

肝の解剖とその診断

兵庫医科大学第1外科 山中潤一

はじめに

肝臓手術に際し必要とされるグリソン系脈管および肝静脈の解剖学的術前把握は、種々の画像診断の進歩に伴い正確な評価がなされるようになった。グリソン鞘に包まれ分岐する区域、亜区域のグリソン系脈管と、それに交差する肝静脈の基本的分岐と変異を立体的に認識することは、安全に肝臓手術を行うために必須である。本稿では、肝切除術の基礎となる肝区域の概念と脈管構造、さらにその立体的認識を具現化するための画像機器の進歩につき述べる。

1. 肝臓の解剖

1) 肝の区分と脈管構築

肝病変の局在診断や広がり把握するために、肝葉、区域、亜区域の呼称が用いられている^{1)~3)}(図1)。肝臓は外観上の目印と肝内脈管の走行により区分される。目印としては胆嚢と鎌状間膜がある。肝内脈管としては肝静脈とグリソン枝がある。

肝は肝動脈と門脈の二重血行支配を受け、肝門部 hepatic hilus から門脈、肝動脈、胆管、リンパ管、神経がグリソン鞘に包まれ並走し、肝内に入り樹枝状に分岐して、門脈域 portal tract を構成する。左右門脈支配領域の分岐線が左右両葉の境界で、胆嚢窩と中肝静脈—下大静脈合流部を結ぶ線とほぼ一致し、Cantlie⁴⁾線または Rex⁵⁾-Cantlie 線と呼ばれる。

グリソン系脈管の分岐に従い、右葉は前区域と後区域に、また左葉は内側区域と外側区域に分けられ¹⁾、尾状葉と併せて計5区域に区分される。さらに前区域、後区域、外側区域は Couinaud の分類²⁾に従ってそれぞれ2つの亜区域(内側区域、尾状葉はそのまま1亜区域とする)に細分され、計8亜区域に区分される。亜区域の numbering は、尾状葉を segment (S) 1とし、外側上亜区域を S2 として、時計回りに S8まで番号を付けている。Couinaud の区域(segment)は本来 S1~S8を指すが、原発性肝癌取扱い規約ではこれを亜区域(sub-

図1 肝区域 (日本肝癌研究会：原発性肝癌取扱い規約，第4版，金原出版，2000³⁾より転載)

(A) 正面像 (B) 底面からの見上げ像 (CT 画像に対応)

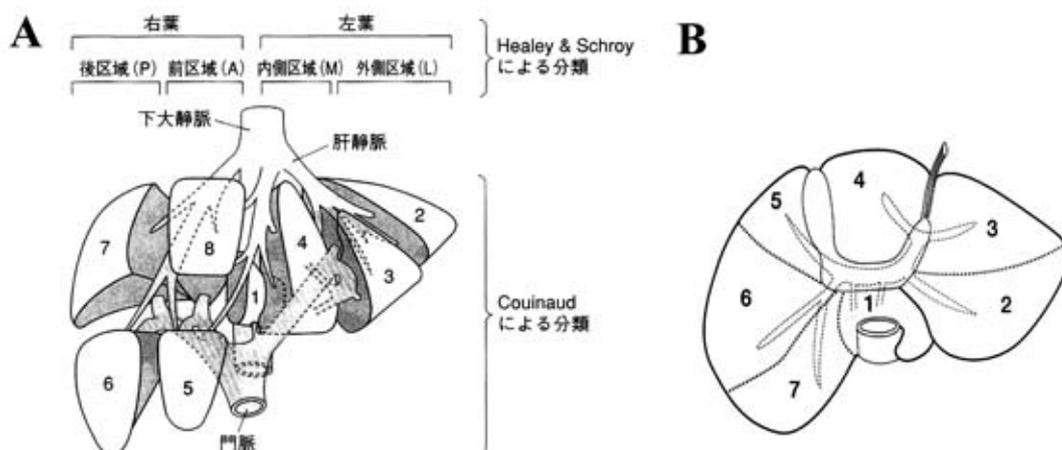
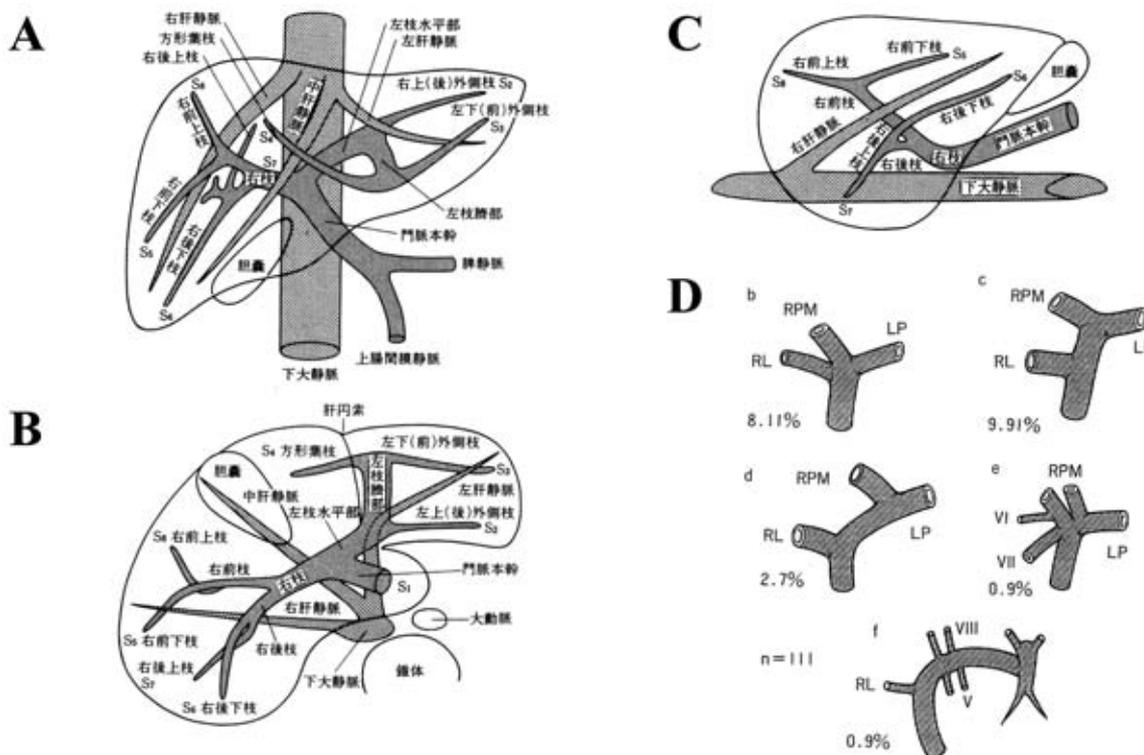


図2 門脈

(A) 正面像⁷⁾, (B) 底面からの見上げ像⁷⁾ (図1Bに対応), (C) 右側面像⁷⁾, (D) 肝門部門脈の分岐形態⁸⁾. aは定型的分岐 (77.5%), b:3分岐型, c:右外側門脈の尾側分岐, d:左門脈からの右傍正中領域枝, e:右傍正中領域枝と右外側領域枝の重複, f:門脈左右分岐部無形成. RPM:右傍正中領域枝, RL:右外側領域枝, LP:左門脈枝



segment)と定義している。門脈の第一次分枝とは左枝, 右枝を, 第2次分枝は左枝臍部, 前区域枝, 後区域枝, 尾状葉枝を, 第3次分枝は各亜区域枝を指す。各亜区域は2本以上の3次分枝を有する場合が多い。尾状葉は, 公文ら⁶⁾により, Spiegel葉, 肝部下大静脈部 (paracaval portion), 尾状葉突起 (caudate process) の3領域に分類されている。前区域と後区域, 前区域と内側区域の境界には landmark として, それぞれ右肝静脈, 中肝静脈が存在し, 外側区域と内側区域の間は門脈臍部が境界となる。

2) 門脈の分岐形態

肝の区域設定が門脈の分岐様式を基本とすることからも, 門脈の変異は比較的少ないが, 門脈本幹が左右の主枝に分岐する型には若干の変異が認められる (図2)。前区域枝と S4枝が共通幹を形成

して門脈臍部から分岐する場合と, 門脈左右分岐部が欠如した変異がある。また左側胆嚢 left-sided gallbladder では, 臍静脈の発生異常に関連した右側肝円索に伴う門脈走行の偏位を認めることがあるため注意を要する⁹⁾。

3) 肝動脈の分岐形態

肝外肝動脈には走行異常が多く, 左肝動脈が左胃動脈から分岐する場合, 総肝動脈あるいは右肝動脈が上腸間膜動脈から分岐する場合, 右肝動脈後区域枝が門脈右枝の頭側を走行する場合があります, これらの変異を認識することは肝臓外科手術のポイントのひとつとなる (図3)。

4) 胆管の分岐形態

肝門部において胆管はグリソン系脈管中最も高位で左右に分岐し (図4), 左右肝管合流部から各

図3 肝動脈の分岐型 (Michels NA, 1966¹⁰⁾)

LH: 肝動脈左枝, MH: 中肝動脈, RH: 肝動脈右枝, AcLH: 副肝動脈左枝, AcMH: 副中肝動脈, AcRH: 副肝動脈右枝, CH: 総肝動脈, LG: 左胃動脈, S: 脾動脈, SM: 上腸間膜動脈

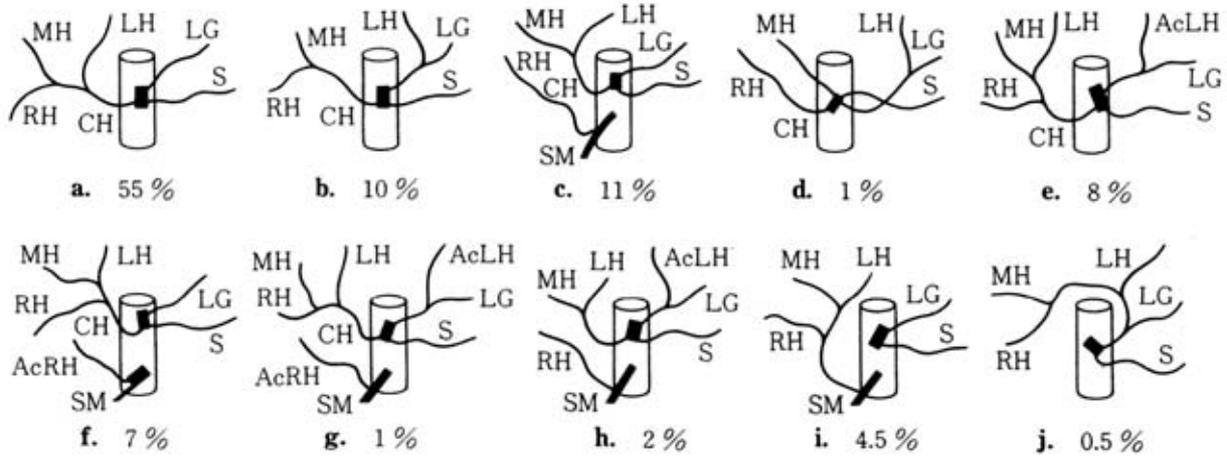
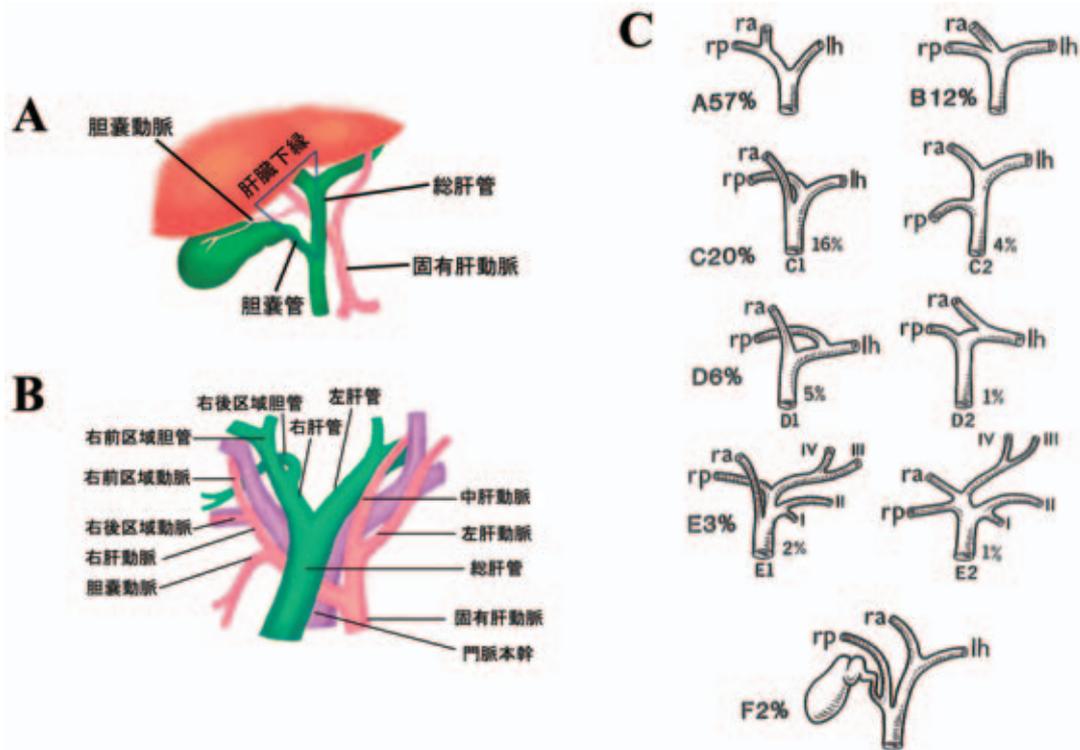


図4 胆管

(A) Calot 三角. 胆嚢管を底辺とし, 総肝管および肝下縁で囲まれた三角形. 75%の例で胆嚢動脈がこの中を走行するが, 変異が多いため注意を要する. (B) 肝門部におけるグリソン系脈管の相互関係. (C) 胆管の分岐様式²⁾

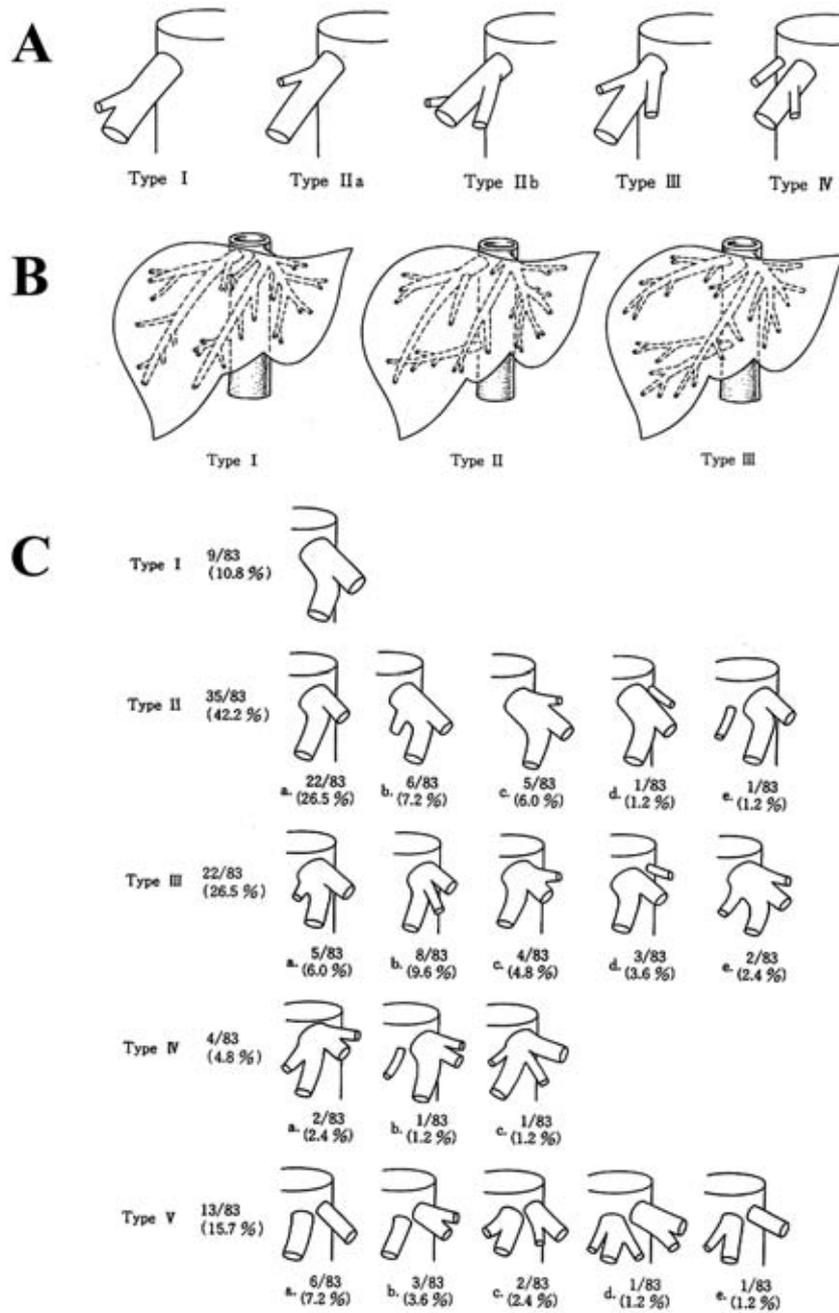


肝管二次分枝に至る主肝管の長さは右 7 ± 4 mm, 左 13 ± 5 mmと報告されている. 右肝では, S6の胆管 (B6) の大部分は後区域枝に流入するが, 前区域枝, 右肝管, 総肝管に直接流入する場合があります

注意を要する. B8の80%は前区域枝に合流し, 20%は後区域枝に合流する¹⁾. B5の大部分は前区域枝に合流するが, 右肝管や後区域枝に合流する場合もある. 前区域枝および後区域枝が合流して

図5 肝静脈の分岐様式¹²⁾

(A) 右肝静脈の分岐型 (B) 右肝静脈の変異とその型 (C) 中肝静脈と左肝静脈の分岐型



右肝管を形成する通常型が69%，後区域枝が左肝管に流入するものが23%，前区域枝が左肝管に流入するものが5%に認められる。後区域枝あるいはB7が門脈右枝の尾側を走行する，いわゆる“南回り”の存在を認識することは，肝門部胆管癌の術式決定に重要なポイントとなり得る。

一方，左肝ではB4とB2+B3が合流して左肝管を形成する基本型が67%，B4がB2+B3分枝に流入するものが27%，B4が総肝管に流入するものが2%に認められる。特に肝門部胆管癌例ではB4の分岐形態の把握が術式決定に重要な役割を果たすことが多い。なお，左右の主肝管とは別に総肝管，

総胆管、胆嚢管へ直接流入する副肝管の頻度が10~20%にみられ注意を要する。

5) 肝静脈の分岐形態

肝静脈はグリソン系脈管と共に、画像診断、肝区域設定、肝切除術中の landmark として重要な意味を有する。近年、右肝グラフトを用いた成人間生体肝移植が広く行われるようになり、肝静脈うっ血による肝機能低下を防ぐために、肝静脈再建の重要性が喚起されるようになった¹¹⁾。従って肝静脈の分岐型、肝内静脈間交通、肝静脈ドレナージ範囲を認識することは重要なポイントとなる。

Nakamura ら¹²⁾の報告では右肝静脈は横隔膜の1~1.5cm 尾側で下大静脈より分岐し、まず根部付近で S7 をドレナージする上右肝静脈と S8 のドレナージ静脈が流入する (図5)。右肝静脈分枝が下大静脈合流部から1cm 以内に認められる例は33%、1cm 以内に分岐のない例は61%、上右肝静脈が独立して下大静脈に流入する例は6%とされている。

また中肝静脈と左肝静脈が共通幹を形成する例は84%に認められ、共通幹の長さは0.2~1.7cm (1.0±0.5cm) と報告されている。共通幹の右壁には S8 のドレナージ静脈が、また左壁には左上肝静脈が流入する。中肝静脈は通常 S4, S5, S8 をドレナージするが、なかには S6 をドレナージする例も認められる。左肝静脈は S2, S3 をドレナージする。左上肝静脈は通常共通幹に合流するが、単独に下大静脈に流入する例が5%にみられ、外側区域を下大静脈より剥離する際に注意が必要である。

右、中、左肝静脈以外に肝臓から直接下大静脈へ流入する静脈を短肝静脈という。尾状葉をドレナージする短肝静脈は平均7±3本存在する。右肝をドレナージする他の静脈として、S7, S6 をドレナージする中右肝静脈 middle right hepatic vein と下右肝静脈 inferior right hepatic vein が挙げられる。Makuuchi ら¹³⁾は20~24%に下右肝静脈を認めると報告している。

肝部下大静脈の平均長は69±11mm と報告されており、24%の例で右副腎静脈が短肝静脈に流入

したのち下大静脈へ合流する。このような例では右肝を受動する際に注意が必要である。

2. 画像診断

各種画像診断法の発達に伴い、新しい画像機器が肝臓外科手技に応用されるようになってきた。本稿では、画像診断のうち手術に必要な肝局所解剖の描出および評価に特に有用と考えられる超音波断層法と CT、ならびにその応用について述べる。

1) 超音波断層法

超音波断層法は術中エコーへの応用により肝切除に画期的な進歩をもたらした¹⁴⁾。エコーは空間分解能が高く、低侵襲で簡便であり、機種改良により画像が格段に鮮明化し、5~6次分枝レベルの門脈枝内腔の視認が可能である。またカラードプラーを併用することにより術中残肝血流の評価が可能である。しかし超音波法に不可避である検者の技量、脂肪沈着や肝硬変など被検肝の状態に左右される低再現性、また通常型エコーでは2次元画像を検者が頭の中で再構築しなければ立体イメージが得られないことが問題となる場合がある。

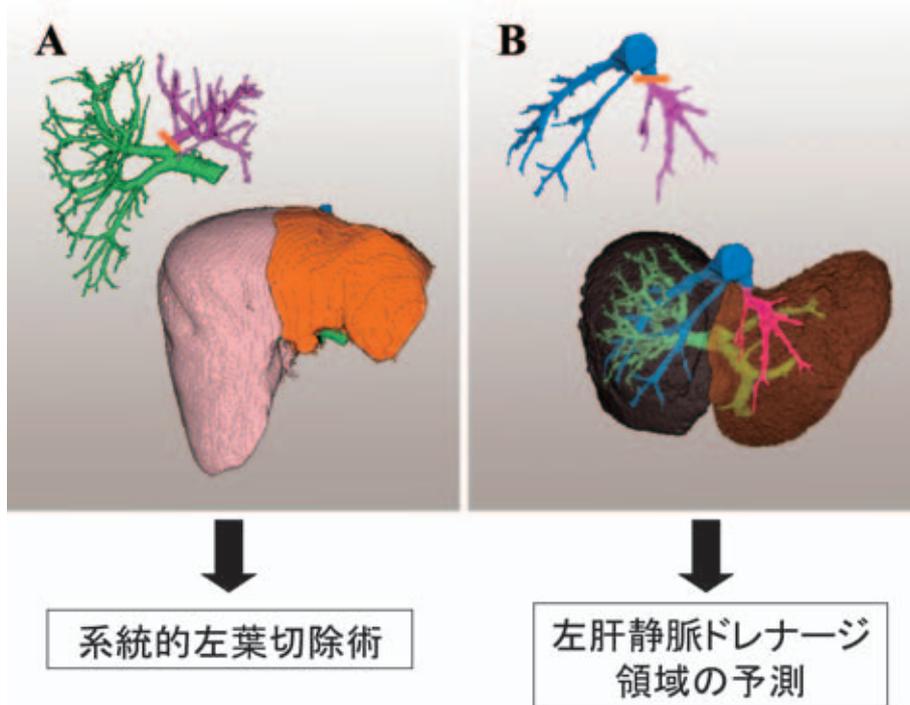
2) 血管造影と経動脈性造影下 CT (CTA/CTAP)

Digital subtraction angiography (DSA) 法は、X線像をデジタル化したうえで画像処理を行う。造影剤注入後の画像から造影剤注入前の画像を引算すると、骨軟部組織像が消失し、造影された腫瘍および脈管像が浮かび上がる。

経動脈性造影 CT は、動脈に留置したカテーテルから造影剤を注入しながら撮像する手技で、肝動脈に選択的にカニューレションして行う肝動脈造影下 CT (CT hepatic arteriography : CTA) と経動脈性門脈造影下 CT (CT during arterial portography : CTAP) がある。ヘリカル CT は高い再現性を有し、1回の呼吸停止下に肝全体を撮像可能である。CTA, CTAP の両者を併用することにより、肝動脈血流、門脈血流の双方から小病変の評

図6 肝血流に基づいた肝切除シミュレーションのコンセプト¹⁷⁾

A：門脈左枝を根部でクリッピングすることにより系統的肝左葉切除術の切除予定領域が茶色で表示される。B：左肝静脈を根部でクリッピングすることによりそのドレナージ領域が茶色で表示される。



価が可能となり、検出能が向上するだけでなく、その画像データを基に3次元(3D)画像を作成することによって、立体像の把握が可能である。しかし血管造影CTの短所として、入院を要し、侵襲性が高く、コストが高いため、患者に負担がかかることが挙げられる。

3) Multidetector CT (MDCT)

近年臨床導入された multidetector CT (MDCT) は体軸(頭尾, z軸)方向の空間および時間分解能がさらに向上し、短時間で精細な冠状断、矢状断などの縦断像の画像データが得られるとともに、動脈優位相を確実に捕らえることが可能になった。肝動脈は3次分枝まで、門脈は5~6次分枝までの描出が可能である。血管造影CTに比べ、低侵襲かつ安価で、外来でも施行可能なため、術前検査期間、総入院期間の短縮が可能となり、特に生体肝移植ドナー評価に有用と考えられる。MR cholangiography, 造影 MRA, 胆道直接造

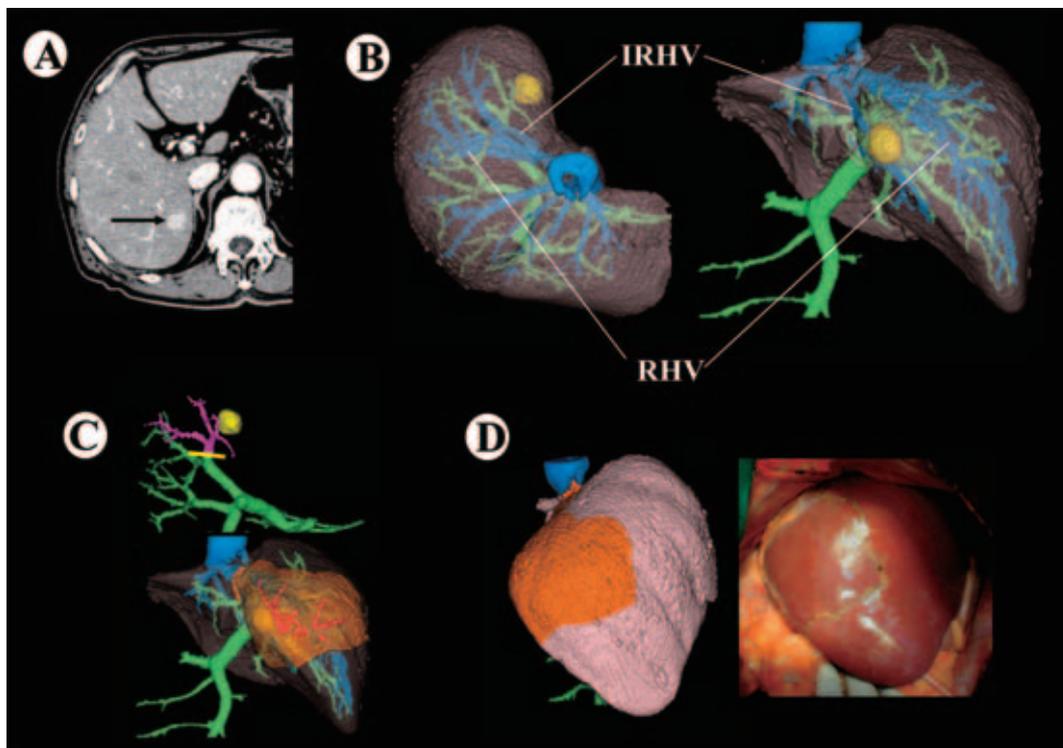
影(PTC, ERC)については、成書にゆずる。

3. 3次元画像支援

肝血流支配に基づき、切除後残肝の inflow, outflow を保つよう、また肝実質切除量を正確に術前予測した上で、肝離断を行うことは、安全な肝切除術の施行、特に生体肝移植ドナー手術の安全性確保に必須である。しかし複雑な肝局所解剖と多彩な血管走行のバリエーションのため、従来の各種画像診断法やプランメトリー法では術前評価に限界があった。近年外科各分野で、手術シミュレーション、ナビゲーション、手術支援ロボット、遠隔手術等コンピュータ技術を駆使した新しい外科治療法の臨床導入が報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。我々は、肝血流に基づく3次元画像処理ソフトウェアを用いた肝切除シミュレーションシステムを臨床応用しているので紹介する¹⁶⁾。

図7 肝細胞癌に対する肝切除シミュレーション¹⁷⁾

A: 肝S7にMDCT動脈相で濃染される腫瘍(矢印)を認める. B: 腫瘍(黄色), 門脈(緑色), 肝静脈(青色)を含む3次元統合画像 C: S7担癌グリソン枝(赤色)を根部でクリッピングすることにより切除予定領域が茶色で示される. D: シミュレーション(左側)と染色法¹⁴⁾(右側)によるS7亜区域の対比



1) 肝切除シミュレーション

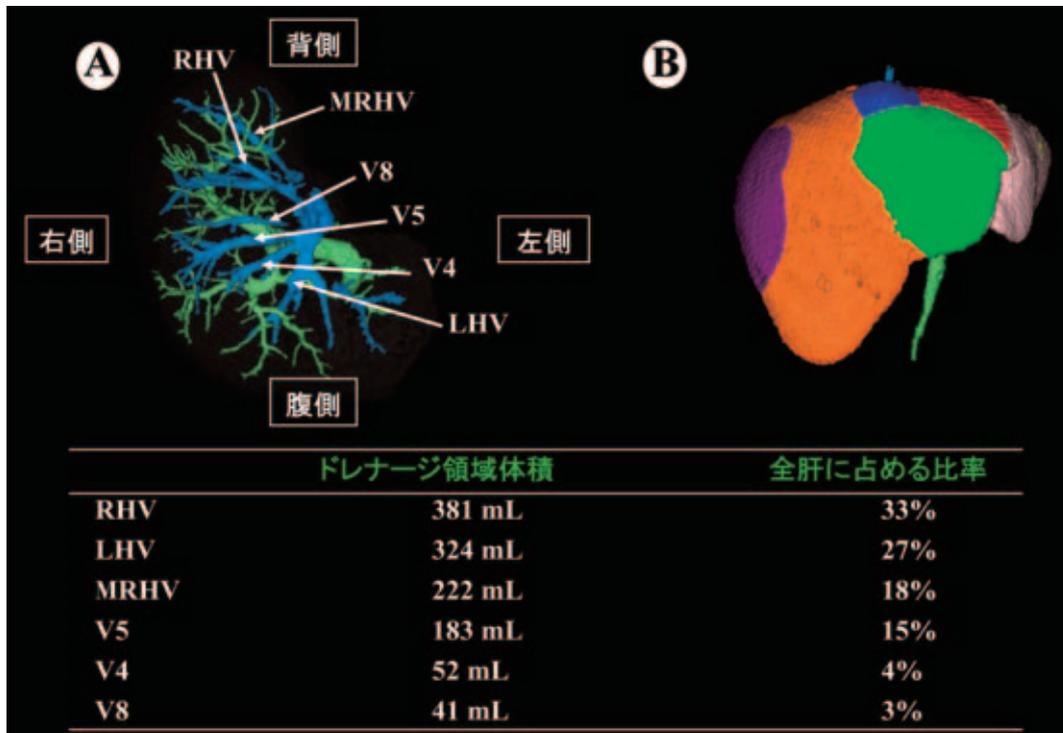
シミュレーションには、当院放射線科と日立メディコ(株)の共同開発による3次元画像処理ソフトを使用している(図6)。血管造影CTの画像データから、まずregion growing法により門脈、肝静脈、肝実質、腫瘍の立体像を抽出、重ね合わせて3-D統合画像を作成する。2001年シミュレーション開始当初はsingle herical CTを使用していたが、2004年より16列 multidetector CTを導入し、より短時間での全肝スキャンが可能となった。また術前血管造影が不要となったため、患者への負担が大幅に軽減され、術前入院期間が短縮された。各門脈枝の方向と径より、隣り合う門脈枝間の灌流境界を設定し、このアルゴリズムを肝全体にわたり演算して門脈枝ごとの灌流支配領域の設定を行う。続いて切離予定門脈をシミュレーション画面上でクリッピングすることにより、門脈灌

流域に基づいた肝切除範囲を計算する(図7)。本システムによるシミュレーションが従来型のものとは根本的に異なる点は、肝血流動態に基づいている点である。さらに resection margin の測定や後述する肝静脈ドレナージ領域に基づいた肝うっ血領域の予測を行い、残肝の血流に配慮し、かつ亜区域レベルでの正確な肝切除容積の予測を行ったうえで、門脈支配領域に基づく系統治癒切除術式の術前検討を行っている。

現在までに約200例で本法による術前評価を行ったところ、予測切除肝体積と摘出肝重量の差は $9.7 \pm 8.3 \text{ cm}^3$ 、相関係数0.98、resection marginの予測値と実測値の差は $1.9 \pm 2.7 \text{ mm}$ 、相関係数0.72で、両者ともに有意な相関が認められた。胆道疾患特に肝門部胆管癌例においても、肝動脈像、DIC-CTまたはPTCD/ENBD造影による胆管データを追加抽出することにより、3D統合画像を

図8 シミュレーションによる肝切除例の肝静脈分岐形態評価とドレナージ領域予測¹⁸⁾
腫瘍を除いた3D統合画像を示す。

MRHV：中右肝静脈，RHV：右肝静脈，LHV：左肝静脈，V5：S5をドレナージする中肝静脈分枝，V8：S8をドレナージする中肝静脈分枝，V4：S4をドレナージする中肝静脈分枝



作成し、術前評価の一助とすることが可能である。

2) シミュレーションによる肝静脈分岐形態評価とドレナージ領域予測

肝腫瘍に対する肝切除例のうち、S4、S5、S7、S8をそれぞれドレナージするV4、V5、中右肝静脈、V8が肝静脈根部より独立して分岐する形態を示した例を提示する(図8)。このような症例の肝切除に際しても、腫瘍と血管の立体的位置関係を把握した上で、術前シミュレーションにより得られた右肝静脈、左肝静脈、中右肝静脈、V5、V4、V8の還流領域(全肝に占める比率)がそれぞれ381mL(33%)、324mL(27%)、222mL(18%)、183mL(15%)、52mL(4%)、41mL(3%)との予測データに基づき、残肝うっ血を考慮に入れた静脈枝温存肝切除術式の術前検討が可能である。

3) 生体肝移植への応用と今後の展開

近年、右肝グラフトによる生体肝移植における肝静脈再建の重要性が喚起されるようになった¹⁹⁾。肝静脈切除を伴う肝切除を行った場合、静脈還流障害部位をドレナージするような肝内静脈間相互吻合の有無が術後肝再生に影響を及ぼすことが報告されている²⁰⁾。この静脈間吻合枝がみられる頻度は17~83%²¹⁾とされるが、術前にその存在を予測し得ることは少ない²¹⁾。また残肝静脈還流障害部位では門脈逆流現象が起るため正常な代謝能の維持を期待できない可能性も指摘されている¹¹⁾。さらに左肝グラフト²²⁾における尾状葉静脈や、右肝グラフトの下右肝静脈等の副肝静脈再建についても、経験的に径5mm以上であれば再建が必要と言われているが、静脈ドレナージ領域に基いた根拠に乏しい。

シミュレーションシステムを生体肝移植に応用することにより、正確なグラフト肝体積の予測の

みならず、肝静脈ドレナージ領域の評価と、肝静脈再建の指標としての有用性の検討がなされている。またシミュレーション画像は見て分かり易いことから、患者へのインフォームドコンセント、紹介医への報告にも有用である。今後ソフトウェアの操作簡便化、作業時間短縮、低価格化に伴い汎用化と、ナビゲーション手術や外科教育への応用が期待される分野と考えられる。

おわりに

肝臓手術を安全かつ十分に行うためには、グリソン系脈管および肝静脈の解剖、さらに腫瘍との相互関係を立体的に把握しておくことが重要である。

シミュレーションをはじめとした3次元画像支援技術により、術前に肝内脈管と腫瘍の関係を3次元的に把握することが容易となり、切離すべき担癌門脈枝と温存すべき血管をあらかじめ同定可能で、従来不可能であった亜区域レベルの肝切除容積予測から静脈うっ血領域予測まで幅広い術前情報の提供が可能となった。

文 献

- 1) Healey JE Jr, Schroy PC : Anatomy of the biliary ducts within the human liver ; analysis of the prevailing pattern of branching and major variations of biliary ducts. Arch Surg 66 : 599—616, 1953.
- 2) Couinaud C : Le Foie : Etudes Anatomiques et Chirurgicales. Paris : Masson, 1957.
- 3) 日本肝癌研究会. 臨床・病理：原発性肝癌取扱い規約. 第4版, 金原出版, 東京, 2000.
- 4) Cantlie J : On a new arrangement of the right and left lobes of the liver. Proc Anat Soc Gr Britain & Ireland 32 : 4—9, 1898.
- 5) Rex H : Beitrage zur Morphologie der Saeugerleber. Morpholog Jahrbuch. 14 : 517—626, 1888.
- 6) 公文正光 : 肝鑄型標本とその臨床応用—尾状葉の門脈枝と胆道枝. 肝臓 26 : 1193—1199, 1985.
- 7) 辻本文雄, 多田信平 : 超音波用語解説7. P. 67—87, モダンメデイシン, 東京, 1985.
- 8) Couinaud C : Surgical anatomy of the liver revisited. 1st ed, Couinaud C, Paris, 109—110, 1989.
- 9) Nagai M, Kubota K, Kawasaki S, et al : Are left-sided gallbladders really located on the left side? Ann Surg 225 : 274—280, 1997.
- 10) Michels NA : Newer anatomy of the liver and its variant blood supply and collateral circulation. Am J Surg 112 : 337—347, 1966.
- 11) Sano K, Makuuchi M, Miki K, et al : Evaluation of hepatic venous congestion ; proposed indication criteria for hepatic vein reconstruction. Ann Surg 236 : 241—247, 2002.
- 12) Nakamura S, Tsuzuki T : Surgical anatomy of the hepatic veins and inferior vena cava. Surg Gynecol Obstet 152 : 43—50, 1981.
- 13) Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S, et al : Four new hepatectomy procedures for resection of the right hepatic vein and preservation of the inferior right hepatic vein. Surg Gynecol Obstet 164 : 68—72, 1987.
- 14) Makuuchi M, Hasegawa H, Yamazaki S, et al : Ultrasonically guided subsegmentectomy. Surg Gynecol Obstet 161 : 346—350, 1985.
- 15) Marescaux J, Clement J, Tasseti V, et al : Transatlantic robot-assisted telesurgery. Nature 413 : 379—380, 2001.
- 16) Saito S, Yamanaka J, Miura K, et al : A novel 3D hepatectomy simulation based on liver circulation : application to liver resection and transplantation. Hepatology 41 : 1297—1304, 2005.
- 17) Yamanaka J, Saito S, Iimuro Y, et al : The impact of 3D virtual hepatectomy simulation in living donor liver transplantation. J Hepatobiliary Pancreat Surg 2006 ; 13 : 363—369.

- 18) 山中潤一, 斉藤慎一, 藤元治朗, 他 : 3次元 CT を用いた肝静脈分岐形態の評価. 外科 68 : 282—286, 2006.
- 19) Kaneko T, Sugimoto H, Hirota M, et al : Intrahepatic venous anastomosis formation of the right liver in living donor liver transplantation : Evaluations by Doppler ultrasonography and pulse-inversion ultrasonography with Levovist. Surgery 138 : 21—27, 2005.
- 20) Maema A, Imamura H, Takayama T, et al : Impaired volume regeneration of split livers with partial venous disruption ; a latent problem in partial liver transplantation. Transplantation 73 : 765—769, 2002.
- 21) Satou S, Sugawara Y, Kokudo N, et al : Preoperative detection of hepatic venous collaterals in right liver graft. Liver Transpl 11 : 708—709, 2005.
- 22) Miyagawa S, Hashikura Y, Miwa S, et al : Concomitant caudate lobe resection as an option for donor hepatectomy in adult living related liver transplantation. Transplantation 66 : 661—663, 1998.