い流量しか出せないということです。

流量はいくらあればいいの??

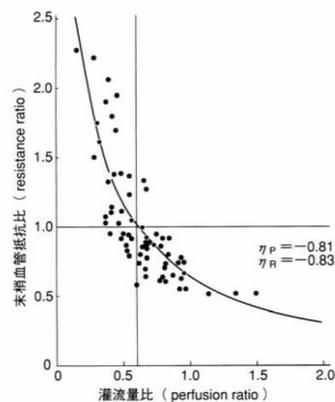


高流量とか低流量とか言ってるけど、結局流量はいくらあればいいんですか？
と思うはずです。

適正還流量



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



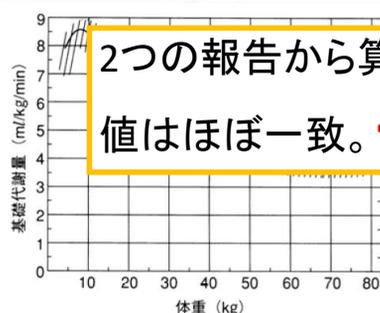
灌流量比と末梢血管抵抗比との関係
(Kawashima Y et al, 1964²⁹⁾)

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。

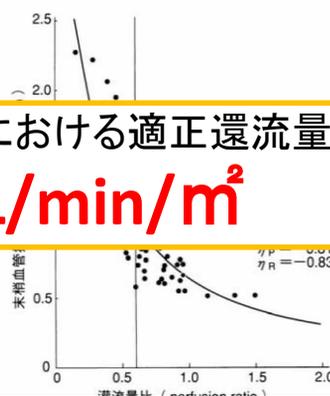
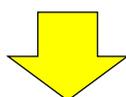
川島らが提唱する、**末梢血管抵抗を術前と同じ生理的な値に維持できる還流量**を適正還流量とする報告。

人間には適正還流量というものが存在し、『体外循環を行う上で必要な流量がいくらであるか？』を先人たちは数多く研究してきました。
その中でもクラークらが提唱するものと、川島らが提唱するものが非常に優秀であり、体外循環における流量設定の基本となっています。
このグラフがどういう意味を示すかというと・・・。

適正還流量



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**



AさんのBSAは1.67m²であるので、**2.4 × 1.67 = 4.008L/min**
つまりPCPSでAさんの循環を100%サポートするには

約4.0L/minの血流量を確保する必要がある！！

CIを

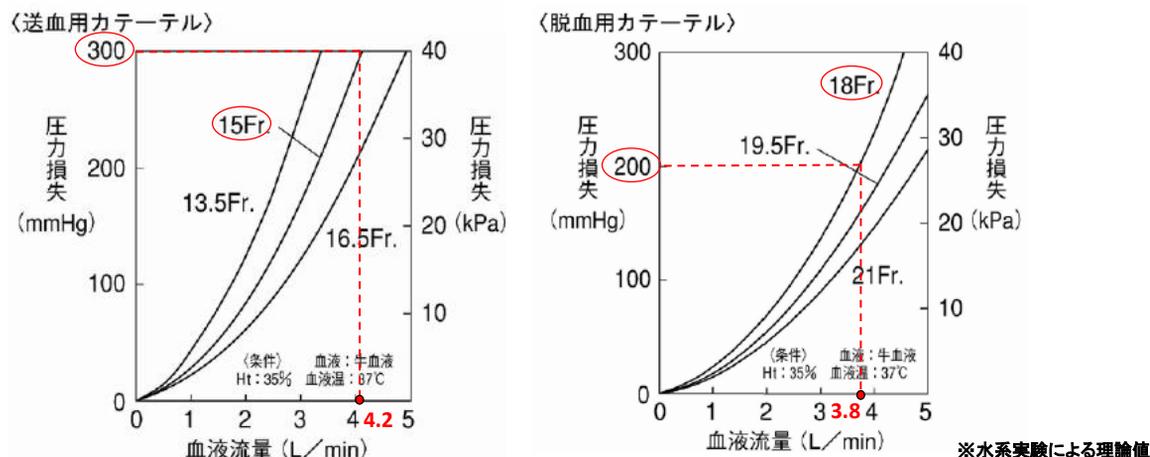
還流量とする報告。

還流量を適正還流量とする報告。

二つの報告から算出された常温における適正還流量はほぼ一致し、C.Iで2.4L/min/m²である。
よってAさんに置き換えれば、AさんのBSAは1.67m²であるので流量は4.008L/min必要である。
つまりAさんを100%サポートするには約4.0L/minの流量を必要とするということなのです。

カニューレション

T社の送脱血管



これはT社の送脱血管の流量表です。これを参考に見ていきましょう。まずは左の図にて送血管の15Frから。グラフの縦軸は圧力損失といってカニューレが血液に与える抵抗値のようなものです。送血管の圧力損失が高いと溶血を生じる可能性が高く、添付文書上は300mmHg以内で使用するようになっています。よって15Frの送血管の最大流量は4.2L/minとなる訳です。

同様に右の図で脱血管も見ていきましょう。脱血管では圧力損失が200mmHgを超えるとキャビテーションといわれる気泡発生現象が起こることから200mmHg以内で使用することとされています。よって脱血管18Fr使用時の最大流量は3.8L/minとなります。

え？どっちが最大流量なの？となると思います。送血管と脱血管を組み合わせで使用しているので、最大流量は小さい値が反映されます。

よってT社のPCPS回路を用い、T社の送血管15FrとT社の脱血管18Frを使用した場合、最大流量は3.8L/minであるわけです。

(ただしこれは水系実験の結果であるので、血液を対象に行った場合は粘性の違いによる影響で最大流量は下がると考えられます。)

カニューレション

T社の送脱血管

- PCPSシステムの流量限界

15Fr送血管の最大流量:4.2L/min

18Fr脱血管の最大流量:3.8L/min



PCPSシステムの最大流量

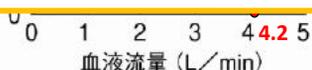
3.8L/min

- 『**3.8L/min**で患者をサポートできるか?』が重要!!

体の大きい人なら、カニューレを大きいものに選択すべき?!

例:Aさん(4.0L/min)を**60~80%**サポートするには、、、

2.4~3.2L/minが必要!! [3.8L/min**]**



※水系実験による理論値

まとめると、T社の送血15Fr・脱血18FrでのPCPSシステムの流量限界は3.8L/minです。

重要なのは、3.8L/minで患者をサポートしきれるかどうかです。

PCPSは通常心臓の補助を目的としており、60~80%のサポートが限界といわれています。よってAさんならば4L/minの6~8割、つまりは2.4~3.2L/min程度の流量があればいい計算になります。

PCPSシステムの方が流量を上回っているのでAさんのサポートはいけそうですね！でもAさんよりもっと体の大きい人の場合にはカニューレを考えなければならないかも知れませんね。。。

カニューレーション

一般的に大腿動静脈アプローチが定番

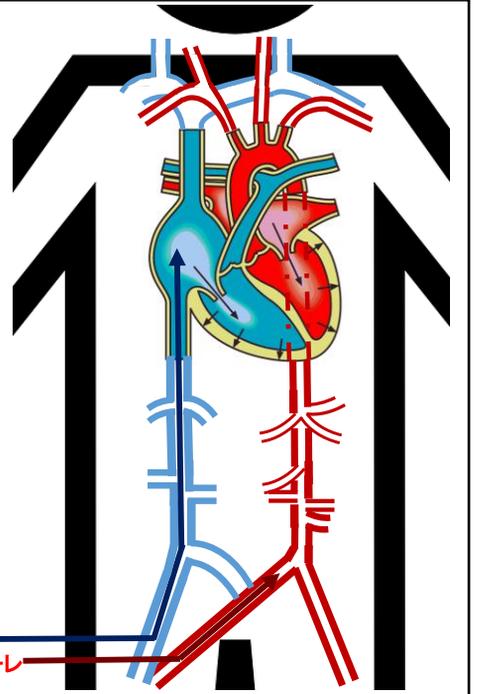
脱血カニューレ

大腿静脈(Femoral vein)からアプローチし、右房まで到達します。

送血カニューレ

大腿動脈(Femoral artery)からアプローチし、下行大動脈と総腸骨動脈の分岐部(Y字部分)の手前まで到達します。

脱血カニューレ
送血カニューレ



ではカニューレサイズも学んだところで、カニューレーションに移りましょう。

一般的にPCPSのカニューレーションは大腿動静脈アプローチが定番です。

脱血カニューレは大腿静脈からアプローチし、右房まで到達します。送血カニューレは大腿動脈からアプローチし、下行大動脈と総腸骨動脈の分岐部の手前まで到達します。

カニューレション

大腿動静脈アプローチが困難な場合
⇒首の動静脈アプローチ

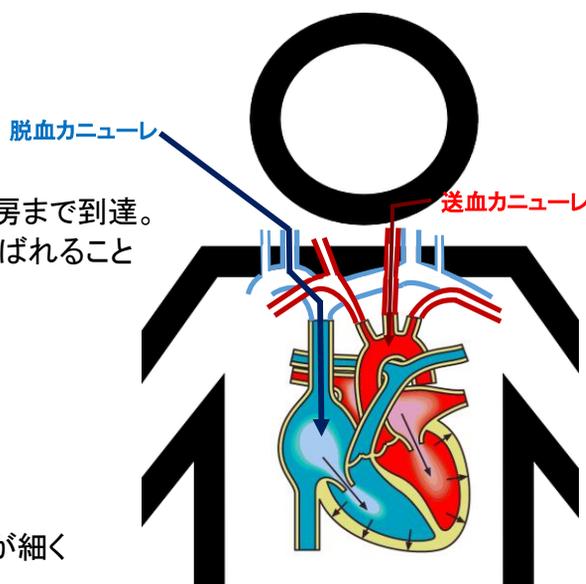
脱血カニューレ

内頸静脈 (Internal jugular vein) アプローチで右房まで到達。
内頸静脈は蛇行が少ない点で右内頸静脈が選ばれることが多い。

送血カニューレ

総頸動脈 (Common carotid arteries) or
腕頭動脈 (Brachiocephalic trunk) アプローチ。
大動脈弓部付近まで到達させる。

※頸動静脈は血管径が細く、カニューレサイズが細くなりがちなのがデメリット。



しかし、大腿動静脈へのアプローチが困難な場合には首の動静脈を用いることもあります。脱血カニューレは内頸静脈アプローチで右房に到達します。内頸静脈の外側に位置するのは外頸静脈 (External jugular vein)。外頸静脈より内頸静脈の方が極めて太い。これは内頸静脈が頭蓋腔からの静脈を集めるため、血流量が多いことが理由である。

よってカニューレションは内頸静脈が選ばれる。また蛇行が少ない点で右側の内頸静脈が選ばれます。

送血カニューレは総頸動脈を選ぶのが一般的です。

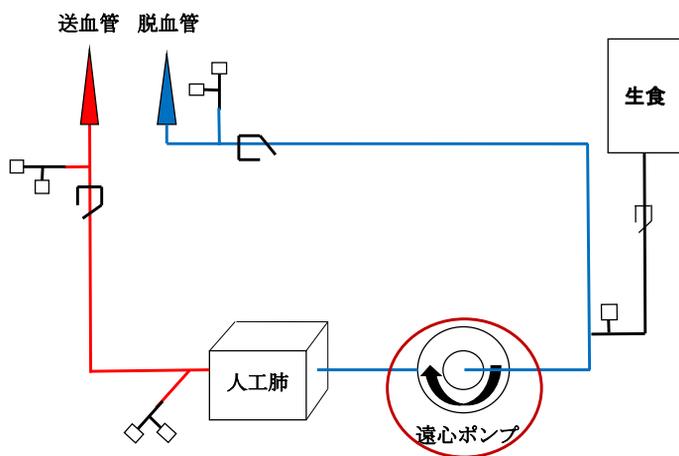
しかし計動静脈は血管径の細さゆえにカニューレサイズが細くなる点がデメリットです。

遠心ポンプって??



続いて遠心ポンプについて

PCPSのシステム構成



SOLAS

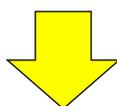
- 充填量(priming volume): 563ml
- 最大血流量: 7L/min
- 人工肺膜面積: 約2.3m²
- 人工肺材質: シリコン膜
(支持体: 多孔質ポリプロピレン)
- 抗血栓コート: メラNSHコーティング
(ヘパリン分子イオン結合コート)

遠心ポンプは人体における心臓の役割を担う部分です。先のシステム構成でいうと赤丸の部分ですね。

遠心ポンプの構造と機序



遠心ポンプは**遠心力**によって血液を吸い込み、送り出す機能を持ったデバイスである。



心臓の代わり(循環)を担うデバイスです！！

遠心ポンプは遠心力によって血液を吸い込み、送り出す機能を持ったデバイスであり、心臓の代わり、つまりは循環を担うデバイスです。

遠心ポンプ特徴①: 高圧になりにくい



血液OUT

血液OUT側で閉塞が起こった
(例: 送血管の先当り、回路の屈曲や血栓閉塞)



出口が無い為、流量が下がる
= 後負荷で流量が変動



それ以上、**高圧にならない**

遠心ポンプの特徴として、高圧になりにくいことがメリットとして挙げられます。血液の出口で閉塞が起こると出口が無くなるために流量が下がります。遠心ポンプの出口以降での閉塞や狭窄を後負荷と言います。カテコラミンなどで末梢血管を締めるときも同様です。これによりそれ以上高圧にならないわけです。

遠心ポンプ特徴②: 過度な陰圧になりにくい



血液IN側で閉塞が起こった
(例: 脱血不良、回路の屈曲や血栓閉塞)



脱血が減る為、流量が下がる



それ以上、**陰圧にならない**

二つ目の特徴として過度な陰圧になりにくいメリットがあります。

血液の入口で閉塞が起こっても脱血量が減る、つまりは取ってくる量が減るので返す量も減る。よって流量が下がります。これにより過度な陰圧にならないわけです。

遠心ポンプ

<特徴>

遠心ポンプは遠心力を用いた送脱血法のため、**過度な陽圧・陰圧になりにくい。**

<注意点>

- 血液OUTの回路あるいはカニューレの狭窄・閉塞などの**後負荷増大により流量が低下**する。
- 高回転時には**過度の陽圧によるシステム破損。過度の陰圧によるキャビテーション(気泡発生現象)が生じる可能性**がある。

遠心ポンプの特徴のまとめです。

遠心ポンプは遠心力を用いた送脱血法のため、過度な陽圧・過度な陰圧になりにくいことがメリットです。

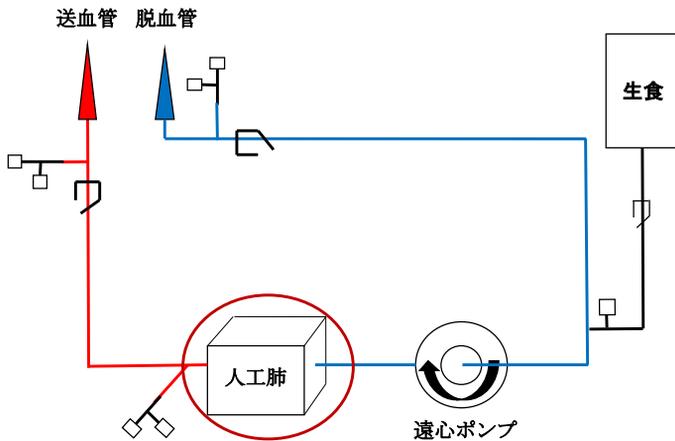
しかしながら注意点として、交付が増大により流量が低下することが挙げられます。後負荷の増大はカテコラミンなどで末梢血管を締めるときにも起こりえるので注意が必要。カテコラミンのせいで後負荷が増大して流量が下がったのに、脱血不良やカニューレの先当りを疑わないように！！

また高回転管理時には陽圧・陰圧ともに高くなります。陽圧ではシステム破損。特に過度の陰圧によるキャビテーションでは脳血管などの微細な血管に空気による梗塞を起こすことがあるので要注意です。これをGas micro emboli(GME)と言います。

人工肺って??

次は人工肺について

PCPSのシステム構成

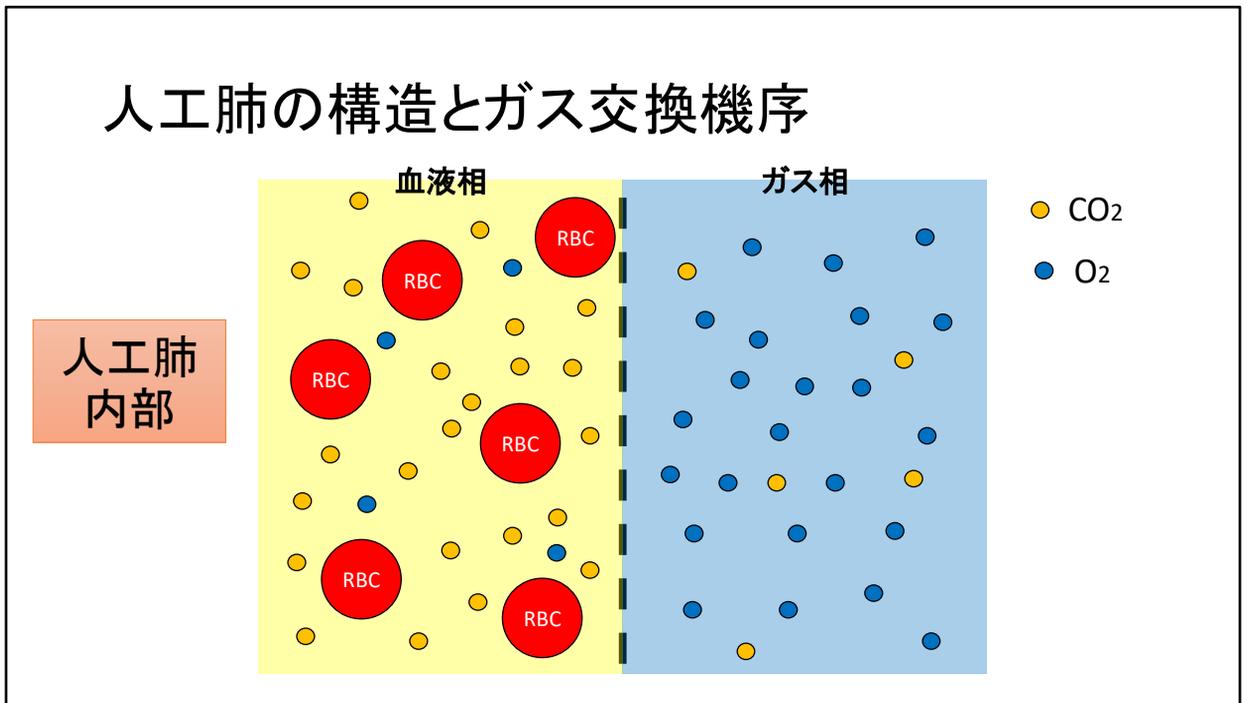


SOLAS

- 充填量(priming volume): 563ml
- 最大血流量: 7L/min
- 人工肺膜面積: 約2.3㎡
- 人工肺材質: シリコン膜
(支持体: 多孔質ポリプロピレン)
- 抗血栓コート: メラNSHコーティング
(ヘパリン分子イオン結合コート)

人工肺は人体における肺の役割を担う部分です。先のシステム構成でいうと赤丸の部分ですね。

人工肺の構造とガス交換機序



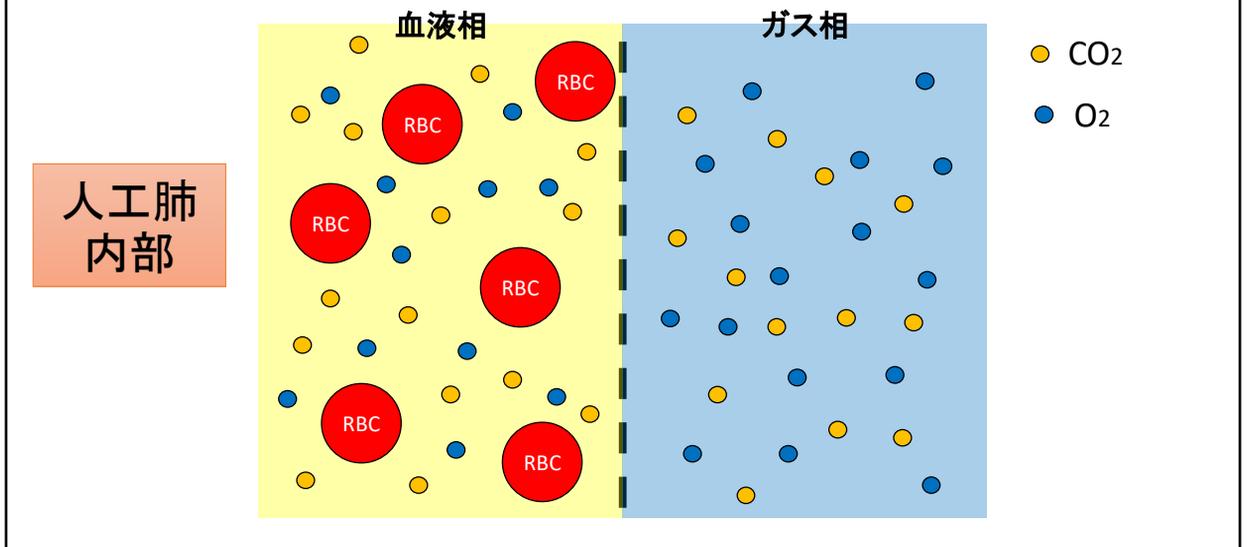
これは人工肺内部の図です。左は血液相、右はガス相です。血液相とガス相は微細な穴で隔たれており、赤血球は通れません。血漿成分も表面張力によりガス相には出てこないようになっています。

PCPSアシスト下では肺もバイパスし、肺への血流が阻害されるため呼吸状態は悪くなります。

よって血中のCO₂濃度は高く、O₂濃度は低い状態になります。対して人工肺のガス相はガスブレンダーにより調整されたガスが吹送されるため、CO₂濃度は低く、O₂濃度は高い状態にあります。

微細な穴はガスを通過させるため、濃度勾配によりCO₂及びO₂の移動が生じます。よって

人工肺の構造とガス交換機序



血中にO₂が移行し、ガス相にCO₂が移行します。これにより血液相の血液のCO₂及びO₂の是正が行われるわけです。
これが人工肺による肺代替のメカニズムです。

PCPSのガス設定はどうすれば??



ではガスブレンダーをどんなときにどう変えれば良いのでしょうか？

PCPSOの異常はどうすれば??

Rapid systems		
トウキョウメテック サンプル		
08/12/2015 23:04		
システム ID 0401-12211		
サン/エンキ ヘイコウ	37.0	°C
pH	7.135	
pCO ₂	68.9	mmHg
pO ₂	50.2	mmHg
HCO ₃ ⁻ act	23.1	mmol/L
HCO ₃ ⁻ std	22.0	mmol/L
BE(B)	-2.4	mmol/L
BE(ef)	-2.5	mmol/L
ctCO ₂	24.4	mmol/L
サンツ ステイタス	37.0	°C
Hct	32	%
tHb(est)	10.9	g/dL
O ₂ SAT(est)	75.8	%
デーンカインツ		
Na ⁺	141.7	mmol/L
K ⁺	3.69	mmol/L
Ca ⁺⁺	0.89	mmol/L
Ca ⁺⁺ (7.4)	0.87	mmol/L
Cl ⁻	102	mmol/L
AnGap	20.3	mmol/L
タイシヤ コウモク		
Glu	60	mg/dL



こんな血ガスデータが得られました。カス情報は赤字で示したpCO₂とpO₂ですね。まずはpO₂から対処しましょう。

O₂(酸素)

酸素



あざむ...

酸素のお話

ペンギンを捕まえろ！！



ここにペンギンがいます。捕まえて来いと言われたら、1匹2匹は捕まえられそうですかね。

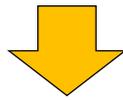


ペンギンを捕まえろ！！

ではこっちならどうでしょう？？余裕で50匹はいけませんか？捕まえ放題ですよ。

O_2 (酸素)でも同じこと。

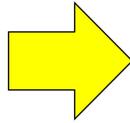
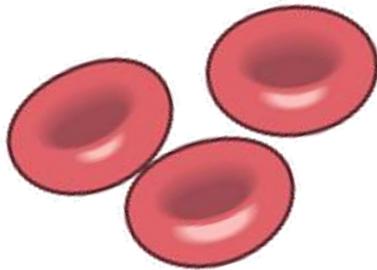
- 酸素の量が多ければ人工肺も酸素を捕まえやすい！！
- FiO_2 は濃度なので、 FiO_2 が高ければ酸素の量も多くなる！！



PO_2 を上げたければ、 FiO_2 を上げろ！！

これは酸素でも同じことです。酸素の量が多ければ血液が酸素を捕まえられる量が増えます。よって酸素濃度が高い方が酸素パラメータは良くなります。つまり pO_2 を上げたければ FiO_2 を上げろということです。

O₂は高けりゃいいってもんじゃない！



※図はイメージです。

PO₂を500mmHg付近で維持すると赤血球がトゲトゲ状に変形する。(=エチノサイト化)
エチノサイト化が生じると赤血球は凝集反応を起こし、回路凝固を来す可能性がある。

参考文献: Fisher AR, Baker M, Buffin M, Campbell P, Hansbro S, Kennington S, Lilley A, Whitehorne M.

Normal and abnormal trans-oxygenator pressure gradients during cardiopulmonary bypass. Perfusion; 18: 25-30, 2003.

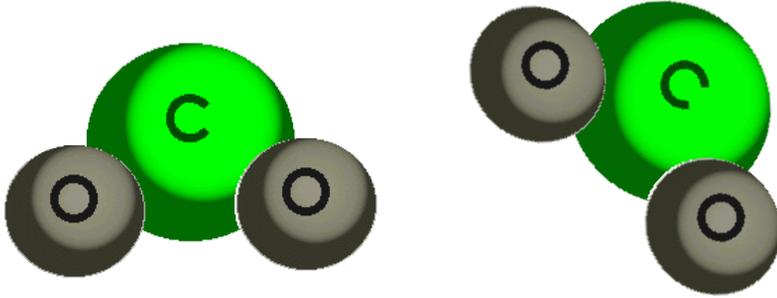
しかしpO₂も高けりゃいいってもんじゃないありません。だってそれならFiO₂はずっと100%
でいいじゃないですか。なにがだめなのか。

PO₂を500mmHg付近で維持すると赤血球がトゲトゲ状に変形します。これをエチノ
サイト化と言います。エチノサイト化が生じると赤血球は凝集反応を起こし、
回路凝固をきたす可能性があるので注意が必要です。不必要な高濃度酸素の投与
はやめましょう。

Rapīd systems		
トウキョウテック サンプル		
08/12/2015 23:04		
システム ID 0401-12211		
サン/エンキ ハイコク 37.0 °C		
pH	7.135	
pCO ₂	68.9	mmHg
pO ₂	170.8	mmHg
HCO ₃ ⁻ act	23.1	mmol/L
HCO ₃ ⁻ std	22.0	mmol/L
BE(B)	-2.4	mmol/L
BE(eof)	-2.5	mmol/L
ctCO ₂	24.4	mmol/L
サンソ ステイタス 37.0 °C		
Hct	32	%
tHb(est)	10.9	g/dL
O ₂ SAT(est)	75.8	%
イオンカインツ		
Na ⁺	141.7	mmol/L
K ⁺	3.69	mmol/L
Ca ⁺⁺	0.89	mmol/L
Ca ⁺⁺ (7.4)	0.87	mmol/L
Cl ⁻	102	mmol/L
AnGap	20.3	mmol/L
タイシト コウモク		
Glu	60	mg/dL

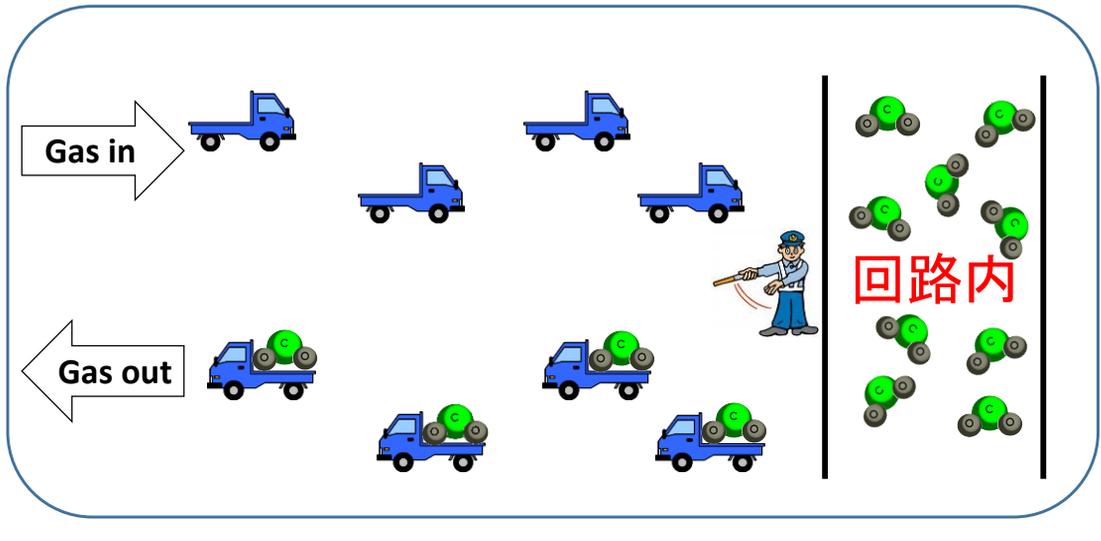
FiO2を挙げることでpO2は良くなりましたね。ではpCO2を見ていきましょう。

CO₂(二酸化炭素)



二酸化炭素のお話。

ガス流量が少ない時



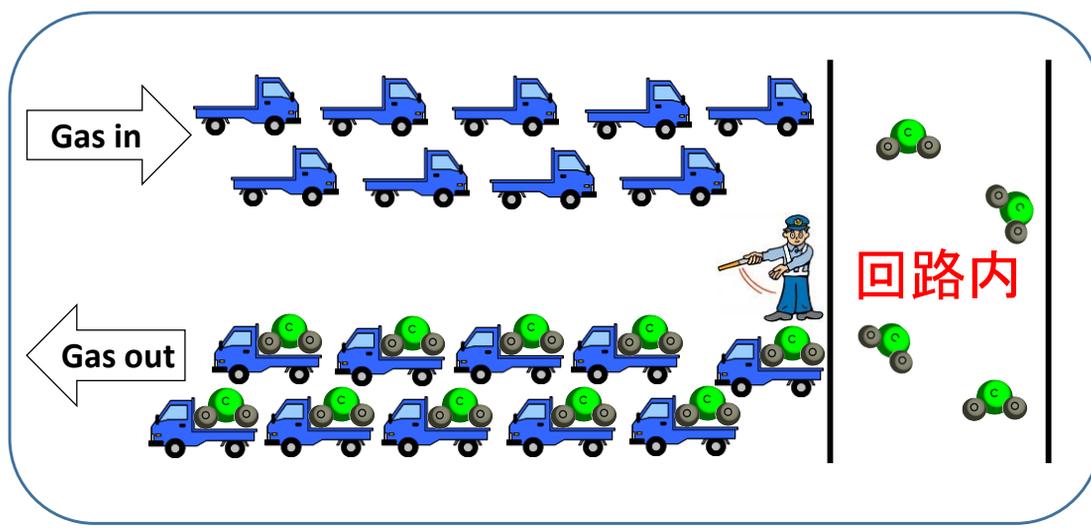
回路内の血液にCO₂が溜まっています。血中のCO₂を今すぐ排除したいような状況です。トラックはガス流量と同義です。

ガス流量が少ない時



つまりトラックの台数ひいてはガス流量が少ないため、血中に溜まっているCO₂が十分に運び出せていません。ではトラックを増やしましょう。

ガス流量が適正な時



トラックを増やしたことにより、CO₂を多く運び出すことが可能となり、血中のCO₂が減少しました。

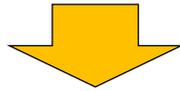
ガス流量が適正な時



ガス流量を増やすと血中のCO₂を下げる事が可能なのです。

CO₂(二酸化炭素)は、、、

- CO₂の排除はトラックの台数(=ガス流量)が超重要！！
- トラックの台数を増やすには、『ガス流量』を増やそう。



PCO₂を下げたければ、 **ガス流量を上げろ！！**

まとめると、CO₂の排除はCO₂を運び出すためのトラック台数が肝。トラック台数を増やすにはガス流量を増やしましょう。

PCO₂を下げたいならば、ガス流量を上げろ。というわけです。

Rapid systems

トウモロコシ サンプル
08/12/2015 23:04
システム ID 0401-12211

サン/ステータス 37.0 °C
pH 7.371
pCO₂ 36.3 mmHg
pO₂ 170.8 mmHg
HCO₃ act 23.1 mmol/L
HCO₃ std 22.0 mmol/L
BE(B) -2.4 mmol/L
BE(ect) -2.5 mmol/L
ctCO₂ 24.4 mmol/L

サン/ステータス 37.0 °C
Hct 32 %
tHb(est) 10.9 g/dL
O₂SAT(est) 75.8 %

イオンバランス
Na⁺ 141.7 mmol/L
K⁺ 3.69 mmol/L
Ca⁺⁺ 0.89 mmol/L
Ca⁺⁺(7.4) 0.87 mmol/L
Cl⁻ 102 mmol/L
AnGap 20.3 mmol/L

グロコース コロモク
Glu 60 mg/dL

pH・pCO₂・pO₂
いずれも正常値へ。

めでたしめでたし！

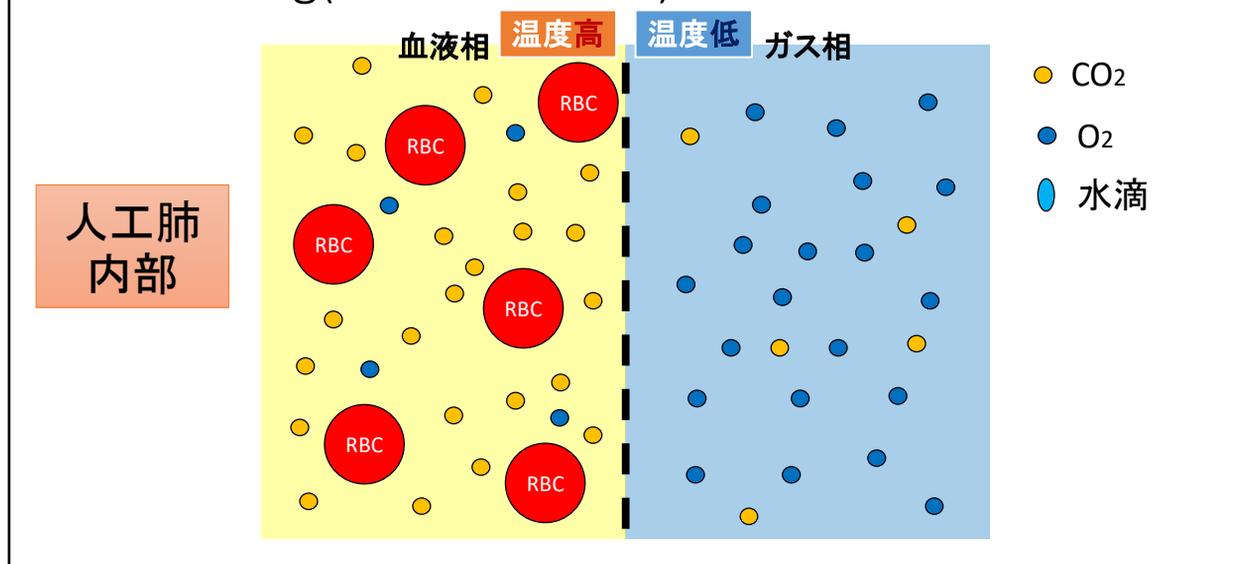
pH、pCO₂、pO₂いずれも正常値になりましたね。めでたしめでたしですね。

人工肺トラブル



では人工肺のトラブルは何があるのか？？

Wet Lung(ウェットラング)

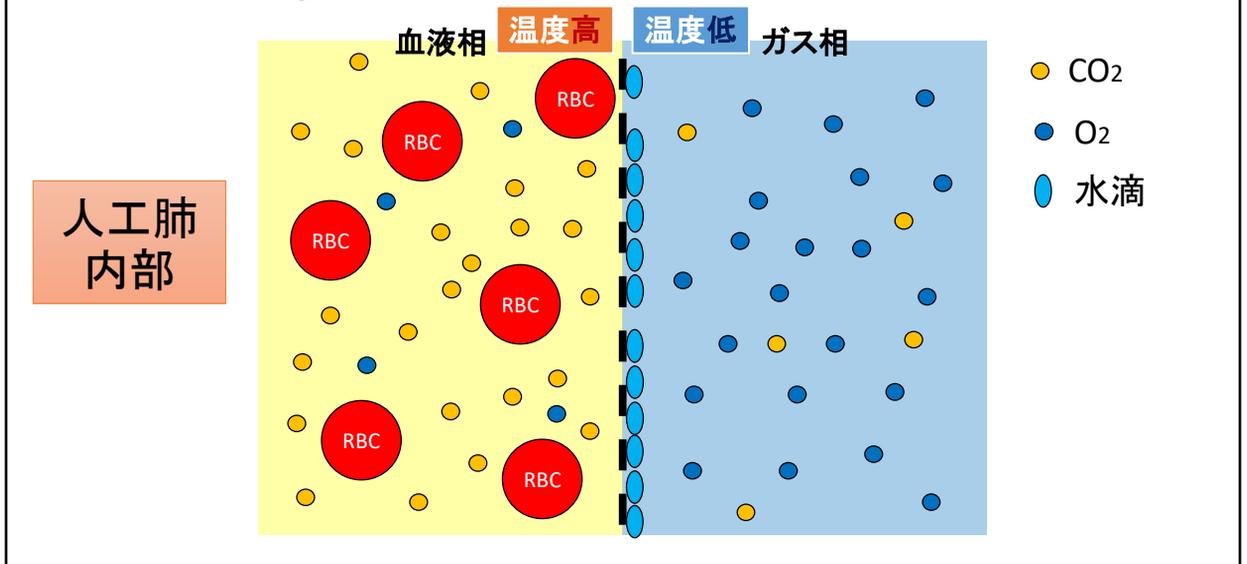


一つ目はウェットラングについてです。人工肺の内部では血液は温かいが、ガス冷たいという状況にあります。

冬場に窓に結露ができたことを経験したことがあると思いますが、人工肺内部でも同じ現象が起こります。

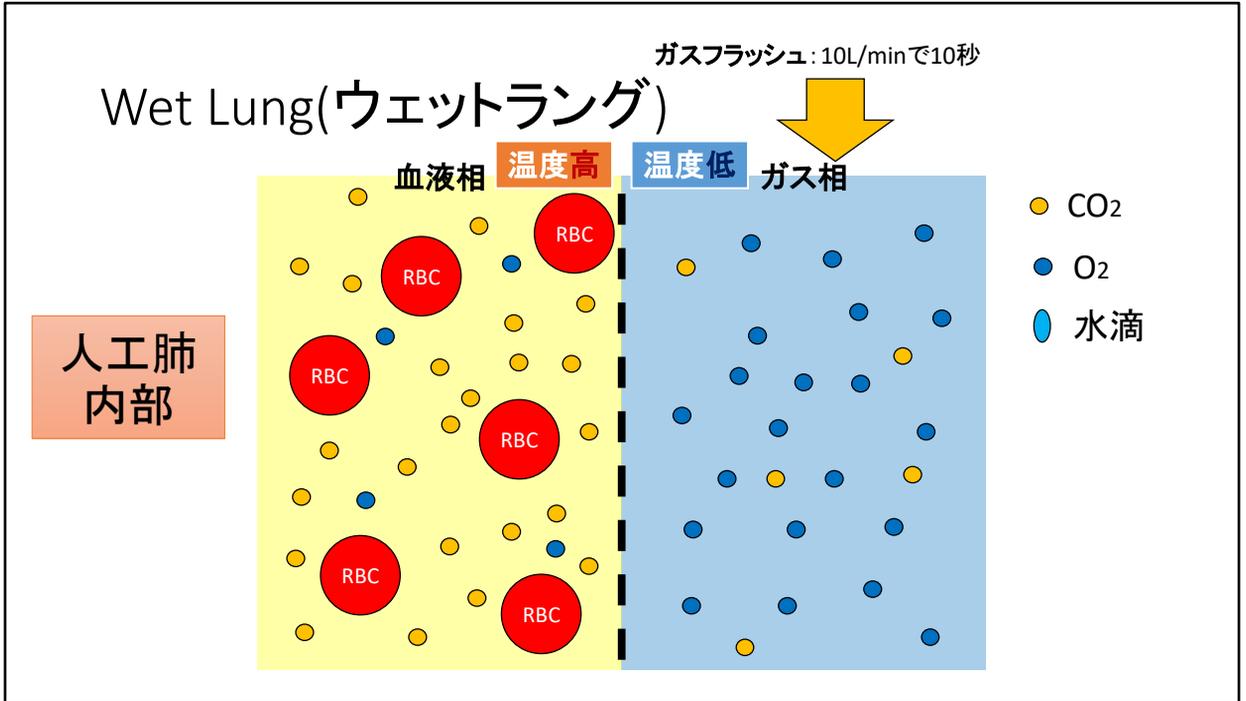
血液に接している空気は暖められ、さらに水分を含むこととなります。そのガスが再び室温により冷やされることで

Wet Lung(ウェットラング)



ガスに含まれる水分が露出し、結露生じます。

これがガス交換の為の穴を塞ぐことで人工肺のガス交換能が低下します。この状態をウェットラングと言います。



この現象はガスフラッシュで水滴を吹き飛ばすことで改善します。このため、皆さんには1時間に1回のガスフラッシュをお願いしているわけです。

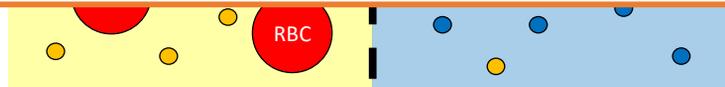
ガスフラッシュ: 10L/minで10秒

Wet Lung(ウェットラング)



血液相 温度高 温度低 ガス相

- ウェットラングは血液とガスの温度差で発生する。
- ウェットラングはガスフラッシュで改善する。
- ガスフラッシュは長時間行うとアルカローシスになる可能性があり、**脳血管や冠血管がスパズムを起こす可能性もあるため注意！！**



ウェットラングについてまとめると・・・。

ウェットラングは血液とガスの温度差で発生する。

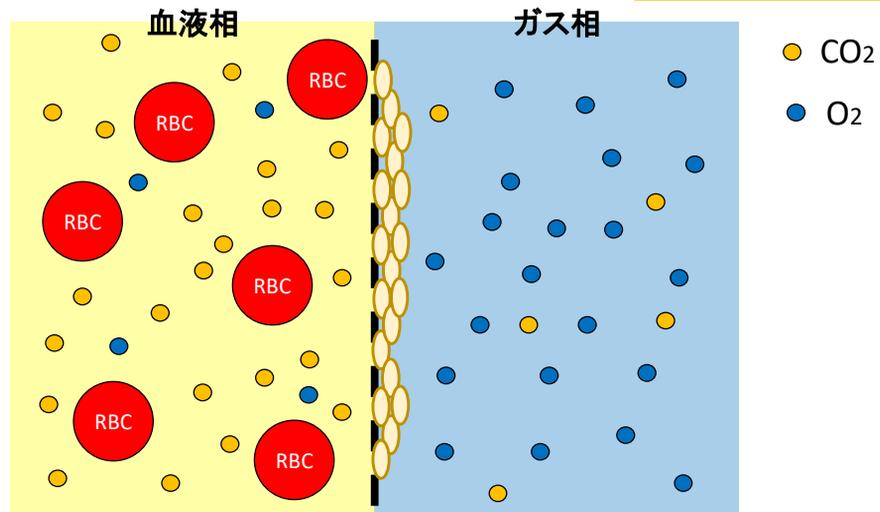
ウェットラングはガスフラッシュで改善する。

また、ガスフラッシュは長時間行うとアルカローシスになる可能性があり、脳血管や冠血管がスパズムを起こす可能性があるため注意！！

Serum Leak(セーラム リーク)

長時間経つと...

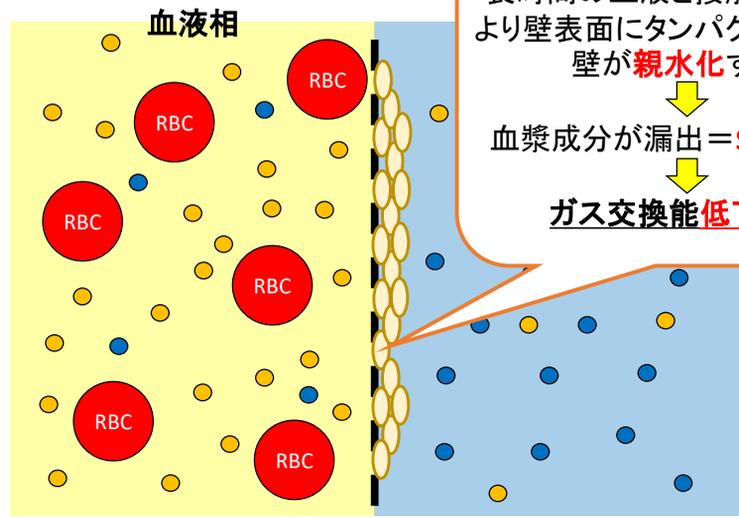
人工肺
内部



しかし、長時間使用していると血漿成分が漏れ出て穴を塞いでしまう現象が起こります。これをセーラムリークと言います。

Serum Leak(セーラム リーク)

人工肺
内部



長時間血液と壁が接触することにより、壁表面にタンパク吸着を生じ、壁が親水化します。これにより表面張力を失うことで血漿成分が漏出し、ガス交換能が低下する訳です。

Serum Leak(セーラム リーク)

血液相

長時間の血液と接触することにより膜表面にタンパク吸着が生じ、壁が**親水化**する。

- セーラムリークはPCPSを**長時間使用**することで発生する。
- セーラムリークは**不可逆性**である。(元に戻らない)
- セーラムリークによりガス交換能が低下した場合には即、**PCPSの回路交換**となる。

セーラムリークについてまとめると・・・

セーラムリークはPCPSを長時間使用することで発生する。

セーラムリークは不可逆性である。(元に戻らない)

セーラムリークによりガス交換能が低下した場合には

即、PCPSの回路交換となる。

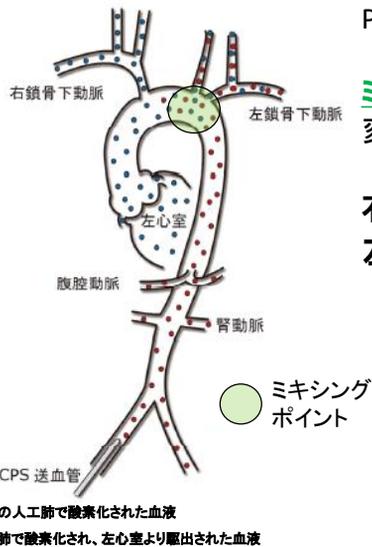
なお肉眼的所見として、セーラムリークの場合は黄色っぽい泡ブクが人工肺から出てきます。要注意所見です。

PCPS管理(血ガス評価)



次はPCPS管理下での血液ガスの評価について学んでいきましょう

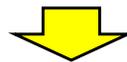
PCPS管理



PCPSからの血流は大腿動脈から逆行性に体へ送られる。

ミキシングポイントは自己心の拍出量とPCPSの流量によって変化する。

右手からの血液ガス→自己肺の呼吸能を反映
左手からの血液ガス→自己肺とPCPSの混合



< POINT!! >

自己肺の酸素化能は
右上肢の動脈血ガスやSpO₂で評価しよう。

ミキシングポイントとは、自己拍出とPCPSがぶつかる場所を指します。
右手から採血した血液ガスは通常自己肺の呼吸能を反映します。
だからPCPSのときは右手にAラインを入れ、採血しているはずですよ。

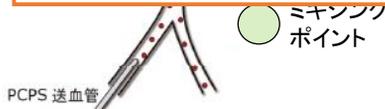
ここで言いたい重要ポイントは自己肺の酸素化能は右手の血ガスやSpO₂で評価すべきである。ということです。

PCPS管理

<例>

左手のAラインの血液ガスが $PO_2:100\text{mmHg}$ 、 $PCO_2:40\text{mmHg}$ だった。
⇒PCPSの血液が混じってるおかげでは？

- **頭**に流れる血液は酸素足りてる？
- **右腕**は酸欠になってない？
- **冠動脈**は自己肺で酸素化した血液だけやけど・・・大丈夫？



- PCPSの人工肺で酸素化された血液
- 自己肺で酸素化され、左心室より駆出された血液

<POINT!!>

自己肺の酸素化能は
右上肢の動脈血ガスや SpO_2 で評価しよう。

ではこの例題を考えてみましょう。

左手Aラインの血ガスが表記のとおりでした。一見良い値に見えますよね。

左手ということはミキシングポイントに近いということ。つまり、PCPSによる強力な酸素化血液が混じってこの値ということです。

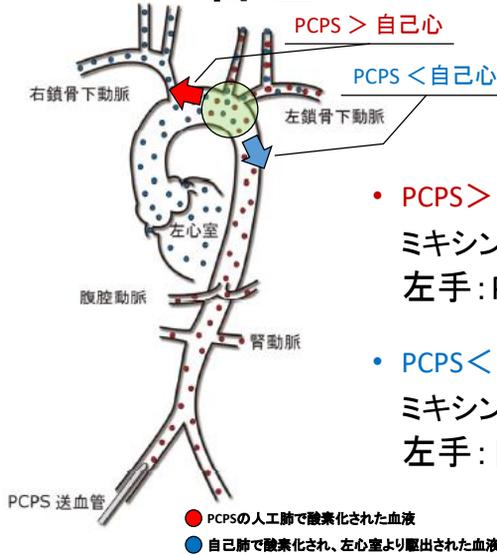
そうすると右手はすごく低い値なのではないですか？

右手が低い可能性があるということは・・・

頭に流れる血液の酸素は足りているか？右腕は酸欠になっていないか？冠動脈は酸欠なのでは・・・。

右手の血ガスが重要なのが分かって頂けますね。

PCPS管理



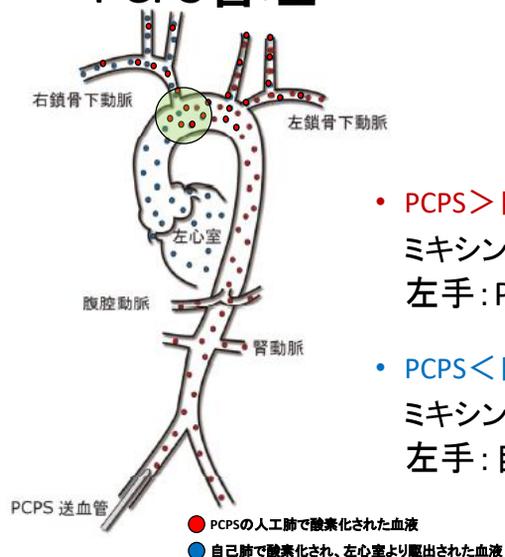
<POINT!!>

ミキシングポイントはPCPSの流量や自己心の拍出量によって変化する。

- **PCPS > 自己心** の場合
ミキシングポイントは**心臓側にシフト**
左手: PCPS還流血液 右手: PCPSと自己心の混合血
- **PCPS < 自己心** の場合
ミキシングポイントは**下肢側にシフト**
左手: 自己心血液 右手: 自己心血液

さて、ここで示す重要ポイントはミキシングポイントがPCPSの流量や自己心の拍出量によって赤矢印や青矢印の方向に変化する。ということです。
ではまず、PCPSの方が自己心より勝る場合を考えてみましょう。

PCPS管理



<POINT!!>

ミキシングポイントはPCPSの流量や自己心の拍出量によって変化する。

- **PCPS > 自己心** の場合
ミキシングポイントは**心臓側にシフト**
左手: PCPS還流血液 右手: PCPSと自己心の混合血
- **PCPS < 自己心** の場合
ミキシングポイントは**下肢側にシフト**
左手: 自己心血液 右手: 自己心血液

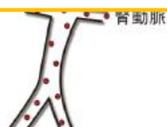
ミキシングポイントが心臓側に移動しましたね。この場合、左手で採取したAライン血液ではPCPS環流の血液データが得られ、右手で採取した血液ではPCPSと自己心の混合血データが得られます。

<例>

右手の血液ガスが $PO_2: 200\text{mmHg}$ $PCO_2: 32\text{mmHg}$ だった。

⇒人工呼吸器設定を下げた。

- **右手はPCPSと自己血の混合血！**
⇒PCPSのガスが良くて自己血のガスは悪いかも。(混じって分らんけど)
- **冠動脈血流は自己肺で酸素化した血液！**
人工呼吸器設定を下げたら冠動脈の還流血のガスは。。。



• PCPS < 自己血 場合

ミキシング 下肢側にシフト

左手・自己心血液 右手・自己心血液

PCPSのガス設定を下げる⇒**右手の血液ガスが問題無いことを確認**
⇒**変化が無ければ右手は自己肺依存**

では例題を見てみましょう。

右手のガスが表記のような値でした。数値が良かったので人工呼吸器の設定を下
げました。これは正しい判断でしょうか？

これは早計です。

右手はPCPSと自己血の混合血です。つまりPCPSの酸素化は良くて自己血の酸素化
が悪い可能性をはらんでいるのです。

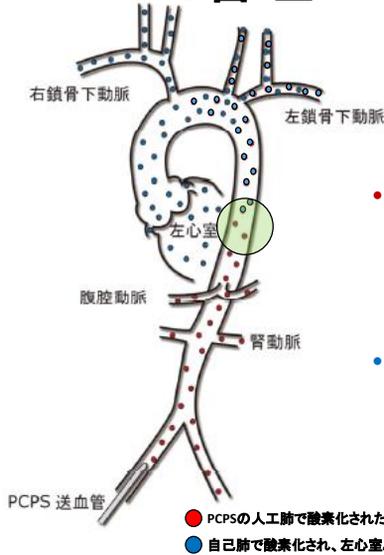
冠動脈に流れる血液は自己心の拍出がある場合には、自己肺で酸素化した血液で
あるため、人工呼吸器の設定を下げたら冠動脈の還流血酸素が減少します。

こういう場合はまずPCPSのガスを下げましょう。

PCPSのガス設定を変えても右手の血液ガスに変化がなければ、右手は自己肺で酸
素化された血液であることを示します。

つまりは冠動脈へ流れる血液のガスは人工呼吸器に依存するということが分かりま
すね。

PCPS管理



<POINT!!>

ミキシングポイントはPCPSの流量や自己心の拍出量によって変化する。

- **PCPS > 自己心** の場合
ミキシングポイントは**心臓側にシフト**
左手: PCPS還流血液 右手: PCPSと自己心の混合血
- **PCPS < 自己心** の場合
ミキシングポイントは**下肢側にシフト**
左手: 自己心血液 右手: 自己心血液

では次はPCPSより自己心が勝る場合を見てみましょう。

ミキシングポイントは下肢側に移動しましたね。左手も右手も自己心血液が環流します。

<例1>

- 左手の血ガス結果が悪かったのでPCPSのガス設定を上げた
→ **意味なし**

<例2>

- 左手の血ガス結果が悪かったので人工呼吸器の設定を上げた
→ 正しい！が、、、**自己肺の機能が悪かったら効果は低い。**



自己肺が悪い時は、PCPS流量を上げて
**ミキシングポイントを冠動脈付近までシフトさせる(=心臓空打ち状態)方が
効果が高い！！**

● 自己肺で酸素化され、左心室より駆出された血液

この場合の例題を見ていきましょう。

例1は、左手の血ガス結果が悪かったのでPCPSのガス設定を上げました。この判断はどうでしょう？

そうですね。左手も自己心から拍出された血液が流れるのでPCPSのガス設定を変更しても意味がありません。

では例2、左手の血ガス結果が悪かったので人工呼吸器の設定を上げた。これが正しいですね。

しかし、ここでポイントなのは自己肺の機能が悪かった場合は効果が薄いという点です。

そんなときはどうすればいいのか？

それは、PCPSの流量を上げてミキシングポイントを冠動脈付近まで移動させればよいのです。つまり心臓を空打ち状態にしてやればよいのです。

自己肺の機能が悪い時はこの対処が最も有効です。

ミキシングポイントの考え方をしっかりマスターしておきましょう。

PCPSTラブル(番外編)



最後にPCPSTラブルの番外編。

突然のpump停止

<手動式遠心ポンプ(ハンドクランク)>



① 遠心ポンプを
セット!



② 手回しハンドル
を回せ!



③ 3000~3500rpm
程度を目指して

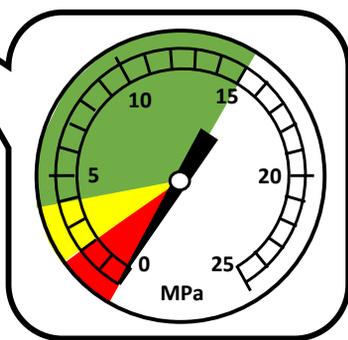
PCPSを動かしているのは機械です。故障で止まるときもありますし、バッテリーが無くなって停止することもあるでしょう。

そんな時はハンドクランクで一時的に循環を再開させ、時間稼ぎをしましょう。

まずは遠心ポンプをセット。手回しハンドルを矢印の方向に回転させましょう。回転させるとメーターが動くので、2000rpmくらいを目指すといいでしょう。

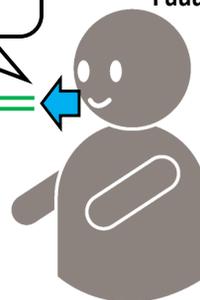
これで時間を稼いでいる間に、PCPS装置の交換をしましょう。

酸素ガスが無くなった！



自分の吐いた息を送り込めばOK!!

ガスライン



人工肺

<人間が吐いた息の組成>

- 窒素: 75~80%
- 酸素: 19~21%
- 二酸化炭素: 3~5%

移動中に酸素ガスが無くなった！なんていうトラブルもあります。
こんなときは慌てず、自分の息をガスラインを通して人工肺に送り込みましょう。
吐いた息には酸素が約21%程度含まれています。また二酸化炭素の含有量も僅かなのでガス交換は十分可能です。
これで時間を稼いでいる間に酸素ガスボンベの交換を行いましょう。

まとめ

- PCPSは循環サポートが目的！
- PCPSのシステムの理解は重要！
- 採血は右手か左手か？
ミキシングポイントはどこか？
によって血液ガスの評価と対応は大きく異なる！

まとめです。今日の話はPCPSは循環サポートが目的であるということが一つ。PCPSシステムを構成するデバイスごとのお話の一つ。もう一つはPCPS管理下において採血を右手から採るのか左手から採るのか。またミキシングポイントがどこかによって血液ガスの評価と対応は大きく異なるのですよ。というお話でした。これらを念頭において、皆さんの技術が更に洗練されたものになれば幸いです。



Thank you for your attention!!

以上です。御清聴ありがとうございました。