第 17 回日本臨床麻酔学会総会

片肺換気と低酸素性肺血管収縮

石部裕一* 山崎和雅* 上田敬一郎*

上田真由美* 広沢寿一* 堀 真也*

要旨 わが国で平成 8 年から 9 年にかけての 1 年間に、胸部外科手術の 68% に片肺換気 (OLV) が施行され、必須のテクニックとなった。肺分離には 72% で左用ダブルルーメンチューブ (DLT) が使用されている。正確な DLT の位置決めが最も重要で、気管支ファイバースコープは必須である。OLV 中のチューブ位置ずれによる換気不全が最も多い合併症で、気管損傷、肺水腫など重篤なものも発生する。OLV 中の肺膨張の必要性についてはさらに虚血-再灌流肺傷害の観点から検討する必要がある。吸入麻酔薬や血管拡張剤は本質的には HPV を抑制し、OLV 中の低酸素血症の原因となるが、種々の拮抗作用が働くため、低濃度ならば臨床的に問題はない。OLV は安全域の狭い麻酔管理法であるので肺生理学と臨床手技を修得し、個々の症例について危険性と利便性を検討のうえ慎重に実施すべきである。

キーワード：片肺換気、低酸素性肺血管収縮、低酸素

I はじめに

胸腔鏡手術の導入に伴い分離肺換気の適応は拡大され、片肺換気 (OLV) といわれる換気法が胸部外科麻酔の必須のテクニックとなってきた。片肺換気麻酔はすでに確立されたテクニックではあるが¹⁾、必ずしも安全な麻酔法とはいえず、解決されねばならない問題点が残されている。そこで本稿ではまずアンケート調査により明らかとなったわが国での OLV の実態と、OLV 実施上の技術的な問題について検討し、次に OLV 中の酸素化能の維持に重要な意義をもつ低酸素性肺血管収縮 (HPV) との関わりについて解説を加える。

II OLV の実施状況

わが国の麻酔指導病院 397 施設に対するアンケート調査結果によると、年間 88 万件の手術が行なわれ、そのうち約 3 万例が胸部外科手術で、その 68% は OLV で施行されており、胸部外科麻酔法として必須のテクニックといってもよい (図 1)。

III OLV の適応

絶対適応は健側肺を汚染や感染から保護する目的のほかは、表 1 に示すように一部の症例に限られており、術野の露出を目的とするものは相対的適応である。また呼吸生理学の知識に裏づけされた確実なテクニックを修得のうえで実施して、初めて安全性が保障される。したがって個々の症例について、危険性と利便性を総合的に判断して適応を決めねばならない。

図1 胸部外科手術の片肺換気 (OLV) 麻酔普及率
肺手術(88%), 胸部食道手術(77%) で高い普及率を示す。

IV 肺分離の方法

肺分離には、18%で気管支ブロッカーが使用されている以外はダブルルーメンチューブ (DLT) が用いられ、左用が合計72%と最も多く、右用は7%あまりにすぎない。

肺分離は1932年GayleとWatersがシングルルーメンチューブを気管支内へ押し進めて気管支内チューブとした方法に遡る。この方法は小児麻酔領域で適当なサイズのDLTが入手できない場合や手術中に緊急にOLVが必要になった場合に応用される。気管支ブロッカーを使用する方法はMagill²⁾, Crafoord³⁾により肺結核の手術のために考案された。DLT挿入が不可能な症例や患者の体格に合う適当なサイズのDLTが入手できない場合に使用される。また左肺切除術で、右用DLTの適正な挿入が不可能な場合にも適応がある。気管内挿管チューブとブロッカーが一体となったユニベントチューブ[®]は使用法が容易で応用範囲が広がったが、ブロッカーを希望の位置に挿入するには気管支ファイバースコープ (BFS) による誘導が必要な場合が多い。なお太い径のBFSが挿入できる利点がある。

DLTは1949年Carlens⁴⁾によって左用のゴム製

表1 片肺換気の適応

絶対適応

1. 一側肺が他側肺からの分泌物が流入したり汚染されることを避けるため
感染
大量出血
2. 換気の分布をコントロールするため
気管支胸膜瘻
気管支胸膜癒着皮膚瘻
気管気管支断裂
巨大片側性肺気腫
3. 片側性気管肺洗滌施行時
肺胞蛋白症

相対適応

1. 術野の露出のため-高い優先順位
胸部大動脈瘤
肺切除術
上肺葉切除術
胸腔鏡
2. 術野の露出のため-低い優先順位
食道摘出術
中・下肺葉切除術、亜区域切除術
3. 完全閉塞型肺塞栓の除去術時

[文献1)より引用]

のカリーナフック付きが、White⁵⁾により右気管支用の側孔付きが開発されたが、チューブの声門通過に難点があった。Robertshaw⁶⁾はフックを取り除きこれを改良したが、現在はほとんど使い捨てのPVC製に置き換わった。フックのないDLTは挿入が簡単、左右いずれの肺でも換気と虚脱ができBFSの挿入も可能で、CPAPやPEEPが応用できるので、気管支ブロッカーより利点が多い。

左右いずれのDLTを選択するかについて三つの考え方がある。①常に手術側の気管支に挿入する方法は、気管支チューブによる上葉の換気不全を回避できる。開胸時に上葉の換気状態を視認でき、術者がチューブを正しい位置に誘導することも可能である。欠点は手術操作による位置ずれである。②常に換気側の気管支に挿入する方法は、手術操作によるチューブの位置ずれを回避できる。縦隔の重量による下側肺の気管支の閉塞を防ぐことができるのも利点の一つである。しかし右上葉気管支孔は閉塞され下側肺の換気不全を起こしやすい。③禁忌がないかぎり左気管支に挿入する方法を選択する理由は、左用は上葉気管支孔を塞ぐ危険性が少ないからである。左主気管支に手術操作が及ぶときにはチューブを気管内まで引き抜いて、気管チューブとして使用すればよい。したがってこの方法を選択する場合に

は、右用 DLT を使用する絶対適応は左にチューブが入らない場合に限られる。しかし胸部大動脈瘤では左主気管支の偏位を起こしている場合があり、盲目的に左気管支に挿入すると瘤の破裂を起こす危険性があるから相対適応となる。この場合には BFS ガイドでの挿入が勧められる。

V 肺分離の実際

DLT あるいは気管支ブロッカーの正確な挿入と positioning (位置決め) が OLV の成功の鍵を握る。82%の施設で聴診と BFS によって DLT の位置決めを行なっている。チューブ位置の確認に BFS の有用性は論を待たないが、聴診による位置決めは重要な基本手技である。多少操作が煩雑になるが、BFS ガイド下に気管支内へ進める方法が最も安全で確実である。著者らは X 線透視下に挿管し、体位変換後に BFS で位置の確認を行なっている。この方法は 5%の施設で行なわれているが、安全で挿管時間の短縮に有用である。

VI OLV 中の低酸素血症

OLV 中の低酸素血症の対処法として、非換気側肺 (NDL) を一時的に換気する方法が過半数を超え、NDL に CPAP 17%、NDL に酸素投与、あるいは HFJV と続き、換気側肺 (DL) に PEEP を付加する方法は 7%であった。高い PEEP は DL のバロトラウマを起こす危険性があるだけでなく、血流を NDL へ再シフトさせるため期待どおりの効果が得られない場合があるからであろう。OLV 中に実測した intrinsic PEEP と等しい値が best PEEP にきわめて近いものであると報告されている⁷⁾。

VII DLT の位置ずれ

体位変換時に約 1 cm のチューブの抜けが最も多く起こるといわれる⁸⁾。頸部が後屈気味になりチューブが抜けるので、頸を固定保持して体位変換し、その後に必ず BFS でチューブ位置を確認し固定すると

図2 低酸素血症以外の合併症発生件数

合併症発生の報告があった施設数を示す。施設数 397 を母数として平均すると、46%の施設でなんらかの合併症を経験していることになる。

よい。著者らは下顎先端と胸骨切痕にマークを付け、その長さを測定しておき、体位変換後の頸部の角度を修正するときの目安にしている。OLV 中にチューブトラブルが生じた場合には BFS による観察が重要である。

VIII 合併症の種類と頻度

低酸素血症以外の合併症ではさまざまなものが報告されている (図2)。手術による修復が必要な気管・気管支損傷、肺水腫や気道出血など重篤なものも経験されている。施設数を母数にして合併症の発生率を算出すると 46%の施設でなんらかの合併症を経験していることになり、OLV には大きなリスクが潜在していることがわかる。

IX 虚脱肺の膨張

虚脱肺の膨張のタイミングについては、大きく意見が分かれた。定期的に肺膨張するものが 28%で、これに 30 分以内なら膨張させないを加えると 31%になる。これに対してリークテストをする段階までは膨張させないが 41%である。外科医の要請により膨張させるが 19%で、低酸素がないかぎり OLV 中は肺の膨張は行なわないとする考えが過半数を超えている。しかし長時間の肺虚脱は安全であろうか。

図3 手術当日の輸液バランスと術後酸素化指数との間には弱いながらも有意な負の相関関係を認めた

X Postpneumectomy pulmonary edema (PPE)

Pneumectomy後に起こる肺傷害をpostpneumectomy pulmonary edema (PPE)といい、発生率は4%前後⁹⁾と低いが、死亡率が80%⁹⁾を超える重要な疾患として注目されている。その病理所見は肺毛細血管ユニットのびまん性の傷害による肺胞毛細血管の透過性亢進で特徴づけられる疾患である。肺血管内皮傷害はNOなどの内皮由来性血管作動物質の分泌に影響を与え、とりわけHPVの消失など肺循環調節に大きな傷害をもたらす。HPVの傷害は肺内シャントの増大と低酸素症の発現に拍車をかける。PPEはこのALIの重症型すなわちARDSと組織学的には同一のカテゴリーに入る類似の病態¹⁰⁾と考えられている。臨床的にはPPEは人工心肺を用いる手術にみられる肺傷害と最も類似しており、その病態生理は肺切除後の病態生理、すなわち肺の虚脱とそれに引き続く再膨張、言い換えれば虚血とそれに引き続く再灌流というアタックが肺に加わることによる病態といえる。したがってOLVにより肺切除を受ける患者はすべて程度の差こそあれ、急性肺傷害を発症する危険性ははらんでいる。さらに残存肺に過膨張が起こると病変は増強される。PPEの病態生理はまだよく解明されてい

ないが、種々の因子の関与が想定される^{10)~12)}。肺血管床の減少、輸液の過量による肺毛細血管圧の上昇、血管内皮傷害による透過性の亢進による肺間質への水分移行の増加、それに加えてリンパドレナージの減少による水分移動のバランスの崩れなどが肺間質水腫の発生に関与するが、血管透過性の亢進が最も大きな比重を占めるようである¹³⁾。したがってその主原因としてのキーワードは虚血-再灌流肺傷害である。

XI 輸液管理と術後肺機能

PPEの発生に手術日の水分のプラスバランスが関係するという報告がある¹¹⁾。そこで当院でOLVで行なった肺の手術症例73例について、OLV中の輸液管理と術後肺機能の関係を検討した。

OLV中の肺膨張の回数と術後の酸素化指数、OLV時間とOLV中の最低PaO₂、術後4日間の最低酸素化指数との間にはいずれも相関は認めなかった。手術中の輸液バランスと手術中の最低PaO₂値とは関連を認めなかったが、術後4日間で最も低い酸素化指数とは弱いながらも有意な負の相関関係を認めた(図3)。したがって術中の輸液バランスが術後酸素化能になんらかの影響を及ぼしている可能性が示唆された。

XII モニター

OLV のモニターには SpO_2 と ETCO_2 のほかに、肺コンプライアンスモニターが有用である。OLV 中の TV は 10 ml/kg と記載されているが¹⁾、気道内圧上昇はバロトラウマにより術後肺機能障害を助長する。肺コンプライアンス低下症例では、気道内圧の上昇に対して、呼吸数を増やし、TV を下げ、flow を下げ I:E 比を大きく保って管理せねばならない。このような症例では ETCO_2 の表示は PaCO_2 との較差が大きくなるばかりでなく、 PaCO_2 と逆の動きをする場合があり、パラトレンド[®]が有用である。しかし肺コンプライアンスが低下した場合にはまずバッグの手揉み換気を行ない、肺のコンプライアンスを手で直接感じモニターすることが重要であろう。OLV 中は両肺換気とは異なり安全域の狭い条件下にあることを認識して、モニターと術野の監視を怠ってはならない。また気管支粘膜損傷を防ぐためには、気管支ブロッカーあるいは気管支カフ圧のモニターも重要である。

XIII 麻酔法の選択

吸入麻酔との併用が 50%、プロポフォールとの併用が 28%、NLA や mNLA との併用が 6% で、実に 3/4 に硬膜外麻酔が併用されている。麻酔法の選択理由には、術後鎮痛目的に硬膜外麻酔を併用するものが多く、低酸素性肺血管収縮 (HPV) 抑制を嫌って吸入麻酔を避けるという意見もあった。そこで、HPV と OLV の関係を著者らのデータも含めて考察してみたい。なお HPV に関する詳細は他誌の総説を参考にしてほしい^{14)~16)}。

XIV HPV のセンサー

HPV 反応は肺胞の酸素分圧と混合静脈圧の酸素分圧に反応して起こる¹⁷⁾。低酸素刺激 (PsO_2) の強さには、 $\text{PsO}_2 = (\text{PAO}_2)^{0.62} \times (\text{P}\bar{\text{VO}}_2)^{0.38}$ 、で示されるように、肺胞側から約 6 割、血液側から約 4 割が関与する。したがって混合静脈からの刺激の占める

図4 肺循環の圧流量関係ならびに低酸素が負荷される肺のサイズと (Q_{sh}) との関係

左図の左のカーブは HPV が完全作動状態、右は抑制状態を表す。中心から扇状にでている線は低酸素に暴露される肺の大きさを表わし、仮に 100% の肺が低酸素になると、圧変化は約 2 倍になるが、血流シフトは起こらない。一方、10% ほどの肺が低酸素に暴露されると血流はほぼ 20% までに減少し、圧変化はほとんど起こらないことを示している。〔文献 18) より引用〕

割合を無視することができない。そのため例えば心拍出量が低下すると $\text{P}\bar{\text{VO}}_2$ が低下するので HPV が増強するという現象がみられる。

一方、高度の全身の低酸素血症が起こると HPV 反応が抑制される場合がある。低酸素により $\text{P}\bar{\text{VO}}_2$ が低下し、そのため肺胞からの酸素摂取が増加し PAO_2 は急激に低下し、 PAO_2 と $\text{P}\bar{\text{VO}}_2$ の両方から強い刺激を受けてあらかじめ正常であった肺胞に HPV が起こる。するとそれまで低酸素あるいは無気肺であった肺に血流が再々分布するようになり、その結果、もとの HPV が抑制されてしまう。もう一つのメカニズムは高度の低酸素のために、低酸素のセンサーが麻痺し、血管拡張が起こるために生じる現象で、 PaO_2 が $45 \sim 60 \text{ mmHg}$ 以下、 $\text{P}\bar{\text{VO}}_2$ が $30 \sim 32 \text{ mmHg}$ 以下になると生じるとされている。

XV HPV の生理的意義

HPV の強さを血流シフト量とそれに伴う灌流圧の上昇によって示すと図 4 のようになり¹⁸⁾、低酸素に暴露される肺の大きさにより灌流圧への影響に差

図5 低酸素が負荷される肺のサイズとの PaO_2 の関係
 $FiO_2=1.0$ で約40%の肺が低酸素になると HPV が有効に作用した場合、 PaO_2 は 680 mmHg から 380 mmHg まで低下するのに対し、HPV の発現がないと 80 mmHg くらいまで低下してしまう。〔文献 19) より引用〕

がでる。低酸素に暴露される肺が大きいと圧変化が大きくなり、小さいと血流変化が大きくなる¹⁸⁾。HPV の PaO_2 への影響は図 5 で示され¹⁹⁾、低酸素が負荷される肺のサイズによって PaO_2 への関与の程度に差がでる。実際にヒトで側臥位で OLV にした場合には、約 15 分ほどかけて、 PaO_2 は左側臥位では 150 mmHg まで、仰臥位では 60 mmHg まで低下する（私信 久留米大学麻酔科渡邊先生）。側臥位では HPV に加えて重力による血流再分布が加わり、酸素化維持に有利に働くことが理解される。

XVI 吸入麻酔の HPV への影響

これまで動物実験では吸入麻酔薬による強い HPV 反応の抑制が報告されている。例えば家兔の摘出灌流肺標本では、イソフルラン、セボフルランは 1MAC で HPV を 50% 抑制する²⁰⁾。イヌの *in vivo* 実験では吸入麻酔薬は HPV 抑制を用量依存性に抑制し（図 6）、1MAC のイソフルランは HPV を 21% 抑制する²¹⁾。これは側臥位の開胸側の血流を 4% 増やし 24% にするのに相当し、 $FiO_2=1.0$ では PaO_2 は約 280 から 180 mmHg まで低下することになると試算されている²²⁾。ところが臨床で

図6 イヌの左肺を低酸素ガスで換気し HPV を誘発し、イソフルラン吸入の影響を調べた実験結果
 吸入濃度依存性に HPV 反応を抑制した。

図7 肺切除術で片肺換気 (OLV) 中の酸素化指数 (PaO_2 , Q_s/Q_t) を、硬膜外麻酔を併用したプロポフォール麻酔 (Prop+Ep) とセボフルラン麻酔 (Sev+Ep) で比較した結果

両麻酔法の OLV 中に有意な差を認めず、酸素化指数の低下の程度から HPV 反応の強い抑制はないものと思われた。TLV: two lung ventilation, OLV: one lung ventilation

肺切除術の OLV 中に 1MAC のセボフルラン麻酔とプロポフォール麻酔（いずれも胸部硬膜外麻酔と併用）の酸素化指標を比較すると（図 7）、両者には有意な差を認めず、両麻酔法とも HPV をほとんど抑制しなかった（上田ら、未発表データ）。この差は種差であろうか実験方法の差であろうか。

著者らはこの点についてイヌの *in situ* の標本を

図8 HPV誘発法（無酸素ガス換気法 vs 無気肺法）ならびに麻酔ガス吸入法（HPV発現側肺 vs 他側肺）の相違による吸入麻酔薬のHPV抑制効果を比較した実験結果

A: hypoxic gas ventilation で示すように、下葉肺血管に無酸素ガスで換気して HPV を誘発した場合は、圧-流量曲線は右下へ傾き、肺血管のコンプライアンスが低下したことを示す。そこへイソフルランを吸入すると、用量依存性に HPV の強い抑制を認め 2 MAC では約 70% 抑制される。B: atelectasis の無気肺による低酸素負荷の場合は、イソフルランは下葉以外の肺へ吸入することになるので、約 40% の抑制が認められるにすぎない。下葉肺血流量の減少率や PaO_2 の低下率から評価すると、無酸素法で誘発した HPV では 2 MAC で 16% 抑制するのみであった。これに対して無気肺法での HPV では有意な変化が認められなかった。無気肺法では、イソフルランの抑制効果は血液側からしか作用しないために、このような効果の差によって現われてくると考えられる。〔文献 23〕より引用]

用いて検討した²³⁾。図 8 に示すように HPV の誘発法と吸入麻酔薬の投与方法によって麻酔薬の HPV 抑制作用の評価に大きな差がでることが明らかとなった。さらに実際には麻酔薬吸入により心拍出量の低下や PvO_2 の低下が起り HPV 抑制に拮抗する場合もあるし、種差も無視できない。しかし最も大きい実験モデルとの差は麻酔薬が無気肺の肺に吸入されないことである。動物実験データは慎重に解釈する必要がある。

XVII 胸部硬膜外麻酔

胸部硬膜外麻酔は、図 9 のように、HPV 時の肺血管コンプライアンスに影響を与えなかった²⁴⁾。しかし心拍出量と PvO_2 の低下によって逆に血流シフトは増えるという現象、言い換えれば二次的な

HPV の増強が認められた。

XVIII 血管作動薬

血圧を変化させない量の PGE_1 は HPV 時の肺血管コンプライアンスを変化させないが²⁴⁾、血圧を約 30% 下げる量まで増量すると HPV が抑制される。したがって HPV 抑制という観点からは、 PGE_1 は肺血管への選択的作用はない。もちろんイヌとヒトでは PGE_1 の肺での代謝率に差があるのでデータの解釈は慎重でなければならない。 PGI_2 ²⁵⁾ と ニカルジピン²⁶⁾ も HPV に対してほぼ同様の作用を示す。

XIX まとめ

アンケート結果から麻酔指導医が指摘した OLV 施行時の留意点をまとめてみると次のようになる。

図9 胸部硬膜外麻酔 (TEA) を行なってから反復して低酸素刺激を加えたときの
下葉肺の圧流量曲線

対照群(A)に対する低酸素刺激 (Hypoxia) で圧流量曲線は右下へ偏位するが、反復刺激でその傾きは影響を受けなかった。TEA 施行下(B)では、反復刺激により高酸素時 (Hyperoxia) の圧流量曲線が左に偏位したが、低酸素刺激時 (Hypoxia) の圧流量曲線の傾きには変化を及ぼさなかった。これは TEA は HPV には直接影響を与えないことを示す所見である。〔文献 24〕より引用〕

1. BFS 操作に習熟し、頻回にチューブの適性位置を確認する。
2. SpO_2 , $ETCO_2$ に加えて肺コンプライアンスをモニターする。
3. 気管支チューブのカフ圧に留意する。
4. 術野をよく観察し、術者との連携を密にする。
5. バッグの手揉み感覚を覚える。
6. 原因不明の換気不全時には気管支カフの空気を抜く。

7. 手技をマスターしたものが適応を選んで行なう。

OLV をさらに安全な麻酔法として確立するためには、臨床、基礎両面にわたる研究が必要である。今後の研究課題としては、次のようなものが考えられる。

1. DLT の安全で確実な挿入法と位置ずれ防止法を工夫する。
2. よりよい DLT (特に使いやすい右用 DLT) を開発する。
3. 麻酔薬の HPV への作用について臨床的な観点からデータを見直す。
4. 虚血-再灌流肺傷害という観点から OLV を見直す。

5. HPV の機序を解明し、麻酔との関係を明らかにする。

参考文献

- 1) Benumof JL, Alfery DD : Anesthesia for Thoracic Surgery. ANESTHESIA 2nd edition, Volume 2, Edited by Miller RD, Churchill Livingstone, New York, 1986, 1371~1462
- 2) Magill IW : Anaesthetics in thoracic surgery with special reference to lobectomy. Br J Anesth 13 : 92~109, 1936
- 3) Crafoord C : On the technique of pneumonectomy in man. Acta Chir Scand 81(Suppl.) 54 : 1~142, 1938
- 4) Carlens E : A new flexible double-lumen catheter for bronchspirometry. J Thorac Surg 18 : 742~746, 1949
- 5) White GMJ : A new double lumen tube. Br J Anaesth 32 : 232~234, 1960
- 6) Robertshaw FL : Low resistance double-lumen endobronchial tubes. Br J Anaesth 34 : 576~579, 1962
- 7) Inomata S, Nishikawa T, Saito S, et al. : "Best" PEEP during one-lung ventilation. Br J Anaesth 78 : 754~756, 1997
- 8) Taguchi H, Yamada K, Matsumoto H : Airway trouble related to the double-lumen endobronchial

- tube in thoracic surgery. *J Anesth* 11 : 173~178, 1997
- 9) Turnage WS, Lunn JJ : Postpneumonectomy pulmonary edema : A retrospective analysis of associated variables. *Chest* 103 : 1646~1650, 1993
 - 10) Williams EA, Evans TW, Goldstraw P : Acute lung injury following lung resection : is one lung anaesthesia to blame ? *Thorax* 51 : 114~116, 1996
 - 11) Slinger PD : Perioperative fluid management for thoracic surgery : The puzzle of postpneumonectomy pulmonary edema. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anaesthesia* 9 : 442~451, 1995
 - 12) Parquin F, Marchal M, Mehiri S, et al. : Postpneumonectomy pulmonary edema : analysis and risk factors. *Eur J Cardiothorac Surg* 10 : 929~933, 1996
 - 13) Waller DA, Keavey P, Woodfine L, et al. : Pulmonary endothelial permeability changes after major lung resection. *Ann Thorac Surg* 61 : 1435~1440, 1996
 - 14) Fishman AP : Hypoxia on the pulmonary circulation. *Circ Res* 38 : 221~231, 1976
 - 15) Voelkel NF : Mechanisms of hypoxic pulmonary circulation. How and where it acts. *Am Rev Respir Dis* 133 : 1186~1195, 1986
 - 16) 石部裕一 : 低酸素性肺血管収縮. *呼吸* 9 : 1430~1439, 1990
 - 17) Domino KB, Wetstein L, Glasser SA, et al. : Influence of mixed venous oxygen tension ($P\bar{V}O_2$) on blood flow to atelutthin lung. *Anesthesiology* 59 : 428~434, 1983
 - 18) Marshall BE, Marshall C : Anesthesia and the pulmonary circulation, *Clinical physiology series*, vol. 7, Effects of anesthesia. Edited by Cavino BG, Fozzard HA, Rehder K, Strichartz G, American physiological society, Bethesda, 1985, 121~136
 - 19) Marshall BE : Pulmonary blood flow and oxygenation, *Anesthesia for thoracic procedure*. Edited by Marshall BE, Longnecker DE, Fairly HB, Boston, Blackwell Scientific Publications, 1988, 74~118
 - 20) Ishibe Y, Gui X, Uno H, et al. : Effect of sevoflurane on hypoxic pulmonary vasoconstriction in the perfused rabbit lung. *Anesthesiology* 79 : 1348~1353, 1993
 - 21) Domino KB, Borowec L, Alexander CM, et al. : Influence of isoflurane on hypoxic pulmonary vasoconstriction in dogs. *Anesthesiology* 64 : 423~429, 1986
 - 22) Benumof JL : Isoflurane anesthesia and arterial oxygenation during one-lung anesthesia. *Anesthesiology* 64 : 419~422, 1986
 - 23) 宇野洋史, 石部裕一, 榎田高士ほか : イソフルレンの低酸素性肺血管収縮反応抑制作用の検討. *麻酔* 43 : 1288~1296, 1994
 - 24) Ishibe Y, Shiokawa Y, Umeda T, et al. : The effect of thoracic epidural anesthesia on hypoxic pulmonary vasoconstriction in dogs : An analysis of the pressure-flow curve. *Anesth Analg* 82 : 1049~1055, 1996
 - 25) 石部裕一, 中村正人, 榎田高士ほか : プロスタサイクリン (PGI_2) の低酸素性肺血管収縮反応への作用. *麻酔* 38 : 1619~1626, 1989
 - 26) 中村正人 : ニフェジピンの低酸素性肺血管収縮に対する影響についての実験的検討. *麻酔* 36 : 168~178, 1987

著者連絡先 石部裕一
〒683-8504 米子市西町 36-1
鳥取大学医学部麻酔・蘇生学教室