

消化管は外界に開いた中空の管で、口から肛門まで長さ9mに及ぶ

消化管は内胚葉を起源とし、頭頸部、胸部、腹部、骨盤を經由する長い管で、口に始まり肛門で終わる。その間は口腔、咽頭、食道、胃、小腸(十二指腸、空腸、回腸)、大腸(盲腸、虫垂、上行結腸、横行結腸、下行結腸、S状結腸、直腸)に区分され、それぞれ特殊化した構造と機能を持つ。腹腔においては大半が腹膜に包まれ、複雑な配置をとる。消化管を直接包む腹膜が**臓側腹膜**、消化管を離れ二重の膜となり消化管を吊り下げるのが**間膜**、その後体壁に移行し腹腔を裏打ちするのが**壁側腹膜**である。臓側腹膜と壁側腹膜の間に作られたスペースを**腹膜腔**という。

発生学的にみれば、消化管は臓器創生の場合であり、ここから唾液腺、肺、肝臓、膵臓など多彩な臓器が生まれてくる。

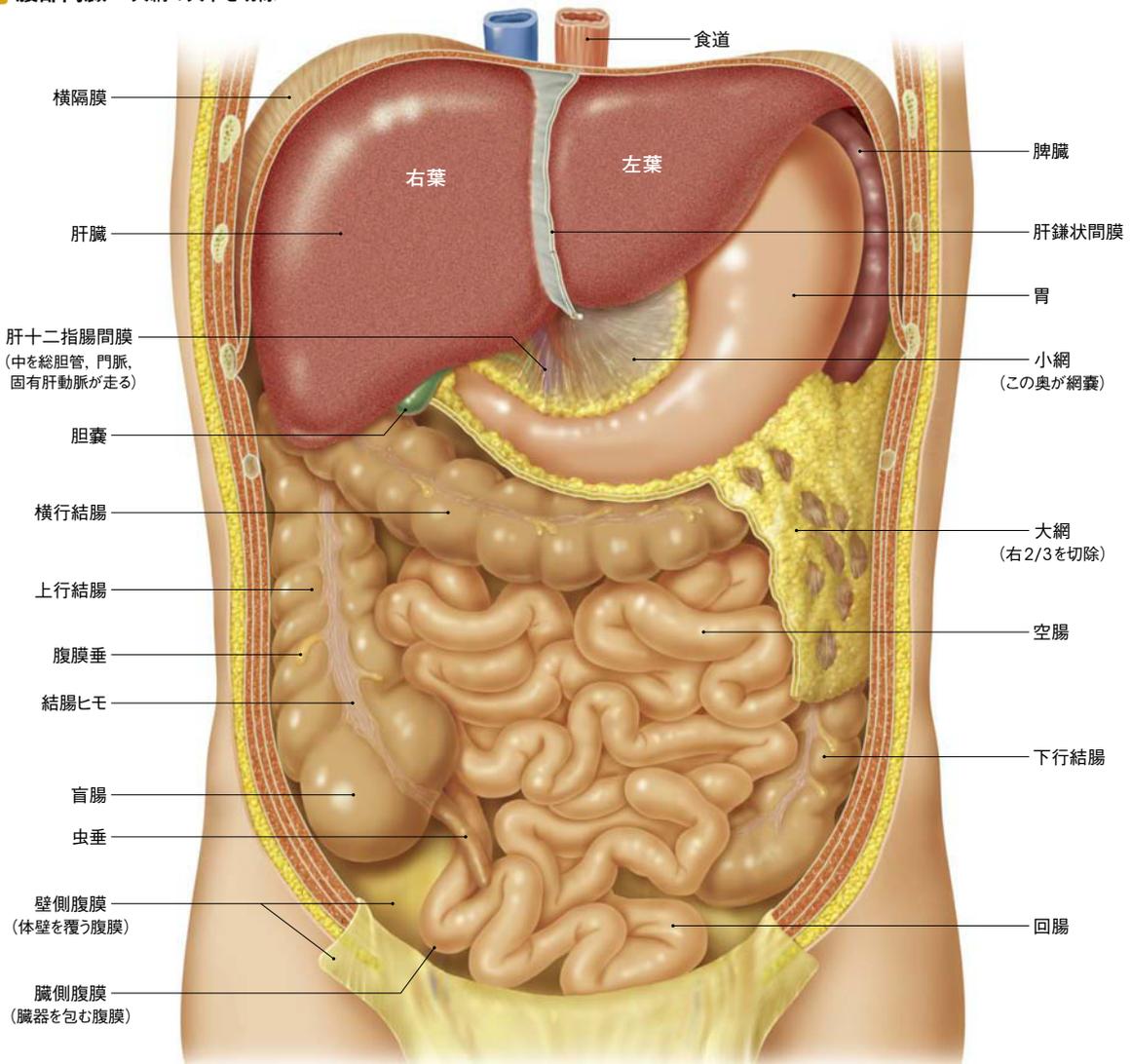
口腔、咽頭、食道

口腔は口蓋により鼻腔と隔てられ、それらはともに後方にある咽頭に開く。**咽頭**は消化管と呼吸器に共通の通路であり、輪状軟骨の高さで食道に移行する(19)。**食道**の始まりと終わりはそれぞれ頸部と腹部であるが、大半は胸部の後縦隔に存在する。その前面には上1/2では気管が、下1/2では心嚢を介して左心房が密接する(23)。

胃、小腸、大腸 12

食道は第10胸椎の高さで横隔膜の食道裂孔を貫いて腹腔に入り、胃の噴門(入口)になる。この移行部位は、前方から見ると肝臓に覆われ、かつ深い位置にあるため手術操作のしにくい場所である。**胃**は左から右に横たわり、その

1 腹部内臓 大網の大半を切除



上部は部分的に肝臓の左外側区域に覆われ、上部後方には脾臓がある。胃と肝臓の間には**小網**という腹膜が張り、その右端は肥厚し、中を血管、胆管が走る。胃の大弯から**大網**という腹膜が垂れ、横行結腸を覆う。胃および小網の裏は**網嚢**という空間で、膵臓が網嚢の後壁の一部をなす。

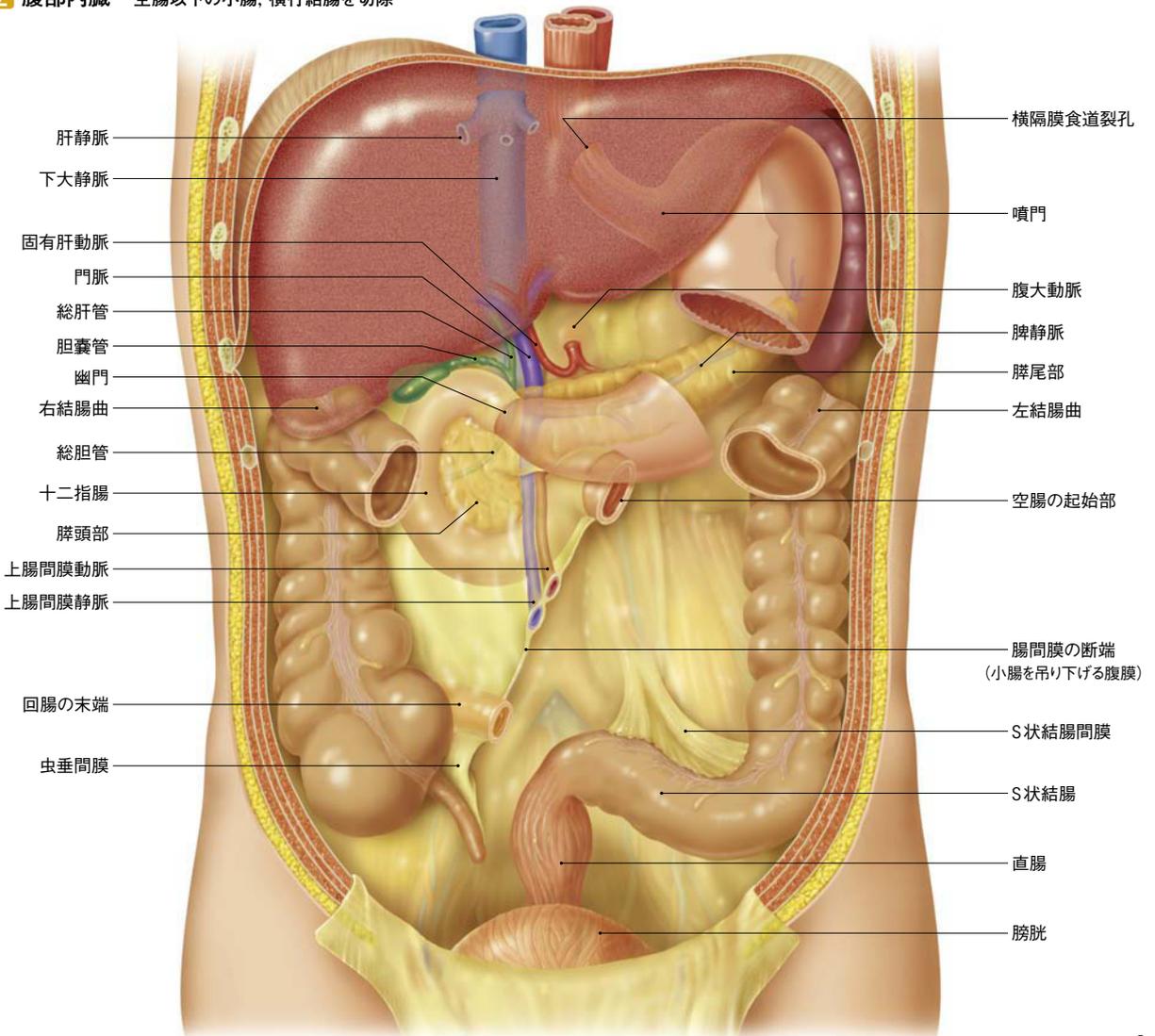
胃の幽門(出口)は十二指腸に移行する。**十二指腸**は小腸の最初の領域で、ほぼ脊柱(第2~4腰椎)に沿ってC字状に存在する。上部は可動性があり、主に肝臓の右葉前区域に覆われる。それ以外は後腹壁に密着し、腹腔を開いただけでは結腸に隠れて見えない。十二指腸の背側に総胆管、下大静脈、腹大動脈があり、水平部の腹側を上腸間膜動静脈が横切る。十二指腸の左側に膵臓の頭部が密着する。

十二指腸は左上腹部で**空腸**に移行する。空腸は明確な境

界なく**回腸**となる。空腸と回腸は発達した**腸間膜**で吊り下げられ、複雑に屈曲し、一見腹腔全体を占めているように見えるが、実際は左側に存在すると考えてよい。腸間膜は上腸間膜動静脈を含み、その根元は後腹壁に固定される。

回腸は右下腹部で大腸の側面に入る。その部位より下方が**盲腸**、上方が上行結腸である。盲腸の下端から**虫垂**が伸びる。大腸は小腸を取り巻くようにその辺縁に配置される。**上行結腸**と**下行結腸**は後側腹壁に密着し、横行結腸との移行部をそれぞれ右結腸曲、左結腸曲という。右結腸曲は胆嚢に、左結腸曲は脾臓に近接する。**横行結腸**と**S状結腸**は結腸間膜により吊り下げられ、可動性がある。S状結腸は小骨盤腔に入り第3仙椎の前で**直腸**となり、仙骨に密着し骨盤後壁に固定される。

2 腹部内臓 空腸以下の小腸、横行結腸を切除



胃は心窩部付近にあり、腹膜でゆるく固定されている

腹部の体表解剖

体表から腹部を観察する際に大まかなラインを想定する。一般に、肋骨弓の下縁を結ぶ水平線、腸骨結節（上前腸骨棘の後方5cmで腸骨稜の最外側部）を結ぶ水平線、および臍径靭帯の中点を通る垂直線を引き、腹部を9区画に分ける³⁵。なお、幽門平面transpyloric planeは実に多くの情報を与える。この平面は第1・第2腰椎の間を通り、腹膜後器官の大半を含む。さらに胃の幽門、胆嚢の底部を含み、脊柱の左側で十二指腸空腸曲を通る。脊髄はこの面で終わる。

胃の位置と形態³⁷³⁸

胃stomachは、上部は肝臓の左外側区域に覆われ、左上腹部、すなわち心窩部から左季肋部に横たわるように存在するが、その位置は姿勢、食物の有無で著しく変化する。たとえば胃の出口である幽門は、臥位では第1～2腰椎の高さにあるが、立位では第4腰椎まで下がる。これが病的になると立位で骨盤腔に達する。胃下垂といわれ、女性や無力性体質の人にみられる。

胃の形態は1本の管の下部が膨らんだものと考えること

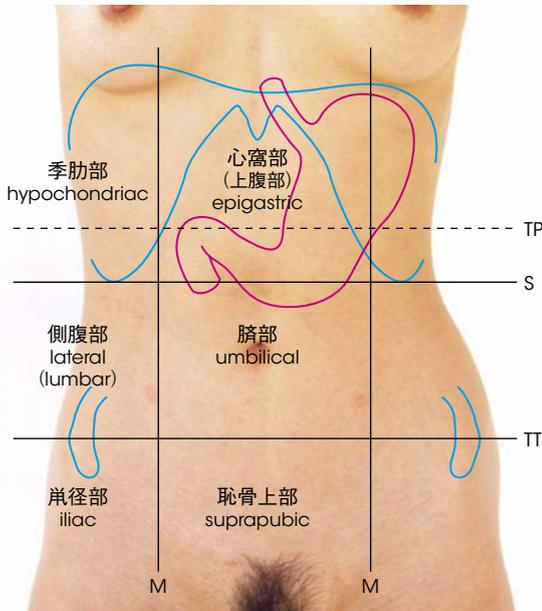
ができる。胃の入口を噴門cardia、出口を幽門pylorusといい、上縁を小弯^{わん}lesser curvature、下縁を大弯greater curvature、前面、後面をそれぞれ前壁、後壁という。

摂取された液体は、胃の上壁(小弯の内面)に沿って、あたかも食道が口径を変えずに続くかのようにそのまま十二指腸に流れ、胃に留まることはない。この現象は縦に走る粘膜ヒダによって起こり、この部分を胃体管gastric canalと呼ぶ。一方、大弯側は下方と上方に張り出し、胃の全体を作り上げる。上への張り出しを胃底fundusと呼び、噴門を通る水平面より上にあり、横隔膜に接する。立位ではこの場所に気体が集まり、腹部単純X線像で胃泡として観察される。背臥位でバリウム二重造影を行うと造影剤が溜まる部位である³⁹。胃底より下方を胃体bodyというが、次の幽門部との境はそれほど明確なものではない。

小弯をなぞると角切痕angular incisureという切れ込みがある。X線像では胃角ともいう。ここを頂点とした三角形の領域を幽門洞pyloric antrumといい、それより左が胃体、右が幽門管pyloric canalである。X線像では幽門洞のことを胃角部、幽門管のことを前庭部antrumといい、解

35 腹部の区分と胃の位置

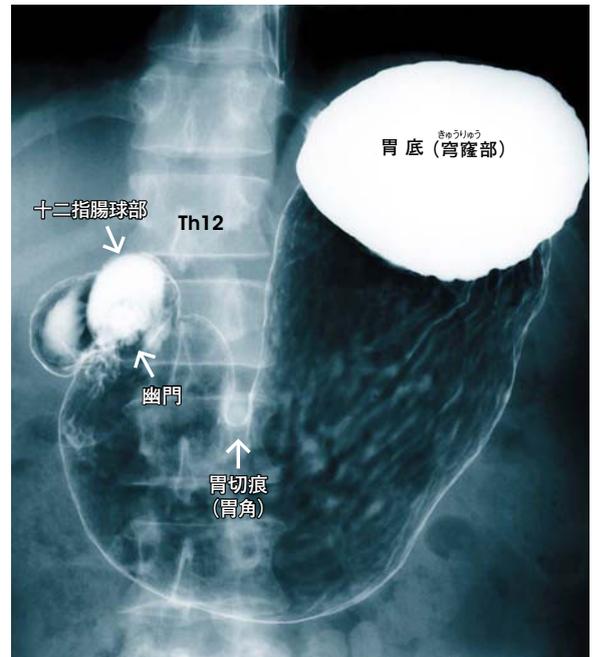
充満時には、胃は臍の高さまで下がる。



S : subcostal plane..... 肋骨下平面 (肋骨弓の下縁を結ぶ水平面)
 TT : transtubercular plane... 結節間平面 (腸骨結節を結ぶ水平面)
 TP : transpyloric plane..... 幽門平面 (胸骨柄上端と恥骨結合を結ぶ垂直線の中点を通る水平面)
 M : midclavicular line 臍径靭帯の中点を通る垂直線

36 胃X線二重造影(背臥位)

X線像からわかるように、胃の内腔は粘膜ヒダが発達している。ヒダの走行や乱れから潰瘍や癌を診断できる。

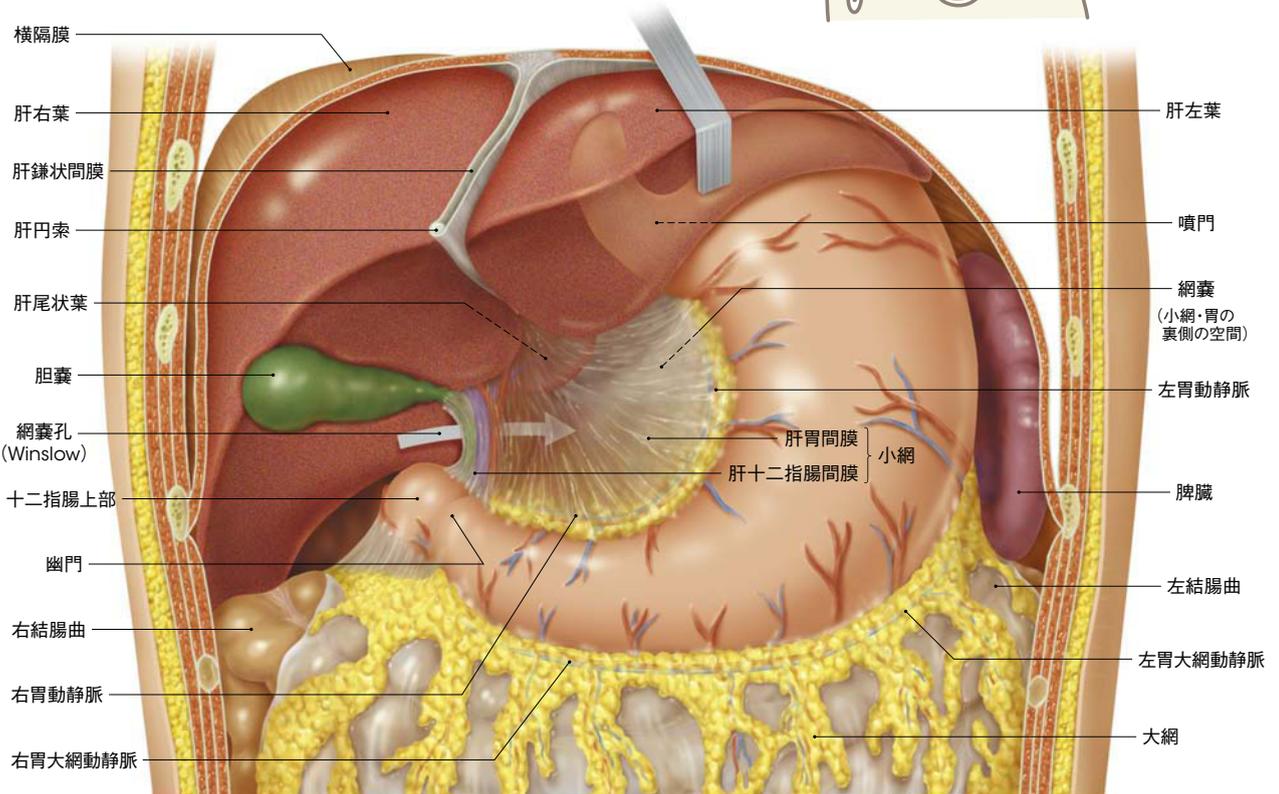


剖学用語と多少異なる (antrum の指す場所が違う)。幽門は輪走筋がよく発達しているため、触れると硬い。幽門から先は十二指腸上部に移行する。X線像では十二指腸球部と呼び、三角形の帽子のような独特な形を示す。

39 胃は腹側間膜を持つ

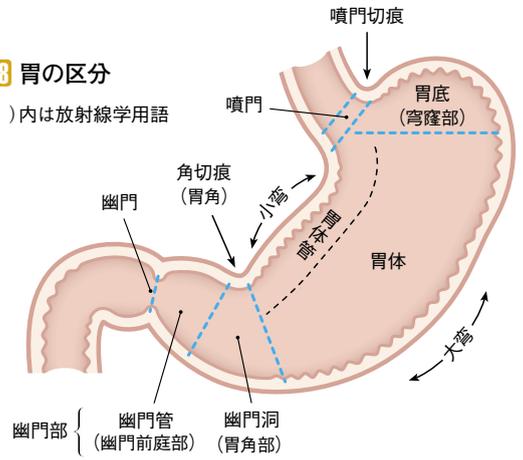
消化管の中で胃(と十二指腸のごく一部)だけが、それぞれ小網 lesser omentum, 大網 greater omentum と名称を変えた腹側間膜, 背側間膜の両方を持つ。小網は肝臓の静脈管索裂と胃の小弯の間に張る脆弱な膜で、右端はやや肥厚し、肝十二指腸間膜という。内部には左前に固有肝動脈, 右前に総胆管, 後ろに門脈が存在する。大網は大弯から垂れ下がり、反転して横行結腸およびその間膜に癒合する。その後、後壁に移行し、十二指腸, 膵臓を覆う。これらの膜と胃が仕切りとなって腹腔に新たな空間ができる。これが網嚢 omental bursa である。その出入口を網嚢孔 epiploic foramen といい、肝十二指腸間膜(前)と下大静脈(後)のすき間である。胃潰瘍で後壁に穴が開いた場合、胃内容の流出は網嚢に局限するため症状が現れにくい。

37 胃とその周囲



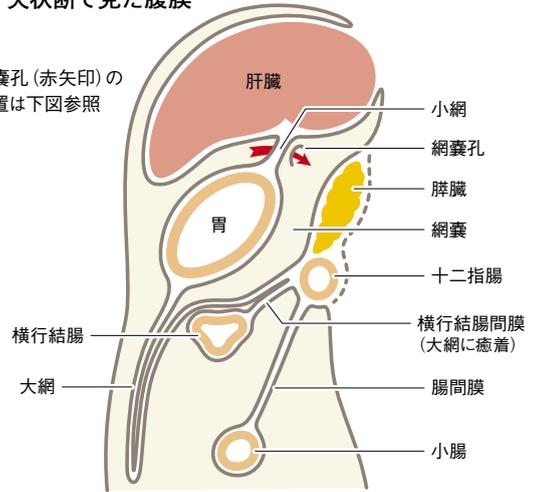
38 胃の区分

()内は放射線学用語



39 矢状断で見た腹膜

網嚢孔(赤矢印)の位置は下図参照



小腸内壁の表面積はバレーボールのコートより広い

小腸は十二指腸、空腸、回腸に区分される **60**

十二指腸から続く小腸はさらに空腸 jejunum と回腸 ileum に分けられる。これらは腸間膜 mesentery で吊り下げられているため腸間膜小腸ともいわれ、左上腹部から右下腹部にかけて存在する。生体では平滑筋の収縮のため全長3mに満たないが、人為的に伸ばすと10m (平均6.5m) に達する。しかし、生存のためにすべてが必要ではなく、半分ほど切除しても大丈夫である。45cmで生存した記録もある。小腸の口径は約4cmであるから、これを平滑なパイプとみなせば内壁の総面積は約0.3m²である。しかし、実際には粘膜ヒダ、絨毛と幾重にも折りたたまれ、さらに細胞表面の微絨毛を含めると200m²という途方もない広さになる。

空腸と回腸はおよそ2:3で分けられる。両者の境界は明瞭ではないが、一般に空腸は平滑筋が発達し壁が厚い。そのため運動も活発で、内容物は速やかに移送され、内腔は空のことが多い。空腸の名はこれに由来する。なお、空腸の始めでは粘膜ヒダが緻密であり回腸の終わりでは疎であるが、この変化は徐々に起こるため両者の境界を特定することはできない。

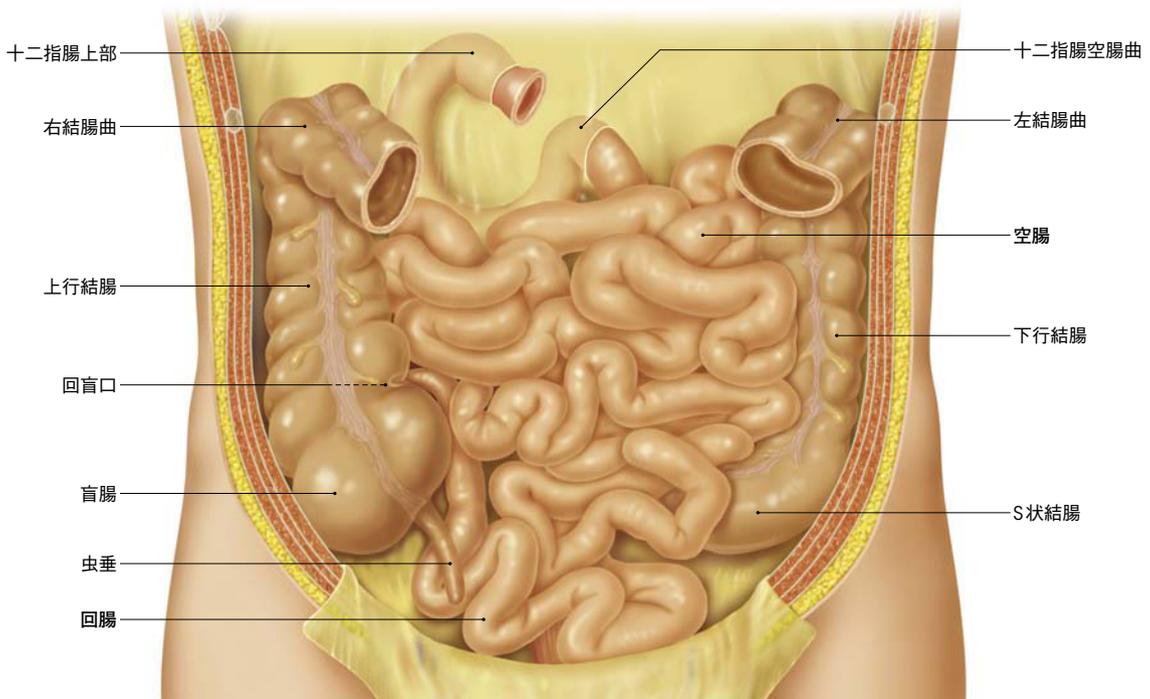
消化管に分布する動脈は互いに吻合してアーケードを作る(第Ⅱ巻参照)。最も消化管側に近いアーケードを**辺縁動脈** marginal artery といい、そこから消化管に真っ直ぐに伸び

る枝を**終動脈** end artery という。空腸動脈はアーケードの重なりが少なく、終動脈が長い。一方、回腸動脈はアーケードが幾重にも重なり、終動脈が短い。ただし実際に観察すると、その違いはそれほどはっきりしない。これらの動脈は**上腸間膜動脈**由来で、ほかに虫垂動脈(回腸末端の背側を通り虫垂間膜に包まれる)、結腸動脈を分枝し、一般に横行結腸の右2/3まで支配する。ここまでが中腸由来であり、迷走神経の分布もこれに一致する。残りは**下腸間膜動脈**が支配するが、これは主に後腸由来の臓器に分布し、支配する副交感神経は骨盤内臓神経に変わる。

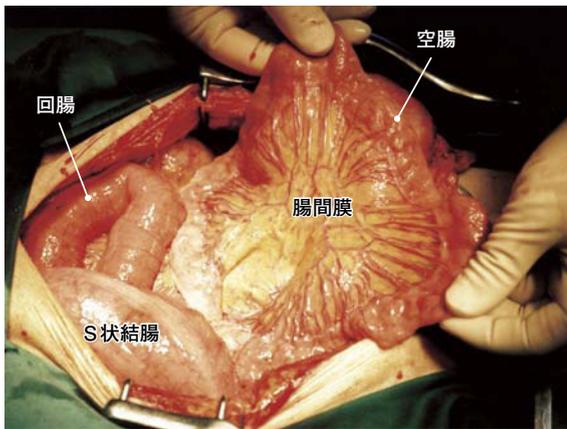
空腸と回腸は腸間膜にぶら下がり可動性がある **61**

空腸、回腸を包む腹膜は背側で合わさって腸間膜となり、後腹壁に付く **(69)**。その根 root of the mesentery は約15cmの長さで、左上腹部の十二指腸空腸曲(第2腰椎の左側)から、十二指腸水平部、腹大動脈、下大静脈、右尿管を横切り、右下腹部の回盲部(右の仙腸関節)にかけて斜めに走る。根から腸管までは約20cmの距離があり、腸管は比較的自由に動く。腸間膜を構成する2枚の腹膜の間を血管、リンパ管、自律神経が走り、リンパ節が存在する。根部は脂肪を多く含み、厚い。骨盤腔の膿などは腸間膜が壁となるため肝臓側に貯留することは少なく、その逆も言える。

60 小腸の外観 空腸は主に臍部に位置する。空腸の最初のコイルは左腎と横行結腸の間にある。回腸は下腹部、骨盤内に位置する。



61 腸間膜 間膜は根部から扇状に広がる

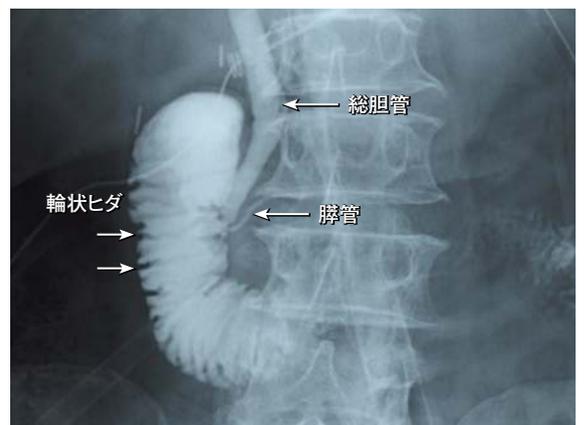


また、腸間膜が十二指腸水平部を横切り、同時に上腸間膜動静脈を含むことから推測できるように、これらの血管の圧迫により十二指腸を閉塞する場合があります。腸間膜血管の異常、腸間膜の短縮などの先天的な理由のほかに内臓下垂が原因のこともある。圧迫を除くためには、コッヘルの操作とトライツ靱帯の切離を行い、小腸のすべてを上腸間膜動脈の後ろを通し右に、大腸を左に移動すればよい。

小腸の内壁は広大な表面積を有する 62

小腸内腔は背の低いヒダが内腔を部分的にあるいはぐるりと取り巻き、それらが幾重にも形成されている。これが輪状ヒダ circular folds (ケルクリング襞 Kerckring's folds)

63 十二指腸下行部 (胆管造影) 緻密な輪状ヒダが描出されている

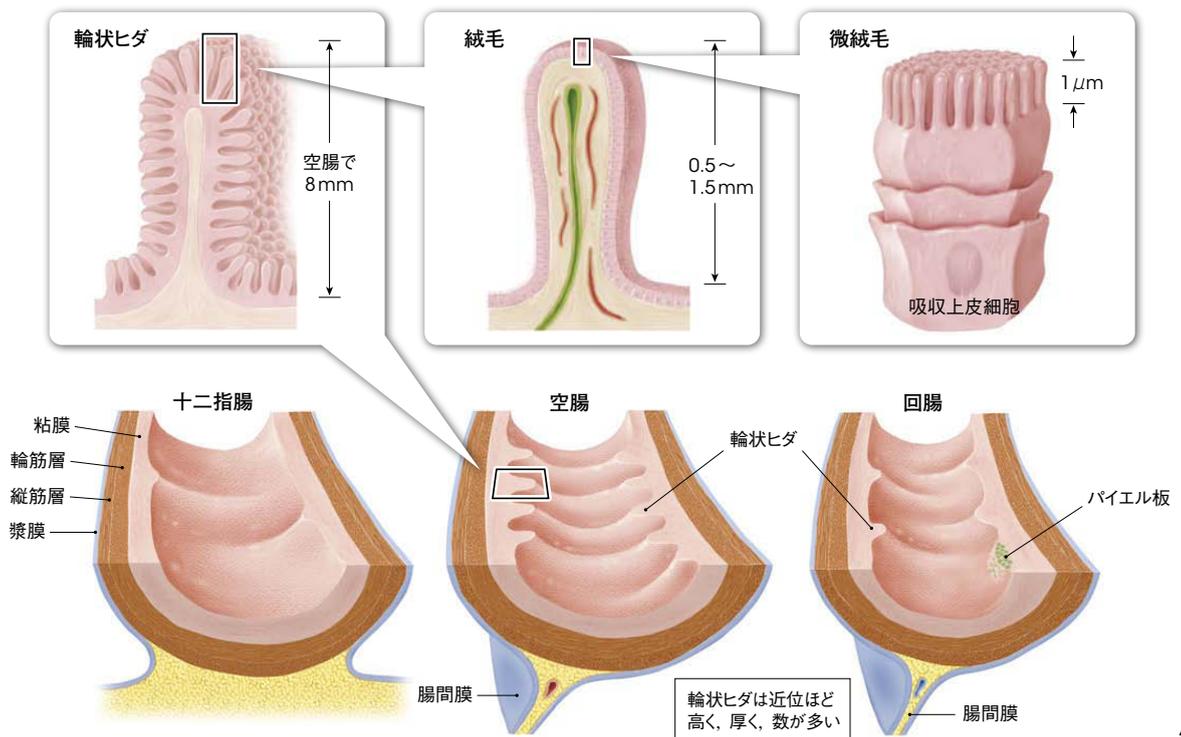


で、その表面には絨毛 villi という突起が無数に存在する。十二指腸では不完全な輪状ヒダが多数存在する (63)。空腸は回腸に比較し輪状ヒダの数が多く、絨毛も太く高い。さらにこれらに細胞表面の微絨毛 microvilli の面積を合わせると、最初に述べたように膨大な広さになる。特に空腸の吸収面積は広く、回腸の7倍もあり、栄養吸収の主役を演じる。回腸では胆汁酸、ビタミン B₁₂ が吸収される。

●コッヘルの操作 Kocher's maneuver

十二指腸は腹膜後器官で前面のみ腹膜で覆われ、後面は癒合筋膜を介して後腹壁や他臓器に接する。前面を覆う腹膜を十二指腸の右外側縁に沿って切ると、後腹壁から容易に十二指腸を剥離でき、腎門、膵頭部の裏面、下大静脈を露出できる。この簡単な操作をコッヘルの操作という。

62 小腸壁の構造 漿膜面の面積に対し、粘膜の表面積はその600倍にもなる。



炭水化物は単糖に分解され、Na⁺とともに細胞内に入る

我々は、生命活動に必要なエネルギー源の半分以上を炭水化物に依存している。炭水化物とは、炭素と水をほぼ1:1の割合で含む化合物の総称である。炭水化物のうち、ヒトの消化管で消化吸収できる**多糖類**は、グルコース（**単糖**）の重合体すなわちでんぷんのみである。二糖類のマルトース（麦芽糖）、スクロース（蔗糖）、ラクトース（乳糖）も消化吸収される。

でんぷんは2段階の加水分解を受けて単糖になる

でんぷんは、アミロースとアミロペクチンの混合物である。アミロースは、数百個のグルコースが α -1,4グルコシド結合で1本鎖に連なった多糖体である。アミロペクチンは、30個の短いグルコース鎖が α -1,6グルコシド結合で架橋されている。食物中のでんぷんの80~90%は、 α -1,4グルコシド結合と α -1,6グルコシド結合の混在するアミロペクチンが占めている。

唾液や膵液に含まれる α -アミラーゼは、 α -1,4グルコシド結合のみを切断できるので、 α -1,6グルコシド結合とそれに隣接する α -1,4グルコシド結合を残してしまう。した

がって、 α -アミラーゼの消化産物として**限界デキストリン**、三糖類のマルトトリオース、二糖類のマルトースなどが生じる⁷⁹。これらの消化産物は、さらに小腸粘膜細胞表面での膜消化により、その構成単位に分解される。すなわち、限界デキストリンの α -1,6グルコシド結合はイソマルターゼ（ α -1,6グルコシダーゼ； α -デキストリナーゼともいう）で、マルトトリオースやマルトースの α -1,4グルコシド結合はマルターゼで切断され、単糖（グルコース）になる。

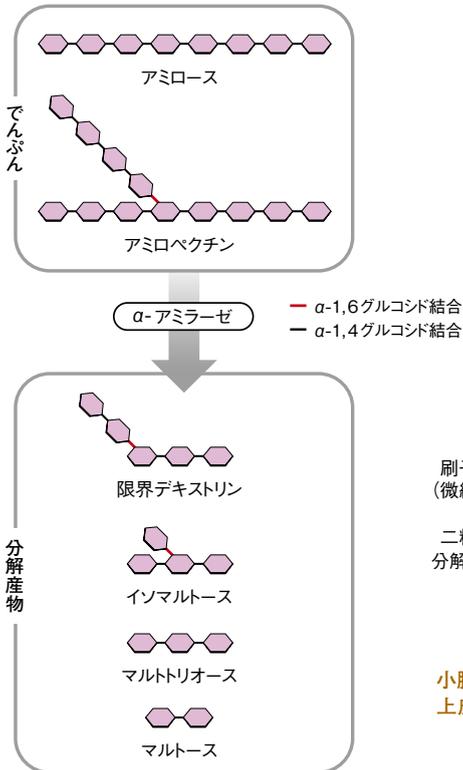
●フルクトース（果糖）

文字どおり果物に含まれる単糖であるが、果物の中にはグルコースやスクロースもほぼ同量含まれている。桃とりんごは、グルコースよりフルクトースを多く含む。バナナ（甘い）はスクロースの含有量が高く、さくらんぼとぶどう（甘酸っぱい）は含有量が低い。

●スクラーゼ-イソマルターゼ

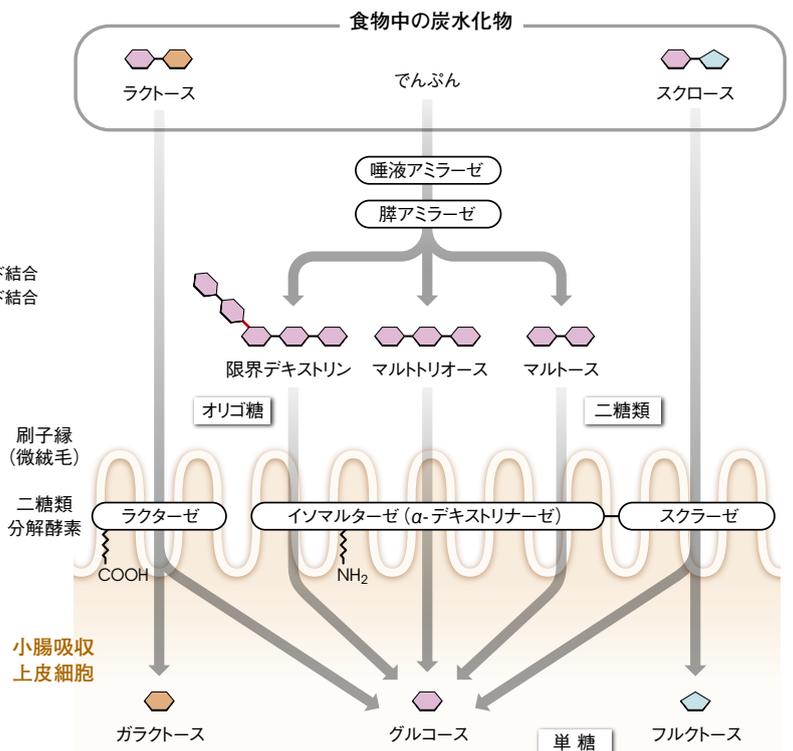
小腸粘膜細胞の刷子縁に結合する二糖類分解酵素。イソマルターゼ蛋白質のNH₂末端が細胞膜にアンカーしている。複数の活性部位を持つ：スクラーゼ活性（100%）、イソマルターゼ活性（90%）、マルターゼ活性（80%）。上皮細胞が陰窩から絨毛先端へと移動する間に、スクラーゼ活性は最低（陰窩）~最大（中間部）~やや低下（絨毛先端）と変化する。

79 α -アミラーゼによるでんぷんの加水分解



80 炭水化物の消化の流れ

アミラーゼによる管腔内消化と膜結合型二糖類分解酵素による膜消化



81 二糖類の膜消化と輸送路

| | 構成単位 | 消化酵素 | 吸収路(管腔膜) | 排出路(側底膜) |
|-------|--------------|-------|--------------|--------------|
| マルトース | グルコース+グルコース | マルターゼ | SGLT1 | GLUT2 |
| ラクトース | グルコース+ガラクトース | ラクターゼ | SGLT1 | GLUT2 |
| スクロース | グルコース+フルクトース | スクラーゼ | SGLT1, GLUT5 | GLUT2, GLUT5 |

炭水化物の消化・吸収 80

でんぷんは、口中で咀嚼中に唾液と混ぜられ、嚥下により食道から胃に運ばれる。唾液

中の α -アミラーゼは、でんぷんをマルトース、イソマルトースに加水分解できるが、口中での滞留時間は短いので、でんぷんとアミラーゼの混合物はそのまま胃に送られる。アミラーゼはpH 4以下で失活するので、胃酸と完全に混合されるまでの30～60分間、でんぷんの部分消化が進行する。食物中のでんぷんの約1/3が胃内でオリゴ糖になる。

十二指腸に運ばれた酸性糜粥は、胆汁・膵液中の HCO_3^- の働きで弱アルカリ性に戻される。オリゴ糖は、膵液中の α -アミラーゼの働きで、15～30分間という短時間のうちにマルトース、イソマルトースに加水分解される。

小腸に移動してきたマルトース、イソマルトースは、小腸粘膜細胞表面にあるマルターゼ、イソマルターゼの作用で、グルコースに加水分解される。一方、ラクトースやスクロースは、管腔内消化を経ないで直接、小腸粘膜細胞表面にあるラクターゼ、スクラーゼの作用で、それぞれを構成する単糖に加水分解される。

単糖は速やかに小腸粘膜細胞内に取り込まれる。グルコースとガラクトースは、共通の Na^+ 依存性グルコース輸送体SGLT1を介して、フルクトースは Na^+ 非依存性グルコース輸送体GLUT5を介して管腔膜を通過する。細胞内から血管側への排出は、側底膜の Na^+ 非依存性グルコース輸送体GLUT2が主に担っている。SGLT1は二次性能動輸送、GLUT2、GLUT5は受動輸送(促進拡散)である。間質に出た単糖は単純拡散で血中に入る。81 82

●乳糖不耐症

哺乳動物の消化管のラクターゼ活性は、出生時に高く、成長とともに低下する。この傾向は草食動物において顕著で、離乳期を境にラクターゼ活性が著しく低下する。ヨーロッパ人やアメリカ白人は、大人になってもラクターゼ活性を保持しているが、ネイティブ・アメリカンや東洋人にはラクターゼ活性の低い人が多い。牛乳に含まれるラクトースが消化されないと、ラクトース分子の保水作用により浸透圧性の下痢を起こす。また、大腸内に存在する細菌にラクトースが利用され、異常発酵を起こす。

82 グルコース輸送系

Na^+/K^+ ATPaseによる Na^+ の汲み出し(細胞内低 Na^+ 濃度)と、チャネルを介した K^+ の拡散による細胞内負電位が、SGLT1の駆動力となっている

