3. 心採取術マニュアル

東京大学心臓外科 安藤 政彦、小野 稔

千里金蘭大学 福嶌 教偉

１.はじめに

この心臓採取術マニュアルは、標準的な手技の目安であり、手術進行上の状況変化、レシピンエントやドナーの状態および施設の方針に応じて、臨機応変に変更し得るものである。従って、必ずしも全てを遵守することを求めていない。**但し、摘出施設間で意見が異なる場合には、可能な限りマニュアルに従った方法で摘出することを推奨する。**

ドナーチームの手術室入室後の準備の際、持参した心保存液が凍結していないか確認する。氷や保冷剤は冷凍庫から出した時点ではマイナス 20°C程度のため、これらとともにクーラーボックスに入れて持参した心保存液は凍結してしまうことがある。もし凍結していたらクーラーボックスから出して解凍しておく。脳死患者は除神経状態にあるために体位変換による血圧低下を生じやすく、丁寧にゆっくりと手術台に移動する。肩枕を入れ、両上肢はシーツなどで包んでベッドに固定する。体毛がある場合には、体幹前面・陰部・鼠径部を剃毛する。消毒は、前

頚部から体幹・両鼠径部まで行う。胸骨切痕から恥骨レベルまで皮膚切開できるようにドレーピングする。中心静脈カテーテルは内頚静脈から留置されていることが多いが、上大静脈結紮時に浅く引き抜けるよう、呼吸循環管理医に固定糸をはずしてテープで仮固定しておいてもらう。

限られた術野に胸部 2 人、腹部 2〜3 人が立ち、胸部と腹部の操作が同時並行で進むため、胸部と腹部のチームは声を掛け合い、お互いに譲り合いながら操作を進めることを心がける。心臓チームの責任者が術野の責任者となって血行動態を含めた管理に注意を払い、呼吸循環管理医等とよくコミュニケーションをとり、安全かつ予定通りに摘出手術が進行するように配慮する。術中に徐脈となった際には体外式ペーシング療法を考慮し、不整脈発生時には電気的除細動やカルディオバージョンを考慮する必要がある。

進行のタイミングで気を付けるべきところは、①ヘパリン化、②大動脈遮断、である。①ヘパリン化は胸部・腹部ともに剥離などの摘出準備が完了したことを確認してから行う必要がある。②大動脈遮断はドナー臓器の虚血時間の開始時刻となるため、大動脈遮断時間を早める時は各臓器の合意を得なければならない。予定より早く大動脈遮断しても、各臓器の搬送経路によって時間が規定されてしまって虚血時間が徒に延びてしまうことになりうる。一方で予定よりも進行が遅れてしまうと、搬送経路で予定していた新幹線や航空便に乗り遅れて虚血時間が著しく延長してしまう危険性があるため、極めて不都合であり回避しなくて

はならない。

2. 臓器採取術前ミーティング

1) メンバー紹介をして第三次評価の結果を報告する。

2) ドナー入室前の抗生剤投与、執刀前のメチルプレドニゾロン（1 g)、筋弛緩剤の投与、ヘパリン量（400 U/kg）を確認する。ヘパリン投与後の ACT 測定は省略することも伝える。ミーティング後、持参したメチルプレドニゾロン 1 g とヘパリン原液 400 U/kg をそれぞれシリンジに準備して、JOT コーディネーターを介して呼吸循環管理医に渡す。

3) 心臓摘出直前に中心静脈カテーテルを浅く引き抜けるように、ドレーピング前にカテーテル留置部の固定糸をはずしてテープで仮固定することを呼吸循環管理医に依頼する。

4) 腹部臓器の摘出がある場合は、下大静脈に腹部からカニュレーションして脱血することを腹部チームに依頼する。ただし、胸部・腹部チームがお互いに合意すれば、腹部から下大静脈に脱血管を入れず、肺チームも合意の上、右開胸として血液が可能な限り胸腔内に流れ込むようにする。右開胸として心嚢内に流れこむ温血液の量を最小限とすることは、大動脈遮断時の視野の確保だけではなく、心保護の観点からも重要である。右開胸としたうえで、横隔膜上で下大静脈・右房接合部を切開して、ここに吸引管を置いて吸引脱血

することにしてもよい。いずれにしても大動脈遮断前に横隔膜上で肝臓摘出医との合意ラインで下大静脈・右房接合部を切開することを確認する。

5） 肺摘出がある場合、左房切開は肺摘出医と一緒に目視しながら慎重に行うことを確認する。

6） 灌流液投与中の左房の脱血・減圧をどこで行うか（左心耳切開、左房下面切開、肺摘出がない場合は右上肺静脈切開も可）を確認する。

7） 吸引は胸部と腹部で 2 系統ずつ、計 4 系統使用できるよう依頼し、吸引廃液回収ボトルに余裕があるか確認する。

8） 心保存液灌流カニューレからヘパリン化血の採血ができるので、採血希望の移植チームがあるか確認する。ヘパリン化前の採血が必要な分は、摘出手術開始前に呼吸循環管理医に動脈ラインから採血してもらう。

9） 心臓採取医がドナー手術中の術野の責任者となって統括するので、特にヘパリン投与時と大動脈遮断時に、手術室にいる全員に周知して行うことを確認する。

3. 心臓採取手順

1） 手術開始前にメチルプレドニゾロン 1 g と筋弛緩薬を呼吸循環管理医に投与してもらう。

2） 胸骨正中切開を行う。尾側は腹部正中切開とつながる。

（T&P：頭側の皮膚切開が不十分だと、腹部側が大きく開くために胸骨が

「ハの字」に開いて開胸器がずれやすいので、頭側も十分に切開する。）

3） 心膜を縦切開して、ペアンなどで吊り上げる。

（T&P：肺の最終評価後に心膜に吊り上げ糸をかけることを希望する肺採取医もいるため、肺チームと吊り上げ糸をかけるタイミングを相談しておく。）

4） 心臓表面、特に冠動脈を視診および触診で確認する。解剖学的異常や冠動脈硬化がないことを確認し、移植の可否（最終評価）を JOT コーディネーターに告げる。

5） 肺チームと交代し、肺チームが左右開胸して肺の最終評価を行う。肺の評価時には肺/心臓の圧排や肺の加圧などが必要になる場合があり、循環動態が変動しやすい。心臓チームの責任者が常に血行動態に気を配り、必要な対処を他の手術メンバーや呼吸循環管理医に声掛けしていく必要がある。

（T&P：肺の最終評価後に心膜に吊り上げ糸をかける場合もある。）

6） 心臓チームに再び交代し、上大静脈を剥離・露出する。前方は心膜を切開して左右腕頭静脈合流部までを露出する。上大静脈の内側後方で右肺動脈との間を剥離し、尾側は左房天井まで、頭側は奇静脈がテーピングできるところまで剥離・露出して、指が数本上大静脈を回るくらいにする。奇静脈は 絹糸を回して結紮する。結紮切離してしまってもよい。奇静脈より頭側の上大静脈に 2 号絹糸を回しておく。

（T&P：上大静脈の背側を左房天井まで剥離しておくと、後程の左房切

開線が分かりやすい。）

7） 右肺の提供がある時は右側左房切開時のように心房間溝を剥離する。右肺提供がない時は不要。

8） 下大静脈を心嚢内で剥離・露出する。下大静脈の横隔膜貫通部で心膜を切開して下大静脈を横隔膜から掘り起こすようにするとよい。右下肺静脈と下大静脈の間も剥離して、下大静脈の裏に指が数本回るようにする。テープまたは 2 号の絹糸を下大静脈に回しておく。

9） 上行大動脈から近位弓部大動脈の腕頭動脈分岐部レベルまで剥離・露出する。肺動脈幹・右肺動脈と上行大動脈の間を剥離し、上行大動脈の裏に指が数本入るくらいにしてテープを回しておく。6)～9)の順番は異なってもよい。

10) 上行大動脈に心保存液灌流カニューレ固定用の糸をかける（図 1)。

（T&P：大動脈遮断は腕頭動脈分岐部直前の最遠位上行大動脈とするため上行大動脈のどこでも大丈夫だが、ある程度遠位にすれば移植される部位にこの孔が含まれずに閉じる必要はなくなるし、移植される範囲に孔が含まれればレシピエントの大動脈遮断解除後の脱気・ベンティングにこの孔を利用できる。）

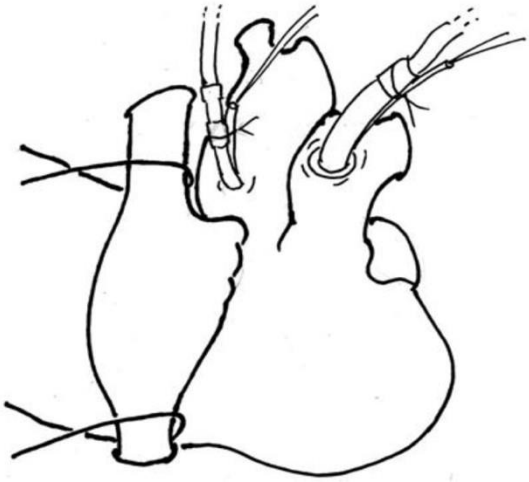

図 1. 上行大動脈並びに肺動脈幹のカニュレーション

11) 肺チームと交代し、肺チームが肺動脈幹遠位に肺灌流カニューレ固定用の糸をかける（図 1)。

(T&P：心臓摘出する際の肺動脈切離ラインはこの肺灌流カニューレを抜去した孔から全周性に離断することが多いため、カニュレーション位置を肺チームと一緒に確認する。肺動脈基部または右室流出路を軽く尾側に牽引してカニュレーション部位の視野を展開する。肺動脈幹遠位で左右肺動脈分岐直前にカニュレーションするよう依頼するが、遠位にし過ぎると左右肺動脈のどちらか一方ばかりに肺灌流液が流れてしまう恐れがあり注意が必要である。または、心臓チームと肺チームの合意があれば、肺動脈弁の損傷に注意しながらカニュレーションしやすい近位部でカニュレーションを行い、大動脈遮断後にそのタバコ縫合を結紮してより遠位部で肺動脈を全周性に離断しても良い。)

12) 心臓チームと交代し、腹部を含めた摘出予定臓器の剥離・準備が完了したことを確認してから、呼吸循環管理医にヘパリン 400 U/kg の投与を依頼する。ACT 測定は省略する。

（T&P：心保存液灌流の担当者は、摘出手技を確認しながら、ヘパリン投与までに、心臓保存液が温まらない適切なタイミングで心保存液を灌流できるように準備し、摘出後すぐに対応できるようにベースン、アイソレーションバッグ 3 つを準備しておくことが重要である。）

13) ヘパリン投与後、3 分間待つ間に心保存液回路を術野に準備する。

14) 上行大動脈の糸をかけておいた場所に心保存液灌流用針を刺入して固定する。ヘパリン化血の採血で必要な分をこのカニューレから採血した後に心保存液回路とカニューレを接続する（図 1）。

15) 肺チームと交代し、肺チームが肺動脈幹の糸をかけておいた場所に肺灌流カニューレを挿入し、肺灌流液回路と接続する（図 1）。

16) 心臓チームと交代する。上大静脈内の中心静脈カテーテルを触知して先端の位置を確認しながら、中心静脈カテーテルを呼吸循環管理医に浅めに引き抜いてもらい、右腕頭静脈内まで先端が引き抜かれたところでテープ固定し直してもらう。または、中心静脈カテーテルをそのままの位置に留置しておき、後の上大静脈結紮の直前に抜去しても良い。

17) 腹部から下大静脈にカニュレーションして脱血する場合は、腹部から下大静脈に挿入した脱血管を心嚢内で触知しないか確認する。もし触知し

た場合は、先端が横隔膜下になるまで引き抜いてもらう。

18) **（T&P：ここから先の操作では血圧が急降下していき、手を止めず流れるように大動脈遮断・灌流液投与まで進めていく必要があるため、ここで灌流液投与までの手順について呼吸循環管理医を含めた全員と再確認してから行うとよい。）**

（T&P：この手順の 2，3 分後には大動脈遮断となって臓器の虚血時間が始まるため、予定時刻より早く進める場合には各臓器の合意を得る必要がある。予定時刻まで待つこともある。）

肺提供がある場合、肺チームによっては肺動脈幹に針付シリンジでプロスタグランジン E1 500 μg を注入する。数心拍で血圧は必ず著しく低下してくるが、このまま大動脈遮断に向かうので血圧低下に対しては特に処置は行わない。

19) 上大静脈頭側に回していた 2 号絹糸をできるだけ頭側（末梢）で結紮する。

（T&P：静脈内投与はここで終了してもらう。肺摘出がある場合は、気管支離断直前まで換気を続けてもらう。）

20) 肝臓チームと一緒に確認しながら、下大静脈を横隔膜から掘り起こした部位で長い鉗子を用いて遮断し、下大静脈・右房接合部の前方を半周性に切開する。腹部臓器摘出がある場合で、あらかじめ合意の下に腹部から下大

静脈に脱血管を入れない時は、肺チームも合意の上、右開胸として血液が可能な限り胸腔内に流れ込むようにする。右開胸とした上で、下大静脈の遮断はせずに下大静脈・右房接合部前方を半周性に切開し、ここに吸引管を置いて静脈血をしっかりと吸引する。

（T&P：下大静脈切開を横隔膜から掘り起こしている状態で遮断鉗子を横隔膜側に強く押し当てて遮断し、掘り起こしている部位で下大静脈を切開してしまうと、肝臓側の下大静脈が短くなり過ぎてしまうので注意する。）

（T&P：下大静脈遮断の際に腹部から挿入されている脱血管を一緒にかんでしまわないように改めて注意しながら遮断する。）

（T&P：下大静脈・右房接合部の切開時には完全に離断せず、前方半周だけ切開する。）

21) 大動脈遮断する。ここまでで十分に血圧は下がっているため、そのまま上行大動脈最遠位の腕頭動脈分岐直前で大動脈を遮断する。（T&P：18）で肺動脈幹にプロスタグランジン E1 注入を行っていない場合は、血圧が十分に下がっていないことがあるため、十分に血圧が下がったことを確認してから大動脈遮断する。）

（T&P：後に左心耳切開をする場合は、大動脈遮断前に左心耳をサティンスキー鉗子などで把持しておく。）

22) 心保存液を投与開始する。最もよく使われている Celsior 液では 30 mL/

kgを 60～80 mmHg の灌流圧で投与する。

（T&P：大動脈遮断が十分になされていて、心保存液注入により大動脈基部がある程度張っていることを確認する。）

23) 心保存液投与開始後すぐに、肺摘出がある場合は左心耳切開もしくは左房下面切開で、肺摘出がない時は右上肺静脈切開で、左心系の減圧・ドレナ ージを開始し、左心系が減圧されているのを確認してから、肺摘出がある場合は肺灌流液の投与を開始する（図 2)。肺摘出がある場合でも左心耳切開をしない施設があり、その場合は左房下面切開でドレナージする。

（T&P：心保存液は加圧バックを用いて圧をかけて投与するのに対し、肺灌流液は落差での投与となる。）

（T&P：心臓の過伸展と肺の鬱血を防ぐために、胸部だけで 2 系統の吸引を用いる。1 系統は切開した左心耳から左房内に吸引管をやさしく挿入して吸引・減圧し、もう 1 つは下大静脈・右房接合部の切開部や心嚢・胸腔を吸引する。）

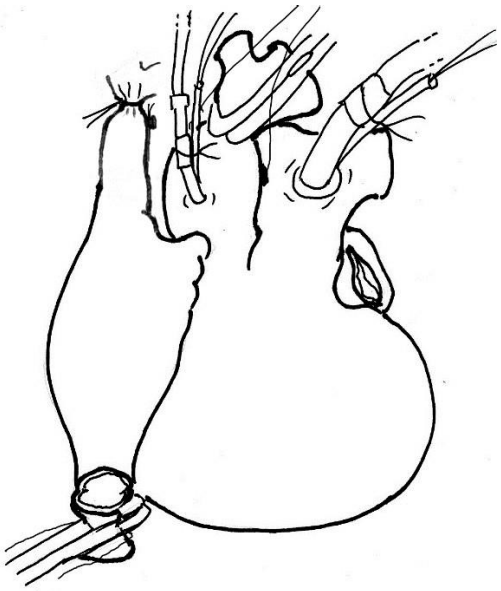

図 2. 心停止後の左心耳切開

24) 心保存液・肺灌流液投与中はアイススラッシュを心嚢内に入れて心筋温を下げるようにする。心筋の低温障害や心保存液の末梢灌流不良を危惧してアイススラッシュを使わない施設もある。

25) 心保存液と肺灌流液の投与が全て終わるのを待ってから心臓摘出を開始する。まず、下大静脈・右房接合部の残っている後方半周を切離する。

26) 心尖部を頭側に挙上し、左右の下肺静脈と左房下壁を確認する。左房下壁に尖刃刀で切開を入れ、ここからメッツェン剪刀で左房切開を行う（図 3)。肺摘出がある時は、肺側に左房カフが残っていなければならないため、左房切開ラインは肺チームと一緒に確認しながら慎重に行う。

（T&P：メッツェン剪刀の向きが肺静脈側に向かないよう注意する。）

肺摘出がない時は左房切開せず、上下左右肺静脈を切離して左房を全て摘出する。肺摘出がない時は手順 27)、28)は不要である。

27) 左房下壁の切開部から右側は、下大静脈・右房接合部切離口の背側に切開を進め、下大静脈・右房接合部切離口を越えるところで、あらかじめ剥離してあった心房間溝を頭側に切開していく。上大静脈の背側で左房天井側へ少し切開を進める。

（T&P：心房間溝剥離部内で切開していけば、右肺静脈の左房カフは確保できる。）

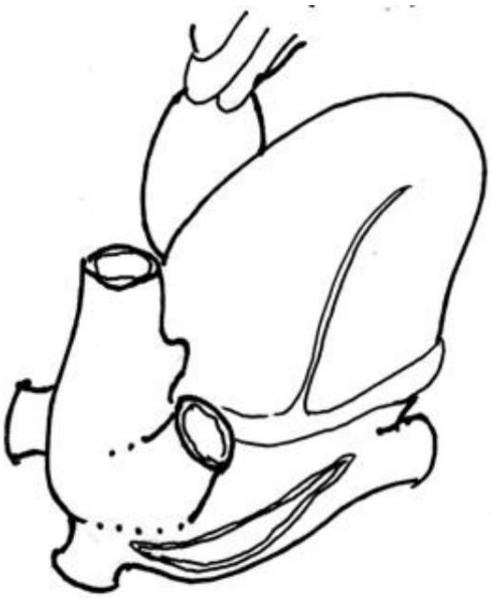

図 3. 左房切開

28) 左房下壁の切開部から左側は、肺静脈・左房接合部から 5 mm ほど左房壁を肺静脈側に残したラインで切開していく。左上肺静脈と左心耳の間は左房壁の幅が狭いことがあり、肺静脈側にも心臓側（左心耳側）にも左房壁が残るように慎重に切開していく。左上肺静脈を越えて左房天井は心臓側に十分に左房壁が残るように肺動脈幹背側で左心耳背側の左房壁を切開していく。

（T&P：この段階で左右からの左房切開線がつながらずに左房天井が残っていてもよい。）

（T&P：左側左房の切開時は心臓を右側に牽引して左房壁が伸展しているため、切開後には左房壁が短縮して思いの外少ししか残っていないということがありうるので注意する。）

29) 挙上・牽引していた心尖部を心嚢内に戻し、大動脈を遮断鉗子の遠位（近位弓部大動脈）で切離する。遠位弓部大動脈と頚部分枝で切離し、弓部大動脈まで採取する施設もある。切離した大動脈を遮断鉗子ごと手前に牽引して上行大動脈背側を右肺動脈下縁の高さまで剥離する。

（T&P：この操作で肺動脈幹～右肺動脈が良好に視認できるようになり、肺動脈切開部もよくわかる。）

30) 肺灌流カニューレを抜去し、抜去した孔が肺動脈幹遠位であれば、この孔から左右に肺動脈幹最遠位で全周性に切開する。または、心臓チームと肺チームの合意があれば、タバコ縫合を結紮してより遠位部で肺動脈を全周性に離断しても良い。

（T&P：肺摘出がある時は左右肺動脈に切り込まないように注意する。）

肺摘出がない時は左右分岐後の肺動脈を切離する。

31) 上行大動脈と肺動脈幹を手前に牽引し、大血管後面の結合織を尾側に切離していき、残った左房天井を切開する。肺摘出がない時は左房背側の結合織を切離していき、左房を全て摘出するようにする。

32) 上大静脈をできるだけ頭側（結紮部のすぐ心臓側）で切離する。奇静脈がまだ切離されていなければ切離する。これで心臓摘出となる（図４）。

（T&P：上大静脈を最後まで切離しないでおいた方が、上大静脈を損傷するリスクが少ない。上大静脈を先に切離してフリーになっていると、左房切開時に誤って損傷することがある。）

図 4. 心臓摘出完成

4. パッキングと搬送

1） 心保存液回路がついたまま摘出した心臓を心保存液回路ごとバックテーブルに移し、ベースンなどの上で心保存液回路をカニューレから外して冷保存液で表面や心腔内、大血管内の血液を洗い落とす。上行大動脈は遮断鉗子で遮断したまま切離し、バックテーブルで心臓を冷保存的に浸透した状態としてから遮断鉗子を外す。見える範囲で心臓の異常の有無（卵円孔開存、弁尖の異常、など）を確認する。

2） 心臓を滅菌アイソレーションバッグに入れ、心臓が完全に浸る量（500～1000 mL）の冷保存液を入れて、空気を十分に抜きながら紐で二重に縛って密封する。氷は入れない。

3） 2)で心臓を冷保存液に浸漬して密封したアイソレーションバッグを、完全に浸る量（500～ 1000 mL）の冷生食もしくは冷乳酸リンゲル液ととも

にもう 1 枚の滅菌アイソレーションバッグに入れ、紐で二重に縛って密封する。氷は入れない。

（T&P： 1 重目に入れた臓器と保存液の氷や保冷剤による凍結・低温障害を防ぐために、2 重目のアイソレーションバッグに液体を入れることが重要である。）

4) 3）をもう 1 回行って 3 重の滅菌アイソレーションバッグに密封する。あるいは 3)で 2 重にアイソレーションバッグに密封したものを、滅菌金属容器に冷生食もしくは冷乳酸リンゲル液とともに入れて密封してもよい（図５）。いずれの場合も氷は入れない。3 重の滅菌アイソレーションバッグに密封したものを滅菌金属容器に入れて密封する施設もある。

5) 3 重の滅菌アイソレーションバッグまたは密閉式金属容器をクーラーボックスに入れ、周囲に氷または保冷剤を詰めて位置を安定させてしっかりフタを閉じる。

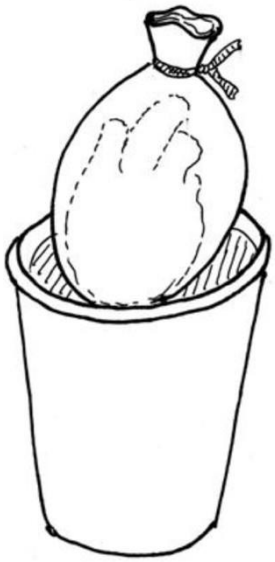

図 5. 心臓のパッキング