

# 人工心肺安全ハンドブック

改訂2版

一般社団法人 日本体外循環技術医学会

The Japanese Society of Extra-Corporeal Technology in Medicine

## 序文

医療機器の中でも人工心肺は血液循環とガス交換を担う生命維持装置であり、そのトラブルは患者生命を脅かす。人工心肺は単純なシステムではあるが、体外循環は導入・体温調整・心筋保護・心停止・部分的あるいは全身的な循環停止・血液回収・様々な投薬による循環や凝固制御・心拍再開と離脱とドラスティックに状況が変化する。そして、周辺機器や様々な医療職種が関与する。そこにはリスクが必ず潜んでおり、突然現れ、複雑に絡み合いながらトラブルの深みに陥ることもある。

体外循環のトラブルは、いつもと異なるちょっとした現象や数値で気が付くことも多い。体外循環を担当する技士はその異変を素早く察知し、原因を突き止め、直ちに対処しなければならない。トラブルから脱せなければ、大きな医療事故につながりかねないからである。もちろん日頃からの予防策も重要となる。体外循環技術の中で最も重要かつ難しいのがトラブル対応の技術なのである。

2003年に出版した「人工心肺安全ハンドブック-ケース 100 の分析と安全対策-初版」は、我々の体験や起こり得る事例を100例あげ、その対応や対策を解説した画期的な企画であった。今も医療現場や教育現場で活用されているが、20年弱の時を経て安全対策などで見直しが必要な時期と考え、今回さらに編者を加えての改訂となった。今後も皆様の手元に置き、日ごろの安全対策のみならず、緊急時の対応に役立てていただきたい。この人工心肺安全ハンドブックが体外循環に関与する皆様の一助になり、結果的に体外循環に命を託す患者が守られれば、幸いである。

2022年1月

日本体外循環技術医学会 理事長 百瀬 直樹

<b>A 気泡に関するトラブル</b> .....	1
1 送血回路からの空気の送り込み .....	1
2 脱血回路から静脈への空気の送り込み .....	2
3 ベント回路からの空気の送り込み.....	2
4 ベント挿入口からの空気の吸い込み .....	3
5 脳送血回路からの空気の送り込み.....	4
6 心筋保護回路からの空気の送り込み.....	5
7 返血中の空気の送り込み .....	6
8 人工肺からの気泡の吸い込み.....	6
9 送血フィルターからの気泡の吸い込み .....	7
10 脱血回路や陰圧部分から空気を引き込む.....	8
<b>B 停電や装置の故障、停止に関するトラブル</b> .....	9
1 手術室全体の停電.....	9
2 人工心肺装置の停電、電源故障.....	10
3 ローラーポンプの停止 .....	11
4 遠心ポンプの停止.....	12
5 ローラーポンプの故障 .....	13
6 遠心ポンプの故障.....	14
7 オクルーダー故障.....	15
8 冷温水槽の故障.....	16
9 患者モニタの故障 .....	17
10 温度モニタの故障 .....	18
11 血液流量計の故障.....	18
12 回路内圧計の故障 .....	19
13 酸素供給装置の故障、酸素供給の異常.....	20
14 体外循環用血液ガス分析装置の故障.....	21
15 ETCO <sub>2</sub> モニタの故障.....	22
16 rSO <sub>2</sub> 装置の故障.....	23

<b>C</b>	<b>回路の抜けや破損に関するトラブル</b> .....	25
1	送血回路が抜けた・接続が外れた .....	25
2	人工肺の破損.....	26
3	採血ラインなどの破損 .....	27
4	送血フィルターの破損.....	27
5	ポンプチューブの破損 .....	28
6	遠心ポンプの破損.....	29
7	熱交換器の破損.....	30
<b>D</b>	<b>血行動態や圧力の異常に関するトラブル</b> .....	32
1	血圧が低い.....	32
2	血圧が高い.....	33
3	送血カニューレと接続しても拍動が確認できない .....	33
4	送血テストで回路内圧が高い.....	34
5	体外循環を開始したら回路内圧が高い.....	35
6	体外循環中に突然回路内圧が上がる .....	36
7	体外循環中に回路内圧が大きく上下する .....	36
8	回路内圧が上がらない .....	37
9	血圧の左右差が著しい.....	38
10	拍動流の設定をしても脈圧が十分得られない .....	38
<b>E</b>	<b>ガス交換に関するトラブル</b> .....	40
1	膜型人工肺で酸素加できない.....	40
2	脱血回路の酸素飽和度が低い .....	41
3	送血回路の酸素飽和度が低い .....	42
4	炭酸ガス分圧が高い.....	42
5	医療ガスが供給されない .....	43
<b>F</b>	<b>装置の誤作動に関するトラブル</b> .....	45
1	ポンプが突然回転した .....	45
2	ポンプが突然停止した.....	45
3	貯血槽のレベルセンサーの誤動作 .....	46

4	気泡検出器の誤作動	47
5	送血クランパー(遮断機)が閉じたまま制御不能	47
6	送血クランパー(遮断機)が開いたまま制御不能	48
<b>G</b>	<b>吸引や脱血の異常に関するトラブル</b>	<b>49</b>
1	貯血レベルが安定しない	49
2	脱血が拍動する	49
3	貯血槽が空になった	50
4	貯血槽の内圧が上がる	51
5	体外循環開始前に貯血レベルが上がる	52
6	脱血回路に空気が流入する	52
7	脱血カニューレが抜けた	53
8	ベント量が異常に多い	54
9	ベントが引けない	55
10	貯血槽があふれた	55
11	脱血流量が少ない	56
12	陰圧コントローラ(VAVD 装置)の故障	57
<b>H</b>	<b>血液の凝固や詰まりに関するトラブル</b>	<b>58</b>
1	貯血槽に血栓が認められる	58
2	ヘパリンを追加しても ACT が延びない	58
3	心内貯血槽が詰まった	59
4	回路内残血が固まった	60
5	輸液バックが膨らむ	60
6	体外循環中に送血フィルターが詰まった	61
<b>I</b>	<b>血液や尿に関するトラブル</b>	<b>63</b>
1	アルカローシスになる	63
2	アシドーシスになる	63
3	カリウム値が上がる	64
4	カリウム値が下がる	65
5	カルシウム値が下がる	66

6	血糖値が高い.....	66
7	ヘマトクリット値が下がる.....	67
8	尿が赤い.....	67
9	尿量が少ない.....	68
<b>J</b>	<b>薬や輸血に関するトラブル</b> .....	<b>70</b>
1	体外循環中に誤ってプロタミンを投与した.....	70
2	薬物を投与したら血圧が低下した.....	71
3	昇圧剤を誤って投与した.....	71
4	異型輸血.....	72
5	大量の補液が必要になる.....	73
6	プロタミン投与時に血圧が低下した.....	73
<b>K</b>	<b>心筋保護に関するトラブル</b> .....	<b>75</b>
1	心筋保護液を注入しても心停止にならない.....	75
2	心筋保護液の組成を誤った.....	75
3	心筋保護液が空になる.....	76
4	心筋保護液の注入圧が高い.....	77
5	心筋保護液の注入圧が低い.....	78
6	心筋保護液バックに血液が流入する.....	79
7	心筋保護回路に空気が入った.....	79
8	心筋保護液供給装置の故障.....	80
<b>L</b>	<b>製品の汚染、破損に関するトラブル</b> .....	<b>82</b>
1	充填液や灌流血液の汚染.....	82
2	材料の滅菌切れ.....	82
3	材料の梱包の破損.....	83
4	術野回路の汚染.....	83
5	医療従事者への感染.....	84
<b>M</b>	<b>温度の異常に関するトラブル</b> .....	<b>86</b>
1	冷却できない.....	86
2	冷却が遅い.....	87

3 復温できない.....	87
4 復温が遅い.....	88
<b>N 血液濃縮回路に関するトラブル .....</b>	<b>90</b>
1 回路が抜けた・接続部が外れた・破損した.....	90
2 血液濃縮器の破損 .....	90
3 血液濃縮ポンプの故障 .....	91
4 血液濃縮器が凝血した.....	92
5 濾液が出ない・赤くなった .....	92
<b>O その他 .....</b>	<b>94</b>
1 再手術症例でのトラブル .....	94
2 人工心肺離脱後の re-Pump 時のトラブル.....	94
3 MUF でのトラブル .....	95

# A 気泡に関するトラブル

## 1 送血回路からの空気の送り込み

### 【具体例】

- ◇ 貯血槽が空になり、送血回路に空気が流入して患者に送る
- ◇ 送血回路に残留していた空気を患者に送り込む
- ◇ 回路の陰圧部分の破損により空気を吸い込み患者に送る

### 【結果】

- ◇ 全身臓器の空気塞栓症
- ◇ 大量の空気を送った場合は、極めて重大な事故となる

### 【原因】

- ◇ 脱血流量の低下による貯血槽の貯血レベル低下
- ◇ 貯血槽の貯血レベル監視不足
- ◇ 充填時の送血回路の気泡抜きが不完全
- ◇ カニューレの接続時に気泡抜きが不完全
- ◇ 送血ポンプの流入部の採血ポートなどの開放
- ◇ ポンプチューブあるいはポンプの流入回路の破損
- ◇ 遠心ポンプの流入部あるいは中心部の破損

### 【予防策】

- ◇ 貯血レベルの監視の徹底
- ◇ 貯血槽へのレベルセンサーの利用
- ◇ 送血回路の気泡検出器の利用
- ◇ 気泡除去に優れた人工肺の採用
- ◇ 気泡除去に優れた送血フィルターやエアトラップの採用
- ◇ 充填終了時の確認
- ◇ ポンプヘッドカバーの設置
- ◇ 回路設計の見直し

### 【対処】

- ◇ 少量の気泡を送った場合は患者の頭部を低くし、体温を低く保ち気泡の吸収に要する間、補助循環を行う。
- ◇ 大量の気泡を連続して送った場合は、直ちに体外循環を停止すると共に、患者の頭部を低くし、送血カニューレを抜去する。入った気泡の原因を排除したら冷却を行いながら上大静脈から逆行性脳灌流を開始する。大動脈からの気泡除去を積極的に行い、動脈から気泡が見られなくなったら再び送血カニューレを挿入して順行性送血を開始する。しばらく低体温で体外循環を続け気泡の吸収に要する間、補助循環を行う。



## 2 脱血回路から静脈への空気の送り込み

### 【具体例】

- ◇ 貯血槽が陽圧になり貯血槽内の空気を静脈へ送る
- ◇ 逆行性脳灌流時に貯血槽が空になり空気を送る

### 【結果】

- ◇ 肺塞栓、VSD 等のシャント症例では全身臓器の空気塞栓症
- ◇ 瞬時に大量の空気を送る危険性がある

### 【原因】

- ◇ 貯血槽、ベントポートの閉鎖
- ◇ 吸引補助脱血時の陰圧吸引チューブの閉鎖
- ◇ 貯血槽の陽圧安全弁の不備
- ◇ 貯血槽の監視不足

### 【予防策】

- ◇ 陽圧防止弁が内蔵された貯血槽の採用あるいは専用の陽圧防止弁の取り付け
- ◇ 実際の貯血槽の内圧および貯血レベルの監視の徹底
- ◇ 陽圧アラーム、レベルセンサーの利用
- ◇ 専用の VAVD 装置の使用

### 【対処】

- ◇ 体外循環を一旦止め、直ちに原因を排除する。そして、順行性に体外循環を再開し積極的に静脈内の気泡を除去する。この時脱血回路に大量の気泡がくることを念頭に体外循環を行う。冷却と生体肺の換気により気泡の吸収に要する間、補助循環を行う。さらに、右心房、右心室、肺動脈の気泡を積極的に除去する。
- ◇ 離脱時に肺機能が改善していなければ、肺機能を補助するため補助循環を続ける。

## 3 ベント回路からの空気の送り込み

### 【具体例】

- ◇ ベントポンプを回転させた途端ベントが逆流し空気を送る
- ◇ 落差ベントが逆流して空気を送る

### 【結果】

- ◇ 全身臓器の空気塞栓症
- ◇ 空気を送り込んでいることに気付きにくく、大量に送り込む危険性がある

#### 【原因】

- ◇ ベント回路の流入側と流出側を間違えてポンプチューブを掛けている
- ◇ ベントポンプの回転方向の間違い
- ◇ 落差ベント時の貯血槽内が陽圧
- ◇ ポンプベント時、不完全圧閉と貯血槽内が陽圧

#### 【予防策】

- ◇ ベント回路への安全弁の取り付け
- ◇ ベントの吸引テストを実施
- ◇ 組み立て後のポンプチューブ方向の確認
- ◇ ポンプ回転方向を明示
- ◇ 体外循環開始前のポンプ回転方向の確認
- ◇ 陽圧防止弁が内蔵された貯血槽の採用あるいは専用の陽圧防止弁の取り付け

#### 【対処】

- ◇ 直ちにベント回路を閉鎖あるいはポンプヘッドを停止させる。術者は大動脈遮断する。
- ◇ 大動脈ベントの場合、あるいは心拍動がある場合や大動脈が遮断されていない場合は、頸動脈を圧迫すると共に、患者の頭部を低くし、気泡の吸収に要する間、体温を低く保ちながら循環補助を行う。
- ◇ 著しく大量の気泡を送った場合は、体外循環を停止し患者の頭部を低くし、送血カニューレを抜去する。冷却を行いながら静脈回路から逆行性送血を開始する。大動脈からの気泡除去を積極的に行い、動脈から気泡が見られなくなったら再び順行性送血を開始する。体温を低く保ち気泡の吸収に要する間、補助循環を行う。経食道エコーで確認しながら左心室や左心房に残留する気泡を除去する。
- ◇ 大動脈が遮断されていて、気泡が心腔内のみにとどまっている場合は、大動脈の遮断解除を行う前に経食道エコーで確認しながら左心室や左心房に残留する気泡を除去する。

## 4 ベント挿入口からの空気の吸い込み

#### 【具体例】

- ◇ 過脱血状態でベント挿入部から空気を吸い込み、心臓内部に気泡が流入する
- ◇ ベントカニューレ挿入時に空気を吸い込み、心臓内部に空気が流入する

#### 【結果】

- ◇ 全身臓器の空気塞栓
- ◇ 心拍動により全身に空気を飛散する危険性がある
- ◇ 空気の流入状態を認知しにくい大量の空気が流入する危険性がある

#### 【原因】

- ◇ 心臓内部の圧力の著しい低下

- ◇ 過度のベント吸引
- ◇ 過度の脱血
- ◇ ベント挿入部のターニケットの緩み

#### 【予防策】

- ◇ ベント回路への安全弁の取り付け
- ◇ ベント回路、ベント吸引量の監視
- ◇ ベントされる血液の気泡の有無の監視
- ◇ 適正な CVP、心内圧の維持
- ◇ ベント挿入時、貯血レベルを下げ、心臓に容量の負荷を加える

#### 【対処】

- ◇ 左心室、左心房に空気引き込まれた場合、大動脈遮断を行う
- ◇ 大動脈が遮断されていても経食道エコーで確認しながら左心室や左心房に残留する気泡を除去する
- ◇ 大動脈が遮断されていない場合は、頸動脈を圧迫すると共に、患者の頭部を低くし、体温を低く保ち気泡の吸収を待つ
- ◇ ベント流量を減らすと共に、貯血レベルを下げて循環血液量を増やし CVP、心内圧を上昇させる
- ◇ 原因を解除したらベント回路から積極的に流入した気泡を除去する

## 5 脳送血回路からの空気の送り込み

#### 【具体例】

- ◇ 貯血槽が空になり脳送血回路から脳に空気を送る
- ◇ 人工肺から空気を吸い込み、脳送血回路より空気を送る
- ◇ 逆行性脳灌流中に空気を送る

#### 【結果】

- ◇ 脳の空気塞栓
- ◇ 極めて重大な事故となる

#### 【原因】

- ◇ 脱血流量の低下に伴う貯血槽の貯血レベル低下
- ◇ 貯血槽の監視不足
- ◇ 循環停止時に脳送血ポンプのみを動作させ人工肺が陰圧になる

#### 【予防策】

- ◇ 脳送血回路への気泡検知器の利用
- ◇ 脳送血回路への送血フィルターの利用

### 【対処】

- ◇ 直ちに脳送血回路を停止する
- ◇ 大量の空気を送った場合は、患者の頭部を低くし、脳送血カニューレを抜去する。冷却(頭部表面冷却および灌流血冷却)を行いながら静脈回路から逆行性脳送血を開始する。弓部三分枝からの気泡除去を積極的に行う。脳保護と気泡除去を行うためにも逆行性脳送血で手術操作を進める。
- ◇ 逆行性脳送血で気泡を送った場合は、直ちに順行性脳送血に切り替え、積極的に静脈の気泡を脱血回路に導き除去する。また、右心系にも空気が送られていることが予想されるため、これらを除去する操作も必要となる。

## 6 心筋保護回路からの空気の送り込み

### 【具体例】

- ◇ 心筋保護液バックが空になり空気を送る
- ◇ 血液併用心筋保護回路の血液側から空気が入り空気を送る
- ◇ 心筋保護液回路の空気抜きが不十分で気泡を送る
- ◇ 心筋保護液の圧測定ラインから気泡が流入する

### 【結果】

- ◇ 広範囲な心筋梗塞の発生
- ◇ 一時的な虚血による心不全や不整脈の発生

### 【原因】

- ◇ 心筋保護液バックの気泡残留
- ◇ 人工肺への気泡の侵入
- ◇ 気泡抜きの不徹底
- ◇ 心筋保護液圧測定ラインのレベル不足

### 【予防策】

- ◇ 心筋保護バックの気泡抜き
- ◇ 心筋保護液回路へのエアトラップの取り付け
- ◇ 心筋保護液回路への気泡検出器の取り付け

### 【対処】

- ◇ 直ちに心筋保護液の注入を止める
- ◇ 順行性注入の場合は、逆行性注入に切り替え積極的に気泡を除去する
- ◇ 逆行性注入の場合は、順行性注入に切り替え積極的に気泡を除去する
- ◇ 十分な心筋保護を行い、心筋の回復を十分に評価しながら離脱操作は慎重に行う。回復が不十分な場合は循環補助を続けながら IABP や補助循環への切り替えの準備を行う。

## 7 返血中の空気の送り込み

### 【具体例】

- ◇ 人工心肺回路内残存血が空になり送血回路から空気を送る
- ◇ 人工心肺回路内残存血が空になり MUF 回路から空気を送る

### 【結果】

- ◇ 脱血回路からであれば肺塞栓症
- ◇ 送血回路からであれば全身臓器の空気塞栓症
- ◇ 流量が少なくても長時間に渡って送り込む可能性が大きい

### 【原因】

- ◇ 監視不足

### 【予防策】

- ◇ ポンプで返血せず、バックに詰めて落差で返血する
- ◇ 気泡検出器の利用
- ◇ 返血ラインの監視

### 【対処】

- ◇ 動脈に大量に空気を送った場合は、直ちに人工心肺回路を充填しなおし、体外循環を再開し冷却、逆行性送血により気泡を除去する方法もある
- ◇ 静脈に大量に空気を送った場合では、順行性送血により積極的に脱血回路に気泡を導き除去する

## 8 人工肺からの気泡の吸い込み

### 【具体例】

- ◇ 吸引補助脱血のため貯血槽を陰圧にしたら人工肺から気泡を吸い込む
- ◇ 送血ポンプを止めて心筋保護液ポンプを操作したため人工肺から気泡を吸い込む
- ◇ 循環停止時に脳送血を開始したら人工肺から気泡を吸い込む
- ◇ 強力な拍動流体外循環を行ったら人工肺から気泡を吸い込む
- ◇ 酸素を流すと気泡を吸い込む

### 【結果】

- ◇ 全身もしくは部分的な臓器の空気塞栓症

### 【原因】

- ◇ 貯血槽の陰圧が遠心ポンプを経て人工肺に伝わる
- ◇ 貯血槽の陰圧が不完全な圧閉のローラーポンプを経て人工肺に伝わる

- ◇ 貯血槽が人工肺より低い位置にある
- ◇ 送血ポンプの逆回転により人工肺が陰圧になる
- ◇ 循環停止時に脳送血ポンプや心筋保護液ポンプが作動し人工肺が陰圧になる
- ◇ 送血ポンプが急激に停止することで人工肺が陰圧になる
- ◇ 人工肺ガス排出ポートが閉塞しガス層が陽圧になる

#### 【予防策】

- ◇ 吸引補助脱血の吸引開始手順の確認
- ◇ 停止時の遠心ポンプ流出部の確実な遮断
- ◇ ローラーポンプの確実な圧閉度調節
- ◇ 循環停止時の脳送血と心筋保護液ポンプの確実な停止の確認
- ◇ ベース流量をゼロにしないなど適正な拍動流の設定
- ◇ 人工肺排気ポートの開放の確認

#### 【対処】

- ◇ 直ちに体外循環を停止し、送血回路を遮断する。次に気泡を除去する。脳送血回路や心筋保護回路に気泡が流入していることも多く、これらの気泡抜きも行う。

## 9 送血フィルターからの気泡の吸い込み

#### 【具体例】

- ◇ 充填作業を終えたのに送血フィルターから気泡を吸い込む
- ◇ 吸引補助脱血のため貯血槽を陰圧にしたら送血フィルターのベントラインから気泡を吸い込む
- ◇ 強力な拍動流体外循環を行ったら送血フィルターのベントラインから気泡を吸い込む

#### 【結果】

- ◇ 全身もしくは部分的な臓器の空気塞栓症
- ◇ 体外循環セットアップの遅れ

#### 【原因】

- ◇ 送血フィルターのベントポートの閉め忘れ
- ◇ 貯血槽より高い位置に送血フィルターがある
- ◇ 貯血槽の吸引陰圧が送血フィルターに達している
- ◇ 循環停止時に脳送血ポンプや心筋保護液ポンプを作動し人工肺が陰圧になる
- ◇ 人工肺排出ポートが閉塞しガス層が陽圧になる
- ◇ 充填時の不十分な気泡除去

#### 【予防策】

- ◇ オートベントポートへの安全弁の取り付け

- ◇ セットアップ終了後の確認
- ◇ ベース流量をゼロにしないなど適正な拍動流の設定

#### 【対処】

- ◇ 気泡が二次側(流出側)に達していなければ、バント回路を開けて一次側(流入側)の気泡を除去する。
- ◇ 気泡が二次側に流入している可能性がある場合は、患者送血回路を遮断して再循環回路を用いて二次側の気泡を除去する。

## 10 脱血回路や陰圧部分から空気を引き込む

#### 【具体例】

- ◇ 脱血回路のコネクタが破損して気泡が流入する
- ◇ 貯血槽流入部のルアロック接続部から空気を吸い込む
- ◇ 貯血槽と送血ポンプを結ぶ回路から空気を吸い込む

#### 【結果】

- ◇ エアブロックによる脱血不良
- ◇ 送血回路への空気の流入

#### 【原因】

- ◇ 脱血回路のコネクタなどの割れ
- ◇ 脱血回路の接続不良
- ◇ ルアロック、ルアキャップの緩み
- ◇ 遠心ポンプ流入部の破損
- ◇ ローラーポンプに侵入した異物による回路の破損

#### 【予防策】

- ◇ 充填時の点検

#### 【対処】

- ◇ 脱血回路から多量に空気が入り、体外循環の継続が困難な場合は、問題個所を特定したら、体外循環を一旦止め、問題のあるコネクタなどを交換してから、体外循環を再開する。
- ◇ チューブの小さな傷や亀裂から空気が流入する場合は、滅菌された粘着性のビニールシートを貼り付けて対処することもできる。
- ◇ ポンプチューブに亀裂がある場合は体外循環を一旦止め、早急にポンプチューブを交換して体外循環を再開する。

## B 停電や装置の故障、停止に関するトラブル

### 1 手術室全体の停電

#### 【具体例】

- ◇ 手術室は無停電システムであったが停電となる
- ◇ 人工心肺のほか無影灯も消え体外循環中の手術室内が停電となる
- ◇ 手術室の廊下も含めた手術室全体の停電
- ◇ 病院あるいは地域全体の停電

#### 【結果】

- ◇ 体外循環が停止すれば血行動態が維持できない
- ◇ 暗くなることで貯血レベルが確認できず二次的な事故の発生の可能性がある
- ◇ 他の医療機器も動作しないため復旧しない場合は手術遂行が困難となる

#### 【原因】

- ◇ 電力会社からの供給停止と補助電源への切り替えの不備
- ◇ 院内電源設備の障害
- ◇ 過剰な使用電力による手術室メインサーキットブレーカの作動
- ◇ 災害の発生

#### 【予防策】

- ◇ 人工心肺の予備電源の確保
- ◇ 手動駆動装置の準備と手動操作の体得
- ◇ 懐中電灯などのバッテリー照明の準備
- ◇ メインサーキットブレーカの場所の把握
- ◇ 長い電源延長ケーブルの準備
- ◇ 使用機器の電力消費の確認
- ◇ 病院のインフラ設備の把握

#### 【対処】

- ◇ 懐中電灯などで貯血レベルを確認する。昼間の場合は屋外の光を入れる。
- ◇ 送血ポンプがバッテリー駆動されていることを確認する。動作していない場合は手動作に切り替え、貯血レベルを確認し停電前の貯血レベルを維持する。
- ◇ 隣の手術室や廊下が停電していない場合は、メインブレーカの作動と判断して、消費電流の大きな装置をコンセントからはずし、メインブレーカをリセットする。
- ◇ 全ての手術室が停電している場合は、電源設備を管理している部署に連絡し復旧を待つ。
- ◇ 手術室全体が停電すると他の医療スタッフを含めて動揺が広がりやすい。しかし、通常一分以内に復旧することが多いため、他のスタッフも含め、復旧する可能性が高いことを説明し、冷静に対処する。



## 2 人工心肺装置の停電、電源故障

### 【具体例】

- ◇ 人工心肺装置のみの電力供給が止まる
- ◇ 人工心肺装置と同じコンセントから繋いだ医療機器の電力供給が止まる
- ◇ 送血ポンプのみ停止する

### 【結果】

- ◇ 体外循環が停止すれば血行動態が維持できない

### 【原因】

- ◇ 電力の過剰消費によるサーキットブレーカの作動
- ◇ 短絡(ショート)によるサーキットブレーカの作動
- ◇ 漏電絶縁不良によるサーキットブレーカの作動
- ◇ 電源ケーブルの抜け
- ◇ 電源端子や内部コードの破損
- ◇ 人工心肺装置内部の電源回路の故障
- ◇ 送血ポンプの電源回路の故障

### 【予防策】

- ◇ 人工心肺装置の電源の独立化とその他の電源確保のルール化
- ◇ 人工心肺システム全体のバッテリー動作の確認
- ◇ 手動駆動装置の準備と手動操作の体得
- ◇ 予備の送血ポンプの準備
- ◇ 手術室配電盤のサーキットブレーカの位置の確認
- ◇ 人工心肺装置内部のサーキットブレーカの位置の確認
- ◇ 予備の人工心肺装置用電源ケーブルの準備

### 【対処】

- ◇ 送血ポンプがバッテリー駆動をしていることを確認する。動作していない場合は手動操作に切り替え、貯血レベルを確認し停電前の貯血レベルと血圧を維持する。
- ◇ 送血ポンプのみ電源供給が停止している場合は、送血ポンプの電源を落とし、再投入してみる。回復しない場合はポンプの故障と判断し、予備の送血ポンプと交換するか、サクションポンプに送血回路のポンプチューブを掛け送血を開始する。
- ◇ 人工心肺装置全体が停電している場合は、動作している医療機器の電源コンセントに繋ぎ換える。または、人工心肺装置と同じコンセントに接続されている機器をすべて外し、配電盤のサーキットブレーカをリセットする。ブレーカスイッチは中間位置に留まっていることがあるので、必ず ON→OFF→ON の操作を行う。
- ◇ 復旧しない場合は、人工心肺装置内部のサーキットブレーカを点検する。次に電源ケーブルを交換する。復旧しない場合は、人工心肺装置の電源システムの故障と判断し、手動操作を行いながら、早急に体外循環を再開できる ECMO などの補助循環システムへ切り替える。

### 3 ローラーポンプの停止

#### 【具体例】

- ◇ 送血用ローラーポンプの停止

#### 【結果】

- ◇ 体外循環が停止し血行動態が維持できない

#### 【原因】

- ◇ 停電
- ◇ スイッチ類の不用意な操作
- ◇ ポンプチューブの巻き込み
- ◇ ローラーによる異物の巻き込み
- ◇ ドライブベルトのすべり
- ◇ ドライブベルトの断裂
- ◇ 過度な圧閉などによるモーターの過熱
- ◇ ローラーポンプ内部の制御系の誤動作
- ◇ 安全装置や外部制御装置の誤作動
- ◇ その他の故障

#### 【予防策】

- ◇ 内部バッテリーの適切な充電と定期的な交換
- ◇ 予備電源の準備
- ◇ 予備ポンプの準備
- ◇ ハンドクランクの準備と手動操作による送血の体得
- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ ポンプカバーの適切な閉鎖
- ◇ 確実なチューブ固定
- ◇ 適正な圧閉度調節
- ◇ 制御装置の確実な設定と解除方法の確認

#### 【対処】

- ◇ 送血用ローラーポンプが停止した場合は、過度に脱血しないように貯血レベルを維持するように操作する。
- ◇ 送血回路や脱血回路が遮断されたまま送血が復旧した場合は、二次的な事故を起こす可能性があるため、確認してから送血を開始する。装置によってはダイヤルをゼロに戻してから送血を再開させる。
- ◇ 操作パネルのランプや表示が消えている場合は、停電の可能性が高く、電源系の点検を行い、原因を突き止めて対処する。(B-2『人工心肺装置の停電、電源故障』参照)
- ◇ 不用意に電源スイッチや停止ボタンが押されていないか点検する。ポンプカバーがきちんと閉じられていないとポンプが停止する機種もある。

- ◇ ポンプチューブがローラーガイドピンに挟まれていないこと、ポンプ内部でチューブが折れ曲がっていないこと、異物が挟まっていないことを確認する。このような場合、多くの機種では「過負荷(over load)」と表示される。問題がある場合は排除するが、ポンプが回転を再開した際に指や手が巻き込まれない様にポンプの停止操作を確認してから排除する。
- ◇ ポンプ内部の制御系が誤作動している場合は、一旦ポンプの電源を落とし、再投入することで多くの場合復旧する。
- ◇ 最近の機種では気泡検知器やレベルセンサー、送血圧力計によってポンプの回転を制御できるため、これらの動作、あるいは誤作動により停止している場合がある。このような場合、原因を解除するか、もしくは制御装置を切り離す操作によりポンプの回転を復旧させることができる。
- ◇ 復旧しない場合は、ハンドクランクを用いて手動操作を行いながら、予備ポンプへの交換もしくはサクションポンプへのチューブの架け替えなどを行う。(架け替え可能なレイアウトなど、事前に考慮しておく)

## 4 遠心ポンプの停止

### 【具体例】

- ◇ 送血用遠心ポンプの停止

### 【結果】

- ◇ 体外循環が停止し血行動態が維持できない
- ◇ ポンプの停止と同時に送血回路からの逆流も発生する

### 【原因】

- ◇ 停電
- ◇ スイッチ類の不用意な操作
- ◇ ポンプヘッドの外れ
- ◇ ポンプヘッドとモーターとの磁気結合の不良
- ◇ ポンプヘッドの破損
- ◇ 駆動ケーブルの断線や接触不良
- ◇ 制御系の誤動作
- ◇ 制御装置の誤動作
- ◇ その他の故障

### 【予防策】

- ◇ 内部バッテリーの適切な充電と定期的な交換
- ◇ 予備電源の準備
- ◇ ポンプヘッド・モーター・駆動装置などを含む予備ポンプの準備
- ◇ ハンドクランクの準備と操作の体得
- ◇ 始業点検と定期点検の実施

- ◇ ヘッド内部の回転子の確認
- ◇ 異常な振動の有無の確認
- ◇ 制御装置の確実な設定と解除方法の確認
- ◇ 送血回路への逆流を防止するクランパー(遮断機)の利用や逆流防止弁の組み込み

#### 【対処】

- ◇ 遠心ポンプが停止した場合は、血液が送血回路から逆流するため直ちに送血回路を遮断する。また、脱血回路からも過度に脱血しないように貯血レベルを維持する必要がある。
- ◇ 遠心ポンプのみの操作パネルのランプや表示が消えている場合は、遠心ポンプ駆動装置のサーキットブレーカが作動している可能性がある。
- ◇ ポンプの電源スイッチや停止ボタンが不用意に押されていないか点検する。
- ◇ 内部の制御系が誤作動している場合は、ポンプの電源を一旦落とし、再投入することで復旧することもある。
- ◇ ポンプヘッドから異常音がする場合は、モーターとの磁気結合が困難になっている場合が多い。モーターの回転を一旦止め、ポンプヘッドを正しく固定して回転をさせる。改善しない場合はポンプヘッド内部の回転子が破損して回転困難となっている。この場合はポンプヘッドの交換が必要となる。
- ◇ 気泡検知器やレベルセンサー、送血圧力によりポンプの回転を制御できるため、これらの動作、あるいは誤動作により回転数が低下、停止している場合がある。このような場合、制御を解除することでポンプの回転を復旧させることができる。
- ◇ 復旧しない場合は、ハンドクランクを用いて手動操作を行いながら、予備ポンプへの交換もしくはサクションポンプへのチューブの架け替えなどを行う。(架け替え可能なレイアウトなど、事前に考慮しておく)
- ◇ ドライブモーターを外部にしている場合は、駆動ケーブルの断線や接触不良も点検する必要がある。

## 5 ローラーポンプの故障

#### 【具体例】

- ◇ 回転軸の焼きつき
- ◇ ドライブベルトの断裂やすべり
- ◇ 流量表示の故障
- ◇ モーターの過熱
- ◇ 電子部品の損傷
- ◇ ポンプチューブの破損
- ◇ ヘッドカバーセンサーの故障

#### 【結果】

- ◇ 体外循環が停止し血行動態が維持できない
- ◇ ポンプチューブの流入側が破損した場合は、空気を引き込む

### 【原因】

- ◇ 電源の不備
- ◇ 老朽化
- ◇ 過度な圧閉度による過負荷
- ◇ ポンプチューブのポンプヘッドへの不適切なセッティング
- ◇ ポンプチューブの巻き込み
- ◇ ヘッド内部への異物の侵入

### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 適切な圧閉度調節
- ◇ ヘッドカバーの取り付けと点検、ヘッドカバーとポンプの連動確認
- ◇ 予備のポンプの準備

### 【対処】

- ◇ 予備のポンプの交換手順の体得
- ◇ エマージェンシーキットの準備。滅菌されたポンプチューブやコネクタ、ハサミ、チューブ鉗子、ドレッシング材、シーツ、消毒薬などの準備
- ◇ 停電や誤作動と違い故障の場合は、復旧する見込みが少ないため、手動操作を行いつつ装置の交換作業を進める。(B-3『ローラーポンプ停止』参照)交換作業は循環が停止していることを配慮して素早く行う。
- ◇ ポンプチューブが破損した場合は、気泡の有無を確認し、気泡が流入していれば対処が必要になる。ローラーポンプにかかる部分のチューブ長に余裕があれば、一旦ポンプを止め、チューブをずらし破損部分にドレッシング剤などを貼付し、ポンプを再開させる。前述の方法でも対処が無理な場合やチューブ長に余裕がなければ、ローラーポンプチューブを交換する。これらの対応は、汚染と気泡の混入に注意しつつ、循環が停止していることを配慮して素早く交換する。
- ◇ 流量が表示されない場合は、回転表示もしくはツマミの回転表示により流量を算出する。
- ◇ ヘッドカバーセンサーの連動を切って注意しながら動作させる。

## 6 遠心ポンプの故障

### 【具体例】

- ◇ ドライブモーターの過熱
- ◇ 駆動装置の故障
- ◇ 流量計の故障
- ◇ 電子部品の故障
- ◇ ケーブル類の断線
- ◇ ポンプヘッドの破損

#### 【結果】

- ◇ 体外循環が停止した場合は血行動態が維持できない
- ◇ ポンプの停止と同時に送血回路からの逆流も発生する
- ◇ ポンプヘッドの陰圧部分が破損した場合は空気を引き込む

#### 【原因】

- ◇ 電源の不備
- ◇ 老朽化
- ◇ ケーブルの引っ掛けやつぶれ、巻き込み
- ◇ ポンプヘッドへの衝撃
- ◇ 溶剤によるポンプヘッドのひび割れ

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ ポンプヘッドの丁寧な扱い
- ◇ ポンプヘッドを溶剤で拭かない
- ◇ 予備のポンプの準備

#### 【対処】

- ◇ 予備のポンプの交換手順の体得
- ◇ 滅菌されたポンプヘッドとハサミの準備と交換手順の体得
- ◇ 停電や誤作動と違い故障の場合は、復旧する見込みが少ないため、手動操作を行いつつ装置の交換作業を進める。(B-4『遠心ポンプ停止』参照)交換作業は循環が停止していることを配慮して素早く行う。
- ◇ ポンプヘッドが破損した場合は、気泡の有無を確認し、気泡が流入していれば適切に対処し、ポンプヘッドを交換する。この時、汚染と気泡の混入に注意しつつ、循環が停止していることを配慮して素早く交換する。

## 7 オクルーダー故障

#### 【具体例】

- ◇ オクルーダーが閉じたまま動かない
- ◇ オクルーダーが閉じない

#### 【結果】

- ◇ 脱血が出来ない、もしくは十分な脱血流量が得られない(脱血側)
- ◇ 送血できない、もしくは十分な送血流量が得られない(送血側)

#### 【原因】

- ◇ 装置の故障

### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施

### 【対処】

- ◇ 解除方法や手動操作の確認
- ◇ オクルーダーが閉じたまま動かない場合は、手動で解除する。解除できない場合は閉め付け部分を分解するか、回路を切断して切り離しコネクタで切断部分を繋げて体外循環を開始する。

## 8 冷温水槽の故障

### 【具体例】

- ◇ ヒーターが動作しない
- ◇ 冷却装置が動作しない
- ◇ 水温が下がらない
- ◇ 水温が上がらない
- ◇ 熱交換水が循環しない
- ◇ 十分な水の流量が得られない
- ◇ 電源が入らない

### 【結果】

- ◇ 冷却や復温の遅れによる手術の遅れ
- ◇ 復温が不能であれば体外循環から離脱できない

### 【原因】

- ◇ 電源コンセントのサーキットブレーカの作動
- ◇ 機器内部のサーキットブレーカの作動
- ◇ ヒーター回路の障害
- ◇ コンプレッサーの障害
- ◇ 冷媒ガスの漏れ
- ◇ 循環水フィルターの目詰まり
- ◇ 電磁弁の故障
- ◇ 循環水ポンプの故障

### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 循環水フィルターの洗浄予備の冷温水槽の準備

#### 【対処】

- ◇ 冷温水槽の電源が入らない場合は、ブレーカーが作動した可能性がある。別な系統の電源コンセントで試してみる。
- ◇ 煙が出るような致命的な故障の場合は電源を OFF にてコンセントを抜く。
- ◇ 水槽温度が下がらない場合は、冷水槽に氷を入れて冷却する。
- ◇ 水槽温度が上がらない場合は、温水槽に給湯の温水を注いで温める。この時の水温が 42℃を超えないように注意する。
- ◇ 送水ポンプが動作しない場合や電磁弁の動作不良で熱交換水が流れない場合は、予備の冷温水槽に切り替える。予備の冷温水槽がない場合は、ローラーポンプや遠心ポンプを用いて温水を熱交換器に循環する。
- ◇ バケツに氷水や温水を入れローラーポンプや遠心ポンプを用いて温水を熱交換器に循環する方法でも冷却・復温ができるが、温度管理に注意が必要である。
- ◇ 冷却できない場合は、常温体外循環で行うことも検討する。
- ◇ ECMO 装置等の冷温水槽を使用する。

## 9 患者モニタの故障

#### 【具体例】

- ◇ 生体情報の確認ができない

#### 【結果】

- ◇ 血行動態が把握できず、手術の進行を妨げる

#### 【原因】

- ◇ 電源の不備
- ◇ 患者モニタの故障、監視装置の故障
- ◇ 電源コンセントの外れ
- ◇ サーキットブレーカの作動

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施

#### 【対処】

- ◇ 電源が入らない場合は接続している電源コンセントを換えてみる。復旧しない場合は予備の患者モニタや移動用患者モニタなどに接続を替えモニタする。
- ◇ 心拍動下の血圧は非観血式(マンシェット)の血圧を参考にする。心臓停止下ではある程度送血圧から推定できるが、離脱までには可能な限り確実な患者血圧を知る必要がある。



## 10 温度モニタの故障

### 【具体例】

- ◇ 温度が表示されない
- ◇ 温度表示が不安定
- ◇ 誤った温度が表示される

### 【結果】

- ◇ 復温状態、冷却状態が把握できない。適切な体温調節ができない。

### 【原因】

- ◇ 電源の不備
- ◇ 温度モニタの故障
- ◇ 温度センサー(サーミスタ)の損傷
- ◇ 接続ケーブルの断線
- ◇ 接続端子の接触不良
- ◇ 電気メスなどのノイズの影響
- ◇ 温度センサーの抜け

### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 端子の洗浄

### 【対処】

- ◇ 温度モニタ(装置)が動作していない場合は、電源を確認する。モニタが作動している場合は温度センサーや接続ケーブルを交換する。
- ◇ 表示が不安定な場合は、端子を洗浄し接続しなおす。電気メスなどの使用と同期して表示が不安定になる場合は、電気メスなどを使用していない時の値を参考にする。
- ◇ 値が室温に近い場合は、温度センサーが測定箇所から抜けていないか点検する。
- ◇ 冷却時に低過ぎ、復温時に高過ぎる場合は、温度センサーが抜けブランケット(手術台マット)に接触している可能性がある。

## 11 血液流量計の故障

### 【具体例】

- ◇ 血流計が表示されない
- ◇ 明らかに異常な流量が表示される

### 【結果】

- ◇ 循環動態が把握できない

- ◇ 適切な流量調節ができない

#### 【原因】

- ◇ 電源の不備
- ◇ 流量計の故障
- ◇ 流量計のケーブル断線

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 予備の流量計の準備
- ◇ 予備のセンサーやケーブルの準備

#### 【対処】

- ◇ 流量計が動作していない場合は、電源および電源ケーブルを確認する。
- ◇ 超音波センサーの場合は、ゲルを塗りなおしてセンサーを取り付ける。
- ◇ 電磁センサーの場合は、洗浄し接続しなおす。電磁センサーは電気メスなどの使用と同期して表示が不安定になるため、電気メスなどを使用していない時の値を参考にする。
- ◇ センサーとの接続ケーブルなども点検し、問題があれば交換する。
- ◇ 血流量が重要なモニタであるが、ある程度は患者血圧や回路内圧、遠心ポンプ回転数などから推察することも可能である。
- ◇ ECMO 装置、血液学的パラメータセル等の流量計で代用する。

## 12 回路内圧計の故障

#### 【具体例】

- ◇ 圧力計が動作しない
- ◇ 明らかに異常な圧力が表示される
- ◇ 圧力計に血液が流入する
- ◇ 圧力計から気泡が流入する

#### 【結果】

- ◇ 循環動態が把握できない
- ◇ 適切な圧力調整ができない

#### 【原因】

- ◇ 電源の不備
- ◇ 圧力計の故障
- ◇ 圧力計のケーブルの故障
- ◇ ゼロバランスの設定不良
- ◇ 感度の設定不良

- ◇ 圧力センサーの異常
- ◇ 圧力測定ラインの破損

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ ゼロバランス設定の実施
- ◇ 圧ラインへ保護フィルター(疎水性膜フィルター)の取り付け
- ◇ 予備の圧力計の準備
- ◇ 予備のセンサーやケーブルの準備

#### 【対処】

- ◇ 圧力計が動作していない場合は電源および電源ケーブルを確認する
- ◇ センサーとの接続端子なども点検し、問題があれば交換する
- ◇ 表示される値に異常がある場合は、センサーをいったん大気に開放しゼロバランスが正しく行われているか確認する。
- ◇ 各種圧力は重要なモニタであるが、ある程度は回路の堅さや、遠心ポンプの回転数と流量の関係などから推察することも可能である。
- ◇ 移動用モニタの観血的血圧計などで代用を検討する。

## 13 酸素供給装置の故障、酸素供給の異常

#### 【具体例】

- ◇ 酸素分圧が異常に低い
- ◇ 炭酸ガス分圧が異常に高い
- ◇ 酸素流量が上がらない
- ◇ 酸素ブレンダーから音がする

#### 【結果】

- ◇ ガス交換が困難になれば、低酸素血症となり重大な事故となる

#### 【原因】

- ◇ 酸素流量計の故障
- ◇ 酸素ブレンダーの故障
- ◇ ガス回路の折れ曲がり
- ◇ ガスフィルターの目詰まり
- ◇ ガス配管の異常
- ◇ 酸素供給の停止

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施

- ◇ ガス交換が適切であるか常に送血、脱血の色を確認する
- ◇ 連続ガスモニタの取り付け
- ◇ 電子ブレンダーを使用している場合は、不安定な流量、酸素濃度があることを理解する

#### 【対処】

- ◇ 血液の色、酸素分圧や炭酸ガス分圧に異常がある場合は直ちに酸素流量と濃度設定を確認する。
- ◇ 酸素が流れている場合は酸素流量計と人工肺を結ぶ酸素チューブの接続を確認する。
- ◇ 酸素が流れていない場合は配管をチェックする。
- ◇ 酸素ブレンダーから笛のような音がするのは、酸素もしくは圧縮空気のラインが外れているため、双方の配管と接続をチェックする。圧縮空気が停止している場合は純酸素で、酸素が停止している場合は空気で換気することになるため、酸素分圧をモニタしながら流量によって調節する。
- ◇ 酸素・圧縮空気双方の供給が停止している場合は酸素ポンプを使用するが、酸素ポンプの残量に注意する。
- ◇ ポンプで供給することができなくなった場合は、酸素チューブから息を吹き込むか、予備のローラーポンプを用いて空気を送ることで最低限度のガス交換を維持する。

## 14 体外循環用血液ガス分析装置の故障

#### 【具体例】

- ◇ 送血・脱血の酸素飽和度(酸素分圧)が表示(異常値表示)されない
- ◇ ハマトクリット(ヘモグロビン)値が表示(異常値表示)されない
- ◇ PH・電解質が表示(異常値表示)されない

#### 【結果】

- ◇ 酸素加・酸素需要量が確認できない
- ◇ ハマトクリット(ヘモグロビン)が確認できない
- ◇ PH・電解質が確認できない
- ◇ 採血による血液学分析が必要となる

#### 【原因】

- ◇ 本体の故障
- ◇ ケーブルの(不完全)断線
- ◇ センサーとケーブルの接続不良、接続間違い
- ◇ 適正なセンサーの校正を行っていない
- ◇ センサー(主に脱血側)に気泡が混入
- ◇ センサーの破損
- ◇ センサー取り付け位置の間違い

### 【予防策】

- ◇ 本体(ケーブル)の定期的点検、使用前点検
- ◇ センサーの校正タイミング・手技の統一
- ◇ 脱血回路にエアを引くような過度な落差・吸引圧をかけない
- ◇ 異常値アラームの設定
- ◇ 動静脈回路(接続部)に異径センサーセルの使用

### 【対処】

- ◇ 本体・ケーブルの故障であった場合は予備機(予備のケーブル)に取り換える。無い場合はチューブに取り付ける酸素飽和度測定装置があれば使用を検討。
- ◇ 校正値と血液学分析装置と比較し整合性が取れない場合はもう一度校正して整合性を取る。脱血側にエアの存在が確認できる場合は、エアの無い状態で校正を行う。
- ◇ 数値の異常を認める場合は、すぐに送血の血液ガス分析を行うと、血液学分析の結果が異常な場合は原因を特定する。特に酸素加が異常な場合は自己肺、人工肺への酸素供給の確認をできるだけ短時間で行う。
- ◇ センサー(ケーブル)の取り付け間違いを確認できた場合は、適正な接続に戻す。センサーの取り付け間違いの場合は、血液ガス分析の回数を増やし間欠的血液ガス分析を行い適正な血液ガスを維持する。

## 15 ETCO<sub>2</sub> モニタの故障

### 【具体例】

- ◇ ETCO<sub>2</sub> ユニット(装置)の故障
- ◇ ETCO<sub>2</sub> の数値が異常に高い(低い)

### 【結果】

- ◇ ETCO<sub>2</sub> の数値、波形が表示されない
- ◇ 数値に合わせ換気を行うことにより、低換気・過換気となる

### 【原因】

- ◇ センサーの校正トラブル(手技・手法・条件等)
- ◇ センサーの汚れ・水滴付着
- ◇ サンプリングラインの緩み、閉塞
- ◇ センサーの取り付け位置の間違い・ケーブルの断線

### 【予防策】

- ◇ ETCO<sub>2</sub> 定期(使用前)点検
- ◇ サイドストリームの場合はサンプリングラインの適切な位置への取り付け・コネクタの緩みの確認
- ◇ メインストリームの場合はケーブル・センサーの適切な位置への取り付け

- ◇ 呼気による結露の防止できる位置への装着・サンプリングライン位置

#### 【対処】

- ◇ 装置の故障な場合はユニットの交換・単独 ETCO<sub>2</sub> モニタの装着
- ◇ サンプリングライン・コネクタの閉塞はずれの確認
- ◇ センサー-, ケーブルのはずれ、位置の確認
- ◇ 結露・水滴の除去、人工鼻より機械側にセンサーの配置

## 16 rSO<sub>2</sub> 装置の故障

#### 【具体例】

- ◇ 表示されない
- ◇ 記録媒体に記録されない
- ◇ 自動記録装置に数値が転送されない

#### 【結果】

- ◇ センサー貼付部位の低灌流が検知できない→低酸素状態の発見が遅れることによる合併症の発現
- ◇ 手術時の記録がないことによる術後の検証困難

#### 【原因】

- ◇ センサーを密着させていない
- ◇ 長時間使用による粘着部分の乾燥
- ◇ 貼り直しなどによる固定テープの粘着能の低下
- ◇ センサープローブ自身の自重による浮き上がりやずれ
- ◇ 手術台の傾き動作に伴うプローブの引きつれ
- ◇ ケーブルの断線
- ◇ 記録開始ボタンの押し忘れ
- ◇ 記録中断後の再開忘れ
- ◇ 装置内部ハードディスクなどの記録媒体の劣化
- ◇ 自動記録装置へのケーブル断線

#### 【予防策】

- ◇ 貼付部位のコンディショニング(皮脂、角質や垢の擦過除去)
- ◇ ドレッシングテープによるプローブカバー
- ◇ ケーブルをたるませて固定する
- ◇ 予備プローブの保有
- ◇ 体外循環前に信号取り込みを確認する
- ◇ プローブを取りはずす際は、プローブの根本を持ち、直接テープを剥がす

**【対処】**

- ◇ 貼付部位の状況確認
- ◇ 代替装置の手配

## C 回路の抜けや破損に関するトラブル

### 1 送血回路が抜けた・接続が外れた

#### 【具体例】

- ◇ 送血回路が抜けた
- ◇ 送血回路と送血カニューレの接続が外れた
- ◇ 送血回路と人工肺の接続が外れた
- ◇ 送血回路と送血ポンプの接続が外れた

#### 【結果】

- ◇ 大量出血と復旧までの循環停止による血行動態が維持できない
- ◇ 天井などに飛び散った血液が術野に落下し汚染する
- ◇ 接続部の汚染や回路への空気の侵入

#### 【原因】

- ◇ 送血回路が引っ張られて抜ける
- ◇ 回路の折れ曲がりによって内圧が高まり抜ける
- ◇ 誤った鉗子操作により内圧が高まり抜ける
- ◇ 接続と補強が不適切で抜ける
- ◇ 送血フィルターや人工肺が詰まって内圧が高まり接続部が抜ける

#### 【予防策】

- ◇ 確実な回路の固定
- ◇ 手術台や傾斜や人工心肺を移動時の回路の監視
- ◇ 回路のチェックや回路の色分けなどの明確化
- ◇ 圧力アラームの設置
- ◇ 圧力による送血ポンプの制御装置の設置
- ◇ 遠心ポンプの採用
- ◇ 回路の確実な接続とプラスチックベルト(タイガン)等による補強

#### 【対処】

- ◇ 送血カニューレが抜けた場合は、直ちに送血ポンプを停止し送血回路を遮断する。カニューレを再挿入し回路の気泡除去を確認して体外循環を再開する。送血回路とカニューレの接続が抜けた場合はカニューレを遮断し失血を防ぐ。機械側の回路が抜けた場合は、直ちに送血ポンプを停止させ、外れた個所の前後に鉗子を掛けて更なる失血を防ぐ。接続部が床に落ちたりして不潔になっているようであれば十分消毒して接続する。気泡を除去してから体外循環を再開する。一旦抜けた接続部は再び抜けやすくなっているので十分補強する。
- ◇ 天井や无影燈などに血液が飛散した場合は、血液が落下して汚染したと思われる個所を消毒するなどして対処する。



- ◇ 送血フィルターや人工肺が詰まっている場合は、これらも交換するが、詰まった原因によっては体外循環を再開させるより、ECMOなどの体外循環手段に切り替えることも検討する。

## 2 人工肺の破損

### 【具体例】

- ◇ 人工肺に亀裂が生じて血液が漏れる
- ◇ 人工肺が割れて血液が噴出する

### 【結果】

- ◇ 大量失血と人工肺交換に伴う循環停止

### 【原因】

- ◇ 人工肺と回路の接続部に無理な力がかかり亀裂が生ずる
- ◇ 回路の折れ曲がりにより人工肺の内圧が高まり割れる
- ◇ 誤った鉗子操作により人工肺の内圧が高まり割れる
- ◇ 送血フィルターや人工肺が詰まり内圧が高まり割れる

### 【予防策】

- ◇ 回路のチェックや回路の色分けなどの明確化
- ◇ 圧力アラームの設置
- ◇ 圧力による送血ポンプの制御装置の設置
- ◇ 遠心ポンプの採用
- ◇ 人工肺交換手順の確認と体得

### 【対処】

- ◇ 直ちに送血ポンプを停止させ人工肺の流出側と流入側を遮断する。
- ◇ 予想される人工肺の交換作業の間循環停止に耐えられない状況で、破損の程度が軽微で破損箇所を締めたり、清潔的に押さえることで漏出がある程度食い止められる場合は、人工肺を交換せず体外循環を再開し冷却して循環停止の許容時間を稼いでから交換する方法もある。
- ◇ 破損した人工肺を切り離し、接続部を汚染しないように注意しながら新しい人工肺を取り付ける。送血ポンプをゆっくり回して人工肺を充填するが、この際、送血フィルターに空気を流入させないために、人工肺の流出側を遮断したまま人工肺のベントラインから気泡を抜くか、送血フィルターの流出側を遮断し送血フィルターのベントラインから気泡を抜く。気泡除去を確認したら送血圧を見ながら体外循環を再開する。送血フィルターの気泡を確認し、残留した気泡があればベントラインから抜く。
- ◇ 送血フィルターが詰まって人工肺が破損した場合は、送血フィルターも交換する必要があるが、詰まった原因や手術進行状況によっては体外循環を再開させるより、ECMO など別の体外循環手段に切り替えることも検討する。

### 3 採血ラインなどの破損

#### 【具体例】

- ◇ 採血ポートが折れて血液が噴出
- ◇ 送血回路のコネクタに亀裂が入り血液が噴出

#### 【結果】

- ◇ 失血
- ◇ 送血回路であれば交換に伴う循環停止

#### 【原因】

- ◇ 粗悪な部品
- ◇ 粗雑な操作
- ◇ 気泡抜きの際の過度な衝撃

#### 【予防策】

- ◇ 充填時の点検
- ◇ 丁寧な取扱い

#### 【対処】

- ◇ 破損部が体外循環回路ではない場合は、一次的に回路を遮断し、破損箇所を交換する。
- ◇ 破損部が体外循環回路の場合で、血液の噴出がわずかな場合は清潔なチューブなどを切り、これを破損部に当てて止血する。止血が困難であれば体外循環を停止させ、部品交換や回路の破損箇所を切り離してから接続をなおし、気泡を確実に除去してから体外循環を再開する。
- ◇ 破損箇所から空気が回路内部に流入している場合は、清潔な粘着テープを貼り付けて止められる可能性もある。

### 4 送血フィルターの破損

#### 【具体例】

- ◇ 送血フィルターと送血回路の接続部が根元から折れる
- ◇ 送血フィルターのベントポートが折れる
- ◇ 送血フィルターにひびが入り血液が漏れる

#### 【結果】

- ◇ 大量失血と送血フィルターの交換に伴う循環停止

#### 【原因】

- ◇ 送血回路が引っ張られて折れる

- ◇ ベントポートが引っ張られて折れる
- ◇ エア接続部の無理なねじ込み
- ◇ 送血フィルターへの衝撃

#### 【予防策】

- ◇ 手術台動作時の回路のチェック
- ◇ 長さにある程度余裕のある回路設計
- ◇ フィルターのバイパス回路採用
- ◇ ベントポートに直接三方活栓をつけない
- ◇ 気泡抜きは鉗子などでなく、ゴムハンマーや手で叩く
- ◇ 丁寧な取扱い

#### 【対処】

- ◇ 送血フィルターの接続部が折れ、大量の血液が噴出した場合は、直ちに送血ポンプを停止させ、フィルターへの流入回路と流出回路を遮断する。送血回路内に空気が入っている場合は術野あるいは破損部から空気を除去する。送血フィルターのバイパス回路を開け、送血フィルターをバイパスさせて体外循環を開始する。
- ◇ ルア接続部分が折れた場合や、送血フィルターの接合部や亀裂部から血液が噴出している場合は、送血フィルターのバイパス回路を開け、送血フィルターの前後を遮断する。
- ◇ フィルター交換も不可能ではないが、新たな送血フィルターの気泡除去に時間を要し、送血回路への鉗子操作が複雑になるので危険性は高い。
- ◇ フィルターのバイパス回路がない場合は、送血を止めてから送血フィルターを取り外して回路を直接繋ぎ、気泡を除去してから体外循環を再開する。

## 5 ポンプチューブの破損

#### 【具体例】

- ◇ ローラーポンプチューブの流入側が裂け気泡が流入
- ◇ ローラーポンプチューブの流出側が裂け血液が噴出
- ◇ ローラーの圧閉部分のチューブに亀裂が見える

#### 【結果】

- ◇ 送血回路に気泡が送られる
- ◇ 失血
- ◇ 交換に伴う循環停止

#### 【原因】

- ◇ ポンプガイドピンとの接触
- ◇ ローラーへのチューブ巻き込み
- ◇ ポンプヘッド内部への異物の侵入

- ◇ 長時間の使用
- ◇ 過度の圧閉

#### 【予防策】

- ◇ 充填時の点検
- ◇ 適正なポンプチューブの装着
- ◇ 確実なポンプチューブの固定
- ◇ ポンプヘッドカバーの設置
- ◇ 適正な圧閉度の調整

#### 【対処】

- ◇ ポンプチューブの亀裂から空気を吸い込んでいる場合は、直ちに送血ポンプを止め、送血回路の気泡を除去し、ポンプチューブを交換してから体外循環を再開する。
- ◇ ポンプチューブの亀裂で血液が流出している場合にも一旦体外循環を止め、早急にポンプチューブを交換して体外循環を開始する。
- ◇ ローラーの圧閉部分のチューブに筋状の模様が見られる程度で、血液の漏出や気泡の流入が確認されない場合は、チューブの監視を続けつつ、ポンプチューブの交換のための準備を整えてから交換する。

## 6 遠心ポンプの破損

#### 【具体例】

- ◇ 遠心ポンプのポンプヘッドから血液が噴出
- ◇ 遠心ポンプのポンプヘッドから気泡の吸い込み
- ◇ 遠心ポンプの回転子が回らない
- ◇ 遠心ポンプの回転子が外れている
- ◇ 遠心ポンプが大きく振動する
- ◇ 遠心ポンプから異音がする

#### 【結果】

- ◇ 送血回路に気泡が送られる、または失血
- ◇ 交換に伴う循環停止

#### 【原因】

- ◇ ポンプヘッドへの衝撃
- ◇ アルコールや溶剤によるひび割れ

#### 【予防策】

- ◇ 取り付け、充填時の点検
- ◇ ポンプヘッドの丁寧な扱い

- ◇ ポンプヘッドをカバーする
- ◇ ポンプヘッドをアルコールなどで拭かない

#### 【対処】

- ◇ ポンプヘッドの亀裂から空気を吸い込んでいる場合は、直ちに送血ポンプを止め、送血回路の気泡を除去し、ポンプヘッドを交換してから体外循環を再開する。
- ◇ ポンプヘッドの亀裂から血液が流出している場合にも一旦体外循環を止め、早急にポンプヘッドを交換して体外循環を再開する。
- ◇ 磁気結合が外れて回転子が停止している場合は、一旦ドライブモーターを止め、再び回転させることで復旧できる。
- ◇ 復旧しない場合や内部回転子が軸から外れている場合、ポンプヘッドを交換してから体外循環を再開する。
- ◇ ポンプヘッドに大きな振動がある場合は回転子の一部が破損しているか、軸がゆがんでいる。早急に交換の準備をしてから送血を停止させ、ポンプヘッドを交換して体外循環を再開する。

## 7 熱交換器の破損

#### 【具体例】

- ◇ 熱交換水が赤くなる
- ◇ 体外循環前の待機時に貯血槽の貯血レベルが上下する
- ◇ 熱交換器から水が漏れる
- ◇ 熱交換器から血液が漏れる

#### 【結果】

- ◇ 血液中に熱交換水が流入している場合は極めて重大な事故となる
- ◇ 汚染、低浸透圧溶血を引き起こす

#### 【原因】

- ◇ 製造、運搬、準備、使用時の衝撃
- ◇ 極めて高い熱交換水の圧力
- ◇ 極めて高い回路内圧

#### 【予防策】

- ◇ 充填前に冷温水槽を取り付け内部に水漏れがないか確認
- ◇ 充填後に冷温水槽を取り付けず充填液が外部に漏れないか確認
- ◇ 熱交換水の色の確認
- ◇ 可能な限り衛生的な熱交換水を使用する

## 【対処】

- ◇ 準備段階で熱交換器の破損が確認できた場合や疑わしい場合は交換する。
- ◇ 体外循環中に熱交換水が赤く変色していることに気がついた場合は、直ちに冷温水槽との接続を外す。接続部から血液の漏出が多量の場合は栓をして血液の漏出を止める。溶血と感染に対処する。
- ◇ 体外循環中に熱交換水が熱交換器の外に漏れ出すだけの場合は、熱交換器を交換するより、熱交換水を補給しつつ体外循環を続ける。
- ◇ 血液層が破損して血液が熱交換器の外に漏れ出す場合は、漏れる量と体外循環の状態から循環を止めて交換するか、そのまま体外循環を続けるかを医師と協議して対処する。

## D 血行動態や圧力の異常に関するトラブル

### 1 血圧が低い

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環開始直後から血圧が低い
- ◇ 体外循環中突然血圧が低下した
- ◇ 体外循環離脱に伴う送血量を減らすと血圧が下がる

#### 【結果】

- ◇ 循環不全
- ◇ 尿量の低下
- ◇ 脳血流の低下
- ◇ 大動脈解離の場合は重大な結果を招くことがある

#### 【原因】

- ◇ イニシャルドロップ
- ◇ マンシエットと同じ腕で測定していた
- ◇ 急性大動脈解離
- ◇ 送血量の誤り(低流量)
- ◇ 心不全
- ◇ 降圧剤の投与
- ◇ 血圧ラインなどの測定系の異常
- ◇ 過度の末梢血管拡張
- ◇ 再循環回路が開放されている

#### 【予防策】

- ◇ 圧ラインの点検
- ◇ ゆっくりとした体外循環の導入
- ◇ 昇圧剤の投与
- ◇ 麻酔科医、外科医との連携
- ◇ 体外循環前の回路のチェック

#### 【対処】

- ◇ 血圧が急激に低下したにもかかわらず送血圧が上昇した場合は急性大動脈解離を疑う。判断は難しいが、患者の大動脈性状なども考慮し、可能性が疑われる場合は直ちに送血部位を変更しなければならない。
- ◇ イニシャルドロップであれば多くの場合昇圧剤に反応する。送血を上げたり、昇圧剤を投与しても反応がない場合は圧ラインの確認を行う。

- ◇ 離脱時の血圧低下は CVP だけではなく外科医と共に適正な循環血液量を確認しあい、必要に応じて貯血レベルを下げ循環血液量を増す。また、強心剤や尿量の変化など麻酔科とも連携しながら血圧の上昇を試みる。

## 2 血圧が高い

### 【具体例】

- ◇ 体外循環開始直後から血圧が高い
- ◇ 体外循環中突然血圧が上昇した

### 【結果】

- ◇ 浮腫や臓器出血
- ◇ 脳出血の場合は極めて重大な結果となる
- ◇ 血管収縮による末梢循環不全

### 【原因】

- ◇ 鎖骨下動脈送血で送血側の腕による血圧モニタ
- ◇ 送血カニューレの先端が鎖骨下動脈の方向を向いている
- ◇ 昇圧剤の投与
- ◇ 循環停止後の循環再開に伴う血圧上昇
- ◇ 末梢血管反射
- ◇ 不十分な麻酔深度

### 【予防策】

- ◇ 適切な血圧モニタ部位の設定

### 【対処】

- ◇ 一時的な上昇であれば送血流量を減らして対処する
- ◇ 高血圧が維持する場合は、持続的に降圧剤を投与する

## 3 送血カニューレと接続しても拍動が確認できない

### 【具体例】

- ◇ 送血カニューレと送血回路を接続しても送血圧力の上昇や拍動が確認できない

### 【結果】

- ◇ 偽腔送血による急性大動脈解離が起こる

### 【原因】

- ◇ カニューレの先端が大動脈内膜を貫いてない



- ◇ 送血回路が鉗子で遮断されている
- ◇ 送血回路が折れ曲がっている
- ◇ 送血圧のモニタ異常

#### 【予防策】

- ◇ 回路や回路内圧モニタの点検

#### 【対処】

- ◇ 拍動を確認できるまで送血を行ってはならない。
- ◇ 回路や圧ラインを確認し、異常がなければ送血カニューレを挿入しなおすか、挿入部位を変える。

## 4 送血テストで回路内圧が高い

#### 【具体例】

- ◇ 送血テストをしたら送血圧が上がったまま下がらない
- ◇ ある程度の流量は送ることができるが送血圧が高い

#### 【結果】

- ◇ 送血困難
- ◇ 送血回路の破損
- ◇ 溶血
- ◇ 原因が急性大動脈解離の場合は重大な結果となる

#### 【原因】

- ◇ 送血回路の鉗子の外し忘れ
- ◇ 送血回路の折れ曲がり
- ◇ 送血回路と脱血回路を間違えて接続している
- ◇ 送血カニューレが偽腔に挿入されている
- ◇ 送血カニューレの先端が血管壁にあっている
- ◇ 人工血管送血では人工血管の屈曲
- ◇ 挿入した大動脈に狭窄部がある
- ◇ カニューレのサイズの違い
- ◇ 送血テストによる急性大動脈解離

#### 【予防策】

- ◇ 回路点検
- ◇ カニューレのサイズの確認

#### 【対処】

- ◇ 送血圧が上がったまま下がらない場合は送血回路の閉塞が考えられる。鉗子の外し忘れがないか、回路が折れ曲がっていないか、あるいは送血回路と脱血回路を間違えて接続していないかを点検する。
- ◇ 送血圧に心拍による拍動が見られない場合は、送血回路を点検する。異常がなければ送血カニューレが正しく大動脈内部に挿入されていないと判断して、正しく挿入しなおす
- ◇ 挿入した大動脈性状に問題がある場合は、送血部位の変更などを検討する。

## 5 体外循環を開始したら回路内圧が高い

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環開始時から送血圧が高く送血流量を上げられない

#### 【結果】

- ◇ 送血困難
- ◇ 送血回路の破損
- ◇ 溶血
- ◇ 原因が急性大動脈解離の場合は重大な結果となる

#### 【原因】

- ◇ 送血カニューレの選定ミス
- ◇ 送血回路の折れ曲がり
- ◇ 人工血管送血では人工血管の屈曲
- ◇ 送血回路の折れ曲がり
- ◇ 急性大動脈解離
- ◇ 流量計の異常や流量表示の異常

#### 【予防策】

- ◇ 回路の点検と整理
- ◇ 体外循環開始前の適切な送血テストの実施
- ◇ 送血流量に適した送血カニューレの選択

#### 【対処】

- ◇ 体外循環開始時から異常に送血圧が高い場合は安全な回路内圧になるように送血量を調節する。冷却を行わず、生体の心拍を維持しながら直ちに回路を点検する。回路に異常がなければ、心拍が安定しているのを確認し、一旦体外循環から離脱させて原因を探る。

## 6 体外循環中に突然回路内圧が上がる

### 【具体例】

- ◇ 体外循環中に突然回路内圧が上昇して必要な送血流量の維持ができない

### 【結果】

- ◇ 送血困難
- ◇ 送血回路の破損
- ◇ 溶血
- ◇ 原因が急性大動脈解離の場合は重大な結果となる

### 【原因】

- ◇ 送血カニューレの先あたり
- ◇ 送血回路の折れ曲がり
- ◇ フィブリンや血小板による送血フィルターの目詰まり
- ◇ 冷却に伴う凝集による送血フィルターの目詰まり
- ◇ 急性大動脈解離

### 【予防策】

- ◇ 回路の点検と整理
- ◇ ACT の適切な管理と誤薬の予防
- ◇ 寒冷凝集素(クリオグロビン)血症のチェック
- ◇ 緩徐な冷却

### 【対処】

- ◇ 体外循環中に回路内圧が上昇した場合は、安全な回路内圧になるよう一旦送血流量を減らし回路の点検、カニューレの状態などを確認する。また、急性大動脈解離の可能性も視野に入れながら執刀医や麻酔医と連携して原因を探る。
- ◇ 送血フィルターが目詰まりしている場合は、ヘパリンを投薬し送血フィルターまたは回路交換の準備を行う。
- ◇ 冷却に伴い回路内圧が上昇した場合は、寒冷凝集素によるものか一旦冷却を止めて改善するか確認する。改善しなければ送血フィルターの交換の準備を行う。
- ◇ 心機能が維持されている場合は、体外循環から離脱させ原因を探る。

## 7 体外循環中に回路内圧が大きく上下する

### 【具体例】

- ◇ ベッドの傾斜に応じて回路内圧が変わる
- ◇ IABP の動作と同期して回路内圧が変わる
- ◇ 何の関係もなく回路内圧が大きく変わる

#### 【結果】

- ◇ 回路の破損
- ◇ 溶血

#### 【原因】

- ◇ 送血カニューレの先あたり
- ◇ 回路の屈曲
- ◇ 人工血管送血では人工血管の屈曲
- ◇ 送血ポンプの異常制御

#### 【予防策】

- ◇ 回路、カニューレの点検

#### 【対処】

- ◇ 送血回路や送血カニューレ、送血に使用している人工血管などが折れ曲がっていないかチェックする。ローラーポンプの回転や遠心ポンプの流量計をチェックして、流量が拍動的でないかチェックする。
- ◇ 回路圧力でローラーポンプ回転を制御させている場合は、装置の制御によるものかチェックする。
- ◇ 遠心ポンプで定常流制御を行っている場合は、遠心ポンプの回転が制御され回転数が変化していないかチェックする。

## 8 回路内圧が上がらない

#### 【具体例】

- ◇ 一定量の送血が行われているのに回路内圧が上がらない

#### 【結果】

- ◇ 灌流不全

#### 【原因】

- ◇ 再循環回路が開放されている
- ◇ 人工肺のベントラインなどが開いている
- ◇ 回路内圧測定系のトラブル
- ◇ 回路内圧ラインが閉じられている
- ◇ 回路内圧ラインのエアフィルターの目詰まり

#### 【予防策】

- ◇ 送血テスト
- ◇ 体外循環前の回路チェック

- ◇ 圧ラインのチェック

#### 【対処】

- ◇ 再循環回路やバント回路が開いていないかチェックする。患者血圧に異常がない場合は、送血回路測定系に問題があると考えられる。

## 9 血圧の左右差が著しい

#### 【具体例】

- ◇ 鎖骨下動脈送血で体外循環を開始したら左右差が生じた
- ◇ 体外循環中左右の血圧に大きな差が生じた

#### 【結果】

- ◇ 原因が急性大動脈解離の場合は重大な結果となる

#### 【原因】

- ◇ 鎖骨下動脈送血で送血側の血管による血圧モニタ
- ◇ 急性大動脈解離による真腔のつぶれ
- ◇ マンシエットと同じ腕で測定していた
- ◇ 血圧ラインの異常

#### 【予防策】

- ◇ 送血部位、圧測定ラインの確認
- ◇ マンシエット部位、圧測定ラインの確認
- ◇ 送血テスト

#### 【対処】

- ◇ 急に左右差が生じた場合は、急性大動脈解離の可能性も視野に入れながら執刀医や麻酔医と連携して原因を探る。
- ◇ マンシエットや送血部位が原因であればこれらを考慮しながら体外循環を続ける。

## 10 拍動流の設定をしても脈圧が十分得られない

#### 【具体例】

- ◇ ポンプ回転を制御する拍動流送血をしても脈圧が得られない

#### 【結果】

- ◇ 拍動流体外循環の効果が得られない

#### 【原因】

- ◇ コンプライアンスの大きい人工肺
- ◇ コンプライアンスの大きい回路構成
- ◇ 細い送血カニューレ
- ◇ 血圧測定系のダンピング
- ◇ 不適切な拍動流設定

#### 【予防策】

- ◇ コンプライアンスの小さい材料(硬い材質)の選定
- ◇ コンプライアンスの小さい人工肺の選定
- ◇ 圧力損失の小さい人工肺の選定
- ◇ 内径の太い送血カニューレの選定
- ◇ 動脈血貯血型の人工肺の選定

#### 【対処】

- ◇ 体外循環が開始されてからでは人工肺やカニューレの変更はできないため、そのまま体外循環を続ける。
- ◇ 脈圧を増強させるためにはポンプの回転差を大きく設けるが、ポンプ回転のバイアス(最低値)をゼロにすると血流の慣性により送血回路内部が陰圧になる場合がある。人工肺や動脈フィルターからの気泡の発生にも注意して設定する必要がある。

## E ガス交換に関するトラブル

### 1 膜型人工肺で酸素加できない

#### 【具体例】

- ◇ 膜型人工肺使用時に送血酸素分圧が異常に低い
- ◇ 膜型人工肺使用時に送血炭酸ガス分圧が異常に高い
- ◇ 膜型人工肺使用時に脱血酸素飽和度が低い

#### 【結果】

- ◇ ガス交換が困難となれば低酸素血症となる

#### 【原因】

- ◇ 酸素チューブの付け忘れ
- ◇ 酸素チューブの取り付け間違え
- ◇ 酸素供給装置の故障
- ◇ ガス回路の折れ曲がり
- ◇ ガスフィルターの目詰まり
- ◇ ガス配管の異常
- ◇ 酸素供給停止
- ◇ ウエットラング
- ◇ ガス交換膜の血漿漏出による目詰まり

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ ガス交換が適切であるか常に送血、脱血の色を確認する
- ◇ 体外循環開始前の酸素流量チェック
- ◇ 連続ガスモニタの取り付け

#### 【対処】

- ◇ 血液の色、酸素分圧や炭酸ガス分圧に異常がある場合は酸素流量と濃度設定を確認する。
- ◇ 酸素が流れている場合は酸素流量計と人工肺を結ぶ酸素チューブの接続を確認する。
- ◇ 酸素が流れていない場合は配管をチェックする。
- ◇ 酸素ブレンダーから笛のような音がするのは、酸素もしくは圧縮空気のラインが外れているため、双方の配管と接続をチェックする。圧縮空気が停止している場合は、純酸素で、酸素が停止している場合は空気で換気することになるため、酸素分圧をモニタしながら流量によって調節する。
- ◇ 酸素も圧縮空気も供給が停止した場合は酸素ポンベを使用するが、ポンベの残量に注意する。

- ◇ ポンペで供給することもできなくなった場合は、酸素チューブから息を吹き込むか、予備のローラーポンプを用いて空気を送ることで最低限度のガス交換を維持する。
- ◇ 膜型肺のガス排出口から水が出ている場合は、一時的に酸素流量を上げて膜内の排出を促す。
- ◇ 膜型人工肺のガス排出口から黄色いあるいは泡状の水が漏れ出している場合は血漿の漏出である。酸素流量を上げて対処するが、ガス交換が行われなくなる前に新しい人工肺と交換あるいは追加する準備を始める。このような状況では機能不全に陥っている人工肺を取り外さずに、送血回路に充填した新しい膜型人工肺を組み込んでも良い。

## 2 脱血回路の酸素飽和度が低い

### 【具体例】

- ◇ 送血側の酸素分圧は高いのに脱血の酸素飽和度が低い
- ◇ 離脱しようと送血流量を減らすと脱血の酸素飽和度が下がる

### 【結果】

- ◇ 灌流異常
- ◇ 低酸素血症

### 【原因】

- ◇ 送血流量が足りない
- ◇ 体温が高過ぎる
- ◇ 高度の貧血がある
- ◇ 体内に高度の炎症反応がある
- ◇ ガスモニタの異常
- ◇ 生体側の心不全、肺機能不全
- ◇ 麻酔器で換気していない

### 【予防策】

- ◇ 適正な送血流量の設定
- ◇ 加温時の体温のチェック
- ◇ ヘマトクリット値などのチェック
- ◇ 麻酔器で換気しているか確認する、あるいは麻酔科医に確認する

### 【対処】

- ◇ 適正な送血流量が出ていなければ原因を排除して必要十分な送血流量を維持する。体温、ヘマトクリット値に異常がなければ麻酔科医などと連携して炎症反応がないかチェックする。
- ◇ 連続ガスモニタが疑わしい場合は、脱血側より採血し血液ガスをチェックしてみる。



- ◇ 離脱時に送血流量を減らすと脱血の酸素飽和度が下がるのは、生体の心臓あるいは肺が十分に機能していないことが予想される。貯血レベルを下げ血液容量の負荷を増やしても、低下する場合は慎重な離脱操作や回復まで循環補助が必要となる。
- ◇ 麻酔科医に換気再開を確認する。

### 3 送血回路の酸素飽和度が低い

#### 【具体例】

- ◇ 送血側の酸素飽和度あるいは酸素分圧が低い

#### 【結果】

- ◇ 低酸素血症

#### 【原因】

- ◇ 人工肺機能不全
- ◇ 酸素供給の停止
- ◇ 酸素チューブの外れ
- ◇ 酸素流量、濃度の設定ミス
- ◇ 急速な加温
- ◇ 循環停止に伴う酸素負債

#### 【予防策】

- ◇ 体外循環開始前の人工肺の点検
- ◇ 体外循環開始前のガスラインの点検
- ◇ 体外循環開始前の酸素設定条件の確認

#### 【対処】

- ◇ 送血側の酸素飽和度が 100%を割るのは異常な状況である。直ちに正確な血液ガス分析を行うと共に酸素流量もしくは酸素濃度を上げて対処する。
- ◇ 酸素供給や人工肺に異常がないかチェックする。

### 4 炭酸ガス分圧が高い

#### 【具体例】

- ◇ 血液の酸素分圧は低く炭酸ガス分圧が高い
- ◇ 血液の酸素分圧は低くないのに炭酸ガス分圧が高い

#### 【結果】

- ◇ 呼吸性アシドーシス
- ◇ 高炭酸ガス血症あるいは低酸素血症

#### 【原因】

- ◇ 人工肺機能不全
- ◇ 酸素流量が低い
- ◇ 体温が高過ぎる
- ◇ 術野から炭酸ガスを吸引している

#### 【予防策】

- ◇ 体外循環開始前の人工肺の点検
- ◇ 体外循環開始前のガスラインの点検
- ◇ 体外循環開始前の酸素設定条件の確認
- ◇ 術野で炭酸ガスを使う場合サクシオンを控えめにする

#### 【対処】

- ◇ 炭酸ガス分圧が高い場合は、酸素分圧が低くないかチェックする。
- ◇ 酸素分圧が低い場合は、酸素流量、酸素濃度が正しく設定されているか、人工肺へのガスタンブが正しく接続されているかを確認する。異常があれば正しくセットする。
- ◇ 酸素分圧が低くないのに、炭酸ガス分圧のみが高い場合、酸素流量を上げて対処する。この時、酸素分圧が高くなりすぎる場合は酸素濃度を下げて対処する。
- ◇ 空気塞栓の予防などの目的で術野に炭酸ガスを吹送している場合は、サクシオンポンプの回転を弱めて、貯血槽に大量に炭酸ガスを導かないようにする。酸素流量を上げるか、あるいは、吸引補助脱血の要領で貯血槽に陰圧吸引ラインを取り付けて貯血槽内の炭酸ガスを換気する。

## 5 医療ガスが供給されない

#### 【具体例】

- ◇ 突然酸素流量が落ちた

#### 【結果】

- ◇ 低酸素血症

#### 【原因】

- ◇ 酸素供給装置の故障
- ◇ 酸素供給ラインの故障
- ◇ 手術室酸素供給バルブの閉鎖
- ◇ 酸素供給設備のトラブル

#### 【予防策】

- ◇ 早期発見のための血液の色の監視
- ◇ 早期発見のための連続ガスモニタの取り付け

## 【対処】

- ◇ 酸素ブレンダーから笛のような音がするのは、酸素もしくは圧縮空気のラインが外れているため、双方の配管と接続をチェックする。圧縮空気が停止している場合は純酸素で、酸素が停止している場合は空気で換気することになるため、酸素分圧をモニタしながら流量によって調節する。
- ◇ 酸素供給が止まっている場合は、供給されているガスコンセントを探す。全てのガスコンセントにガスが供給されていない場合は、火災発生時にガスを遮断するバルブが閉じられていないかチェックする。
- ◇ 酸素も圧縮空気の供給が停止している場合は酸素ポンプを使用するが、酸素ポンプの残量に注意する。また、手術室あるいは病院全体で供給が止まっている場合は、酸素ポンプは取り合いになり、入手できない可能性が高い。
- ◇ ポンプで供給することも出来なくなった場合は、酸素チューブから息を吹き込むか、予備のローラーポンプを用いて空気を送ることで最低限度のガス交換を維持できる。

## F 装置の誤作動に関するトラブル

### 1 ポンプが突然回転した

#### 【具体例】

- ◇ 回路の組み立て時にローラーポンプが突然回転した
- ◇ 一旦停止した送血ポンプが再び回転を始めた

#### 【結果】

- ◇ 手の巻き込み
- ◇ 回路の破裂や空気の送り込み

#### 【原因】

- ◇ 組み立て中の回路などが回転ツマミに触れて回転
- ◇ 制御装置や安全装置が働いて停止後に制御が解除されて回転
- ◇ 装置内部の故障

#### 【予防策】

- ◇ 組み立て時にはポンプの電源を入れない
- ◇ ポンプヘッドに触れるときに電源スイッチを確認
- ◇ 突然停止した場合でも回転ツマミで停止状態にして対処する

#### 【対処】

- ◇ 異常動作があるときは、ポンプの回転ツマミを絞りポンプを停止させるか、ポンプの回転スイッチあるいは電源を切って停止させる。
- ◇ 回路や異物などが巻き込まれて停止している場合は、取り外す前にポンプの回転ツマミを絞りポンプを停止させてから作業を行う。
- ◇ ポンプが突然停止した場合は、ポンプの回転ツマミを絞り回転を始めないようにしてから、貯血レベルが維持できるような対処を行う。その後、制御・安全装置の点検など原因を解除する。

### 2 ポンプが突然停止した

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環中突然送血ポンプが停止した

#### 【結果】

- ◇ 灌流不全、血行動態が維持できない

#### 【原因】

- ◇ ポンプの故障
- ◇ 停電
- ◇ 制御装置や安全装置の動作
- ◇ ノイズや過回転による制御回路の異常

#### 【予防策】

- ◇ 制御装置や安全装置の確認と解除方法の確認
- ◇ ポンプの誤作動時の解除方法と確認

#### 【対処】

- ◇ 貯血レベルを維持できるように対処する。
- ◇ アラームや警告灯により制御装置の動作を確認する。原因が特定できた場合は原因を排除して体外循環を開始する。
- ◇ ポンプの流量表示の点滅や異常表示がある場合などポンプ内部の制御回路の異常が疑われる場合は、一旦ポンプの電源を切り、再び投入することで正常動作に戻ることが多い。
- ◇ 動作しない場合は手動操作を行いながら、ポンプの交換、チューブの架け替えなどの復旧操作を行う。

### 3 貯血槽のレベルセンサーの誤動作

#### 【具体例】

- ◇ 貯血レベルが低下していないのに貯血センサーが作動した

#### 【結果】

- ◇ 循環停止

#### 【原因】

- ◇ 不適切なセンサーの取り付け
- ◇ 超音波センサーの場合はゲルの乾燥
- ◇ 電磁、静電容量センサーはノイズによる誤動作

#### 【予防策】

- ◇ センサーの適切な取り付け
- ◇ 誤作動時の解除方法の確認

#### 【対処】

- ◇ 貯血レベルを確認し、誤作動であるようならば制御装置の解除やアラームを停止させる。原因が明らかであれば対処する。ただし、原因を探るより貯血レベルの監視を重要視する。

## 4 気泡検出器の誤作動

### 【具体例】

- ◇ 送血回路に気泡が流入していないのに気泡検出器が作動した

### 【結果】

- ◇ 循環停止

### 【原因】

- ◇ 不適切なセンサーの取り付け
- ◇ 超音波センサーの場合はゲルの乾燥

### 【予防策】

- ◇ センサーの適切な取り付け
- ◇ 誤作動時の解除方法の確認

### 【対処】

- ◇ 貯血レベルや送血回路の気泡を確認し、誤作動であるようならば制御装置の解除やアラームを停止させる。原因が明らかであれば対処する。ただし、原因を探るより貯血レベルの監視を重要視する。

## 5 送血クランパー(遮断機)が閉じたまま制御不能

### 【具体例】

- ◇ クランパーが閉じたまま開かない

### 【結果】

- ◇ 送血できない

### 【原因】

- ◇ 振動による連動センサー誤動作
- ◇ 連動するセンサーの設定間違い
- ◇ クランパー源の電源 OFF 及び駆動ガス配管の供給圧低下
- ◇ コードの断線
- ◇ コントローラの故障

### 【予防策】

- ◇ 開始前の手動操作の確認
- ◇ 開始前の連動するセンサーの設定、動作確認
- ◇ 開始前のケーブルの取り回し、外観の点検

#### 【対処】

- ◇ チューブ鉗子をかけ電源を落として再稼動もしくはクランパーからチューブを外す。
- ◇ クランパーからチューブを外せないときは、別ルートで送血を行うか、回路を切断して切り離しコネクタで切断部分を繋げて体外循環を開始する。

## 6 送血クランパー(遮断機)が開いたまま制御不能

#### 【具体例】

- ◇ 送血が止まらない
- ◇ レベルセンサーに反応せずリザーバーが空になってしまう
- ◇ バブルセンサーに反応せず気泡を送血してしまう

#### 【結果】

- ◇ 送血過多によるバイタル変動
- ◇ 空気送血等の事故

#### 【原因】

- ◇ 連動するセンサーの誤作動
- ◇ 連動するセンサーの設定間違い
- ◇ コードの断線
- ◇ コントローラの故障

#### 【予防策】

- ◇ 開始前の手動操作の確認
- ◇ 開始前の連動するセンサーの設定、動作確認
- ◇ 開始前のケーブルの取り回し、外観点検

#### 【対処】

- ◇ 連動するセンサーの再設定
- ◇ 可能であれば、電源を落としてコントローラの再起動
- ◇ 鉗子、手動オクルーダー等による手動操作に切り替え

## G 吸引や脱血の異常に関するトラブル

### 1 貯血レベルが安定しない

#### 【具体例】

- ◇ 短時間のうちに貯血レベルが下がる
- ◇ 急に貯血レベルが下がる

#### 【結果】

- ◇ 不安定な循環、循環不全
- ◇ 貯血槽から空気を送る

#### 【原因】

- ◇ 生体の循環血液量の不足
- ◇ 過度の脱血による脱血カニューレの先当たり
- ◇ 脱血回路の折れ曲がり
- ◇ 脱血カニューレの位置が不適切

#### 【予防策】

- ◇ 適切な CVP の維持
- ◇ 脱血回路の確認

#### 【対処】

- ◇ 貯血レベルが上下する場合は、生体側の循環血液量の不足が考えられる。若干貯血レベルを下げ、術野で無血視野が得られる範囲で、循環血液量を増やすように操作する。
- ◇ 貯血レベルが下がり続ける場合は、送血流量を減らすなど貯血槽が空にならないように操作する。回路の折れ曲がりなどを点検し、異常がなければ執刀医にカニューレの位置の確認やカニューレ先端の位置を変えてもらう。この時、さらに脱血流量が低下したりカニューレが抜けることもあるので、貯血レベルに注意する。2本脱血の場合はどちらの脱血カニューレに問題があるか確かめるために、片方ずつ遮断して特定することもできる。
- ◇ 脱血不良の原因を解除できないまま、対処として落差を大きくしたり、脱血の吸引力を増しても改善されないことが多い。

### 2 脱血が拍動する

#### 【具体例】

- ◇ 脱血回路が波打つようにゆれる
- ◇ 右心房の自由壁が波打つように動く
- ◇ 貯血レベルが上下する



#### 【結果】

- ◇ 手術操作の妨害
- ◇ 不安定な循環、循環不全

#### 【原因】

- ◇ 生体の循環血液量の不足
- ◇ 過度の脱血による脱血カニューレの先当たり

#### 【予防策】

- ◇ 適切な CVP の維持

#### 【対処】

- ◇ 多くは生体側の循環血液量の不足が考えられる。若干貯血レベルを下げ、術野で無血視野が得られる範囲で、循環血液量を増やすように操作する。
- ◇ 対処として落差を大きくしたり、脱血の吸引圧力を増しても悪化することが多い。

### 3 貯血槽が空になった

#### 【具体例】

- ◇ 急激に貯血レベルが低下して貯血槽が空になった

#### 【結果】

- ◇ 送血回路からの空気の送り込み
- ◇ 全身臓器の空気塞栓
- ◇ 大量の空気を送った場合は極めて重大な事故となる

#### 【原因】

- ◇ 脱血回路の折れ曲がり
- ◇ 不適切な位置による脱血カニューレの先当たり
- ◇ 過度の脱血による脱血カニューレの先当たり
- ◇ 生体の循環血液量の不足
- ◇ 吸引補助脱血では貯血槽が陽圧となり脱血回路への逆流
- ◇ 術野も含む脱血回路への鉗子操作の誤り

#### 【予防策】

- ◇ 脱血回路の点検
- ◇ 貯血槽へのレベルセンサーの取り付け
- ◇ 貯血レベル監視の徹底
- ◇ 吸引補助脱血では貯血槽での圧力の監視
- ◇ 鉗子操作の確認

#### 【対処】

- ◇ 直ちに送血ポンプを止めて送血回路に流入した気泡を除去する。患者まで空気が達している場合は適切な対処を行う。(A-1『送血回路からの空気の送り込み』参照)
- ◇ 脱血不良となった原因を解除して貯血レベルを監視しながら体外循環を再開する。
- ◇ 吸引補助脱血で脱血回路に空気が流入している場合は、脱血回路を遮断し貯血槽の圧力をチェックし、陽圧であれば原因を解除する。(A-2『脱血回路から静脈への空気の送り込み』参照)
- ◇ 脱血回路に空気が流入している場合、落差脱血であっても吸引補助脱血対応の貯血槽を使用している場合は、貯血槽内部が陽圧になっていないかチェックする。落差脱血では脱血回路に空気が流入しているとエアブロックにより脱血が困難となるので、貯血槽に陰圧をかけて空気を吸引するか、脱血回路を血液あるいは生理食塩水などで満たしてから体外循環を再開する。

## 4 貯血槽の内圧が上がる

#### 【具体例】

- ◇ 貯血槽の内圧が上昇した
- ◇ 貯血槽や心内貯血槽のキャップが抜け飛ぶ
- ◇ 心内貯血槽に取り付けた空の輸液バッグに空気が逆流する

#### 【結果】

- ◇ 脱血不良による循環不全
- ◇ 脱血回路の逆流

#### 【原因】

- ◇ 吸引補助脱血での陰圧吸引ラインの閉塞
- ◇ 吸引補助脱血対応の密閉型の貯血槽での大気解放口の閉鎖
- ◇ 心内貯血槽のフィルターの目詰まり

#### 【予防策】

- ◇ 内圧モニタ機器へのアラーム取り付け
- ◇ 陽圧安全弁の取り付け
- ◇ サクションで血栓やフィブリン糊塊を吸わない
- ◇ 陰圧吸引ラインにはガスフィルターを用いない

#### 【対処】

- ◇ 貯血槽内圧が上昇している場合は貯血槽のキャップを外すか、陰圧吸引ラインを開放して大気圧に戻す。
- ◇ 心内貯血槽の内圧が上がっていると考えられる場合は、心内貯血槽のフィルターが目詰まりしていると考えられるので、交換する。この時、貯血槽全体を交換するためには循環を停

止させなければならない。このため、予備の心内貯血槽を追加して貯血槽に接続し、サクシヨンラインを新しい心内貯血槽につなぎ替える方が得策である。

## 5 体外循環開始前に貯血レベルが上がる

### 【具体例】

- ◇ 送血テストを行った後に貯血レベルが上がる
- ◇ 冷温水槽を接続したら貯血レベルが上がる

### 【結果】

- ◇ 循環血液量の不足による血圧低下
- ◇ 体外循環回路の汚染

### 【原因】

- ◇ 人工肺や送血フィルターのベントの閉め忘れ
- ◇ 採血ラインの締め忘れ
- ◇ ローラーポンプの不完全圧閉
- ◇ 遠心ポンプの遮断鉗子の掛け忘れ
- ◇ 熱交換器の隔壁の破損

### 【予防策】

- ◇ 充填後の点検
- ◇ 熱交換器の点検([C-7『熱交換器の破損』参照](#))

### 【対処】

- ◇ 送血回路を点検し、逆流箇所を遮断。血圧が低下している場合は充填薬液を送り適切な循環血液量を維持する。
- ◇ 貯血レベルの上昇の原因がつかめない場合は、体外循環を開始せず、原因を特定する。患者血液の流入などが確認できない場合は、熱交換器から冷温水槽を外し、充填液に圧力をかけた時に漏れが無いか点検する。漏れがある場合は体外循環回路が汚染されているので、人工心肺回路全体の交換が必要になる。

## 6 脱血回路に空気が流入する

### 【具体例】

- ◇ 脱血回路から気泡が流入する
- ◇ 脱血回路がすべて空気で満たされ脱血が止まる
- ◇ 脱血回路に微細な気泡が見られる

### 【結果】

- ◇ 気泡の流入で脱血不良になった場合は循環不全となる

### 【原因】

- ◇ 生体の循環血液量の不足
- ◇ 過度の脱血
- ◇ 脱血カニューレの抜け
- ◇ 脱血回路の傷や接続の不備

### 【予防策】

- ◇ 適切な脱血
- ◇ 確実な脱血カニューレの固定
- ◇ 充填時の点検
- ◇ 閉鎖回路では気泡検出器やエアトラップの設置

### 【対処】

- ◇ 開放回路の場合は多少の気泡であれば問題にならないが、多量の空気が流入する場合は落差脱血ができなくなる。貯血レベルを下げて静脈圧を少し高めにする事で空気の流入は止まる。
- ◇ エアブロックにより脱血が困難な場合は、送血を止め、空気の入った原因を排除する。ゆっくり送血を行い、CVP を高めに維持してから、貯血槽に陰圧をかけて空気を吸引するか、脱血回路の空気の入っている部分を持ち上げながら空気を徐々に貯血槽に導き、体外循環を再開する。
- ◇ カニューレが抜けた場合は直ちに送血を止め、回路の空気を除去した後、カニューレを挿入しなおし体外循環を再開する。(G-7『脱血カニューレが抜けた』参照)
- ◇ 閉鎖回路では閉鎖式の貯血槽あるいはエアトラップなどで積極的に気泡を除去する。

## 7 脱血カニューレが抜けた

### 【具体例】

- ◇ 脱血回路が抜け脱血回路に空気が流入

### 【結果】

- ◇ 循環停止に伴う循環不全
- ◇ 貯血槽が空になり送血回路から空気を送る

### 【原因】

- ◇ 脱血カニューレの操作の誤り
- ◇ 脱血カニューレの固定の不備
- ◇ 脱血カニューレが引っ張られる

### 【予防策】

- ◇ 適切な脱血カニューレの固定

### 【対処】

- ◇ カニューレが抜けた場合は直ちに送血を止めるが、静脈からの出血の分だけは適時送血を行う。
- ◇ 落差脱血の場合は、エアブロックにより脱血が困難となるため、カニューレを挿入する前に再循環回路より脱血回路に血液を送り、脱血回路を満たす。
- ◇ 吸引補助脱血やポンプ脱血の場合は、脱血回路の気泡を貯血槽に導き体外循環を再開する。

## 8 ベント量が異常に多い

### 【具体例】

- ◇ 大動脈を遮断したのに左房・左室ベントの流量が多い

### 【結果】

- ◇ 原因によっては心筋の過伸展
- ◇ 無効送血による循環不全
- ◇ 無血視野が得られない

### 【原因】

- ◇ 大動脈弁逆流の症例
- ◇ 心内シャントが存在する症例
- ◇ 不完全な大動脈遮断
- ◇ 脱血が悪い
- ◇ チアノーゼ(側副血行路)を有する症例

### 【予防策】

- ◇ 確実な大動脈遮断
- ◇ 的確なベント吸引
- ◇ 確実な脱血

### 【対処】

- ◇ 大動脈の逆流のある症例では、心停止あるいは心機能が低下している状態では十分ベントの流量を上げて心筋の過伸展を防止しなければならない。
- ◇ 心内シャントが存在するとは思えない症例で多量なベントが必要な場合は、大動脈が確実に遮断されていることを確認する。この場合もベント流量をむやみに減らさず原因を特定する。引けてきたベント血の色も確認をして、鮮赤色であれば余計に大動脈遮断を疑う。
- ◇ 脱血量が十分であることを確認する。

## 9 ベントが引けない

### 【具体例】

- ◇ ベントポンプが引けない
- ◇ 落差ベントが引けない

### 【結果】

- ◇ 心筋の過伸展
- ◇ 溶血

### 【原因】

- ◇ 過度の吸引によるカニューレの先当たり
- ◇ 不適切な位置によるベントカニューレの先当たり
- ◇ ベント回路の折れ曲がり
- ◇ 安全弁の誤った取り付け
- ◇ ポンプチューブを逆に取り付けている
- ◇ ベントポンプの逆回転
- ◇ 不適切なオクルージョン調整

### 【予防策】

- ◇ ベント回路の確認
- ◇ 生理食塩水などを用いて使用前のベントテストを実施

### 【対処】

- ◇ ポンプベントでは過度に吸引しないようにベントポンプの回転を調節する。ベントの流量を低下させると心臓が張ったり、無血視野が得られないようであればカニューレの位置などをチェックする。
- ◇ まったく吸引できない場合は、安全弁などを含め回路を点検する。
- ◇ 適切なベント回路の装着および回転方向の調節。
- ◇ 適切なオクルージョンの調整。

## 10 貯血槽があふれた

### 【具体例】

- ◇ 貯血槽に血液が多量に溜まり溢れそうになる
- ◇ サクションの血液が心内貯血槽から溢れる

### 【結果】

- ◇ 失血
- ◇ あふれた血液が戻ることや、リザーバー外への血液飛散による感染リスクの増加

#### 【原因】

- ◇ 心拡大やうっ血など生体側に大量の血液があった
- ◇ 循環停止に伴う生体血液の脱血
- ◇ 心内貯血槽のフィルターの目詰まり

#### 【予防策】

- ◇ 輸血バックの準備
- ◇ 予備の心内貯血槽の準備
- ◇ ECUM による除水

#### 【対処】

- ◇ 貯血レベルが貯血槽の上限に近づいたら心内貯血槽を新たに追加して血液を貯める。簡単な方法としては採血ラインや送血フィルターのパーズラインから輸血用バックに血液を導き清潔的に血液を貯める。充填時に空いたリンゲル液のバックなどを利用しても良い。
- ◇ 心内貯血槽のフィルターが詰まっているようであれば、新しい心内貯血槽を用意し接続を替える。凝血塊やフィブリン糊の吸引など詰まる原因を特定し、解除する。
- ◇ ECUM で除水する。

## 11 脱血流量が少ない

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環開始時から適正な脱血流量が得られない
- ◇ 体外循環中突然脱血量が得られなくなった

#### 【結果】

- ◇ 心筋の過伸展
- ◇ 循環不全
- ◇ 無血視野が確保できない

#### 【原因】

- ◇ 体外循環開始直後であればカニューレのサイズ、位置や落差圧の問題
- ◇ 突発的に起こるのはカニューレ位置や過度の脱血

#### 【予防策】

- ◇ 患者体重などの基本情報の確認
- ◇ カニューレサイズなどの確認
- ◇ 経食道エコーによる IVC のカニューレ位置確認

### 【対処】

- ◇ 体外循環開始時から脱血不良がある場合はカニューレ位置などを確認し原因を特定して解除する。脱血カニューレのサイズが誤っている場合などは一旦人工心肺から離脱させてカニューレを変えることも必要。確実な脱血量が得られるまで心臓を止めてはならない。
- ◇ 体外循環中突発的に脱血不良になる場合は、心臓の脱転や循環血液量の不足から脱血カニューレに静脈や右心房の自由壁が吸い付くのが原因であることが多い。送血流量を調節しながら貯血レベルが下がり過ぎないようにし、必要に応じて補液や輸血を行う。
- ◇ 手術台を上げて、落差を調節する。

## 12 陰圧コントローラ(VAVD 装置)の故障

### 【具体例】

吸引補助脱血で貯血槽が陰圧にならない

### 【結果】

- ◇ 脱血不良による循環不全

### 【原因】

- ◇ 陰圧吸引ラインのガスフィルターの目詰まり
- ◇ 陰圧吸引ラインの折れ曲がり
- ◇ 陰圧コントローラの故障
- ◇ 院内配管の陰圧吸引システムの故障
- ◇ 大気開放(リザーバーのキャップ外れ等)

### 【予防策】

- ◇ 体外循環前に貯血槽内圧に陰圧がかかるかチェック
- ◇ 予備の吸引ポンプの準備
- ◇ 陰圧吸引ラインにはガスフィルターを用いない

### 【対処】

- ◇ 吸引補助脱血で脱血が得られなくなり貯血槽の内圧が上がっていたら陰圧吸引システムのトラブルと判断する。内圧が陽圧になっているようであれば貯血槽から一旦陰圧吸引ラインを外し、手術台を上げるなどしてできるだけ落差を設けて体外循環を行う。陰圧吸引ラインを点検して原因を特定し解除するが、陰圧吸引の復旧が困難で、必要な脱血流量が得られないようであれば、予備の吸引ポンプを用いるか陰圧吸引ラインをローラーポンプに接続して吸引する。



## H 血液の凝固や詰まりに関するトラブル

### 1 貯血槽に血栓が認められる

#### 【具体例】

- ◇ 貯血槽の血液の上面が膜状に固まっている
- ◇ 貯血槽の下部に血液の凝集が見られる
- ◇ 心内貯血槽に血液の凝集が見られる

#### 【結果】

- ◇ 人工肺や送血フィルターの目詰まり
- ◇ 回路の破裂や生体に血栓が送られれば重大なトラブルとなる

#### 【原因】

- ◇ ヘパリンの効果の減少
- ◇ ヘパリンの不足
- ◇ 大量輸血
- ◇ 血液の停留
- ◇ プロタミンの誤投与([J-1『体外循環中に誤ってプロタミンを投与した』参照](#))

#### 【予防策】

- ◇ 最低でも1時間毎の ACT チェック
- ◇ 視覚的な血液性状の確認
- ◇ 復温時は凝固系の活性が上がると見越し、ACT チェック頻度をよりこまめにする

#### 【対処】

- ◇ 貯血槽の下部などに通常見られない血液の停滞や色が違う部分がある場合は血液が凝集していることを疑う。
- ◇ ACT 測定する。ACT 値によってはヘパリンを追加投与する。凝集塊がそれほど大きくない場合は、循環を止め貯血槽を交換するより、凝集塊が送られないように貯血量や送血流量を急激に変化させないで体外循環を続ける方が良い場合もある。
- ◇ 心内貯血槽に血液の凝集塊がみられる場合はヘパリンを貯血槽の流入部から投与する。必要に応じて心内貯血槽を交換する。

### 2 ヘパリンを追加しても ACT が延びない

#### 【具体例】

- ◇ ヘパリンを入れても ACT が延びない
- ◇ 体外循環中に ACT が短くなってくる

#### 【結果】

- ◇ 回路内での凝血
- ◇ 術野での凝血

#### 【原因】

- ◇ アンチトロンビンⅢ(AT3)の欠乏症
- ◇ ヘパリンの耐性
- ◇ ヘパリンの消費
- ◇ ヘパリンの不足
- ◇ 誤薬

#### 【予防策】

- ◇ アンチトロンビンⅢ(AT3)の術前チェック
- ◇ 確実な薬品管理
- ◇ 投与時の確認
- ◇ ACT のチェック
- ◇ 透析患者、術前 IABP 例などはまめな ACT チェック

#### 【対処】

- ◇ ACT が短い場合はヘパリンを追加投与し、ACT が適正に伸びるまで体外循環を開始しない。追加投与しても ACT が延びない場合はアンチトロンビンⅢ(AT3)の欠乏を疑い検査する。アンチトロンビンⅢ(AT3)欠乏の場合はアンチトロンビンⅢ(AT3)製剤を投与する。
- ◇ 体外循環中に ACT が短くなっている場合にもヘパリンを投与し、頻回に ACT をチェックする。
- ◇ 誤薬が疑われる場合は、廃棄したアンプルなどを確認すると共に、ヘパリンを確実に投与する。

### 3 心内貯血槽が詰まった

#### 【具体例】

- ◇ サクションが不能になる
- ◇ 心内貯血槽から血液が溢れる
- ◇ 心内貯血槽につないだバッグが膨らむ

#### 【結果】

- ◇ 心内貯血槽が溢れて失血
- ◇ サクションの停止による手術の中断
- ◇ 交換に伴う失血

#### 【原因】

- ◇ 吸引血の凝集
- ◇ 血液の凝集塊や剥離した組織の吸引
- ◇ フィブリン糊などの凝集物の吸引

#### 【予防策】

- ◇ 異物を吸引しない
- ◇ 心内貯血槽のフィルターの確認

#### 【対処】

- ◇ 予備の心内貯血槽に交換する。貯血槽に心内貯血槽が内蔵されている場合は体外循環を止めて貯血槽全体を交換するより、体外循環を維持しながら新しい心内貯血槽を取り付ける方が得策である。詰まった原因を特定し、再び詰まらないように対処する。

## 4 回路内残血が固まった

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環終了後、回路内残存血が凝固して返血できなくなった
- ◇ 体外循環を再開しようとしたら残存血が固まっていた

#### 【結果】

- ◇ 失血
- ◇ 体外循環再開の遅れ

#### 【原因】

- ◇ プロタミン投与後の貯血槽への出血の回収
- ◇ 長時間の放置

#### 【予防策】

- ◇ プロタミンが投与され始めたらサクシオンポンプを止める  
長時間放置する場合は回路内へヘパリンを追加する

#### 【対処】

- ◇ なるべく凝集していない血液を回収し返血する。返血にはフィルター付きの輸血セットを使用する。

## 5 輸液バックが膨らむ

#### 【具体例】

- ◇ 貯血槽につないだ充填用輸液ラインにサクシオンの血液が逆流した

#### 【結果】

- ◇ 心内貯血槽が溢れて失血
- ◇ サクションの停止による手術の中断

#### 【原因】

- ◇ 心内貯血槽のフィルターの目詰まり
- ◇ 血液の凝集塊や剥離した組織の吸引
- ◇ フィブリン糊などの凝集物の吸引

#### 【予防策】

- ◇ 異物を吸引しない
- ◇ 心内貯血槽のフィルターの確認

#### 【対処】

- ◇ 心内貯血槽のフィルターが詰まっている場合は、予備の心内貯血槽に交換する。
- ◇ 貯血槽に心内貯血槽が内蔵されている場合は、体外循環を維持しながら新しい心内貯血槽を取り付ける方が得策である。

## 6 体外循環中に送血フィルターが詰まった

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環中に送血フィルターが詰まった

#### 【結果】

- ◇ 回路の破裂
- ◇ 循環停止

#### 【原因】

- ◇ 不十分なヘパリン投与
- ◇ 回路内部での凝血
- ◇ 冷却による寒冷凝集反応
- ◇ プロタミンの誤投与(J-1『体外循環中に誤ってプロタミンを投与した』参照)

#### 【予防策】

- ◇ 確実な抗凝固
- ◇ ACTの確認
- ◇ 寒冷凝集のチェック
- ◇ 送血フィルター前後の回路内圧モニタリング

## 【対処】

- ◇ 送血フィルターが詰まった場合に、フィルターのバイパスを開け循環を続けるのは塞栓物質が体内に送られ危険である。完全に詰まる前に体外循環を維持する手段を探る。
- ◇ 冷却中に詰まった場合は、寒冷凝集が原因とも考えられるため、一時的に冷却を止めるか温度を上げて改善するか試みる。
- ◇ 凝血などで改善する見込みがない場合は、ヘパリンを追加投与してから体外循環を止め、送血フィルターを交換する。新しいフィルターに炭酸ガスを封入し、送血フィルター前後から交換する。再循環回路を利用して送血フィルター内部の気泡を除去して体外循環を再開する。
- ◇ 人工肺を含む送血回路に凝血がある場合は、人工心肺回路全体を交換しなければならないため、長時間の循環停止になる。ある程度循環ができるようであれば超低体温まで冷却するか、循環が維持できないならば ECMO などの体外循環手段に切り替えることも検討する。

# I 血液や尿に関するトラブル

## 1 アルカローシスになる

### 【具体例】

- ◇ 体外循環開始直後にアルカローシスになる
- ◇ 術中透析でアルカローシスになる

### 【結果】

- ◇ 軽度であれば特に問題とならない
- ◇ 二次的に起こる低カルシウム血症などの電解質異常

### 【原因】

- ◇ 充填液中の炭酸水素ナトリウム(メイロン)の影響
- ◇ 透析液の炭酸水素ナトリウム(バイカーボネート液)の影響
- ◇ 炭酸水素ナトリウムの過剰投与
- ◇ 人工肺の過換気
- ◇ 人工心肺開始前の酸素ガスの吹送
- ◇ 多尿
- ◇ 低体温による影響

### 【予防策】

- ◇ 連続ガスモニタやまめな血液ガスのチェック
- ◇ 適切な充填薬剤の検討
- ◇ 適度な透析効率の検討
- ◇ 適切な酸素吹送操作

### 【対処】

- ◇ 再検査を行い一過性のものであるか、引き続いているのかを把握すると共に、原因を特定する。
- ◇ 必要に応じて人工肺への酸素流量を減らして  $\text{PCO}_2$  を上げることで改善できる。この時、 $\text{PO}_2$  が下がり過ぎるようであれば酸素濃度を上げて対処する。
- ◇ 塩酸を投与することで改善できるが、通常は用いない。
- ◇ 術中透析が原因と思われる場合は、透析回路の血液流量を減らして透析効率を落としたり、透析を中断して対処する。

## 2 アシドーシスになる

### 【具体例】

- ◇ 体外循環中にアシドーシスが進行する

#### 【結果】

- ◇ 原因によっては虚血性の臓器不全

#### 【原因】

- ◇ 酸素欠乏による嫌気性代謝
- ◇ 腎不全
- ◇  $\text{PCO}_2$ の上昇
- ◇ 低灌流による循環不全

#### 【予防策】

- ◇ 適切な送血流量の維持
- ◇ 連続ガスモニタやまめな血液ガスのチェック

#### 【対処】

- ◇ 再検査を行い一過性のものであるか、引き続いているのかを把握すると共に、原因を特定する。
- ◇ ショック状態からの体外循環の導入や循環停止後であれば適切な体外循環により改善する。
- ◇  $\text{PCO}_2$ が高い場合は人工肺への酸素流量を増やすことで改善できる。この時、 $\text{PO}_2$ が上がり過ぎるようであれば酸素濃度を下げて対処する。
- ◇ 送血流量、血液ガスに問題が無いのにアシドーシスが進行してゆく場合は、腹腔内臓器などの動脈閉塞が疑われる。炭酸水素ナトリウム(メイロン)の投与により改善するが、虚血などでは原因を解除しなければ救命できない。

### 3 カリウム値が上がる

#### 【具体例】

- ◇ 血清カリウム値が高い

#### 【結果】

- ◇ 不整脈や心停止

#### 【原因】

- ◇ 組織の破壊
- ◇ 血球の破壊
- ◇ 腎不全
- ◇ 呼吸性アシドーシス
- ◇ 心筋保護液の過剰投与
- ◇ 検査血への心筋保護液の混入
- ◇ 赤血球濃厚液の使用

#### 【予防策】

- ◇ まめな血液検査
- ◇ 適度な心筋保護液の注入
- ◇ 適切な尿量の管理

#### 【対処】

- ◇ 再検査を行い一過性のものであるか、引き続いているのかを把握すると共に、原因を特定する。
- ◇ 血圧を高めにし、利尿剤などによって尿量を増やしカリウムを排出させる。
- ◇ 糖とインスリン、あるいは炭酸水素ナトリウムやカルシウム剤の投与が有効であるが、改善しない場合は血液透析や除水と低カリウム液補液を行い、カリウムを積極的に排出する。
- ◇ DUF の施行

## 4 カリウム値が下がる

#### 【具体例】

- ◇ カリウム濃度が低い

#### 【結果】

- ◇ 不整脈

#### 【原因】

- ◇ 低体温
- ◇ 術中透析
- ◇ 体外循環による血液の希釈
- ◇ 呼吸性のアルカローシス
- ◇ 多尿

#### 【予防策】

- ◇ まめな血液検査  
適切な尿量の管理

#### 【対処】

- ◇ 一般的に体外循環によってカリウム値は減少傾向を示す。低い場合はカリウムを投与するが、その後の心筋保護液の使用量や復温による上昇などを考慮して投与する必要がある。また、急速な投与は一時的に高カリウムとなり心停止などを起こすため注意が必要である。



## 5 カルシウム値が下がる

### 【具体例】

- ◇ 輸血をしたらカルシウム濃度が低い

### 【結果】

- ◇ 心不全や不整脈

### 【原因】

- ◇ 保存血輸血の抗凝固剤によるカルシウム欠乏
- ◇ 体外循環による血液の希釈

### 【予防策】

- ◇ 輸血後の血液検査によるチェックとカルシウム剤の投与
- ◇ 適切な尿量の管理

### 【対処】

- ◇ 一般的に体外循環を開始するとカルシウム値は低下傾向を示す。
- ◇ 大量の輸血を行った場合は保存血液の抗凝固剤の影響でカルシウムが低下する。
- ◇ 補正にはカルシウム剤を用いる。ただし、保存血にカルシウム剤が混ざると凝固するため、貯血槽へ輸血を行っている状態では貯血槽へカルシウム剤を投与してはならない。

## 6 血糖値が高い

### 【具体例】

- ◇ 体外循環中に血糖値が上がる

### 【結果】

- ◇ 高い状態が続いた場合は中枢神経障害
- ◇ SSI(surgical site infection:手術瘡感染)の原因となることがある

### 【原因】

- ◇ 糖尿病
- ◇ 冷却
- ◇ 血液の希釈に伴うインスリンの希釈

### 【予防策】

- ◇ まめな血糖値測定

#### 【対処】

- ◇ 血糖値が高い場合はインスリンの投与によって改善する。一般的には体外循環中は耐糖能が低下し血糖値は上昇するため積極的な対応は行わないことが多い。ただし、糖尿病などの原疾患があり、著しい高血糖の場合はこの限りでない。

## 7 ヘマトクリット値が下がる

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環中にヘマトクリット値が下がってゆく

#### 【結果】

- ◇ 浮腫や組織の酸素欠乏
- ◇ 失血

#### 【原因】

- ◇ 過度の補液
- ◇ サクションで吸引できない出血
- ◇ 胸腔内やバイパスグラフト採取における採取部位などからの出血
- ◇ 腹腔内など手術野以外での出血
- ◇ 細胞外液の血管内へのシフト

#### 【予防策】

- ◇ 連続モニタやまめな血液検査
- ◇ 点滴ラインや圧ラインの接続の確認
- ◇ カニューレ挿入部などの止血の確認

#### 【対処】

- ◇ 手術台の下などに血液が滴り落ちていないかチェックするなど、原因を特定する。適正なヘマトクリット値が維持できるように除水や輸血を行う。

## 8 尿が赤い

#### 【具体例】

- ◇ 溶血が著しく尿が赤い
- ◇ 尿に血液が混ざる

#### 【結果】

- ◇ 重度の溶血の場合は急性腎不全

#### 【原因】

- ◇ 過度の吸引
- ◇ 長い体外循環
- ◇ 細いカニューレでの無理な送血や脱血
- ◇ 急激な加温や高温の熱交換水
- ◇ 異型輸血
- ◇ アナフィラキシー反応
- ◇ ローラーポンプの不適切な圧閉度
- ◇ 遠心ポンプの過負荷
- ◇ 尿路からの出血

#### 【予防策】

- ◇ 血液ポンプの適切な設定と操作
- ◇ 適切なカニューレサイズを選択
- ◇ サクションの適切な調節

#### 【対処】

- ◇ 尿に赤血球が確認されるようであれば、尿路の出血と考えられる。
- ◇ 溶血はハプトグロビン投与によって改善できるが、溶血の原因を特定し解除することが優先される。
- ◇ サクション血や人工心肺の残存血を自己血回収装置によって洗浄して返血することで、遊離ヘモグロビンを体内に戻さない方法もある。

## 9 尿量が少ない

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環中の尿量が少ない

#### 【結果】

- ◇ 高カリウム
- ◇ 浮腫
- ◇ 循環不全
- ◇ 腎不全

#### 【原因】

- ◇ 低血圧
- ◇ 低灌流
- ◇ 腎動脈の閉塞
- ◇ 導尿カテーテルの折れ曲がりやエアブロック

#### 【予防策】

- ◇ 利尿剤の使用
- ◇ 導尿ラインの点検

#### 【対処】

- ◇ 血圧や送血流量などをチェックし原因を特定する。膀胱が張っていないかチェックする。
- ◇ 利尿剤を用いても利尿が得られず、カリウム濃度が上昇する場合は透析などカリウムを下げる処置を行う。(I-3『カリウム値が上がる』参照)
- ◇ 利尿が得られず、ヘマトクリット値が下がる場合は除水、あるいは輸血を行う。

## J 薬や輸血に関するトラブル

### 1 体外循環中に誤ってプロタミンを投与した

#### 【具体例】

- ◇ 誤って体外循環中に貯血槽へプロタミンを投与した
- ◇ 体外循環が終了したと勘違いして点滴ラインよりプロタミンを投与した

#### 【結果】

- ◇ 回路内で凝血した血栓を動脈に送る
- ◇ 人工心肺回路が詰まり循環が止まる
- ◇ 脳や全身臓器の血栓塞栓症となれば最も深刻な事故となる

#### 【原因】

- ◇ 他の薬剤と取り違える
- ◇ 体外循環中に準備したプロタミンを誤投与
- ◇ 体外循環が停止したと誤認する

#### 【予防策】

- ◇ 体外循環中にはプロタミンを準備しない
- ◇ 体外循環の状態を把握している者がプロタミンを準備する
- ◇ プロタミンを手元に置かない
- ◇ プロタミンと他の薬剤とを明確に区別する

#### 【対処】

- ◇ ヘパリンを貯血槽もしくは患者に投与する。
- ◇ 術者・麻酔科医などと相談し人工心肺を止めることが可能であれば、直ちに送血を止め、血栓を患者に送らないように送血・脱血回路を遮断する。ヘパリンを貯血槽に投与して、再循環回路を開けて再循環しながら血栓の有無を確認する。
- ◇ 再循環により送血フィルターが詰まり送血圧が上昇したり、人工肺に多量の血栓が見られるようであれば、新しい人工心肺回路に切り替える。新しい回路の準備の間、ECMO などの補助循環により循環を維持することも検討する。
- ◇ 若干の血栓が認められても、再循環を行って送血フィルターや人工肺が詰まらないようであれば、体外循環を再開する。この時、送血フィルターから先で血栓が生じている可能性もあるので、一旦送血カニューレを抜去して送血回路の血液をフラッシュしてから再度挿入し、体外循環を開始するほうが安全である。
- ◇ 送血を止めた時点で、送血回路や抜去した送血カニューレの先端などに血栓が認められる場合は、生体に血栓を送り込んだと考えられる。この場合、直ちに患者にヘパリンを投与し、循環を再開することに努める。動脈への空気誤送時のように逆行性送血で血栓を取り除く

ことはあまり期待できない。血栓溶解療法も検討する余地があるが、血栓溶解剤により止血が困難となることが予想される。

## 2 薬物を投与したら血圧が低下した

### 【具体例】

- ◇ 降圧作用のない薬物を投与したのに血圧が低下した
- ◇ 降圧剤を誤って大量投与した
- ◇ 血圧を上げようと昇圧剤を入れるつもりが降圧剤を誤って投与した

### 【結果】

- ◇ 血圧の低下または、さらなる血圧の低下
- ◇ 尿量の減少
- ◇ 脳血流の減少

### 【原因】

- ◇ 薬液の取り違い
- ◇ 投薬量の誤認
- ◇ アナフィラキシー反応

### 【予防策】

- ◇ 薬剤の整理
- ◇ 薬剤の準備段階での確認
- ◇ 投薬前の薬名と薬量の再確認

### 【対処】

- ◇ 誤薬で血圧が低下した場合は、送血流量を増し血圧を上昇させる。長引く場合は昇圧剤を投与して血圧を保つ。アナフィラキシーショックなどの場合にも同様な処置を行う。(D-1『血圧が低い』参照)

## 3 昇圧剤を誤って投与した

### 【具体例】

- ◇ 他の薬と取り違えて昇圧剤を投与した
- ◇ 昇圧剤を大量投与してしまった

### 【結果】

- ◇ 高血圧による臓器出血や浮腫
- ◇ 脳出血の場合は極めて重大な結果となる
- ◇ 血管収縮による末梢循環不全

#### 【原因】

- ◇ 薬剤の準備段階での薬品の取り違い
- ◇ 投薬段階での薬品の取り違い

#### 【予防策】

- ◇ 薬剤の準備段階での確認
- ◇ 投薬前の確認

#### 【対処】

- ◇ 著しく血圧が上昇した場合は送血流量を減らし、適度な血圧を維持する。薬効が切れるまで送血流量を減らすが、長引く場合は降圧剤を使用する。(D-2『血圧が高い』参照)

## 4 異型輸血

#### 【具体例】

- ◇ 体外循環中に異なった血液型の輸血を行った
- ◇ 他の患者に準備された血液で輸血した

#### 【結果】

- ◇ アナフィラキシーショック
- ◇ 溶血
- ◇ 多量の場合は重篤な合併症が生ずる

#### 【原因】

- ◇ 血液型の確認の不徹底

#### 【予防策】

- ◇ 準備時の血液型の確認
- ◇ 投薬時の血液型の再確認
- ◇ 院内の輸血の確認手順の厳守

#### 【対処】

- ◇ 輸血管理部に確認する。異型輸血の対処法に従う。大量に異型輸血を行った場合は、体外循環中に血漿交換を行うことも検討する。交換輸血を行う場合、しゃ血と輸血を繰り返す方法より、冷却後循環停止をして全血液をしゃ血し、新しい血液で充填してから循環を再開し復温・離脱させる方法が交換率が高い。

## 5 大量の補液が必要になる

### 【具体例】

- ◇ 貯血レベルの低下に対処するため大量の補液が必要になる

### 【結果】

- ◇ pH 異常、電解質異常
- ◇ 過度の希釈
- ◇ 浮腫

### 【原因】

- ◇ 利尿
- ◇ 出血
- ◇ 水の血管外へのシフト
- ◇ 脱血不良

### 【予防策】

- ◇ 貯血レベルの監視
- ◇ まめな尿量の確認
- ◇ まめな血液検査
- ◇ 時々、手術台の下を確認
- ◇ 浸透圧の維持
- ◇ 血清蛋白質濃度などの適正維持

### 【対処】

- ◇ 貯血レベルが徐々に下がる場合は、尿量を確認し、利尿があるのであれば相当する量の補液を行い、貯血レベルを保つ。ヘマトクリット値が下がっているようならば出血を疑い必要に応じて輸血を行う。(I-7『ヘマトクリット値が下がる』参照)
- ◇ 貯血レベルが急に下がったり上下する場合は、循環血液の不足だけが問題ではなく脱血不良を疑いカニューレ位置などの確認を行う。
- ◇ 血液の浸透圧が低下したことで血液中の水分が血管外に移動している場合に、リンゲル液などで大量に補液を行えば、さらに浸透圧が低下して悪循環となる。このような場合、膠質浸透圧を維持できる代用血漿や輸血などで補うことも検討する。

## 6 プロタミン投与時に血圧が低下した

### 【具体例】

- ◇ 体外循環終了後プロタミンを投与したら血圧が低下した



#### 【結果】

- ◇ 循環動態の悪化
- ◇ 心不全の助長

#### 【原因】

- ◇ プロタミンの末梢血管拡張作用
- ◇ プロタミンの急速投与
- ◇ 出血
- ◇ 心機能の低下

#### 【予防策】

- ◇ 緩徐な投与

#### 【対処】

- ◇ 血圧の低下により、体外循環を再開する場合は確実にヘパリンを投与したのを確認してから体外循環を開始する。
- ◇ プロタミンの投与を緩やかにするか一時的に止め、循環動態の改善を待つ。
- ◇ 低血圧は、出血あるいは昇圧・強心剤のライントラブル、心機能低下も原因となるのでこれらについてもチェックする必要がある。

## K 心筋保護に関するトラブル

### 1 心筋保護液を注入しても心停止にならない

#### 【具体例】

- ◇ 心筋保護液を注入しても心電図が平坦化しない

#### 【結果】

- ◇ 実際に心筋の活動を抑えられない場合は術中心筋梗塞

#### 【原因】

- ◇ 心筋保護液の注入量が不十分
- ◇ 心筋保護液の組成時の誤薬や混合量の間違い
- ◇ 大動脈が確実に遮断されていない
- ◇ 冠動脈以外の側副血行路などによる心筋への血液供給
- ◇ 冠動脈バイパス術では再建したバイパスからの血液供給
- ◇ ローラーポンプで生ずる静電気などの心電図へのノイズ

#### 【予防策】

- ◇ 心筋保護液作成時の組成の確認
- ◇ 注入時の注入圧力と注入量の確認
- ◇ 術野での心停止に至る心筋の状態の観察
- ◇ 選択的注入では術野における的確な注入

#### 【対処】

- ◇ 心筋保護液を追加する。追加しても心停止が得られない場合は、組成のチェックや注入ルートの確認、大動脈の確実な遮断などを確認し原因を特定する。
- ◇ 原因が特定できない場合は、逆行性の注入など注入方法や心筋保護法を替えて、確実な心筋保護を行う。
- ◇ 心電図とローラーポンプの回転が同期しているようならば、ポンプ由来のノイズである。

### 2 心筋保護液の組成を誤った

#### 【具体例】

- ◇ 心筋保護液の溶媒に薬液を入れずに注入した
- ◇ 心筋保護液に誤った薬剤を投与した
- ◇ 心筋保護液に混入する薬剤の量を誤った

#### 【結果】

- ◇ 細胞を破壊する組成になっている場合は心筋全体が壊死し重大な事故となる

- ◇ 不完全な心筋保護でも術中心筋梗塞の危険がある

#### 【原因】

- ◇ 調整を必要とする準備作業
- ◇ 複雑な調整作業
- ◇ 調整作業手順の不備、周知徹底の不足
- ◇ 薬剤の取り違え、薬剤名および量の確認不足
- ◇ 調整作業の中断、申し送りの不徹底
- ◇ 複数作業の併行実施、注意散漫となる慌ただしい環境
- ◇ 確認点検の不徹底

#### 【予防策】

- ◇ 市販の製剤済みの心筋保護液を使用する
- ◇ 調整後のアンプルなどで重複したチェック
- ◇ 溶媒に浸透圧の低い蒸留水などを用いない
- ◇ 心筋保護に関する薬剤をまとめて管理する
- ◇ なるべく単純で調整しやすい組成とする

#### 【対処】

- ◇ 心筋保護液を注入しても心停止が得られないなど、通常と違う反応がある場合は心筋保護液の異常も疑う。心筋保護液の組成に誤りがあった場合で、注入により組織が壊死する危険がある場合は、早急に誤った組成の心筋保護液を心筋から流し出す必要がある。大動脈の遮断が解除できるのであれば解除して血液で灌流する。遮断解除ができない場合は心筋保護液ラインから血液のみを送り洗い流すか、術野から注射器などで血液を注入して洗い流す。その後、正しい組成で心筋保護液を作り直して十分な心筋保護液を注入する。
- ◇ 心臓への手術操作が終わり、遮断解除しても心筋の活動が認められない場合や心機能の回復が思わしくない場合にも心筋保護液の組成を再チェックする。組成に間違いがあれば、心筋に広範囲の障害が生じている可能性があるため、補助循環などの使用を検討し準備する。

### 3 心筋保護液が空になる

#### 【具体例】

- ◇ 心筋保護液の注入量が多く心筋保護液のボトルが空になった
- ◇ 心筋保護液のポンプを止め忘れ心筋保護液ボトルが空になった
- ◇ 心筋保護液を注入しないのに心筋保護液のボトルが減る

#### 【結果】

- ◇ ボトル内の空気が心筋保護液に混入
- ◇ 過剰投与や体外循環回路への流入による高カリウム血症

#### 【原因】

- ◇ 心筋保護液ポンプの止め忘れ
- ◇ 心筋保護液ポンプや再循環切り替え誤操作
- ◇ 心筋保護液ポンプの圧閉度が弱い

#### 【予防策】

- ◇ 心筋保護液バック内の空気の除去
- ◇ 心筋保護液回路への気泡検出器の取り付け
- ◇ 心筋保護液回路やポンプのチェック
- ◇ 尿量や血液カリウム値のチェック
- ◇ 注入中の監視と注入後のポンプの停止の確認

#### 【対処】

- ◇ 心筋保護液回路に空気が混入し心臓に注入された場合は、直ちに心筋保護液ポンプを止め、回路の気泡を除去する。回路全体に空気が入ってしまった場合は、乳酸リンゲル液などのボトルを取り付け、心筋保護液回路の再循環を行ったり、心筋保護液注入カニューレを外して液を送りながら回路内部の気泡を抜く。
- ◇ そして新しい心筋保護液ボトルを取り付けて心筋保護液回路を心筋保護液で満たす。
- ◇ 心筋保護液回路から心臓に空気を送ってしまった場合やそれが予想される場合は、積極的に心臓から気泡を除去する。順行性のルートから気泡を送った場合であれば逆行性に、逆行性のルートから送った場合であれば順行性に心筋保護液を注入し積極的に送り込んだ気泡を除去する。(A-6『心筋保護回路からの空気の送り込み』参照)
- ◇ 血液のカリウム値が高い場合は利尿を図るなどカリウム値を下げる対処をする。(I-3『カリウム値が上がる』参照)

## 4 心筋保護液の注入圧が高い

#### 【具体例】

- ◇ 通常の注入流量なのに注入圧が高い
- ◇ 注入圧が高く、全く心筋保護液が注入できない

#### 【結果】

- ◇ 冠動脈・冠静脈壁の損傷
- ◇ 不十分な心筋保護

#### 【原因】

- ◇ 心筋保護液注入カニューレの先当たり
- ◇ 注入切り替え用の活栓が完全に開いていない
- ◇ 心筋保護液回路やカニューレの折れ曲がり
- ◇ 不確実な大動脈の遮断

- ◇ 低温による赤血球のスラッジング
- ◇ 冠動脈の閉塞
- ◇ 不適切な注入流量の設定

#### 【予防策】

- ◇ 心筋保護液回路の充填時の回路や切り替え用の活栓の点検
- ◇ 的確な注入流量と圧モニタ

#### 【対処】

- ◇ まったく注入できない場合やわずかししか注入できない場合は、回路の折れ曲がりや活栓の開き忘れなどを疑う。冠動脈口から直接注入している場合は、カニューレの先あたりや冠動脈の閉塞が疑われる。途中から注入圧が上がった場合は、回路の折れ曲がりや心筋保護液の切り替え間違い、赤血球のスラッジングによる血球の詰まりなどが疑われる。
- ◇ 原因を特定できない場合や、改善しない場合は順行性・逆行性を入れ替えるなど注入ルートを変えて心筋保護を行う。

## 5 心筋保護液の注入圧が低い

#### 【具体例】

- ◇ 通常の注入流量なのに注入圧が低い

#### 【結果】

- ◇ 不十分であったり不均一な心筋保護

#### 【原因】

- ◇ 再循環ラインが開いている
- ◇ 注入ルートの切り替えが誤っている
- ◇ 不確実な大動脈の遮断
- ◇ 不適切な注入流量の設定
- ◇ 大動脈弁からの逆流
- ◇ 選択的注入の場合はカニューレの挿入が浅い

#### 【予防策】

- ◇ 心筋保護液回路の確認
- ◇ 的確な注入流量と圧モニタ

#### 【対処】

- ◇ 初回から注入圧が低い場合は、回路の切り替えの不備や、大動脈の遮断が不確実であったり、大動脈弁から左心室へ流入している可能性を疑う。
- ◇ 追加時に注入圧が下がった場合は回路の切り替えや流量設定が誤っている可能性がある。

- ◇ 改善しない場合は順行性・逆行性を入れ替えるなど注入ルートを変えて心筋保護を行う。

## 6 心筋保護液バックに血液が流入する

### 【具体例】

- ◇ 血液併用心筋保護で心筋保護液バックに血液が流入する
- ◇ 晶質性心筋保護で心筋保護液回路に血液が流入する

### 【結果】

- ◇ 不十分な心筋保護

### 【原因】

- ◇ 回路のつなぎ間違い
- ◇ ポンプの逆回転
- ◇ 不確実な大動脈の遮断
- ◇ 心筋保護液の圧閉度が弱い

### 【予防策】

- ◇ 充填時、充填終了後の回路やポンプの点検

### 【対処】

- ◇ 回路に接続ミスが無ければ、心筋保護液ポンプの圧閉度が弱く逆流していると考えられる。逆流が止まるまで圧閉度を強めて確実に心筋保護を行い、術後圧閉度を適正に再調整する。

## 7 心筋保護回路に空気が入った

### 【具体例】

- ◇ 心筋保護回路に空気が入り空気を送る

### 【結果】

- ◇ 広範囲な心筋梗塞の発生
- ◇ 一時的な虚血による心不全や不整脈の発生

### 【原因】

- ◇ 心筋保護液バックの気泡残留
- ◇ 人工肺への気泡の侵入
- ◇ 気泡抜きの不徹底
- ◇ 心筋保護液圧測定ラインのレベル不足

#### 【予防策】

- ◇ 心筋保護液バツクの気泡抜き
- ◇ 心筋保護液回路へのエアトラップの取り付け
- ◇ 心筋保護液回路への気泡検出器の取り付け

#### 【対処】

- ◇ わずかな気泡がある場合は、圧ラインや再循環ラインなどに気泡を導き除去する。回路全体に空気が入っている場合は、乳酸リンゲル液などのボトルを取り付け、心筋保護液回路の再循環を行ったり、心筋保護液注入カニユレを外して液を送りながら回路内部の気泡を抜く。そして新しい心筋保護液ボトルを取り付けて心筋保護液回路を心筋保護液で満たす。
- ◇ 心臓に空気を送ってしまった場合や可能性のある場合は、積極的に心臓から気泡を除去する。順行性のルートから気泡を送った場合であれば逆行性に、逆行性のルートから送った場合であれば順行性に心筋保護液を注入し積極的に送り込んだ気泡を除去する。(A-6『心筋保護回路からの空気の送り込み』参照)

## 8 心筋保護液供給装置の故障

#### 【具体例】

- ◇ 心筋保護液供給装置の温度調節ができない
- ◇ 心筋保護液注入ポンプが動作しない
- ◇ 血液との混合ポンプが動作しない

#### 【結果】

- ◇ 不適切な心筋保護

#### 【原因】

- ◇ 冷却用コンプレッサーの故障
- ◇ 冷媒ガスの漏れ
- ◇ 循環水フィルターの詰まり
- ◇ 冷却水ポンプの故障
- ◇ 注入ポンプの故障
- ◇ 混合ポンプの故障

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施

#### 【対処】

- ◇ 心筋保護液の冷却ができない場合は冷水槽に氷を入れて冷却するか、人工心肺の冷温水槽とつなぎ変えることで冷却が行える。

- ◇ 注入ポンプが動作しない場合は、手回しハンドルで注入する。晶質性心筋保護液の場合は、ポンプを使用しないで心筋保護液のボトルから直接落差で注入するか、あるいは加圧バッグを巻いて注入することもできる。
- ◇ 血液と心筋保護液を混合するポンプが動作しない場合は、ポンプの手動操作で混合するか、輸液バッグに人工心肺から血液を一定量貯めてから、同じくバッグに注射器で心筋保護液を入れて混合する。これをポンプや落差、あるいは加圧バッグを巻いて心筋保護液ラインより注入する。



## L 製品の汚染、破損に関するトラブル

### 1 充填液や灌流血液の汚染

#### 【具体例】

- ◇ プライミング中に不衛生な操作で充填液を注入してしまった
- ◇ 体外循環中に不衛生な操作で薬剤、輸液、輸血投与してしまった
- ◇ 未滅菌、滅菌切れの材料を使用したため汚染してしまった
- ◇ 回路組み立て時に衛生的に行われず汚染してしまった

#### 【結果】

- ◇ 菌血症から重篤な敗血症に繋がるおそれがある

#### 【原因】

- ◇ 未滅菌や滅菌切れの材料の使用
- ◇ 不衛生な投薬方法
- ◇ 不衛生な回路の組み立て
- ◇ 不衛生な輸液、輸血、投薬操作

#### 【予防策】

- ◇ 衛生的な取り扱い方法のマニュアル化と清潔操作の徹底
- ◇ 使用する材料の滅菌状態の確認

#### 【対処】

- ◇ 体外循環の開始前までに汚染に気が付いた場合は、直ちに回路全体を破棄し、新しい回路を組み立て、充填操作してから使用する。体外循環を開始してから気づいた場合や、体外循環中に汚染した場合は、抗生物質の投与などしか対処の手段がない。予防が極めて重要になる。
- ◇ 体外循環を使用する開心術等においては生体の免疫機能が著しく低下するため、通常の医療機器操作より清潔操作が特に重要となる。

### 2 材料の滅菌切れ

#### 【具体例】

- ◇ 人工心肺に使用する材料の滅菌期限が切れていた

#### 【結果】

- ◇ 体外循環に使用してしまった場合は感染の可能性がある

#### 【原因】

- ◇ 在庫管理の不徹底
- ◇ 使用前のチェックの管理不足

#### 【予防策】

- ◇ 使用する全ての材料の滅菌期限を管理する
- ◇ 開封する時点で使用期限をチェックする
- ◇ 体外循環前日での材料の準備と点検

#### 【対処】

- ◇ 開封時のチェックで滅菌切れに気がついた場合は、滅菌の有効期限内の材料に交換する。滅菌切れで新しい材料がない場合は、材料の取り寄せに時間を要する場合がありますので、少なくとも 2～3 日前には使用材料の確認をしておくことが望ましい。

### 3 材料の梱包の破損

#### 【具体例】

- ◇ 材料の滅菌包装が破れている

#### 【結果】

- ◇ 使用してしまった場合は感染の可能性がある
- ◇ 材料の破損の可能性がある

#### 【原因】

- ◇ 材料の粗雑な扱い
- ◇ 製造時の包装の不備

#### 【予防策】

- ◇ 開封時のチェック

#### 【対処】

- ◇ 開封時のチェックで包装の破損に気がついた場合は、新しい材料に交換する。新しい材料がない場合は、材料の取り寄せに時間を要する場合がありますので、少なくとも 2～3 日前には使用材料の確認をしておくことが望ましい。
- ◇ 可能であれば別のものに交換。

### 4 術野回路の汚染

#### 【具体例】

- ◇ 術野回路の開封時に回路に触れて汚染した

- ◇ 術野回路を術者に渡すときに回路を汚染した
- ◇ 機械側回路が術野に引っ張られて術野回路を汚染した

#### 【結果】

- ◇ 手術進行の遅れ
- ◇ 汚染に気が付かなければ感染

#### 【原因】

- ◇ 不適切な回路の扱い

#### 【予防策】

- ◇ 慎重な開封と操作
- ◇ 予備の術野側回路の用意
- ◇ 術野回路と機械側回路の明確な区別
- ◇ 術野回路の確実な固定

#### 【対処】

- ◇ 術野回路は手術の創部に直接接触するため、回路の外側であっても滅菌状態が維持されていなければならないので術野回路を汚染した場合は回路を廃棄する。新しい術野回路を用意し機械側回路と接続し、充填と気泡抜きを行う。

## 5 医療従事者への感染

#### 【具体例】

- ◇ 採血スピッツに入れようとしたら針を刺した
- ◇ 注射器にキャップをしようとしたら針を刺した
- ◇ 回路を廃棄しようとしたら針やガラス片を刺した
- ◇ 血液が飛散し目に入った

#### 【結果】

- ◇ 医療従事者の感染

#### 【原因】

- ◇ 感染症
- ◇ 不適切な注射針の扱い
- ◇ 針などの危険物と他のゴミとの不分別

#### 【予防策】

- ◇ ACT や採血スピッツは注射針を使って注入しない
- ◇ 血液に触れた針はキャップしない

- ◇ 輸液、輸血用セットにはプラスチック針を用いる
- ◇ 回路と注射針や割れたガラス片などと一緒に廃棄しない
- ◇ 防護のための手袋の使用
- ◇ 防護ゴーグルやフェイスマスクの使用

#### 【対処】

- ◇ 感染対策室に確認する。
- ◇ 血液の付着している針やガラス片を刺したら、直ちに創部から血液を可能な限り搾り出す。
- ◇ 血液が出なくなったら創部を十分消毒する。感染症の有無を確認し、施設での針刺し事故の対処方法に従い処置をする。
- ◇ 目などの粘膜に血液が入った場合は、直ちに清潔な水や生理食塩水で十分洗浄する。感染症の有無を確認し、施設での針刺し事故の対処方法に準じて処置をする。

# M 温度の異常に関するトラブル

## 1 冷却できない

### 【具体例】

- ◇ 冷温水槽の温度が下がらず冷却できない
- ◇ 冷温水槽の冷却水が循環できず冷却できない
- ◇ コントロールパネルの故障

### 【結果】

- ◇ 手術の遅れ
- ◇ 体外循環時間の延長

### 【原因】

- ◇ 水槽の設定ミス
- ◇ 冷却用コンプレッサーの事故
- ◇ 冷媒ガスの漏れ
- ◇ 水槽の循環水フィルターの目詰まり
- ◇ 熱交換水回路の折れ曲がり
- ◇ 送水ポンプのエアブロック
- ◇ 送水ポンプの故障
- ◇ 電磁弁の故障

### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 予備の冷温水槽の準備

### 【対処】

- ◇ 温度設定や操作に誤りが無いか点検する。
- ◇ 冷却用のコンプレッサーが動作しない場合や、動作しても冷却されない場合は、冷温水槽に氷を入れて冷却する。
- ◇ 送血ポンプが動作しない場合や、電磁弁の動作不良で冷却水が流れない場合は、予備の冷温水槽に切り替える。
- ◇ 予備の冷温水槽がない場合は、バケツなどに氷を入れ、冷水をローラーポンプを用いて熱交換器に循環して冷却する。
- ◇ ブランケット(手術台マット)のウォーマーに冷却能力があれば、これを人工心肺の熱交換器につないで冷却できるが、一般的に冷却能力は低く冷却には時間を要する。(B-8『冷温水槽の故障』参照)

## 2 冷却が遅い

### 【具体例】

- ◇ 冷温水槽の温度が下がらず冷却が遅い
- ◇ 冷温水槽の冷却水の流量が不十分で冷却が遅い
- ◇ 冷温水槽に異常が無いのに冷却が遅い

### 【結果】

- ◇ 手術進行の遅れ
- ◇ 体外循環時間の延長

### 【原因】

- ◇ 温度設定のミス
- ◇ 冷媒ガスの漏れ
- ◇ 水槽の循環水フィルターの目詰まり
- ◇ 熱交換水回路の折れ曲がり
- ◇ 患者が大きく熱容量が多い
- ◇ 冷却装置の冷却能力が低い
- ◇ 熱交換器の能力が相対的に不十分である
- ◇ ブランケットが保温されている
- ◇ 室温が高い
- ◇ 体温のセンサーが不適切

### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 予備の冷温水槽の準備
- ◇ 適切な熱交換能力を持つ人工肺の選択

### 【対処】

- ◇ 温度設定や冷却水流量を確認する
- ◇ 水温が下がらない場合は冷温水槽に氷を入れて冷却する
- ◇ 冷却水の流れが悪い場合は、熱交換水の回路を点検する
- ◇ 必要に応じて予備の冷温水槽に切り替える

## 3 復温できない

### 【具体例】

- ◇ 冷温水槽の温度が上がらず復温できない
- ◇ 冷温水槽の温水が循環できず復温できない

#### 【結果】

- ◇ 手術進行の遅れ
- ◇ 体外循環時間の延長
- ◇ 復温が不能であれば体外循環から離脱できない

#### 【原因】

- ◇ ヒーターの破損
- ◇ ヒーターのブレーカーや温度ヒューズの作動
- ◇ 水槽の循環水フィルターの目詰まり
- ◇ 熱交換水回路の折れ曲がり
- ◇ 送水ポンプの故障
- ◇ 電磁弁の故障

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 予備の冷温水槽の準備

#### 【対処】

- ◇ 温度が上昇しない場合は、温度設定やヒーターのブレーカーなどをチェックする。
- ◇ ヒーターが復旧できない場合は、温水を用意して温水槽の水を抜きながら温水を入れて復温する。この時、温水の温度が42℃を超えないように注意する。
- ◇ 温水が流れない場合予備の冷温水槽に切り替えるか、予備のローラーポンプや遠心ポンプを用いて温水を熱交換器に循環する。
- ◇ ブランケット(手術台マット)のウォーマーを人工心肺の熱交換器につないで加温できるが、一般的に熱量や送水量は低く復温には時間を要する。(B-8『冷温水槽の故障』参照)

## 4 復温が遅い

#### 【具体例】

- ◇ 冷温水槽の温度が上がらず復温が遅い
- ◇ 冷温水槽の温水の流量が不十分で復温が遅い
- ◇ 冷温水槽に異常が無いのに復温が遅い

#### 【結果】

- ◇ 手術進行の遅れ
- ◇ 体外循環時間の延長

#### 【原因】

- ◇ 水槽の循環水フィルターの目詰まり
- ◇ 熱交換水回路の折れ曲がり

- ◇ 送水ポンプの故障
- ◇ 電磁弁の故障
- ◇ 患者の身体が大きく必要熱容量が多い
- ◇ 末梢血管の収縮による末梢循環不全
- ◇ 熱交換器の能力が相対的に不十分である
- ◇ 装置の熱量が小さい
- ◇ ブランケットが復温状態にない
- ◇ 室温が低い
- ◇ 体温のセンサーが抜け室温を表示している

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 予備の冷温水槽の準備
- ◇ 適切な熱交換能を持つ人工肺の選択
- ◇ 適切な末梢血管抵抗の維持
- ◇ 温風ブランケットなどの補助手段の利用

#### 【対処】

- ◇ 水槽温が上がらない場合は温度設定や、ヒーターが 2 系統ある機種では双方のヒーターが動作しているか確認する。
- ◇ 水温が上がらないようであれば、給湯器などの温水を温水槽に加えながら復温する。この時温水の温度が 42℃を超えないように注意する。
- ◇ 温水の流れが悪い場合は予備の冷温水槽に切り替えるか、予備のローラーポンプや遠心ポンプを用いて温水を熱交換器に循環することも検討する。
- ◇ ブランケット(手術台マット)のウォーマーも利用できるが、一般的に熱量や送水量は低く復温には時間を要する。



## N 血液濃縮回路に関するトラブル

### 1 回路が抜けた・接続部が外れた・破損した

#### 【具体例】

- ◇ 接続部から回路が抜けた外れた
- ◇ 回路が破損した

#### 【結果】

- ◇ 血液濃縮回路を遮断するまで、回路分の失血
- ◇ 血液濃縮回路の汚染、空気混入

#### 【原因】

- ◇ 血液濃縮回路が引っ張られた
- ◇ 回路の折れ曲がりによって内圧が高まり抜ける
- ◇ 不適切な鉗子(クレンメ)操作により内圧が高まり抜ける
- ◇ 不適切な接続
- ◇ 血液濃縮の凝血等で内圧が高まり抜ける

#### 【予防策】

- ◇ 確実な固定、回路の取り回し
- ◇ 使用前点検、色分け
- ◇ 圧力計の設置、圧力を逃がす回路の工夫
- ◇ ルアロック接続の採用

#### 【対処】

- ◇ 回路分岐部の血液濃縮回路を鉗子等で閉塞させ、(血液濃縮ポンプを止める)失血を止める。原因部分が特定出来たら、原因部分の交換(補強)を行う。
- ◇ 汚染された場合は血液濃縮回路一式の交換を行う。
- ◇ 血液が飛散した場合、汚染個所の消毒を行う。

### 2 血液濃縮器の破損

#### 【具体例】

- ◇ 血液濃縮器から血液が漏れる
- ◇ 濾液から血液が漏れる
- ◇ 血液濃縮器から濾液が漏れる

#### 【結果】

- ◇ 失血

- ◇ 濾液が計測出来ない

#### 【原因】

- ◇ 製造、運搬、準備、使用時の衝撃
- ◇ 中空糸膜の不良、内圧上昇による破損

#### 【予防策】

- ◇ 使用前点検、色分けを行う
- ◇ 内圧上昇が起きないような回路の工夫

#### 【対処】

- ◇ 血液が漏れている場合は血液濃縮回路を鉗子等で閉塞させ、(血液濃縮ポンプを止める) 失血を止める。回路の汚染が無ければ血液濃縮器を交換する。
- ◇ 汚染がある場合は血液濃縮回路一式を交換する。
- ◇ 濾液の漏れが少量で測定可能な場合は、補強等で続行可能な場合があるが、血液濾過器の交換を検討する。

### 3 血液濃縮ポンプの故障

#### 【具体例】

- ◇ 血液濃縮ポンプの停止

#### 【結果】

- ◇ 血液濃縮ができない

#### 【原因】

- ◇ ポンプの故障、電源の不備

#### 【予防策】

- ◇ 始業点検と定期点検の実施
- ◇ 予備のポンプの準備

#### 【対処】

- ◇ 血液濃縮ポンプを予備のポンプに交換する
- ◇ 空いているポンプを使用する
- ◇ メイン回路の高圧部分に接続し圧力差で血液を循環させ血液を濃縮する

## 4 血液濃縮器が凝血した

### 【具体例】

- ◇ 血液濃縮器の凝血
- ◇ 血液濃縮回路内圧の上昇
- ◇ 濾液が出ない
- ◇ 血液濃縮器の色が暗赤色

### 【結果】

- ◇ 血液濃縮器の凝血により血液濃縮が出来ない

### 【原因】

- ◇ 抗凝固薬の不足
- ◇ 炎症反応による凝固亢進
- ◇ 長時間の血液のうっ滞

### 【予防策】

- ◇ 十分な抗凝固薬の投与、濃度の保持
- ◇ 血液濃縮回路の連続的な血流の確保

### 【対処】

- ◇ 血液濃縮回路循環を適時行い、うっ滞する時間を短くする。感染症・緊急手術等では内圧や色の変化などに気を付ける。
- ◇ 凝血の変化が見られた場合は抗凝固薬の追加投与、ACT、ヘパリン濃度などの確認を行い、血液濃縮回路以外も注視する。各部材の凝血についてはそれぞれの項目を参照する。
- ◇ 凝血した場合は血液濃縮器の交換および、血栓の静脈リザーバー等への流出を確認する。

## 5 濾液が出ない・赤くなった

### 【具体例】

- ◇ 濾液が出ない
- ◇ 濾液に赤い色がついた

### 【原因】

- ◇ 血液濃縮回路の血流が止まっている
- ◇ 血液濃縮回路の折れ曲がり
- ◇ 血液濃縮回路が凝血した
- ◇ 血液濃縮回路に過大な圧力がかかっている
- ◇ 大量輸血後、長時間の人工心肺、過度な術野吸引

#### 【予防策】

- ◇ 回路の使用前点検
- ◇ 血液濃縮回路の血流を確認してから濃縮を開始する
- ◇ 血液濃縮回路に過大な陽圧をかけない
- ◇ 濾液回路に過大な陰圧をかけない

#### 【対処】

- ◇ 血液回路の血流が止まっている場合折れ曲がっている場合は解除する。
- ◇ 血液濃縮器の凝血の場合は交換を検討する。
- ◇ 過大な圧力をかけてしまったからの溶血、血液漏出には簡易検査キットを使い溶血か血液漏出かを判断する。
- ◇ 血液漏出の場合は血液濃縮器の交換を行う。溶血の場合は濾液の色の経過(時間がたつと薄まるか、濃くなるか)を観察する。溶血が進行する場合は要因を探る。医師と相談しハプトグロビン等の薬剤投与も検討する。

## 0 その他

### 1 再手術症例でのトラブル

#### 【具体例】

- ◇ 再開胸時の出血(貯血レベルが安定しないと同様)

#### 【結果】

- ◇ 不安定な循環、循環不全

#### 【原因】

- ◇ 出血

#### 【予防策】

- ◇ 術前の CT 検査で胸骨周辺の確認
- ◇ 出血時の対応について、人工心肺の開始やヘパリン投与、ACT 確認のタイミングも含めて、事前に確認しておく
- ◇ 状況によっては、下肢の動静脈の確保をしておく
- ◇ 場合によっては人工心肺開始後に開胸する

#### 【対処】

- ◇ 出血が多く循環を維持できない場合には、確実にヘパリンを投与し人工心肺を開始する。
- ◇ ヘパリン投与後、体外循環の待機が続く場合はヘパリンの半減期を考慮して 30~60 分に 1 度は ACT を確認する。
- ◇ 送血カニューレを挿入し、ボリュームを補い循環動態を維持する。
- ◇ 出血が大量の場合、送血カニューレのみを挿入しサクションだけで体外循環を確立する。

### 2 人工心肺離脱後の re-Pump 時のトラブル

#### 【具体例】

- ◇ リザーバー や人工肺に血栓ができています。(血液の凝固やつまりに関するトラブルと同様)
- ◇ ヘパリンを投与せずに re-Pump を行った。(誤ってプロタミンを投与したに近い)

#### 【結果】

- ◇ 血栓を送る可能性がある
- ◇ 人工肺、回路の目詰まりによって人工心肺を開始できない

#### 【原因】

- ◇ 不十分な抗凝固
- ◇ プロタミンの投与

#### 【予防策】

- ◇ 吸引回路はプロタミン投与前に停止する。その後は血液回収装置に切り替える。
- ◇ 定期的な抗凝固状態の確認。
- ◇ 抗凝固状態の確認後に人工心肺の開始。
- ◇ 人工心肺後に再循環ラインを開けて、再循環させておく。

#### 【対処】

- ◇ 人工心肺構成品の交換
- ◇ ヘパリンを初期量投与後に抗凝固状態を測定する

### 3 MUF でのトラブル

#### 【具体例】

- ◇ A-V MUF 中、人工肺から気泡を吸い込む

#### 【結果】

- ◇ MUF 継続困難
- ◇ 全身もしくは部分的な臓器の空気塞栓症

#### 【原因】

- ◇ 送血カニューレが先あたりで閉塞し、人工肺が陰圧になる
- ◇ 送血側回路や送血用人工血管が屈曲等で閉塞し、人工肺が陰圧になる

#### 【予防策】

- ◇ 送血する血管が細かい場合には、特に先あたりに注意する
- ◇ 送血側回路内圧の低下に注意する。可能であればアラームやポンプの自動停止機能を設定する。

#### 【対処】

- ◇ 直ちにポンプを停止し、送血回路を遮断、MUF を中断あるいは中止する。  
患者まで空気が達している場合は適切な対処を行う。(A-1『血回路からの空気の送り込み』参照)

## 編集後記

2003 年発行の人工心肺安全ハンドブック(初版)を初めて手にしたとき、いわゆる「教科書」とは違う趣でとても勉強になったことを私自身覚えています。改訂 2 版の編集に際しても執筆していただいた方々の生の表現をそのままお届けする方法を踏襲し、現行の体外循環方法にも対応すべく、広くご意見をいただきました。より現場の実情に近く身近でありながら実践的な内容になっているかと思います。今回は、電子化することで PC やスマホ、タブレットにも入れられ、目次からのジャンプや検索にも対応させました。皆様方の端末にもそっと忍ばせていただき、人工心肺施行時のすべてが Perfusionist の「想定内」に収まる助けになれば幸いです。

《文責:嶋岡 健志》

---

# 人工心肺安全ハンドブック 改訂 2 版

2022 年 1 月 発行

---

監 修 一般社団法人 日本体外循環技術医学会  
The Japanese Society of Extra-Corporeal Technology in Medicine

発 行 人 理 事 長 百瀬 直樹 自治医科大学附属さいたま医療センター

編 集 責 任 安 野 誠 群馬県立心臓血管センター  
瓦 谷 義 隆 独立行政法人国立病院機構名古屋医療センター  
篠 原 智 誉 三菱京都病院  
嶋 岡 健 志 富山大学附属病院  
鈴 木 雅 和 東北医科薬科大学病院  
丹 木 義 和 東京医科大学八王子医療センター

編 集 赤 地 吏 帝京大学医学部附属病院  
笠 野 靖 代 済生会熊本病院  
黒 川 大 樹 小牧市民病院  
寒 河 江 磨 北海道大学病院  
鈴 木 健 一 日本医科大学付属病院  
高 寛 岡山大学病院  
富 永 圭 一 独立行政法人国立病院機構九州医療センター  
光 家 努 香川大学医学部付属病院  
吉 田 幸 太 郎 大阪大学医学部附属病院

初 版 編 集 鈴 木 一 郎  
関 口 敦  
又 吉 徹  
百 瀬 直 樹

---