

離の遠い組織で始まり、ミトコンドリアでの電子伝達系を介した ATP 産生が障害され、NADH が蓄積されミトコンドリアは還元状態に傾く。そのためクエン酸回路の活性が阻害され、代償的に嫌氣的解糖による ATP 産生に頼ることとなり、解糖系は亢進する(図 4-3)。

しかし、嫌氣性解糖系の ATP 産生効率 は低く好氣性解糖の 1/19 であるため、細胞は相対的にエネルギー不足となる。そのため数々の内在性の生化学反応や酸素反応は抑制され、細胞膜やミトコンドリア膜の能動的ポンプ機構に破綻を来すようになって、 Na^+ 、 K^+ をはじめとする細胞内外のイオン分布に変化が生じる。とりわけカルシウムの細胞質内への蓄積は細胞崩壊を加速し、膜のホスホリパーゼを活性化させて膜の磷脂質を消化する。この消化によって放出される種々の脂肪酸がミトコンドリアの膨化を引き起こし、形態学的な変化を招く。

このようにしてミトコンドリアは決定的な障害を受け、破壊され、臓器の障害、臓器の死(心臓死)からついには細胞死にいたる。この細胞破壊が組織や個体のレベルで体系的に起これば死にいたることはいうまでもない。また、酸素利用障害についても ATP 産生障害と言う点では同様といえよう(表 4-5)。

4.呼吸器系の障害

(1) PO_2 低下による低酸素血性無酸素症

$\text{Pao}_2 < 60\text{Torr}$ となると酸素解離曲線から動脈血 O_2 含量(Cao_2)が急激に減少するため、酸素供給の不足が起こる。

①低酸素血症(環境低酸素)型呼吸障害(表 4-6、図 4-4)

〈 PIo_2 低下〉

吸入気酸素濃度(FIO_2)が低下すると、肺胞気 O_2 分圧(PAO_2)が低下し圧勾配の減少を来す。そのため血液の酸素加に時間がかかり、通常肺毛細血管通過時間(約 0.75 秒)では十分な酸素加がなされず動脈血酸素分圧(Pao_2)の低下を招くことになり、ATP 産生障害を来す。

高山病、換気の悪い炭坑、鉱山、地下の下水道、船倉、タンク、サイロなどの密閉環境などで中毒ガスの産生がなくても起こる障害が含まれる。

〈拡散障害〉

混合静脈血 O_2 分圧(PvO_2)は 40Torr で PAO_2 が 100Torr 程度であるため、 O_2 は肺胞に接する部分で圧勾配により血中に拡散し移行する。この血液の酸素化は正常では 0.3 秒程度で完了し、肺毛細血管通過時間(0.75 秒前後)内に十分な酸素化がなされ、 Pco_2 は PAo_2 と平衡に達する。このように、肺胞でのガス交換には時間的余裕があり、運動時など、肺血流の増加によって肺毛細血管通過時間が短縮しても酸素化が保たれる。

しかし、肺の間質浮腫(肺水腫、心不全)や線維化などの拡散障害が存在すると

Pco₂の上昇が遅れ、正常の肺毛細血管通過時間内に PAo₂との平衡に達することができず、その結果 PaO₂は低下する。

〈換気血流(\dot{V}_A/\dot{Q})比不均衡)

効率的なガス交換のためには換気量と血流量とのバランスが保たれている必要があり、均等かつ適当な割合が維持されている必要がある。肺全体の肺胞換気量(\dot{V}_A)は4.5l/min、血流量(\dot{Q})は5.5l/min程度であるので、換気血流(\dot{V}_A/\dot{Q})比は0.8である。

\dot{V}_A/\dot{Q} 比は健常者でも必ずしも均一ではない。全体的な \dot{V}_A/\dot{Q} が正常でも不均一の部分の存在によりガス交換率は低下し、血液の酸素化を妨げる。健常者立位では重力の影響を受け、換気量(\dot{V}_A)も血流量(\dot{Q})も肺尖部に少なく、肺底部に多い。しかし相対的には肺尖部では \dot{Q} に比して \dot{V}_A が多く、肺底部ではその逆である。つまり \dot{V}_A/\dot{Q} は肺尖部で極端に高く、肺底部では低い。

局所肺血流の低下(肺梗塞など)、又は気管支炎や喘息に認められる比較的太い気管支(>2mm)の閉塞や、急性心筋梗塞、心不全、肺水腫、腎不全、肝硬変、細気管支炎などに認められる末梢気道閉塞(<2mm)で換気血流(\dot{V}_A/\dot{Q})比不均衡が生じる。

〈肺内シャント〉

健常者でも心抽出量の1~2%程度の解剖学的シャント(冠循環、気管支循環など)が存在する。このシャント血はガス交換を受けず静脈血のまま動脈系に流入しPaO₂を低下させる。したがって、肺内シャントの割合が増えれば当然PaO₂は低下する。臨床的には肺内シャントは完全気道閉塞($\dot{V}_A/\dot{Q} = 0$)により虚脱している肺胞への血流の存在より生じ、ガス交換をえることはできず、PaO₂を著明に低下させる。無気肺や新生児呼吸窮迫症候群などがその典型である。 $(\dot{V}_A/\dot{Q} = 0)$ でなくとも正常より小さい部分($\dot{V}_A/\dot{Q} < 0.8$)があれば、シャント様効果をもたらし、PaO₂の低下をみる。

肺内シャントの増加は、比較的太い気管支(>2mm)の気道閉塞(気管支炎や喘息など)、末梢気道の閉塞(<2mm)による肺胞内への液体貯留(肺水腫・細気管支炎など)、肺の虚脱(無気肺など)、毛細血管血流過多(肺塞栓における健常肺部分など)によって発生する(図4-5)。

②換気不全型呼吸障害

〈肺胞低換気〉

肺に特に障害がなく、呼吸中枢や呼吸に関する神経や筋肉の障害のため、換気に際して十分に肺が伸展しない状態を肺胞低換気状態という。

低O₂血症と高CO₂血症の両方を認める。この場合は、第一に肺胞低換気が考えられ、ATP産生障害の原因としてもきわめて重要である。肺胞低換気の原因を以下に示す(表4-7)。

①換気運動の障害

呼吸麻痺：中枢性呼吸麻痺、延髄麻痺、頸髄損傷、進行性脊髄運動麻痺、横隔膜神経麻痺、神経筋麻痺(重症筋無力症、筋弛緩薬)、薬物中毒

胸郭の異常：胸部外傷(フレイルチェスト、肺挫傷、血気胸、開胸手術)

②気道狭窄

舌根沈下、気道異物、声門浮腫、気道内腫瘍、腫瘍による気道の狭窄、咽後膿瘍など

③拘束性換気障害

肺線維症、肺炎、肺水腫、ARDS、無気肺、全身性進行性硬化症(PSS)など

④閉塞性換気障害

肺気腫、慢性気管支炎、陳旧性肺結核、気管支喘息など

⑤肺血流障害

肺動脈塞栓症

(2) CaO_2 低下による貧血性低酸素症

酸素 0.003ml が 100ml の血液中に溶解すると酸素分圧は 1Torr ずつ上昇するので、溶解酸素量(m_1)= $0.003 \times$ 血中酸素分圧(Torr)と表すことができる。 P_{aO_2} が 100Torr のとき、動脈血 100ml 中には $0.003 \times 100 = 0.3\text{ml}$ の酸素が溶解している。

酸素は血液中のヘモグロビン(Hb)と結合し、酸化ヘモグロビン(HbO_2)の形でも存在する。 1g の Hb は、最大 1.34ml の酸素と結合できる。 100ml の血液中に含まれる Hb のうち、 HbO_2 の形で存在する比率($HbO_2/Hb \times 100$)を酸素飽和度(SO_2)という。血液の酸素分圧(PO_2)と SO_2 との間には関係があり、これを酸素解離曲線という(図 4-6)。これらの関係から結合酸素量(m_1)= $1.34 \times$ ヘモグロビン濃度(g/dl) \times 血中酸素飽和度(%)で表すことができる。

溶解酸素と結合酸素との和を動脈血酸素含量(CaO_2)といい、動脈血 100ml 中に含まれる酸素量を示す。Hb が 15g/dl の状態で $P_{aO_2} 100\text{Torr}$ の場合、動脈血酸素含量は $CaO_2 = 0.003 \times 100 + 1.34 \times 15 \times 0.98 = 20.0(\text{ml})$ となり、 $P_{vO_2} 40\text{Torr}$ であれば、静脈血酸素含量は $S_{vO_2} = 0.003 \times 40 + 1.34 \times 15 \times 0.75 = 15.1\text{ml}$ ということになる(図 4-7)。

貧血が生じると Hb が 50%減少(Hb 15g/dl から 7.5g/dl へ)すると、 CaO_2 は 50%減少する。一方、 P_{aO_2} が 50%減少(90 から 45Torr に変化)しても、 CaO_2 は 20%しか低下しない(SO_2 も同様で、18%しか低下しない)(表 4-8)。

したがって、Hb 濃度の変化は、 P_{aO_2} の変化に比べ、動脈血の酸素加に大きな影響を与える。一方、 P_{aO_2} の低下は、随伴して起こる S_{aO_2} の変化が軽度ならば、動脈血の酸素化に対して比較的小さな影響しか与えない。つまり S_{aO_2} は P_{aO_2} よりも動脈血の有用な指標といえる。

以上より著しい貧血性低酸素血症、大出血によるヘモグロビン喪失重度貧血は重

大な組織低酸素症を招来する。

(3)組織血流量減少による虚血性低酸素症

低酸素血性無酸素症や貧血性低酸素症と比較して、虚血性低酸素症では代謝産物の運び出しも妨げられる。嫌気性解糖により産生された乳酸が虚血部位に蓄積し、局所はアシドーシスとなり、細胞代謝が急速に障害される。

5.循環(心血管)系の障害

循環は、左心系と右心系の機能の違う二つの直列ポンプと閉鎖した血管網よりなる。循環系をめぐる総血流量は 4.5~5.5l(体重の約 6~8%)で、約 80%が低血圧系(静脈、右心、肺循環)にある。この平均圧 15mmHg 程度の低血圧系は容量と伸展性に富むことから血液貯蔵機能も併せもつ。

体循環の中で並列(脳、心臓、胃腸管、筋、腎、皮膚など)に配置された諸器官では、緊急時の生命維持に係る重要度と日常における血液の機能的要求に応じて血液の分配がなされている。

一方、肺循環は体循環と直列関係にあり、心拍出量(CO)の全量が流れている。これは先の並列器官での大量の酸素消費によるエネルギー代謝を考慮すると極めて合目的といえる。

全身の循環は左心室から送り出された動脈血が末梢組織で目的を果たし、静脈血として右心房に還ることで成り立つが、組織や細胞への血液循環を正常に維持する上で、以下に示す三つの重要な要素がある(図 4-8)。

(1)心拍出量

組織要求に応じた心拍出量の確保は、心臓ポンプ機能に依存する。

心拍出量(CO)は心拍数(min⁻¹)×1回拍出量(l)により計算され、安静時では 70×0.07、すなわち約 5l/min である。心拍数と1回拍出量の増加により、CO は数倍まで上昇しうる。さらに1回拍出量は心室の①前負荷、②心収縮力、③後負荷の3要素により規定される(表 4-9)。

①前負荷

心室が収縮を始める直前(拡張終期)の心室内容量(拡張終期容量)であり、心室内に流入する血液量に相当する。左室における前負荷には肺動脈楔入圧が、右室においては中心静脈圧が代用される。この前負荷は正常な心臓において収縮強度を規定するもっとも重要な因子である。

②心筋の収縮

筋の収縮力と速度に反映され、心臓全体としての心筋の収縮状況は収縮期における心室機能として反映される。また、拡張期容量における収縮期圧の変化は、心筋の収縮状況を反映する。

③後負荷

壁内外の圧較差であり、収縮の開始後に心筋に課せられる負荷である。一般に動脈に血液を駆出するときに心室壁にかかる力(壁応力)をいう。つまり、血管抵抗が下がれば負荷が軽くなるが血管抵抗が大きくなれば負荷が増大し、駆出するのに大きな圧が必要となる。

(2)循環血液量

一般的な成人では、血管内に体重の 1/13 に相当する 51 の血液が存在し、生体の全血液量の 75%が体循環に存在し、55%が静脈系、13%が動脈系、7%が細動脈と毛細血管に存在する。残り 25%は肺循環に存在している。たとえば輸血量の 98%以上は低血圧系に分布し、2%以下が小動脈高血圧系に分布する。逆に血液量減少に伴い縮小するのはほとんど低血圧系である。

つまり、急に走り出したりして大量の心拍出量が必要になったり、大出血に対しても心拍出量を維持したりするための調節にこの静脈系のプールが役に立つものと考えられる。しかし、出血量が全血液量の 15%を超えだすと前負荷の低下が血圧の低下として出現します。

(3)血管抵抗

血管の中を流れる血液は、①血管の両端における圧較差、②血管壁における血流抵抗(摩擦)、すなわち血管抵抗に規定される。体循環における圧較差は、平均動脈圧と中心静脈圧の差として捉えられる。血管抵抗は主に、毛細血管に移行する手前にある細動脈が収縮・拡張して、組織の要求する血液量に応じて生理的範囲に保たれる(表 4-10)。

(4)ミトコンドリア内 O₂利用が障害される組織中毒性低酸素症やその他の ATP 産生障害

溶解酸素は結合酸素の約 1/70 程度であるので、組織への酸素供給量を規定しているのは酸素飽和度、心拍出量、ヘモグロビン値であるといえよう。

つまり、これらを障害する酸素飽和度の低下、心拍出量の低下、ヘモグロビンに関する異常を来すような病態(各呼吸障害、ショック、貧血等)による組織低酸素や前述した酸素利用障害による ATP 産生障害が心肺停止にいたる原因と考えられる(図 4-9)。

6.心肺停止に至る原因

生体内機構が円滑に作用し、好気的環境下でこそ人の生命維持は成立する。これは人の生命がミトコンドリア内でグルコースを酸素で燃やすことによるのみ確立されることを意味している。つまり、心肺停止の原因はこの酸素の輸送・代謝経路上に障害

が発生することにこそ存在する(図 4-10)。

以下に、蘇生の上で特に重要な心肺停止の原因を示す。

(1)呼吸停止を原因とする心肺停止

呼吸停止及び呼吸困難が継続すれば、いずれは組織低酸素を経て心肺停止にいたる。呼吸停止の原因として気道閉塞と中枢性呼吸停止が重要である。

①気道閉塞

気道閉塞の原因で最も多いのは舌や喉頭蓋による上気道閉塞である。舌による気道閉塞はいわゆる舌根沈下の形態をとり、意識も反応もないような脳卒中や頭部外傷、あるいは心肺停止中の傷病者等にみることができる。また、上気道あるいは下気道が浮腫を来すような喉頭蓋炎又は喘息や感染、アレルギーといった病態でも気道閉塞を呈する。

異物による気道閉塞(foreign-body airway obstruction : FBAO)での死亡はアメリカでは比較的稀で、死亡数全体の 10 万分の 1 である。FBAO は通常食事中に発生し、餅や肉によるものが多い。FBAO は大きな食物やよく噛んでいない食物を飲み込もうとしたり、高齢による嚥下機能障害が存在したり、泥酔による嚥下反射の低下や義歯による食物の咀嚼不十分等が原因となりうる。

②中枢性呼吸停止

脳幹にある呼吸中枢は血中二酸化炭素分圧により呼吸の命令や回数・深度を調節している。しかし脳卒中やショック、心停止等により脳血流が減少するとその機能は著しく障害される。心拍が停止すると 2~3 秒内に呼吸が停止するし、酸素加障害でもやはり呼吸は停止する。この呼吸停止には「喘ぎ呼吸」や「死戦期呼吸」も含まれ、これらを有効換気ととり違えてはならない。

また、薬物中毒、麻薬、バルビタール、頭部外傷や脳機能を失う疾患、さらに著しい筋収縮力減弱を来す疾患などはすべて呼吸停止の原因となり、放置すれば心停止に移行しうる。

(2)心停止を原因とする心肺停止

心停止リズムには、①心室細動(VF)、②無脈性心室頻拍(pulselessVT)、③無脈性電気活動(PEA)、④心静止(Asystole)の 4 型がある。このうち VF と VT には除細動の適応があり、PEA と Asystole には除細動の適応はない。

①VF,VT

突然死の 7 割以上が循環器疾患によると報告されている(図 4-10)。そのうち約 9 割は心室細動が原因と考えられる。さらに、そのうち約 9 割は通常健康診断では何の異常も認められない。しかしその 8 割には心筋梗塞や肥大型心筋症、拡張型心筋症を認め、75%が虚血性心疾患(狭心症や心筋梗塞)、8%が肥大型心筋症・拡張型心

筋症、2%が炎症性心疾患等を基礎疾患とする。また、VTはVFへの経過的“リズム”と考えられる。

②PEAとAsystole

PEAでは治療可能な原因を検索し治療することが重要である。したがって、心停止の中でもPEAの「治療可能な原因」を記憶しておく必要がある(表4-11)。一般に5H・5Tでの暗記法が有名である。Asystoleを生じうる頻度が高く「治療可能性の高い」病態は基本的にPEAにおける5H・5Tに準ずる(表4-12)。

しかし、Asystoleは5H・5Tから直ちにいたるものではなく、PEAなどからの最終病態である死亡を示唆する“リズム”といえる(表4-13)。

(3)外傷による心停止

鈍器外傷による病院前心停止例の蘇生率は小児・大人のいずれも低く、穿通創による心停止の蘇生率はそれより少しだけよい。この場合、現場での蘇生に時間を費やすより外傷センターへの早期搬送が良い結果を生む。

(4)その他

①妊娠中の心停止の原因

分娩に関係したものが多く、また、交通事故・転落・暴行・自殺・痙攣性外傷などでも起こりうる。

②電撃症・雷撃症による心停止

これらの主な死因はVFや心静止などによる心停止である。

[参考・引用文献]

- 1)PAULL.MARINO,稲田栄一等監訳:ICUハンドブック.メデイカル・サイエンス・インターナショナル(第2版),2001.pp3-25,PP163-183.
- 2)三学会合同呼吸療法士委員会:呼吸療法テキスト.克誠堂出版株式会社,1992,pp6-24,pp55-61.
- 3)古井土雄一,吉田竜介,山本保博:酸素投与,迷わないための基礎知識.救急医学,へるす出版,VOL.25 NO.10.SEPT,2001,pp1333-1341.
- 4)遠井健司,安本和正:体循環,循環動態の把握とその対応.救急医学,へるす出版,VOL.28 NO.2,FEB,2004,pp127-131.
- 5)布宮伸:酸素運搬とその周辺,わかりやすい臨床呼吸生理学,救急医学,へるす出版,VOL.25 NO.9,SEPT,2001,pp1003-1009.
- 6)小澤和恵,葛原康行:ショックで細胞機能はどう変化するか?.臨床医のためのハンドブックショック.メデイカルビュー社,1993,pp3-25,pp24-25
- 7)山林一,河合忠,塚本玲三:血液ガス,わかりやすい基礎知識と臨床応用(第2版)・医

学書院・1985,pp2-27,pp72-82,pp98-116,

8)消防救第 58 号,医政指発第 0323071 号。

9)和田和夫,美濃部暁監修:BLS ヘルスケアプロバイダー—中山書店,2004,pp17-21,pp123-129,PP195-200.

10)和田和夫,青木重憲,金弘監修:ACLS プロバイダーマニユアル.BIOMEDIS,pp101-128.

11)和田和夫,美濃部蟻監修:AHA 心肺蘇生と救急心血管治療のための国際ガイドライン 2000.BIOMEDIS,pp165-179.

5.気管挿管の適応と禁忌、合併症、気管挿管困難症

1.気管挿管の適応

(1)救急救命士による気管挿管の適応

本邦では救急救命士による気管挿管の対象となるのは心肺停止(心臓機能停止かつ呼吸機能停止の状態)の傷病者のみである。厚生労働省の研究班「救急救命士による特定行為の再検討に関する研究」では、院外心肺停止に対する救急救命士による気管挿管の適応として下記の二つを挙げている。

- ① 異物による窒息の院外心肺停止
- ② 適切なメディカルコントロール体制下で、傷病の状況から気管挿管以外では患者の予後を改善しえないと指導医が判断した院外心肺停止

したがって、救急救命士による気管挿管の具体的な適応としては、異物による窒息、多量の嘔吐物や吐血、溺水などが挙げられる(表 5-2)。また、従来のラリngeアルマスクや食道閉鎖式エアウェイでは適応となっていた「呼吸なしかつ脈拍有あり」の傷病者は気管挿管の適応とはならない(表 5-3)。

一方、医療機関においては心肺停止に限らず、様々な病態に対して気管挿管が行われる。また、気管挿管困難症例、あるいは挿管困難が予測される症例であっても気管挿管の禁忌とはならない。

このように、気管挿管の適応と禁忌は救急救命士が行う場合と医療機関で行われる場合で大きく異なる。この点について救急救命士、気管挿管を指導する医師の双方が十分に認識しておかなければならない。指導のポイント①

(2)医療機関における気管挿管の適応

一般に気管挿管は以下の目的のために施行される。

- ①気道を確保する(気道を開通させる)。
- ②気道を隔離する(気道を保護する)。
- ③肺に陽圧を加える(換気を行う)。
- ④気管内の分泌物、異物を除去する。
- ⑤酸素化を維持する。

したがって、医療機関における気管挿管の具体的な適応としては下記のような状況が挙げられる(表 5-4、写真 5-1)。

- ①心肺蘇生時の気道確保
- ②全身麻酔時の気道確保
- ③長期の人工呼吸時の気道確保
- ④外傷や熱傷などに伴う気道閉塞に対する予防的気道確保
- ⑤意識障害、ショック、低酸素症、高二酸化炭素血症患者での気道確保

- ⑥急性薬物中毒に対する胃洗浄など、誤嚥の危険を伴う処置の気道確保
- ⑦気道内分泌物、出血の吸引
- ⑧気管支の検査

これを病態からみると下記の患者において気管挿管の適応となる(表 5-5)。

指導のポイント②

- ①気道閉塞
- ②酸素化障害
- ③換気障害
- ④呼吸努力の増加
- ⑤気道反射の減弱

また、米国心臓協会(AHA)の心肺蘇生国際ガイドライン 2000 では気管挿管の適応は下記のように述べられている。

- ①意識障害患者に対し低侵襲的手段では十分に換気できない場合
- ②昏睡、心停止により防御反射がない場合

2.気管挿管の禁忌

(1)救急救命士による気管挿管の禁忌

厚生労働省の研究班「救急救命士による特定行為の再検討に関する研究」では下記を気管挿管の適応除外例としている。指導のポイント③

①状況から頸髄損傷が強く疑われる事例

頭部外傷など鎖骨より頭側の外傷では頸椎頸髄損傷を合併している場合がある。心配停止に至る外傷の多くは頭部外傷を合併しており、したがって、救急救命士による気管挿管の適応外となる(写真 5-3,5-4)。

②頭部後屈困難症例

頸椎疾患を有する傷病者やそれらの疾患に対して手術が行われた傷病者では頭部後屈が困難な場合がある。また、頸椎頸髄損傷に対してハローベストなどにより頸椎固定が行われている場合も頭部後屈ができない(写真 5-5,5-6)。

③開口困難と考えられる例

2 横指以上の開口がえられない場合は開口困難と考える。開口障害として病院前救護でしばしば遭遇するのが死後の顎関節硬直である。低体温や死斑などの死体徴候の有無に注意する。また、歯科治療などの目的で顎間固定が行われている場合は気管挿管適応外である。

④喉頭鏡挿入困難例

腫瘍など解剖学的異常がある場合は適応外となる。

⑤喉頭鏡挿入後喉頭展開困難例

喉頭展開困難の指標としては Cormack グレードが用いられる。スニフイングポジ

ションにて正しく喉頭展開を行い、かつ、BURP 法(後述)にて良好な喉頭の視野(Cormack グレード1)がえられない場合は救急救命士による気管挿管の適応外となる。

- ⑥その他の理由で声帯確認困難例
- ⑦時間を要する、若しくは要すると考えられる例
- ⑧その他、担当救急救命士が気管挿管不相当と考えた例

上記の適応除外例は通常の間口気管挿管が困難な症例と解釈できる。救急救命士の気管挿管において挿管困難症例はその適応とならない。

さらに心肺停止症例に対する気管挿管は 30 秒以内に挿管操作を終了すべきであり、それ以上時間を要する場合にはバッグ・バルブ・マスクで十分に換気をした後に再度挿管を試みなければならない。その際、救急救命士は 2 回の試行にても気管挿管できない場合には、3 回目を試みることなく速やかに他の気道確保法に変更しなければならない。

また、同研究班では既存の方法により十分な結果がえられるもの、又は気管挿管を実施しても予後の改善が期待できないものとして下記の事例を挙げている。

- ①脳血管障害による心肺停止が明らかな事例
- ②心筋梗塞、致死性不整脈など、循環系の傷病に起因する心肺停止が明らかな事例
- ③呼吸器系を除く部位の外傷に起因する心肺停止が明らかな事例
- ④目撃者のいない縊死による心肺停止事例
- ⑤目撃者のいない入浴中の心肺停止事例

ただし、上記①～③では、嘔吐などによりラリングエアルマスクや食道閉鎖式エアウェイの挿入が困難な場合には気管挿管を考慮する。

さらに、8 歳未満の小児は救急救命士による気管挿管の適応とならず、病院での全身麻酔症例での気管挿管実習の対象からも除外されている。

(2)医療機関における気管挿管の禁忌

医療機関においては気管挿管が絶対禁忌となるような病態は存在しない。しかしながら、急性喉頭蓋炎や喉頭浮腫などにより気道の狭窄が顕著な場合には、声門部の確認が困難であり、また、不用意な喉頭展開や挿管操作により浮腫や出血が増悪し、完全な窒息状態に陥る危険性がある。

したがって、このような病態では輪状甲状靭帯穿刺・切開や気管切開の適応となる(写真 5-2)。やむをえず気管挿管が試みられる場合も、直ちに輪状甲状靭帯穿刺・切開ができるようスタンバイしながら、ベテランの麻酔科専門医により行われるべきである。

3.気管挿管の抜去(抜管)

一般的に気管チューブめ抜去は以下の事項により考慮される(表 5-6)。

①酸素化や換気に関して一定の基準を満たす

人工呼吸の必要性がなくなることが大前提となる。つまり、抜管後もフェイスマスクなどにより、酸素化が維持できること、自発呼吸で十分な換気量があり、深呼吸ができることが条件となる。一般的には、抜管前の酸素化の指標としては P/F ratio(PaO_2 と FI_{O_2} の比)で 200 以上が目安となる。換気量については、人工呼吸器による呼吸補助のない状態で、1 回換気量 $6ml/kg$ 以上、肺活量 $15ml/kg$ 以上、呼吸回数 30 回/分以下などを目安とする。

②意識と反射が回復し神経学的異常を認めない

気管チューブを抜去した後も気道が開通していること、十分な咳反射により気管内への分泌物や異物の誤嚥が予防されることが条件となる。自発開眼しているか、または呼名で容易に開眼し、離握手等の命令に応じるレベルの意識状態が求められる。また、気管吸引操作において十分な咳反射があることを確認する。

③気管挿管の適応となった病態が改善している

4.気管挿管の合併症

気管挿管の合併症は発症時期により下記の三つに分けられる(表 5-7)。

①気管挿管操作による合併症(短期的合併症)

②気管チューブ留置中の合併症(長期的合併症)

③抜管後の合併症

(1)気管挿管操作による合併症

挿管操作により口唇から気管までのあらゆる部位に損傷を及ぼす可能性がある。

具体的には食道挿管、口腔・咽頭内挿管、気管支挿管(片肺挿管)、チューブ位置確認の誤判断、口唇損傷、歯牙損傷、角膜剥離、咽頭損傷、喉頭損傷、喉頭痙攣、気管損傷、気管支痙攣、食道損傷、頸髄損傷、胃内容物や異物の誤嚥、低酸素症、高血圧、低血圧、心筋虚血、経鼻挿管時の鼻出血などが挙げられる(表 5-8)。

また、心肺蘇生において非熟練者が気管挿管を行うと、人工呼吸や胸骨圧迫心臓マッサージの開始の遅れや中断が問題となる。

これらの合併症の多くは注意深い挿管操作により予防が可能である。様々な要因が関与するため、それぞれの合併症の正確な発生率は不明であるが、もっとも頻度の高い合併症は口唇や歯牙の損傷である²⁾(写真 5-7)。

喉頭鏡のブレードを口腔内へ挿入する際、また喉頭展開時には口唇や歯牙を損傷しないように注意深く、かつ愛護的に操作を行わなければならない。特に喉頭展開の際に上顎歯を支点として「テコ」のように力を加えた場合、上顎歯や上口唇を損傷しやすい。歯牙を損傷した場合には脱落した歯牙を発見しなければならないが、みつから

ない場合には胸・腹部のエックス線撮影を行うべきである。脱落した歯牙が気管内へ迷入し、気管支異物となることもある(写真 5-8,5-9)。

一方、もっとも恐ろしい合併症は「気付かれることのない食道挿管(unrecognized esophageal intubation)」である。これは食道挿管後のチューブ位置確認の誤判断や気管挿管後のチューブ固定不備による食道への逸脱などが原因となる(写真 5-10)。欧米の病院前救護における報告では、食道挿管の頻度は 0%から数%までかなりのばらつきがある^{3)~10)}。

これには気管挿管を行う者の習熟度やメディカルコントロールの差に加え、対象患者の違いや挿管時の筋弛緩薬投与の有無などが影響を及ぼしているものと考えられる。最近の米国からの報告では、病院前救護でパラメディックスが施行した気管挿管を救急外来で医師が確認したところ、108 例中食道挿管が 18 例(17%)、下咽頭への挿管が 9 例(8%)であったとの事実が明らかとなった¹¹⁾。

この報告は極端な例ではあるが、パラメディックスに対する初期教育、技能維持のための再教育、事後検証システムなどのメディカルコントロール体制が十分に確立されていなかったことが最大の原因であると考えられる。

米国心臓協会(AHA)の心肺蘇生法国際ガイドライン 2000 によれば、気道確保の基本はバッグ・バルブ・マスクであり、ラリングアルマスクなどの気道確保器具の有用性も大いに強調されている。そして気管挿管については初期訓練と継続的な練習、さらに豊富な経験がその施行において不可欠であり、非熟練者は十分に訓練を積んだ器具だけを使用するよう推奨している。

さらに、救急医療システムの一環として気管挿管を行うものの挿管施行回数、成功率、問題点について記録を残すよう推奨している¹⁾。

救急現場、特に病院前救護での心肺蘇生においては、気管挿管は決して必須の救命処置ではないことを十分に認識しておかなければならない(表 5-9)。

(2)気管チューブ留置中の合併症

チューブ固定の不備、チューブの位置異常、事故抜管、緊張性気胸、気管狭窄、チューブの閉塞、気管食道瘻、肺炎、気管支痙攣、経鼻挿管時の副鼻腔炎などが挙げられる。

これらのうち、特に事故抜管と緊張性気胸は速やかに対応しなければ致命的となる可能性がある。

事故抜管は気管チューブの固定や患者の鎮静が不十分な場合に起こりやすい。気管チューブの固定状態や固定の深さには常に細心の注意を払うとともに、患者の体動の程度に応じた適切な鎮静を行う必要がある。

緊張性気胸は心肺停止の原因となりうる。特に胸部外傷や中心静脈穿刺後などでは気管挿管直後に胸部聴診、気道内圧の上昇(バッグ・バルブの硬さ)、胸郭の動き、

頸静脈の怒張、気管の偏位、皮下気腫などに注意を払う必要がある。また、肺のコンプライアンスが低下している場合には、人工呼吸の陽圧によって緊張性気胸となることもある(圧外傷)(表 5-8)。

(3) 抜管後の合併症

抜管後の合併症としては喉頭痙攣、声帯麻痺・声帯浮腫・チューブ通過部の潰瘍形成(口唇～気管)、気管狭窄、胃内容物や異物の誤嚥、咽頭痛、喉頭肉芽腫などが挙げられる。

もっとも頻度が高いのは咽頭痛であり、程度の差はあるもののほとんどすべての症例で発生する。ただし、潰瘍や肉芽腫など器質的変化を伴わない場合には数日で症状の軽快がえられる。

稀ではあるが危険な合併症は両側の声帯麻痺、強度の声帯浮腫、気管狭窄である。いずれも気道閉塞を来す可能性がある・これらの合併症が起こる可能性がある場合には抜管前に十分な評価が必要である(表 5-8)。

5. 気管挿管困難症

(1) 気管挿管困難症とは

麻酔科医やその他の特別に訓練された医師であっても、マスク換気や気管挿管が困難な状態を difficult airway(ディフィカルト・エアウェイ)という。

一般的には、経験ある麻酔科医が通常の器具を使用して、3 回以上の試技あるいは実施に 10 分以上必要とする場合を気管挿管困難という(米国麻酔科学会による 2003 年の改訂では具体的試行回数や所要時間の記載は削除されている)¹²⁾¹³⁾。

喉頭展開自体、あるいは気管チューブの声門通過が困難な構造的、機械的な制限がその原因である。

気管挿管が困難な解剖学的要因としては短頸、猪頸、上顎切歯の突出、頸部・下顎の可動制限、妊娠後期などが挙げられる。

また、特異な顔貌を呈する各種の先天奇形症候群においても挿管困難を伴うことがある。

さらに後天的な解剖学的異常として、気道の腫瘍、頸部の腫瘍、頸部の血腫や腫脹、頭頸部への放射線治療、熱傷瘢痕拘縮、末端肥大症、高度肥満、気道感染症、睡眠時無呼吸症候群、気管狭窄症などが挙げられる(表 5-10、写真 5-11,5-12)。

(2) 気管挿管困難症の予測方法

① 解剖学的特長の把握

挿管困難を予測する上で、まず最初に外見から傷病者の解剖学的特長を観察する。著しい肥満(体重 110kg 以上)がある場合は、用手気道確保、喉頭展開ともに困難であ

ることが推測される¹⁴⁾。独特な顔貌、顔面外傷、突出した上顎歯、頸部の腫脹や瘢痕などは挿管困難を予測させる(表 5-11)。

②挿管困難を予測する上で必要な身体指標

開口の程度、下顎のサイズ、甲状軟骨の高さ、頸部の可動性は挿管困難を予測する上で重要な指標である¹⁴⁾¹⁵⁾。開口については、通常、成人では 3 横指の開口が可能である。開口制限が 4cm 以下である場合は喉頭展開が困難となる。下顎サイズの評価は下顎の先端から舌骨までの距離で推測され、3 横指以下の場合は挿管困難が予測される。甲状軟骨の高さは口腔底(舌骨)から上甲状切痕までの距離で推測され、2 横指以下では挿管困難が予測される。

また、下顎のサイズと甲状軟骨の高さを総合的に評価する指標として、下顎の先端から上甲状切痕までの距離があり、これが 6cm 以下の場合は挿管困難が予想される。頭頸部の可動域(屈曲から伸展までの角度)が 80 度以下では挿管困難が予測される。

簡単な予測式として“3 の法則”がある。“3 の法則”では、開口の程度、舌骨から下顎までの距離、そして胸骨上窩から甲状軟骨までの距離が 3 横指以下である場合は挿管困難が予測される(表 5-11、写真 5-13,5-14)。

③マランパティ(Mallampati)の分類¹⁶⁾

医療機関、特に麻酔科領域でもっとも頻用されている簡便な予測方法としてはマランパティの分類が挙げられる。これは最大開口時に観察可能な口腔、咽頭内構造のみえ方の度合いによって挿管困難を予測する方法である。ただし、この評価法では患者の協力が必要である(写真 5-13)。

これらの予測法の多くは基本的には医療機関における手術時の全身麻酔を前提としたものであり、救急領域での気管挿管に際してすべて適応できるとは限らない。頸椎損傷が疑われる場合、頸部の可動制限、開口制限、上顎の突出、高度の肥満など外見上明らかに挿管困難が疑われる場合には、たとえ気管挿管の適応であったとしても気管挿管あるいはその試行に固執せず、ラリングアルマスクなどの代替気道確保法やバッグ・バルブ・マスクによる換気の継続を選択すべきである。

(3)気管挿管困難症への対処方法

気管挿管困難症に遭遇した場合、むやみに喉頭展開や挿管操作を繰り返してはならない。喉頭展開や挿管操作を繰り返すことにより喉頭周囲の浮腫や出血を生じる危険性が高くなり、結果的に更に気道確保が困難となる可能性がある(写真 5-11、5-12)。

初回の喉頭展開により声門を直視できなかった場合には、再試行の前に以下の項目について確認を行う(表 5-12)。

- ①正しいスニッフingポジションはとれているか？
- ②正しく開口操作ができていますか？

- ③セリック法の力の強さ・方向は正しいか？
- ④喉頭鏡操作は正しいか？(力の強さ・力を加える方向、ブレード挿入の深さなど)
- ⑤舌は正しくよけられているか？
- ⑥喉頭鏡のブレード、気管チューブのサイズは適当か？

スニッフイングポジション

最近のMRIを用いた検討ではスニッフイングポジションにより必ずしも口腔軸、咽頭軸、喉頭軸が一直線に近づかないことが示された¹⁷⁾。しかしながら、同様の検討で頭頸部の可動制限がある場合や肥満患者ではCormackグレードが改善したことが示されており¹⁸⁾、適切な枕を使用して正しいスニッフイングポジションをとることが重要である。

セリック法

一方、誤嚥防止のために推奨されているセリック法に関する報告では、加える力が強すぎる場合(4.5kg 相当)、頭側方向へ圧排した場合、患者が女性の場合に気道閉塞が生じやすくなることが示されている¹⁹⁾²⁰⁾。セリック法を併用する際には加える力の強さと方向に注意が必要である。また、声門が直視可能であるにもかかわらず、セリック法により気管チューブの声門通過が困難となることもあるので注意が必要である。

MRIによる検討ではセリック法により食道や気管が正中より偏位するとの報告があり²¹⁾、誤嚥防止の効果についても疑問視する意見もある。

研修医の気管挿管初期実習においてもっとも陥りやすいミスは、開口の不足と舌の圧排不足である。非熟練者においては基本的な手技の不履行によって結果的に挿管困難となる可能性が高い。実際に気管挿管を施行する際、特に挿管困難に遭遇した場合には、自らの手技について冷静に分析する姿勢が重要である。指導のポイント⑤

BURP 法

上記の基本的な手技に関する問題が解決され、正しい喉頭展開操作にもかかわらず声門部の視野が不良である場合に試みるべき対処法としてはBURP法(Backward, Upward and Rightward Pressure)がある^{22) 23)}(写真5-15,5-16)。これは喉頭展開時に甲状軟骨を背側(Backward)、頭側(Upward)、右側へ(Rightward)圧迫することにより、声門部の視野の改善をえようとする手技である(写真5-17)。

一般的には、気管挿管施行者が喉頭展開しつつ介助者に圧迫の方向を指示する。圧迫のしかたによっては逆に視野が損なわれる可能性があるため注意が必要である。

(4)医療機関における挿管困難の対処法

医療機関において挿管困難に遭遇した場合には、気管支ファイバーや気管挿管用

ラリングアルマスクなど特殊な器具を使用した気管挿管法が選択される(写真 5-18、5-19)。

米国麻酔科学会(ASA)では気管挿管困難を含むディフィカルト・エアウェイへの対処法をアルゴリズムにより示しているが、予期せぬ気管挿管困難でマスク換気も気管挿管もできない状況(cannot ventilate, cannot intubate: CVCI)においてはラリングアルマスクやコンビチューブなどの気道確保器具が果たす役割は大きい²⁴⁾。これらの代替器具によっても換気が困難な場合には輪状甲状靭帯切開などの外科的気道確保法が選択される(写真 5-20)。

また、全身麻酔に際して、マスク換気も気管挿管もできない状況(CVCI)があらかじめ予想される場合には、意識下気管挿管が行われることがある。意識下に気管挿管する際には、喉頭鏡を使用する場合と気管支ファイバーを使用する場合、経口挿管と経鼻挿管、あるいはラリングアルマスクを使用する場合など、いくつかの選択肢があり、状況に応じて適切な方法を選択している。

意識下では経口挿管よりも経鼻挿管の方が患者の苦痛が少ないといわれているが、経鼻挿管では鼻出血や副鼻腔炎などの合併症の可能性が高く注意が必要である。かつては開口障害や頸椎損傷を伴う救急患者に対して盲目的経鼻挿管が行われてきたが、現在ではそのような患者に対しても筋弛緩薬を使用した急速挿管(rapid sequence intubation: RSI)が主流となっている。

一方、選択肢が限定されている救急救命士にとっては、ラリングアルマスクやコンビチューブの手技習得が気管挿管の習得にもまして重要であることを再認識しなければならない(写真 5-21)。指導のポイント⑥

6.気管挿管プロトコールと気管挿管法

1.はじめに

救急救命士による気管挿管は医師が病院内で行う気管挿管と異なり、厳格に適応が遵守されなければならない。この気管挿管の正しい適応を遵守して実施するためのプロトコールは、平成14年度厚生労働科学研究報告書(以下、研究班報告書)の中にある「気管挿管の業務プロトコール」に基づいて決められている。

しかし、実際に気管挿管の実施においては、このプロトコールを参考にしつつ地域メディカルコントロール(以下、MC)協議会で十分討議され、その地域におけるプロトコールを作成しなければならない。気管挿管プロトコールは気管挿管の手順のすべてを表しており、救急救命士はプロトコールに習熟した上で運用されたい。

本章では、MC協議会の議論の原案となるべきプロトコールを提示し、個々の手技の解説と円滑な気管挿管実習のために知るべき基礎を示す。

2.気管挿管プロトコールの実施内容

気管挿管のプロトコールを実施するに際しては、感染防御と現場の安全確保、CPRの着手と異物除去、気管挿管の適応の確認、指示要請と家族への説明のあり方、気管挿管の準備、開口操作と喉頭展開、気管チューブの挿入手技、気管チューブの位置の確認(一次確認・二次確認)、気管挿管による合併症、気管チューブの固定、患者の搬送などの手順に沿って行われる(表6-2、図6-1)。

以下にこの内容に沿ってプロトコールを解説する。

(1)感染防御と現場の安全確保

気管挿管を実施するにあたり、手技の確実性と救助者の安全性の二つは必ず確保されなければならない。

まず、気管挿管に限らずいかなる活動においても、自らの感染防御(スタンダードプレコー

ション)を実施し、汚染の拡大防止に努めるべきである。

また、気管挿管を実施することによって、気管内から汚染された痰や血液がチューブから噴出し、目や粘膜に入る可能性が極めて高い。これによりB型肝炎やC型肝炎のウイルス感染の危険が増す可能性があるため、必ずアイプロテクションゴーグル(グラス)を着用すべきである(写真6-1)。

次に、気管挿管を実施する現場は活動障害が存在しない広い場所を選択すべきである。当然、傷病者の救命を念頭に置きつつも、救助者自身の安全確保が第一優先事項であるべきである。

また、気管挿管という大変デリケートな処置を実施するためには、活動に十分な広さと安全を兼ね備えたスペースを確保していなければならない。指導のポイント①、②

(2) CPR の着手と異物除去

救助者の感染防御や現場の安全が確保されたら、傷病者に接近する。心肺停止傷病者に対する通常の活動を展開しながら、まず ABC の確認が実施される。気道確保、呼吸の確認の後、バッグ・バルブ・マスク換気 2 回と人工呼吸の後、循環が確認されなければ、胸骨圧迫心臓マッサージによる CPR の実施が行われる。さらに、包括的除細動の下に活動を行っている地域では、自動対外式除細動器による解析が除細動プロトコールに則ってなされる。

バッグ・バルブ・マスク換気の際に、気道抵抗を感じる場合は、再気道確保を行う。これで改善できない場合には異物除去を試みる。口腔内の観察、口腔内吸引、マギール鉗子による咽頭・喉頭の異物除去の後、再気道確保による換気の確認、用手的人工呼吸、再度心停止の確認、CPR を行う(図 6-2)。

換気の改善がえられたら、この段階で初めて、気管挿管を実施しなければ予後が改善できないと判断される場合にのみ、気管挿管を実施するため家族への説明や MC 医への説明を実施する。異物除去法のポイントを表 6-3 に示す。

(3) 気管挿管の適応と判断

救急救命士がプレホスピタルの現場で気管挿管を実施できるのは、すべての心肺停止症例が対象ではない。心肺停止状態(心臓及び呼吸停止)に加え、窒息や種々の傷病において気管挿管以外では患者予後を改善しえないと考えられ、以下の条件を満たした場合のみに MC 医から許可されるものが対象である(表 6-4)。したがって、その前提条件に、まず適正な MC 体制が構築されていなければならない。指導のポイント③、④

具体的に救急救命士による気管挿管を実施する医学的な要件として、下記の二つの病態が挙げられている。

- ① 異物による窒息の院外心肺停止(異物とは気道を閉塞しうるすべての物質を示し、これには固体異物、液体異物(痰や血液もこれに含まれる)、半固体異物などいかなる状態であることを問わない)であり、気管挿管が予後の改善をはかれると考えられるもの。
- ② 傷病の状況から気管挿管以外では患者の予後を改善しえないと指導医が判断した院外心肺停止事例。

たとえば、搬送時間が長時間かかると予想されるものや、気管支喘息などによる心肺停止で、気道内圧が高く他の気道確保法では有効換気が維持できないと予測されるもの、同様の理由で溺水により気管内に水が入り換気ができないもの、嘔吐による気道の閉塞が予想されそうなもの。

さらに、研究班報告書では、脳血管障害、心筋梗塞、重症不整脈、目撃者のいない心肺停止(入浴中、絞頸などの場合)に関しても気管挿管を実施しても予後を改善することが期待できない病態としている。

また、後述するように、頸椎の伸展性が不良なもの、開口困難なもの、喉頭鏡の挿入ができないもの、声帯の確認ができないもの、気管チューブの挿入ができないものなどは手技実施をする直前又は指示要請後に気管挿管プロトコールを実施してから、実施困難例として気管挿管を中止する基準となる。

これ以外にも救急救命士が適当でないと考えられる傷病者も施行すべきでない(表 6-5)。

(4)指示要請と家族への説明のあり方

気管挿管の適応に合致し、医学的に気管挿管が必要な場合には、まず医師への指示要請を行い、さらに家族への説明と同意をえることが必要である。

①指示要請

医師への指示要請については、他の特定行為と通信要綱などには別段変わるところはないものの、前述した気管挿管の適応と判断するにいたった根拠や状況について、指導医師に分かりやすく、簡潔に述べることに努める。

たとえば、「救急救命士 OO です。〇〇歳の男性、自宅居室にて餅を詰ませ窒息による心肺停止状態です。現在異物は除去し CPR 継続中です。既往症にあつては高血圧で現在〇〇クリニックに通院中です。気管挿管によってしか症状の改善がはかれないと思われまます。いかがでしょうか？」のようにあるべきである。

あるいは、浴室の水や気管支喘息の重責発作で気道内圧が高いことが予測される場合には、その病態が持続しており気道内圧が高い人、(バッグ・バルブ・マスクが重く)胃膨満が出現する場合もまた気管挿管でなければ「予後が改善できない病態」という適応にあてはまるし、搬送時間が 30 分以上かかるような場合で、気管挿管が従来の気道確保法よりも確実な換気が長時間維持できることから、このような理由を指示要請内容につけ加えてもよい。指導のポイント⑤

いずれにしても、気管挿管の適応が明確に医師に伝達できないような指示要請のしかたは避けるべきである。

②家族への説明

家族への説明のしかたを以下に示す。救急救命士は、以下に述べる原則を理解して説明にあたる必要がある(写真 6-3)。

救急救命士が気管挿管などの特定行為を行う対象は心肺停止傷病者であるから、基本的にインフォームドコンセントは成立しない。なぜなら、インフォームドコンセントとは、「本人に実施する処置や治療の選択肢について説明し、理解の下に同意をえる」