

空腸による食道再建術の基礎的研究 (組織酸素分圧の推移を中心として)

東京医科歯科大学第1外科

吉野 邦英

STUDIES ON ESOPHAGEAL RECONSTRUCTION BY JEJUNUM: CLINICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF TISSUE OXYGEN TENSION

Kunihide YOSHINO

First Department of Surgery, Tokyo Medical and Dental University, School of Medicine

食道癌切除後の食道再建に空腸を利用する方法として新しく試みた胸骨柄切除胸骨後経路による術式の安全性を、Clark型酸素カテーテル電極を使用して、組織酸素分圧(PtO₂)の測定によって血行面から検討した。成犬を用いた各種の基礎的モデル実験ならびに臨床的に吻合部の術後PtO₂の経時的追跡から、縫合不全の早期発見に資すること、およびその原因と対策を検討した。

索引用語：空腸による食道再建術，胸骨柄切除胸骨後経路，組織酸素分圧，Clark型酸素電極，Polarography

I. はじめに

食道癌切除は手術手技の向上と、術中ならびに術前後管理の進歩によって、その安全性が増大した。しかし、再建経路・再建に用いる臓器の選択などに関しては、未だ十分に基礎的検討が行われておらず、種々の方法が採用されている現状である。空腸による再建の可能性は、血行障害なく十分な長さの空腸脚を頸部まで挙上し、食道と吻合できるか否かにある。著者らは最も安全な経路として胸骨柄切除胸骨後経路を新しく開発し、その一部は既に毛受¹⁾、平出²⁾らが報告した。著者はClark型酸素カテーテル電極³⁾を用いて組織酸素分圧(以下PtO₂)を測定することにより、末梢循環動態を直接把握し、食道空腸吻合の安全性を血行面から検討した。

基礎実験として、雑種成犬を用いて臨床に準じて空腸脚を作成し、先端の色調変化部のPtO₂の推移、さらに後に図示するごとく空腸茎を作成し、腸間膜の牽引やうっ血の影響による推移などを観察した。

臨床例においては、空腸脚を作成して頸部挙上直後および24時間後のPtO₂の推移、さらに吻合部食道側と空腸側に酸素カテーテル電極を埋没することにより、術

後連続して経時的に測定し、縫合不全発生例と非発生例について比較検討した。これらの実験および臨床成績から、縫合不全の原因を血行面から追及し、早期発見、さらにその対策と予防への応用について言及した。

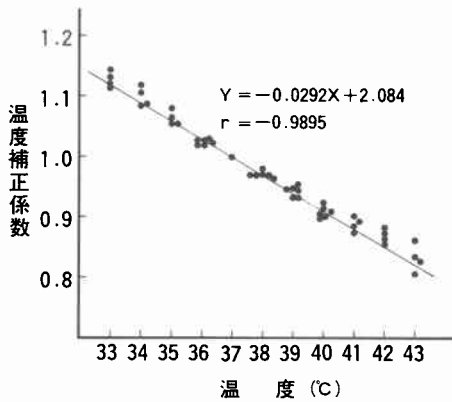
II. 動物実験

1) 研究対象ならびに測定方法

雑種成犬15頭(7~15kg)を用い、pentobarbital 15mg/kg, succinylcholine 2mg/kgを静注後、気管内挿管して、O₂ 2l/min, N₂O 2l/minでHarvard型respiratorにより調節呼吸を行った。調節呼吸は、一回換気量500ml、呼吸数15回/分であった。実験中、pentobarbital, succinylcholineを適宜追加して麻酔を維持した。右大腿動静脈にカテーテルを挿入し、動脈は血液ガス測定用に、静脈は持続点滴用に用いた。PtO₂の測定には、IBC社製UNIVERSAL IN-VIVOX, MODEL 660酸素カテーテル電極を用い、祐辰電子自動平衡型記録計CH-JGMV2で連続的に記録した。この酸素カテーテル電極は先端の電極部分は直径0.38mmであるので19Gの注射針を外套として容易に組織内に刺入することが可能で、目的とする位置に達したならば外套の注射針のみ抜去して、組織内

に留置し得る。酸素電極には Hydron 膜に覆われた金 (Au) が用いられており、不関電極には銀 (Ag/AgCl) が使用されている。すなわち、この酸素カテーテル電極は Au 表面での O₂ 還元反応を利用した Clark 型電極の一種であり、測定には polarography¹⁾ を応用したものである。37°Cの生食に約30分間、酸素カテーテル電極を接触させて、150mmHg で安定するのを確認した後、測定に使用した。この酸素カテーテル電極は温度変化に敏感で、測定値を37°Cに校正する必要がある。このため、温度変化と PtO₂ 値の関係を調べグラフにしたのが図1である。この温度補正係数に実測値をかけたものが真の PtO₂ で、以下の数値はすべて温度補正後の値である。

図1 酸素カテーテル電極の温度補正直線：生体で通常使用する範囲内では、ほぼ直線関係を示す。



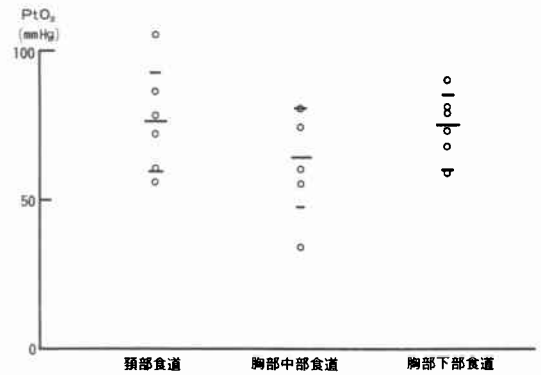
食道および空腸の PtO₂ 測定は、外膜または漿膜側より酸素カテーテル電極を刺入し、固有筋層内に留置して行った。不関電極は、測定部より50cm 以内の皮膚または皮下に固定した。酸素カテーテル電極の安定には、刺入後およそ15—20分を要するが、その後の応答時間は約30秒であり、PtO₂ の連続測定が可能である。また動脈血ガス測定には、IL-Meter 113型を用いた。

2) 実験方法ならびに成績

実験 I：食道各部の PtO₂

方法：第5または第6肋間で開胸し、縦隔胸膜を開き、食道を露出した。中部食道の測定は V. azygos を切離し、気管分岐部の高さで行った。頸部食道は、甲状腺の下方約3cm で測定し、下部食道は横隔膜の直上約3cmで行った。測定は、食道は露出されてはいるが食道外膜は剝離されておらず、食道周囲の血管は十分に温

図2 実験 I：食道各部の PtO₂



存されている状態を実施した。

成績：頸部は76.2±16.4 (平均±標準偏差, 以下同) mmHg, 胸部中部は64.0±16.5, 胸部下部は75.0±9.9であった。頸部と胸部下部に比して、胸部中部で低かった(図2)。

実験 II：食道遊離, 胸部食道下端切断後の各部の PtO₂

方法：胸腔内食道を周田組織より完全に遊離後、食道を横隔膜の直上で切断した。頸部食道は実験 I で測定した部分より3cm 上方まで剝離した。剝離完了後に、実験 I と同じ各部位で測定した。この時点で食道は頸部上部を除いて完全に周田組織より遊離されており、頸部よりの血行のみが温存された状態となった。

成績：食道遊離前の値を100とすると、遊離後は頸部、胸部中部、胸部下部で各95, 58.6, 10.1となった。頸部はほとんど影響をうけないが、胸部下部では約1/10に減少した(図3)。

図3 実験 II：食道遊離, 胸部食道下端切断後の各部の PtO₂

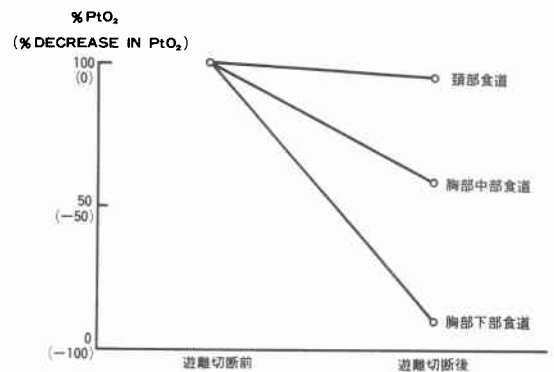
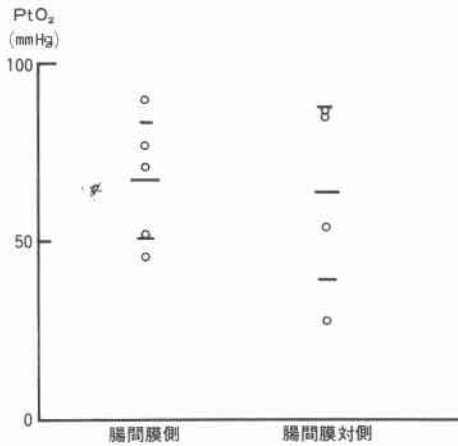


図4 実験Ⅲ：空腸における PtO₂



実験Ⅲ：空腸における PtO₂

方法：次に開腹して、Treitz 靭帯より約20~30cm 肛側の空腸腸間膜側および腸間膜対側の Pt O₂ を測定した。

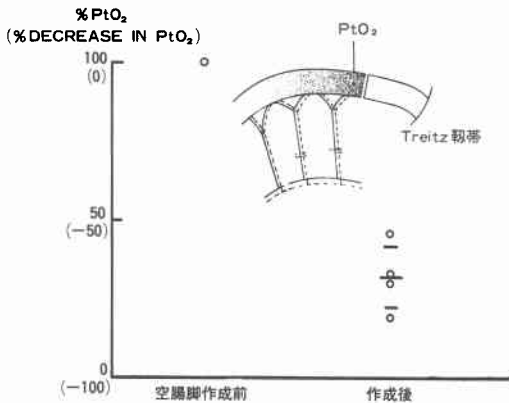
成績：空腸腸間膜側は67.2±16.2mmHg, 腸間膜対側は, 63.5±24.3と有意差がなかった (図4)。

実験Ⅳ：空腸脚作成後の PtO₂

方法：Treitz 靭帯より1本目および2本目の空腸腸間膜血管を結紮し, 5図のごとく臨床に用いる挙上空腸作成と同様の空腸脚を作成した。したがって空腸脚の先端は marginal arcade および腸管壁内血行のみによって栄養される状態となった。このような空腸脚における正常部と色調変化部境界の PtO₂ を測定した。

成績：空腸脚作成前を100とすると, 作成後は, 32.1

図5 実験Ⅳ：空腸脚作成後の PtO₂



±9.5と約1/3に低下した (図5)。

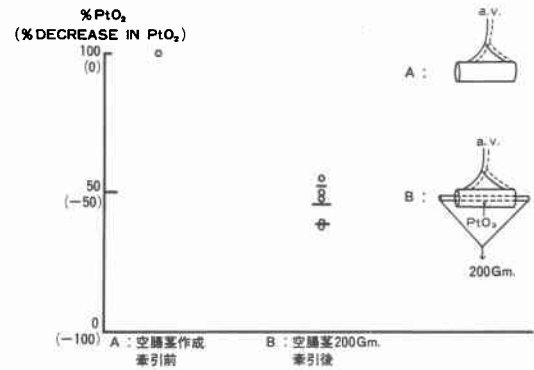
実験Ⅴ：空腸腸間膜牽引による PtO₂

方法：6図のごとき空腸茎を作成し, 200g 牽引後の PtO₂ を測定した。

成績：牽引前を100とすると, 牽引後は45.8±6.4と低下した (図6)。

実験Ⅵ：空腸腸間膜血流障害による PtO₂ (付 組織学的検討)

図6 実験Ⅴ：空腸腸間膜牽引による PtO₂



方法：臨床例のごとき空腸脚作成に際し, 腸間膜動静脈進入部対側に酸素カテーテル電極を刺入し, 段階的に血流障害を7図のごとく起こさしめてその変化を測定した。すなわち腸間膜動静脈枝 (a₁v₁) を結紮し, 次に a₂v₂ との中間で腸管を切断, さらに静脈枝 (V₂) のみを結紮し, うっ血を起さしめ, 腸間膜動静脈枝 (a₃v₃) を結紮し, 最後に動脈枝 (a₂) のみの遊離腸管を作成して PtO₂ の推移を測定した。

動脈枝のみのうっ血した腸管の組織像を検討した。

成績：実験開始前の正常空腸の PtO₂ を 100とすると, 図7のごとく a₁v₁ 結紮では76.3±11.2, 腸管切断 I では70.0±10.0, V₂ 結紮では57.0±13.9, a₃v₃ 結紮では33.2±10.6, 腸管切断 II では18.8±8.9と低下した。

最終的な動脈枝のみの遊離腸管の組織像は, 図8のごとく末梢静脈の著明なうっ血が見られ, 高度の浮腫を伴っている。

各実験を通じて, 動脈血ガスを適宜測定したが, 調節呼吸により換気は同じ条件に保たれたため, 測定値に大きな差がなく, PaO₂ は200mmHg 前後であった。この間における PaO₂ の小さい変動範囲内では, PtO₂ に与える影響はほとんどなかった⁵⁾。

図7 実験VI：空腸腸間膜血流障害による PtO₂

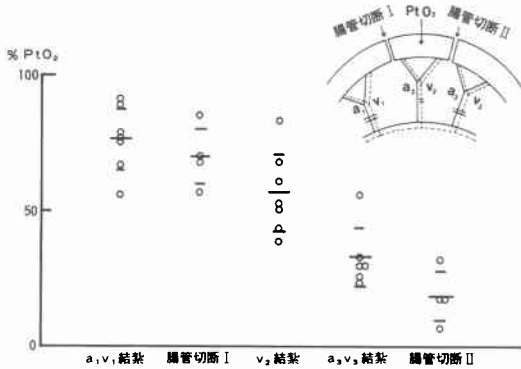
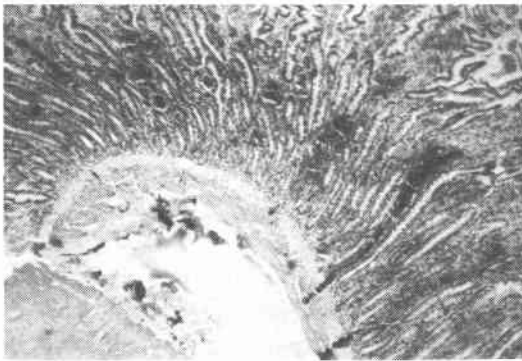


図8 動脈枝のみのうっ血した遊離腸管の組織像



3) 小括

食道部位別 PtO₂ で頸部と胸部下部にはほとんど有意差がなく、胸部中部で低い傾向を示した。食道を周囲組織から剝離し、横隔膜の直上で切断した時点で食道は頸部からの血流によってのみ栄養され、食道の各部位への血流供給は壁内血行に依存するだけとなったが、頸部では5%とわずかの減少であり、胸部中部でも41.4%の減少に過ぎなかった。したがって、食道が虚血に対し胃や空腸に比して強いのは、腸間膜血管に相当する外膜への血管を剝離遮断しても、食道壁内の血管網によってある程度血流が保たれるためといえる。臨床に用いる挙上空腸に準じて有茎空腸脚を作成すると図5のごとく、空腸先端に色調の変化を生ずる。空腸の先端は marginal arcade によってのみ血行を保たれ、その正常部と色調変化部の境界の PtO₂ は正常時の1/3に減少する。1本の腸間膜動脈よりなる空腸茎を腸間膜の軸方向に200gで牽引すると、PtO₂ は牽引前の45.8%まで低下した。段階的に血流障害を起して PtO₂ の変化を観察

した実験VI(図7)において、a₁v₁結紮および腸管切断Iでは、70%に低下したのみであるが、PtO₂測定部より流出する腸間膜静脈を結紮すると57%に低下した。これは測定部付近の静脈還流が marginal arcade および壁内血行のみになったためであり、さらに a₂v₂ を結紮して a₂ からの流入血液が一層長い距離の marginal arcade および壁内血行にたよって流出していかねばならない回路を作ると、33%に低下した。これは実験IVの空腸脚作成後色調変化部の PtO₂ 測定値に近く、実験モデルが似ているため当然の結果と考えられる。腸管切断IIを行うことによって壁内血行および marginal arcade を遮断し、動脈枝 a₂ のみの空腸茎を作成すると18.8%に低下した。腸管の色調は次第に暗赤色のうっ血を強く示し、漿膜下出血にまで至ったが Parks 806型方向指示性ドップラー血流計で動脈の流入を確認している限りでは PtO₂ は18.8%を維持した。しかし、最終的には静脈内血栓のため動脈の流入は不可能になり、PtO₂ は0に低下すると思われた。このように PtO₂ の測定結果から静脈のうっ滞は PtO₂ に大きな影響を与えることが示された。臨床的に、外部からの腸管や腸間膜への圧迫により静脈うっ滞は起りやすいから、その重大性をよく示唆していると思われる。

III. 臨床的研究

1) 研究対象ならびに方法

昭和48年3月より、昭和53年12月まで東京医科大学第1外科およびその関連病院で、胸骨柄切除胸骨後経路により、空腸を用いた食道再建を36例実施した。食道癌33例、噴門癌3例であった。最近はさらに胸骨全縦切を加えて、挙上空腸に無理な張力や外圧が加わらないように、直視下で胸骨後に静置するようにしている。その成績は表1のごとくである。このうち食道または空腸の

表1 空腸による食道再建

術式	切除再建	再建のみ	計
胸骨後	13(2)	7(1)	20(3)
胸骨縦切	部分	1(0)	1(0)
	全	12(3)	3(0)
胸壁前	12(1)	5(0)	17(1)
胸腔内	2(0)	0	2(0)
計	40(6)	15(1)	55(7)

() 直接手術死亡例 1978-12-

PtO₂ の測定の対象とした症例は8例である。8例中、食道癌7例、噴門癌1例であった。手術術式は原則として、右第5または第6肋間開胸食道切除、胸骨柄切除胸骨後有茎空腸移植（最近はこのとき胸骨全縦切を加えることが多い）、頸部食道空腸吻合（端々、端側またはρ吻合）、胃空腸側々または端側吻合、幽門形成、空腸空腸端側吻合術を施行した（図9）。挙上する有茎空腸脚はTreitz 靭帯より数えて第1枝と第2枝の空腸腸間膜血管を切離し、第3枝を栄養血管として作成することを原則とした。挙上空腸作成の難易度より上部空腸腸間膜血管を新しく6型に分類し検討したが、第3枝を用いて挙上空腸脚作成の可能なものは約74%であった（図10）。

図9 空腸による食道再建術式

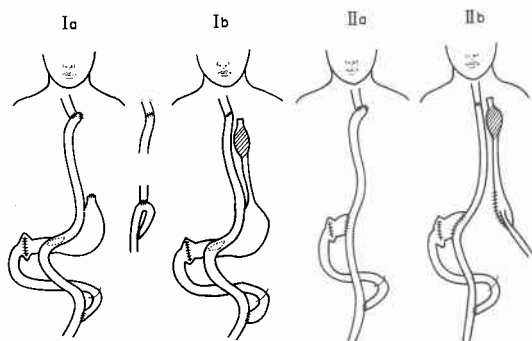
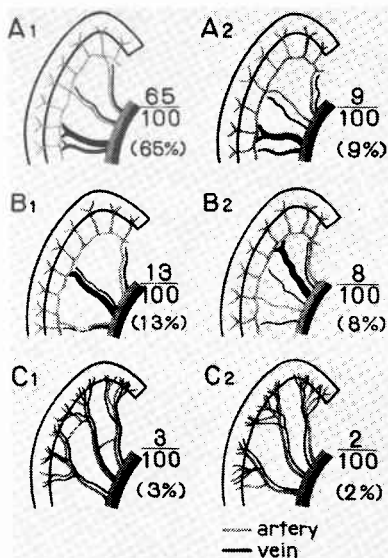


図10 上部空腸腸間膜血管の型・分類（開腹例 100 症例）



分割手術の症例で空腸脚を作成する前の正常空腸、および空腸脚を作成して胸骨後に挙上直後、さらに挙上後24時間の PtO₂ を2例に測定した。頸部において食道空腸吻合を終了した際、その吻合部の両側の固有筋層に IBC 社製の酸素カテーテル電極を刺入埋設し、術後連続して経時的に病室で6例に測定した。この酸素カテーテル電極で術後平均48時間くらい正確な測定が可能であった。

2) 研究成績

空腸脚作成前の PtO₂ を100とすると、2症例の胸骨後空腸挙上直後の値は、39、33、挙上後24時間では、51、80であった（図11）。すなわち挙上直後は1/3近くに低下するにもかかわらず、次第に上昇し24時間後にはかなりの回復を示した。術後吻合部の食道側および空腸側の PtO₂ を連続的に測定した結果を、縫合不全非発生

図11 空腸脚を作成、胸骨後に挙上後の PtO₂ の推移

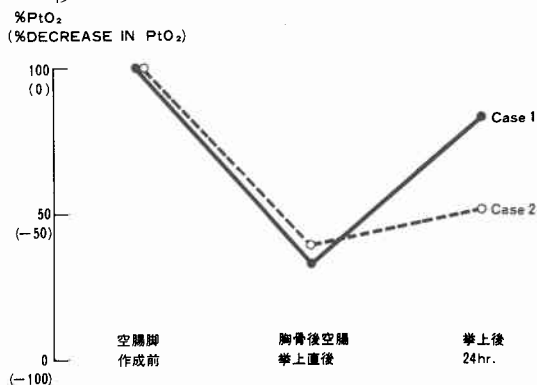


図12 術後吻合部における PtO₂ の経時的推移（縫合不全非発生例）

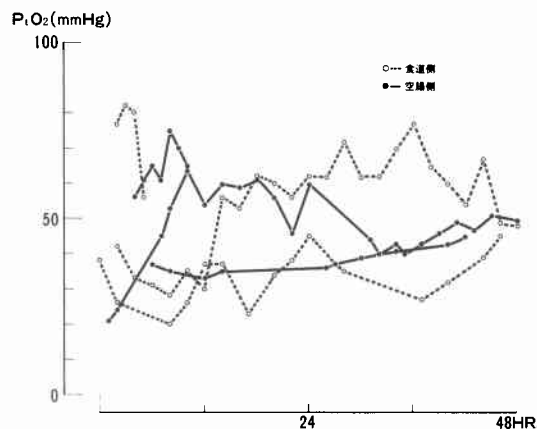
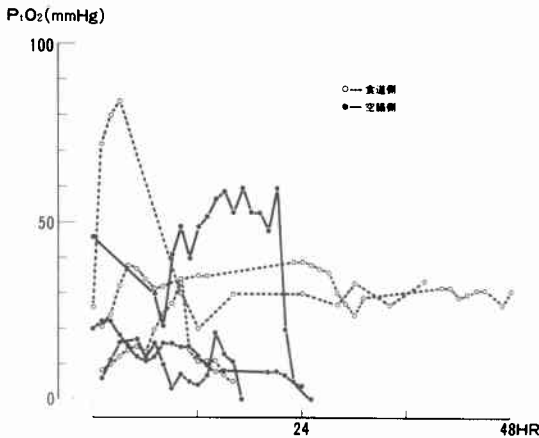


図13 術後吻合部における PtO_2 の経時的推移（縫合不全発生例）



例と発生例にわけて図12, 13に示した。縫合不全非発生3例では、食道側 PtO_2 は平均 46.0 ± 19.4 mmHg, 空腸側は 51.7 ± 9.0 mmHgであった。

縫合不全発生例は3例に測定し、食道側 PtO_2 は2例で平均 42 と 32 mmHgを示し、低下したものは1例のみであったが、空腸側は3例とも24時間前後にほとんど 0 mmHgまで低下した。この3例について詳細に検討した。

症例1は49歳男性で、レントゲン上Eiからcardiaにかけて境界明瞭な腫瘤型陰影が存在し、胃全摘、胸骨柄切除胸骨縦切、食道 blunt dissection、食道空腸端々吻合、空腸十二指腸端々吻合、空腸空腸端側吻合、脾摘を行った。肉眼的には PO_2 HO_2 S_2 , $OW(-)$, $AW(-)$ であったが、病理組織学的には筋層深くまで浸潤したwell differentiated tubular adenocarcinomaの噴門癌であった。術前の検査で呼吸機能、血液ガスなどに異常はなかった。術中、上部空腸間膜血管を検索するに、われわれの分類の A_2 型で、挙上空腸作成に特に障害はなかった。しかし胸骨後に頸部まで挙上した時点で、先端は約3cmにわたり色調変化が通常より強く出現した。この時点の空腸脚先端の PtO_2 は測定しなかったが、回復可能との判断のもとに吻合を実施した。吻合終了時、食道空腸吻合部両端に酸素カテーテル電極を埋没固定した。食道側は術後平均 42.5 mmHgと高値を示したにもかかわらず、空腸側は術後2時間目までは 22 mmHgであったが3時間目から次第に下降し、24時間後には 4 mmHgまで低下した。術後4日目に頸部吻合部より腸内容が漏出してきたため空腸内腔にネラトンを挿入して

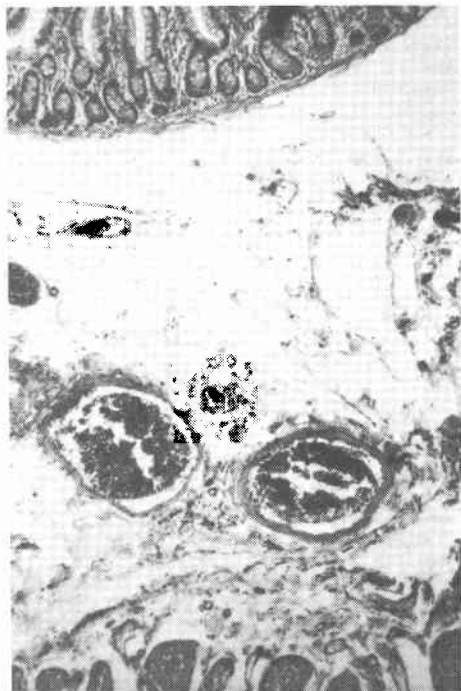
吸引を行ったが効果なく、術後6日目に再手術にふみきり、胸骨後挙上空腸切除、腹腔内ドレナージ、食道瘻造設、腸瘻造設術を実施した。このとき切除された挙上空腸の先端5cmのみ壊死に陥っていたが、残りの空腸は色調に全く変化がなかった。その境界部の病理組織像を示せば、図14のごとく炎症が強く血管の閉塞が著明である。また壊死部より離れた腸管においても粘膜下層の浮腫と静脈のうっ滞が著明であった(図15)。この症例における反省点は、挙上空腸先端の色調不良部3cmを切除して吻合すべきであり、経験的に色調変化の程度からのみで腸管の運命を判断することが危険であるということであった。

症例2は64歳女性で、Imに長さ5.5cmにわたりらせん形陰影が認められた食道癌であった。術直前の動脈血ガスには異常なかったがspirometryで $\%VC: 78\%$, $FEV_1\%: 64\%$ と混合型の呼吸障害が認められた。手術は右開胸、胸部食道切除、胸骨柄切除胸骨全縦切、胸骨後食道空腸端々吻合、空腸胃側々吻合、空腸空腸端々吻合、幽門形成術が施行された。上部空腸間膜血管分類では B_1 型で第2枝が太く、marginal arcadeの発達は良好であ

図14 壊死に陥った挙上空腸の健常側との境界部の組織像



図15 壊死部より肛側の肉眼的健常部の組織像



った。第2枝を用いて挙上空腸脚を作成し、食道空腸吻合終了時、酸素カテーテル電極を吻合部両端に刺入固定して、術後連続的に測定した。術直後から食道側、空腸側ともに低値を示し、術中の好条件での吻合という所見からは、その原因を探ることが困難であった。空腸側 PtO_2 は18時間後に0となり、食道側も16時間後に5mmHgまで低下した。手術当日および術後1日目は、Bennet MA1型 respirator を装着して様子を見たが、十分な自発呼吸と一回換気量で動脈血ガス所見も異常なかった。 PtO_2 が低値を示したにもかかわらず他の諸検査は正常で、一般状態も異常なかったが、術後1日目後半から出現した腹部膨満が次第に増強し、術後3日目早朝に再手術を行った。胃空腸側々吻合の部で空腸が屈曲しており、そのため口側の挙上空腸に極めて強い拡張が認められ、胃空腸吻合部より5cmから35cm口側の挙上空腸に長軸に平行の裂け目が3カ所発見され、腸内容が腹腔内に漏れて腹膜炎を併発していた。結果的には鼻腔からの吸引チューブが効かず胃空腸吻合部で屈曲したため挙上空腸の内容の肛側への流出が障害されて内圧が上昇し、腸管破裂を起したものと推測された。挙上空腸の内圧が破裂するまで上昇するにはかなりの時間(事実本症例は約60時間要している)を必要とすると思われるの

に、 PtO_2 が術直後より低かったことに疑念が残る。一方、静脈のうっ血という循環障害の PtO_2 に与える影響は、動物実験の項で述べたごとく極めて重大であるので、この点を考慮すれば、腸間膜のねじれによって生じた静脈の還流障害が、挙上空腸の末梢循環不全を起し、腸管壁の PtO_2 を低下させ組織の脆弱性を招き、腸管内圧の上昇とともに破裂に至ったと考えられる。

症例3は69歳男性で、Eiに長さ4cmにわたる漏斗型狭窄が認められた食道癌である。長期間にわたる気管支喘息の既往を有していたが、術前の spirometry では、 $\%VC: 74\%$ 、 $FEV_1\%: 75\%$ と軽度の拘束型障害以外動脈血ガス所見等に異常は認められなかった。手術は二期分割で、一期的には胸骨後空腸挙上、胃空腸端側吻合、幽門形成、空腸空腸端々吻合、Witzel 瘻造設術を実施した。開腹時、上部空腸間膜血管を検索するに A_1 型で、挙上空腸脚作成は容易に実施しえた。十分な余裕をもって空腸を胸骨後に頸部まで挙上可能であったが、吻合完成時に挙上空腸の胃空腸吻合部までが直線的になった。術中、術後初期の挙上空腸先端の PtO_2 は十分に高く、21時間目までは平均48mmHgであった。ところが、22時間目に突然20mmHgまで低下し、25時間目には0となった。この患者は、術後懸念されていた気管支喘息発作を起し、常に激しい咳嗽発作に悩まされていた。胸骨後に挙上した空腸および空腸間膜には長さの余裕がなく、度重なる咳嗽発作による縦隔内圧の変化のため、空腸腸間膜血管に過度の緊張とねじれが生じ、静脈うっ滞から末梢循環不全に陥ったものと解釈された。この症例は再手術にふみきるまでかなり時間がかかっており、そのときは既に挙上全空腸が壊死していたが、retrospective にみて術後2日目には少なくとも頸部創に膿状浸出液の漏出がみられ、 PtO_2 の値からも創を開放して直視下に空腸の状態を確認すべきであったと反省させられた。いずれにしろ、挙上空腸に十分な長さの余裕をもたせれば、術後の21時間の PtO_2 は十分高値だっただけに、咳嗽発作にも耐えられたと推測された。

以上、縫合不全発生3例について、その原因と経過を述べた。

3) 小括

最近5年間の胸骨柄切除胸骨後経路の空腸による食道再建36例中、minor leakageを含む縫合不全発生は12例、33.3%、直死6例、16.7%であった。空腸脚作成方法を PtO_2 の面から検討した結果は、空腸脚作成前の PtO_2 100に対して、頸部まで挙上直後は2例で各39、33と減

少したが、24時間後には51, 80と回復し、その安全性が示された。この傾向は、手術操作中挙上腸管の色調がやや紫色に変化した場合、しばらく温生食水をひたしたガーゼで包んでおくと、吻合が終る頃には次第に色調が回復してくることから経験的に認められる。動物実験では、色調変化部の PtO_2 は正常部の32.1%に低下したが、臨床では空腸脚作成直後は、それぞれ39, 33%とそれに近い値を示した。縫合不全の発生しなかった症例では、吻合部空腸側 PtO_2 は平均51.7mmHg、食道側は46mmHgであったが、いずれも術後25mmHg以下になったことはほとんどなく、一時的に25mmHg以下の値をとっても速かに回復し、20mmHg以下となった症例はなかった。これに対して前述せるごとく、縫合不全の発生した3例中、2例の空腸側 PtO_2 はいずれも術直後から20mmHg以下で回復することはなかった。また1例は、術後21時間までは高値を示しながら、24時間後には4mmHgまで低下した。以上の臨床成績および動物実験成績より、20mmHgをcritical levelと考えている。一方食道側は、3例中2例はこのcritical levelより高値で平均31mmHgを示したが、1例は術直後より低く14時間後に5mmHgまで低下した。このように食道側の PtO_2 は、吻合部に縫合不全の発生した場合でも、1例を除き高値を示し十分に血行が保たれたことがわかる。これは食道の血管構築が空腸と異なり、粘膜下層を長軸に平行に走る血管網が発達していること、食道の頸部における剝離範囲が少なくすむことなどによるものと考えられ、縫合不全の原因は空腸側にあることが推定された。また縫合不全の発生は術後早期に PtO_2 値から判明していたと思われる。すなわち縫合不全発生例は、いずれも術後48時間以内に20mmHg以下の低値を示し回復しなかったが、十分良好な血行動態 (PtO_2 で25mmHg以上)を示したものは縫合不全を起しておらず、たとえ起きたとしても臨床的に特別な処置を必要としないminor leakage程度であった。もちろん縫合不全の原因は血行動態の指標である PtO_2 の面からだけではとらえきれず、縫合方法等の問題もあるが、われわれの経験した3例の縫合不全発生例は、いずれも臨床症状出現より早く PtO_2 の低下が認められ、術後連続的な PtO_2 の測定は縫合不全の早期発見に役立つものと確信した。

IV. 考 察

食道切除後の再建臓器に空腸を用いたのはWullstein (1904)⁹⁾に始まり、Roux (1907)⁷⁾、Herzen (1907)⁸⁾が

これに次ぎ、Rienhoff (1944)⁹⁾は、はじめて胸骨後に空腸挙上を実施した。本邦では桂 (1957)¹⁰⁾¹¹⁾により始められ、石川 (1961)¹²⁾、葛西 (1964)¹³⁾¹⁴⁾などによる胸腔内空腸移植術が行われている。Ochsner および Owens (1934)¹⁵⁾は、空腸移植例35例中8例 (22%)に空腸先端部壊死の合併症を認め、Yudin (1944)¹⁶⁾は、80例の良性疾患に胸壁前経路で頸部まで空腸挙上を試みたところ、空腸血管のArcus不全例を除き、60例 (75%)に可能であったと報告している。Androsov (1956)¹⁷⁾は、空腸血管弓の状態から75%まで空腸脚作成が可能であったと報告している。食道再建に一番問題になることは、挙上空腸の作成の可否を決定する上部空腸間膜の血管型および空腸血管弓の発達程度である。上腸間膜血管の分岐である空腸動静脈の走行、血管弓の状態に関してはBarlow (1955)¹⁸⁾は、257例の調査から正常の血管弓型78.6%、血管弓が一部消失または減少の異常型15.7%、血管弓形成欠如5.7%としている。われわれは、100例の開腹症例を検討し、空腸再建に最も適すると考えられるA₁型は65%で、次にB₁型は13%、A₂型9%、B₂型8%であり、挙上空腸作成の全く不可能なC₂型は2%であった。また上腸間膜動脈撮影100例では、C₁₊₂型は2%であり、空腸血管弓の不全のために挙上空腸作成の不可能なものは、ごく少数例にとどまることが判明した。

成犬を用いて図5のごとく空腸脚を作成し、先端の色調変化部の PtO_2 を測定すると、正常の32.1%まで低下した。臨床で実際に空腸脚を作成し、胸骨後に頸部まで挙上したところ、2例で各々空腸脚作成前の39, 33%と低下した。ところが挙上後24時間では各51, 80%と上昇し、marginal arcadeの保存に十分留意して空腸脚を作成すれば PtO_2 の面からも安全性は保証できると思われた。食道空腸吻合部の血行動態を知るために、吻合部両端に酸素カテーテル電極を刺入固定して、術後連続的に PtO_2 を測定した結果では、縫合不全非発生例の空腸側 PtO_2 は平均51.7mmHg、食道側は46mmHgであり、20mmHg以下には一度も低下しなかった。縫合不全発生例では、空腸側 PtO_2 はいずれも24時間前後に0に近づいたが、食道側 PtO_2 は3例中2例は平均31mmHgを維持し、1例のみ低値を示した。このように縫合不全の発生は、空腸側に主として原因が考えられ、そのcritical levelは20mmHgであると思われた。食道側は、仙眷¹⁹⁾がmicroangiographyによる食道血管構築の検討から、粘膜下層における血管網が豊富で長軸の血行が維持されるとしたことに一致し、外膜剝離に

よっても PtO_2 は良行に保たれていたことから、縫合不全の直接の原因とはならなかったものと推測される。

縫合不全の発生した3例についてその原因を追及すると、第1に空腸脚作成後先端の色調変化部の可逆性に対する判断の誤りがあげられる。第2は挙上空腸に屈曲やねじれが生じ、そのため内圧上昇と腸間膜静脈のうっ血から発生したもの、第3は挙上空腸の長さが不十分で、喘息発作も加わって腸間膜血管に強い緊張とねじれが生じたものであった。このように腸間膜血管のうっ血や過度の緊張が吻合部の血行に悪影響を及ぼすことは、動物実験からも推測される。すなわち図6のごとく、空腸茎200g牽引によって PtO_2 は45.8%に低下し、腸間膜血管結紮実験(図7)では、動脈枝のみのうっ血血管を作成すると PtO_2 は19%に低下したことから、静脈のうっ血が高度の末梢循環障害を起すことが明らかとなった。またこの動脈枝のみの遊離腸管を組織学的に検討すると、末梢静脈の著明なうっ血と浮腫が見られ、静脈閉塞さらには腸管壊死へ至ることも病理学的に推測された。このような障害を起さないように、われわれは十分な長さの空腸脚を作成し、最近では胸骨全縦切も追加して挙上空腸を直視下にねじれや屈曲が生じないように胸骨後に置き、胸骨柄を切除して圧迫を防ぐなど工夫している。また吻合法に関しても針付き4—0 Tevdecを用いた層々吻合を行い、漿膜筋層および外膜筋層の血流を大切に、 ρ 吻合によって吻合部の緊張緩和に努めている。

吻合部の循環動態を直接把握するために、著者は PtO_2 の術後連続測定を実施したが、頸部での食道空腸吻合といえども、その major leakage の発見の遅れは縦隔炎という重篤な合併症をひき起こし、生命の危険にさらすことになる。吻合部の血行障害が原因で発生する major leakage は、術後48時間以内に PtO_2 の低下が認められ、いずれも挙上空腸の壊死に陥っている。臨床症状が出現するよりも早期に PtO_2 は反応し、適切な処置を施せば十分に救命しうるものと考えられる。縫合不全の原因としては、これまで述べてきた空腸を主とする局所的因子の他に、全身的因子である低蛋白血症や酸素運搬能を低下させる貧血、心肺機能障害などが考えられるが、縫合不全に至る原因を早期に発見し、対策を立てていくことが救命率の向上に役立つことは事実である。

PtO_2 の測定は、局所の血行動態の指標としては重要な意義をもつものであるが、従来臨床的にはほとんど利用されてこなかった。微小 PH 電極を筋表面に刺入

し、連続測定することにより末梢循環の monitor にしようとする試みはなされてきた²⁰⁾²¹⁾。すなわち末梢循環が障害されると筋組織は嫌気性代謝に移行し、lactate や pyruvate が増量し、PH の低下が起るからである。また末梢血流量が減少したり、動脈血酸素含量が低下すると、動脈酸素分圧較差が増大することから間接的に局所の循環動態を知る方法も試みられてきた。しかし、いずれにしても直接的な末梢循環の指標とはいえず、組織の酸素分圧を測定する必要に迫られていた。 PtO_2 測定法には大きくわけて3つの方法がある。第1は、polarography の原理を応用した Clark 型電極を用いるものである。これは Davies & Brink (1942)⁴⁾によって初めて生物学に應用され、Clark (1953)³⁾が改良普及させたものである。著者が用いた酸素電極は、直径0.38mm の Hydron 膜に被覆された金 (Au) であり、針型の disposable type にまで改善されたものである。第2は、mass spectrometer を用いて測定する方法である。これは Miller²²⁾、Robertson (1950)²³⁾らによって開発され、Brantigan (1972)²⁴⁾は直径1~2mm の Teflon membrane catheter を用い、生体内に刺入して Teflon membrane を通して組織ガスを吸引し、mass spectrometer によって O_2 、 CO_2 の測定を行った。 PtO_2 測定としては現在広く利用されているものである。第3は Silastic tube tonometry 法²⁵⁾²⁶⁾と呼ばれているものである。Silastic tube を生体内に埋没し、生食水を満たすと周囲組織と平衡に達する、そこで glass capillary tube で採取し、血液ガス分析計で O_2 、 CO_2 を測定するものである。他には subcutaneous gas pocket 法²⁷⁾、microperforated capsule 法²⁸⁾などが実験的に用いられているが実用的でない。臨床的に応用可能な以上の3つの方法には、それぞれ一長一短があつてどの方法も理想的とはいえず。しかし、著者の用いた polarography を応用した Clark 型酸素カテーテル電極法は、小さな装置で取り扱いも簡単であり、連続測定も容易に行えるという点で優れていると思われる。ただし、温度による酸素拡散速度の変化に対する補正が必要であり、1℃につき、2.6% (Montgomery)²⁹⁾、1.8% (関)³⁰⁾、1~2% (Grote)³¹⁾、3% (Harris & Nugent)³²⁾、3~5% (麻生)³³⁾、という諸家の報告があるが、著者も3.5±0.7%と近似した値となった。また電極の aging (老化) という問題があるが、以前使用された露出型電極と異なり、Hydron membrane で被覆してあるため、48~72時間の測定においてはほとんど問題にならないが、それでもより長時間の連続測定

においては、やはり drift 現象も考慮すべきであろう。

以上 Clark 型酸素カテーテル電極を用いて PtO_2 を測定することは、末梢循環動態の把握に有効であり、吻合部に刺入固定して連続測定することにより、早期に縫合不全を発見できるものと考えた。

V. 結 論

1) 挙上空腸脚作成により先端部の PtO_2 は術直後では約 1/3 に低下するが、24時間後には51~80%と回復した。

2) 術後吻合部の PtO_2 を連続測定すると、縫合不全非発生例の食道側は平均 46.0 ± 19.4 mmHg、空腸側は 51.7 ± 9.0 mmHg であった。縫合不全発生例では、1例を除き食道側 PtO_2 は非発生例と差がなく、空腸側は24時間前後に0 mmHg 近くまで低下した。

縫合不全発生の critical level は20 mmHg と考えられた。動物実験では頸部の食道 PtO_2 は剥離の影響をほとんどうけなかった。縫合不全の原因は空腸側にあると推定された。

3) 成犬を用いて臨床に準じたモデル動物実験による PtO_2 の測定値から、牽引やうっ血の末梢循環に与える影響は重大である。

4) 縫合不全非発生例ならびに発生例8例の検討から、挙上空腸先端部の PtO_2 測定の必要性を認めた。さらに挙上空腸ならびに腸間膜にねじれや圧迫が加わらない注意が大切で、われわれの行っている胸骨全縦切や胸骨柄切除は、この目的に合致した術式である。

5) Clark 型酸素カテーテル電極を使用した PtO_2 の測定は、末梢循環動態の把握に有効であり、特に吻合部の経時的追跡は、縫合不全の発生を臨床症状の出現にさきがけて早期に発見することが可能で、臨床的に有意義であると考え報告した。

稿を終るに臨み、村上忠重教授ならびに直接ご指導、ご校閲を賜った毛受松寿助教授、さらには教室の食道班の諸兄に、心から感謝の意を表す。

本論文の要旨は、第30回胸部外科学会総会および第12回消化器外科学会総会にて発表した。

文 献

- 1) 毛受松寿ほか：空腸による食道再建術。日消外会誌，**11**：281—289，1978。
- 2) 平出星夫：空腸による食道再建術の研究。日消外会誌，**10**：178—190，1977。
- 3) Clark, L.C. Jr., et al.: Continuous recording of blood oxygen tension by polarography. J. Appl. Physiol., **6**: 189—193, 1953。
- 4) Davies, P.W., et al.: Microelectrodes for measuring local oxygen tension in animal tissues. Rev. Sci. Inst., **13**: 524—533, 1942。
- 5) Furuse, A., et al.: Skeletal muscle gas tension: Indicator of cardiac output and peripheral tissue perfusion. Surgery, **74**: 214—222, 1973。
- 6) Wullstein, L.: Über antethorakale Oesophagojejunostomie und Operationen nach gleichen Prinzip. Deutsche Med. Wocheschr., **30**: 734—741, 1904。
- 7) Roux, C.: L'oesophagoleunogastrome: Nouvelle operation pour retrecissement in franchisable de l'oesophage. Semaine Med., **27**: 37—45, 1907。
- 8) Herzen, P.: Eine Modification der Roux'schen esophagojejunogastrostomie. Zentralbl. f. Chir., **35**: 219—228, 1908。
- 9) Rienhoff, W.: Intrathoracic esophagojejunostomy for lesions of the upper third of the esophagus. South M.J., **39**: 928—933, 1946。
- 10) 桂 重次ほか：食道癌切除部位への空腸移植。日臨外会誌，**18**：141—144，1957。
- 11) 桂 重次ほか：胸部食道部分切除に対する空腸移植。外科，**19**：469—475，1957。
- 12) 石川義信ほか：空腸移植を中心として。日胸外会誌，**9**：795—800，1961。
- 13) 葛西森夫ほか：一次的頸部食道再建における有茎空腸移植術。手術，**18**：85—89，1964。
- 14) 葛西森夫ほか：食道癌の手術。外科治療，**10**：455—462，1964。
- 15) Ochsner, A. and Owens, N.: Antethoracic esophagoplasty for impermeable structure of the esophagus. Ann. Surg., **100**: 1055—1091, 1934。
- 16) Yudin, S.S.: Surgical construction of 80 cases of artificial esophagus. Surg. Gynecol. Obstet., **78**: 561—583, 1944。
- 17) Androsov, P.L.: Blood supply of mobilized intestine used for an artificial esophagus. Arch. Surg., **73**: 917—926, 1956。
- 18) Barlow, T.E.: Variations in the blood-supply of the upper jejunum. Brit. J. Surg., **174**: 473—475, 1955。
- 19) 仙蒼軍一ほか：食道のマイクロアンギオグラフィによる研究。日消外会誌，**10**：総会号，128，1977。
- 20) Filler, R.M., et al.: Clinical experience with continuous muscle pH monitoring as an index of tissue perfusion and oxygenation and acid-base status. Surgery, **23**: 23—33, 1972。
- 21) Laks, H., et al.: The relationship between muscle surface pH and oxygen transport. Ann. Surg., **183**: 193—198, 1976。

- 22) Miller, V.A., et al.: The development of certain clinical application for a portable mass spectrometer. *J. Thorac. Surg.*, **20**: 714—728, 1950.
- 23) Robertson, J.S., et al.: Lung ventilation patterns determination by analysis of nitrogen elimination rate: use of mass spectrometer as a continuous gas analyzer. *J. Clin. Invest.*, **29**: 577—590, 1950.
- 24) Brantigan, J.W., et al.: A teflon membrane for measurement of blood and intramyocardial gas tensions by mass spectrometry. *J. Appl. Physiol.*, **32**: 276—282, 1972.
- 25) Niinikoski, J., et al.: Measurement of wound oxygen with implanted Silastic tube. *Surgery*, **71**: 22—26, 1972.
- 26) Myers, M.B., et al.: Tissue gas levels as an index of the adequacy of circulation: The relation between ischemia and the development of collateral circulation (delay phenomenon). *Surgery*, **71**: 15—21, 1972.
- 27) Van Liew, H.D.: Tissue pO_2 and pCO_2 estimation with rat subcutaneous gas pockets. *J. Appl. Physiol.*, **17**: 851—855, 1962.
- 28) Jones, C.E., et al.: Determination of mean tissue oxygen tensions by implanted perforated capsules. *J. Appl. Physiol.*, **26**: 630—633, 1969.
- 29) 関 清ほか: ポーログラフ法, 特に心筋内酸素濃度の変動について. *呼吸と循環*, **9**: 685—690, 1961.
- 30) Grote, J., et al.: Die Bedingungen für die Sauerstoffversorgung des Herzmuskelgewebes. *Pflügers Archiv. Physiol.*, **276**: 142—165, 1962.
- 31) Harris, T.R., et al.: Continuous arterial oxygen tension monitoring in the newborn infant. *J. Pediatr.*, **82**: 929—939, 1973.
- 32) 麻生 幸ほか: 手術患者における組織酸素レベルの変動について. *呼吸と循環*, **25**: 599—605, 1977.