

米国、カナダのガイドラインでは、4つのホルモン補充療法 {メチルプレドニゾン 15mg/kg bolus) 又は少量の hydrocortisone (50 mg 6 時間毎)、トリヨードチロキシシン (4 $\mu$ g bolus 後、4 $\mu$ g/h 持続投与)、及び ADH (1U bolus 後、0.5-4U/h 持続投与)、インスリン (1U bolus 後、血糖を 120-180mg/dl に維持)} のプロトコールが推奨されている<sup>11)</sup>。カナダのプロトコールでは、左室駆出率 (LVEF) 45%未満にこれを行なう (図 11)<sup>12)</sup> となっている。

この方法で、Rosendale ら<sup>12)</sup> はカテコラミン使用量が有意に減少し、全ての臓器の提供率が増加した結果 (図 12)、1 人のドナーからの提供臓器数が増加 (40 歳未満で 3.8 から 4.2 臓器、40 歳以上で 2.5 から 3.1 臓器) し、腎・心臓移植において移植後の 1 年生存率が有意に増加したと報告している。

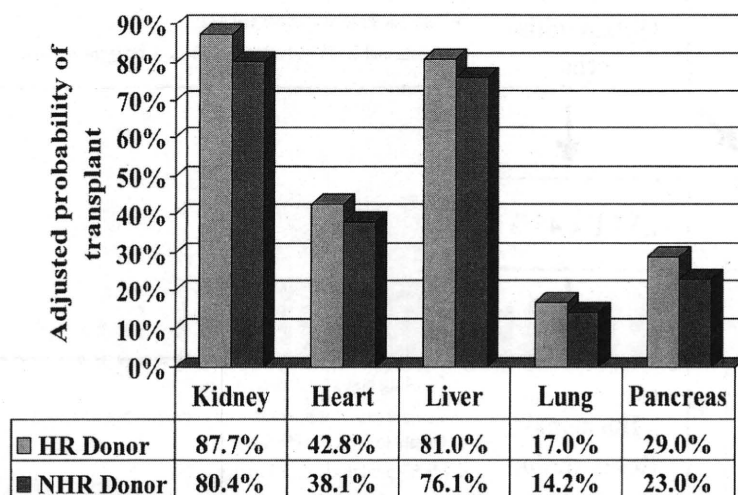


図 12. 複数ホルモン補充療法の有無による各臓器の提供率: HR:ホルモン補充療法施行群、NHR:ホルモン補充療法非施行群、参考文献 11 より引用

しかし、実験・臨床の両面で、1つのホルモンの補充だけの結果を見た報告は少ない。Salim ら<sup>13)</sup> によると、DOA 10 $\mu$ g/kg/min 以上を要するドナーに T4 を投与し (T4 使用群: N=96)、DOA の必要性の少ないドナーに T4 を使用しなかった (T4 非使用群: N=27) 際に、提供臓器数が T4 使用群の方が非使用群よりも有意に増加 (3.2 から 3.9 臓器) したと報告している。但し、ADH の使用の有無が記載されていないので、単独の効果かどうかは不明である。

我が国では、甲状腺ホルモンの静脈内投与薬が保険収載されていないこともあり、これまでの脳死臓器提供では ADH の補充のみ (メチルプレドニゾロンは摘出手術直前に 1g bolus 投与のみ、インスリン・甲状腺ホルモンは使用せず) が行われてきた。しかし、2008 年の一人ドナーあたりの提供臓器数は 6 臓器であり、欧米に比して高く、ADH の補正だけでも十分であると考えられるが、さらに効果的なドナー管理を目指して、甲状腺ホルモンの是非を今後検討したいと考えている。

#### 4) 呼吸管理

脳死に至る前後で様々な全身性炎症反応が発生し、また交感神経系が過剰に興奮する (sympathetic/autonomic storm) ために、急性肺障害 (ALI) や成人呼吸促拍症候群 (ARDS) が 15-20% に発症する。また、前述の除神経の影響で、容易に無気肺となり、丹念に気管内吸引を行わないと肺炎を来し易い。また、尿崩症のために、過剰な水分補給を行って血清膠質浸透圧の低下を招くと、肺水腫にもなりやすい<sup>1,2)</sup>。

呼吸条件としては、低 FiO<sub>2</sub> かつ PEEP 5 cmH<sub>2</sub>O で PaO<sub>2</sub> 100mmHg 以上、一回換気量 10-12 ml/Kg かつ最大気道圧 30mmHg 以下で、PaO<sub>2</sub> を 70-100 mmHg 以上 (SaO<sub>2</sub> で 95% 以上)、PaCO<sub>2</sub> を 30-35 mmHg (pH=7.35-7.45) に保つようにする。酸素投与濃度、一回換気量、PEEP を可能な限り低めに保つことは、肺の炎症性反応を軽減するので、移植後の肺機能を改善させるものと考えられて

いる。

気道の神経反射（咳嗽反射など）が消失するので、定期的な体位変換と気道内吸引は肺感染症・無気肺の予防で重要である。特に身体の後方に無気肺ができやすい。しかし、脳死になると、心臓・血管反射が消失するので、体位変換・気管内吸引（気道内圧の変動で、肺の血液還流が変動）などで血圧が変動しやすく、気道の管理がしにくい。血行動態が不安定であると、さらに管理が難しくなるので、ADHを補充し、血行動態を安定させることは呼吸管理の面でも重要である。

咳嗽反射が無くなると、深部痰の吸引が不十分になるため、気管支鏡下に気管・気管支内吸引することは重要である。定期的に胸部レントゲンを撮り（一般的に6-8時間毎）、無気肺、肺炎の経過を観察しながら、気管内吸引を繰り返すと、移植肺の状態が改善するだけでなく、肺の提供の可能性が増加する。

#### 5) 電解質・ヘマトクリット・血糖の補正

高Na血症が肝・腎機能に悪影響を及ぼすことは良く知られている。心臓においても、Hoeflerらは<sup>17)</sup>、Na 130mEq/l未満、170 mEq/l以上のドナーからの心移植した患者の1年生存率は、正常範囲のドナーからの移植患者より有意に低かったと報告しており、Naを正常化することは重要である。高Na血症の補正のためにNa無添加（又は低Na）の輸液を行なうことが多いが、これだけでは不十分であり、ADHを補正することにより、Na利尿を図ることが重要である。血清Na値を135-150 mEq/lを目標に補正する。

尿崩症となり、循環血液量が低下すると、多量の輸液がされ、血液が希釈され、低K血症、貧血になりやすい。まずは、ADHで尿崩症を治療しながら、定期的に血清K値を測定し、中枢ルートからKを補充することが重要である。血清K値を3.8-4.5 mEq/l程度に補正する。短期間の補正を余儀なくされる場合は、シリンジで倍希釈程度のKClを投与（0.2 mEq/kg/hr）しなければならないこともあるが、その際は慎重に監視しながら投与する。一般に尿崩症が改善するとともに、血清K値も正常化してくることが多い。

貧血は臓器機能を低下させるので、ヘマトクリットは30%以上になるように輸血する。

脳死になると血中AD濃度が増加したり、様々な炎症反応が起きたりするために、高血糖になりやすい。ADHを補正しても尿量が適正化しない場合には、高血糖を疑う。治療は、まずはブドウ糖無添加の輸液にし、それでも適正化されない時にはインスリンを持続的に静脈内投与（レギュラーインスリン0.5~1.0IU/hr）する。血糖は、120-180 mg/dlを目標に補正する。

#### 6) 体温管理

脳死になると体温調節もできなくなるので、低体温に陥り易い。特に脳の低体温療法後や、尿崩症で多量に輸液された時には、顕著となる。35.5-36.5℃を目標に補正する。

### ドナー管理のポイント その他

- 血液ガス
  - PaO<sub>2</sub> 70-100 mmHg 以上 (SaO<sub>2</sub>>95%)
  - PaCO<sub>2</sub> 40 mmHg前後
  - pH 7.35~7.45
- 体温 36℃以上
- 電解質 特に高Na,低Kに注意
- 輸血 Hct>30%維持

表 14 ドナー管理のポイント 循環動態以外



## ADH投与

- 原則的に 持続静脈内投与(CVP lineから)
  - 経鼻では血中濃度が安定しない
  - 却って血行動態を不安定にする可能性
- 投与量
  - 初期量 bolus 1 U (0.02 U/Kg)
  - 維持量 0.5-1.0 U/l/hr (0.01-0.02 U/Kg/hr)
- 1A(20 U/ml)と5%TZ 19mlで20mlとすることが多い

表 15 抗利尿ホルモン (ADH) の投与法

メディカルコンサルタント (MC) が提供病院に赴きドナー管理をするようになった後、脳死臓器提供のほとんどの例で ADH が使用されている。多くの例で血行動態は安定し、一人のドナーからの提供臓器数は増加し、MC 導入前の 4.6 臓器から 6 臓器に増加した (図 13a)。欧米は 4 臓器に満たない(図 13b)。

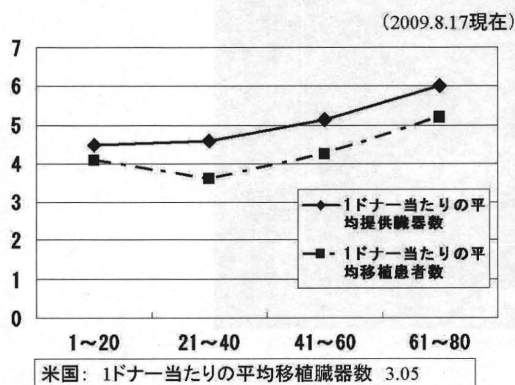


図 14a

## 各国の臓器提供率

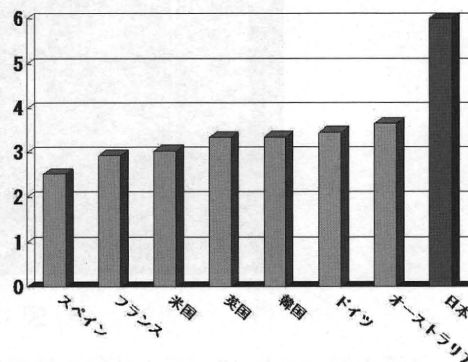


図 14b

図 14. 1 ドナー当たりの平均提供臓器数。14a: 我が国の 1 ドナー当たりの平均移植臓器数・提供臓器数の推移。14b: 各国の 1 ドナー当たりの平均臓器提供数の比較 (2008 年)

脳死臓器提供 50 例目から無気肺・肺炎の認められるドナーに対して積極的に気管支鏡を行なうようになり (6-8 時間間隔で気管支鏡を用いて観察しながら気管内吸引)、肺の提供率は有意に増加し (図 15a)、肺移植後の primary graft failure の発生に差はなかった (図 15b)。肺の提供率が増加した上、肺移植後の 2 年生存率が 67.9%から 92.6%に有意に増加した (図 15c)。つまり、脳死ドナーの肺管理は、臓器提供数を増やすだけでなく、移植後の肺機能も改善することができるのである。

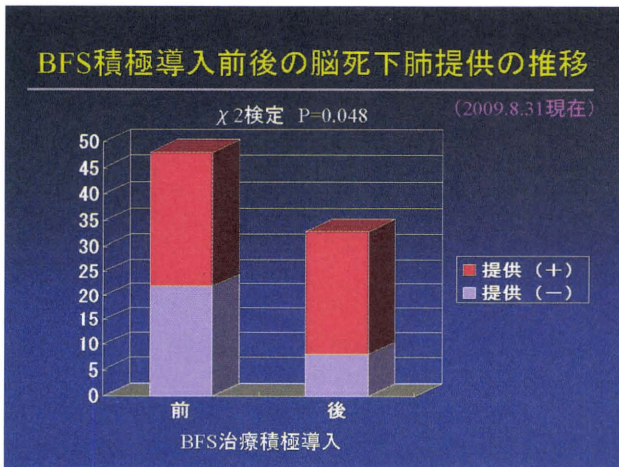


図 15a

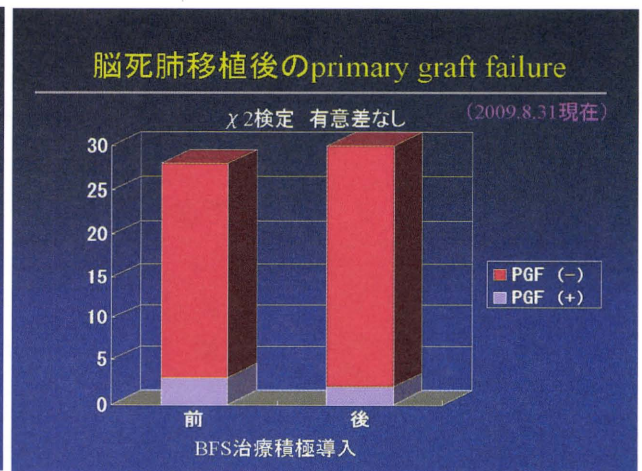


図 15b

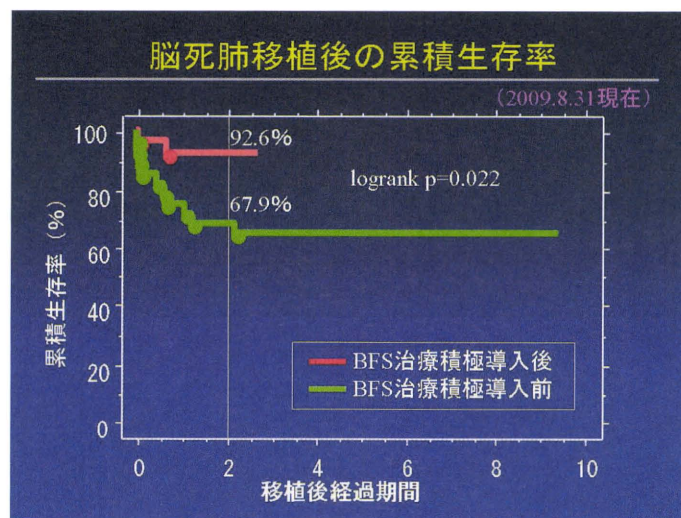


図 15c

図 15. 気管支鏡 (BFS) 積極導入前後の肺提供 : 15a: 脳死肺提供率, 15b: 肺移植後の primary graft failure、15c: 肺移植後の累積生存率

これまで述べてきたドナー評価・管理を行うことにより、OTPDは増加した。

臓器毎に、提供された率 (日米の比較) を表 16 に示すが、腎臓で差がなく、肝臓でやや低下しているが (脂肪肝とショック肝が多いためと思われる)、心臓で 2.5 倍、脾臓で 3 倍、肺で 4 倍、提供され、移植されている。

もしそれで、移植後の成績が低下すれば、臓器を移植を受ける側の意味でも、臓器を提供する側の意味でも、問題である。しかし、表 17 に示すように、どの臓器においても、米国の成績と遜色のない成績である。

以上、今後さらに様々な点で管理法が改善される可能性があるが、現時点で最適と考えられる脳死ドナー管理について述べた。移植可能臓器を増やし、しかも機能を改善するには、非常に細かな管理を要するが、ドナーとその御家族の御意思を反映するためにも行うべき努力であることを、最後に述べてこの項を終了する。

臓器提供率 日米の比較

(2010.10.27現在)

	米国(1999-2004)		日本	
	ドナー数	提供率	ドナー数	提供率
全臓器	6457		102	
腎臓	5754	89.1%	93	91.2%
肝臓	5682	88.0%	77	75.5%
心臓	2120	32.8%	80	78.4%
膵臓	1773	27.5%	73	76.0%
肺	962	14.9%	65	63.7%

\*:膵臓移植開始後の提供希望者は96例

表 16 臓器提供率 日米の比較

脳死臓器移植後の生存率 日米比較

(2009.9.30)

	Japan				USA	
	No.	グラフトロス	1年生着	3年生着	1年生着	3年生着
心臓	64	2	98.3	98.3	87.7	79.1
肺	58	13	78.4	71.9	83.3	62.9
肝臓	63	14	80.0	80.0	86.3	78.0
腎臓	143	18	85.3	78.5	89.0	77.8
膵臓	57	7	80.9	76.5	91.8	84.2
総計	345	50				

表 17 臓器移植後の生着率 日米の比較

【文 献】

- 1) Mascia L, Mastromauro I, Viverti S, et al. Management of optimize organ procurement in brain dead donors. *Minerva Anesthesiol* 75: 125-33, 2009.
- 2) 福嶋教偉. 日本の脳死ドナー管理 脳死下臓器保存と Viability の観点から《心臓》. *Organ Biology* 13(1):9-23, 2006.
- 3) Altura BM, Altura BT. Vascular smooth muscle and neurohypophyseal hormones. *Fed Proc* 1977;36:1853-60.
- 4) Kinoshita Y, Okamoto K, Yahata K, et al. Clinical and pathological changes of the heart in brain death maintained with vasopressin and epinephrine. *Pathol Res Pract.* 1990 Feb;186(1):173-9
- 5) Iwai A, Sakano T, Uenishi M, et al. Effects of vasopressin and catecholamines on the maintenance of circulatory stability in brain-dead patients. *Transplantation.* 1989 Oct;48(4):613-7.
- 6) Sakagoshi N, Shirakura R, Nakano S, et al. Serial changes in myocardial beta-adrenergic receptor after experimental brain death in dogs. *J Heart Lung Transplant* 1992;11:1054-8.

- 7) Fukushima N, Sakagoshi N, Ohtake S, et al. Effects of exogenous adrenaline on the number of the beta-adrenergic receptors after brain death in humans. *Transplant Proc* 2002;34:2571-4.
- 8) Gifford RR, Weaver AS, Burg JE, et al. Thyroid hormone levels in heart and kidney cadaver donors. *J Heart Transplant.* 5(3):249-53, 1986.
- 9) Macoviak JA, McDougall IR, Bayer MF, et al. Significance of thyroid dysfunction in human cardiac allograft procurement. *Transplantation.* 43(6):824-6, 1987.
- 10) Kutsogiannis DJ, Pagliarello G, Doig C, Ross H, Shemie SD. Medical management to optimize donor organ potential: review of the literature *Can J Anaesth.* 2006 Aug;53(8):820-30.
- 11) Rosendale JD, Kauffman HM, McBride MA, et al. Hormonal resuscitation yields more transplanted hearts, with improved early function. *Transplantation.* 5(8):1336-41, 2003.
- 12) Novitzky D, Cooper DK, Rosendale JD, Kauffman HM. Hormonal therapy of the brain-dead organ donor: experimental and clinical studies. *Transplantation.* 82(11):1396-401, 2006.
- 13) Salim A, Martin M, Brown C, et al. Using thyroid hormone in brain-dead donors to maximize the number of organs available for transplantation. *Clinical Transplant* 21: 405-409, 2007.
- 14) Fukushima N, Shirakura R, Nakata S, et al. Failure of rapid autonomic augmentation of cardiac performance in transplanted hearts. *Transplant Proc.* 1998 Nov;30(7):3344-6. No abstract available.
- 15) Fukushima N, Ono M, Nakatani T, et al. *Transplant Proc.* Strategies for maximizing heart and lung transplantation opportunities in Japan 2009; 41(1):273-6.
- 16) Ranger GS. Antidiuretic hormone replacement therapy to prevent or ameliorate vasodilatory shock. *Medical Hypotheses* 59(3):337-340, 2002
- 17) Hofer D, Ruttman-Ulmer E, Smits JM, Devries E, Antretter H, Laufer G. Donor hypo- and hypernatremia are predictors for increased 1-year mortality after cardiac transplantation. *Transplant Int (E-pub)* 2009

## VI. 臓器摘出前ミーティング

これは我が国独自のシステムであるが、各摘出チームが移植臓器の評価を終えた後、手術部内で、主治医（時には、手術部部長、提供病院管理責任者など）、手術室看護師、麻酔医（呼吸循環管理医）、各摘出チーム、JOT コーディネーター等が一同に集まり、摘出術に関する会合を行っている（約 30 分）。最近では、摘出を行う手術室で手術台を囲んで行っている。

### 1. 臓器提供に至るまでの経緯の報告

コーディネーターが、ドナー、そのご家族と臓器提供施設の医療スタッフに対して敬意と感謝の意を表明した後、ドナーの概略（年齢、性、原疾患、ドナー御家族の心情）と摘出手術に至るまでの経緯を示し、あっせん手続きが適正に行なわれたことを摘出チームに報告する。

### 2. ドナーに対する礼意と尊厳の保持の徹底

常にドナー並びにその御家族、臓器提供施設に礼意を持って臓器摘出手術にあたるように指示する。概略を述べると、ドナーが手術室に入る時に摘出チームは整列して礼意を持って迎えること、家族への臓器提供医師の最終確認が終わるまで執刀を待つこと、執刀直前に黙祷を行なうこと、手術前後に器材カウントを徹底して行い体内に器材の遺残を防ぐこと、通常の手術と同様、丁寧な創部の処置を行なうことを徹底する。

### 3. 法的必要書類の確認

臓器摘出にあたり、意思表示カードなどのコピー、脳死判定承諾書、臓器摘出承諾書、脳死判定記録書など、法律に規定された書類が必要なため、法的必要書類が摘出チームに配布されていることを確認する。

### 4. 手術室での注意点

臓器摘出手術中に摘出チームと移植施設との連絡のために必要な手術室内の外線電話の使用方法、清潔区域、準清潔区域、不潔区域の表示等、手術室使用にあたっての注意事項を説明し、遵守するように依頼する。

臓器の最終評価ができた時点、病理検査が必要になった時点、病理の検体を出す時点、ヘパリンを投与する時点、大動脈を遮断する時点で、摘出医はコーディネーターにその旨を告げ、手術に係るもの全てが手術の進行状況を把握できるようにするように依頼する。

### 5. 各臓器の搬送経路と搬送時間の確認

摘出予定臓器と移植施設、臓器摘出手術のタイムテーブル（ドナー入室、執刀、ヘパリン投与、大動脈遮断、心・肺・小腸・肝・膵・腎臓の摘出、閉胸。閉腹、見送りなど）、最終決定した臓器搬送方法（チャーター機、ヘリコプター、民間航空機、新幹線・在来線、救急搬送車、タクシー、パトカー先導の有無など）・経路を説明する。各臓器の摘出時間の短縮・遅延に伴う搬送方法の変更や最終摘出時刻の制限などを摘出チームに確認する。臓器搬送する医師の確認（特に車両、チャーター機、ヘリコプターの搭乗者）は、臓器搬送を円滑に行う上で、重要である。その上で、病理検査・採血の依頼方法を説明し、摘出手術の管理責任者（多くは心臓チーム摘出医）を決定する。提供病院のスタッフを紹介する。

### 6. 摘出手技などの確認

摘出チーム毎に、自己紹介（代表者の名前、メンバーの紹介など）の後、臓器の評価結果（マージナルかどうか、その根拠など）、臓器の摘出手技、切離線（肺動静脈、大動脈、上下大静脈、腹部動脈、門脈など）、臓器の灌流方法、還流血のドレナージ方法、術中の使用薬剤（抗生剤、ヘパリン、ステロイド）の投与量・タイミング、検査用採血の有無と採決方法、脾臓・リンパ節の採取の有無を説明する。

#### 1) 心臓チーム

大動脈、上下大静脈、肺静脈（または心房）、肺動脈の切離線の確認を行う。右肺の摘出のある場合は、下大静脈を横隔膜上で遮断し、その上で下大静脈を切開・切断することを説明する。ステロイドの投与の時期、ヘパリンの投与量・時期について説明する。中枢ラインをいつでも抜去できるように固定糸を切っておくこと、除細動パッドの貼付について説明する。脾臓、リンパ節を採取する場合は、腹部臓器チームに依頼する。大動脈の灌流用カテーテルから、ヘパリン血を採取できることを伝える。



## 2) 肺摘出チーム

肺動静脈の切離線・灌流用カニューラの位置の確認、人工呼吸器を止める時期（気管又は気管支遮断後）、プロスタグランディンの投与の有無と投与方法・時期を説明する。右肺の摘出がある際には、腹部のチームに下大静脈のドレナージ用カニューラの挿入を依頼する。術中に気管支鏡を行う際には、その旨を伝える。その他、投与酸素濃度、換気方法（評価の際の用手換気の依頼など）などを必要に応じて説明する。

## 3) 肝臓摘出チーム

肝臓の摘出方法（特に分割肝の際には、いつ、どのように分割するのか）、病理検査の有無・時期、種々の腹部動脈の剥離方法・切断部位（特に分枝異常があるときには念入りに説明する）、灌流用カニューラの挿入部位（大動脈、門脈など）、下大静脈のドレナージカニューラの有無を伝える。

## 4) 膵臓摘出チーム

腹部動脈の剥離方法を再度確認したうえで、十二指腸への胃チューブの挿入の方法・時期、イソジンによる十二指腸の洗浄の依頼と方法の説明を行う。膵腎同時移植の場合には、左右どちらの腎臓が候補なのかを伝える。

## 5) 腎臓チーム

摘出方法を確認・補足する。

## 6) 小腸チーム

腸間膜・腸の剥離方法、摘出の時期を伝えるとともに、他の腹部臓器チームに腸間膜・腸を温存・保護するような剥離を依頼する。

## 7. 呼吸循環管理医師との打ち合わせ

呼吸循環管理を行う医師が、管理方法の確認を行う。血圧の管理、薬剤注入のタイミングなどの呼吸循環管理法について、確認する。

脳死患者の摘出時の呼吸循環管理に携わった経験のある麻酔医は我が国にはまだ少ないので、この時点で管理方法などを周知しておくことが重要である。

## 8. 手術室内でのコーディネーターの役割

最後に、手術室を担当するコーディネーターの役割を説明し、摘出チーム医師との役割分担を明確にする。摘出チームから臓器提供施設への依頼事項（輸血、輸液、借用物品、採血や脾臓・リンパ節の持ち帰りなど）を予め確認し、術中に必要になった時にはコーディネーターを介して行なうことを再確認する。

最後に後片付け、見送りを行なう医師を確認する。

これにより、非常にスムーズな摘出手術が行われている。この会合の結果、摘出手術開始時刻が決定され、さらには各移植施設でレシピエントの手術開始時刻が決定される。

## 摘出手術直前のミーティング

麻酔医に呼吸循環管理を指示

薬剤投与（ヘパリン、抗生剤、ステロイド）

人工呼吸器停止の時間の確認

摘出臓器の確認

搬送方法の確認

摘出手技の確認

レシピエント・ドナーの状況、搬送手段、提供臓器の種類により適宜対応

表 18 摘出前ミーティングでの確認事項

## Ⅶ. 多臓器摘出手術の概要

### 1. はじめに

脳死ドナーからは、心、肺、肝臓、膵臓、腎臓、小腸などの多くの臓器が摘出されるため、他の臓器の摘出チームとの協調が非常に重要である。我が国では、事前に摘出ミーティングを開催し、①摘出臓器の種類・施設、②ドナーの状況、③術中管理の確認（ヘパリン、抗生剤などの投与時期など）、④臓器の摘出手順、⑤各臓器の切離線の確認、⑥下大静脈のカニューラの挿入の有無など、様々なことを確認しているため、非常にスムーズな摘出が行われている。心・肺は他の臓器に比して虚血に弱く、小腸は剥離操作で傷み易いので、心停止後、心、肺、小腸、肝臓、膵臓、腎臓の順に臓器を摘出している。

各臓器とも可能な限り、可能な限り虚血時間を短縮しなければならないので、①ドナー手術開始、②各臓器の最終評価確認時、③全臓器の剥離確認時（つまりヘパリン投与直前）、④大動脈遮断時、⑤各臓器の摘出時、⑥臓器搬送開始時などに連絡を行い、摘出と移植が連携して行われるように細心の注意を払いながら摘出手術を行うことが重要である。提供施設から移植施設までの予想搬送時間、レシピエントの状況（再手術例、人工心臓装着例、臓器の癒着が予想される例など）、レシピエントの手術の進行状況に応じて、摘出の段取りを調整することが望ましい。

移植後の交叉試験用に脾臓やリンパ節が必要な場合には、腹部臓器の摘出後、そのチームの摘出医に摘出してもらっている。

### 2. 連絡体制とドナー管理

#### 1) 摘出チームの構成

摘出チームごとに、摘出医（術者・助手 各1名）、器具出し（1名：提供病院の看護婦の場合やいない場合もあり）、記録・連絡係（1名）、臓器灌流液担当（1名）と麻酔科医（提供病院又は他の臓器の摘出施設の麻酔科医の協力が得られたときには不要）で構成される。内、1～2名はドナー評価のための検査（超音波検査、気管支鏡など）が施行でき、第3次評価ができるものとする。

#### 2) ドナーの移動

ドナーの手術室への搬入は、提供される臓器の全摘出チームが揃い、各チームが第3次評価を行い、全摘出チームで摘出の段取りを行った後に行う。

循環動態に注意しながらドナーを手術室に移動する。脳死者は除神経の状態にあるため、急激な循環血液量の変化に対応しにくいので、搬送の際に注意する。心臓単独の摘出の場合はレシピエントの手術の進行とも合わせ、低温阻血時間が最短になるようにする。

ドナーは、両手を揃えた格好で、仰臥位とする。

管理（点滴やモニターを含む）については、後述する。

### 3. 摘出手技の実際

- ドナー家族の意思を確認した後、黙祷を行なう。
- 胸骨上端から下腹部まで正中切開を行なう。胸部は心又は肺、腹部は肝臓又は膵臓の摘出チームの執刀医が行なう。
- 臓器毎に、外傷、腫瘍等のないことを視診・触診（最終評価）により確認する。
- 臓器を周囲組織から剥離し、灌流用カニューラ、脱血用カニューラを挿入できるように、血管を隔離し、糸又はテープを掛けておく。
- 膵臓の摘出がある場合には、臓器の剥離操作終了後、胃チューブを十二指腸まで誘導し、イソジンを注入する。
- ヘパリン（4-5 mg/Kg）を投与する。中心静脈圧（CVP）カテーテル、Swan-Gantz カテーテルが右房に入っている時は上大静脈まで抜去する（麻酔医に依頼）。
- 灌流用カニューラ、脱血用カニューラを挿入する。
- 必要に応じて、心筋保護液注入用のカテーテルから、血液を採取する。
- 全てのカニューラが挿入できたら、肺の摘出がある場合には、肺の灌流用カニューラ挿入後、プロスタグランディンを肺動脈から注入する。

- 上大静脈を心膜翻転部より末梢で結紮するか、ステイプラーをかけ、上大静脈を心臓側で切断する。
- 下大静脈を切断し、心臓並びに腹部臓器の血液は右胸腔内にドレナージする。肺を摘出する際には、肝臓摘出チームに下大静脈に脱血管を入れてもらい、下大静脈からの脱血開始（上大静脈切断前）直後に肝臓側の下大静脈を遮断する。
- 大動脈を心筋保護液注入用チューブの末梢側にて遮断する。
- 肺の摘出のない場合は、レスピレーターを停止する。
- 4℃の心筋保護液を注入する。すぐに左右の肺静脈を（肺も摘出する場合は左心耳を）切開し、左室を過伸展させないように注意する。
- 腹部臓器、胸腔内にアイススラッシュを入れる（topical cooling）。
- 右側肺静脈、左側肺静脈の順に切離する。
- 心臓を持ち上げて心房後壁の結合組織を鋏で切離し心臓を摘出する。
- 次に肺門部を剥離し、気管をステイプラーで切断し、両肺を en-bloc に摘出する。
- 小腸を摘出後、肝臓、脾臓、腎臓の順に臓器を摘出する。
- 必要に応じて胸腺、脾臓、腹腔内リンパ節を摘出する。
- 器具の残存がないことを確認して、胸骨正中切開、腹部正中切開創を縫合する（閉創直前にレントゲン撮影して、器具の残存（ガーゼを含む）がないことを確認する。

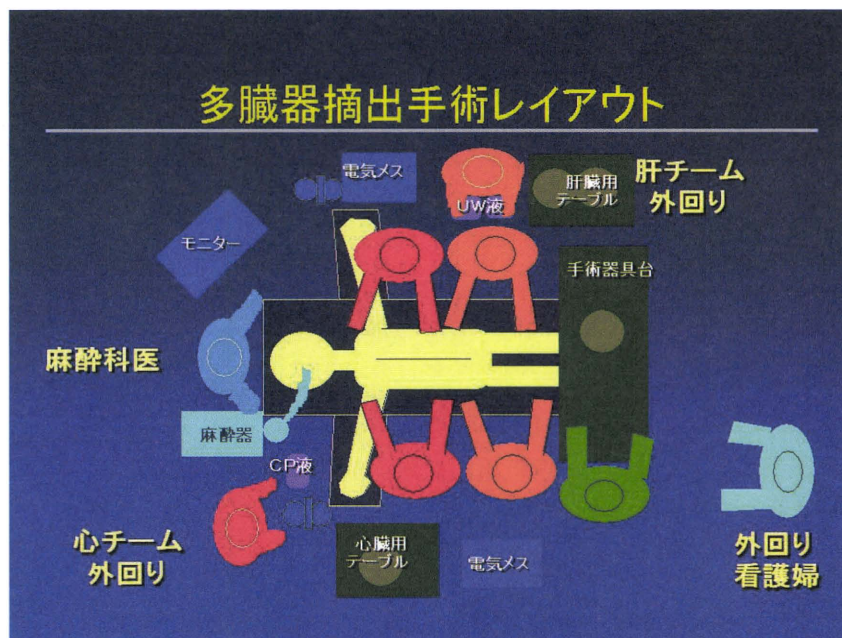


図 16. 多臓器摘出手術のレイアウト

## VIII. ドナー臓器摘出手術の呼吸循環管理

### 1. 摘出手術の呼吸循環管理医との打ち合わせ

摘出手術の呼吸循環管理を行う医師（多くは提供施設の麻酔医）と、可能な限り摘出手術が始まる前に、MCは打ち合わせをしておくことが望ましい。MCとの時間が合わない場合には、摘出手術担当のCoと呼吸循環管理で打ち合わせを行なう。

まず、言葉の問題であるが、脳死ドナーは疼痛を感じないので、麻酔薬をしないで良いこと（筋弛緩薬は必要）、麻酔と言う言葉を使用しないことを確認する。

その上で、その日に行われる摘出手術で、摘出される臓器、摘出手技の概要、人工呼吸器の停止のタイミングを確認して、呼吸循環管理医に大まかな手術の流れを理解してもらう。

現在では、病室を出る1時間程度前から抗生剤が静脈投与され、皮切の直前に抗生剤の血中濃度がピークになるようにしていることを確認し、ドナー入室後投与する、ステロイド、筋弛緩薬の投与量、タイミングを説明する。摘出手術中は、臓器の血流を良好に保つためになるべく血管収縮性の薬剤を用いないこと、低血圧には輸血とアルブミン投与で対処することを説明する。

### 摘出手術の呼吸循環管理医との打ち合わせ

- 一般の麻酔と違うことの確認（麻酔薬を使用しない、麻酔という言葉を使用しない）
  - 摘出臓器の確認
  - 摘出手技の確認
  - 薬剤投与（ヘパリン、抗生剤、ステロイド）
  - 輸血・アルブミン製剤の準備
  - 輸液ルートの確認
  - 人工呼吸器停止の時間の確認
- 
- できれば摘出チーム到着までに行う

表 19. 摘出手術の呼吸循環管理との打ち合わせ事項

### 2. ドナー入室から執刀までの管理

- 病室退室1-2時間前から、抗生剤（ドナー管理中に使用されていたもの）を静脈内投与する
- 手術室への搬送中は、用手換気を行う（搬送用の人工呼吸器があれば、それを用いても良い）（この間投与酸素濃度は100%）。
- ドナーは脳死状態であり、体位変換、体、特に腹部圧迫により血圧が変動しやすいので、慎重にベッド移動を行う
- 循環動態が安定していることを確認後、モニターをポータブルから手術室用に切り替える
- 術中急速に輸液・輸血をすることが多いので、最低2か所太い末梢ラインがあることを確認する（なければラインをとる）
- できれば2つ急速輸血、加温が可能な装置を用意し、太い末梢ライン（1本はカテコラミン・ADHの入っていない方の中枢ラインでも可）に装着する。
- ドナー入室の前後で、輸血に用いる血液は冷蔵庫から出して、常温下に保管しておく
- 大腿静脈に中枢ラインが入っている場合には、頸静脈から確保する（可能であれば、集中治療室内で入れ替えをしておく）
- メチルプレドニゾロン1g（摘出チームが持参）とパンクロニウム4mg（ミオブロック1A）（他の筋弛緩薬でも支障ない：提供病院のものを用いる）を静脈内投与する
- 消毒前に、中枢ラインをいつでも抜去できるように、固定糸を切って、テープで固定する
- 除細動用パッドを手術創にかからないように貼付し、除細動器と連結する

- いつでも直接ペースティングできる準備をしておく
- 低体温になると循環動態が不安定となるので、大動脈遮断までは、体温を 35℃以上に維持する。冷却・加温両用のマットを用い、大動脈遮断までは加温する。消毒が始まるまでは、下半身を種々の加温装置で加温したり、覆布などで体を保温したりする。
- 人工呼吸器の設定を表 20 に示す。1 回換気量がやや多めに思えるが、脳死者ではこれくらいの換気量が必要な場合が多い。

## ドナー入室時の人工呼吸器の設定

- PaO<sub>2</sub> が 100～150mmHg 程度に維持できる吸入酸素濃度にする。
- 肺摘出時には以下を目安として肺チームと協議し呼吸条件を決定する。

一回換気量:	10 ml/kg
呼吸回数:	10 回/分
I/E 比:	1:2
PEEP:	3～5cmH <sub>2</sub> O
吸入酸素濃度:	40～50%

表 20. ドナー入室時の人工呼吸器の設定

### 3. 摘出手術中の管理

- 原則として、吸入麻酔薬、麻薬は使用しない（麻酔という言葉は用いない）
- 肺の摘出がある場合には、肺を保護する呼吸管理を行う。原則的には、吸入酸素濃度を低くし、換気量・圧（PEEP は 3mmHg 程度）を低い目にする。肺が目視できるようになれば、肺チームを相談しながら、換気条件を決定する。
- 動脈血酸素分圧が 100～150mmHg 程度に維持できる程度の吸入酸素濃度（一般的に 40～50%）に設定する。人手がない場合には、最初に動脈血酸素分圧が確認できれば、動脈血酸素飽和度をモニターしながら 98-100%に保つようにする。
- 皮膚切開・胸骨骨膜刺激により一時的に血圧の上昇・頻脈を認めるが、開胸後血圧が低下しやすいので、末梢血管拡張薬、吸入麻酔薬は使用しない（当然のことながら鎮痛剤は無効である）
- 脳死患者では、除神経の状態にあるため、出血、静脈圧迫等で血圧低下しやすく、遅れて副腎からアドレナリンが分泌され、頻脈・血圧上昇を認める。血圧の変動を予測するために、術野をよく監視して出血や臓器の圧迫操作がないかどうかを確認することが重要である。臓器の圧迫（特に心臓、肺）があり、血圧が下がりだした時には、摘出医に注意を喚起する
- 除神経されているので、血圧の変動に数分程度遅れて、心拍数が変動するので、注意を要する
- 胸骨切開直後、上下大静脈の剥離、肺の剥離などで血圧低下をきたしやすい
- 心臓、特に心房に触れる操作中には、頻脈発作などの不整脈を来しやすい。逆に急激に除脈になった場合には、体外ペースティングを又は直接ペースティングを行う。
- 術中に頻脈発作、心房細動、心室細動などを起こすことがあるので、その際は体外パッド又はパドルでカウンターショックを行う
- 肺の肉眼的評価のために、用手換気を行ったり（無気肺の改善）、一時的に吸入酸素濃度を 100%にしたりすることがある。肺摘出チームが、気管支鏡を行い、肺の最終評価と吸痰を行うこともある

- 術中の臓器血流が維持され、臓器保存液が一様に灌流されるためには、なるべく末梢血管を収縮させるような薬剤（特にアドレナリン、ノルアドレナリン）は使用しない。血圧低下時には、なるべく血液か、アルブミン製剤の急速投与で対応する
- ヘマトクリットは30%以上になるように輸血する
- 脾臓の摘出がある場合には、血行動態が安定しているときに、十二指腸内まで胃チューブの先端を受動し、イソジン1ボトルを注入する
- すべての臓器の摘出準備が整った時点で、中枢ラインからヘパリン（4 mg/Kg）を投与する
- 全血凝固時間（ACT）の確認はあえてしなくて良い
- この時点で、抗利尿ホルモン（ADH）を中止し、全身の加温装置を停止する
- 灌流用のカニューラ挿入時に血圧が下がることがあるので注意する
- 肺移植施設によっては、肺動脈本幹の灌流用カニューラ挿入後プロスタグランディンを投与し、血圧が低下することがあるが、一般的にすぐに大動脈遮断を行うので、処置は講じなくてよい
- すべての臓器の灌流用カニューラ挿入後、中枢ラインを抜去し、上大静脈の結紮・切断、下大静脈の切開後、大動脈遮断を行う
- この時点で、すべての輸液・輸血は中止し、肺の摘出のない場合には、人工呼吸器を停止する。
- 加温装置を冷却に切り替え、部屋の暖房を停止する（または冷却する）
- 肺の摘出がある場合には、換気数、換気量を減らして心臓が摘出しやすいようにするが、換気は中止しない。気管を遮断後に人工呼吸器を停止するが、人工呼吸器と切り離すと気管チューブから血液などが出てくるので、外さない
- 呼吸循環管理は、この時点で終了となる。

## IX. 脳死臓器提供時の提供施設への支援体制

日本医科大学 久志本 成樹

### 1. 研究班による平成 20 年度アンケートから

臓器提供施設での提供手続き円滑化をすすめるために、法的脳死判定と脳死判定後のドナー管理に関する施設外からの支援体制のあり方とその意義を検討することを目的として、平成 20 年度の厚生労働科学研究費補助金 免疫アレルギー疾患予防・治療研究事業『脳死並びに心停止ドナーにおけるマージナルドナーの有効利用に関する研究』においてアンケート調査を行った。

平成 20 年 10 月末までに法律に基づいた脳死判定、脳死下臓器提供を経験した施設のうち、病院名が公表されている、あるいは、報道、インターネットなどから抽出しうる 60 施設を対象として、1) 各施設の規模と脳死に関わったスタッフの内容、2) 法的脳死判定とこれに際しての施設外からの支援、3) 法的脳死判定手続きの救急・診療業務への影響、4) ドナー管理に際しての施設外からの支援、5) ドナー管理に際しての救急・診療業務への影響に関してアンケートを行い、以下の結論を得た。

法的脳死下臓器提供が日常的な業務とは言うことができない現在の状況においては、提供施設におけるスタッフの負担軽減、日常診療への影響の減少、および地域救急医療体制の維持のために各施設での初回臓器提供時のみでなく、2 回目以降においても法的脳死判定および脳死判定以後のドナー管理のサポート体制を確立することが求められる。

さらに、支援体制として確立するためには、

- ① 支援医師の資格認定および登録
- ② とくに脳死判定支援における脳波測定の補助の必要性の再認識
- ③ 無償の volunteer である医師個人の尽力に依存しない

などを十分に考慮することが必要であろう。

平成 22 年 7 月に施行される改正法により、脳死下臓器提供・臓器移植数は 3 倍程度にまで増えることが予想されている。本手続き所要時間 (70 例目までの平均) は、臨床的脳死診断から臓器摘出手術・退室までに 45 時間 14 分である。うち臨床的脳死診断より第 1 回法的脳死判定開始まで 18 時間 19 分、第 2 回法的脳死判定終了から臓器摘出手術開始までの 13 時間 26 分が占める割合が大きい。

この長時間を要する手続きにおける提供施設への負担軽減、外来・病棟・集中治療室などにおける診療への影響減少、地域救急医療体制の維持のためには、システム化した支援体制を構築することが必須であり、急務である。

### 2. 支援体制構築を実現するための問題

#### 1) 費用に関する問題 (後述)

#### 2) 脳死判定支援体制における問題:

脳死判定の支援においては脳死判定手順のみでなく、脳波測定に習熟し、かつ、可能であれば法的脳死判定経験者による登録制とすることが望ましいと考えられる。平成 18 年 4 月、日本臓器移植ネットワーク、及び同臓器提供施設委員会は日本救急医学会、日本脳神経外科学会、日本麻酔科学会、及び日本集中治療医学会に対して、脳死下臓器提供時の法的脳死判定に経験が豊富な医師を派遣する旨の支援要請を行っている。日本脳神経外科学会は法的脳死判定の際の脳波検査や所見に関しての支援体制について、日本救急医学会は指導医の任意の判断で法的脳死判定の際の協力体制について呼びかけ、脳死判定に経験のある日本救急医学会指導医 126 名が登録されている。しかしながら、実質的活動は限られている状況である。

### 3) メディカルコンサルタントに関する問題：

メディカルコンサルタントとして、①移植臓器の評価、②法的脳死判定後のドナー管理の2つが挙げられるが、移植臓器の評価に関しては移植医が行う現在の体制を当面は継続することになろう。一方、ドナー管理は、救急医、集中治療医、麻酔科医などにより支援を行う、あるいは、現在と同じく移植施設からの移植医が行う2通りが考えられる。学会等の協力の下に整理・調整が必要である。

## 3. 支援体制案

### 1) 資格認定：

- ① 法的脳死下臓器提供経験施設において中心的に手続きに関与した経験のある医師
- ② 前記経験はなくても、講習会などの受講経験があり手続きを理解している医師
- ③ ①あるいは②と同等の実績、経験のある医師

①～③に対して、筆記試験に基づき資格認定・登録を行う。

筆記試験には、臨床的脳死判定後の手続き、法的脳死判定手続き、平坦脳波の判定を含める。

(現実的には、登録をお願いする形にならざるをえないものとする)

提供経験施設からは、脳波測定に関わる非円滑が多く述べられている。しかし、事前の各施設におけるシミュレーションにより、測定法は施設内で対応すべき、あるいは対応可能と考えられ、記録した脳波が平坦であることの確認を行うにとどめるのが適切ではないと思われる。

脳波測定のみに関する補助の依頼は、従来通り、日本脳神経外科学会の協力体制を維持しておいていいのではないか。

### 2) 登録システム：

臓器移植ネットワーク 東日本、中日本、西日本支部を基本として、以下のように地域分けを行い、各地域あるいは隣接地域ブロックごとに認定医を登録する。(登録医師数に応じてブロック分けを修正する必要がある)

北海道：北海道

東北：青森 岩手 宮城 秋田 山形 福島

関東：東京 神奈川 埼玉 千葉 茨城 栃木 群馬 山梨

信越：新潟 長野

北陸：富山 石川 福井

東海：愛知 岐阜 静岡 三重

近畿：大阪 兵庫 京都 滋賀 奈良 和歌山

中国：鳥取 島根 岡山 広島 山口

四国：徳島 香川 愛媛 高知

九州：福岡 佐賀 長崎 熊本 大分 宮崎 鹿児島 沖縄

登録医師の派遣に関して：スキンバンクの採皮チームと同様に、週単位あるいは月単位でのサポート医師グループ(3～5人程度)と、その中で call 順を決めておく。順次連絡をできる体制とする。(すべてネットワークに登録する)

### 3) 支援開始のタイミング：

Co による説明開始とともに動き始め、可能な限り、第1回判定の準備段階から各施設スタッフと合流する。

### 4) 費用負担とその拠出：

平成18年4月以降、脳死下臓器提供の際の診療報酬が算定され、脳死下臓器提供の場合では提供臓器数に係わらず58万円が提供施設に支払われ、このほか提供臓器毎に臓器の移植に係わる費用配分が約14万(腎)～約34万(心)で支払われる。また、日本臓器移植ネットワークから200万円を限度に補助を受けることが可能である。しかし、これらの費用は提供施設に対



するものであり、支援医師には別途の財源からの支出を行うべきであろう。

現在、提供施設への本支払いとは別に、“コーディネーター管理料”の設定を要求しているが、本年度の外保連での新規保険収載する優先度が高いと考えられる未収載技術には挙げられていない。現実的には、同管理料が保険収載されないと、その拠出が困難であることが考えられ、何らかの公的資金、あるいは各学会の協力も必要となる可能性がある。

メディカルコンサルタントに関する試案（福冨先生による）を参考に場合によっては算出予定である。

1. ドナー管理：メディカルコンサルタント（医師）17685 円×36 時間×1 人+協力者 3140 円（卒後 10 年目看護師）×36 時間×2 人
2. 呼吸循環管理の支援；メディカルコンサルタント（医師）35370 円×36 時間×2 人+協力者 3140 円（卒後 10 年目看護師）×36 時間×2 人

#### 5) 明文化した支援体制システムと支援医師のためのマニュアル作成：

日本臓器移植ネットワーク、及び同臓器提供施設委員会による上記体制に関する文書の作成を要する。また、支援スタッフのためのマニュアルを作成することが必要である（タイムテーブル、準備物品、検証票をもとにした確認事項など）。

#### 6) メディカルコンサルタントとの関係：

提供施設の支援という点においては、脳死判定とその手続きに関する支援医師とメディカルコンサルタントは同等であるものの、後者は脳死判定後のドナー管理と移植のための臓器評価が中心となり、一方、前者は脳死判定までの支援である。支援医師によりドナー管理は可能であろうが、臓器評価を行うことが可能であるか否かは明らかでなく、また、提供施設と移植側という異なる立場からの支援であり、兼任することは困難であることが予想される。

## X. 小児の法的脳死判定後と摘出術中の呼吸・循環管理

### 1. 法的脳死判定後の呼吸・循環管理

#### 1) 循環管理

#### 小児ドナー管理 目標値

	収縮期血圧	心拍数
1歳未満	≥ 65mmHg	120-140回/分
1-6歳	≥ 70mmHg	110-130回/分
7-12歳	≥ 80mmHg	90-120回/分
13歳以上	≥ 90 mmHg	80-100回/分

CVP 4-10 cmH<sub>2</sub>O

時間尿量 0.5 - 2 ml/kg/hr以上

上記を満たすために、ADH、カテコールアミンを以下のような容量・用法で使用する。可能な限り、中枢ルートは上大静脈経路で確保する。カテコラミンルートとしては、PI カテーテルでもOK。

ADH： 最初に bolus で 0.02 U/kg 静脈投与、その後 0.01-0.02 U/kg/hr、  
または 0.5-1.0 U/hr  
カテコールアミン：  
可能な限り DOA 10 μ/kg.min 以下  
必要に応じてノルアドレナリン(NAD)、アドレナリン(AD)を使用するが、循環が安定したら NAD, AD の順に減量する。

#### 2) 呼吸管理

口腔から気道への垂れこみを防ぐために、カフ付きの気管チューブ (>25 cmH<sub>2</sub>O)に交換する。その際、先端をきっちり確認し、固定することが重要。

咳反射が消失するので、定期的な体位変換と気道吸引(2時間毎)が肺炎や無気肺の予防に重要。定期的に胸部単純撮影を行う(一時的に6~8時間毎)、肺炎や無気肺が疑われるときには気管支鏡下に気管・気管支内吸引する(洗浄の回数は制限)。

喀痰培養・検鏡を行い、適切な抗生剤を使用する。

低 FiO<sub>2</sub> かつ PEEP 3-5cm H<sub>2</sub>O  
一回換気量 8-10 ml/kg、  
かつ最大気道内圧 25 mmHg 以下、  
かつ PaO<sub>2</sub> 70-100mmHg 以上 (>SaO<sub>2</sub> 95%)、PaCO<sub>2</sub> 30-35mmHg

#### 3) 電解質、ヘマトクリット、電解質の管理

尿崩症で電解質バランスが崩れやすいので、血清 Na, K 値を正常に保つようにする

ヘマトクリットは 30%以上にする(以下の場合は、輸血も考慮)

血統は 120-180mg/dl を目標

#### 4) 体温管理

36.0~37.0℃を目標とする

#### 5) 感染症の管理

呼吸器感染症のほか、創部や褥創のケアを行う。

## 2. 摘出術の呼吸・循環管理

### 1) 直前の準備

- ① 出棟 1～2 時間前に抗菌薬を静脈内投与
- ② 慎重なベッド移動（血圧が変動しやすい）
- ③ 最低 2 か所以上に太い末梢ラインを確保
- ④ メチルプレドニソロン 20mg/Kg 並びに、パンクロニウム 0.1-0.2mg/kg、ベクロニウム 0.15-0.2mg/kg、ロクロニウム 0.6-1.0mg/kg を静脈内投与。
- ⑤ 中心静脈の固定糸は切り、テープ固定とする。
- ⑥ 除細動パッドを手術創にかからないように貼付する（いつでも除細動器に連結できるようにする）。体外ペーシングできるように準備しておく。
- ⑦ 大動脈遮断までは体温を 36℃以上に維持

### 2) 摘出術中の呼吸・循環管理

- ① PaO<sub>2</sub> が 100～150mmHg 程度に維持できる吸入酸素濃度にする。  
なお、肺の摘出時には以下を目安として肺チームと協議しながら呼吸条件を決定。  
一回換気量： 8-10 ml/kg  
呼吸回数： 10-15 回/分  
I/E 比： 1 : 2  
PEEP： 3-5cmH<sub>2</sub>O  
吸入酸素濃度： 40-50%
- ② 末梢血管拡張薬、吸入麻酔薬は使用しない
  - ・除神経状態であるので、出血や静脈圧迫などで血圧が低下しやすい。
  - ・特に、胸骨切開後や上下大静脈の剥離、肺の剥離時などの血圧低下に注意
  - ・血圧が下がったときには摘出医に注意を喚起する
- ③ 血圧低下時は輸血やアルブミン輸液で対応し、なるべく AD, NAD は使用しない
- ④ Ht は 30%以上になるように輸血する
- ⑤ すべての臓器摘出術が整った時点で、中心静脈ラインからヘパリンを 400 U/kg 投与。
- ⑥ この時点で ADH, NAD/AD を中止
- ⑦ 肺動脈本管からプロスタグランデンを投与する。血圧が下がるが、直ちに大動脈遮断をするので昇圧の必要はない
- ⑧ 大動脈遮断後は全ての輸液・輸血は中止し、加温装置を冷却に変更し、部屋の暖房も停止する。
- ⑨ 肺の摘出がある際には、心臓摘出の際にも換気は中止しないが、換気回数や換気量は減らす。気管遮断後に人工呼吸を停止する。

初期情報 1- (1)

情報連絡日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分	
病院名 _____ 担当科 _____ 担当医 _____	
所在地 _____	
電話 _____ 内 ( _____ ) FAX _____	
Co到着日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分	
フリガナ 患者氏名 _____ (男・女) 生年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日 ( _____ 歳) 住所 〒 _____ _____ _____ TEL _____ 血液型 _____ 型 Rh ( + ・ - ) 身長 _____ cm 体重 _____ kg 心胸比 _____ % HLA A ( _____ ) B ( _____ ) DR ( _____ ) <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">                     家族関係      </div> 特記事項 _____ _____ _____ _____	原疾患 _____ 発症からの経過 _____ _____ _____ _____ _____ _____ 入院日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 外傷 (有・無) 外傷箇所 _____ 心肺停止 (有・無) _____ 回 _____ 分間 呼吸器装着日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 呼吸器終了日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 臨床的脳死診断日時 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 法的脳死判定 1回目開始 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 1回目終了 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 2回目開始 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 2回目終了 _____ 年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分 検視・検案 検視 (要・不要) _____ 検案 (要・不要) _____ 管轄警察署 _____ 担当者 _____ 電話番号 _____
_____ 記 入 者	