

# 博士論文

膵臓手術における血管解剖と、その臨床的意義の検討

小林 祐太

所属：外科学専攻 肝胆膵外科

指導教員：長谷川 潔

申請者：小林 祐太

## 目次

略語一覧	4
要旨	5
第1章：序文	6
第1節 膵臓手術の歴史と現状	6
第2節 血管解剖の理解の歴史と変遷	12
第3節 本研究の目的	14
第2章：研究1「膵周囲の血管解剖様式の分類」	15
第1節 研究1の背景	15
第2節 研究1の方法	18
第1項 患者背景	18
第2項 ダイナミック CT 画像からの血管解剖様式の同定	19
第3項 統計分析	24
第3節 研究1の結果	25
第1項 患者背景	25
第2項 上腸間膜動脈と空腸動脈の解剖	26
第3項 第一空腸静脈幹の解剖	28
第4項 第二空腸静脈幹の解剖	32
第4節 研究1の考察	35
第1項 空腸動脈、空腸静脈の解剖様式の意義	35
第2項 径からみる分枝数の予測	38
第3項 既報と結果の比較	39
第4項 研究1の制限	41
第3章：研究2「膵頭十二指腸切除術における空腸静脈幹切離の可否の検討」	42
第1節 研究2の背景	42
第1項 膵頭十二指腸切除術と門脈合併切除・再建の歴史	42
第2項 膵頭十二指腸切除術の合併症について	45

第 2 節	研究 2 の方法	46
第 1 項	患者背景	46
第 2 項	臍頭十二指腸切除術の実際	47
第 3 項	合併症の解析・統計分析	52
第 3 節	研究 2 の結果	
第 1 項	患者背景	53
第 2 項	1stJVT 切離の影響	54
第 3 項	1stJVT 切離後の挙上空腸の高度うっ血	60
第 4 節	研究 2 の考察	67
第 1 項	1stJVT 切離の可否	67
第 2 項	研究 2 の制限	70
第 4 章	結語	71
	引用文献	72
	本研究の公表について	87
	謝辞	89

## 略語一覧

JA; jejunal artery

JV; jejunal vein

JVT; jejunal venous trunk

PD; pancreaticoduodenectomy

PV; portal vein

SMV; superior mesenteric vein

SMA; superior mesenteric artery

CT; computed tomography

## 要旨

膵頭十二指腸切除（PD）は膵頭部領域癌に対する代表的術式であるが、解剖が複雑で合併症も少なくない。PDに必要な解剖の中で空腸間膜内の空腸静脈（JV）の分岐形態は既報が少なく不明点が多い。CT画像から空腸動静脈の分岐形態を分類し、複数のJVからなる空腸静脈幹（JVT）に着目してその還流領域を予測し、JV切離に伴ううっ血領域と、切離の安全性について検討した。87.8%の症例で第1空腸静脈幹（1stJVT）は複数枝を持ち、直径7mmをカットオフ値として有意に4本以上の分岐を有していた。1stJVT切離群と温存群で合併症に有意差は認めなかったが、切離群の1例（3.1%）に挙上空腸の高度うっ血がみられ再手術を要した。1stJVTの複数JVの把握は空腸間膜の切離範囲の判断とうっ血の病態理解に有用であった。

## 第1章：序文

### 第1節 膵臓手術の歴史と現状

膵頭十二指腸切除（pancreaticoduodenectomy, PD）は膵頭部に位置する浸潤性膵管癌、神経内分泌腫瘍（NEN）、遠位胆管癌や嚢胞性腫瘍、十二指腸乳頭部癌、十二指腸癌などに対する根治手術として世界中で広く実施されている。本邦におけるPDの実施状況について、National Clinical Database（NCD）のAnnual Report 2015を参照すると<sup>1</sup>、NCD登録が開始された2011年～2014年の4年間でPDの実施は日本全国で10,400件登録されていた。患者の男女比は61：39で70-75歳の年齢区分に最多の22.5%の症例が分布していた。定型的手術の短期成績に関して、Clavien-Dindo分類<sup>2</sup>のGrade3以上の合併症の頻度は17.8%で、食道切除再建術の19.3%に次いで高率だった。またPD後の手術関連死亡率は2.6%であり、肝切除の2.7%に次いで高率だった。消化器外科手術のなかでも、PDの合併症率、死亡率はいまだ低率とはいえず、さらなる研究や術式の工夫が必用である。

Billrothによる最初の胃切除術が1881年<sup>3</sup>、Milesが腹会陰式直腸切断術を報告したのが1908年<sup>4</sup>、Whippleが古典的PDを報告したのが1935年であり<sup>5</sup>、膵臓手術の歴史は消化器外科手術のなかでもまだ比較的短い。米国の外科医Tiltonは1902年の論文の中で膵臓手術について“The deep location of the organ, its immobility, and its close proximity to very important structures make such operations most difficult and dangerous”と表現しているように<sup>6</sup>、PDを施行するのに必要な解剖や手順が複雑で、術後合併症が多いため

に、PDは古くから多くの外科医にとって試金石となる手術であり続け、術式の試行錯誤や膵頭部をめぐる解剖の研究が行われてきた。困難な手術であることの一因として、膵周囲や十二指腸から続く空腸の複雑な血管解剖が挙げられる。出血させない安全な手術のために、開腹手術、腹腔鏡手術のいずれの術式においても、正確な膵周囲血管解剖の理解を深めることは重要である。

近年、PDにおける「artery first approach」が注目されている。「artery first approach」は「anterior approach」または、「superior mesenteric artery (SMA) -first approach」と呼ばれることもある。膵切離や胆管切離、胃切離といった引き返しが不可能な段階の前に上腸間膜動脈 (SMA) と膵頭部の間の剥離を先行させ、下膵十二指腸動脈 (IPDA) を先に結紮切離する方法である<sup>7</sup>。この手技の大きな利点は、手術の序盤で腫瘍のSMA浸潤が無いか、すなわち切除可能かどうか (resectability) を判断できる点<sup>8-16</sup>、また、膵頭部への流入血を手術序盤で遮断できるので、切除検体側のうっ血を回避でき、総出血量を減少させうる点である<sup>8-11, 17, 18</sup>。このartery first approachが広く認識されるとともに、膵頭部からSMAに向けて走行する神経叢、リンパ管、結合織からなる構造、そしてこの内に含まれるIPDAと第一空腸動脈 (J1a)、第一空腸静脈 (J1v) といった構造の解剖の理解が重要視され、Gockelらをはじめとする研究者よりこれらの構造を含む領域、すなわち「mesopancreas (膵間膜)」の概念が提唱されてきた (図1) <sup>19-22</sup>。膵癌細胞は特に、膵頭部実質の背側組織や、この内に含まれる神経叢に沿って浸潤し、容易にSMAまで到達する。したがって、この



「mesopancreas領域」の適切な切除（郭清）が癌遺残の無い手術手技に直結するため、この領域の複雑な解剖理解が重要視されてきた。

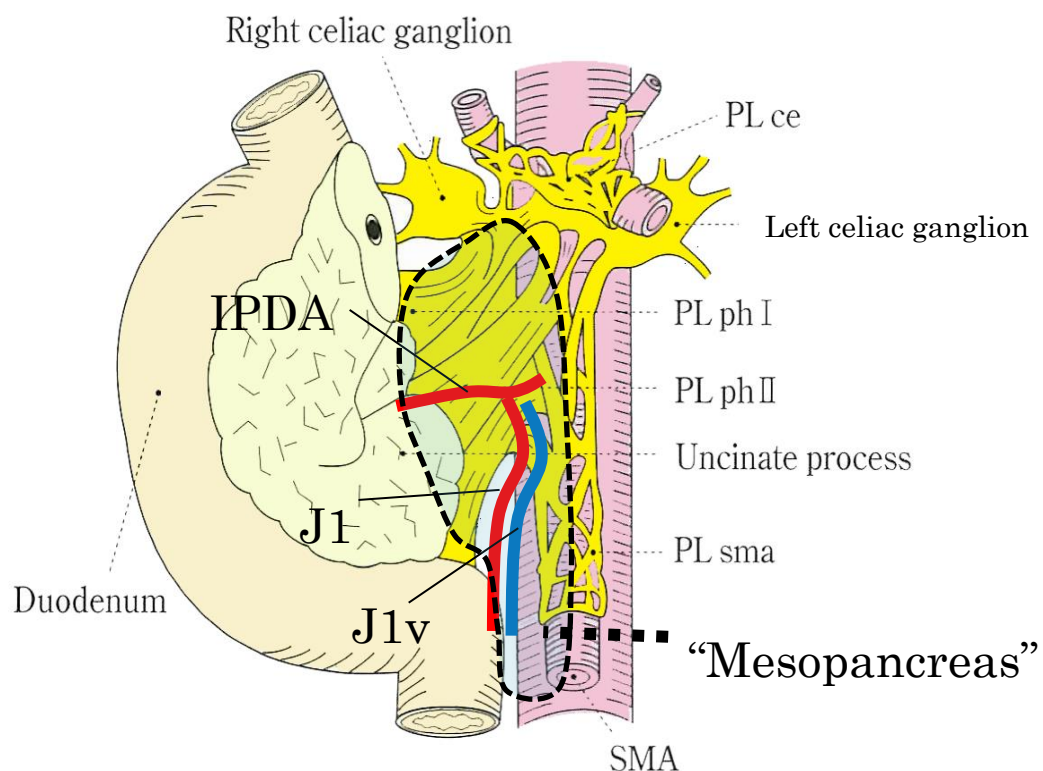
また、門脈合併切除と再建は、本邦で積極的に行われてきたが、かつて欧米では切除不能因子の一つとして認識されていた。その膵癌予後に対する効果についてはまだ議論の途上にあるが、この門脈合併切除併用のPDは標準的PDと比べて予後が同等であったという報告もあれば<sup>23</sup>、門脈合併切除により予後が改善したという報告もある<sup>24</sup>。門脈浸潤が疑われるいわゆるBorderline resectable膵癌は、どの程度までの門脈浸潤が手術可能なのか、その定義自体も施設間でばらつきがあるが、概ね肯定的な結論を述べる報告が散見され<sup>25, 26</sup>、本邦の膵癌診療ガイドライン2019年版にも、

「R0手術が期待される場合において、門脈合併切除を行うことを提案する」と記されている<sup>27</sup>。Mesopancreasや門脈の合併切除が予後を改善させるといった明確なエビデンスはないが、特に、容易に門脈に浸潤しうる膵頭部癌において、門脈合併切除を行うことでR0切除（病理学的に癌遺残のない切除）を得ることは重要であり、化学療法と放射線治療と、R0切除による集学的治療は膵癌の治療成績を向上させる<sup>28-</sup>

<sup>34</sup>。膵癌は神経線維に沿って浸潤する性質を有し、膵頭部および膵鉤部に位置する膵癌は容易に膵頭神経叢に浸潤する。この領域を癌の遺残なく取り除くためには、多くの場合SMA右側から膵頭部側へ向けて派出するIPDAと、共通幹をなす空腸動脈を切離し、さらに伴走する空腸静脈を切離する必要がある。これらの手技を正確かつ安全に執り行うにあたり、SMA、上腸間膜静脈（SMV）周囲およびmesopancreas

の血管解剖は極めて重要である。SMAから派出するIPDAや空腸動脈（JA）の解剖については多くの既報があるが、空腸静脈（JV）を含む静脈系の解剖については、報告が少なく定義が一定でないのが現状である。膵頭部癌の門脈浸潤の程度や位置によつては、膵下縁においてSMVも合併切除する必要がある。浸潤範囲のR0切除のため十分な断端距離（マージン）を確保するには、SMVの分枝である中結腸静脈や、複数の空腸静脈の枝を切離する必要がある<sup>35 36 37</sup>（図2）。中結腸動・静脈は切離しても問題がないという見解があるが<sup>35</sup>、複数ある空腸静脈はどの程度まで切離しても問題が無いのかについては一定の見解が無く行われているのが現状である<sup>38</sup>。

図1 膵間膜（Mesopancreas）の概念図

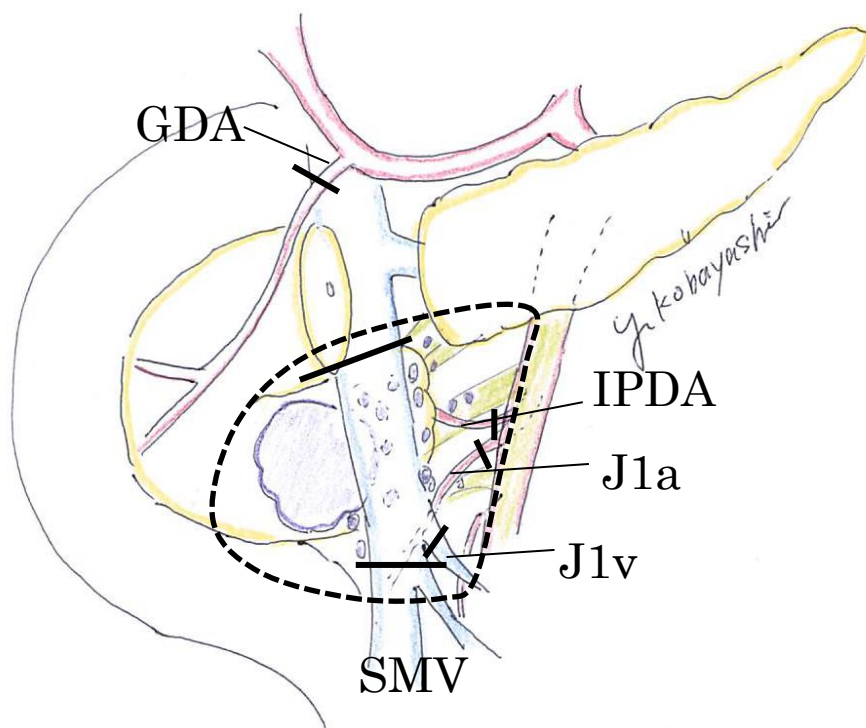


膵頭部とSMAの間の神経叢、リンパ管、結合織と、この内に含まれるIPDAと第一空腸動脈（J1a）、第一空腸静脈（J1v）をmesopancreas（膵間膜）とする。

略語：IPDA；下膵十二指腸動脈、J1a；第一空腸動脈、J1v；第一空腸静脈、Mesopancreas；膵間膜

膵癌取り扱い規約第6版から一部改変して引用<sup>39</sup>

図2 SMV合併切除を要する膵頭部癌の切離血管と郭清範囲



膵癌は膵頭神経線維に沿って浸潤する傾向があるため、SMV合併切除とともに点線の範囲、すなわちmesopancreasを郭清する。

略語：GDA；胃十二指腸動脈、IPDA；下膵十二指腸動脈、J1a；第一空腸動脈、J1v；第一空腸静脈

## 第2節 血管解剖の理解の歴史と変遷

膵臓領域の血管解剖の理解は、造影CTの登場以前と、以降でそのアプローチ方法は大きく変化した。CTが登場する1970年代以前は、主に解剖所見と臓器検体の脈管鑄型標本を基にして膵頭部領域の解剖が記述されていた。Woodburneらは1951年の論文<sup>40</sup>で、胃十二指腸動脈（GDA）、下膵十二指腸動脈（IPDA）から形成される膵頭部の二重の動脈弓（アーケード）や、背側膵動脈、横行膵動脈の分枝様式について記述しているが、空腸動脈枝については記述がみられなかった。1950年にDouglassらが記した、門脈系とその分枝に関する論文<sup>41</sup>では、門脈、SMV、脾静脈や、上・下膵十二指腸静脈といった小分枝までその径と長さの測定を行っていた。今日の理解と若干異なる点として、SMVの末梢において「Right colic vein, 右結腸静脈」、「Ileocolic vein, 回結腸静脈」の順に合流し、そして太い「Middle colic vein, 中結腸静脈」が末梢の本幹にあたる脈管として描かれている。空腸静脈枝については詳述が見られなかった。また、Falconerらは1950年の論文<sup>42</sup>で、IPDAとJAが共通幹を形成する様を記述している。そしてSMVが、遠位回腸や上行結腸から還流するright trunkと、近位空腸から「several tributaries」を経て還流するleft trunkの二分岐を形成する様子を記述しており、今日の解剖理解のイメージに極めて近い図が付されている。

また、9例（33.3%）にleft trunkがSMA腹側を走行して膵下縁で脾静脈近傍の高位でSMVに合流する様式が存在することを記述しているが、複数存在するSMV走行の亜型の一つとして捉えており、空腸静脈枝の系統的な分類はしていない。

血管造影が臨床応用され始めたのは1920年代になってからであるが<sup>43 44 45</sup>、膵臓外科領域では、1945年にWhipple、Blakemoreにより最初の門脈造影が行われた<sup>46 47</sup>。この際は開腹下の下腸間膜静脈経由の門脈造影であり、膵臓外科領域における最初の経血管的手技によるアプローチであった。これ以来、門脈系の造影による観察が実用化されていった。今日、術前の病変把握のために必須としているX線CT装置が初めて登場したのは1971年、ウィンブルドンのAtkinson Morely病院である。その後、血管造影剤を用いdynamic studyによる各血管位相における撮影、Multidetector-row CT (MDCT) の登場が相次ぎ、1990年代に入ってから3次元画像の再構築と、術前シミュレーションの臨床応用までが急速に普及して今日に至る。

Grafらは第一空腸静脈分枝の、分岐の方向に着目して「left branch」と定義し<sup>48</sup>、Katzらは、この第一分枝を大きな二分岐として捉えており、空腸枝を「jejunal branch」、対側を「ileal branch」と呼んでいる<sup>38</sup>。また、Hortonらは「mesenteric branch」と定義している<sup>49</sup>。また単純に「first jejunal vein」と定義している文献が比較的多かった<sup>50 51 52</sup>。これらの既報はいずれも1990年代以降の造影CTを用いた検討であった。CT装置の登場以前、以降のいずれの年代においても、膵頭部領域の血管解剖は多くの外科医の研究対象であり続け、様々な記述がなされてきた。しかし、空腸静脈枝の定義は依然一定ではなく、その分枝の本数や分岐様式、JAとの関連性の記述は見られなかった。またその還流領域と、切離の可否についての検討は見られなかった。

### 第3節 本研究の目的

本研究は2つの研究で構成されている。研究1では、「膵周囲の血管解剖様式の分類」と題し、対象症例のダイナミックCT画像をもとに、SMAから派出する空腸動脈（J1a,J2a,J3a...）とこれに伴走する空腸静脈（J1v,J2v,J3v...）を同定し、空腸静脈は複数分枝が束となって「空腸静脈幹（Jejunal venous trunk : JVT）」を形成しているという点とその還流領域に着目して、その分枝形態様式を分類した。研究2では「膵頭十二指腸切除術における空腸静脈幹切離の可否の検討」と題し、実際の手術症例において、この空腸静脈幹を安全に切離することが可能かについて、挙上空腸間膜のうっ血領域に着目して検討した。

## 第2章

### 研究1「膵周囲の血管走行様式の分類」

#### 第1節：研究1の背景

先述の通り、これまでPDの手技は、artery first approach、門脈合併切除や腹腔鏡下PDの登場と相まって多様化してきている。こうした動きの中で膵頭部に流入する動脈を早い段階で切離することで切除検体側のうっ血が回避され、総出血量が減少するという概念が一般的になった。膵頭部の動脈弓（アーケード）を支配するのは、腹側はGDA（胃十二指腸動脈）から、背側はIPDA（下膵十二指腸動脈）からである場合が多い（図3）。IPDAを早い段階で処理するのがartery-first approachの要所であるが、この際IPDAと共通幹を形成することが多い第一空腸動脈（J1a）の取り扱い施設によって異なるが、膵癌のように腫瘍からの断端を十分取りたい場合は、J1aとJ1a領域の近位空腸間膜（いわゆるmeso-duodenojejunum）ごと切除することが多い。この領域の解剖の複雑さはその3次元の立体構造に起因する。十二指腸水平脚からTreitz靱帯、空腸起始部に至る領域は、ヒトの胎生期において、原始腸係蹄がSMAを軸にして半時計方向に270度回転して成人の位置関係となる。この過程で動脈系はIPDAとJ1a、J2aがSMAを中心軸として回転が加わり3次元的な位置関係を形成する。また、この領域を還流すべくJAに伴走するJVにも、SMAを中心軸とした回転運動が加わり、特に近位ではSMAの背側をくぐり抜けてSMVに流入するか、SMA腹側を乗

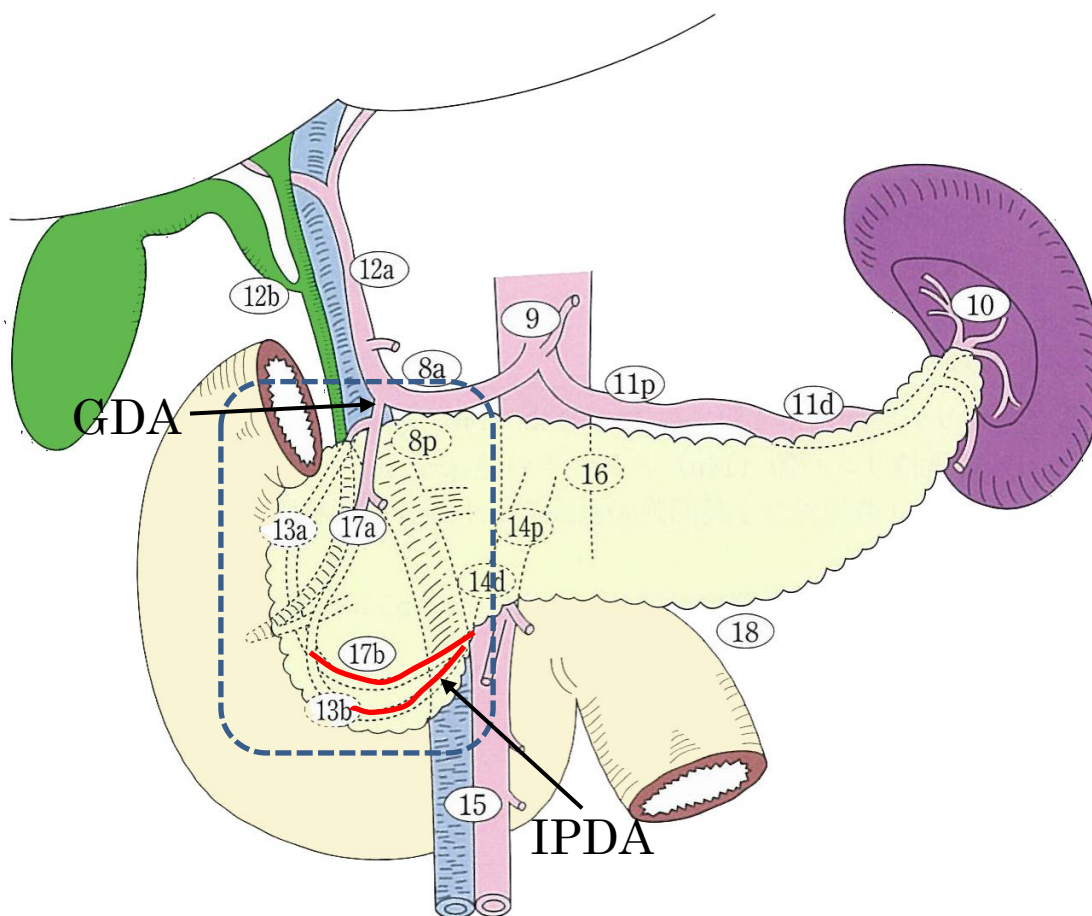


り越えるようにしてSMVに流入するか、といった複雑な走行様式を呈する。

空腸動脈の切離はすなわち、その支配領域の阻血を意味する。空腸辺縁動脈を介しての血流供給の期待はできるが、一般的には阻血領域の腸管は切除することが多い。また、空腸静脈においては、切離した場合その還流領域（Mesenteric tributary area）が問題になってくる。肝臓外科においては肝静脈の切離によるうっ血域の肝機能が低下していることが示唆され<sup>53</sup>、肝機能の低い症例において広範囲の残肝うっ血域が生じる場合、その還流域の肝静脈再建を行うべきとされている<sup>54 55</sup>。しかしながら、門脈系、特に空腸静脈の切離によるうっ血領域についての検討はこれまで少数の動物実験<sup>56 57</sup>や、症例報告の既報<sup>58 59</sup>がある程度であり知られていない。

空腸動脈・静脈は複数の分枝が存在し、その定義づけはこれまで既報の中でも一定ではなかった。これはすなわち、SMV末梢の分岐様式は、破格や様式が多数存在し、研究者によって多くの見解があるということに他ならない。第一分枝をJ1a、J1vと定義している既報が多いが、多くの症例で空腸静脈第一分枝は共通幹となっていることに注目している研究は少ない。

図3 膵頭部の動脈弓



略語：GDA；胃十二指腸動脈、IPDA；下膵十二指腸動脈

腹側、背側の2つの動脈弓を形成して膵頭部および、Vater乳頭に供血する。

膵癌取り扱い規約第6版から一部改変して引用<sup>39</sup>

## 第2節：研究1の方法

### 第1項 患者背景

2014年1月から2016年8月の間、東京大学医学部附属病院肝胆膵外科で開腹下での膵頭十二指腸切除術を134人の患者に対して実施し、これらを研究対象とした。疾患の内訳は膵癌55人、胆管癌15人、膵管内乳頭状粘液性腫瘍（IPMN）23人、Vater乳頭部癌18人、神経内分泌腫瘍5人、他の新生物8人であった。これら134人の術前のダイナミックCT画像を後方視的に見直し、腫瘍浸潤や不適切な造影タイミングの問題で血管解剖がはっきりしなかった11人（8.2%）を除外して、残りの123人を最終的な検討対象とした。

この後ろ向き研究は研究課題名「肝胆膵領域悪性腫瘍および良性疾患の治療成績・長期予後に関する研究」（当院倫理審査番号：2158-（6））」として東京大学大学院医学系研究科の倫理委員会の許可を得ており、全患者から書面にて同意を取得している。なお、本研究に関して開示すべき利益相反はない。

## 第2項 ダイナミックCT画像からの血管解剖様式の同定

術前CT画像は全例、64列のMultidetector-row CT装置を用いて、膝ダイナミックプロトコルによって撮影した。東大病院の膝ダイナミックプロトコルは、まず単純CTを撮影したのち、ヨード造影剤（350-370 mgI/ml, 体重kg×2 ml）を30秒間で急速静注し、ボーラストラッキング法（下行大動脈をリアルタイムに高速撮影しながら、造影剤が到達したら本撮影スタート）で動脈相を撮影する。続いて膝実質相を静注開始から45秒後に撮影、静注開始から120秒後に静脈相を撮影するという手順にて行っている。

検者1名（小林）が、各患者の矢状断、冠状断の1mmスライスの画像を読み影し、血管走行様式を同定した。本研究の要である空腸静脈の分枝を定義するにあたり、まず、流入する動脈と還流する静脈は基本的に伴走するため、空腸動脈分枝に伴走する静脈分枝を対（セット）で捉え、動脈枝と静脈枝の標識を一致させることとした。

SMAから派出する空腸動脈（JA）を、動脈優位相で同定し、根部側（近位側）から順にJ1a、J2a、J3a、、、と標識していった。枝が直後に2分岐する場合は、これに空腸静脈が伴走して対（セット）になっている場合は個別に標識した。この際、多くの場合J1aと共通幹をなす下膝十二指腸動脈（IPDA）や、中結腸動脈（MCA）を誤認しないよう注意した。続いて、SMVに流入する空腸静脈（JV）を門脈優位相または後期相で同定し、伴走するJAの標識に合わせてJ1v、J2v、J3v、、、と標識してい

った。最も近位よりSMVに流入する複数のJVsを有する共通幹を順に第一空腸静脈幹

(1stJVT:jejunal venous trunk)、第二空腸静脈幹(2ndJVT)と定義した。(図4、5)

この際、下腸間膜静脈(IMV)をJVと誤認しないよう注意を払った。冠状断画像を

用い、SMV-JVT合流部で1stJVTの径が最大になるスライスにおいて、CT画像閲覧シ

ステムに導入されている距離測定機能を用いて測定した。(図6)

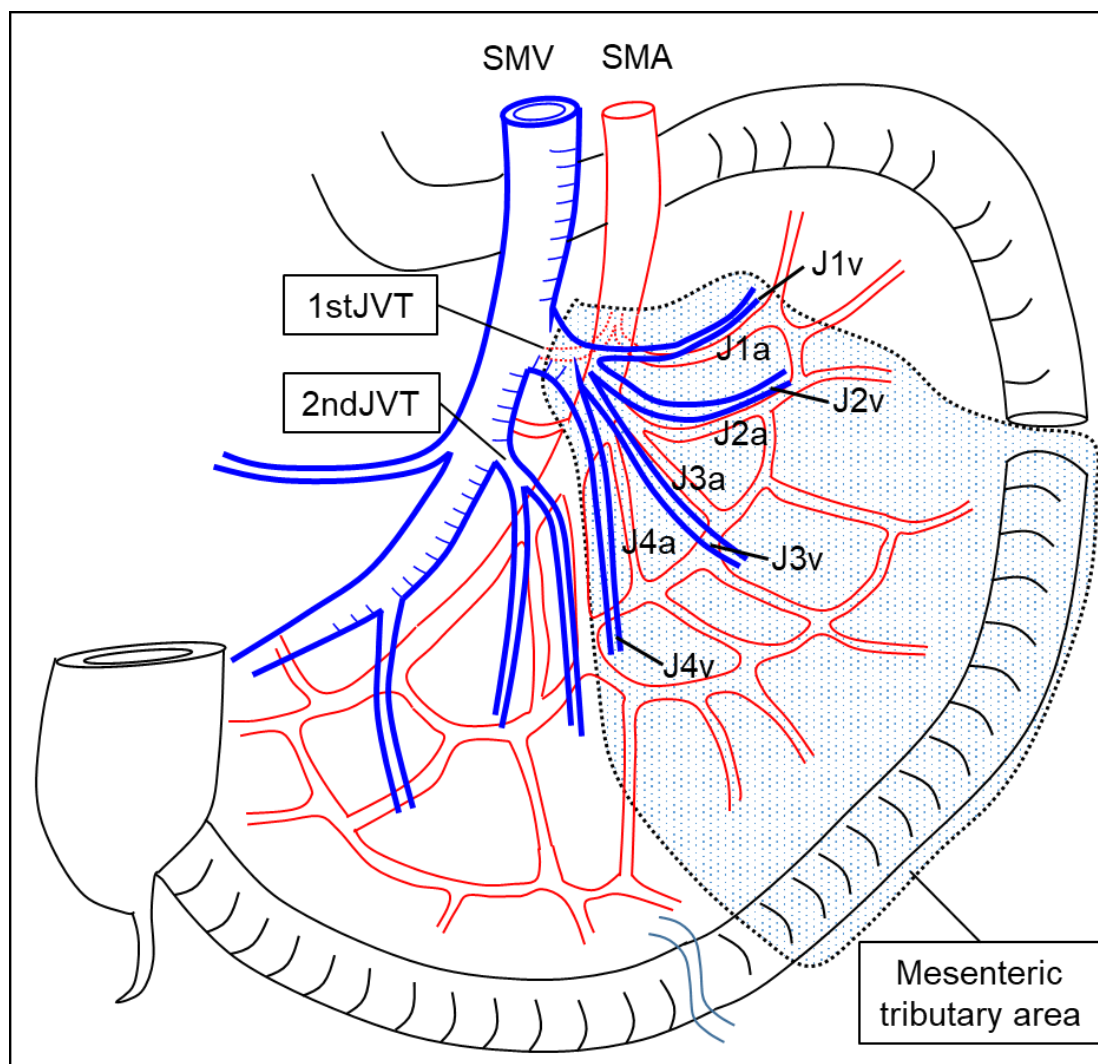
1stJVTは実際の手術の際、SMAの背側を走行するdorsal typeは同定しづらく、あえて

テーピングしない場合が多い。これに対し、腹側を走行するventral typeは容易にテー

ピング可能だが、損傷に注意が必要であるため臨床的にこの2分類は重要と考えた。

(図7)

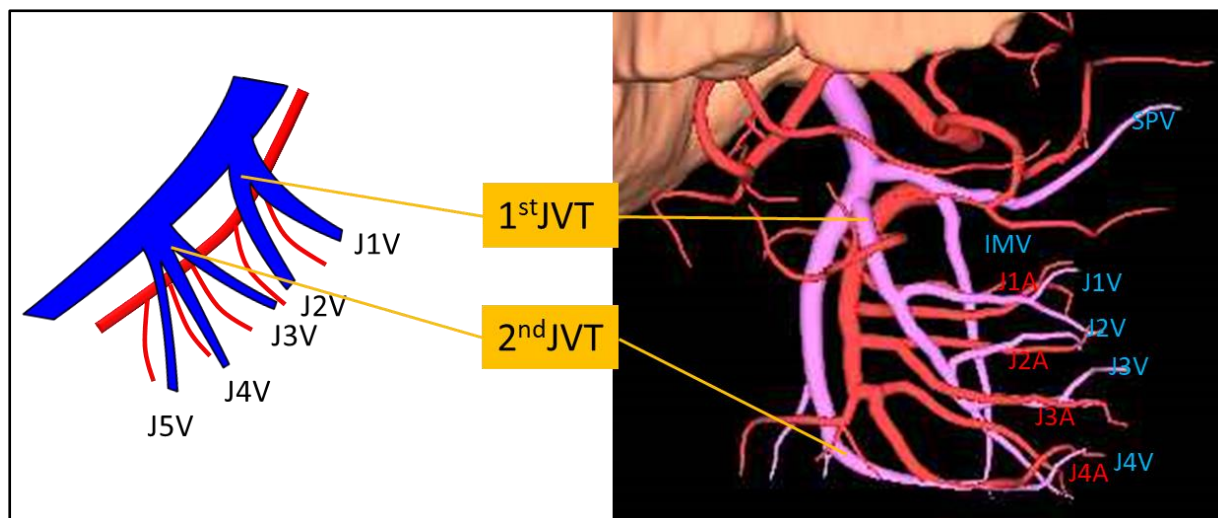
図4：空腸静脈系の解剖図と mesenteric tributary area



SMA、SMVから派出する空腸動・静脈とその還流領域“Mesenteric tributary area”の概念図

略語：SMV；上腸間膜静脈、SMA；上腸間膜動脈、J1a；第1空腸動脈、J2a；第2空腸動脈、J3a；第3空腸動脈、J4a；第4空腸動脈、J1v；第1空腸静脈、J2v；第2空腸静脈、J3v；第3空腸静脈、J4v；第4空腸静脈、1stJVT；第1空腸静脈幹、2ndJVT；第2空腸静脈幹

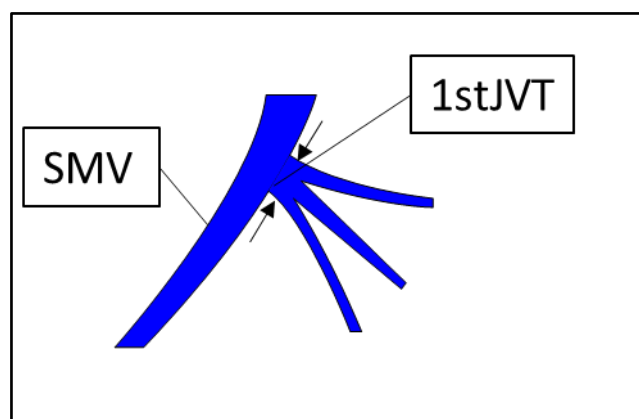
図5: 1stJVTと2ndJVT



CT画像をもとに術前シミュレーションソフトSYNAPSE VINCENT®（富士フィルム）を用いて3次元構築した膵周囲の血管像

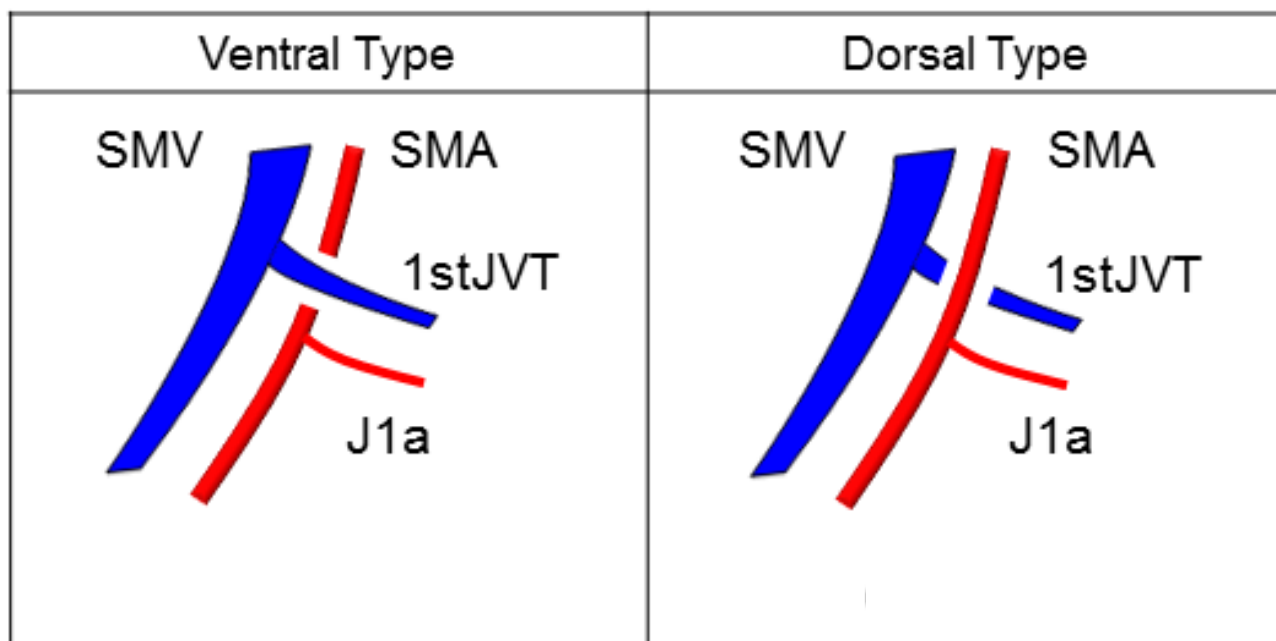
略語：SPV；脾静脈、IMV；下腸間膜静脈、1stJVT；第1空腸静脈幹、2ndJVT；第2空腸静脈幹

図6：1stJVTの径



SMV から 1stJVT が派出する根部で径を測定した。（矢印）

図 7 : Ventral type と Dorsal type



Ventral type : 1stJVT が SMA 腹側を走行するタイプ

Dorsal type : 1stJVT が SMA 背側を走行するタイプ



### 第3項 統計分析

測定値などの連続データにはgeneralized Wilcoxon runk-sum testを用い、割合にはFisher exact testまたはカイ二乗検定を用いた。統計学的有意差は $P$ 値が0.05未満の時とした。統計解析はすべてJMP pro 12.0.0 ; software (SAS Institute Inc., Cary, NC)を使用した。

### 第3節：研究1の結果

#### 第1項 患者背景

研究対象とした 123 人の患者背景は表 1 に示される。男女比は 77 人対 46 人で、年齢の中央値は 70 歳（32 歳-86 歳）であった。疾患の内訳は膵癌（浸潤性膵管癌）55 人、胆管癌 15 人、膵管内乳頭状粘液性腫瘍（IPMN）23 人、Vater 乳頭部癌 18 人、神経内分泌腫瘍 5 人、他の新生物 8 人であった。

表 1 患者背景


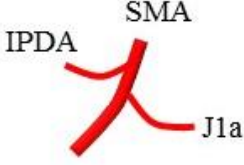





術前の患者背景	
年齢, 歳	70 (32-86)
性別 (男性/女性)	77/ 46
Body mass index, kg/m <sup>2</sup>	21.6 (16.5-31.7)
疾患	
膵癌*	55 (44.7)
胆管癌	15 (12.2)
膵管内乳頭状粘液性腫瘍 (IPMN)	23 (18.7)
Vater 乳頭部癌	18 (14.6)
神経内分泌腫瘍	5 (4.1)
その他†	8 (6.5)
*膵癌と胆管癌の重複癌患者が 1 人あった。	
†Serosus cystic neoplasms (SCN) が 2 人, Gastrointestinal stromal tumor (GIST) が 2 人, 腎癌膵転移が 1 人, Intraductal tubulopapillary neoplasm (ITPN) が 1 人、Solid pseudopapillary tumor (SPT) が 1 人であった。	

## 第 2 項 上腸間膜動脈と空腸動脈の解剖

SMA から派出する JA 第一分岐の様式を分類するにあたり、実際の手術手技に即した有用な分類方法とするため、Horiguchi らの研究に準じて、IPDA と JA が共通幹を形成するタイプ I と、IPDA と JA が独立に分枝するタイプ II に分類した<sup>60, 61</sup>。

タイプ I は 66.7%、タイプ II は 33.3%に見られた。さらに、共通幹から分岐する JA 枝の本数によって I と II のグループを図 8 のように細分化した。最も頻度が高いのは IPDA と J1a のみが共通幹のタイプ I a で 56.9%を占めた。次に頻度が高いのは IPDA と J1a が別分岐になるタイプ II a で 23.6%を占めた。タイプ I、II それぞれに J1a～J4a が共通幹を形成する亜型が存在した。

図 8 JA 第一分岐 (1st-order branch) の様式

IPDA と JA が共通幹		IPDA と JA が別分岐	
TypeI (Common trunk of JAs and IPDA)		TypeII (JAs individually branched)	
Type Ia  n=70 (56.9%)		Type IIa  n=29 (23.6%)	
Type Ib  n=11 (8.9%)		Type IIb  n=7 (5.7%)	
Type Ic  n=1 (0.8%)		Type IIc  n=4 (3.3%)	
		Type IIId  n=1 (0.8%)	

略語： SMA；上腸間膜動脈、IPDA；下脛十二指腸動脈、J1a；第1空腸動脈、J2a；第2空腸動脈、J3a；第3空腸動脈、J4a；第4空腸動脈

### 第3項 第一空腸静脈幹の解剖

空腸静脈の解剖に関しては、先述した空腸動脈の標識をもとに様式分類した。J○a

に伴走する JV を J○v と定義することとした。第一分岐 (1st order-branch)

を 1st jejunal venous trunk (1st JVT) 、第二分岐 (2nd order-branch) を 2nd JVT と

定義した。1st JVT の 87.8% は複数の JV 分枝を含む共通幹を形成しており、2 本、3

本、4 本以上を含むものがそれぞれ約 30% 程度を占めていた。(図 9)

1st JVT に関しては、Ventral type が 36.6% (45/123)、Dorsal type が 63.4% (78/123)

の頻度であった。

また、1st JVT の径について表 2 に示す。Ventral type、Dorsal type とともに、分枝本数

が増えるほど径が太くなった。分枝数の中央値は 3 本 (1-5) であった。Ventral type

7.58mm (3.71-13.9) 対 Dorsal type 7.83mm (3.52-12.9) であり、有意差は認めな

かった ( $p=0.956$ )。複数枝を有する頻度は Ventral type (80.0%) よりも Dorsal type

(92.3%) の方が有意に高かった。 ( $p=0.045$ )

1st JVT の径と分枝数の関係について検討を行った。分枝数が 4 本以上であるか、4

本未満であるかの頻度と、1st JVT の直径の関係を解析すると、直径 7mm をカットオ

フ値としたときに、有意に  $p$  値が最小を示した。JV の分枝の本数と、1st JVT の直径

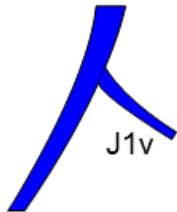
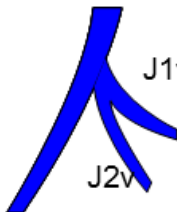

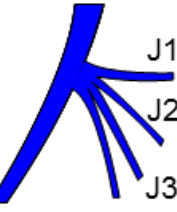

(7mm 以上か、7mm 未満か) の詳細を表 3 に示す。

1st JVT が 7mm 以上の場合、4 本以上の分枝を持つ頻度は 42.1% (32/76) 、1st JVT

が 7mm 未満の場合、4 本以上の分枝を持つ頻度は 4.3% (2/47) であった。

Ventral type、Dorsal type のいずれにおいても JV の分枝の本数（4 本以上か、4 本未満か）は、1stJVT の直径（7mm 以上か、7mm 未満か）に有意に相関していた。（ $p=0.010$   $p<0.001$ ）

図 9 第一空腸静脈幹（1stJVT）の分岐様式

				
<p>n=15 (12.2%)</p>	<p>n=37 (30.1%)</p>	<p>n=37 (30.1%)</p>	<p>n=29 (23.6%)</p>	<p>n=5 (4.1%)</p>

略語：SMV；上腸間膜静脈、J1v；第1空腸静脈、J2v；第2空腸静脈、J3v；第3空腸静脈、J4v；第4空腸静脈、J5v；第5空腸静脈

表 2. 1stJVT の SMA に対する位置と、分枝数、径

	Ventral Type (n=45)		Dorsal Type (n=78)		<i>p</i>
	No. (%)	直径	No. (%)	直径	
<b>J1v</b>	9 (7.3)	6.28 (4.69-11.4)	6 (4.9)	4.99 (3.52-6.86)	0.141
<b>J1v+J2v</b>	12 (9.8)	7.14 (3.71-11.8)	25 (20.3)	7.30 (4.33-12.5)	0.910
<b>J1v+J2v+J3v</b>	8 (6.5)	6.86 (5.48-12.7)	29 (23.6)	7.58 (3.91-12.9)	0.472
<b>J1v+J2v+J3v+J4v</b>	15 (12.2)	8.33 (6.10-13.9)	14 (11.4)	9.12 (7.57-11.5)	0.616
<b>J1v+J2v+J3v+J4v+J5v</b>	1 (0.8)	11.7	4 (3.3)	8.54 (8.04-12.0)	0.724
<b>Total</b>	45 (36.6)	7.58 (3.71-13.9)	78 (63.4)	7.83 (3.52-12.9)	0.956

表 3. 1stJVT の分枝本数と径 ( $\geq 7$  mm or  $< 7$  mm) の関係

1stJVT の径	Ventral Type (n=45)			Dorsal Type (n=78)		
	$< 7$ mm	$\geq 7$ mm	<i>p</i>	$< 7$ mm	$\geq 7$ mm	<i>p</i>
<b>J1v</b>	6 (4.9)	3 (2.4)	0.010*	6 (4.9)	0	$< 0.001^*$
<b>J1v+J2v</b>	6 (4.9)	6 (4.9)		10 (8.1)	15 (12.2)	
<b>J1v+J2v+J3v</b>	4 (3.3)	4 (3.3)		13 (10.6)	16 (20.5)	
<b>J1v+J2v+J3v+J4v</b>	2 (1.6)	13 (10.6)		0	14 (11.4)	
<b>J1v+J2v+J3v+J4v+J5v</b>	0	1 (0.8)		0	4 (3.3)	
<b>Total</b>	18 (14.6)	27 (22.0)		29 (23.6)	49 (39.8)	



#### 第4項 第二空腸静脈幹の解剖

2ndJVT に関しては Ventral type が 35.0% (43/123)、Dorsal type が 65.0% (80/123)

の頻度であった。またその径は Ventral type 6.40mm (3.63-13.1) 対 Dorsal type

7.1mm (3.1-13.5) であり、有意差は認めなかった ( $p=0.060$ )。

分枝数によって 2ndJVT の形態を様式分類したものを図 10 に示す。

2ndJVT が単独枝であるものは 41.5% (51 人) であり、そのうち J5 単独枝のものが

最多で 21.1%を占めた。また、2 本の分枝を含むもの (J2+J3、J3+J4、J4+J5) が


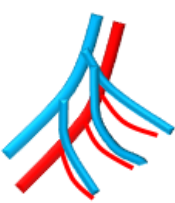

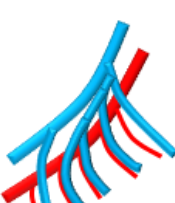
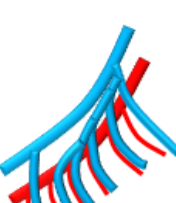
41.5% (51 人) であった。

また、2nd JVT の径について表 4 に示す。Ventral type、Dorsal type とともに、分枝本数

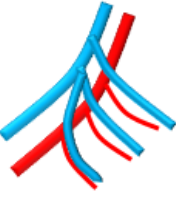
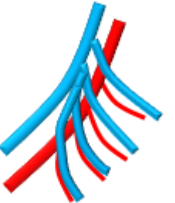
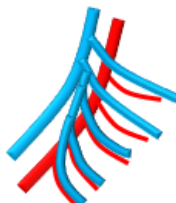
が増えるほど径が太くなった。分枝数の中央値は 2 本 (1-4) であった。Ventral type

6.5mm (3.6-13.1) 対 Dorsal type 7.1mm (3.1-13.5) であり、有意差は認めなかつ

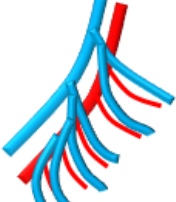

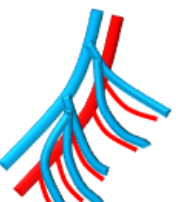

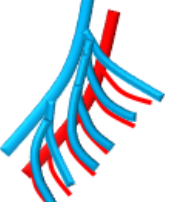
た ( $p=0.065$ )。複数枝を有する頻度はいずれもほぼ同等であった。

				
J2単独	J3単独	J4単独	J5単独	J6単独
n=2 (1.6%)	n=9 (7.3%)	n=11 (8.9%)	n=26 (21.1%)	n=3 (2.4%)

				
J2+J3	J2+J3+J4	J2+J3+J4+J5		
n=4 (3.3%)	n=5 (4.1%)	n=3 (2.4%)		

				
J3+J4+J5+J6	J3+J4	J3+J4+J5	J4+J5	J5+J6(+J...)
n=1 (0.8%)	n=25 (20.3%)	n=6 (4.9%)	n=22 (17.9%)	n=4 (3.3%)

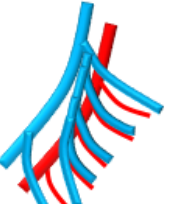

J6~
n=2 (1.6%)

図 10. 第二空腸静脈幹（2ndJVT）の分岐様式

表 4 2ndJVT の SMA に対する位置と、分枝数および径

	Ventral Type (n=43)		Dorsal Type (n=80)		<i>p</i>
	No. (%)	直径	No. (%)	直径	
分枝数					
1 本	18 (41.9)	5.6 (3.6-9.4)	33 (41.3)	6.5 (3.1-11.0)	0.071
2 本	19 (44.2)	6.9 (4.2-10.3)	35 (43.8)	7.1 (3.6-12.3)	0.441
3 本	6 (14.0)	9.2 (5.9-13.1)	8 (10.0)	8.9 (7.6-13.5)	0.606
4 本以上	0		4 (5.0)	9.8 (8.1-10.4)	
Total	43 (35.0)	6.5 (3.6-13.1)	80 (65)	7.1 (3.1-13.5)	0.065

## 第4節：研究1の考察

### 第1項 空腸動脈、空腸静脈の解剖様式の意義

先述のようにPDの際のartery first approach、門脈合併切除は標準手技として広まりつつある。こうした手技を安全に行うため、膵間膜（mesopancreas）内の血管解剖は極めて重要である。SMAの前面を乗り越えるように流入する空腸静脈の枝に出会うことはしばしば経験する。実際このようなventral typeは36.6%存在したが、SMV-脾静脈合流部の近くに空腸静脈枝が合流する場合は、SMA周囲の郭清の際に術野の妨げになることが多い。細いものは切離しても問題なさそうだが、膵下縁で二股に分岐して、径が太いものなどは安全に切離できるのか、という問いは多くの肝胆膵外科医が共有するところである。また研究2において後述されるが、研究期間中に、太い空腸静脈を切離したPD術後に、再建のために温存した挙上空腸が高度うっ血をきたし、再手術を行った症例を経験した。こうした背景から、いまだ明らかとなっていない空腸静脈系の解剖とその還流領域について詳細な検討が必要と考えた。

まず動脈系の様式分類に関して、artery first approachを行うにあたり、膵頭部への流入血を遮断することが重要であり、IPDAの同定と確保が最優先される。IPDA単独の場合は41人（33.3%）にみられたが（図8）、この場合IPDAの結紮切離に際して、JAを拾ってしまう危険性は低くなり、SMA周囲剥離の段階で空腸間膜の動脈フローが失われることはない。しかし、IPDAとJAが共通幹を形成している82例（66.7%）に関してはIPDAとJAを個別に確保する、より繊細な手技が必用である（図8）。

空腸静脈に関しては、その大部分の87.8%が多分枝を有する静脈幹であったという事実はこれまでにない新しい知見であった（図9）。「静脈幹」という呼び名はほかにも胃結腸静脈幹、すなわち「Henleの静脈幹」にみられ、腓下縁のメルクマールであると同時に、これの結紮切離はPDにおける重要な局面である。1stJVTもHenleの静脈幹と同様に分枝数において変異が豊富であり、術前のシミュレーションに欠かせない解剖の重要点であるといえる。

近年の画像モダリティの進歩、特にMDCTによる微小血管の描出と、3次元像の構築技術により、SMAから派出する腓周囲の動脈群に関しては詳細な解剖学的知見が得られてきた<sup>60 61</sup>。これらの知見により、IPDAなどのSMAから腓頭部への流入血を先行して安全にコントロールすることが可能となり、多くの施設で安全に「artery first approach」が施行可能となった<sup>7 11, 13 17 18 10 62 14</sup>。しかしながら、腓頭部から十二指腸-空腸間膜の静脈解剖についての知見は未だ少ない。SMAの背側か、腹側かに分ける分類は既報に散見されるが<sup>63 64 65</sup>、その分枝数や還流域に注目した分類は見られず、PDの際に複数の空腸静脈枝を安全に切離できるか否か、については良く分かっていない。

SMVからの第一空腸分枝（本研究における1stJVT）は、14頁で述べたように、これまでの既報のなかで様々な定義で呼ばれてきており、一定の見解はない。複数の空腸静脈枝を有する1stJVTをやむなく切離する場合、その還流領域の空腸間膜はうっ血することが予想されるが、この点に言及した文献は検索した限りでは見当たら

なかった。また、こうした血管解剖に関する論文の多くは、解剖学、放射線診断学の研究者から発せられたものが多く、血管解剖の様式が実臨床においてどの様な意義をもつか、特に手術の際に切離しても安全かどうかといった、その取り扱いに関しては不明な点が多い。この点に関しては研究2で後述される。

## 第2項 径からみる分枝数の予測

本研究1で1stJVTの径の太さと、その分枝数は相関していることが分かった。4本以上の分枝数を含む1stJVTは、研究2で示される結果であるが高度うっ血をきたす例がみられ、これを切離するには注意が必要である。しかし、術中所見で分枝数とその還流領域を判断するのは困難である。研究1の結果から、術前CTで1stJVTの径7mmをカットオフ値として、JVの分枝数を予測できることが分かった。7mm以上の場合、42.1%の症例で4本以上の分枝数を含んでおり、これに対し、7mm未満の場合4本以上の分枝を含むのは4.3%にとどまった（表3）。よって、7mm以上の1stJVTを認めた場合はむやみに切離せず、温存するか、あるいは再建するかといった選択肢を検討せねばならない。症例毎に、CT画像から各造影相において空腸動脈、空腸静脈を追跡して分枝本数を数えることは非常に手間がかかり、実臨床においては現実的ではない。しかし、CT画像上の1stJVTの径から分枝数を予測できることは術前のシミュレーションにとって極めて有用である。

### 第3項 既報と結果の比較

「7mm」というカットオフ値の妥当性について、既報と照らし合わせて検討した。

欧米人のデータで、「First jejunal branch」の中央値は7.7–7.9mmであったという文献があり<sup>64</sup>、日本人のみを対象とした我々の結果と比較しても、僅差であると考えられた。また本対象患者群において、体格、性別とSMV、1stJVTの径の関連について検討を加えたところ、SMV本幹の径および1stJVTの径はBMIとは相関がみられなかった ( $r=0.06$ ,  $r=-0.01$ )。1stJVTの径を男女で比較したところ、中央値で7.67mm 対 7.79mm ( $p=0.1949$ ) で有意差は見られなかった。よって人種や性別、体格の差によらず、SMV、1stJVTの径はほぼ一定の範囲に収まっており、カットオフ値7mmは普遍性の高い値である可能性が示唆された。他人種における妥当性の検証が望まれるところである。また、1stJVTの径と、SMV本幹（1stJVT分岐部）の径の比について検討すると、1stJVT/SMV比は中央値0.85 (0.35-1.77) であり、分枝数と1stJVT/SMV比の間に相関関係は見られなかった ( $r=0.103$ )。1stJVTの方がSMV本幹より径が太いもの (1stJVT/SMV比 $\geq 1$ ) が、26.5%にみられ、1stJVTが4本以上の分枝を含む頻度は、1stJVT/SMV比 $\geq 1$ 群 (26.5%) で38.5%、1stJVT/SMV比 $< 1$ 群で (73.5%) では33.3% ( $p=0.746$ ) であり有意差はみられなかった。

また、1stJVTのSMAに対する位置関係 (ventral typeであるか、dorsal typeであるか) についての検討を行った。既報を参照すると、ventral typeの頻度は19%-41%と幅があったが<sup>38, 52, 64, 65</sup>、本研究対象群における36.6%という値は、この範囲内にあっ



た。ventral typeか、dorsal typeかについては既報でも言及されている場合が多く、実際に手術を施行する外科医、研究者たちの関心の高さが伺われる。近年Ishikawaらが、JAとJVの分枝数、そしてSMAとの位置関係についての論文を発表しており<sup>66</sup>、我々以外の施設でもartery first approachを執り行うにあたり、JAのみならずJVの解剖知識を必要とし、関心を示していることが分かる。しかし、そうした解剖知見をどのように実際の手術に生かすか、合併症予防にどう利用するかといった視点が重要である。

#### 第4項 研究1の制限

解剖学的所見はCT画像を丹念に読影することで様式分類している。thin sliceのCT画像であっても血管走行の連続性が追えないものや、重なり合って血管の標識ができないものなどは評価できなかった。また、空腸動静脈の分類に際し、分枝同士の分距離や、間隔といった客観性のある基準を設けることは困難であった。また検者が1名でありinterobserver agreementを示すことはできていないため、再現性の担保は困難である。そのため、なるべく分枝標識の条件を揃えるために冠状断のCT画像を用いて同一平面上で標識するようにし、造影不良や、癌浸潤による血管走行が不明であった11人（8.2%）は、当初の対象から除外した。また、小腸は腹腔内で蠕動により移動するため、撮像のタイミングによっては空腸へ向かう分枝が「折り重なって」しまい、読影が困難になる。

微細な血管まで描出できる解像能をもったCT装置の登場が待たれるのは言うまでもないが、3D像の構築技術のさらなる進歩によって、空腸静脈枝の還流領域を推定できるようになることが望ましい。近年AI（人工知能）の医療分野への導入が徐々に始まっている<sup>67,68</sup>。血管解剖様式を自己学習させて術前シミュレーションに利用できる日が近いかもしれない。

### 第3章

#### 研究2「膵頭十二指腸切除術における空腸静脈幹切離の可否の検討」

##### 第1節：研究2の背景

##### 第1項 膵頭十二指腸切除術と血管合併切除・再建の歴史

1898年イタリアの整形外科医Codivillaが実施したPDが世界初とされ、その後、ドイツ人Kauschが閉塞性黄疸を呈した患者に対し、まず胆嚢空腸吻合で減黄を図り、その後二期的にPDを行う方法を1909年に報告した<sup>69</sup>。しかし、これらの術式は膵液漏や胆管炎頻度が高く、ほとんどの症例が在院中に死亡していた。その後米国人外科医のWhippleが、減黄目的の一期手術の後、二期手術時にPDを行い、主膵管を結紮して膵断端を閉鎖する二期的Whipple手術を考案し、1935年に論文化した<sup>5</sup>。この方法では膵外分泌能は失われるが、縫合不全による膵液漏は減少し、死亡率は38%であったという。そして5年後の1940年にいわゆる「古典的Whipple手術」と呼ばれている一期的PDがWhippleによって実施された。胃遠位部と膵頭部、胆管を切除して一期的に胃空腸吻合、胆管空腸吻合を行い、主膵管を結紮する方法を1945年に論文発表した<sup>70</sup>。Whippleは10年間で計19例の一期的PDを行いその死亡率は31%であったという。この論文発表以降、抗菌薬の普及や手術手技の洗練、麻酔技術の発達も相まって膵頭部病変に対する一期的PDは急速に普及していった。20世紀中では特に膵癌に対する有力な補助療法が見出されていなかったため、手術手技の改善による拡大郭

清へと推移していった。その嚆矢となったのはFortnerらによって提唱された後腹膜、大動脈周囲リンパ節、神経叢の広範郭清を伴うPDである<sup>71</sup>。拡大手術による根治性を追求する一方、その侵襲度の高さから高率な合併症が問題となり始めていた。2000年前後に相次いで標準手術と拡大手術を比較したRCTが発表され<sup>72 73 74</sup>、いずれも標準手術と比べて拡大手術は長期予後の改善が得られず、合併症率の増大傾向が示唆された。本邦でも二村らが同様のRCTを行ったが、前者とほぼ同様の結果となり<sup>75</sup>、これ以降本邦でも拡大郭清は控え、現在の主流である標準的な2群リンパ節までの範囲の郭清に落ち着いた。こうした膵癌に対する根治性を目指した郭清範囲の検討と並行して、artery-first approach、門脈合併切除といった手技が広まった。また、他分野の手術が腹腔鏡手術に向かうのと同様に、多くの施設で膵臓外科手術に腹腔鏡導入の試みが始まった。腹腔鏡膵手術は1994年にGagnerらが腹腔鏡下PDおよびDPを発表したのが最初である<sup>76</sup>。その後さまざまに術式の改良が加えられ、現在本邦ではいずれの術式も保険収載されるまでに至っている。PDは、前述のWhippleの古典的PDを端緒として、様々な術式、再建方法が考案され、改良を積み重ねられて今日に至った。なかでも門脈（SMV）の合併切除、再建はR0切除を達成し、集学的治療と併せることにより予後改善を期待できる重要な手技である<sup>77 25 26 23</sup>。門脈、SMV本幹の再建は必須であり、端々で吻合する方法や、グラフトを用いる方法などが考案されてきた<sup>78 79 80</sup>。Katzらの報告によると、SMVから派出する第一分枝はIleal branch とJejunal branchに分かれる。（この場合Jejunal branchが1stJVTに相当するが、

末梢の分枝については言及されていない。) これらのうち片側一方の血流が保たれていれば、もう片側一方は再建なしに切離しても安全としている。すなわち、Ileal branch、Jejunal branchは一方だけならば、切離しても再建不要であると述べている。またその理由として技術的に再建が困難であるためとしている。彼等の主張は、腸間膜の辺縁（マージナル）静脈を介した腸間膜全体の静脈網が還流を維持するため、うっ血を回避できるという概念に基づいている。こうした腸間膜辺縁の静脈網は、多くの場合十分有効であると考えられているが、実際にその静脈網の連続性についての客観的な記述は見られない。腸管近傍では直動脈、直静脈となって腸管にむけて垂直に血管が走行するので水平方向の連続性については定かではない。

## 第2項 臍頭十二指腸切除術の合併症について

PD後の合併症は臍液漏、胃排泄遅延、胆汁漏、吻合部潰瘍、胆管炎、吻合部リークなどが知られている。重篤なものとしてはやはり臍空腸吻合部からの臍液漏であり、その発症頻度は5-20%とされ<sup>81 82 83 73 84 85 86</sup>、生命予後に直結する合併症として重要視されている。各合併症の責任箇所に着目してみると、PDの再建の要である臍管空腸吻合、胆管空腸吻合はいずれも挙上空腸弧に作るため、挙上空腸のviabilityはこれらの合併症との関連において重要である。しかし、これまでこの挙上空腸に関連する合併症に着目した既報は見られなかった。本研究2では、臍・胆管空腸吻合の縫合不全、胆管空腸吻合の狭窄、挙上空腸うっ血、挙上空腸からの出血を「挙上空腸関連合併症」と定義し、その発生機序とリスクが、挙上空腸の血流動態と関連があるかどうかを探索することとした。挙上空腸への動脈血流は、J1a、J2aといった近位の温存された空腸動脈から供血される。虚血であれば色調変化で判断できる場合が多くほとんど問題にならないが、うっ血状態をリアルタイムに評価することは困難であり、多少の浮腫程度であれば許容して再建に用いることがほとんどである。またそうしたうっ血の程度によって、短期成績、中長期成績に与える影響は不明である。これまで、PDの術後合併症の原因を考えるうえで挙上空腸のviabilityについて論じた既報は、検索する限りでは確認できなかった。虚血は明らかに可否が分かれる条件であるが、より手術の安全性を高めるうえで、うっ血に関する理解、その解剖学的な成因については詳細に検討する必要がある。

## 第2節：研究2の方法

### 第1項 患者背景

研究1と同じ症例群123人を対象とした。これらの各症例の手術記載から門脈系の血管切除・再建の有無を拾い上げ、患者カルテから術後合併症や術後の各種パラメータに関するデータベースを作成し、空腸静脈幹の切離の有無と、合併症との関連性について検討した。

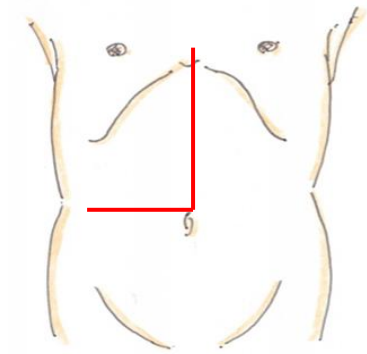
この後ろ向き研究は研究課題名「肝胆膵領域悪性腫瘍および良性疾患の治療成績・長期予後に関する研究」（当院倫理審査番号：2158-（6））」として東京大学大学院医学系研究科の倫理委員会の許可を得ており、全患者から書面にて同意を取得している。である。なお、本研究に関して開示すべき利益相反はない。

## 第2項 脾頭十二指腸切除の実際

対象期間においては、PDの標準術式は亜全胃温存PD（Sub-total stomach preserved PD: SSPPD）であった。脾癌に対してはSMA周囲神経叢の郭清と、J1aが供血する領域の空腸間膜を切除範囲とした。胆管癌、乳頭部癌、その他の新生物に対してはJ1a領域を切除範囲とするかは執刀医に一任されていた。1stJVTは、直接浸潤を受けている場合はこれを切離し、またSMA周囲の十分な視野を得るためにも必要に応じて切離した。またPV/SMVの切離、再建は腫瘍の浸潤に応じて、R0を得るために適宜実施した。SMVの本幹の温存、再建は必須とした。挙上空腸弧を、後結腸経路で肝門に向けて誘導し、脾空腸吻合、胆管空腸吻合においてChild変法にて再建した。脾空腸吻合は、脾管外瘻チューブを主脾管に入れて、柿田変法にて行った<sup>87</sup>。胃空腸吻合は、前結腸経路でBillroth II法にて行い、Braun吻合もおいた。空腸盲端から、減圧用外瘻チューブを挙上空腸内に挿入した。

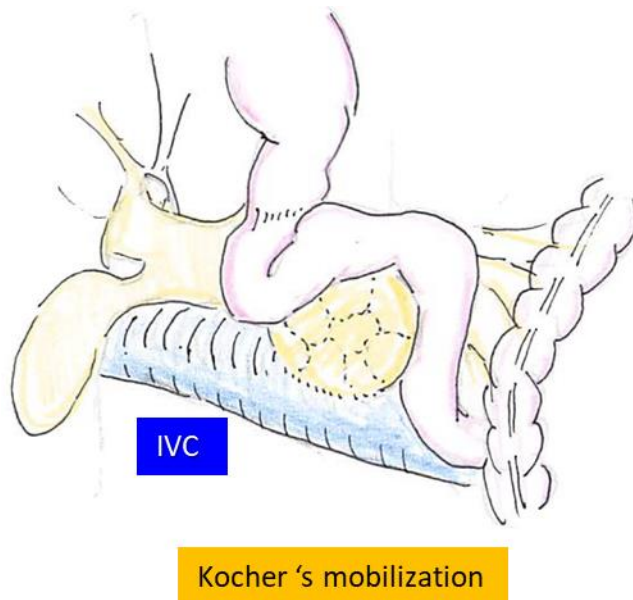


脾頭十二指腸切除（門脈合併切除・再建）の術式 手技の実際  
図 11-1



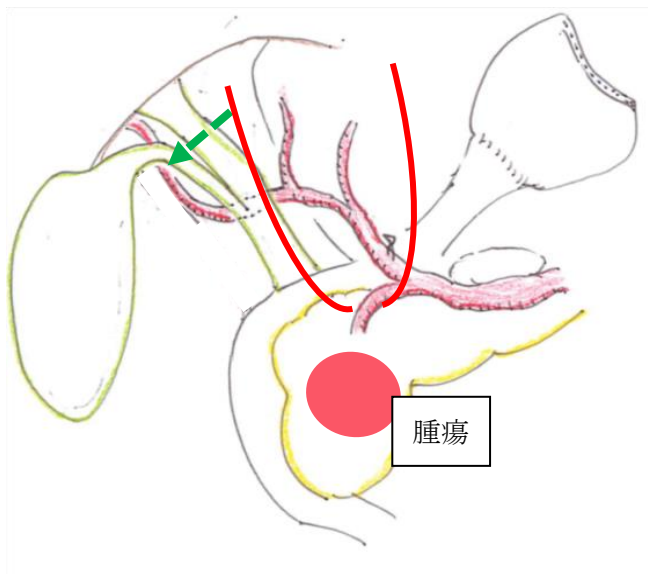
正中、あるいは逆L字切開で開腹する。

図 11-2



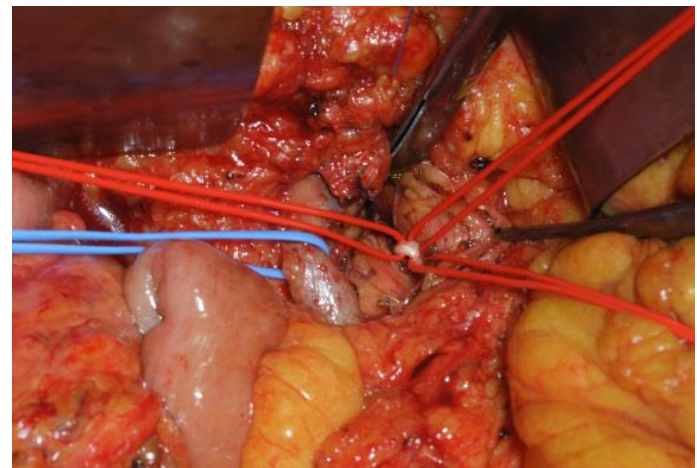
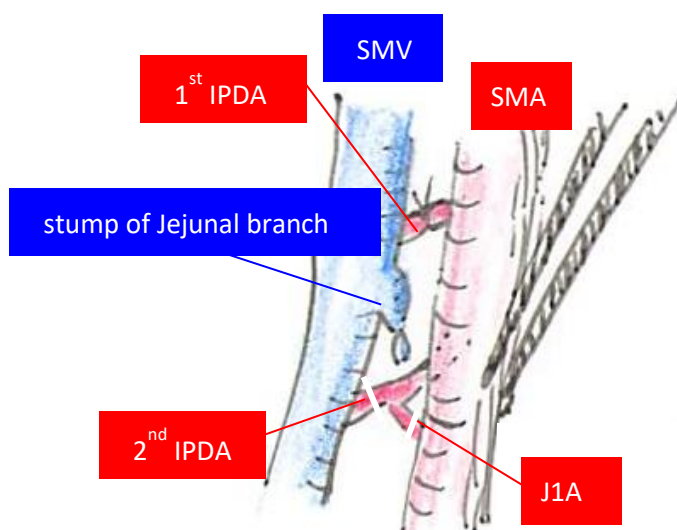
播種など非治癒因子が無いことを確認した後 Kocher 授動を行い、必要に応じ傍大動脈リンパ節のサンプリングを行う。

図 11-3



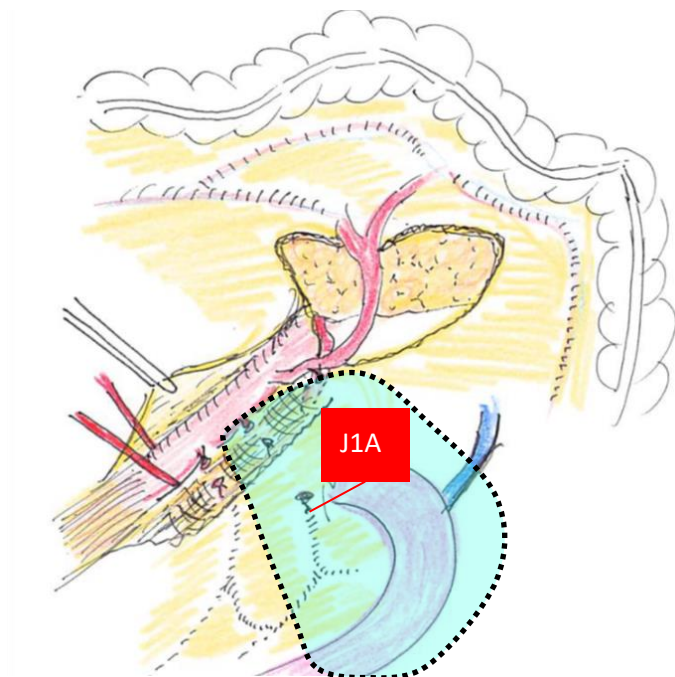
まず胆摘を行い、右胃動・静脈を切離し、その背側で固有肝動脈、左右肝動脈、中肝動脈を確保する。続いて肝十二指腸靱帯右側から総胆管を同定、門脈も同定し、肝側胆管を切離する。総肝動脈、固有肝動脈を頭側に牽引しながら胃十二指腸動脈（GDA）の根部を伸展させ、これを確保する。クランプテストの後に結紮、切離する。LN#8a,p #12p,b は enblock に郭清し、こののち胃を切離する。

図 11-4



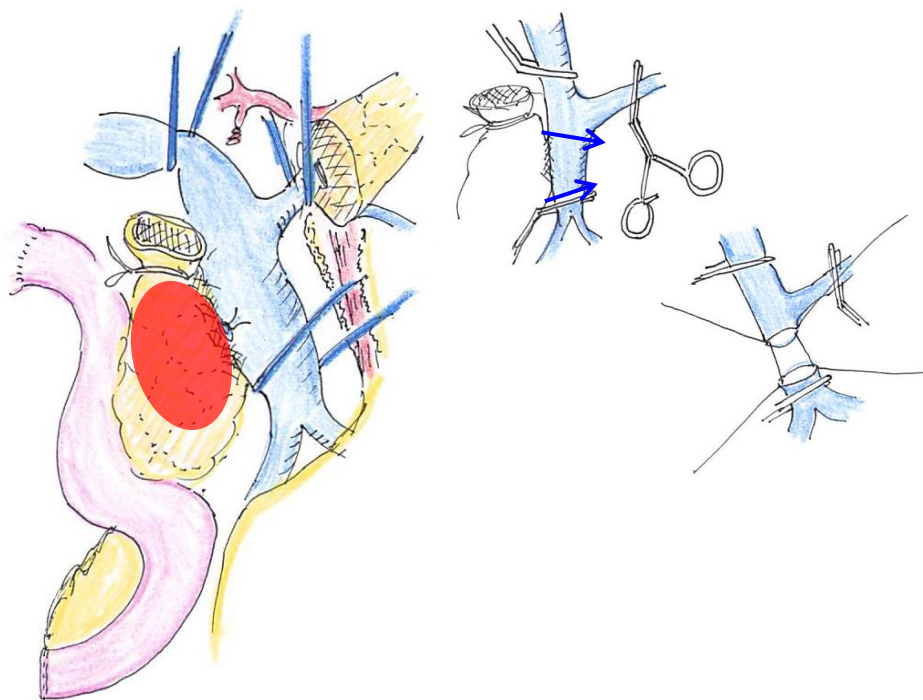
SMA 前面の神経叢を切離し、SMV との間を剥離した。1stIPDA は結紮処理し、2ndIPDA と J1A の共通幹はそれぞれ確保して切離する。（artery first approach）

図 11-5



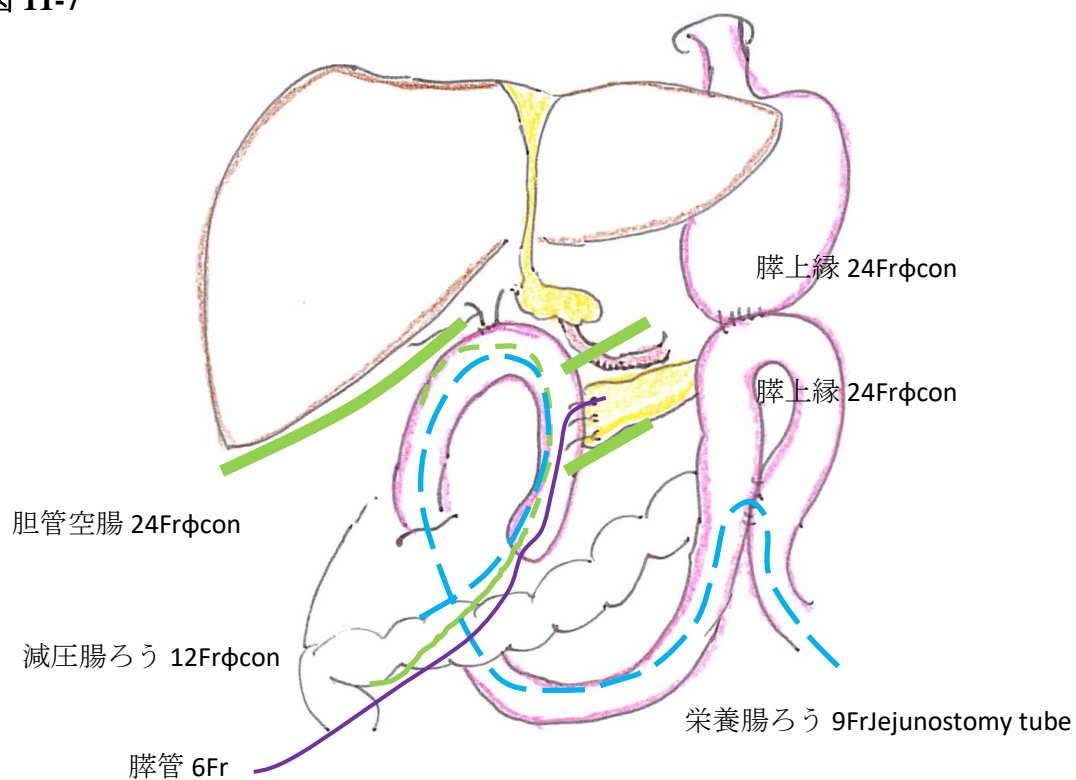
空腸を linear stapler で切離し、J1a 領域の空腸間膜を切除・郭清する。Treitz 靱帯まで剥離しておき、その後空腸を SMA 背側に回して右側へ引き抜く。

図 11-6



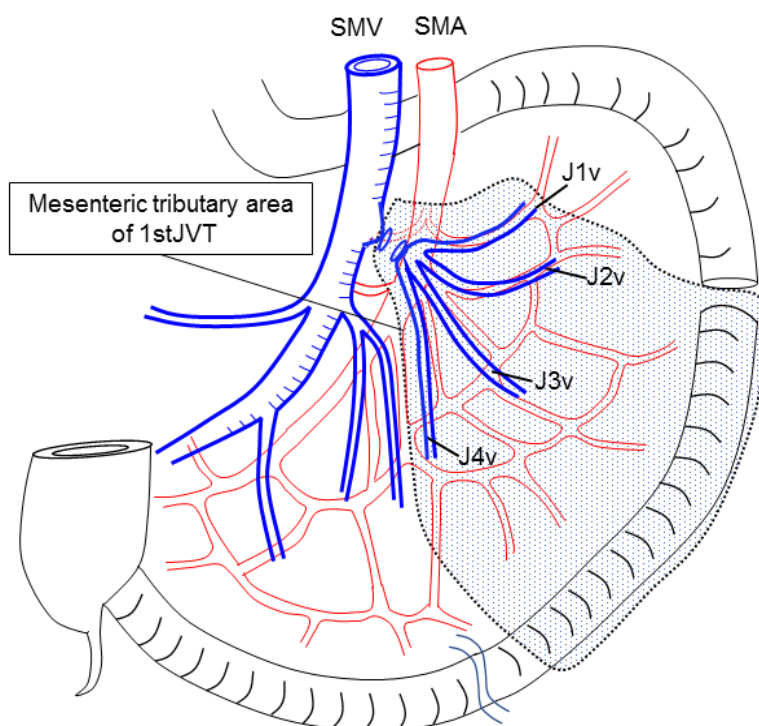
膵を SMV 直上にてメスで切離し、腫瘍浸潤部から切除断端距離をおいて図の如く SMV、SPV をクランプして検体を摘除する。SMV は端々吻合で再建する。

図 11-7



後結腸経路で挙上空腸を肝門に誘導し、胆管空腸吻合、膵管空腸吻合（柿田変法）を行い、胃空腸吻合は前結腸経路で再建する。（Child 変法）

図 11-8



この際に挙上空腸となる領域のうっ血に留意する必要がある。

### 第3項 合併症の解析・統計分析

PDの際に1stJVTを切離した群と、温存した群に分類し、それぞれの群において手術成績（手術時間、出血量）を比較した。術後の腹水量と、挙上空腸へ挿入した減圧腸瘻からの排液量を比較した。また、膵・胆管空腸吻合のリーク、胆管空腸吻合の狭窄、挙上空腸うっ血、挙上空腸からの出血を挙上空腸関連合併症と定義し、その頻度を比較した。また、Clavien-Dindo classificationを用いて合併症の程度の評価を行った<sup>2</sup>。

連続データにはgeneralized Wilcoxon rank-sum testを用い、割合にはFisher exact testまたはカイ二乗検定を用いた。統計学的有意差は $P$ 値が0.05未満の時とした。統計解析はすべてJMP pro 12.0.0 ; software (SAS Institute Inc., Cary, NC)を使用した。

### 第3節：研究2の結果

#### 第1項 患者背景

対象患者は研究1と同一であった。空腸の最近位ドレナージ静脈である1stJVTが十二指腸側に近い場合は、腫瘍からのマージンを十分取るためにやむをえず1stJVTを切離していた。1stJVTを再建した症例はなかった。1stJVTを切離した群（n=32）と温存した群（n=91）のそれぞれの患者背景を表5に示す。年齢、性別、疾患は両群で有意差は無く、また1stJVTに4本以上のJVを有する症例の頻度も有意差を認めなかった（ $p=0.832$ ）。脈管浸潤をきたす可能性がある膵癌については、18例において門脈本幹の血管浸潤を認め、門脈及び1stJVTの合併切除によりR0切除を得ていた。

表5 1stJVT切離群と、温存群の患者背景

	1stJVT sacrificed	1stJVT preserved	<i>p</i>
年齢, 歳	32	91	
性別（男性/女性）	69 (33-86)	70 (32-84)	0.892
1stJVTに4本以上のJVを含む症例	21/11	56/35	0.832
	6 (18.8)	28 (30.8)	0.252
疾患			0.073
膵癌*	18	37	
胆管癌	0	15	
膵管内乳頭状粘液性腫瘍（IPMN）	7	16	
Vater 乳頭部癌	3	15	
神経内分泌腫瘍	2	3	
その他 <sup>†</sup> Number of patients	2	5	

## 第2項 1stJVT切離の影響

術中に1stJVTを切離した群（n=32）と温存した群（n=91）において、術後の各ドレーン排液量、挙上空腸関連合併症の頻度、在院日数を比較した。（表6）

手術時間、出血量は差がなく、門脈/SMV合併切除の頻度は1stJVT切離群に多い傾向がみられたが有意差は認めなかった。術後の1-3病日（postoperative day, POD）における腹水量の合計は有意差を認めなかった。また1-3PODにおける減圧腸瘻からの排液量は差がなかったが、4-7PODの排液量は1stJVT切離群で有意に少なかった。

また、挙上空腸関連合併症の頻度はそれぞれで有意差を認めず、Clavien- dindo分類でも、各Gradeの有意差は認めなかった。

術後在院日数の中央値は1stJVT切離群が25日（13-186）、1stJVT温存群が29日（12-82）であり、有意差は見られなかった。

1stJVT切離群の1例に挙上空腸の高度うっ血がみられ、1PODに再手術を要した1例が含まれた。

表 6. 1stJVT 切離群と、温存群の術後短期成績の比較

	1stJVT 切離群 (n=32)	1stJVT 温存群 (n=91)	p
手術時間, 分	582 (364-732)	559 (246-888)	0.036
出血量, mL	458 (40-1450)	485 (130-2220)	0.611
PV/SMV の合併切除	13 (40.6)	18 (19.8)	0.032
術後の各ドレーン排液量			
ドレーンからの腹水量*			
POD1-3	235 (0-1970)	239 (0-2312)	0.975
減圧腸瘻からの排液量			
POD1-3	260 (0-1680)	254 (0-2235)	0.991
POD4-7	59 (0-595)	233 (0-1600)	<0.001
挙上空腸関連合併症			
膵空腸吻合部リーク	1	5	>0.999
胆管空腸吻合部リーク	1	1	0.454
遅発性胆管空腸吻合部狭窄	2	1	0.166
挙上空腸のうっ血	1	1	0.454
挙上空腸からの出血	1	0	0.260
Clavien-Dindo 分類‡			0.824
Grade 0	5	19	0.788§
Grade I or II	21	57	
Grade III or IV	6	14	
Grade V	0	1	
在院日数, 日	25 (13-186)	29 (12-82)	0.265

\*ドレーンは胆管空腸吻合部の背側に挿入した。

†.減圧腸瘻は経皮的に挙上空腸盲端から挿入した。

‡Clavien PA, Barkun J, de Oliveira ML, et al. Ann Surg. 2009; 250:187-196.



次に、1stJVT切離群（n=32）においてサブグループ解析を行った。

切離した1stJVTに含まれるJVの本数が4本以上の場合（n=6）と、3本以下の場合

（n=26）に分けて比較した。JV4本以上の切離でも、各ドレーン排液や挙上空腸関連合併症が有意に増加することはなかった。（表7）

また、切離した1stJVT の径が7mm以上の場合（n=15）、7mm未満の場合（n=17）に分けて比較した。7mm以上の太い1stJVTを切離した場合でも各ドレーン排液や挙上空腸関連合併症が有意に増加することはなかった。（表8）

また、切離した1stJVTがVentral typeの場合（n=11）、Dorsal typeの場合（n=21）に分けて比較した。いずれのタイプの場合でも各ドレーン排液や挙上空腸合併症が有意に増加することはなかった。（表9）

表 7. JV の本数からみた 1stJVT 切離群のサブグループ解析

		JV4 本以上 (n=6)	JV1-3 本 (n=26)	<i>p</i>
手術時間, 分		573 (531-684)	592 (364-732)	0.754
出血量, mL		435 (300-690)	475 (40-1450)	0.579
PV/SMV の合併切除		2 (33.3)	11 (42.3)	>0.999
術後の各ドレーン排液量				
ドレーンからの腹水量*				
	POD1-3	267 (125-815)	253 (0-1970)	0.682
減圧腸瘻からの排液量				
	POD1-3	132 (65-590)	319 (0-1680)	0.218
	POD4-7	27 (0-77)	70 (0-595)	0.111
挙上空腸関連合併症				
膵空腸吻合部リーク		0	1	>0.999
胆管空腸吻合部リーク		0	1	>0.999
遅発性胆管空腸吻合部狭窄		0	2	>0.999
挙上空腸のうっ血		1	0	0.188
挙上空腸からの出血		1	0	0.188
Clavien-Dindo 分類‡				0.445
Grade 0		0	5	0.310§
Grade I or II		4	17	
Grade III or IV		2	4	
Grade V		0	0	
在院日数, 日		25 (16-31)	25 (13-186)	0.578

表 8. 1stJVT の径からみた 1stJVT 切離群のサブグループ解析

		≥7mm (n=15)	<7mm (n=17)	<i>p</i>
手術時間, 分		577 (364-726)	627 (438-732)	0.521
出血量, mL		480 (100-930)	445 (40-1450)	0.910
PV/SMV の合併切除		7 (46.7)	7 (41.2)	>0.999
術後の各ドレーン排液量				
ドレーンからの腹水量*				
	POD1-3	248 (45-1105)	295 (0-1970)	0.880
減圧腸瘻からの排液量				
	POD1-3	185 (36-1155)	355 (0-1680)	0.242
	POD4-7	50 (0-525)	65 (0-595)	0.678
挙上空腸関連合併症				
臍空腸吻合部リーク		0	1	>0.999
胆管空腸吻合部リーク		1	0	0.469
遅発性胆管空腸吻合部狭窄		1	1	>0.999
挙上空腸のうっ血		1	0	0.469
挙上空腸からの出血		1	0	0.469
Clavien-Dindo 分類‡				0.061
Grade 0		0	5	0.383§
Grade I or II		11	10	
Grade III or IV		4	2	
Grade V		0	0	
在院日数, 日		25 (16-58)	25 (13-186)	0.597

表 9. 1stJVT の位置タイプからみた 1stJVT 切離群のサブグループ解析

		Ventral type (n=11)	Dorsal type (n=21)	<i>p</i>
手術時間, 分		564 (364-732)	587 (421-729)	0.475
出血量, mL		420 (100-1010)	480 (40-1450)	0.526
PV/SMV の合併切除		3 (27.3)	11 (52.4)	0.266
術後の各ドレーン排液量				
ドレーンからの腹水量*				
	POD1-3	258 (105-1970)	248 (0-1105)	0.552
減圧腸瘻からの排液量				
	POD1-3	355 (42-1220)	235 (0-1680)	0.427
	POD4-7	36 (0-310)	75 (0-595)	0.250
挙上空腸関連合併症				
臍空腸吻合部リーク		0	1	>0.999
胆管空腸吻合部リーク		0	1	>0.999
遅発性胆管空腸吻合部狭窄		1	1	>0.999
挙上空腸のうっ血		1	0	0.344
挙上空腸からの出血		0	1	>0.999
Clavien-Dindo 分類‡				0.652
Grade 0		1	4	0.390§
Grade I or II		7	14	
Grade III or IV		3	3	
Grade V		0	0	
在院日数, 日		23 (15-186)	26 (13-74)	0.404

### 第3項 1stJVT切離後の挙上空腸の高度うっ血

我々は、1stJVT切離後に挙上空腸の進行性の高度うっ血をきたした症例を経験した。1stJVTの切離、温存の意義と血流動態の解明のための重要な知見を含む症例と考え、ここに提示する。

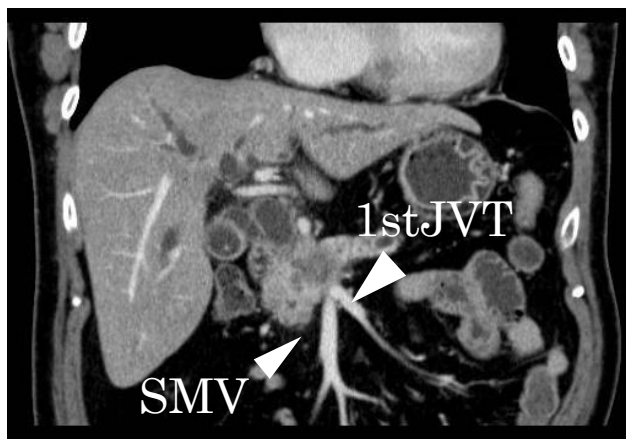
症例は70歳の男性で、膵頭部癌がSMV-脾静脈合流部と、ここに流入していた1stJVTに浸潤していた（図12）。1stJVTは径7.26mm、ventral typeで（図13）、4本の分枝を含んでいた。断端陰性を得るため、SMV、脾静脈、1stJVTを切離し、自家静脈グラフトを用いて、図14の如く門脈と脾静脈の再建を行った。膵空腸、胆管空腸の再建を行っている間、経時的に挙上空腸の色調が暗赤色に変化し、うっ血様となった（図15）。術中超音波ではSMV、PVのいずれにも血栓は見られなかったが門脈臍部で逆流が見られた（図16、17）。消化管再建後もうっ血様であったが、虚血ではないと判断し、そのまま閉創した。手術時間は11時間24分、出血量は540mlであった。

挙上空腸の血流状態を確認するため、翌日ダイナミックCTを撮像したところ、挙上空腸の明らかな造影不良がみられた。ダイナミック造影では早期動脈相では腸管が造影されず、遅延性に腸管粘膜が造影された。血液検査上はLD213U/L、CK1484U/L、CRP25.5mg/dL、pH7.42、BE-2.2mmol/L であり腸管虚血を疑うようなアシドーシス進行や、炎症値の上昇などは見られなかった。高度うっ血によって動脈血流が低下していると判断した（図18）。セカンドルックのために緊急手術を行い、色調変化をきたした挙上空腸弧を100cm程度切離し、再建をし直した（図

19,20,21)。切除した腸管の病理組織像は虚血ではなく、うつ血像が主であった。

手術時間は5時間21分、出血量は1030ml（腹水込み）であった。術後膀胱液漏は認めず、胃排泄遅延がみられPOD10に胃管の再留置を行ったが、ほか有意な合併症はみられずPOD30に退院した。

図12 術前CT



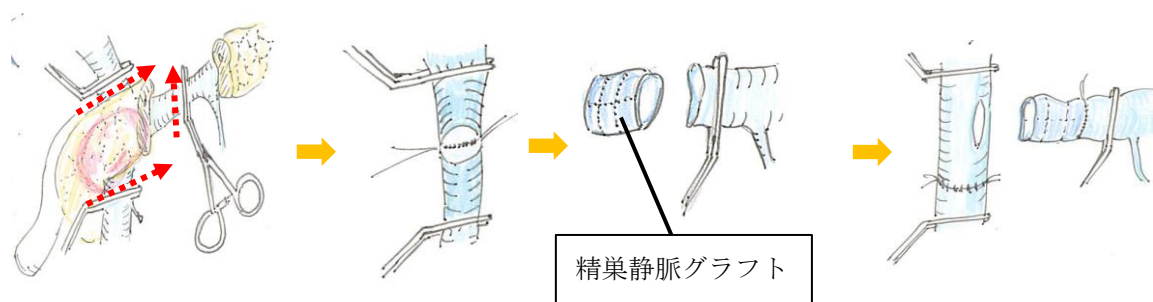
脾頭部の乏血腫瘍が上腸間膜静脈（SMV）—脾静脈（SPV）合流部と、ここに流入する1stJVTに浸潤していた。

図13 術中所見



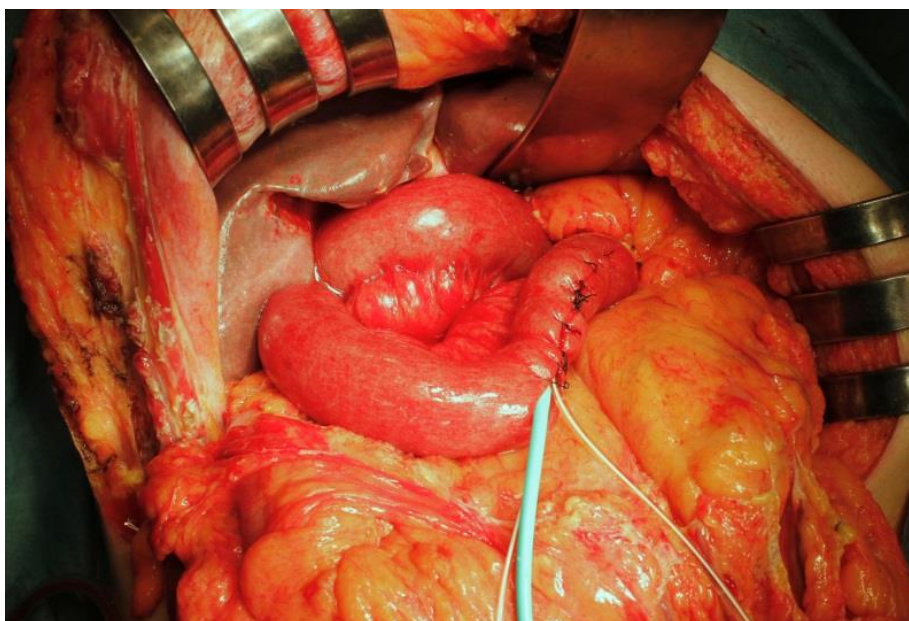
1stJVTはventral typeであった。切除断端の癌陰性を確保するため、SMVとSPV、1stJVTを合併切除し、再建を試みた。

図14 門脈、SMV、脾静脈の再建



SMVは端々吻合で再建した後、予めサンプリングしておいた右精巣静脈を短冊状に切離したものを筒状に形成しなおして脾静脈と吻合した。1stJVTは非再建とした。

図15 閉腹時、挙上空腸のうっ血様所見



胆管空腸吻合、膵管空腸吻合を行っているあいだ、徐々に挙上空腸の浮腫が増強し、うっ血様に色調が変化してた。漿膜下の毛細血管が拡張し一部漿膜下出血を呈していた。

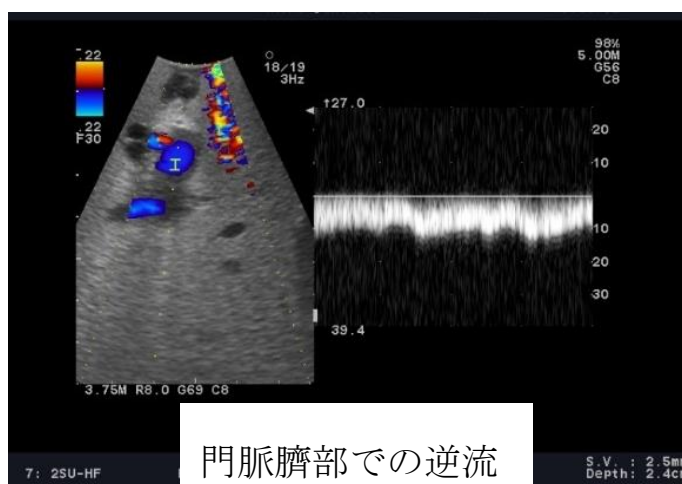


図16 挙上空腸の超音波所見



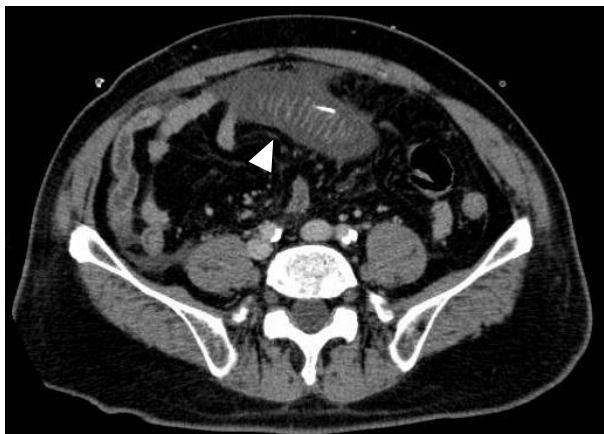
術中の挙上空腸のエコー像では、粘膜側の高度浮腫がみられ（矢頭）、内腔が狭くなっていた。

図17 門脈臍部のドップラー所見



門脈臍部では門脈血流が逆流していた。

図18 術後1日目の造影CT



挙上空腸の造影不良がみられた。高度浮腫による血流障害が示唆された。

図19 再開腹時の所見



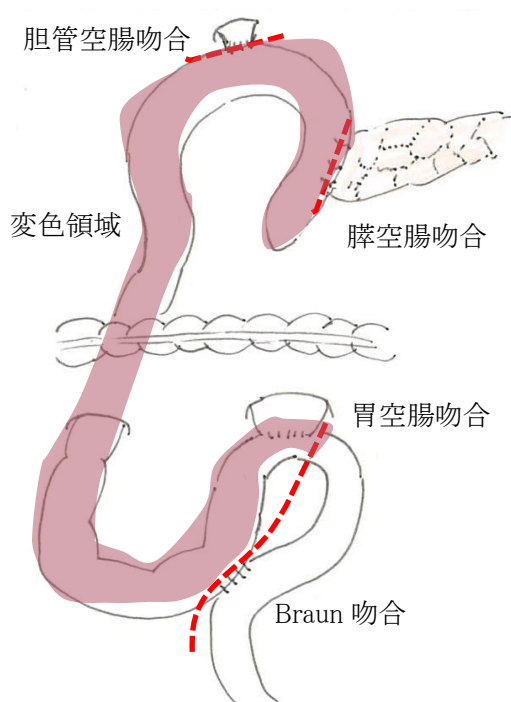
胃空腸吻合部の所見。輸入脚側すなわち挙上空腸側のsegmentalな色調不良が見られた。

図20 Braun吻合部の所見



輸入脚側すなわち挙上空腸側のsegmentalな色調不良が見られた。輸出脚側は正常所見であった。

図21 挙上空腸の変色領域



挙上空腸領域が限局的に変色をきたしており、責任血管による血行障害が示唆された。

## 第4節：研究2の考察

### 第1項 1stJVT切離の可否

空腸静脈（JV）の分枝が多く、太い1stJVTを切離すると、その末梢の還流領域である空腸はうっ血することが予想される。胆管空腸吻合や脾空腸吻合に用いる挙上空腸弧はまさにこのうっ血領域に一致するため、挙上空腸合併症の増加が危惧されていたが、実際のところ、有意な合併症の増加なく1stJVTを切離することが可能であった。しかし、1stJVT切離群のなかに1例（3.1%）、術後に高度な挙上空腸のうっ血をきたし、POD1に再手術を要した例があった。この患者は1stJVT径が7.26mmで、4本のJV分枝を含む症例であった。本研究対象群においては、1stJVT が7mm以上である場合、42%の症例において4本以上のJV分枝が含まれていた。そして、その切離によって挙上空腸の高度うっ血をきたした症例を経験したため、状況に応じて1stJVTの再建は検討すべきと考えられた。

1stJVT切離群、温存群において3PODまでは減圧腸瘻からの排液量はほぼ同等であったが、4POD以降、切離群の排液量が大幅に減少した。この原因として、以下の推測を挙げる。まず、腸管浮腫により挙上空腸内のスペースが狭くなり、余剰排液が減少したという機序である。胆汁、膵液量自体は2群間でおおよそ差が無いはずであり、大部分が肛門側へ流れたと考えることができる。また、挙上空腸内で分泌された腸液が減少した可能性もある。腸液の分泌は、電解質のバランスや、各種トランスポーター、腸内細菌叢、腸管血流など様々な因子で調節されている。1stJVT切離

群において挙上空腸のviabilityが低下し、腸液分泌能が低下した可能性もある。挙上空腸関連合併症の頻度に有意差こそ出なかったが、1stJVTの切離自体がうっ血、浮腫によって、挙上空腸の再建臓器としての機能に悪影響を与える可能性はあり、リスクの一つとしてその切離には慎重な姿勢が必要である。温存した腸管の分泌液と、うっ血の可能について論じた文献は検索の範囲内では見られなかった。

PD後の再建に用いる挙上空腸の急性、あるいは亜急性のうっ血に関しては既報が散見されるが<sup>58 88 89</sup>、そのほとんどは、PD後のSMV血栓がその原因であった。

前述の自験例は、術中に超音波で門脈血栓の有無を入念に調べたが、血栓を認めなかった。Kayashimaらは、SMV血栓による挙上空腸の急性虚血をきたし、虚血腸管を切除し、膵・胆管空腸吻合を再施行したという報告をしており<sup>89</sup>、我々の経験した症例と類似するが、1stJVTを含めた血管の合併切除については記載が見られなかった。

MD Anderson Cancer Center のKatzらの報告によると、SMVから派出する第一分枝はIleal branch とJejunal branchに分かれる。（この場合Jejunal branchが1stJVTに相当するが、末梢の分枝については言及されていない。） これらのうち片側一方の血流が保たれていれば、もう片側一方は再建なしに切離しても安全としている。すなわち、Ileal branch、Jejunal branchは一方だけならば、切離しても再建不要であるとしている。彼等の主張の根拠は、腸間膜の辺縁（マージナル）静脈を介した腸間膜全体の静脈網が静脈血還流を維持するため、うっ血を回避できるという概念である。し

かし、術前のCT画像や、術中所見で挙上空腸の辺縁静脈系が十分発達しているかどうかを判断するのは困難である。前述のような、多分枝を含む1stJVTを切離した後、に血栓によるものではない挙上空腸の高度うっ血をきたす例があることを念頭に置かなければならない。中には、辺縁静脈網の発達が未熟で、腸間膜の還流の不十分な症例が存在する可能性もある。SMVに流入するJVの最末梢である挙上空腸の辺縁血管に関しては、解剖についてほとんど知見が無く、今後の更なる研究が望まれる。

自験例のうっ血の原因の特定は困難だが、辺縁静脈網が未発達であった可能性や、また肥満体の患者であったため、挙上空腸が腹腔内で圧迫されたり、捻じれを受けた可能性はあると考えられる。

1stJVTの切離による挙上空腸のうっ血の機序については経験数が少なくまだ不明な点も多い。うっ血の程度や合併症の予測は極めて困難である。したがって、安全性を最大限に考慮し、術前CTで1stJVTが7mm以上である場合や4本以上のJV分枝を含む場合は再建も考慮した方がよいと考えられる。実臨床においては、このような太い1stJVTを切離する前には血管クリップを用いて血流遮断テストをすることが望ましい。腸管の経時的な色調変化や張り具合で安全に切離できるかを判断すべきである。

## 第2項 研究2の制限

本研究は単一施設で日本人のみを対象にしている。また、1stJVTを切離したのは32例であり、対象患者数としては少ない。しかし、どの血管を切離したかを正確に記載した手術記録が当科に保存され、これをもとに本研究の結果が出せたことは特筆すべきである。2ndJVTに関してはこの領域まで切離した症例はなく、この切離の安全性については不明である。しかし、1st、2ndと切離範囲が広くなればその分、その領域の還流は不良になるのでより慎重な姿勢が必要になると考えられる。術中の1stJVT切離によるうっ血をリアルタイムで判断する方法としては現時点では腸管の色調変化の判断に頼るのが、最も簡便な方法である。近年はICG蛍光法を用いた肝うっ血域の同定などが実臨床で応用されており<sup>53</sup>、また腸管の血流評価にICG蛍光法が利用されている報告も多数見受けられる<sup>90</sup>。こうした腸管血流を可視化できるモダリティによってより正確なうっ血評価ができる可能性はあるが、1stJVTの安全な切離の可否については、他施設も含めたより多数の集団を対象にした研究が望ましい。

また、合併症記載については後方視的検討であるため、明確な診断基準の無い他覚的なものも含まれている。より正確な解析を行うためには、前向きの観察研究を行う必要があると考える。

## 第4章：結語

膵頭十二指腸切除（PD）施行時に必要な解剖のうち、これまで不明な点の多かった空腸静脈の解剖について検討した。第一空腸静脈幹（1stJVT）は SMA 腹側を走行する ventral type が 36.6%、背側を走行する dorsal type が 63.4%であり、87.8%で複数分枝を有していた。その径と分枝数は有意に相関しており、7mmをカットオフ値として有意に4本以上の分枝を有していた。本研究では4本分枝を有する1stJVTを切離した1例（3.1%）において術後の高度うっ血を経験した。以上より、4本以上の分枝を有する1stJVTを切離する際にはその還流領域である広い空腸間膜がうっ血する危険性があり、術前CTで直径7mm以上の太い1stJVTを確認した際には、その取扱いには十分注意を払うべきであり、切離を要する状況ではクランプテストや再建を考慮する必要がある。本研究で得られた空腸静脈の解剖知見と、その切離による術後への影響は、PDの際の空腸間膜の切離範囲の判断とうっ血機序の理解に有用であり、手術の安全性を向上させるものである。



## 引用文献

1. 掛地 吉弘, 宇田川 晴司, 海野 倫明, 遠藤 格, 國崎 主税, 武富 紹信, 丹黒 章, 正木 忠彦, 丸橋 繁, 吉田 和弘, 渡邊 聡明, 後藤 満一, 今野 弘之, 高橋 新, 宮田 裕章, 瀬戸 泰之, 一般社団法人 National Clinical Database. National Clinical Database (消化器外科領域) Annual Report 2015. *日本消化器外科学会雑誌*. 50 (2) :166-176, 2017
2. Clavien PA, Barkun J, de Oliveira ML, Vauthey JN, Dindo D, Schulick RD, de Santibanes E, Pekolj J, Slankamenac K, Bassi C, Graf R, Vonlanthen R, Padbury R, Cameron JL, Makuuchi M. The Clavien-Dindo classification of surgical complications: five-year experience. *Ann Surg*;250 (2) :187-196,2009.
3. Weil, Peter H.; Buchberger, Robert. "From Billroth to PCV: A Century of Gastric Surgery". *World Journal of Surgery*. 23 (7) : 736–742,1999.
4. Miles WE. A method of performing abdominoperineal excision for carcinoma of the rectum and the terminal portion of the pelvic colon. *Lancet* 2:1812-1813,1908
5. Whipple AO, Parsons WB, Mullins CR. Treatment of Carcinoma of the Ampulla of Vater. *Ann Surg*;102 (4) :763-779,1935.
6. Tilton BT. VII. The Operative Treatment of Diseases of the Pancreas. *Ann Surg*;36 (1) :59-75,1902.
7. Sanjay P, Takaori K, Govil S, Shrikhande SV, Windsor JA. Artery-first' approaches to

pancreatoduodenectomy. *Brit J Surg*;99 (8) :1027-1035,2012.

8. Kurosaki I, Minagawa M, Takano K, Takizawa K, Hatakeyama K. Left posterior approach to the superior mesenteric vascular pedicle in pancreaticoduodenectomy for cancer of the pancreatic head. *JOP*;12 (3) :220-229,2011.

9. Hackert T, Werner J, Weitz J, Schmidt J, Buchler MW. Uncinate process first--a novel approach for pancreatic head resection. *Langenbecks Arch Surg*;395 (8) :1161-1164,2010.

10. Dumitrascu T, David L, Popescu I. Posterior versus standard approach in pancreatoduodenectomy: a case-match study. *Langenbecks Arch Surg*;395 (6) :677-684,2010.

11. Inoue Y, Saiura A, Yoshioka R, Ono Y, Takahashi M, Arita J, Takahashi Y, Koga R. Pancreatoduodenectomy With Systematic Mesopancreas Dissection Using a Supracolic Anterior Artery-first Approach. *Annals of Surgery*;262 (6) :1092-1101,2015.

12. Varty PP, Yamamoto H, Farges O, Belghiti J, Sauvanet A. Early retropancreatic dissection during pancreaticoduodenectomy. *Am J Surg*;189 (4) :488-491,2005.

13. Popescu I, David L, Dumitra AM, Dorobantu B. The posterior approach in pancreaticoduodenectomy: preliminary results. *Hepatogastroenterology*;54 (75) :921-926,2007.

14. Pessaux P, Varma D, Arnaud J-P. Pancreaticoduodenectomy: Superior mesenteric

artery first approach. *Journal of Gastrointestinal Surgery*;10 (4) :607-611,2006.

15. Weitz J, Rahbari N, Koch M, Büchler MW. The “Artery First” Approach for Resection of Pancreatic Head Cancer. *Journal of the American College of Surgeons*;210 (2) :e1-e4,2010.

16. Shrikhande SV, Barreto SG, Bodhankar YD, Suradkar K, Shetty G, Hawaldar R, Goel M, Shukla PJ. Superior mesenteric artery first combined with uncinate process approach versus uncinate process first approach in pancreatoduodenectomy: a comparative study evaluating perioperative outcomes. *Langenbecks Arch Surg*;396 (8) :1205-1212,2011.

17. Ohigashi H, Ishikawa O, Eguchi H, Yamada T, Sasaki Y, Noura S, Takachi K, Miyashiro I, Murata K, Doki Y, Imaoka S. Early ligation of the inferior pancreaticoduodenal artery to reduce blood loss during pancreaticoduodenectomy. *Hepatogastroenterology*;51 (55) :4-5,2004.

18. Horiguchi A, Ishihara S, Ito M, Nagata H, Shimizu T, Furusawa K, Kato R, Katada K, Miyakawa S. Pancreatoduodenectomy in which dissection of the efferent arteries of the head of the pancreas is performed first. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*;14 (6) :575-578,2007.

19. Kawabata Y, Tanaka T, Nishi T, Monma H, Yano S, Tajima Y. Appraisal of a total meso-pancreatoduodenum excision with pancreaticoduodenectomy for pancreatic head carcinoma. *Eur J Surg Oncol*;38 (7) :574-579,2012.

20. Gockel I, Domeyer M, Wolloscheck T, Konerding MA, Junginger T. Resection of the mesopancreas (RMP) : a new surgical classification of a known anatomical space. *World J Surg Oncol*;5:44,2007.
21. Gaedcke J, Gunawan B, Grade M, Szoke R, Liersch T, Becker H, Ghadimi BM. The mesopancreas is the primary site for R1 resection in pancreatic head cancer: relevance for clinical trials. *Langenbecks Arch Surg*;395 (4) :451-458,2010.
22. Dumitrascu T, Popescu I. Total mesopancreas excision in pancreatic head adenocarcinoma: The same impact as total mesorectal excision in rectal carcinoma? Comment on article "surgical technique and results of total mesopancreas excision in pancreatic tumours" by Adham M and Singhirunnusorn J, Eur J Surg Oncol, 2012. *Eur J Surg Oncol*;38 (8) :725; author reply 726,2012.
23. Ravikumar R, Sabin C, Abu Hilal M, Bramhall S, White S, Wigmore S, Imber CJ, Fusai G, Group UKVRiPCS. Portal vein resection in borderline resectable pancreatic cancer: a United Kingdom multicenter study. *J Am Coll Surg*;218 (3) :401-411,2014.
24. Nakao A, Kanzaki A, Fujii T, Kodera Y, Yamada S, Sugimoto H, Nomoto S, Nakamura S, Morita S, Takeda S. Correlation between radiographic classification and pathological grade of portal vein wall invasion in pancreatic head cancer. *Ann Surg*;255 (1) :103-108,2012.
25. Yekebas EF, Bogoevski D, Cataldegirmen G, Kunze C, Marx A, Vashist YK, Schurr

- PG, Liebl L, Thielges S, Gawad KA, Schneider C, Izbicki JR. En bloc vascular resection for locally advanced pancreatic malignancies infiltrating major blood vessels: perioperative outcome and long-term survival in 136 patients. *Ann Surg*;247 (2) :300-309,2008.
26. Martin RC, 2nd, Scoggins CR, Egnatashvili V, Staley CA, McMasters KM, Kooby DA. Arterial and venous resection for pancreatic adenocarcinoma: operative and long-term outcomes. *Arch Surg*;144 (2) :154-159,2009.
27. 日本膵臓学会膵癌診療ガイドライン改訂委員会/編. 膵癌診療ガイドライン 2019 年版. 金原出版. 2019
28. Katz MH, Pisters PW, Evans DB, Sun CC, Lee JE, Fleming JB, Vauthey JN, Abdalla EK, Crane CH, Wolff RA, Varadhachary GR, Hwang RF. Borderline resectable pancreatic cancer: the importance of this emerging stage of disease. *J Am Coll Surg*;206 (5) :833-846; discussion 846-838,2008.
29. Massucco P, Capussotti L, Magnino A, Sperti E, Gatti M, Muratore A, Sgotto E, Gabriele P, Aglietta M. Pancreatic resections after chemoradiotherapy for locally advanced ductal adenocarcinoma: analysis of perioperative outcome and survival. *Ann Surg Oncol*;13 (9) :1201-1208,2006.
30. McClaine RJ, Lowy AM, Sussman JJ, Schmulewitz N, Grisell DL, Ahmad SA. Neoadjuvant therapy may lead to successful surgical resection and improved survival in patients with borderline resectable pancreatic cancer. *HPB (Oxford)* ;12 (1) :73-79,2010.

31. Chun YS, Milestone BN, Watson JC, Cohen SJ, Burtress B, Engstrom PF, Haluszka O, Tokar JL, Hall MJ, Denlinger CS, Astsaturov I, Hoffman JP. Defining venous involvement in borderline resectable pancreatic cancer. *Ann Surg Oncol*;17 (11) :2832-2838,2010.
32. Stokes JB, Nolan NJ, Stelow EB, Walters DM, Weiss GR, de Lange EE, Rich TA, Adams RB, Bauer TW. Preoperative capecitabine and concurrent radiation for borderline resectable pancreatic cancer. *Ann Surg Oncol*;18 (3) :619-627,2011.
33. Sahora K, Kuehrer I, Eisenhut A, Akan B, Koellblinger C, Goetzinger P, Teleky B, Jakesz R, Peck-Radosavljevic M, Ba'ssalamah A, Zielinski C, Gnant M. NeoGemOx: Gemcitabine and oxaliplatin as neoadjuvant treatment for locally advanced, nonmetastasized pancreatic cancer. *Surgery*;149 (3) :311-320,2011.
34. Rose JB, Rocha FG, Alseidi A, Biehl T, Moonka R, Ryan JA, Lin B, Picozzi V, Helton S. Extended neoadjuvant chemotherapy for borderline resectable pancreatic cancer demonstrates promising postoperative outcomes and survival. *Ann Surg Oncol*;21 (5) :1530-1537,2014.
35. Nakao A. The Mesenteric Approach in Pancreatoduodenectomy. *Dig Surg*;33 (4) :308-313,2016.
36. Hirono S, Kawai M, Okada KI, Miyazawa M, Shimizu A, Kitahata Y, Ueno M, Shimokawa T, Nakao A, Yamaue H. Mesenteric approach during pancreaticoduodenectomy for pancreatic ductal adenocarcinoma. *Ann Gastroenterol Surg*;1 (3) :208-218,2017.

37. Iede K, Nakao A, Oshima K, Suzuki R, Yamada H, Oshima Y, Kobayashi H, Kimura Y. Early ligation of the dorsal pancreatic artery with a mesenteric approach reduces intraoperative blood loss during pancreatoduodenectomy. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*;25 (7) :329-334,2018.
38. Katz MH, Fleming JB, Pisters PW, Lee JE, Evans DB. Anatomy of the superior mesenteric vein with special reference to the surgical management of first-order branch involvement at pancreaticoduodenectomy. *Ann Surg*;248 (6) :1098-1102,2008.
39. 日本膵臓学会/編. 膵癌取り扱い規約第6版. 金原出版, 2009
40. Woodburne RT, Olsen LL. The arteries of the pancreas. *Anat Rec*;111 (2) :255-270,1951.
41. Douglass BE, Baggenstoss AH, Hollinshead WH. The anatomy of the portal vein and its tributaries. *Surg Gynecol Obstet*;91 (5) :562-576,1950.
42. Falconer CW, Griffiths E. The anatomy of the blood-vessels in the region of the pancreas. *Br J Surg*;37 (147) :334-344,1950.
43. Berberich J, Hirsch S : Die Röntgenographische Darstellung der Arterien und Venen am Lebenden Menschen. *Klinische Wochenschrift*; 2: 2226 – 2228,1923.
44. Brooks B : Intraarterial injection of sodium iodid :preliminary report. *JAMA*;82 :1016-19,1924.
45. Dos Santos R, Lamas A, Caldas JP :Arteriografica da aorta e dos vasos abdominais.

*Medicina Contemporanea*; 47 :93-96,1929.

46. Whipple AO. The Problem of Portal Hypertension in Relation to the

Hepatosplenopathies. *Ann Surg*;122 (4) :449-475,1945.

47. Blakemore AH, Lord JW. The Technic of Using Vitallium Tubes in Establishing

Portacaval Shunts for Portal Hypertension. *Ann Surg*;122 (4) :476-489,1945.

48. Graf O, Boland GW, Kaufman JA, Warshaw AL, Fernandez del Castillo C, Mueller

PR. Anatomic variants of mesenteric veins: depiction with helical CT venography. *AJR Am J*

*Roentgenol*;168 (5) :1209-1213,1997.

49. Horton KM, Fishman EK. Volume-rendered 3D CT of the mesenteric vasculature:

normal anatomy, anatomic variants, and pathologic conditions. *Radiographics*;22 (1) :161-

172,2002.

50. Ibukuro K, Tsukiyama T, Mori K, Inoue Y. Peripancreatic veins on thin-section (3

mm) helical CT. *Am J Roentgenol*;167 (4) :1003-1008,1996.

51. Crabo LG, Conley DM, Graney DO, Freeny PC. Venous Anatomy of the Pancreatic

Head - Normal Ct Appearance in Cadavers and Patients. *Am J Roentgenol*;160 (5) :1039-

1045,1993.

52. Sakaguchi T, Suzuki S, Morita Y, Oishi K, Suzuki A, Fukumoto K, Inaba K, Kamiya

K, Ota M, Setoguchi T, Takehara Y, Nasu H, Nakamura S, Konno H. Analysis of anatomic

variants of mesenteric veins by 3-dimensional portography using multidetector-row computed



tomography. *Am J Surg*;200 (1) :15-22,2010.

53. Kawaguchi Y, Ishizawa T, Miyata Y, Yamashita S, Masuda K, Satou S, Tamura S, Kaneko J, Sakamoto Y, Aoki T, Hasegawa K, Sugawara Y, Kokudo N. Portal uptake function in veno-occlusive regions evaluated by real-time fluorescent imaging using indocyanine green. *J Hepatol*;58 (2) :247-253,2013.

54. Sano K, Makuuchi M, Miki K, Maema A, Sugawara Y, Imamura H, Matsunami H, Takayama T. Evaluation of hepatic venous congestion: proposed indication criteria for hepatic vein reconstruction. *Ann Surg*;236 (2) :241-247,2002.

55. Kawaguchi Y, Sugawara Y, Ishizawa T, Satou S, Kaneko J, Tamura S, Aoki T, Sakamoto Y, Hasegawa K, Kokudo N. Identification of veno-occlusive regions in a right liver graft after reconstruction of vein segments 5 and 8: application of indocyanine green fluorescence imaging. *Liver Transpl*;19 (7) :778-779,2013.

56. Tsuchida Y, Aoki N, Fukuda O, Nakano M, Igarashi H. Changes in hemodynamics in jejunal flaps of rabbits due to ischemia, venous congestion, and reperfusion as measured by means of colored microspheres. *Plast Reconstr Surg*;101 (1) :147-154,1998.

57. Hamza SM, Kaufman S. Effect of mesenteric vascular congestion on reflex control of renal blood flow. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*;293 (5) :R1917-1922,2007.

58. Zyromski NJ, Howard TJ. Acute superior mesenteric-portal vein thrombosis after pancreaticoduodenectomy: treatment by operative thrombectomy. *Surgery*;143 (4) :566-

567,2008.

59. Paraskeva P, Akoh JA. Small bowel stricture as a late sequela of superior mesenteric vein thrombosis. *Int J Surg Case Rep*;6C:118-121,2015.

60. Horiguchi A, Ishihara S, Ito M, Nagata H, Asano Y, Yamamoto T, Kato R, Katada K, Miyakawa S. Multislice CT study of pancreatic head arterial dominance. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*;15 (3) :322-326,2008.

61. Horiguchi A, Ishihara S, Ito M, Asano Y, Yamamoto T, Miyakawa S. Three-dimensional models of arteries constructed using multidetector-row CT images to perform pancreatoduodenectomy safely following dissection of the inferior pancreaticoduodenal artery. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*;17 (4) :523-526,2010.

62. Varty PP, Yamamoto H, Farges O, Belghiti J, Sauvanet A. Early retropancreatic dissection during pancreaticoduodenectomy. *The American Journal of Surgery*;189 (4) :488-491,2005.

63. Nakamura M, Nakashima H, Tsutsumi K, Matsumoto H, Muta Y, Ueno D, Yoshida K, Hino K, Urakami A, Tanaka M. First jejunal vein oriented mesenteric excision for pancreatoduodenectomy. *J Gastroenterol*;48 (8) :989-995,2013.

64. Papavasiliou P, Arrangoiz R, Zhu F, Chun YS, Edwards K, Hoffman JP. The anatomic course of the first jejunal branch of the superior mesenteric vein in relation to the superior mesenteric artery. *Int J Surg Oncol*;2012:538769,2012.

65. Kim HJ, Ko YT, Lim JW, Lee DH. Radiologic anatomy of the superior mesenteric vein and branching patterns of the first jejunal trunk: evaluation using multi-detector row CT venography. *Surg Radiol Anat*;29 (1) :67-75,2007.
66. Ishikawa Y, Ban D, Matsumura S, Mitsunori Y, Ochiai T, Kudo A, Tanaka S, Tanabe M. Surgical pitfalls of jejunal vein anatomy in pancreaticoduodenectomy. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*;24 (7) :394-400,2017.
67. Nie D, Cao X, Gao Y, Wang L, Shen D. Estimating CT Image from MRI Data Using 3D Fully Convolutional Networks. *Deep Learn Data Label Med Appl (2016)* ;2016:170-178,2016.
68. Yang W, Chen Y, Liu Y, Zhong L, Qin G, Lu Z, Feng Q, Chen W. Cascade of multi-scale convolutional neural networks for bone suppression of chest radiographs in gradient domain. *Med Image Anal*;35:421-433,2017.
69. Kausch W et al. Das carcinom der Papilla duodeni und serine radila; *e Entfernung. Beitr Lkin Chir*;78 :439-86,1912.
70. Whipple AO. Pancreaticoduodenectomy for Islet Carcinoma : A Five-Year Follow-Up. *Ann Surg*;121 (6) :847-852,1945.
71. Fortner JG. Surgical principles for pancreatic cancer: regional total and subtotal pancreatectomy. *Cancer*;47 (6 Suppl) :1712-1718,1981.
72. Pedrazzoli S, DiCarlo V, Dionigi R, Mosca F, Pederzoli P, Pasquali C, Kloppel G,

Dhaene K, Michelassi F. Standard versus extended lymphadenectomy associated with pancreatoduodenectomy in the surgical treatment of adenocarcinoma of the head of the pancreas: a multicenter, prospective, randomized study. Lymphadenectomy Study Group. *Ann Surg*;228 (4) :508-517,1998.

73. Yeo CJ, Cameron JL, Lillemoe KD, Sohn TA, Campbell KA, Sauter PK, Coleman J, Abrams RA, Hruban RH. Pancreaticoduodenectomy with or without distal gastrectomy and extended retroperitoneal lymphadenectomy for periampullary adenocarcinoma, part 2: randomized controlled trial evaluating survival, morbidity, and mortality. *Ann Surg*;236 (3) :355-366; discussion 366-358,2002.

74. Farnell MB, Pearson RK, Sarr MG, DiMagno EP, Burgart LJ, Dahl TR, Foster N, Sargent DJ, Pancreas Cancer Working G. A prospective randomized trial comparing standard pancreatoduodenectomy with pancreatoduodenectomy with extended lymphadenectomy in resectable pancreatic head adenocarcinoma. *Surgery*;138 (4) :618-628; discussion 628-630,2005.

75. Nimura Y, Nagino M, Takao S, Takada T, Miyazaki K, Kawarada Y, Miyagawa S, Yamaguchi A, Ishiyama S, Takeda Y, Sakoda K, Kinoshita T, Yasui K, Shimada H, Katoh H. Standard versus extended lymphadenectomy in radical pancreatoduodenectomy for ductal adenocarcinoma of the head of the pancreas: long-term results of a Japanese multicenter randomized controlled trial. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*;19 (3) :230-241,2012.

76. Gagner M, Pomp A. Laparoscopic pancreatic resection: Is it worthwhile? *J Gastrointest Surg*;1 (1) :20-25; discussion 25-26,1997.
77. Tseng JF, Raut CP, Lee JE, Pisters PW, Vauthey JN, Abdalla EK, Gomez HF, Sun CC, Crane CH, Wolff RA, Evans DB. Pancreaticoduodenectomy with vascular resection: margin status and survival duration. *J Gastrointest Surg*;8 (8) :935-949; discussion 949-950,2004.
78. Stauffer JA, Dougherty MK, Kim GP, Nguyen JH. Interposition graft with polytetrafluoroethylene for mesenteric and portal vein reconstruction after pancreaticoduodenectomy. *Br J Surg*;96 (3) :247-252,2009.
79. Chu CK, Farnell MB, Nguyen JH, Stauffer JA, Kooby DA, Sclabas GM, Sarmiento JM. Prosthetic graft reconstruction after portal vein resection in pancreaticoduodenectomy: a multicenter analysis. *J Am Coll Surg*;211 (3) :316-324,2010.
80. Choi SH, Hwang HK, Kang CM, Lee WJ. Potential use of left renal vein graft in pancreaticoduodenectomy combined with long segmental resection of the superior mesenteric-splenic-portal vein confluence. *JOP*;12 (3) :234-240,2011.
81. Buchler MW, Wagner M, Schmied BM, Uhl W, Friess H, Z'Graggen K. Changes in morbidity after pancreatic resection: toward the end of completion pancreatectomy. *Arch Surg*;138 (12) :1310-1314; discussion 1315,2003.
82. Balcom JHt, Rattner DW, Warshaw AL, Chang Y, Fernandez-del Castillo C. Ten-year

experience with 733 pancreatic resections: changing indications, older patients, and decreasing length of hospitalization. *Arch Surg*;136 (4) :391-398,2001.

83. Adam U, Makowiec F, Riediger H, Schareck WD, Benz S, Hopt UT. Risk factors for complications after pancreatic head resection. *Am J Surg*;187 (2) :201-208,2004.

84. Munoz-Bongrand N, Sauvanet A, Denys A, Sibert A, Vilgrain V, Belghiti J. Conservative management of pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy with pancreaticogastrostomy. *J Am Coll Surg*;199 (2) :198-203,2004.

85. Tani M, Onishi H, Kinoshita H, Kawai M, Ueno M, Hama T, Uchiyama K, Yamaue H. The evaluation of duct-to-mucosal pancreaticojejunostomy in pancreaticoduodenectomy. *World J Surg*;29 (1) :76-79,2005.

86. Kawai M, Tani M, Terasawa H, Ina S, Hirono S, Nishioka R, Miyazawa M, Uchiyama K, Yamaue H. Early removal of prophylactic drains reduces the risk of intra-abdominal infections in patients with pancreatic head resection: prospective study for 104 consecutive patients. *Ann Surg*;244 (1) :1-7,2006.

87. Kakita A, Yoshida M, Takahashi T. History of pancreaticojejunostomy in pancreaticoduodenectomy: development of a more reliable anastomosis technique. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*;8 (3) :230-237,2001.

88. Hutan M, Bartko C, Slysco R, Sekac J, Prochotsky A, Majesky I, Skultety J. Superior mesenteric vein thrombosis - unusual management of unusual complication of Whipple

procedure. *Int J Surg Case Rep*;5 (10) :765-768,2014.

89. Kayashima H, Maeda T, Harada N, Masuda T, Ohmine T, Yamaguchi S, Matsuyama A, Hamatake M, Tsutsui S, Matsuda H. One-step surgery for acute ischemia of the jejunal loop after pancreatoduodenectomy: report of a case. *Surg Case Rep*;2 (1) :24,2016.

90. Diana M, Noll E, Diemunsch P, Dallemagne B, Benahmed MA, Agnus V, Soler L, Barry B, Namer IJ, Demartines N, Charles AL, Geny B, Marescaux J. Enhanced-reality video fluorescence: a real-time assessment of intestinal viability. *Ann Surg*;259 (4) :700-707,2014.

## 本研究の公表について

本研究の結果は以下の形で公表した（いずれも筆頭著者・演者は申請者）。

1) 2016/11/12 第20回臨床解剖研究会 口演

Session6「空腸静脈の分岐形態から検討した臍頭十二指腸切除の Pitfall」

共著者：阪本良弘、河口義邦、佐藤祐充、赤松延久、有田淳一、金子順一、長谷川  
潔、國土典宏

2) 2017/5/9 6th A-PHPBA/ 29th JSHBPS 口演

Meet the experts11「Could the jejunal venous trunk be sacrificed safely during PD?」

共著者：阪本良弘、赤松延久、有田淳一、金子順一、長谷川潔、國土典宏

3) 2016/11/26 第78回日本臨床外科学会総会

公開型 M and M カンファレンス 口演

「臍頭十二指腸切除後の挙上空腸の高度うっ血に対し再手術を行った1例 ～空腸  
静脈の解剖からみた手術の Pitfall～」

共著者：阪本良弘、河口義邦、佐藤祐充、赤松延久、有田淳一、金子順一、長谷川  
潔、國土典宏



4)

2018/9/5 13th IHPBA World Congress (International Hepato-Pancreato-Biliary Association in Geneva: Switzerland, Poster)

“Vascular Anatomy of the Jejunal Mesentery And Complications Associated With Division of the First Jejunal Venous Trunk during Pancreaticoduodenectomy”

Co-authors: Yohsihiro Sakamoto, Junichi Arita, Nobuhisa Akamatsu, Junichi Kaneko, Norihiro Kokudo, Kiyoshi Hasegawa

5)

Journal of Surgical Oncology, 2018 May;117 (6) : 1297-1304.

“Vascular Anatomy of the Jejunal Mesentery And Complications Associated With Division of the First Jejunal Venous Trunk during Pancreaticoduodenectomy”

Co-authors: Yohsihiro Sakamoto, Junichi Arita, Nobuhisa Akamatsu, Junichi Kaneko, Kiyoshi Hasegawa, Norihiro Kokudo.

## 謝辞

本研究を遂行し学位論文をまとめるにあたり、ご指導を頂いた指導教官である

東京大学大学院医学系研究科外科学専攻 臓器病態外科学講座 肝胆膵外科学/人工

臓器・移植外科学 教授 長谷川潔先生に深く感謝致します。

また、本研究を始めるきっかけを提示して下さい、基本的なコンセプトの立ち上げ

から、論文のアクセプトまで丁寧にご指導をいただいた共著者である阪本良弘先生

（現 杏林大学医学部肝胆膵外科教授）に深く御礼申し上げます。

また、共著者であり、本論文の指導にあたって下さったメンターの金子順一先生に

深く御礼申し上げます。

また、論文の最終的なメッセージについて貴重なアドバイスをいただいた共著者の

國土典宏先生（現 国立国際医療研究センター理事長）に深く御礼申し上げます。

また日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた東京大学大学院医学系研究科外

科学専攻 臓器病態外科学講座 肝胆膵外科学/人工臓器・移植外科学の赤松延久講

師、有田淳一准教授、さらに、詳細な血管解剖の解析ができたのも、手術ごとに正

確な手術記載を記して下さった医局員の皆様の努力のお蔭であり、日頃の医局員

の皆様の丁寧な仕事ぶりに敬意を表し、感謝致します。