

博士論文

3D シミュレーションを用いた肝尾状葉の解剖学的解析と  
合理的な切除方法の検討

真木 治文

3D シミュレーションを用いた肝尾状葉の解剖学的解析と  
合理的な切除方法の検討

所属 外科学専攻

指導教官 長谷川 潔

氏名 真木 治文

	ページ
目次	2
略語一覧	4
要旨	5
第 1 章序文	7
第 2 章：研究 1 「3D シミュレーションを用いた肝尾状葉の解剖学的境界の解析」	
第 1 節. 研究 1 の方法	
第 1 項. 対象	13
第 2 項. 3D シミュレーションソフトウェアによる肝尾状葉の構築	14
第 3 項. 統計解析	17
第 2 節. 研究 1 の結果	
第 1 項. 対象	18
第 2 項. 肝尾状葉の頭側境界	19
第 3 項. 肝尾状葉の右側境界	21
第 3 節. 研究 1 の考察	26

## 第 3 章:研究 2「尾状葉に対する、肝門アプローチを用いた肝中央切除術の検討」

### 第 1 節. 研究 2 の方法

第 1 項. 対象と切除適応 31

第 2 項. 肝門アプローチを用いた肝中央切除術の手術手技 32

第 3 項. 評価項目 39

第 2 節. 研究 2 の結果 40

第 3 節. 研究 2 の考察 46

第 4 章総括と今後の展望 50

引用文献 51

本研究の公表について 62

謝辞 63

## 本文中の略語一覧

CT; computed tomography

IVC; inferior vena cava (下大静脈)

RHV; right hepatic vein (右肝静脈)

MHV; middle hepatic vein (中肝静脈)

LHV; left hepatic vein (左肝静脈)

## 要旨

造影 CT の画像を元に、3D シミュレーションソフトウェアを用いて肝尾状葉を描出し、頭側と右側の境界について解析した。頭側境界について、尾状葉傍下大静脈領域は約 3 分の 1 の症例において肝横隔膜面にまで達していた。右側境界について、傍下大静脈領域静脈は全例で描出され、うち約 2 分の 1 の症例において尾状葉傍下大静脈領域の右側境界に一致しており、解剖学的切除のメルクマールとなり得ることが示唆された。残りの症例では、尾状葉傍下大静脈領域静脈と尾状葉右側境界との間に前区域または後区域グリソン鞘に由来する脈管が介在し、尾状葉全切除に際して、これらのグリソン鞘の損傷に留意すべきと考えられた。

上記の知見を元に、肝臓の深部に位置する尾状葉を切除するための、肝門アプローチを用いた肝中央切除術の手術手技と成績を検討した。肝門アプローチとは、肝実質を前方から離断し、肝門板を広く露出して左右のグリソン鞘をテーパーリングすることと定義した。過去 4 年間の肝切除 673 例のうち、本術式は 6 例 (0.89%) に適用された。主要脈管への浸潤をきたしていた症例や腫瘍径 10 cm を超える症例も含まれていたが、切除肝容量の全肝容量に対する割合の中央値は 12.0 (範囲 4.7~39.5)% であり、十分な残肝容量が確保され術後肝不全を認め

なかった。肝門アプローチを用いた肝中央切除術は視野が良好であり、根治性と術後肝機能の保持を両立させる手技として有用であると思われた。

## 第1章 序文

昨今の肝切除における技術的進歩は目覚ましく、従来の開腹手術に加え、腹腔鏡でも肝切除が幅広く行われている。一方で Couinaud[1]の segment に基づいた解剖学的肝切除を行うためには、正確な解剖学的知識と確かな技術を要する。術中に Couinaud の segment の境界を可視化するためには、目標とする segment を灌流する門脈分枝の血行を遮断し、阻血域を表出させる必要がある。しかし2次分枝以降の門脈分枝は基本的には肝内で分岐しており、分枝の根部で遮断することは容易ではない。肝離断を行う前に境界を知る方法としては、肝臓表面から門脈分枝に向けて注射針を穿刺して、分枝へ染色液を注入する方法がある[2]。従来はインジゴカルミンを用いて染色を行っていたが、肝硬変の場合や再肝切除の際に癒着剥離を要した場合には、染色域が見えにくいという問題があった。近年はインドシアニングリーンをインジゴカルミンに混注した溶液を門脈枝に注入し、近赤外線観察カメラで蛍光イメージングを行う方法を用いることで、より明瞭に肝区域を同定できるようになった[3-5]。

解剖学的な肝切除は、まず第一に腫瘍学的に重要である。原発性肝癌のうち肝細胞癌は経門脈的に肝内転移を生じることが知られている。潜在的な肝内転移を含む肝区域を切除することは、術後再発のリスクを低減するだけでなく、

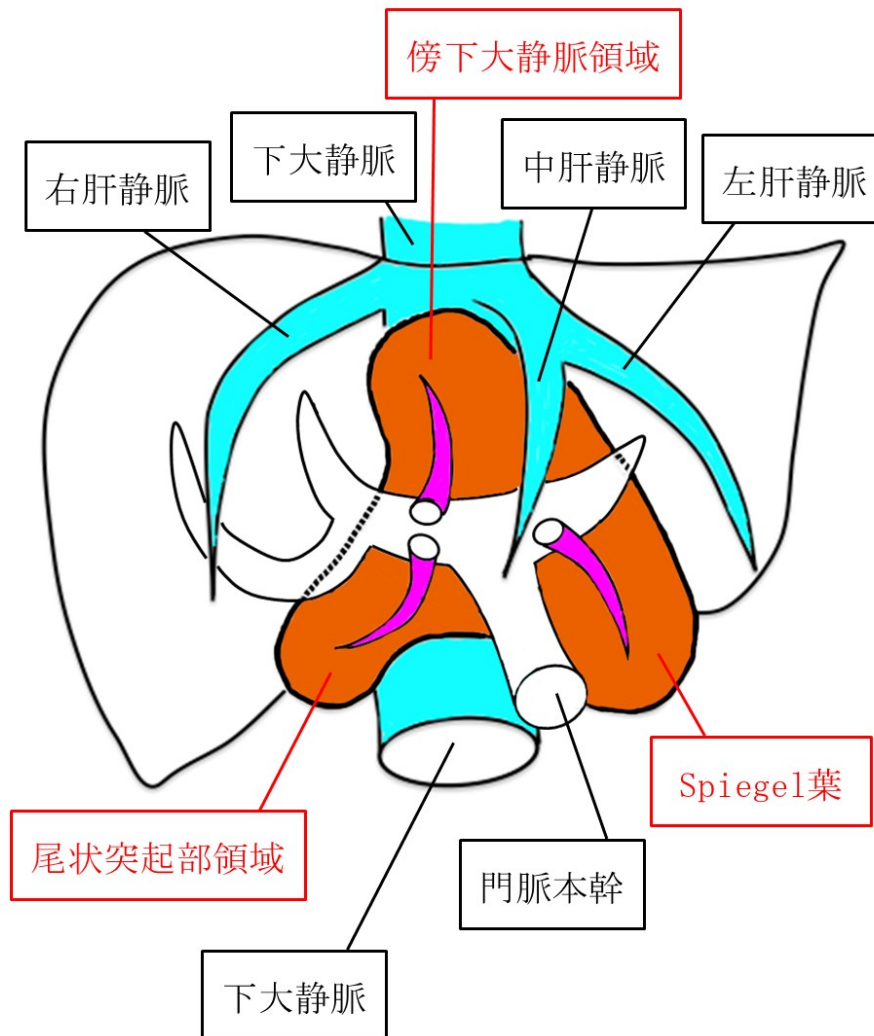


機能的な残肝容積を維持することができるので、根治性と肝機能保全を両立させる治療法として、非解剖学的切除と比較してより有効な切除法と考えられている[6-8]。第2に、肝臓の解剖学的境界にはグリソン鞘の分枝が走行しないため、解剖学的に正確な肝区域切除を行うと、グリソン鞘の損傷に伴う術後胆汁漏のリスクも軽減することができると考えられる。

上記のように、解剖学的肝切除の利点は大きいですが、肝区域のうち尾状葉に関しては、現在の技術を用いても正確に解剖学的切除を行うことが難しい[9-17]。その理由として、尾状葉は身体の深い位置にあるためアプローチが困難であることが挙げられる。また尾状葉は、腹側頭側は中肝静脈や右肝静脈、左肝静脈といった主要な肝静脈に覆われており、背側足側には下大静脈や肝門板が存在するため[18]、出血や胆汁漏のコントロールが難しい。

しかし何よりも、尾状葉の解剖学的境界を認識することが困難であることが、尾状葉の解剖学的切除を難しくしている。公文[19,20]は門脈灌流域によって **segment** を分類する原則に則り、尾状葉を門脈本幹もしくは第一次分枝で灌流される領域と定義した。そして尾状葉は Spiegel 葉と尾状突起部領域、傍下大静脈領域の3つの部位から成り立つことを説明した。図1に公文の定義した尾状葉と周囲の構造物を示した。

図 1: 公文の定義による肝尾状葉



尾状葉(オレンジ色)の腹側頭側には中肝静脈や右肝静脈、左肝静脈といった主要な肝静脈(水色)が、背側足側には下大静脈(水色)や肝門板が存在する。尾状葉は門脈本幹もしくは第一次分枝(ピンク色)で灌流され、Spiegel葉と尾状突起部領域、傍下大静脈領域の3つの部位から成り立つ。

最も左側に存在する Spiegel 葉は小網内で左側に突き出ており、尾状葉の左側境界は Spiegel 葉の左側境界と言い換えることができ明瞭である。背側境界に関しても下大静脈が存在するため視認可能である。頭側の境界には肝静脈が存在するため解剖学メルクマールとなるが個人差が大きいことが知られている [19-21]。図 2 に肝臓の外観写真と模式図を示すように、最も不明瞭なのは右側境界である。尾状突起部領域の右側境界は名称のごとく肝表の突出部分を視認できることもあるが、Kogure ら [22] が提唱した尾状突起部静脈が存在する。尾状突起部静脈はその流入部によって 4 つに分類されており、個人差があるものの葉間を走行する肝静脈分枝として妥当である。しかしながら傍下大静脈領域の右側境界は曖昧で、解剖学的な意味でのメルクマールが知られていない。尾状葉が 3 つの部位から構成されることを提唱した 1985 年の公文 [19,20] によると、傍下大静脈領域は Spiegel 葉の右側の領域であるとされ、傍下大静脈領域の右側境界は定義づけられていなかった。

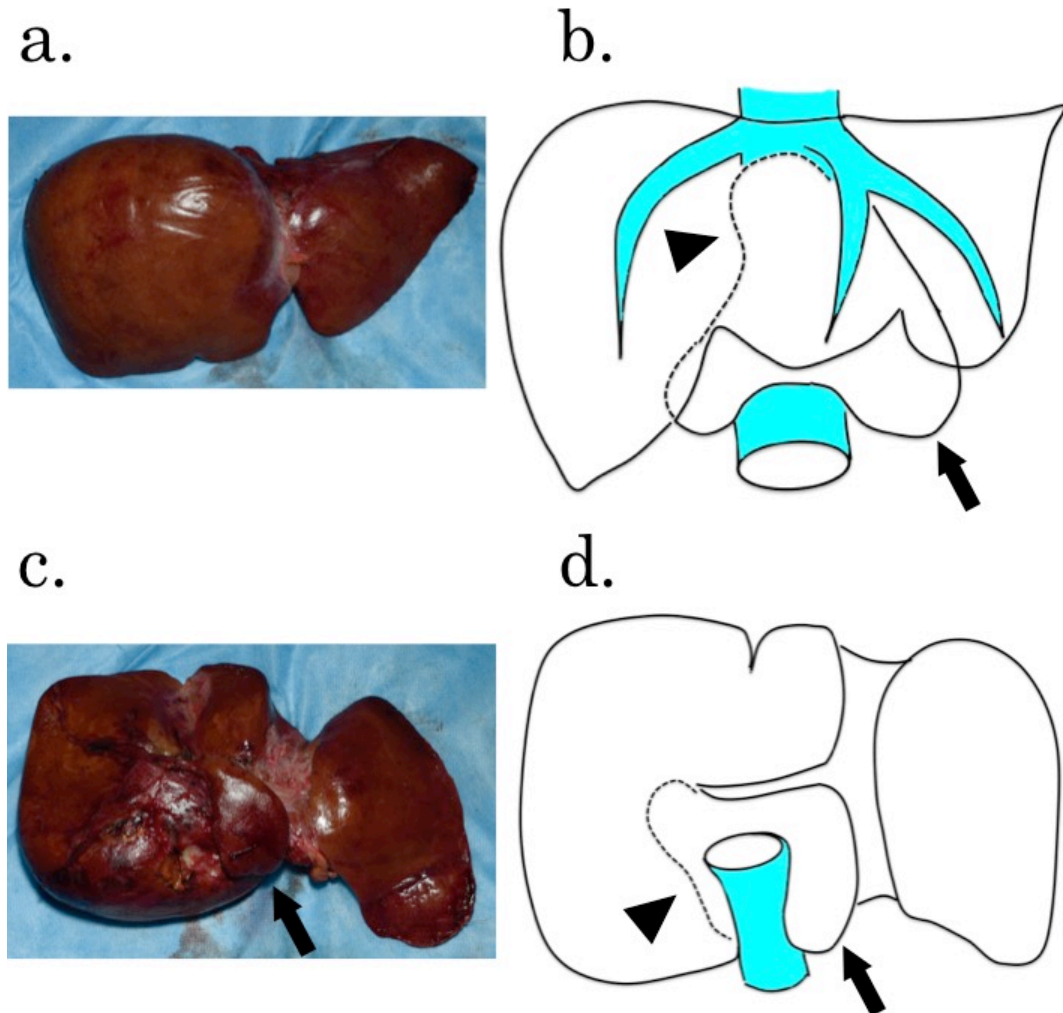
通常、肝区域境界には各々の領域を還流する肝静脈が走行することが知られている。Kogure ら [22] は尾状葉においても、尾状突起部と右葉の間には尾状突起部静脈が存在することを報告している。我々は尾状葉傍下大静脈領域の右側境界にも同様の静脈枝が存在するとの仮説を立てた。従来のホルマリン固定し

た屍体肝を用いた研究では、傍下大静脈領域の右側境界の解剖学的メルクマールを指摘し得なかったが、近年臨床応用が進んでいる、術前 CT を基にした 3D シミュレーションソフトウェア[23]を用いれば、微細な脈管を同定できる可能性がある（研究 1）。SYNAPSE VINCENT® (FUJIFILM 社、東京、日本) に関しては、解剖学的切除において、区域間を走行する肝静脈枝の同定に有用であるとする報告がある[24]。

さらに本研究 2 では、尾状葉に対する肝切除方法について検討した。尾状葉を切除するには拡大右肝切除術[25-27]や拡大左肝切除術[28,29]といった半肝切除が適用されることもあるが、切除肝容量が大きいため、術後の残肝機能に懸念がある。肝予備能が低い患者に対しては、高位背方アプローチを用いた尾状葉単独切除術が適用可能だが、肝両葉を完全に授動し、背側からの狭い視野で主肝静脈を露出する必要があるため、技術的要求度が高い[30]。また肝臓を縦に離断して離断面から腫瘍核出を行う経肝前方アプローチの報告もあるが、これは腫瘍が小さく、中肝静脈などの主要な脈管への浸潤がない場合に限られる[31]。今回我々は、良好な視野で、根治性と残肝容量の確保を両立させ得る術式として、従来の肝中央切除術[32-34]に尾状葉解剖の知見を取り入れた、肝門アプローチを用いた肝中央切除術に注目し、その手術手技と成績について検討した（研

究 2)。

図 2: 肝尾状葉の肉眼解剖



- a. 肝移植レシピエントから摘出された全肝標本を腹側から観察した。尾状葉は背側の深い位置にあるため確認できない。
- b. 腹側から見た肝臓の模式図。尾状葉は、水色で示した肝静脈の背側かつ下大静脈の腹側にある。尾状葉の左側境界は、Spiegel 葉(矢印)の左側境界として容易に認識できる。一方で右側境界(矢頭)は視認することができない。
- c. a と同じ全肝標本を背側から観察した。Spiegel 葉(矢印)は突出しており左側境界が明らかである。
- d. 背側から見た肝臓の模式図。Spiegel 葉(矢印)の左側境界は認識できるが、右側境界(矢頭)は視認できない。

## 第 2 章:研究 1「3D シミュレーションを用いた肝尾状葉の解剖学的境界の解析」

### 第 1 節. 研究 1 の方法

#### 第 1 項. 対象

2012 年から 2014 年までに、当科で生体肝移植術の適応を検討するために受診した健常ドナーを対象とした。ドナー適格性の判断に用いた造影 CT の画像データを利用したため、本研究のために加えられた侵襲はない。造影剤投与と撮影のタイミングにより解析し得る画質が得られなかったものは除外した。

## 第 2 項. 3D シミュレーションソフトウェアによる肝尾状葉の構築

造影剤注入後、各々20秒、75秒、120秒後の動脈相、門脈相、静脈相の3相において上腹部のダイナミックCTを撮像した。スライス厚さは3mmで、スライス間隔1.5mmの画像を得た[35]。尾状葉は公文[19,20]の定義に従い、門脈本幹もしくは第一次分枝で灌流される領域とした。

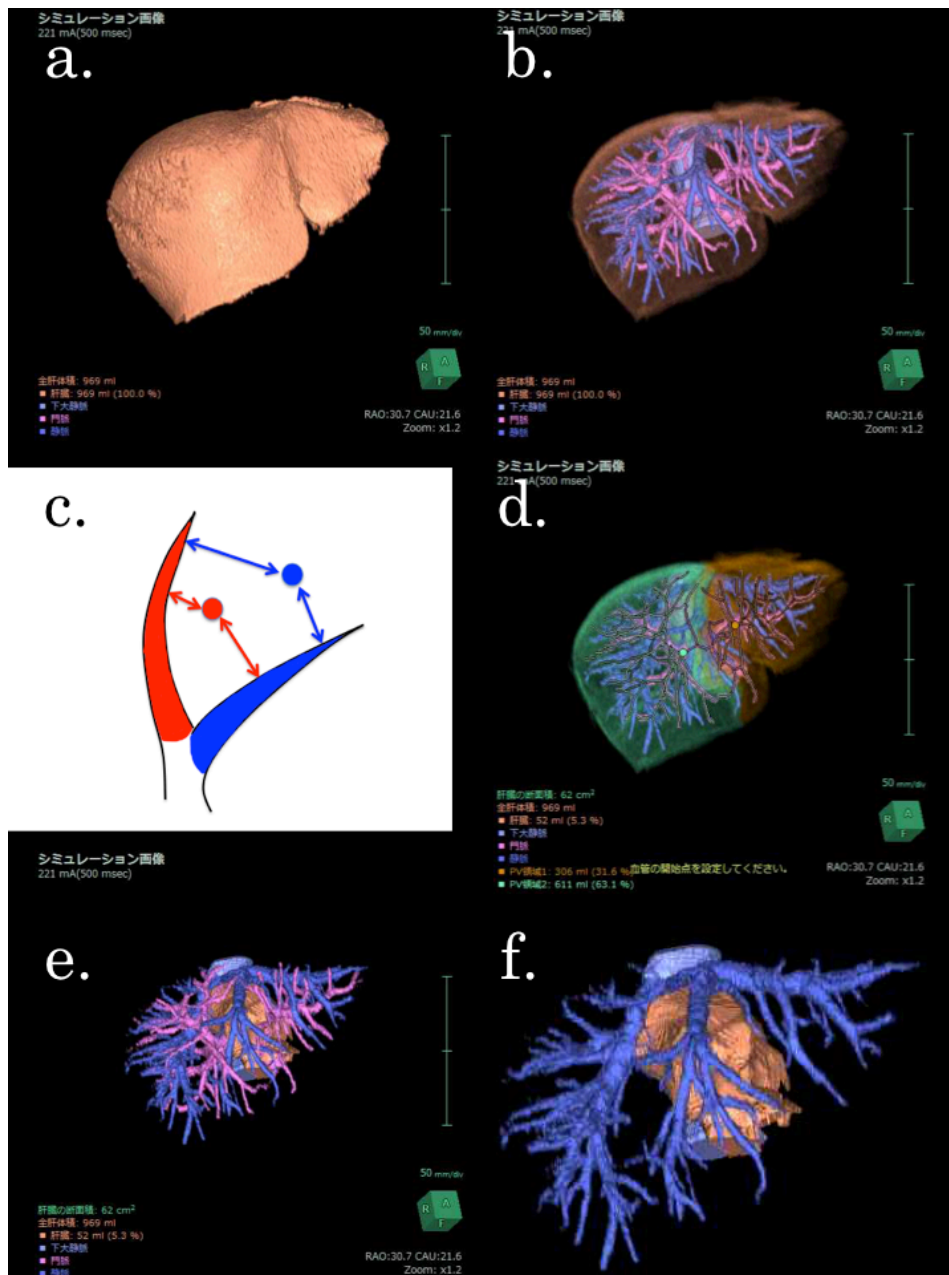
造影CTの画像を3DシミュレーションソフトウェアであるSYNAPSE VINCENT®(FUJIFILM社、東京、日本)を用いて解析した。まずDICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine)形式の元画像をSYNAPSE VINCENT®を搭載したコンピューターに転送する。2D画像において肝臓の領域を選択すると、全肝の3D画像が得られる(図3a)。次に門脈枝と静脈枝を各々選択して脈管を描出する。この際に可能ならば肝臓表面まで、枝分かれした先を緻密に選択することでより正確なシミュレーションが可能となる(図3b)。公文の定義に則り門脈本幹もしくは一次分枝を指定することで尾状葉領域を描出することができる。SYNAPSE VINCENT®においては、ある肝実質の点がどの門脈領域に属するかは近傍の門脈枝との最短距離を計算して、最も小さい距離となった門脈枝の灌流領域として表示される(図3c)。一方で尾状葉が細く同定困難な場合は、対側染色の要領を用いて、全肝から左葉と右葉を差し引くこと

で尾状葉領域を描出した[36]。すなわち segment 2 を灌流する門脈枝より末梢を左葉、前区域と後区域を灌流する門脈枝より末梢を右葉として描出すれば(図 3d)、残りを尾状葉として描出可能である(図 3e)。

描出した尾状葉の画像の概要を調べた後に、主に肝静脈と尾状葉傍下大静脈領域との位置関係に着目し、頭側と右側の境界について調べた (図 3f)。まず肝尾状葉の頭側境界について検討し、傍下大静脈領域の肝横隔膜面への突出の程度に応じて 3 型に分類した。次に肝尾状葉の右側境界について検討し、メルクマールとなる静脈枝と近接する segment 7 と segment 8 の位置関係に応じて 3 型に分類した。各分類を利用して尾状葉の大きさを比較検討した。また頭側境界と右側境界の各々の分類間の関係を解析した。



図 3: SYNAPSE VINCENT®を用いた肝尾状葉の構築



- 全肝を描出する。
- 肝内門脈の分枝を肝門から肝表面まで描出する。
- 近傍の門脈枝との距離を3次元的に計算して表示する。赤点で示す領域は青色の門脈枝の灌流領域で、青点で示す領域は青色の門脈枝の灌流領域である。
- 尾状葉門脈枝を同定できない場合、まず肝左葉(橙色)と右葉(緑色)を描出する。
- 全肝から差し引くことで、尾状葉を描出することができる。
- 肝静脈との位置関係に着目して尾状葉の境界を調べた。

### 第 3 項. 統計解析

連続変数に関しては Wilcoxon の順位和検定を用い、名義変数に関しては  $\chi^2$  検定を用いて解析した。P 値が 0.05 未満である場合に、統計学的有意差ありと判断した。統計解析には JMP® Pro 13.2.0 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) を用いた。

### 第3節. 研究1の結果

#### 第1項. 対象

研究期間内の生体肝移植ドナー候補 65 例のうち、CT 画像不適格であった 2 例を除く、63 例を対象とした。性別内訳は男性 31 例、女性 32 例だった。年齢は中央値 35 (範囲 20~64) 歳だった。過去に肝切除の既往のある者はおらず、血液検査において肝機能検査は全例正常範囲だった。全肝容量は中央値 1086 (範囲 842~1688) ml だった。尾状葉の容積は中央値 61 (範囲 18~151) ml で、全肝に占める割合は中央値 5.2 (範囲 1.9~13)% だった。

## 第 2 項. 肝尾状葉の頭側境界

全 63 例のうち 19 例 (30%)では、傍下大静脈領域は肝横隔膜面へ達していた。

そのうち全体の 16%に相当する 10 例では右肝静脈の腹側に突出していた

(Group A)。一方全体の 14%に相当する 9 例では右肝静脈の背側に突出していた

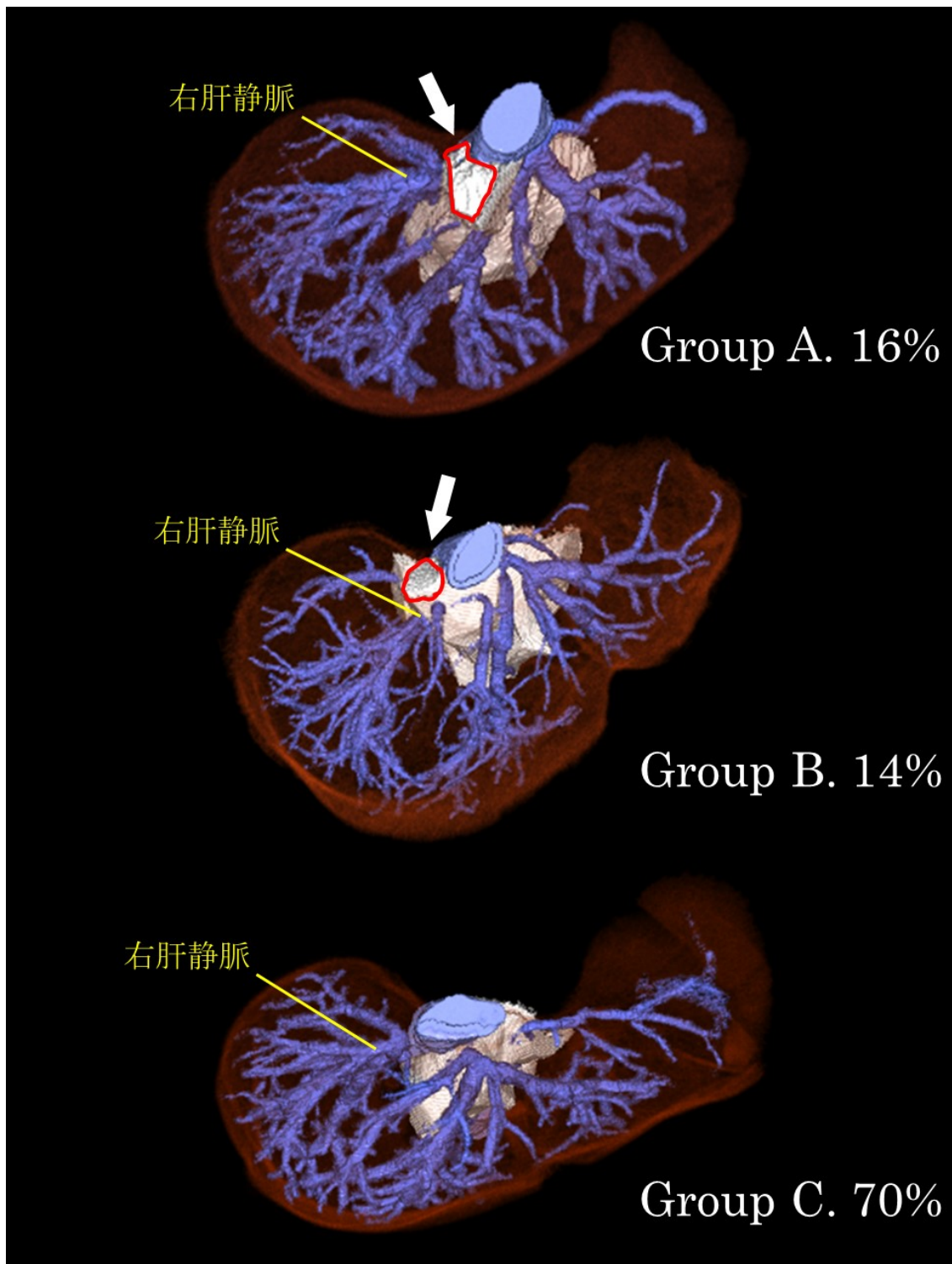
(Group B)。残りの 44 例 (70%)では肝横隔膜面へ達していなかった (Group C)

(図 4)。尾状葉の全肝に占める割合は、肝横隔膜面へ達していた Group A+B で

は、中央値 6.3 (範囲 2.4~13)%、達していなかった Group C では中央値 5.0 (範

囲 1.9~11.7)%であり、有意に Group C では小さかった ( $P = 0.002$ )。

図 4: 尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界に基づいた分類



各図では肝臓を頭側から見下ろしている。公文の定義に則った尾状葉が白色で描出され、肝静脈は青色の脈管で描出されている。白矢印で示すように、Group A と Group B では赤線で囲った部分が横隔膜面に到達している。

### 第3項. 肝尾状葉の右側境界

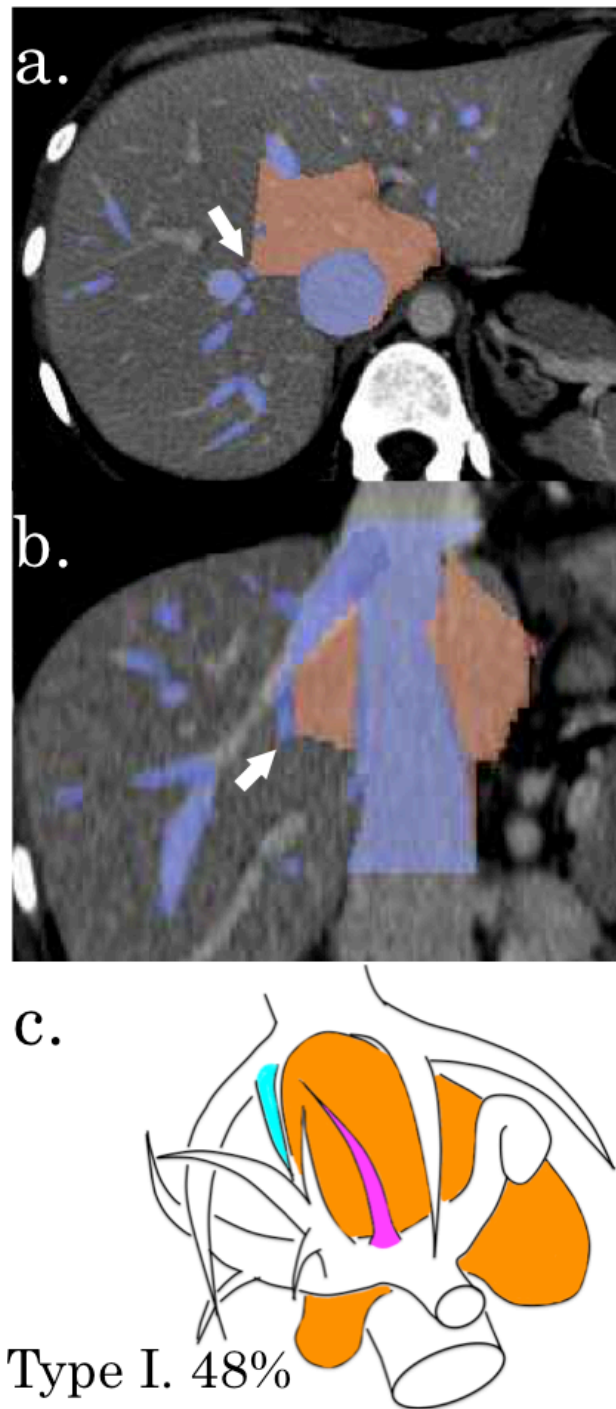
全 63 例において、右肝静脈の下大静脈流入部近くに合流する静脈枝を同定することができ、これを傍下大静脈領域静脈と名付けた。傍下大静脈領域静脈は、傍下大静脈領域の右側境界と一致して、もしくは右側境界の近傍を尾頭方向へ走行した。傍下大静脈領域静脈は、右肝静脈の下大静脈流入部から中央値で 27.4 (範囲 8.7~52.7) mm 末梢側に流入していた。傍下大静脈領域静脈と右肝静脈がなす角度の中央値は 39.5 (範囲 20.9~76.6)度だった。

傍下大静脈領域静脈が傍下大静脈領域の右側境界と一致していたのは 30 例 (48%)だった (Type I, 図 5)。残りの 33 例 (52%)において、傍下大静脈領域静脈は傍下大静脈領域の右側境界と一致せず、segment 7 もしくは segment 8 内を走行していた。segment 7 内を走行していたものが 16 例 (25%, Type IIA, 図 6)、segment 8 内を走行していたものが 17 例 (27%, Type IIB, 図 7)だった。傍下大静脈領域静脈が傍下大静脈領域の右側境界と一致した Type I では、尾状葉の全肝に占める割合の中央値は 5.7 (範囲 4.0~13.0)%、右側境界と一致しなかった Type IIA+B では、中央値 5.0 (範囲 1.9~11.7)%であり、有意に Type I では大きかった ( $P = 0.005$ )。

肝横隔膜面へ達していた Group A+B, 19 例のうち、傍下大静脈領域静脈が傍

下大静脈領域の右側境界と一致した Type I に属するのは 12 例 (63%) であり、  
肝横隔膜面へ達していない Group C, 44 例のうち、Type I に属するのは 18 例  
(41%) であり、有意差を認めなかった ( $P = 0.169$ )。

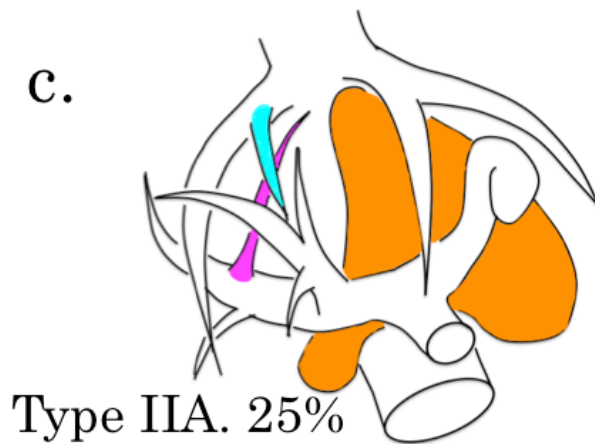
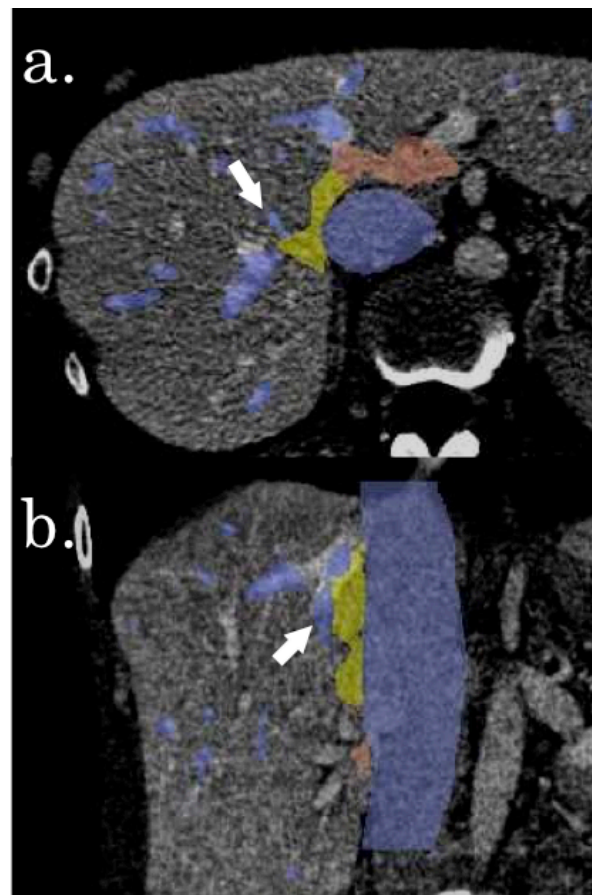
図 5: Type I における傍下大静脈領域静脈と尾状葉右側境界との関係



- a. CT 水平断。傍下大静脈領域静脈(白矢印)は尾状葉(オレンジ色)の右側境界に一致していた。
- b. CT 冠状断。
- c. シェーマ。水色は傍下大静脈領域静脈、ピンク色は傍下大静脈領域へ分布する門脈枝を示す。

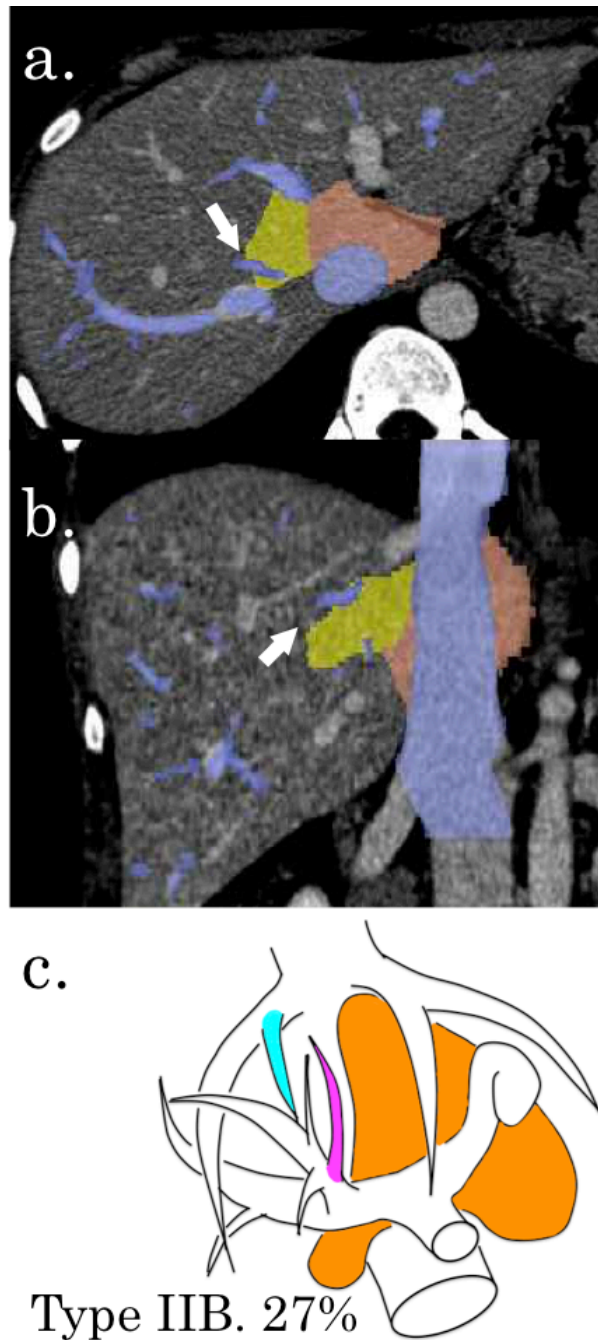


図 6: Type IIA における傍下大静脈領域静脈と尾状葉右側境界との関係



- a. CT 水平断。傍下大静脈領域静脈(白矢印)と尾状葉(オレンジ色)の間には segment 7 の肝実質(黄色)が存在し、傍下大静脈領域静脈は尾状葉の右側境界とは一致しない。
- b. CT 冠状断。
- c. シェーマ。水色は傍下大静脈領域静脈、ピンク色は segment 7 の門脈枝の一部を示す。

図 7: Type IIB における傍下大静脈領域静脈と尾状葉右側境界との関係



- a. CT 水平断。傍下大静脈領域静脈(白矢印)と尾状葉(オレンジ色)の間には segment 8 の肝実質(黄色)が存在し、傍下大静脈領域静脈は尾状葉の右側境界とは一致しない。
- b. CT 冠状断。
- c. シェーマ。水色は傍下大静脈領域静脈、ピンク色は segment 8 の門脈枝の一部を示す。

#### 第4節. 研究1の考察

本研究1では、まず尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界について調べ、尾状葉傍下大静脈領域は約3分の1の症例において肝横隔膜面にまで達していることを示した。次に右側境界については、傍下大静脈領域静脈は全例で描出され、約2分の1の症例において尾状葉傍下大静脈領域の右側境界に一致していたが、残り2分の1においては右側境界に一致する静脈枝を見出すことはできなかった。これらは尾状葉単独もしくは尾状葉に近接する segment を解剖学的に正確に切除する際に、必要な知見だと思われる。また術前 CT を用いた 3D シミュレーションの有用性を示唆するものである。

1985年に公文[19,20]は尾状葉を3つの部位、すなわち Spiegel 葉と尾状突起部領域、傍下大静脈領域に分けられることを述べた。その論文の中では傍下大静脈領域は解剖学的に特殊であることが強調されている。すなわち傍下大静脈領域を灌流する門脈枝は26%の症例で門脈右枝から分岐している一方で、傍下大静脈領域内の胆管枝は53%の症例で左肝管もしくはその分枝へ合流することが示された。傍下大静脈領域の左側つまり Spiegel 葉との境界に関しては、2000年に Kogure ら[37]が肝表の凹みが境界となり得ることを示した。

尾状突起部領域の右側境界については2008年に Kogure ら[22]は境界に一致

する尾状突起部静脈を見出した。論文の中で、尾状突起部静脈は4型に分類されているが、そのうちIV型は右肝静脈に流入しており、本研究における傍下大静脈領域静脈に類似している。Kogureらの尾状突起部静脈IV型と本研究の傍下大静脈領域静脈は走行が類似しているが、既報では尾状突起部静脈IV型は全症例の3.7%と稀である一方で、今回の検討では傍下大静脈領域静脈は約50%の症例で傍下大静脈領域の右側境界と一致した。この割合の相違に関しては、Kogureらが尾状葉突起部の右側境界に着目して屍体肝の解剖を行い、境界となる静脈を分類したのに対し、本研究では術前CTを基にした精細な画像解析を用いて静脈の描出を試みたことに起因すると推察される。尾状葉右側境界を規定し得る構造として傍下大静脈領域静脈を同定した報告は本研究が初めてであると思われる。Kitagawaら[38]も屍体肝を用いて尾状葉の右側境界について調べ、傍下大静脈領域が右肝静脈流入部を超えて右側へ張り出している場合もあることを指摘しているが、境界となる静脈についての言及はなかった。

傍下大静脈領域静脈の存在を念頭におけば、通常臨床においても術前に造影CTの2D画像で本静脈を指摘することは可能である。一方でこの静脈が実際にその症例における傍下大静脈領域の右側境界と一致するかを確認するためには、3Dシミュレーションソフトウェアによる画像解析を行うことが望ましい。実臨

床において、尾状葉下大静脈領域の右側境界が問題となる術式は、尾状葉切除術[9,13,30]、肝細胞癌に対する肝 S7 亜区域切除術や S8 亜区域切除術[39]、肝門部胆管癌に対する拡大左肝切除術[29]などが想定される。今日得られた尾状葉頭側右側境界に関する知見と画像評価の方法は、今後これらの手術において、より正確な解剖学的切除を行うことに寄与すると考えられる。

尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界について、公文[19,20]は屍体肝を用いた研究で 19 例中 10 例 (53%)で下大静脈突起部を灌流する門脈枝が横隔膜面まで到達していることを示した。Kwon ら[21]も屍体肝を用いて同様の結論を得ている。本研究においては傍下大静脈領域が横隔膜面に到達しているのは 63 例中 19 例と約 30%だった。両研究とも症例数が少ないため、上記の割合に有意差があるか不明であるが、検討方法の違いが影響している可能性はある。

実臨床において、尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界が問題となり得るのは、肝 S7 亜区域切除術や S8 亜区域切除術[39]である。例えば肝 S7 亜区域切除術を施行する際には右肝静脈が肝離断面に露出することとなるが、右肝静脈の下大静脈流入部は必ずしも全症例において露出する必要はないことがわかる。言い換えると右肝静脈の下大静脈流入部を露出しながら肝 S7 亜区域切除術を施行した場合には、尾状葉傍下大静脈領域を一部同時に切除している場合もある。

この場合は傍下大静脈領域に分布するグリソンを切離する必要があるため、肝離断の際には、出血や胆汁漏を生じないように丁寧に処理する必要がある。同様に、肝 S8 亜区域切除術を施行する際には右肝静脈と中肝静脈が肝離断面に露出することとなるが、下大静脈は必ずしも全症例において露出する必要はない。本研究では従来の屍体肝を用いた研究と同様に、3D シミュレーションソフトウェアでも、尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界を想定することができることを示した。これは術前に解剖学的特徴を知ることができる点で肝臓外科医にとって意義が大きい。

研究 1 の限界について述べる。第 1 に、血管造影による CT とその画像を用いた 3D シミュレーションでは胆道の走行を描出することができないことが挙げられる。磁気共鳴胆道膵管造影検査や点滴静注胆道造影検査を用いた画像を同時にシミュレーションできれば、胆管解剖を含めてより詳細に尾状葉の頭側右側境界を検討できる可能性がある。第 2 に CT の描出能の問題がある。現行の造影 CT の技術的限界により、1mm 以下の脈管を描出、同定することは困難であり、顕微鏡的な構造の評価においては屍体肝の病理解剖に基づく研究に劣る点がある。第 3 の限界は術前 CT で同定された傍下大静脈領域静脈を術中超音波検査[40]などの既存の技術を用いて、術中に確認できるか評価していない点

である。術前シミュレーションだけでなく、術中超音波検査でも位置を確認できれば、肝離断のメルクマールとしてさらに重要性が高まると考えられ、今後術前シミュレーションと術中所見との一致率について検討を加えたい。

### 第3章:研究2「尾状葉に対する、肝門アプローチを用いた肝中央切除術の検討」

#### 第1節. 研究2の方法

##### 第1項. 対象と切除適応

2014年から2017年までの4年間で、当科で肝切除を予定した患者において、術前造影CTを基にして、3DシミュレーションソフトウェアであるSYNAPSE VINCENT® (FUJIFILM社、東京、日本)を使用して、仮想肝切除を行い、切除容量を見積もった[23]。幕内基準に則り、インドシアニングリーン投与15分値後の血中停滞率から、術後予定残肝容量が許容されるかを判断した[41]。尾状葉の切除を必要とする患者のうち、肝門アプローチを用いた肝中央切除術が妥当と判断された症例に対して本術式を適応した。なおインドシアニンググリーン血中停滞率が正常で、予定残肝容量からは半肝切除でも許容される場合であっても、術後肝不全のリスクを最小にし、かつ肝内再発時の再肝切除に備えて、可能な限り肝実質を温存できる術式を選択することを原則とした。肝門アプローチとは、前方腹側から肝離断を行い、肝門板を広く露出し左右の主グリソン鞘をテーピングする手技と定義した。

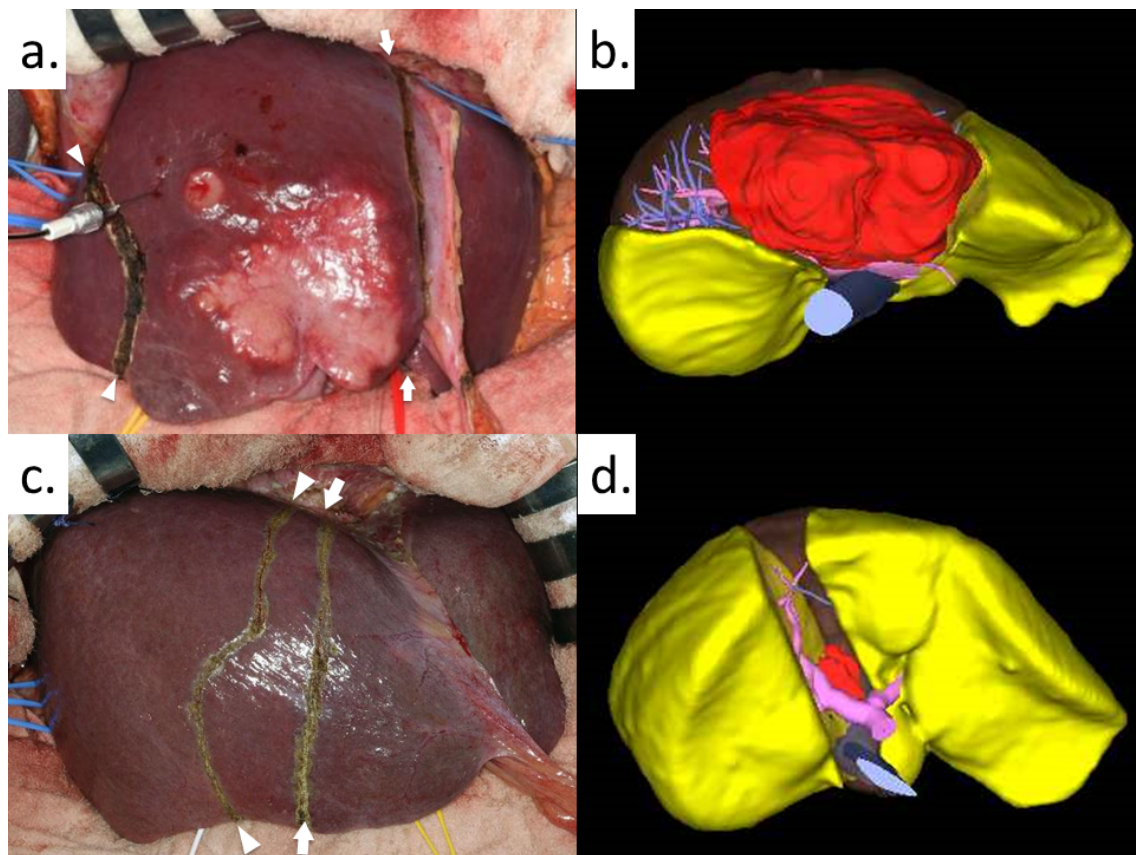


## 第 2 項. 肝門アプローチを用いた肝中央切除術の手術手技

まず逆 L 字切開にて開腹する。視野が不十分な場合は第 9 肋間で開胸を加える。腹腔内視触診を行い、非根治因子のないことを確認した後に、術中超音波検査で腫瘍の性状や位置を確認する。次に、尾状葉を含めて右肝を下大静脈から完全に授動する。授動の際には尾状葉をドレナージし下大静脈へ流入する短肝静脈を逐次結紮切離する。後の肝離断の目標点とするために右肝静脈をテーピングする。必要に応じて、出血コントロール目的に下大静脈もテーピングする。そして尾状葉傍下大静脈領域を含むように肝離断線を設定する。この際に左側の離断線に関しては、中肝静脈や尾状葉 Spiegel 葉を合併切除する際には、肝円索に沿う離断線とするが、合併切除の必要がない場合には中肝静脈に沿う離断線とする (図 8a-d)。右側の離断線に関しては、門脈前区域枝もしくは segment 8 の腹側枝を術中超音波ガイド下に穿刺して、インジゴカルミン溶液を注入し、染色領域の右側とする (図 9a,b)。尾状葉傍下大静脈領域の右側境界については、可能ならば傍下大静脈領域枝を穿刺して、染色することで決定する (図 9c, d)。設定した離断線に沿って電気メスを用いて焼灼マーキングする。次に Pringle 遮断下に clamp-crushing 法で肝離断を行う。まず右肝静脈壁を露出するところまで右側の離断を行う。この際には門脈前区域枝の末梢枝を逐次

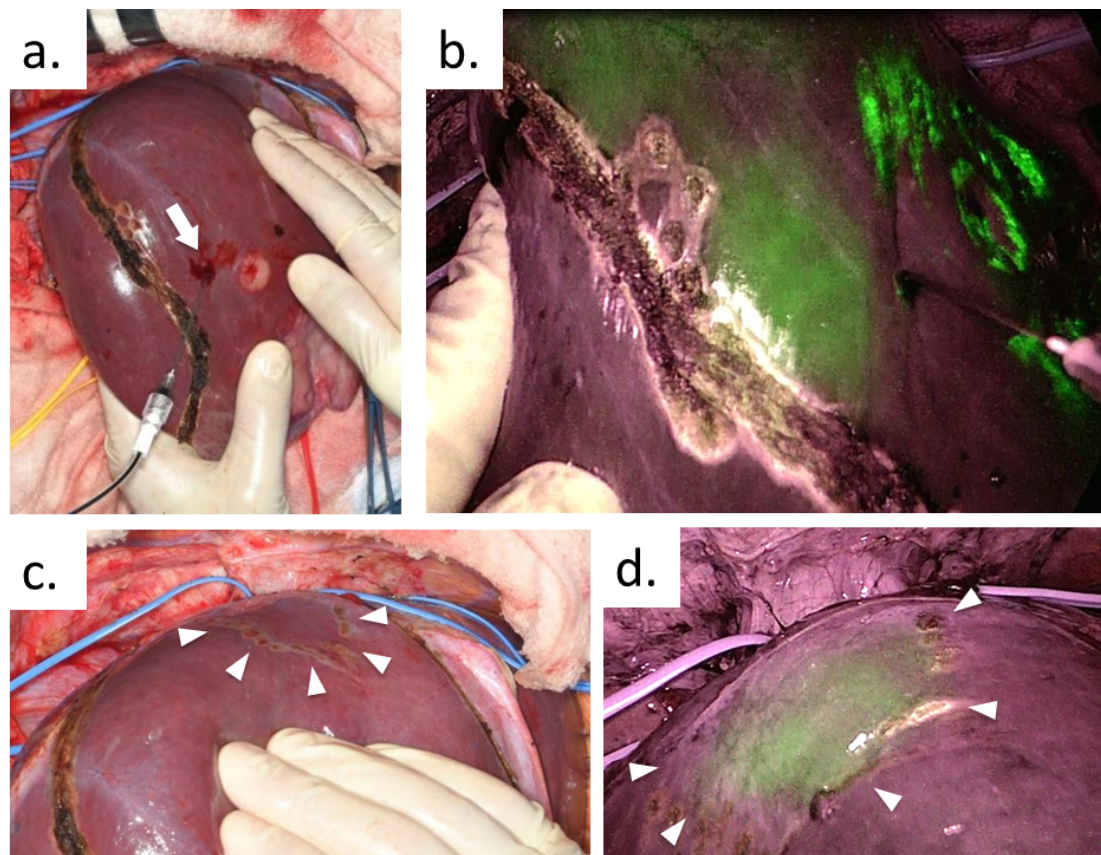
結紮切離しながら、もしくは **right anterior fissure** に沿って離断を進める。肝離断の際には術者の左手を右肝の背側かつ下大静脈の腹側に置き、右肝を背側から腹側へ圧排することで右肝静脈からのバックフローをコントロールし出血を制御することができる。さらにその左手や先にテーピングしておいた右肝静脈をガイドとすることで尾状葉傍下大静脈領域を離断することが容易となる(図 10a,b)。肝門から分枝する尾状葉枝は丁寧に結紮切離し、尾状葉を肝門から分離する。肝門から尾状葉を分離する過程で、肝門を広く露出し左右のグリソン鞘をテーピングする(図 11a,b)。左右のグリソン鞘を尾側へ牽引することで良好な視野を得る。次に **segment 4** を灌流する門脈分枝を適宜結紮切離しながら、中肝静脈の流入部へ向けて、左側の離断を行う。原則 **Arantius** 管も結紮切離するが、**Spiegel** 葉まで切除する必要があるかは症例毎に判断する。最後に中肝静脈を切離し、尾状葉ごと検体を摘出する。切離した中肝静脈断端は連続縫合で閉鎖する。肝中央切除後の切離面および切除検体の 1 例を図 12a,b に示す。

図 8 肝中央切除における肝離断線を選択



- a. 症例 #5 においては腫瘍が大きく、中肝静脈合併切除を要した。左側の離断線は肝鎌状間膜に沿う線とし(白矢印)、右側の離断線は前区域と後区域の境界とした(白矢頭)。
- b. 症例 #5 における 3D シミュレーション画像を、肝臓を尾側から見上げる角度で示した。腫瘍は赤色、予定残肝は黄色で描出している。
- c. 症例 #2 は肝予備能が低く、残肝容量を多く確保する必要があった。左側の離断線は中肝静脈とし(白矢印)、右側の離断線は前区域グリソン鞘と右肝静脈下大静脈流入部をメルクマールに決定した(白矢頭)。
- d. 症例 #2 における 3D シミュレーション画像を、肝臓を尾側から見上げる角度で示した。腫瘍は赤色、予定残肝は黄色で描出している。

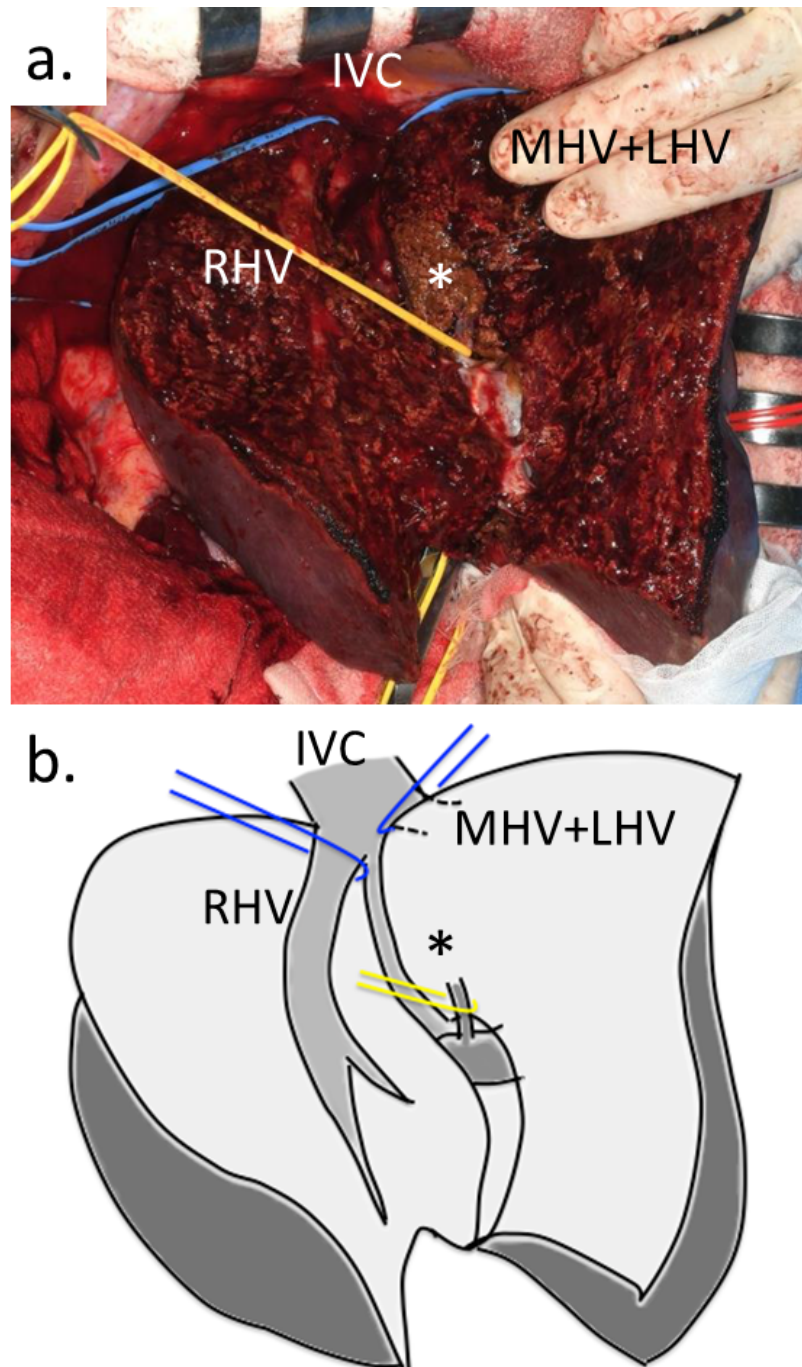
図 9: 右側の離断線について、解剖学的境界を同定する手法



症例 #5 を例として示した。

- a. 門脈前区域枝の根部を穿刺し(白矢印)、インドシアニンググリーン溶液を混合したインジゴカルミン染色液を門脈枝に注入する。
- b. 蛍光イメージングシステムの一つである PINPOINT® (Novadaq 社、オンタリオ、カナダ)を用いるとインドシアニンググリーンで染色された領域が緑色に描出され、肝前区域の境界が明瞭である。
- c. 尾状葉傍下大静脈領域に分布する門脈分枝を穿刺して同様に染色したが境界は不明瞭である(白矢頭)。
- d. PINPOINT®システムで尾状葉傍下大静脈領域が鮮明に描出された(白矢頭)。この症例においては尾状葉傍下大静脈領域が肝横隔膜面へ到達していることがわかる。

図 10: 右側境界を離断した際の所見

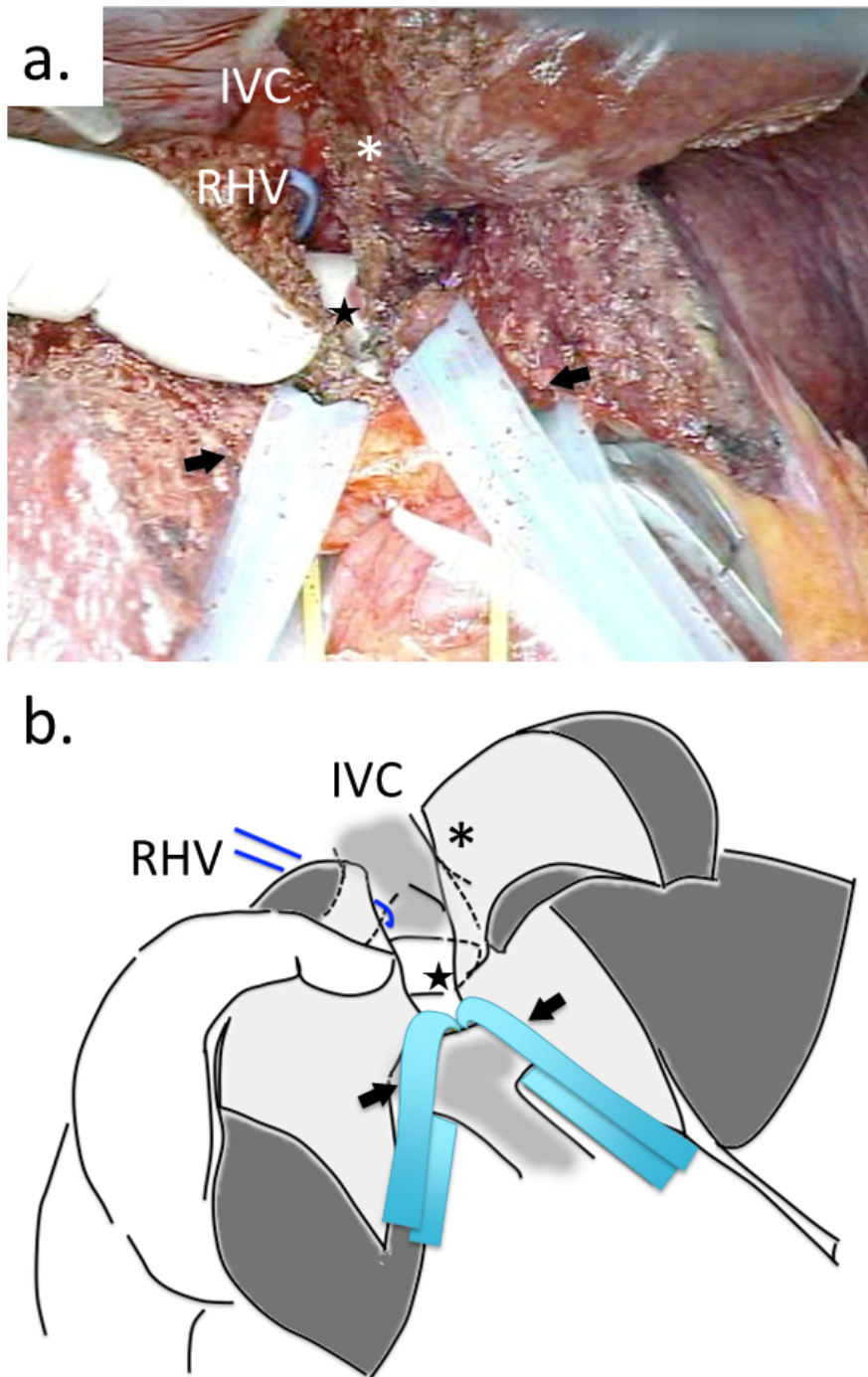


症例 #5 を例として示した。右肝静脈及び中肝静脈/左肝静脈の共通幹の流入部が各々青色ベッセルループで、また尾状葉傍下大静脈領域(\*)に分布する門脈分枝が黄色ベッセルループでテーピングされている。

a. 術中写真。

b. シェーマ。IVC;下大静脈, RHV;右肝静脈, MHV;中肝静脈, LHV;左肝静脈

図 11: 本術式の要点

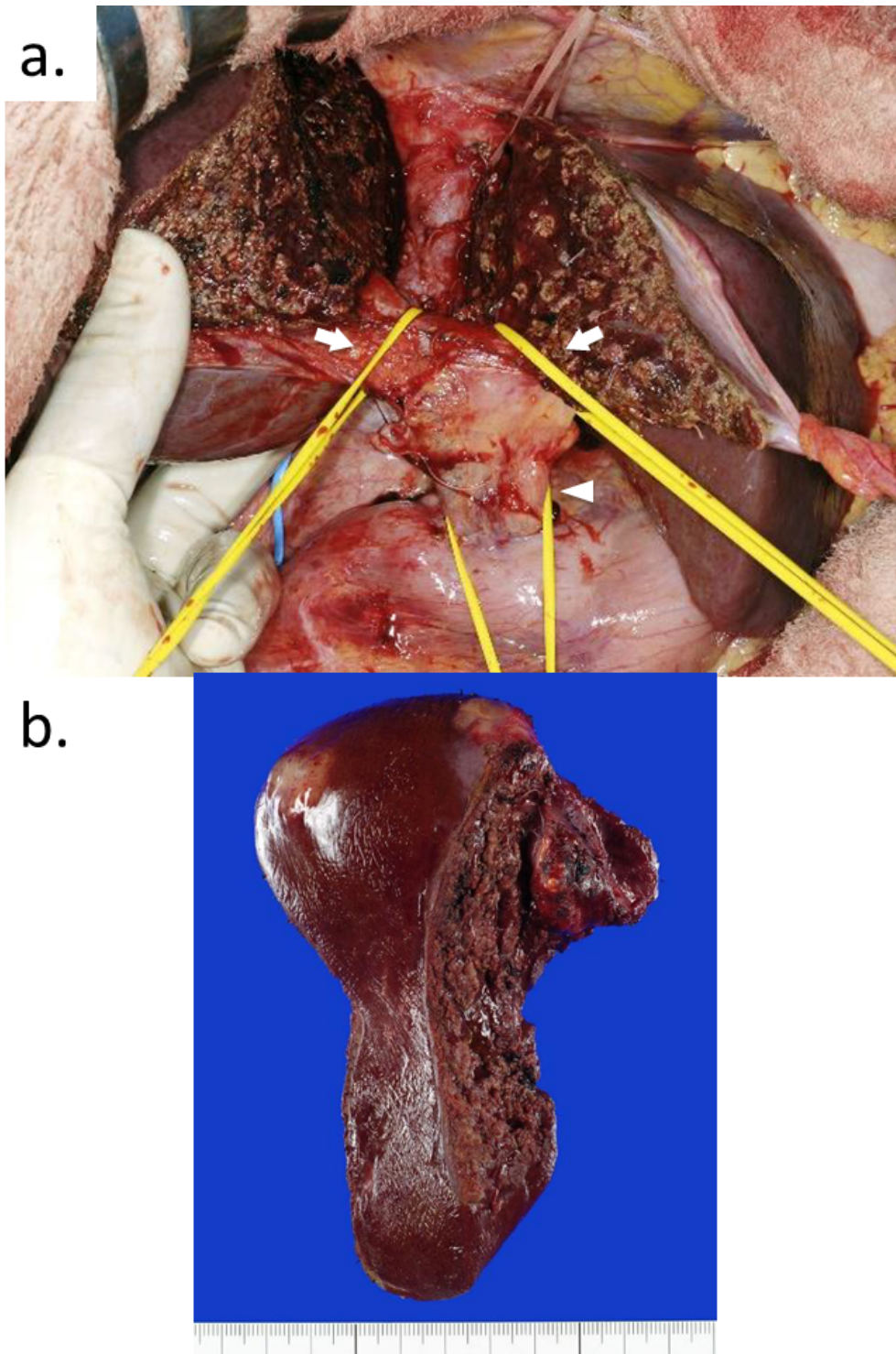


症例 #1 を例として示した。尾状葉傍下大静脈領域(\*)を完全に授動し、右肝背側にあてがった術者左手示指(★)で、出血をコントロールした。左右グリソン鞘をテーピングし(黒矢印)、尾側に牽引することで良好な視野を得た。

a. 術中写真。

b. シェーマ。IVC;下大静脈, RHV;右肝静脈

図 12: 肝離断終了後の所見



症例#6 を例として示した。

a. 術中写真。左右のグリソン鞘(白矢印)と肝十二指腸間膜(白矢頭)が各々テーピングされている。

b. 切除検体。離断面への腫瘍の露出は認めない。離断面は平面で単純である。

### 第3項. 評価項目

尾状葉を切除するための術式として、仮想右肝切除、仮想中央切除、仮想左肝切除の3術式を設定し、シミュレーションを行った。仮想切除容量の全肝容量に対する割合を比較し、中央切除が半肝切除と比較して肝実質の温存に寄与するか、Friedman検定を用いて解析した。また2術式間の比較はBonferroniの多重比較を行なった。P値が0.05未満である場合に、統計学的有意差ありと判断した。統計解析には、Rソフトウェア(The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)のグラフィカル・ユーザー・インターフェースであるEZR 1.33(埼玉医科大学、自治医科大学、埼玉、日本)を用いた[42]。

肝門アプローチを用いた肝中央切除術を用いた症例の患者背景と術後成績を検討した。合併症についてはClavien-Dindo分類に基づいて評価した[43]。

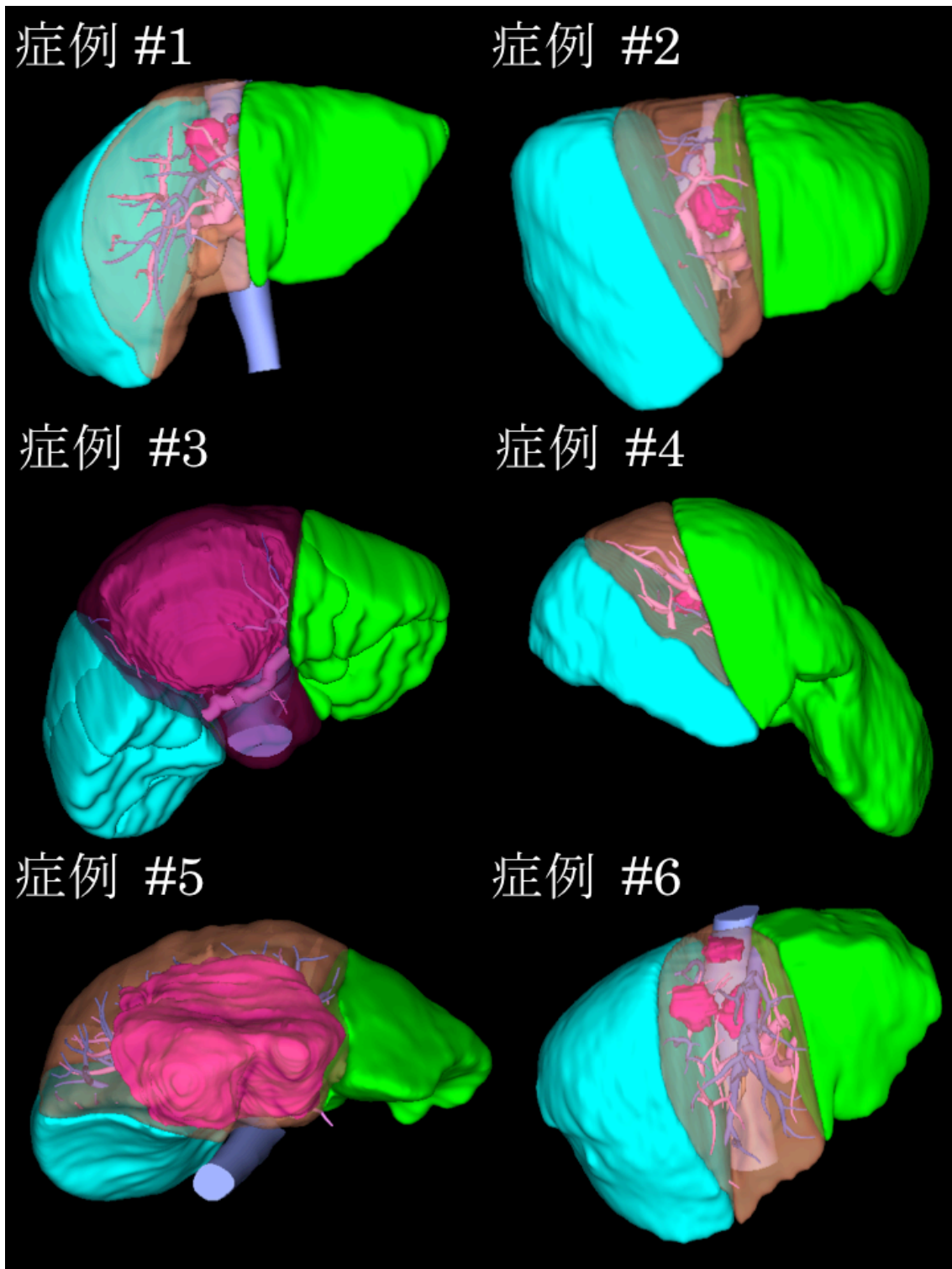
中央切除を適応した患者の術前画像において、研究1と同様の手法と群分けを用いて、尾状葉を描出し、傍下大静脈領域の頭側境界と右側境界を解析した。



### 第3節. 研究2の結果

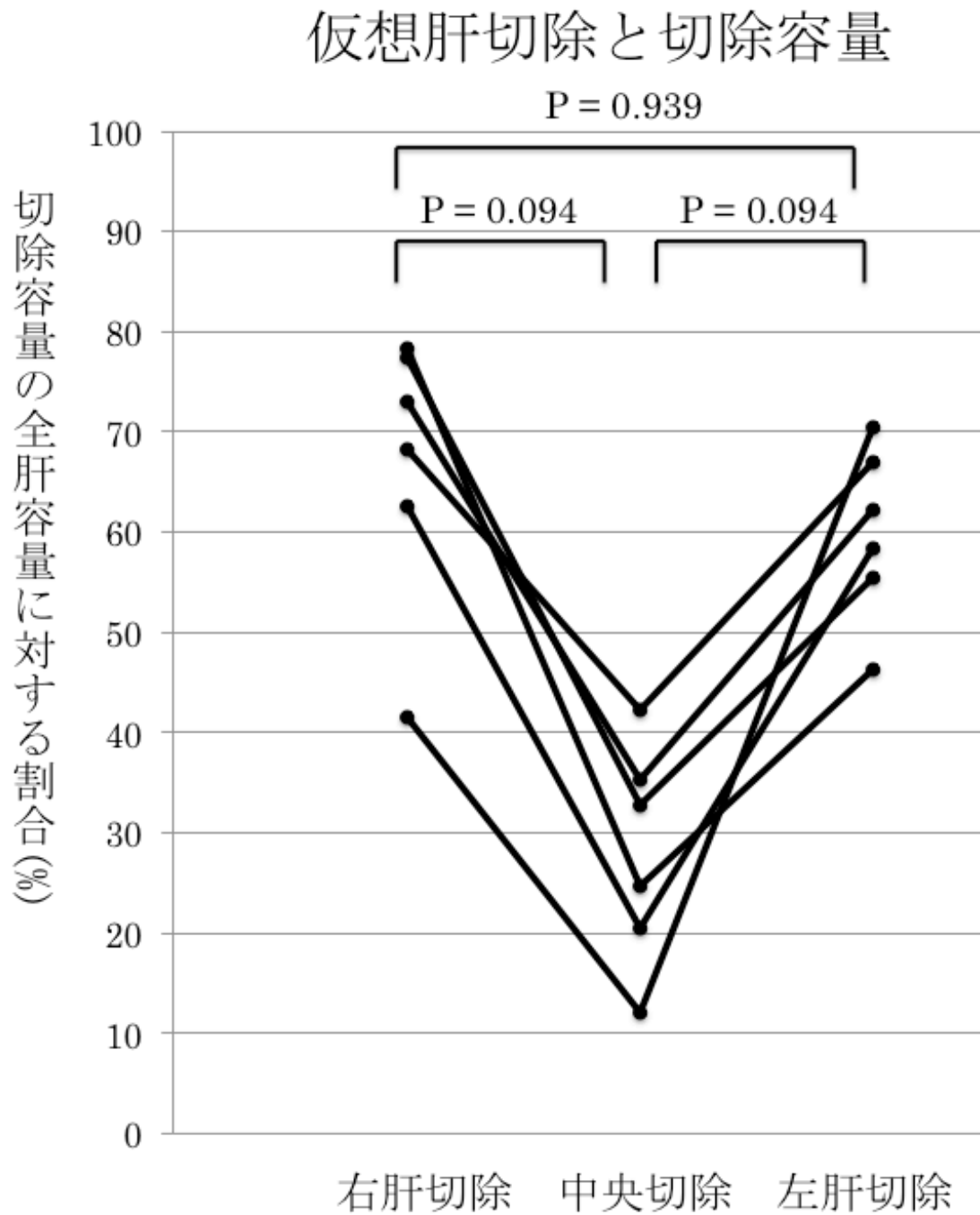
2014年1月から2017年12月まで当科で施行した肝切除673例(生体肝移植ドナーを除く)のうち、本術式を施行したのは6例(0.89%)だった。各患者の肝切除シミュレーションを図13に示した。術前の肝予備能と腫瘍の大きさや個数によって離断線を調整した。シミュレーションにおいて、切除容量の全肝容量に対する割合の中央値は各々、仮想右肝切除で70.7(範囲41.6~78.4)%、仮想中央切除で28.8(範囲12~42.2)%、仮想左肝切除で60.3(範囲46.3~70.4)%と有意差を認めた( $P = 0.006$ ) (図14)。2術式毎の比較では、仮想中央切除は仮想右肝切除や仮想左肝切除と比較して切除容量が少ない傾向を認めた( $P = 0.094$ ,  $P = 0.094$ )。

図 13: 尾状葉に対する肝切除シミュレーション



腫瘍はピンクで示す。肝門アプローチを用いた中央切除を行なったと想定した際の残肝が、右側は水色、左側は緑色で示されている。

図 14: 各患者における、仮想肝切除における切除容量の全肝容量に対する割合。



3 術式の中では、中央切除を想定した際の切除容量が最も少ない (P = 0.006)。

患者背景と手術成績を表 1 に示す。年齢の中央値は 71 (範囲 34~83)歳であった。疾患の内訳は、前区域胆管内に進展する胆管腫瘍栓を伴う 1 名(症例 #2)を含む HCC4 名、肝内胆管癌 1 名、segment 4, 5, 8 に腫瘍を認める大腸癌多発肝転移患者 1 名だった。腫瘍径の中央値は 2.8 (範囲 1.7~13) cm であった。インドシアニングリーン停滞率 15 分値の中央値は 12.8 (範囲 7.0~22.8)%であった。中肝静脈合併切除は 4 例で行い、2 例では中肝静脈を温存した。右側の肝離断線決定のために、門脈前区域枝と尾状葉傍下大静脈領域枝を穿刺、染色したものは 1 例(症例#5)、segment 8 の腹側枝を穿刺、染色したものは 3 例(症例#1、#2、#4)だった。症例#3 では腫瘍が大きかったため穿刺は行わず、術中超音波検査を用いて離断線を決定した。症例#6 では、segment 4 の門脈枝を切離したことで出現した demarcation line をもとに、腫瘍が切除範囲に含まれるように術中超音波検査で右側離断線を設定した。手術時間の中央値は 439 (範囲 420~715)分、出血量の中央値は 800 (110~3380) mL だった。Pringle 遮断時間の中央値は 118 (範囲 60~143)分だった。切除肝容量の全肝容量に対する割合の中央値は 12.0 (範囲 4.7~39.5)%だった。術後合併症は Clavien-Dindo 分類で grade II の胆汁漏を 1 例、腹水を 1 例、grade IIIa の胸水を 1 例、腹腔内膿瘍を 1 例認めたが、術後肝不全を発症した患者はいなかった。

表 1: 肝門アプローチを用いた肝中央切除における患者背景と手術成績

No.	年齢 性別	診断	腫瘍 径 (cm)	ICG 15 分値 (%)	切除範囲	手術時間 (分)	出血量 (mL)	輸血	*切除容積 (mL) (対全 肝容積)	合併症 (**grade)	術後在院 期間 (日)	転帰
1	80代 女性	肝細胞癌	2.5	9.8	S4/8vent+PC+SP +MHV合併切除	442	110	なし	220 (25.7%)	なし	14	3年7ヶ月 肝/リンパ節転移、 生存中
2	60代 男性	B型肝炎、 肝細胞癌 (胆管腫瘍栓 を伴う)	3.0	22.8	S5/8vent+PC+CP	420	1100	なし	63 (6.8%)	胆汁漏 (grade II)	33	2年5ヶ月 無再発生存中
3	70代 男性	肝細胞癌	13.0	17.0	S4/5/8vent+PC +MHV合併切除	715	3380	なし	87 (4.7%)	腹水 (grade II)	19	1年1ヶ月 残肝再発、生存中
4	80代 女性	C型肝炎、 肝細胞癌	1.7	15.8	S8vent+PC	433	1115	あり	39 (5.2%)	胸水 (grade IIIa)	13	1年3ヶ月 無再発生存中
5	60代 女性	肝内胆管癌	9.5	7.0	S4/5/8+PC +MHV合併切除	435	500	なし	359 (39.5%)	腹腔内膿瘍 (grade IIIa)	25	1年1ヶ月 肝再発、生存中
6	30代 男性	大腸癌肝転移	2.5	9.5	S4/5/8+PC +MHV合併切除	477	450	なし	143 (17.2%)	なし	14	3年0ヶ月 肝/骨盤内再発、生 存中

S, segment (肝重区域); vent, ventral area (腹側領域); PC, paracaval portion (傍下大静脈領域); SP, Spiegel 葉; MHV, middle hepatic vein (中  
肝静脈); CP, caudate process (尾状突起部領域)

\*'切除容積' = '切除検体重量' - '術前 CT から計算した腫瘍体積'

\*\*Clavien-Dindo 分類

3D シミュレーションを用いた尾状葉の解析の結果を表 2 に示す。尾状葉の容積は中央値 65 (範囲 46~123) ml で、全肝に占める割合は中央値 7.0 (範囲 4.2~13.4)%だった。尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界については、Type A 4 例、Type B 1 例、Type C 1 例だった。右側境界については、腫瘍が大きく肝静脈が圧排されていたために、傍下大静脈領域静脈が描出できなかった症例#3 を除き、5 例とも Type I だった。

表 2. 患者における尾状葉の解剖学的解析

No.	尾状葉容積 (ml)	全肝に占める割合 (%)	頭側境界 (Group)	右側境界 (Type)
1	52	6.2	B	I
2	46	4.2	A	I
3	123	6.7	A	*不明
4	56	7.5	A	I
5	111	13.4	A	I
6	74	7.2	C	I

\*症例#3 は腫瘍が大きく、肝静脈は圧排されていたため、傍下大静脈領域静脈は同定できなかった。

#### 第4節. 研究2の考察

本研究では肝臓の中でも最深部に位置し主要な肝静脈やグリソン鞘に囲まれている尾状葉に対する術式として、肝門アプローチを用いた肝中央切除術を提示した。全673例中、本術式を適応したのは6例のみであり、対象は限定されるが、本術式では良好な視野の下で正確な解剖学的切除を行うことが可能であり、短期成績も良好だった。

本術式の利点としてはまず第1に、肝離断線が直線的で離断が容易で、かつ患者の腹側から離断を進めることができる点である。右側の離断線に関しては、下大静脈流入部でテーピングした右肝静脈を目標として、肝前区域から下大静脈へ向けて肝実質を離断することで、肝臓を2つに割る形となり視野が開ける。左側においても縦に肝実質を離断することでさらに視野が開ける。そして肝門部で左右のグリソン鞘をテーピングし、尾側に牽引することで肝門部を手前に引き出し、更に広い視野で肝実質離断を進めることができる。その結果、症例 #2のように胆管腫瘍栓を有する肝細胞癌症例や症例 #3のように腫瘍径が10cmを超える症例においても本アプローチを適応可能だった。

第2に肝実質を極力温存することで、術後肝不全のリスクを回避できる点である。尾状葉に対する切除は容易ではないため、右葉や左葉と共に切除する半

肝切除が選択されることも少なくないが[28]、非癌部の肝実質をより多く切除することとなり、術後肝不全のリスクが高くなる。本研究では 3D シミュレーションを用いて、拡大右肝あるいは左肝切除とのシミュレーションを行うことにより、中央切除を行なった方が残肝容量を大きくできることを示した。Shindoh ら[44]も肝実質を温存する目的で尾状葉に対する肝中央切除術を報告している。この術式では、肝静脈枝によって segment 8 が腹側領域と背側領域に分けられるという解剖学的特徴[45]を利用して、尾状葉と segment 8 の腹側領域、segment 5、segment 4 が一塊として切除され、これは全肝容量の約 30%に相当した。一方、本術式では切除量は中央値で全肝容量の約 12%であり、腫瘍条件により肝離断線を適宜設定することにより、残肝容量をより多く温存し、肝機能不良例における切除適応を拡大することに寄与すると考えられる。

研究 1 では、3D シミュレーションを用いて、尾状葉傍下大静脈領域の頭側境界について調べ、尾状葉傍下大静脈領域は約 3 分の 1 の症例において肝横隔膜面にまで達していることを示した。Kumon[19,20]や Kwon ら[21]の屍体肝での解剖学的研究でも、尾状葉傍下大静脈領域は約半数の症例で肝横隔膜面へ突き出している。研究 2 では担癌患者において頭側境界を調べたところ、腫瘍により圧排され、肝臓の変形をきたした可能性も考えられるが、6 例中 5 例(83%)で



肝横隔膜面に達していた。そのため尾状葉傍下大静脈領域を切除するために、腹側に存在する segment 8 を同時に切除することは解剖学的にも理に適っていると考える。

亜区域の中でも segment 8 は最も大きいため、segment 8 を全て切除する必要はなく、腫瘍がさほど大きくなければ segment 8 の背側領域は温存することが可能である。実際、本研究 2 においても 6 例中 5 例 (83%) において segment 8 の背側領域は温存することができた。一方で腫瘍が大きく segment 8 へも達する場合には、Higaki ら [34] が報告したように segment 8 も含めて尾状葉傍下大静脈領域を切除することが必要である。中肝静脈の周囲の腫瘍を切除する目的で “mesohepatectomy” と呼ばれる中央部切除が行われることもあるが、尾状葉を全て切除することは稀である [46-48]。肝実質温存切除として、segment 8 の肝表から尾状葉傍下大静脈部まで円筒形に掘り込む形で切除する方法は “liver tunnel” と呼ばれている [49]。術者の左手を右肝の背側にあてがって出血をコントロールする点では同様だが、円筒形に切除するために視野が限られる。肝門へ浸潤する腫瘍の場合は本術式の方が良好な視野が得られる。また Tani ら [50] が報告したように、まず尾状葉に近接する segment 6 や segment 7、segment 8 を切除し最後に腫瘍を核出する方法も報告されている。腫瘍の屋根

に相当する部分を切除して視野を確保する点では本術式と同様であり、肝静脈や肝門板へ腫瘍が浸潤していない場合に対しては有効な術式である。

上記のように、尾状葉切除には多くの方法があるが、肝門アプローチを用いた肝中央切除術は、比較的大きい腫瘍や主要脈管への浸潤のある腫瘍にも対応可能であり、肝機能不良例に対する根治的な切除法として有用な選択肢になり得ると考えられる。

研究 2 の限界について述べる。肝切除は一般的に、患者の肝予備能や、腫瘍の位置・大きさ・個数によって複数の術式が想定される。研究 2 においては、仮想肝切除との比較は行ったものの、実際行われた他の術式との比較は行っていないため、本術式の優越性までは検証できていない。

## 第4章 総括と今後の展望

研究1では尾状葉とくに傍下大静脈領域における右側や頭側境界について3Dシミュレーションソフトウェアを用いて解析したところ、約30%の症例において尾状葉傍下大静脈領域は肝横隔膜面にまで到達しており、約半数の症例において右側境界に相当する静脈枝が存在することが明らかになった。また尾状葉の解剖に対する理解が深まることによって、研究2で肝門アプローチを用いた肝中央切除術をデザインし、術後肝不全なく施行できることが示された。また術前CT画像から精緻な3Dシミュレーションを行うことで、実際の担癌患者6例中5例(83%)において、尾状葉傍下大静脈領域の右側境界に相当する静脈枝を描出することができた。今後は研究1で得られた解剖学的構造に関する知見を実際の手術に活かすための方法について検討したい。例えば術中超音波検査の精度向上や術中ナビゲーションによって傍下大静脈領域静脈の位置を正確に描出できれば、肝門アプローチを用いた肝中央切除において、より正確に尾状葉の右側境界を離断することができると考えられる。正確な肝切除により、さらに合併症を減らし尾状葉切除の安全性を高めていきたい。

## 引用文献

1. Couinaud C, Delmas A, Patel J. Le Foie: Etudes Anatomiques et Chirurgicales. *Paris: Masson & Cie*; 1957.
2. Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S. Ultrasonically guided subsegmentectomy. *Surg Gynecol Obstet* 161: 346–350, 1985.
3. Aoki T, Yasuda D, Shimizu Y, Odaira M, Niiya T, Kusano T, Mitamura K, Hayashi K, Murai N, Koizumi T, Kato H, Enami Y, Miwa M, Kusano M. Image-guided liver mapping using fluorescence navigation system with indocyanine green for anatomical hepatic resection. *World J Surg* 32(8):1763-1767, 2008.
4. Miyata A, Ishizawa T, Tani K, Shimizu A, Kaneko J, Aoki T, Sakamoto Y, Sugawara Y, Hasegawa K, Kokudo N. Reappraisal of a Dye-Staining Technique for Anatomic Hepatectomy by the Concomitant Use of Indocyanine Green Fluorescence Imaging. *J Am Coll Surg* 221(2):e27-36, 2015.
5. Inoue Y, Arita J, Sakamoto T, Ono Y, Takahashi M, Takahashi Y, Kokudo N, Saiura A. Anatomical Liver Resections Guided by 3-Dimensional

Parenchymal Staining Using Fusion Indocyanine Green Fluorescence Imaging. *Ann Surg* 262(1):105-111, 2015.

6. Hasegawa K, Kokudo N, Imamura H, Matsuyama Y, Aoki T, Minagawa M, Sano K, Sugawara Y, Takayama T, Makuuchi M. Prognostic impact of anatomic resection for hepatocellular carcinoma. *Ann Surg*.242(2):252-259, 2005.
7. Kishi Y, Saiura A, Yamamoto J, Koga R, Seki M, Morimura R, Yoshioka R, Kokudo N, Yamaguchi T. Significance of anatomic resection for early and advanced hepatocellular carcinoma. *Langenbecks Arch Surg* 397(1):85-92, 2012.
8. Shindoh J, Makuuchi M, Matsuyama Y, Mise Y, Arita J, Sakamoto Y, Hasegawa K, Kokudo N. Complete removal of the tumor-bearing portal territory decreases local tumor recurrence and improves disease-specific survival of patients with hepatocellular carcinoma. *J Hepatol* 64(3):594-600, 2016.
9. Kosuge T, Yamamoto J, Takayama T, Shimada K, Yamasaki S, Makuuchi M, Hasegawa H. An isolated, complete resection of the

- caudate lobe, including the paracaval portion, for hepatocellular carcinoma. *Arch Surg* 129(3):280-284, 1994.
10. Yanaga K, Matsumata T, Hayashi H, Shimada M, Urata K, Sugimachi K. Isolated hepatic caudate lobectomy. *Surgery* 115: 757–761, 1994.
  11. Bartlett D, Fong Y, Blumgart LH. Complete resection of the caudate lobe of the liver: technique and results. *Br J Surg* 83: 1076–1081, 1996.
  12. Asahara T, Dohi K, Hino H, Nakahara H, Katayama K, Itamoto T, Ono E, Moriwaki K, Yuge O, Nakanishi T, Kitamoto M. Isolated caudate lobectomy by anterior approach for hepatocellular carcinoma originating in the paracaval portion of the caudate lobe. *J Hepatobiliary Pancreat Surg* 5(4):416-421, 1998.
  13. Yamamoto J, Kosuge T, Shimada K, Yamasaki S, Takayama T, Makuuchi M. Anterior transhepatic approach for isolated resection of the caudate lobe of the liver. *World J Surg* 23:97-101, 1999.
  14. Hawkins WG, DeMatteo RP, Cohen MS, Jarnagin WR, Fong Y, D'Angelica M, Gonen M, Blumgart LH. Caudate hepatectomy for cancer: a single institution experience with 150 patients. *J Am Coll*

*Surg* 200:345-352, 2005

15. Sakamoto Y, Nara S, Hata S, Yamamoto Y, Esaki M, Shimada K, Kosuge T.  
Prognosis of patients undergoing hepatectomy for solitary hepatocellular carcinoma originating in the caudate lobe. *Surgery* 150:959-967, 2011.
16. Wang ZG, Lau W, Fu SY, Liu H, Pan ZY, Yang Y, Zhang J, Wu MC, Zhou WP. Anterior hepatic parenchymal transection for complete caudate lobectomy to treat liver cancer situated in or involving the paracaval portion of the caudate lobe. *J Gastrointest Surg* 19(5):880-886, 2015.
17. Jin Y, Wang L, Yu YQ, Zhou DE, Liu DR, Yang JJ, Peng SY, Li JT.  
Anatomic isolated caudate lobectomy: Is it possible to establish a standard surgical flow? *World J Gastroenterol* 7;23(41):7433-7439, 2017.
18. Abdalla EK, Vauthey JN, Couinaud C. The caudate lobe of the liver: implications of embryology and anatomy for surgery. *Surg Oncol Clin N Am* 11(4):835-848, 2002.

19. Kumon M. Anatomy of the caudate lobe with special reference to portal vein and bile duct. *Acta Hepatol Jpn* 26: 1193–1199, 1985.
20. Kumon M. Anatomical study of the caudate lobe with special reference to portal venous and biliary branches using corrosion liver casts and clinical application. *Liver Cancer* 6: 161–170, 2017.
21. Kwon D, Murakami G, Hata F, Wang HJ, Chung MS, Hirata K. Location of the ventral margin of the paracaval portion of the caudate lobe of the human liver with special reference to the configuration of hepatic portal vein branches. *Clin Anat* 15:387-401, 2002
22. Kogure K, Kuwano H, Yorifuji H, Ishikawa H, Takata K, Makuuchi M. The caudate processus hepatic vein: a boundary hepatic vein between the caudate lobe and the right liver. *Ann Surg* 247: 288–293, 2008.
23. Mise Y, Hasegawa K, Satou S, Shindoh J, Miki K, Akamatsu N, Arita J, Kaneko J, Sakamoto Y, Kokudo N. How has virtual hepatectomy changed the practice of liver surgery? Experience of 1194 virtual hepatectomy before liver resection and living donor liver transplantation. *Ann Surg* 268:127-133, 2017.



24. Takamoto T, Hashimoto T, Ogata S, Inoue K, Maruyama Y, Miyazaki A, Makuuchi M. Planning of anatomical liver segmentectomy and subsegmentectomy with 3-dimensional simulation software. *Am J Surg*. 206(4):530-538, 2013.
25. Nimura Y, Hayakawa N, Kamiya J, Kondo S, Shionoya S. Hepatic segmentectomy with caudate lobe resection for bile duct carcinoma of the hepatic hilus. *World J Surg* 14: 535–543, 1990.
26. al-Hadeedi S, Choi TK, Wong J. Extended hepatectomy for hepatocellular carcinoma. *Br J Surg* 77(11):1247-1250, 1990.
27. Nagino M, Kamiya J, Arai T, Nishio H, Ebata T, Nimura Y. “Anatomic” right hepatic trisectionectomy (extended right hepatectomy) with caudate lobectomy for hilar cholangiocarcinoma. *Ann Surg* 243(1):28-32, 2006.
28. Couinaud CM. A simplified method for controlled left hepatectomy. *Surgery* 97: 358–361, 1985.
29. Natsume S, Ebata T, Yokoyama Y, Igami T, Sugawara G, Shimoyama Y, Nagino M. Clinical significance of left trisectionectomy for perihilar

cholangiocarcinoma: an appraisal and comparison with left hepatectomy.

*Ann Surg* 255(4):754-762, 2012.

30. Takayama T, Tanaka T, Higaki T, Katou K, Teshima Y, Makuuchi M.

High dorsal resection of the liver. *J Am Coll Surg* 179: 72–75, 1994.

31. Ishizawa T, Hasegawa K, Ikeda M, Aoki T, Sano K, Imamura H,

Kokudo N, Makuuchi M. Transhepatic approach for a small paracaval tumor in repeat resection. *Dig Surg* 24:409-412, 2007.

32. Hasegawa H, Makuuchi M, Yamazaki S, Gunvén P. Central

bisegmentectomy of the liver: experience in 16 patients. *World J Surg* 13:786-790, 1989.

33. Sakoda M, Ueno S, Kubo F, Hiwatashi K, Tateno T, Kurahara

H, Mataka Y, Shinci H, Natsugoe S. Surgery for hepatocellular carcinoma located in the caudate lobe. *World J Surg* 33(9):1922-1926, 2009.

34. Higaki T, Takayama T, Midorikawa Y. Ventral approach for resecting hepatocellular carcinoma in the caval portion of the caudate lobe. *Surgery* 163:1245-1249, 2018.
35. Satou S, Sugawara Y, Tamura S, Kishi Y, Kaneko J, Matsui Y, Kokudo N, Makuuchi M. Three-dimensional computed tomography for planning donor hepatectomy. *Transplant Proc* 39(1):145-149, 2007.
36. Takayama T, Makuuchi M, Watanabe K, Kosuge T, Takayasu K, Yamazaki S, Hasegawa H. A new method for mapping hepatic subsegment: counterstaining identification technique. *Surgery* 109(2):226-229, 1991.
37. Kogure K, Kuwano H, Fujimaki N, Makuuchi M. Relation among portal segmentation, proper hepatic vein, and external notch of the caudate lobe in the human liver. *Ann Surg* 231: 223–228, 2000.
38. Kitagawa S, Murakami G, Hata F, Hirata K. Configuration of the right portion of the caudate lobe with special reference to identification of its right margin. *Clin Anat* 13:321-340, 2000.

39. Kishi Y, Hasegawa K, Kaneko J, Aoki T, Beck Y, Sugawara Y, Makuuchi M, Kokudo N. Resection of segment VIII for hepatocellular carcinoma. *Br J Surg* 99(8):1105-1112, 2012.
40. Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S. Intraoperative ultrasonic examination for hepatectomy. *Ultrasound Med Biol Suppl* 2:493-497, 1983.
41. Imamura H, Seyama Y, Kokudo N, Maema A, Sugawara Y, Sano K, Takayama T, Makuuchi M. One thousand fifty-six hepatectomies without mortality in 8 years. *Arch Surg* 138:1198-1206, 2003.
42. Maki H, Satodate H, Satou S, Nakajima K, Nagao A, Watanabe K, Nara S, Furushima K, Harihara Y. Clinical evaluation of the aberrant left hepatic artery arising from the left gastric artery in esophagectomy. *Surg Radiol Anat.* 40(7):749-756, 2018.
43. Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg* 240(2):205-213, 2004.

44. Shindoh J, Nishioka Y, Hashimoto M. Bilateral anatomic resection of the ventral parts of the paramedian sectors of the liver with total caudate lobectomy for deeply/centrally located liver tumors: a new technique maximizing both oncological and surgical safety. *J Hepatobiliary Pancreat Sci* 24:E10-E16, 2017.
45. Hjortsjo CH. The topography of the intrahepatic duct systems. *Acta Anat (Basel)* 11(4):599-615, 1951.
46. Mehrabi A, Mood ZA, Roshanaei N, Fonouni H, Müller SA, Schmied BM, Hinz U, Weitz J, Büchler MW, Schmidt J. Mesohepatectomy as an option for the treatment of central liver tumors. *J Am Coll Surg* 207:499-509, 2008.
47. Ishii H, Ogino S, Ikemoto K, Toma A, Nakamura K, Itoh T, Ochiai T. Mesohepatectomy with total caudate lobectomy of the liver for hepatocellular carcinoma. *World J Surg Oncol* 11:82, 2013.
48. Torzilli G, Palmisano A, Procopio F, Cimino M, Botea F, Donadon M, Del Fabbro D, Montorsi M. A new systematic small for size resection

for liver tumors invading the middle hepatic vein at its caval

confluence: mini-mesohepatectomy. *Ann Surg* 251:33-39, 2010.

49. Torzilli G, Cimino M, Procopio F, Costa G, Donadon M, Del Fabbro D, Gatti A, Garcia-Etienne CA. Conservative hepatectomy for tumors involving the middle hepatic vein and segment 1: the liver tunnel. *Ann Surg Oncol* 21:2699, 2014.
50. Tani K, Ishizawa T, Sakamoto Y, Hasegawa K, Kokudo N. Surgical approach to “right hepatic core”: deepest region surrounded by major portal pedicles and right hepatic vein. *Dig Surg* 35:350-358, 2018.

本研究の公表について

本研究 1 の結果は以下の形で公表した。

2016/7/15 第 71 回日本消化器外科学会総会 一般演題(ポスター) 肝胆膵：シミ

ュレーション

「CT の 3D 構築画像で見た paracaval vein と肝尾状葉の右側境界について」

真木治文、阪本良弘、赤松延久、有田淳一、金子順一、長谷川潔、國土典宏

Journal of Gastrointestinal Surgery, 2018 Jun 18. DOI:10.1007/s11605-018-3819-5.

“Anatomical boundary between the caudate lobe of the liver and adjacent segments

based on three-dimensional analysis for precise resections.”

Maki Harufumi, Sakamoto Yoshihiro, Kawaguchi Yoshikuni, Akamatsu Nobuhisa,

Kaneko Junichi, Arita Junichi, Hasegawa Kiyoshi, Kokudo Norihiro.

## 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 前教授 國土典宏先生、教授 長谷川潔先生に深く感謝の意を表します。

また、研究 1 及び研究 2 を遂行するにあたり研究の立案、計画、論文執筆にあたり細部にいたるまで直接ご指導いただいた杏林大学医学部 消化器・一般外科 教授 阪本良弘先生に深く感謝申し上げます。

研究 2 の遂行にご協力いただいた大阪市立大学医学部附属病院 肝胆膵外科 新川寛二先生、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 風見由祐先生、そして周術期管理にご尽力いただいた医局員の皆様に感謝いたします。