

博士論文

急性腹症患者の麻酔導入時高リスク胃の超音波画像での検出

- 仰臥位測定と術前 CT 画像解析との比較研究 -

岡田吉史

略語一覽

AUC : Area under the curve (曲線下面積)

CSA : Cross sectional area (横断面積)

CT : Computed tomography (コンピュータ断層撮影)

IQR : interquartile range (四分位範囲)

ROC : Receiver operating characteristic (受信者応答特性)

SD : Standard deviation (標準偏差)

目次

1. 要約	・・・5
2. 研究背景	
2.1 周術期の誤嚥	・・・9
2.2 誤嚥防止のためのガイドライン	・・・10
2.3 CTによる胃内容量の評価	・・・11
2.4 超音波診断装置を用いた胃内容量評価	・・・12
2.5 超音波診断装置による仰臥位での胃内容量計測の意義	・・・13
3. 研究目的	・・・15
4. 研究1 超音波診断装置による仰臥位胃内容量評価の精度の検討	
4.1 目的	・・・16
4.2 方法	
4.2.1 対象	・・・16
4.2.2 胃幽門洞横断面積の測定と算出	・・・17
4.2.3 研究プロトコール	・・・18
4.2.4 統計解析	・・・18
4.3 結果	・・・19
4.4 小括	・・・20
5. 研究2 緊急腹部手術患者における「高リスク胃」検出のための胃幽門洞横断面積(CSA)のカットオフ値の確立	
5.1 目的	・・・22
5.2 方法	
5.2.1 対象および患者背景	・・・22
5.2.2 検討項目1 超音波診断装置による胃幽門洞 CSA の測定および胃内容の定性評価	・・・25
5.2.3 検討項目2 CT画像による胃内容量の算出	・・・26
5.2.4 検討項目3 高リスク胃検出の幽門洞 CSA カットオフ値の検討	・・・27
5.2.5 検討項目4 幽門洞 CSA と腹部 CT 画像から算出された胃内容量との相関の検討	・・・27
5.2.6 検討項目5 背景因子の胃内容量への影響の検討	・・・28
5.2.7 統計解析	・・・28
5.3 結果	・・・30
5.4 小括	・・・31

6. 考察	
6.1 研究 1 および 2 より判明したこと	・・・32
6.2 従来の研究と仰臥位による幽門洞 CSA 測定の限界	・・・33
6.3 胃内容量の測定方法	・・・35
6.4 本研究の解釈	・・・36
6.5 本研究の限界	・・・42
6.6 今後の展望	・・・43
7. 結論	・・・44
8. 付録	・・・45
9. 文献	・・・47
10. 図の注釈	・・・53
11. 表	・・・71
12. 謝辞	・・・75

1. 要約

フルストマック患者は全身麻酔導入中の誤嚥リスクが高く、誤嚥は肺炎や気道閉塞など致死的合併症を起こす。しかし、全身麻酔を必要とする緊急手術の場合は絶飲食状態の維持は困難であり、固形物の存在もしくは胃内容量が 1.5 mL/kg 以上と定義される「高リスク胃」、つまり誤嚥リスクが高い状態にあるか否かを常に全身麻酔導入前に評価しなければならない。胃内容量は超音波装置による胃幽門洞の横断面積 (Cross Sectional Area: CSA) から定量化する簡便な方法がある。しかし既存の報告は観察に有利な右側臥位や Semi-Fowler 位において観察する研究に限られ、体位変換が難しい緊急手術時には実用的ではない。

本研究の目的は、超音波装置を用いて仰臥位での幽門洞 CSA 測定から胃内容量を推定する精度を評価することである。

【研究 1】健康ボランティア 9 名において、絶飲食状態と 250 mL 飲水後に仰臥位および右側臥位で幽門洞 CSA を測定した。

幽門洞 CSA 値（平均 ± 標準偏差）は、空腹時の仰臥位 $4.42 \pm 1.21 \text{ cm}^2$ 、右側臥位 $4.83 \pm 1.88 \text{ cm}^2$ で、飲水後の仰臥位 $8.27 \pm 3.16 \text{ cm}^2$ 、右側臥位 $16.1 \pm 4.38 \text{ cm}^2$ であった。飲水 250 mL により幽門洞 CSA が仰臥位で約 2 倍に拡大することが示された。仰臥位空腹時の CSA に対する 250 mL 飲水時の仰臥位 CSA は t 検定で $P = 0.0010$ と有意差を認めた。また 250 mL の飲水の有無に対する仰臥位 CSA の ROC 曲線は $AUC = 0.926$ でカットオフ値 5.5 cm^2 （感度 89%，特異度 89%，正確度 89%，精度 89%， $P = 0.0004$ ）、右側臥位の $AUC = 1.000$ に劣るものの、良好な精度であった。右側臥位に比べ精度は劣るものの仰臥位の CSA により空腹胃と 250 mL 飲水した胃は判別可能と考えられた。

【研究 2】緊急腹部手術患者 39 例において麻酔導入直前に仰臥位で超音波装置で幽門洞 CSA を測定するとともに固形物の存在を疑う高輝度像の有無を観察した。術前 3 時間以内に撮影されたコンピュータ断層撮影（CT）画像解析により計測さ

れた胃内容量と幽門洞 CSA の相関を調べ、ROC 解析から高リスク胃を検出する幽門洞 CSA のカットオフ値を検討した。仰臥位での幽門洞 CSA の中央値 [四分位範囲] は 3.82 [2.74-5.07] cm²、CT 画像による胃内容量は 0.32 [0.09-2.08] mL/kg で、Spearman の順位相関係数は 0.420 ($P = 0.010$) であった。高リスク胃識別のための幽門洞 CSA の ROC 曲線は AUC = 0.670、カットオフ値は 3.01 cm² (感度 85%、特異度 53%、精度 65%、正確度 69%、 $P = 0.033$) であった。

また、対象 39 例のうち幽門洞の観察で固形物や濃厚液を示す高輝度像が認められた 18 例についてサブグループ解析を行った。幽門洞 CSA 値と CT 胃内容量との相関を調べると共に、そのうち胃内容量が 1.5 mL/kg 以上となる特にフルストマックの特異性が高い状態「最高リスク胃」を検出する ROC 解析を行った。幽門洞 CSA は 3.90 [3.33-5.62] cm²、胃内容量は 1.19 [0.14-4.31] mL/kg で、Spearman の順位相関係数は 0.606 ($P = 0.008$) であった。ROC 曲線の AUC = 0.813 で、

最短距離法によるカットオフ値 3.94 cm^2 (感度 75%, 特異度 70%, 正確度 72%, 精度 67%, $P = 0.012$) であった。

研究 1 からは右側臥位に比べ精度は劣るが仰臥位でも胃内容量を半定量的に評価可能と考えられ、研究 2 からは緊急腹部手術症例において仰臥位 $\text{CSA} \geq 3.01 \text{ cm}^2$ の場合は麻酔導入時の誤嚥リスクが高い「高リスク胃」と推定され、超音波で高輝度像が観察される状況で仰臥位 $\text{CSA} \geq 3.94 \text{ cm}^2$ の場合はよりフルストマックの特異性が高い「最高リスク胃」と推定された。また、超音波で高輝度像が観察される状況では仰臥位幽門洞 CSA と胃内容量の相関が上昇した。

本研究により仰臥位での幽門洞 CSA は、緊急手術を受ける高リスク患者の胃内容量評価とフルストマックの検出に有用な可能性があり、患者の誤嚥リスク低減に寄与できる可能性が示された。

2. 研究背景

2.1 周術期の誤嚥

石巻赤十字病院は年間 3000 例を超える麻酔管理症例があり、そのうち 500～600 例が緊急手術症例である。全身麻酔を要する緊急手術症例の麻酔導入時の誤嚥のリスクは、常に脅威である。

患者の周術期管理において、胃内容物の誤嚥は稀であるが深刻な合併症で、その予防は重要である。フルストマック、すなわち胃内容物が 1.5 mL/kg 以上存在する場合、緊急手術では全身麻酔導入中の誤嚥のリスクが高まり [1-5]、誤嚥は肺炎や気道閉塞などの致命的な合併症を引き起こす可能性がある [1,6-7]。動物研究において、誤嚥により生じる呼吸障害の重症度が、胃内容量と有意に相関すると示されている [8]。周術期の誤嚥発生率は患者や外科的な因子に依存し、0.1%以下から 19%までの幅があるが、直近の十年で変化はしていない。誤嚥性肺炎は長期人工呼吸を必要とすることもある重篤な合

併症であり、5%が致死的で、総麻酔関連死の9%に関係している[1]。

そのため、全身麻酔導入時に誤嚥するリスクが高い患者には意識下挿管や迅速導入と輪状軟骨圧迫等の特殊な気道確保法が必要である。

2.2 誤嚥防止のためのガイドライン

鎮静や全身麻酔は、下部食道括約筋の緊張や上気道反射を抑制する。そのためフルストマックが疑われる患者に対する全身麻酔の導入は、誤嚥防止のため迅速導入等の特別な方法が行われるが[1]、患者に低酸素血症やスキサメトニウムに対するアナフィラキシー反応等を生じさせる危険がある。

米国麻酔科学会のガイドラインは、成人予定手術において誤嚥防止に有効な麻酔前の絶飲食期間として、清澄水は2時間、軽食は6時間、そして通常食は8時間前からの制限を推奨している[9,10]。しかし、重病や緊急手術の患者では腸蠕

動が抑制され、十分な絶食時間を確保してもフルストマックの場合がある。さらに加齢、肥満、ストレスによっても胃内容は停滞し、フルストマックのリスクを高める[1]。従って、ガイドラインは存在するものの、術前のフルストマック識別や胃内容量推定が、誤嚥を回避するために必要な場合がある。しかし、胃内容量の簡便な評価方法はまだ定まっていない。

2.3 CTによる胃内容量の評価

胃内容量の測定は、Ko[11]やWormanns[12]らの報告から、CT画像上の胃の面積の積分による算出が高い精度を有すると判断された。しかし、撮影から麻酔までの病態の悪化や処置などにより、麻酔導入時の胃の状況はCT撮影時と一致しない可能性がある。また、迅速に腹部CTが行えない患者も存在するなど、完全な評価方法とはいえない。

麻酔導入の直前に可能な、簡便かつ高精度な胃内容量の評価方法として、超音波による胃内容量評価が注目されてきた。

2.4 超音波診断装置を用いた胃内容量評価

1985年に超音波診断装置で胃内容を定量的に評価する初めての研究が Bolondi らにより行われ [13]、胃幽門洞 CSA の測定により、食事摂取後の胃内容排出を正確に評価できることを報告した。胃内容物は、半座位や右側臥位により幽門洞に移動するため、Perlas らは右側臥位で計測された幽門洞 CSA は、胃内容量と有意な相関を示すと報告した [14]。Bouvet らは、45° Fowler 位手術患者の幽門洞 CSA と吸引した胃内容量の相関を評価した [15]。患者を右側臥位にして測定した幽門洞 CSA は、胃内視鏡検査で計測した胃内容量と有意に相関するという報告もある [16]。Hamada らは、30° Fowler 位の被検者で測定した幽門洞 CSA が、CT 画像から算出した胃内容量と強く相関することを示した [17]。さらに、Gagey らは緊急外科手術を受ける小児において、術前に測定した幽門洞 CSA が全身麻酔導入方法選択に及ぼす影響を評価した [18]。

近年、超音波診断装置を用いた胃内容の評価で、フルストマックによる麻酔導入中の嘔吐および誤嚥を引き起こす可能性の高い「高リスク胃」の定義は、被検者に対する胃内容の超音波観察において食物残渣の特異性の高い固形物や濃厚な液体の存在を認める場合、または胃内容量が 1.5 mL/kg を超える場合とされている[1,19,20]。更に本研究では、固形物や濃厚な液体の存在を認め、かつ胃内容量が 1.5 mL/kg を超えている場合はフルストマックの特異性がより高いと考えられたため、「最高リスク胃」として検討することにした。

2.5 超音波診断装置による仰臥位での胃内容量計測の意義

右側臥位や Fowler 位で測定された幽門洞 CSA は、胃内容量をより正確に測定できると考えられている。しかし、緊急手術でフルストマックが疑われる患者は、体位変換によって嘔吐や低血圧を誘発する危険がある。脊髄損傷などの外傷患者では、体位変換そのものがリスクである。したがって重症

患者や緊急手術患者では、全身麻酔導入直前に仰臥位で速やかにフルストマック（胃内容量 $> 1.5 \text{ mL/kg}$ ）の評価が可能かを検討する必要がある。具体的には全身麻酔導入前の数分間の酸素化中に、仰臥位での幽門洞 CSA 測定により胃内容量の定性と定量、さらに誤嚥リスクが評価可能であれば、臨床上有用である。

3. 研究目的

仰臥位での超音波幽門洞 CSA 測定により胃内容量を半定量的に評価可能であるかを明らかにし（研究 1）、未だ報告のない、緊急手術を受ける仰臥位患者における「高リスク胃」を検出するための仰臥位幽門洞 CSA のカットオフ値を決定する（研究 2）。

以上から仰臥位においてフルストマックを簡便に評価する方法の精度を明らかにし、臨床上的有用性を証明することを目的とする。

4. 研究 1 超音波診断装置による仰臥位胃内容量評価の精度の検討

4.1 目的

仰臥位での超音波幽門洞 CSA 測定により、胃内容量を評価可能であるか、右側臥位での幽門洞 CSA と比較するパイロット研究。

4.2 方法

4.2.1 対象

仰臥位の幽門洞 CSA が右側臥位の幽門洞 CSA と同様に胃内容量を識別可能か、健常成人の胃において評価することにした。研究は石巻赤十字病院研究倫理委員会から承認を受けた後（#13-34）、2014年1月に石巻赤十字病院において健常ボランティアを対象に実施した。対象者選定基準は米国麻酔科術前身体状態学会（American Society of Anesthesiologists-Physical Status: ASA-PS）1の健常者、

年齢 20-50 歳、体重 50-90 kg、身長 150 cm 以上とした。9 名のエントリーが得られ、研究手順に関して説明を行い、文章による同意を得た。

対象 9 名は全員男性、年齢（平均 [最小-最大]以下同）36.8 [28-50]歳、身長 176.2 [172-183] cm、体重 70.2 [54-83] kg であった。

4.2.2 胃幽門洞横断面積の測定と算出

幽門洞 CSA の測定は経験豊富な単独の麻酔科医が行った。超音波診断装置（M-Turbo, Sonosite Inc., Bothell, WA）のコンベックス型プローベ（2-5 MHz, C60x/5-2, Sonosite Inc.）を上腹部ほぼ正中で矢状断面にあて（図 1）、主に肝左葉をランドマークとして、“Target”または“Bull’s eye”と形容される胃幽門洞横断面を探す（図 2）。次に胃壁厚を含め漿膜から漿膜まで最も小さく走査できた楕円の、蠕動の合間の最大径で直交する 2 つの径（前後径 AP、頭尾径 CC）を測定した。漿膜から漿膜への AP と CC より、幽門洞 CSA は次式[21]を

用いて算出した。

$$\text{幽門洞 CSA (cm}^2\text{)} = [\text{AP 径 (cm)}] \times [\text{CC 径 (cm)}] \times \pi / 4。$$

4.2.3 研究プロトコール

5 時間の絶飲食を行った後の空腹時に、仰臥位と右側臥位における幽門洞 CSA を測定した。その後、水 250 mL を飲水した直後に仰臥位と右側臥位における幽門洞 CSA を測定した。飲水量を 250 mL の設定は、例えば 70kg の対象者の場合の 1.5 mL/kg にあたる 105 mL の 2.4 倍の量となるが、明らかなフルストマックとなる量、かつ、健常成人男子が短時間で無理なく飲める量として設定した。

4.2.4 統計解析

JMP Pro 14 (SAS Institute Inc., Cary, NC) を使用しデータの統計解析を行った。測定値は平均±標準偏差 (Standard deviation, SD) で示した。データ群間の比較は対応のある *t* 検定を使用した。測定法の予測能の評価は Receiver

operating characteristic (受信者応答特性 ROC) 解析を使用し、ROC 曲線は Bell Curve for Excel (Social Survey Research Information Co. Ltd., Tokyo, Japan) で作成し、カットオフ値は、Youden インデックス (J) を用いて決定した (感度プラス特異度マイナス 1 の最大値)。モデルの適合度は χ^2 検定で評価した。 $P < 0.05$ を統計的に有意とした。

4.3 結果

幽門洞 CSA は、空腹時は仰臥位 $4.42 \pm 1.21 \text{ cm}^2$ と右側臥位 $4.83 \pm 1.88 \text{ cm}^2$ 、250 mL 飲水後は仰臥位 $8.27 \pm 3.16 \text{ cm}^2$ と右側臥位 $16.1 \pm 4.38 \text{ cm}^2$ であった (図 3a,b)。幽門洞 CSA を空腹時と飲水後と測定体位の条件間で比較した t 検定の P 値は、空腹時仰臥位 vs. 飲水後仰臥位は $P = 0.0010$ 、空腹時右側臥位 vs. 飲水後右側臥位は $P < 0.0001$ 、空腹時仰臥位 vs. 空腹時右側臥位は $P = 0.509$ 、飲水後仰臥位 vs. 飲水後右側臥位は $P = 0.0006$ であった (表 1)。

胃内容 250 mL に対する仰臥位幽門洞 CSA の ROC 曲線の曲線下面積 (Area under the curve, AUC) は 0.926、カットオフ値は 5.5 cm²であった(図 4)。カットオフ値は 5.5 cm²では感度 89%、特異度 89%、正確度 89%、精度 89%であり、モデル適合度に関して、CSA 5.5 cm²以上の群と CSA 5.5 cm²未満の群間で、胃内容 250 mL の対象者数に有意差を認めた (χ^2 検定 $P = 0.0004$)。一方、右側臥位測定の幽門洞 CSA の ROC 曲線は AUC = 1.00、カットオフ値は 8.2 cm² (感度 100%、特異度 100%、正確度 100%、精度 100%、 $P < 0.0001$, 図 5) であった。

4.4 小括

仰臥位の測定では飲水 250 mL により幽門洞 CSA が約 2 倍に拡大することが示された。仰臥位空腹時の CSA に対する 250 mL 飲水時の CSA は表 1 の通り t 検定の P 値で 0.001 と明らかな有意差を認めた。かつ 250 mL の飲水の有無に対する

仰臥位 CSA の ROC 曲線は $AUC = 0.926$ と高く、カットオフ値 5.5cm^2 において感度 89%、特異度 89% と良好な精度であった。仰臥位の CSA により空腹胃と 250 mL 飲水した胃は判別可能と考えられた。また、仰臥位 CSA の ROC 曲線の $AUC = 0.926$ に対し、右側臥位 CSA の $AUC = 1.0$ であったことから、仰臥位 CSA は右側臥位 CSA に比較して、250 mL 飲水の判別能は若干劣ることが示された。仰臥位における幽門洞 CSA 測定は右側臥位における幽門洞 CSA 測定に比べ精度は劣るものの、胃内容が空腹かフルストマックかを評価可能であることが示された。

5. 研究2 緊急腹部手術患者における「高リスク胃」検出のための 胃幽門洞横断面積(CSA)のカットオフ値の確立

5.1 目的

緊急手術を受ける患者の全身麻酔導入時に行う前酸素化の間に、超音波診断装置を用いて仰臥位で胃幽門洞内容の観察と幽門洞 CSA を測定し、①固形物や濃厚な液体の存在、または術前の腹部 CT 画像から算出された胃内容量 $> 1.5 \text{ mL/kg}$ として定義される「高リスク胃」を仰臥位幽門洞 CSA 測定で識別可能であるか明らかにする、②「高リスク胃」を識別する仰臥位幽門洞 CSA のカットオフ値を特定する、③腹部 CT 画像から算出された胃内容量と仰臥位測定 of 幽門洞 CSA の相関を明らかにする、ことを目的とした。

5.2 方法

5.2.1 対象および患者背景

石巻赤十字病院では、緊急腹部外科手術を受ける患者に対

し、病変の位置・性状を診断する目的で腹部 CT 検査が行われてる。また、緊急手術のために全身麻酔を受ける患者に対し、全身麻酔導入前に超音波診断装置による胃幽門洞観察が本論文著者により行われており、全身麻酔に関する文書による同意と共に、超音波診断装置による胃の観察についても文書による同意を得ていた。

研究は石巻赤十字病院研究倫理委員会から承認を受けた後（#13-35）、プロトコルを[UMIN-CTR (UMIN 000013416)]に登録し、2014年3月から2017年1月の間に石巻赤十字病院で前向き観察研究で実施した。患者選定基準は、腹部緊急手術を受ける患者、年齢20-85歳、体重40-110 kg、身長145 cm以上、腹部CT検査から全身麻酔導入まで3時間以内、腹部CT検査後に絶飲食が継続されていることとした。除外基準は、外傷性腹部損傷、胃管ドレナージ中、妊娠、上部消化管疾患の既往、既知の上部消化管の解剖学的異常（食道裂孔ヘルニアおよび胃腫瘍を含む）、CT検査後に胃管が挿入され

た場合とした。測定者は独立して超音波装置で胃幽門洞観察を行い、別の麻酔担当医師が観察所見に関わらず独立して術前患者所見に基づき麻酔導入法を選択し全身麻酔を導入することとした。

対象患者には術後に研究手順とデータの二次利用に関する説明を行い、文書による同意を得られた患者を解析対象とした。

研究期間中、156例の患者が緊急腹部手術の前に腹部CT検査を受けた。このうち137例に対し仰臥位での幽門洞CSA測定が行われていた。これら137例のうち56例は、腹部CT検査が麻酔導入の3時間以上前に行われたため除外した。残る81例のうち24例は本研究へのデータ利用に対する同意が得られなかったため除外し、18例は病院から早期に退院して追跡不能となったため同意を取得できず除外した。従って、39例のデータセットについて分析した（図8）。

患者の特性を表2に要約する。年齢（中央値 [IQR]）59

[34-68]歳、性別（男/女）27/12、身長（中央値 [IQR]）166 [163-170] cm、体重（平均 (SD)）67.4 (11.6) kg、BMI（平均 (SD)）24.3 (3.5) kg/m²で、全ての患者の米国麻酔学会術前身体状態分類（ASA-PS）[22]はIまたはIIで（I:II (%)）20:19 (51:49)あった。手術原因疾患は、18例（46.1%）が急性虫垂炎で最多であった。絶食時間（中央値 [IQR]）は16 [10.3-23.5] 時間、絶飲時間（中央値 [IQR]）は6 [5-7] 時間であった。CT検査から仰臥位幽門洞 CSA測定までの時間は145±38分で、1時間未満2例（5%）、1-2時間5例（13%）、2時間を超え3時間以内32例（82%）であった。

5.2.2 検討項目1 超音波診断装置による胃幽門洞 CSAの測定

および胃内容の定性評価

全身麻酔導入前、自発呼吸でマスクから10 L/分の酸素吸入中の仰臥位の患者に対し、測定者が超音波診断装置を用いて幽門洞を観察した。測定者間バイアスを除くため測定者は本

論文著者のみとし、測定者は患者の術前腹部 CT 画像を始めとする患者情報と関わりを持たない様に配慮し、幽門洞観察に対するバイアスを排除した。測定者は幽門洞 CSA 測定と幽門洞内容物の性状評価を行った。幽門洞 CSA 測定は研究 1 の仰臥位幽門洞 CSA 測定と同様の方法を用いた。胃内容物の性状評価は、幽門洞で高輝度または混合輝度成分 [1,14] を呈する食物残渣や濃厚液の所見（図 6）を認めた場合に麻酔記録に記載した。超音波検査終了後、前酸素化が完了した後に麻酔担当医が適切な方法で全身麻酔を導入した。

5.2.3 検討項目 2 CT 画像による胃内容量の算出

腹部疾患の診断のため、スライス厚 1 mm の CT 検査が全ての対象患者に対して実施されていた。手術後に放射線技師が、全身麻酔導入前 3 時間以内に撮影された CT 画像から、Ziostation 2 (Ziosoft, Inc., Tokyo, Japan) を使用し、各スライスの胃内容面積を積分することにより胃内容量を算出し

た（図 7）。

5.2.4 検討項目 3 高リスク胃検出の幽門洞 CSA カットオフ値の検討

現在、世界的に受け入れられている「高リスク胃」の定義である、「幽門洞で高輝度または混合輝度成分の様な食物残渣や濃厚液の所見を認めた場合（図 6）、または胃内容量が 1.5 mL/kg を超える場合」[1,19,20]、とした。本研究では緊急腹部手術を受ける患者において、全身麻酔導入直前の仰臥位での超音波診断装置による胃幽門洞観察で、「高リスク胃」の定義に該当する胃を検出する幽門洞 CSA カットオフ値を検討した。

5.2.5 検討項目 4 幽門洞 CSA と腹部 CT 画像から算出された胃内容量との相関の検討

仰臥位での幽門洞 CSA と腹部 CT 画像から算出された胃内

容量の相関についてを検討した。

5.2.6 検討項目 5 背景因子の胃内容量への影響の検討

手術原因疾患を非イレウス性疾患（胆のう炎、虫垂炎）とイレウス性疾患（絞扼性イレウス）に分類した場合に、疾患と CT 胃内容量や高リスク胃状態との関係を検討した。また高リスク胃群と非高リスク胃群において、絶飲・絶食時間や腹部 CT 撮像から幽門洞超音波観察までの時間に差があるか検討した。

5.2.7 統計解析

データは平均 ± 標準偏差または中央値 [四分位範囲 interquartile range, IQR] で示し、連続変数の群間比較は、対応のある t 検定または Mann-Whitney U 検定を使用し、名義尺度の群間比較は Fisher の正確検定を使用した。ROC 曲線は Bell Curve for Excel で作成した。高リスク胃のカット

オフ値の決定には Youden インデックス (J) (感度プラス特異度マイナス 1 の最大値) および最短距離法を用いた。モデルの適合度の評価は χ^2 検定を使用した。相関分析は、Spearman の順位相関係数 (ρ) を使用した。 $P < 0.05$ を統計的に有意とした。有意差の検定は全て JMP Pro 14 を使用した。

必要なサンプル数について JMP Pro 14 を用いてパワー解析を行った。高リスク胃の患者と非高リスク胃の患者の仰臥位での幽門洞 CSA に差が 2.0 cm^2 以上あり、各群の幽門洞 CSA の標準偏差が 2.0 cm^2 であると仮定し、 α エラー (第 1 種過誤) を 5% (0.05)、 β エラー (第 2 種過誤) を 20% (0.2) と設定した場合、高リスク胃の患者と非高リスク胃の患者の間で仰臥位幽門洞 CSA に差があることを示すためには 34 例のデータセットが必要であると算出された。また ROC 解析に必要なサンプル数について統計ソフト R (R Foundation, Free Software) を用いてパワー解析を行った。 $AUC = 0.8$ の ROC

曲線を作成する場合で、検出力 0.90、有意水準 5%、片側検定フルストマックが対象の 25% (正常:フルストマック = 1:3) に存在すると仮定すると、フルストマック 10 名、正常 28 名が必要であり、必要なサンプル数は 38 名と算出された。同意撤回率を約 50% として、ターゲットサンプルサイズは 68 名に設定した。

5.3 結果

研究期間中、研究対象患者に誤嚥や幽門洞 CSA 測定の実施による有害事象は発生しなかった。全症例の幽門洞 CSA は 3.82 [2.74-5.07] cm²、胃内容量は 0.32 [0.09-2.08] mL/kg であった。「高リスク胃」を示した患者数は 20 例 (51%) で、この内 18 例に食物残渣や濃厚な液体が観察され、10 例は胃内容量が 1.5 mL/kg を超えた。「高リスク胃」診断のための幽門洞 CSA の ROC 曲線は AUC = 0.670, 標準誤差 0.087, 95% 信頼区間 (CI) 0.498-0.842 であり、Youden index を用いた

カットオフ値は 3.01 cm^2 (感度 85%, 特異度 53%, 正確度 69%, 精度 65%, $P = 0.033$, 図 9)、最短距離法を用いたカットオフ値も同値であった。幽門洞 CSA と胃内容量の相関プロットを図 10 に示す。Spearman の順位相関係数 (ρ) は 0.420 ($P = 0.010$) であった。

イレウス群 7 例と非イレウス群 32 例の 2 群間で CT 胃内容量に差があるか検討した。イレウス群は $4.69 [0.234-11.27] \text{ mL/kg}$ 、非イレウス群 $0.27 [0-7.92] \text{ mL/kg}$ (中央値 [最小値-最大値]) で有意差を認めた ($P = 0.0099$)。しかし、高リスク胃の存在に有意差があるか群間比較を行った場合、Fisher の正確検定で $P = 0.0529$ で有意差は認められなかった。高リスク胃群と非高リスク胃群の 2 群間で絶飲・絶食時間と腹部 CT 撮像から幽門洞超音波検査までの時間に有意差を認めなかった (表 3)。

5.4 小括

全身麻酔導入直前に 3.01 cm^2 を超える幽門洞 CSA は、「高リスク胃」である可能性が高いことが明らかになった（感度 85%，特異度 53%，正確度 69%，精度 65%）。また、仰臥位で計測された幽門洞 CSA と胃内容量は中等度から弱い相関（ $\rho = 0.420$ ）を認めた。イレウスでは胃内容量は非イレウス性疾患に比べ有意に多いが、高リスク胃が有意に多いわけではなかった。実際に本研究のようなフルストマックを識別するための胃内容検査が麻酔導入直前に必要であることが示唆された。高リスク胃群と非高リスク胃群の間で絶飲・絶食時間、CT から幽門洞超音波検査までの時間に差はなく、腸管麻痺が胃内容量に影響する可能性が示された。

6. 考察

6.1 研究 1 および 2 より判明したこと

研究 1 からは右側臥位に比べ精度は劣るが仰臥位でもフルストマックの識別が可能であることが明らかとなった。研究

2からは緊急腹部手術症例において仰臥位 $CSA \geq 3.01 \text{ cm}^2$ の場合は、麻酔導入時の誤嚥リスクが高い「高リスク胃」の可能性があることが明らかとなった。

6.2 従来の研究と仰臥位による幽門洞 CSA 測定の限界

超音波診断装置を用いた幽門洞 CSA 測定による胃内容量評価は、過去にも健常対象者で研究されていた。Koenigらは緊急気管内挿管を必要とする13例の患者について、仰臥位で超音波診断装置を用いて胃内容量を検討し、対象患者に胃液が充満していることを発見した[23]。胃管から吸引された胃液量は $553 \pm 290 \text{ mL}$ （平均±標準偏差）もあり、仰臥位における幽門洞 CSA 測定でフルストマック状態を定性的に検出できる可能性を示した。その後、健常ボランティアの右側臥位において胃内容量を予測する回帰モデル[14,16]と、手術で経口挿管を受ける患者の術前で 45° 半座位において胃内容量を予測する回帰モデル[15]を提唱した。これらモデルの変数には

幽門洞 CSA、身長、年齢、体重、ASA-PS、その他の因子が使用されていた。しかし、多変数のモデルは繁雑な計算を要し、緊急手術導入前の実用性は低い。

胃底部に存在する胃内容物は半座位や右側臥位になると重力により幽門洞に移動すると考えられ、幽門洞 CSA 測定による胃内容量推定の精度はこれらの体位で向上する可能性がある。Bouvet らは手術患者において半座位 45° で幽門洞 CSA を測定し、経鼻胃管から吸引された量を胃内容量とし、胃内容量 0.8 mL/kg 以上と定義したリスク胃を診断するための幽門洞 CSA のカットオフ値を 3.4 cm² (感度 91%, 陰性的中率 71%) と報告した [15]。Hamada らは重症患者 55 例において半座位 30° で幽門洞 CSA を測定し、胃内容量を腹部 CT 画像から算出し、胃内容量 0.8 mL/kg 以上と定義したリスク胃を診断するための幽門洞 CSA のカットオフ値を 3.6 cm² (感度 76%, 陰性的中率 78%) と報告した [17]。一方、緊急手術では測定条件は制限され、重症患者や外傷患者では体位変換が

困難な可能性があるため、体位変換を伴う幽門洞 CSA 測定が必要な時に行えない。そこで本研究はより簡便、非侵襲的、迅速で実用性の高い、仰臥位での幽門洞 CSA について検討した。

既存の報告では幽門洞 CSA に対する体表面積や Body mass index といった身長や体重に基づいた体格による補正の報告は無く、本研究でも既報に従い幽門洞 CSA 値のみを評価の対象として使用した。

幽門洞の超音波観察と測定は技術的に容易で、麻酔科専門医であれば 10 例程度で安定した測定を行えると考えられた。

6.3 胃内容量の測定方法

胃内容量の推定には、超音波診断装置以外にパラセタモール吸収、胃インピーダンス、シンチグラフィ、ポリエチレングリコール希釈法等が用いられていた。しかし、緊急手術患者に行うための方法ではなく、周術期における胃内容量推

定のゴールドスタンダードとはなっていない[24]。

Bouvet らは胃管による胃内容吸引で胃内容量を推定したが[15]、胃内容物の性状や胃管先端の位置により、実際の胃内容量を示さない場合がある。内視鏡直視下に胃内容を吸引する方法は[16]、正確であるが侵襲的で全症例に適用はできない。本研究の新規性の一つは、緊急腹部手術患者の胃内容量測定に、CT画像を使用したことが挙げられる。CT画像から3次元容量解析を行うコンピューターソフトウェアを使用した胃内容量の算出は正確である。しかしコストと手間がかかるため、今回は幽門洞 CSA に対する胃内容量の対照値として利用した。

6.4 本研究の解釈

研究1では、9名の健康ボランティアを対象に幽門洞 CSA 測定による胃内容量評価の精度に対する体位の影響について評価した。仰臥位では右側臥位よりも、飲水前後で幽門洞 CSA

の測定値の差が小さかったものの、飲水前後における仰臥位 CSA の相関は強かった。また、ROC 曲線の AUC、カットオフ値とモデル適合度から、仰臥位でも臨床的にフルストマックの識別が可能であることが示された。研究 1 において飲水前の仰臥位胃幽門洞 CSA の平均値は 4.42 cm^2 であり、研究 2 で示された高リスク胃のカットオフ値 3.01 cm^2 や後述する最高リスク胃を示唆するカットオフ値 3.94 cm^2 を上回るという結果が生じていた。これは研究 1 が健常者を対象とし、日常生活に支障を生じない絶飲食時間として 5 時間を設定したが、米国麻酔科学会 (ASA) 絶飲食ガイドラインの 6 時間に比べ短く、対象者によっては胃内容物がある程度残存していた可能性や、初期のパイロットスタディであり、測定者の幽門洞超音波観察技術がバイアスとなった可能性がある。

研究 2 では腹部 CT 画像から算出した胃内容量を対照値として、緊急腹部手術の全身麻酔導入直前の超音波画像を解析

した。幽門洞 CSA が 3.01 cm^2 以上が高リスク胃の可能性があることを明らかにした。本研究は AUC0.67、感度 85%、特異度 53%と AUC と特異性が低いため、研究結果の CSA 3.01 cm^2 のみでフルストマックの確定診断はできないが、生命に関わる誤嚥を防ぐためには感度が高いことは有用と考えられた。また、仰臥位では胃内容物が幽門洞よりも胃底部に多く貯まることから、高リスク胃と評価する幽門洞 CSA 値は、右側臥位や半座位より小さくなる。幽門洞 CSA と CT 画像から算出した胃内容量の相関は中等度～弱い ($\rho = 0.420$) ことは、仰臥位における胃内容量の推定の限界を示しているのかもしれない。

ここで仰臥位における幽門洞 CSA 測定による胃内容物量推定の精度を向上させる方策について考察する。胃に固形物や濃厚な液体が観察された患者 18 名のみで仰臥位測定幽門洞 CSA と CT 胃内容物量の相関を検討すると、Spearman の順位相関係数 (ρ) は 0.606 ($P = 0.008$) と 39 名の検討における

$\rho = 0.420$ ($P = 0.01$) よりも相関が良好となった (図 10●)。

仰臥位測定幽門洞 CSA により胃内容物を定量的に推定する場合、胃に固形物や濃厚な液体等の食物残渣による高輝度エコーが存在する症例においては胃内容物をより高い精度で反映する事が示唆された。このため高輝度エコーが存在する 18 人について追加でサブグループ解析を行った。

高輝度エコーが存在するサブグループ群 18 例と研究 2 で解析した症例全例の間で患者背景に有意差を認めなかった (表 4)。サブグループ群においてフルストマックの特異性が高いと考えられる「幽門洞で高輝度または混合輝度成分の様な食物残渣や濃厚液の所見を認めた場合 (図 6)、かつ胃内容量が 1.5 mL/kg を超える場合」[1,19,20]である「最高リスク胃」の定義に該当する胃を識別する幽門洞 CSA カットオフ値を検討したが、より特異度が高かった最短距離法で 3.94 cm^2 ($\text{AUC} = 0.813$, 感度 75%, 特異度 70%, 正確度 72%, 精度 67%, $P=0.012$) であった (図 11)。超音波で高輝度像が観察

される状況では定量精度が上昇し、仰臥位 $CSA \geq 3.94 \text{ cm}^2$ の場合はよりフルストマックの特異性が高い「最高リスク胃」の可能性が高いことが示された。

本研究の緊急腹部手術患者の場合、絶飲食時間が予定手術の約3倍でも51%が高リスク胃であった。つまり急性腹症では6時間の絶飲と17時間の絶食でも約半数に腸管麻痺を発症することを示している。腸管麻痺の発症率を示す研究は存在しないため、貴重なデータと考えられた。イレウスでは胃内容量は非イレウス性疾患に比べ有意に多いが、高リスク胃が有意に多い事は示しておらず、また高リスク胃症例と非高リスク胃症例の間で絶飲・絶食時間に差はなく、絶飲食時間と関係なく腸管麻痺により胃内容が停滞することを示していた。実際に本研究のような高リスク胃を診断するための胃内容検査が麻酔導入直前に必要であることが示唆され、本研究の意義が示された。

研究2のサブグループ解析からは、胃幽門洞に超音波画像

で高輝度像が確認された場合、高リスク胃をより高い精度で評価できることが示唆された。食物残渣による高輝度エコーの存在する症例はフルストマックと判断するべきであるが、その時の幽門洞 CSA が 3.9 cm^2 以上の症例は、フルストマックの特異性が高いと考えるべきである。実際の臨床現場において、幽門洞 CSA が 3.9 cm^2 以上の症例に対応する際は、誤嚥リスクが非常に高いフルストマックとして、覚醒下での気管内挿管施行を検討すると共に、スタッフを招集し、種々の気道確保器具や吸引器具の準備、全身麻酔導入前に胃管を挿入して胃内容を吸引、ヘッドアップやセリック手技を併用した誤嚥の予防等、全身麻酔導入時の誤嚥を警戒して対応するべきであろう。

仰臥位で超音波装置を用いた幽門洞 CSA の測定と固形物や濃厚な液体の有無の観察は簡便である。石巻赤十字病院では体位変換が困難な緊急手術患者に対して超音波装置を用いた幽門洞観察を行っており、仰臥位で幽門洞 CSA が 3 cm^2 を超

える症例はフルストマックと認識し、固形物や濃厚液が観察されかつ幽門洞 CSA 値が 3.9 cm^2 以上の症例は誤嚥リスクが非常に高いフルストマックとして対応している。

6.5 本研究の限界

研究 1 においては、飲水条件を 250 mL のみでしか行っておらず、段階的な定量評価は行っていない。

研究 2 においては、第一に腹部 CT 検査から超音波検査までに平均 2.5 時間の間隔があったことである。結果からは腸管麻痺の状態にあったといえるが、症例によっては胃内容が変化した可能性がある。今後、CT 検査と超音波検査の間隔をより短くした研究の実施が望まれる。第二に、本研究は緊急外科手術患者の負荷を軽減するため、幽門洞 CSA の測定を仰臥位でのみ行なったことである。様々な体位における超音波検査の結果と CT 検査からの胃内容量算出値との比較が行われ、体位と精度との関係についての深い検討がなされるべき

である。第三に、本研究の参加者は 39 例と小規模なことである。とくに研究 2 のサブグループ解析からは食物残渣による高輝度エコーの検出が重要であることが示されたが、症例数を増やした大規模研究による検討が必要である。第四に、幽門洞 CSA 測定を試みた約 12% で測定が不可能であったが、これは本測定法の限界と考えられた。

6.6 今後の展望

今後、腹部 CT 検査直後に仰臥位超音波幽門洞 CSA 測定を行うことによる胃内容量測定精度の検討、本検査法を他の測定者が行った場合の信頼性の検討、大規模研究による仰臥位超音波幽門洞 CSA のカットオフ値の検討、等が必要である。また大規模研究による精度の高いカットオフ値の同定、さらに前向き研究による誤嚥発生率の低下を証明することで、本法が普及することが予想される。

7. 結論

全身麻酔導入前に超音波診断装置を用いて仰臥位で測定した幽門洞 CSA で高リスク胃を識別する場合のカットオフ値は 3.01 cm^2 であった。仰臥位で測定した幽門洞 CSA と CT から算出された胃内容量の間には中程度の相関があり、固形物や濃厚な液体が観察される胃においてはその相関がさらに強くなった。仰臥位で測定した幽門洞 CSA のカットオフ値 3.01 cm^2 以上の場合はフルストマックの可能性があり、固形物や濃厚液が観察される状況下で幽門洞 CSA 値が 3.9 cm^2 以上の場合はフルストマックの特異性が高いことが示された。

8. 附録

脚注

本研究の概要は、日本麻酔学会の第65回学術集会で発表し、本論文の一部は *Journal of Clinical Monitoring and Computing* 誌 (Yoshifumi Okada, et al. A clinical study comparing ultrasound-measured pyloric antrum cross-sectional area to computed tomography-measured gastric content volume to detect high-risk stomach in supine patients undergoing emergency abdominal surgery. *J Clin Monit Comput.* 2020; 34: 875-881 doi:10.1007/s10877-019-00438-1.) に掲載された。

資金提供

この研究は科研費（課題番号 24592350）により超音波診断装置（M-Turbo, Sonosite Inc., Bothell, WA）のコンベックス

型プローベ（2-5 MHz,C60x/5-2, Sonosite Inc.）の提供を受けた。

倫理基準の遵守

利益相反：著者は、利益相反がないことを宣言する。

倫理的承認：研究 1、研究 2 は石巻赤十字病院研究倫理委員会（# 13-34、# 13-35）の承認を得て、ヘルシンキ宣言に準拠して実施され、倫理基準に従ったことを宣言する。

インフォームドコンセント：インフォームドコンセントは、研究に含まれるすべての個々の参加者から得た。

研究 2 はトライアル登録：www.umin.ac.jp（UMIN 000013416）。2014年3月14日に登録。

9. 文献

1. Van de Putte P, Perlas A: Ultrasound assessment of gastric content and volume. *Br J Anaesth* 2014; 113:12-22.
2. Agarwal A, Chari P, Singh H: Fluid deprivation before operation. The effect of a small drink. *Anaesthesia* 1989; 44:632-634.
3. Phillips S, Hutchinson S, Davidson T: Preoperative drinking does not affect gastric contents. *Br J Anaesth* 1993; 70:6-9.
4. Cotton BR, Smith G: The lower oesophageal sphincter and anaesthesia. *Br J Anaesth* 1984; 56:37-46.
5. Vanner RG, Pryle BJ, O'Dwyer JP, et al: Upper oesophageal sphincter pressure and the intravenous induction of anaesthesia. *Anaesthesia* 1992; 47:371-375.

6. Shime N, Ono A, Chihara E, et al: Current status of pulmonary aspiration associated with general anesthesia: a nationwide survey in Japan. *Masui* 2005; 54:1177-1185.
7. Lienhart A, Auroy Y, Péquignot F, et al: Survey of anesthesia-related mortality in France. *Anesthesiology* 2006; 105:1087-1097.
8. Raidoo DM, Rocke DA, Brock-Utne JG, et al: Critical volume for pulmonary acid aspiration: reappraisal in a primate model. *Br J Anaesth* 1990; 65:248-250.
9. American Society of Anesthesiologists Committee: Practice guidelines for preoperative fasting and the use of pharmacologic agents to reduce the risk of pulmonary aspiration: application to healthy patients undergoing elective procedures: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Committee on Standards

- and Practice Parameters. *Anesthesiology* 2011;
114:495-511.
10. Smith I, Kranke P, Murat I, et.al: Perioperative fasting in adults and children: guidelines from the European Society of Anaesthesiology. *Eur J Anaesthesiol* 2011; 28:556-569.
11. Ko JP, Berman EJ, Kaur M et al: Pulmonary nodules: growth rate assessment in patients by using serial CT and three-dimensional volumetry. *Radiology* 2012; 262:662-671.
12. Wormanns D, Kohl G, Klotz E et al: Volumetric measurements of pulmonary nodules at multi-row detector CT: in vivo reproducibility. *Eur Radiol* 2004; 14:86-92.
13. Bolondi L, Bortolotti M, Santi V, et al: Measurement of gastric emptying time by real-time ultrasonography.

Gastroenterology 1985; 89:752-759.

14. Perlas A, Chan VW, Lupu CM, et al: Ultrasound assessment of gastric content and volume.

Anesthesiology 2009; 111:82-89.

15. Bouvet L, Mazoit J, Chassard D, et al: Clinical assessment of the ultrasonographic measurement of antral area for estimating preoperative gastric content and volume. Anesthesiology 2011; 114:1086-1092.

16. Perlas A, Mitsakakis N, Liu L, et al: Validation of a mathematical model for ultrasound assessment of gastric volume by gastroscopic examination. Anesth Analg 2013; 116:357-363.

17. Hamada SR, Garcon P, Ronot M, et al: Ultrasound assessment of gastric volume in critically ill patients. J Intensive Care Med 2014; 40:965-972.

18. Gagey AC, de Queiroz Siqueira M, Monard C, et al:

The effect of pre-operative gastric ultrasound examination on the choice of general anaesthetic induction technique for non-elective paediatric surgery.

A prospective cohort study. *Anaesthesia* 2018; 73:304-312.

19. Van de Putte P, Perlas A: The link between gastric volume and aspiration risk. In search of the Holy Grail? *Anesthesia* 2018; 73:274-279.

20. Arzola C, Perlas A, Siddiqui NT, et al: Gastric ultrasound in the third trimester of pregnancy: a randomized controlled trial to develop a predictive model of volume assessment. *Anesthesia* 2018; 73:295-303.

21. Bouvet L, Miquel A, Chassard D, et al: Could a single standardized ultrasonographic measurement of antral area be of interest for assessing gastric contents? A

primary report. Eur J Anaesthesiol 2009; 26:1015-1019.

22. American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification System Committee of Oversight: Economics (Approved by the ASA House of Delegates on October 15, 2014, and last amended on December 13, 2020)
23. Koenig SJ, Lakticova V, Mayo PH: Utility of ultrasonography for detection of gastric fluid during urgent endotracheal intubation. J Intensive Care Med 2011; 37:627-631.
24. Darwiche G, Björgell O, Thorsson O, et al: Correlation between simultaneous scintigraphic and ultrasonographic measurement of gastric emptying in patients with type 1 diabetes mellitus. J Ultrasound Med 2003; 22:459-466.

10. 図の注釈

図 1. 幽門洞横断面積 (CSA) 測定時の超音波プローブ位置

上腹部のほぼ正中で矢状断面に並行に超音波プローブを位置させ、超音波断層像を描出する。

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

図 2. 幽門洞横断面積 (CSA) 測定の超音波画像

肝臓の左葉 (L) をランドマークとして使用し、矢状面で識別する。幽門洞の垂直横断面を示すために、プローブを傾ける。本画像は、幽門洞は透明な液体で満たされている。幽門洞の漿膜から漿膜への前後方向の径 (A-A) および頭尾方向の径 (B-B) から幽門洞 CSA 値を計算した。

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

図 3. 健康ボランティア 9 名における絶飲食時と水 250 mL 飲水直後の仰臥位 (a) と右側臥位 (b) 幽門洞横断面積 (CSA)

幽門洞 CSA は仰臥位では空腹時 $4.42 \pm 1.21\text{cm}^2$ から 250 mL 飲水後は $8.27 \pm 3.16\text{cm}^2$ に変化し、右側臥位では空腹時 $4.83 \pm 1.88\text{cm}^2$ から 250 mL 飲水後は $16.1 \pm 4.38\text{cm}^2$ に変化した。

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

図 4. 仰臥位における胃内容量 250 mL を識別する幽門洞横断面積 (CSA) の受信者動作特性 (ROC) 曲線 (n = 9)

幽門洞横断面積のカットオフ値 5.50cm^2 、感度 89%、特異度 89%、正確度 89%、精度 89%、曲線下面積 (AUC) = 0.926、 $P = 0.0004$ 、標準誤差 0.062、95% 信頼区間 (CI) 0.805-1.047。

AUC : Area under the curve (曲線下面積)

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

ROC : Receiver operating characteristic (受信者応答特性)

図 5. 右側臥位における胃内容量 250 mL を識別する幽門洞横断面

積 (CSA) の受信者動作特性 (ROC) 曲線 (n = 9)

幽門洞 CSA のカットオフ値 8.25 cm^2 、感度 100%、特異度 100%、正確度 100%、精度 100%、曲線下面積 (AUC) = 1.000、 $P < 0.0001$ 、標準誤差 0、95% 信頼区間 (CI) 1-1。

AUC : Area under the curve (曲線下面積)

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

ROC : Receiver operating characteristic (受信者応答特性)

図 6. 幽門洞内の固形物の超音波画像

幽門洞は固体で満たされている。幽門洞内に食物または濃厚飲料が存在する場合、高輝度または混合輝度として観察された。患者の麻酔記録に高輝度または混合輝度成分の有無を記録した。

図 7. コンピューター断層撮影画像 (CT) を用いた胃内容量の算出

全身麻酔導入前 3 時間以内に撮影された上腹部 CT 画像を

スキャンし、Ziostation 2 (Ziosoft, Inc., Tokyo, Japan) を使用して胃内容量を算出した。

CT: Computed tomography (コンピュータ断層撮影)

図 8. 疫学における観察研究 (STROBE) に基づいた研究参加者のフロー

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

CT: Computed tomography (コンピュータ断層撮影)

STROBE: Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology (疫学における観察研究)

図 9. 固形物や濃厚液の存在および胃内容量 > 1.5 mL/kg の存在として定義される「高リスク胃」の診断のための仰臥位幽門洞横断面積 (CSA) の受信者動作特性曲線 (ROC) (n = 39)

幽門洞 CSA カットオフ値 3.01 cm²、感度 85%、特異度 53%、正確度 69%、精度 65%、曲線下面積 (AUC) = 0.670、 $P = 0.033$ 、

標準誤差 0.087、95%信頼区間 (CI) 0.498-0.842。

AUC : Area under the curve (曲線下面積)

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

ROC : Receiver operating characteristic (受信者応答特性)

図 10. 胃内容量と仰臥位幽門洞横断面積 (CSA) の相関プロット

胃内容量は、コンピューター断層撮影 (CT) より算出した。

△は透明な体液のみの患者を示し、●は幽門洞に固形物や濃厚液が存在する患者を示す。

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

CT : Computed tomography (コンピューター断層撮影)

図 11. 固形物や濃厚液が確認されている状況下での胃内容量 >

1.5 mL/kg の存在として定義される「最高リスク胃」の診断のための幽門洞横断面積 (幽門洞 CSA) の受信者動作特性曲線 (ROC) (n =

18)

(a) Youden index による幽門洞 CSA カットオフ値 3.34cm^2

($P = 0.012$, 感度 100%, 特異度 50%, 正確度 72%, 精度 62%, 曲線下面積 (AUC) = 0.813, 標準誤差 0.102, 95% 信頼区間 (CI) 0.612-1.013)。

(b) 最短距離法による幽門洞 CSA カットオフ値 3.9cm^2 ($P = 0.012$, 感度 75%, 特異度 70%, 正確度 72%, 精度 67%, AUC = 0.813, 標準誤差, 95% CI 0.612-1.013)。

AUC : Area under the curve (曲線下面積)

CSA: Cross Sectional Area (横断面積)

ROC : Receiver operating characteristic (受信者応答特性)

図 1. 幽門洞 CSA 測定時の超音波プローブ位置

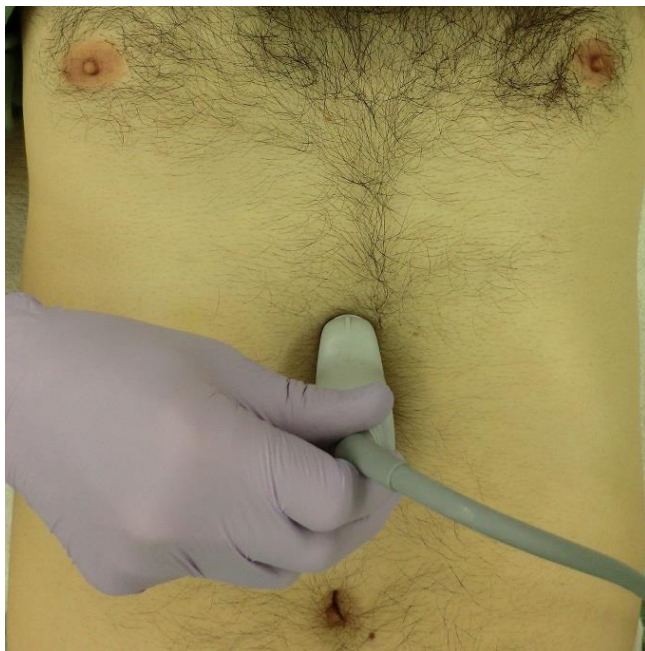


図 2 . 幽 門 洞 CSA 測 定 の 超 音 波 画 像

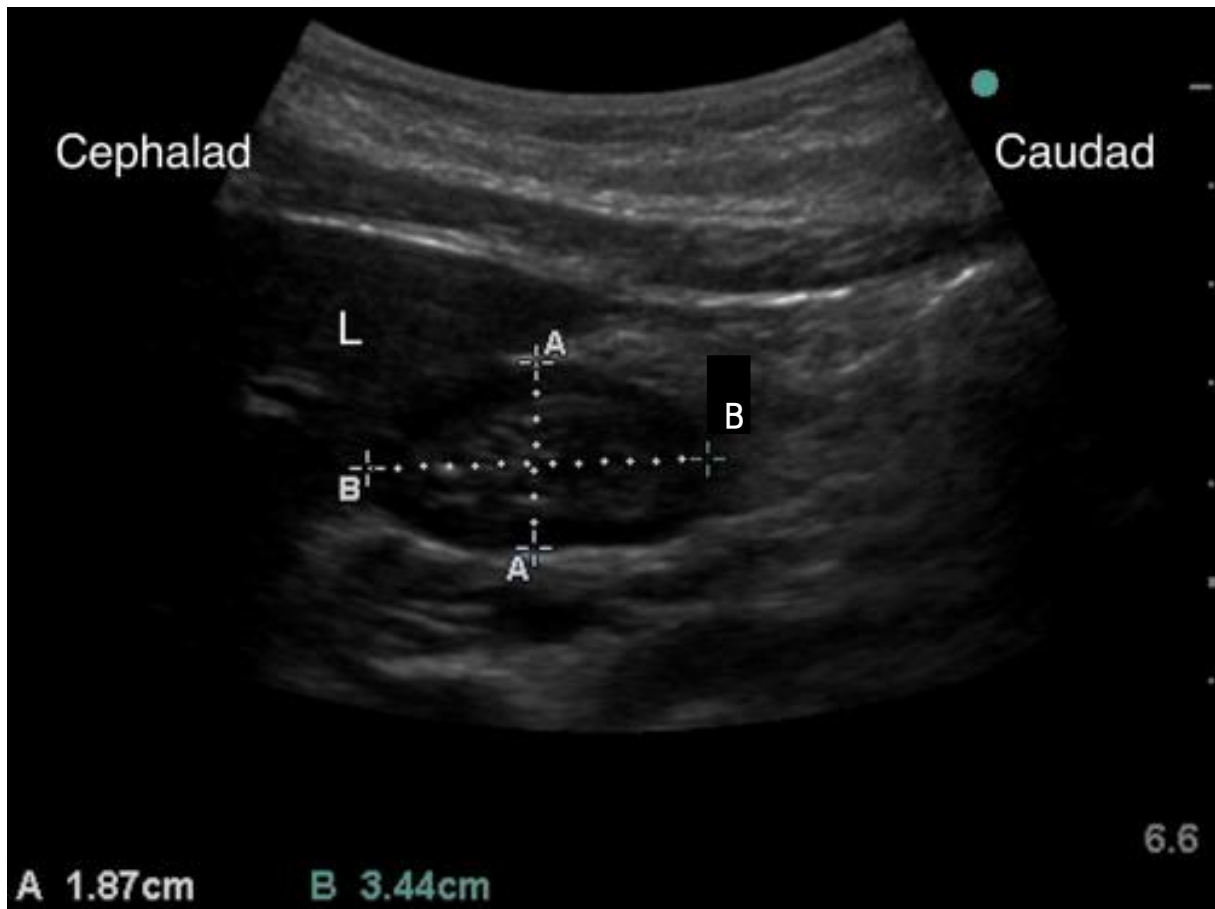
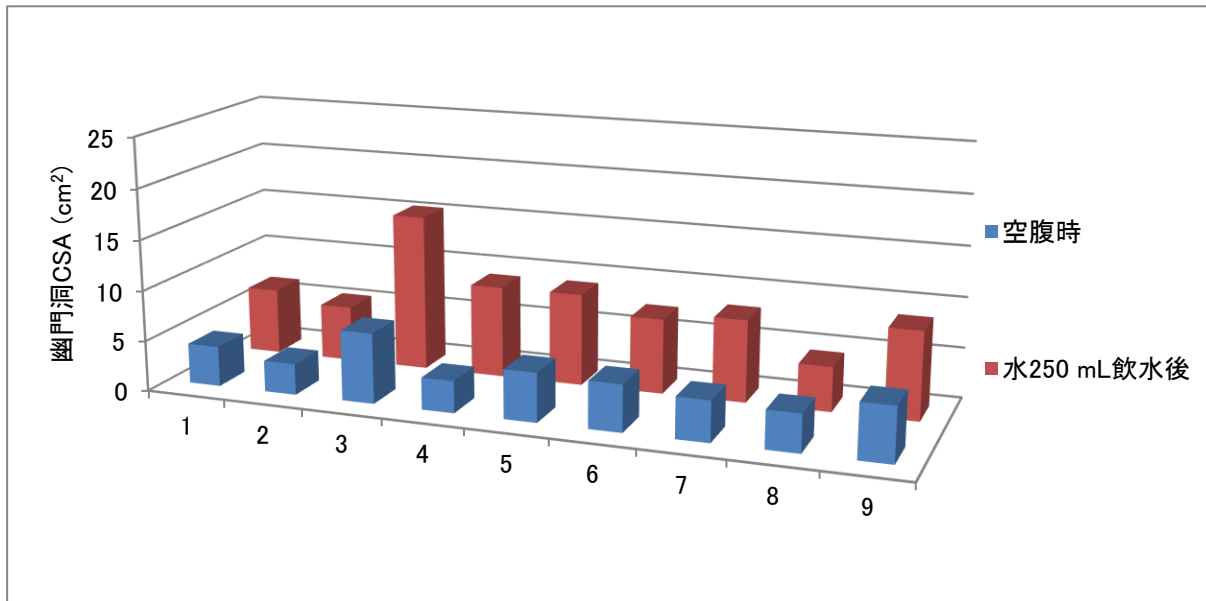


図 3. 健康ボランティア 9 名における絶食時と水 250mL 飲水直後の仰臥位 (a) と右側臥位 (b) 幽門洞 CSA

(a)



(b)

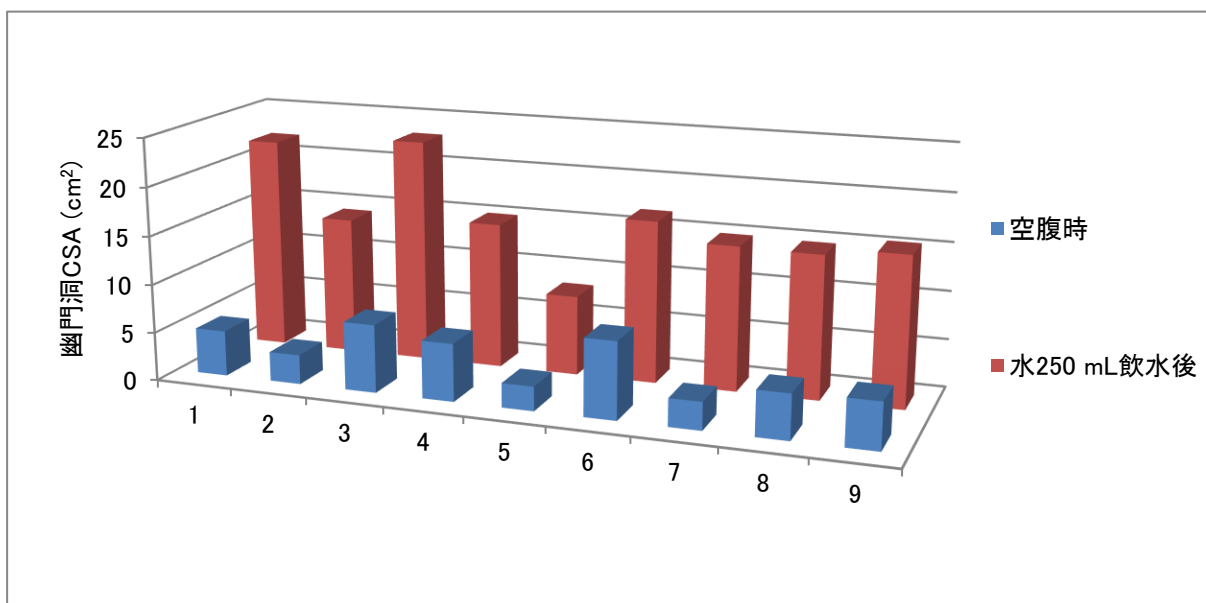


図 4. 仰臥位における胃内容量 250 mL を識別する幽門洞 CSA の

ROC 曲線 (n = 9)

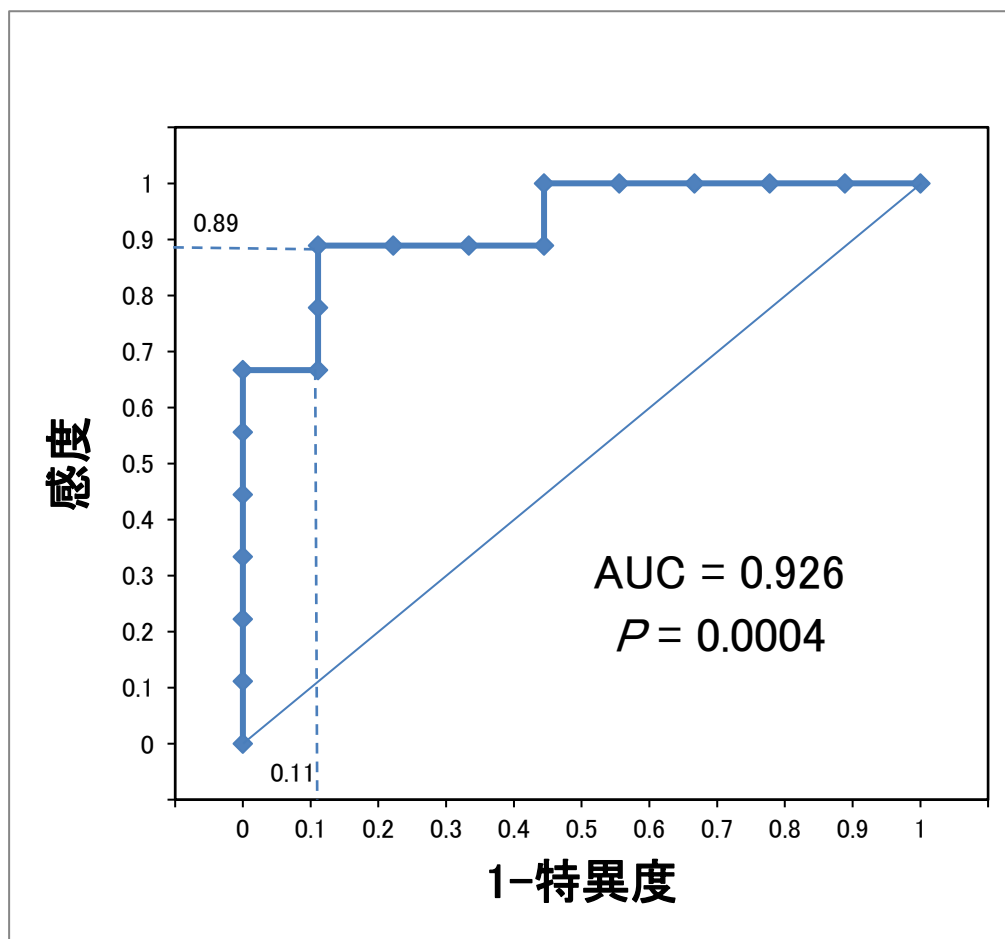


図 5. 右側臥位における胃内容量 250 mL を識別する幽門洞 CSA の ROC 曲線 (n = 9)。

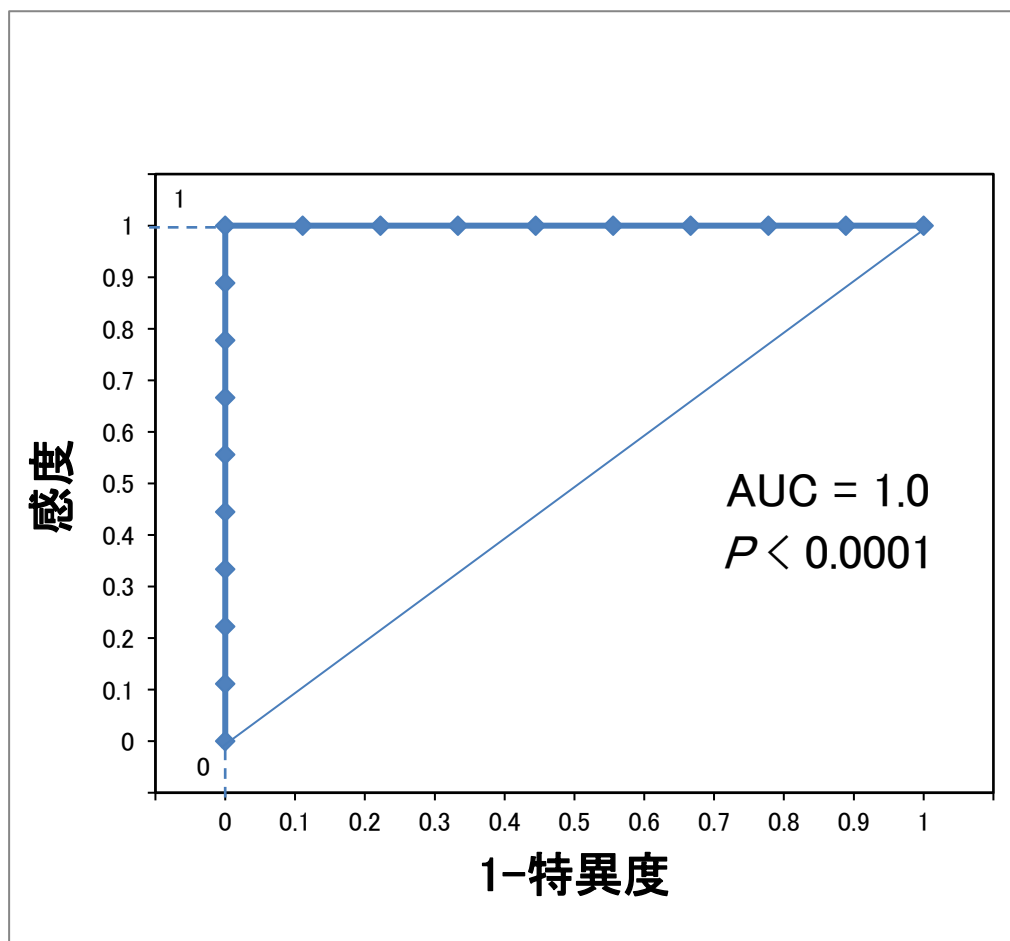


図6. 幽門洞内の固形物の超音波画像

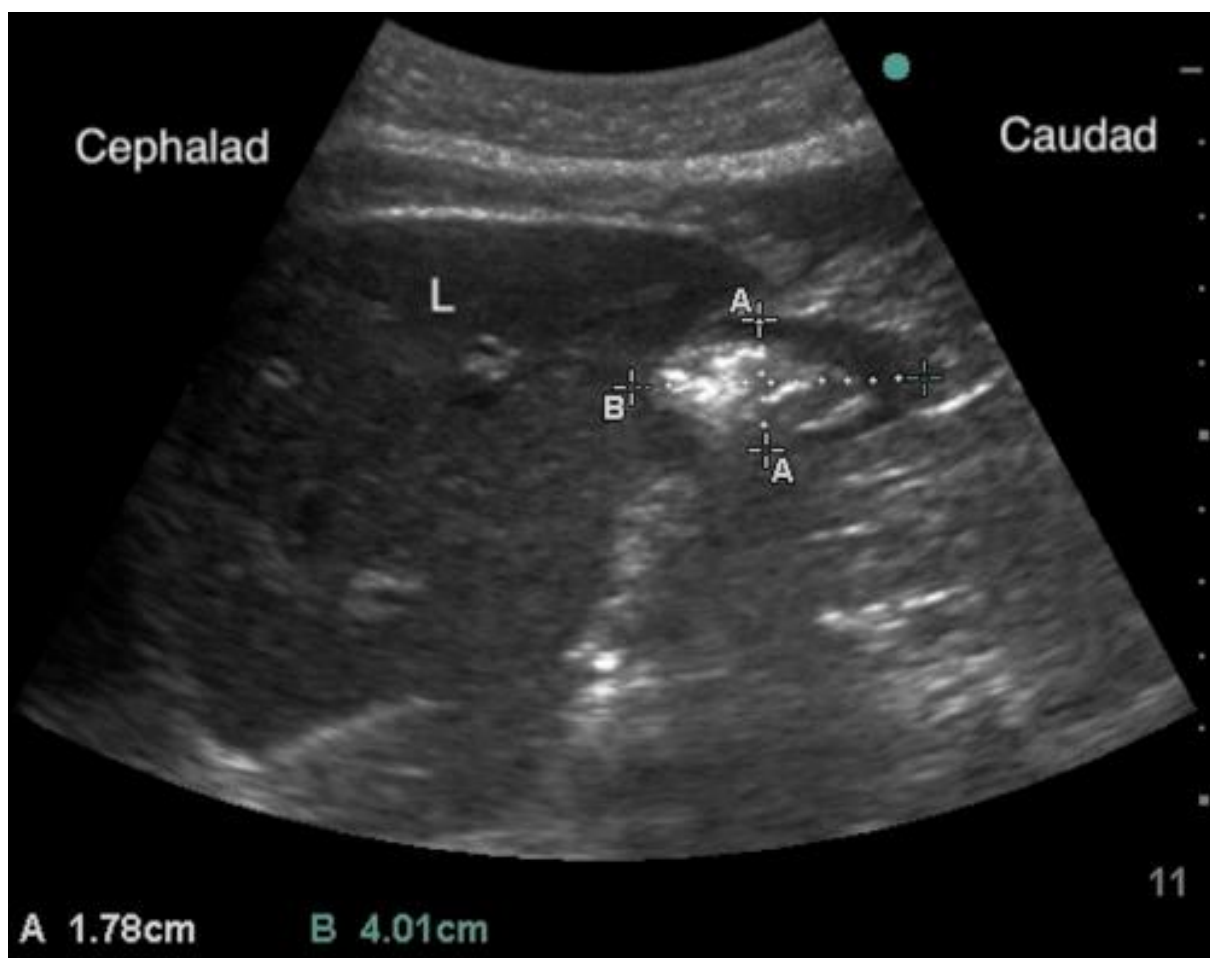


図 7 . CT 画 像 を 用 い た 胃 内 容 量 の 算 出

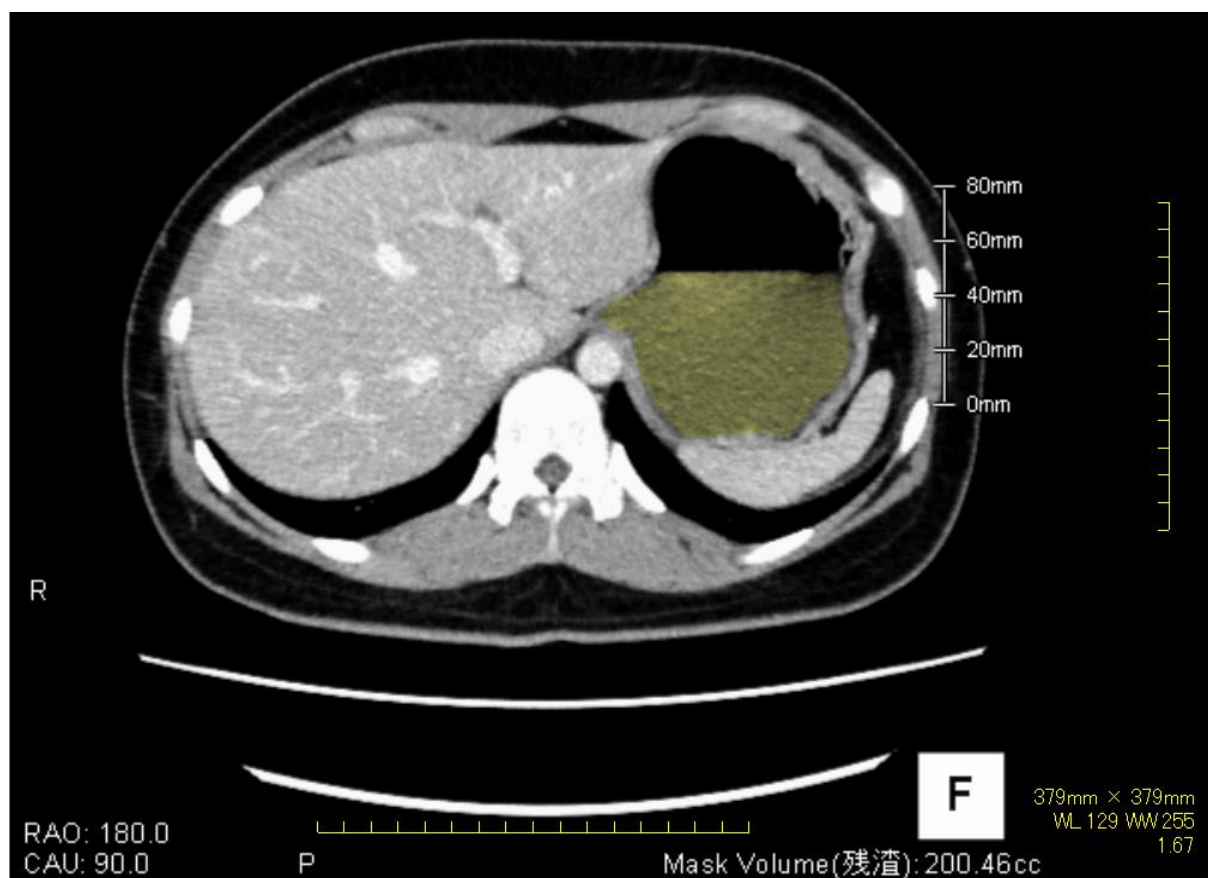


図 8. STROBE に基づいた研究参加者のフロー

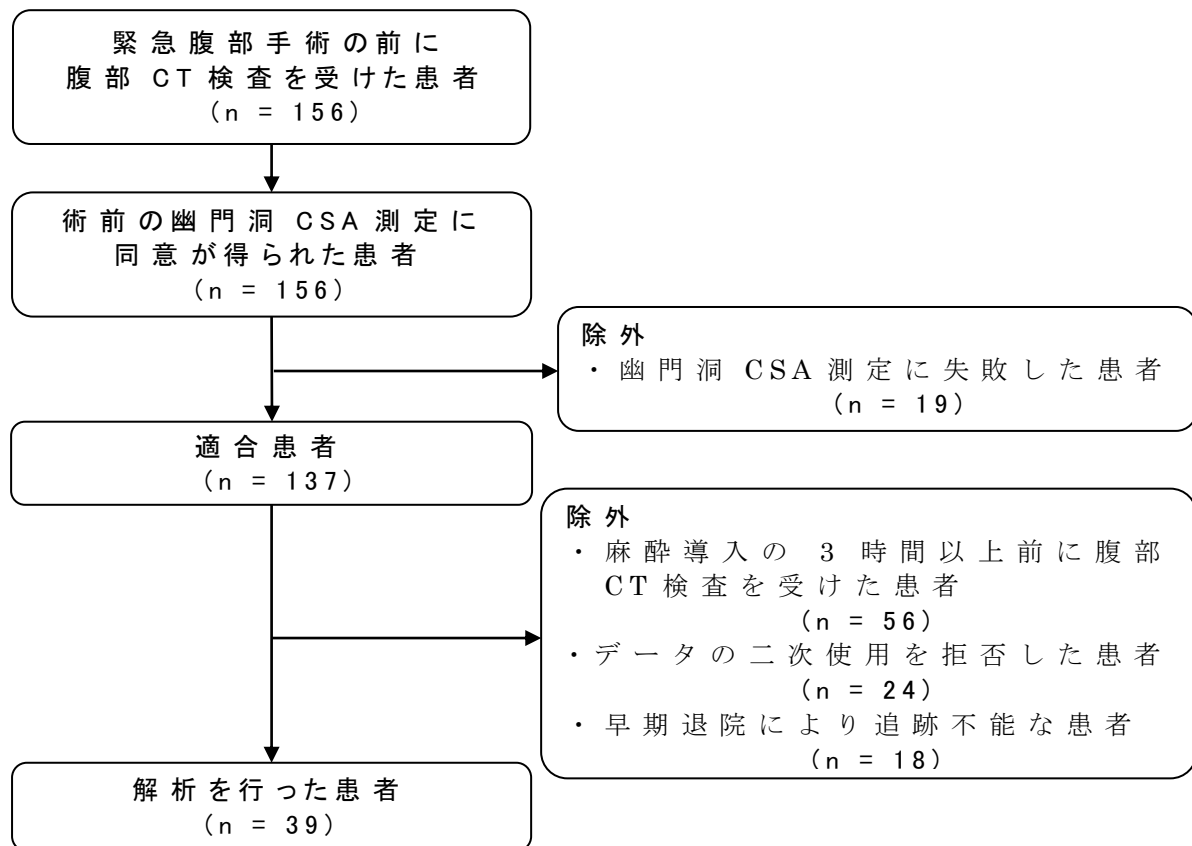


図9. 固形物や濃厚液の存在または胃内容量 > 1.5 mL/kg の存在として定義される「高リスク胃」の診断のための幽門洞 CSA の ROC 曲線 (n = 39)

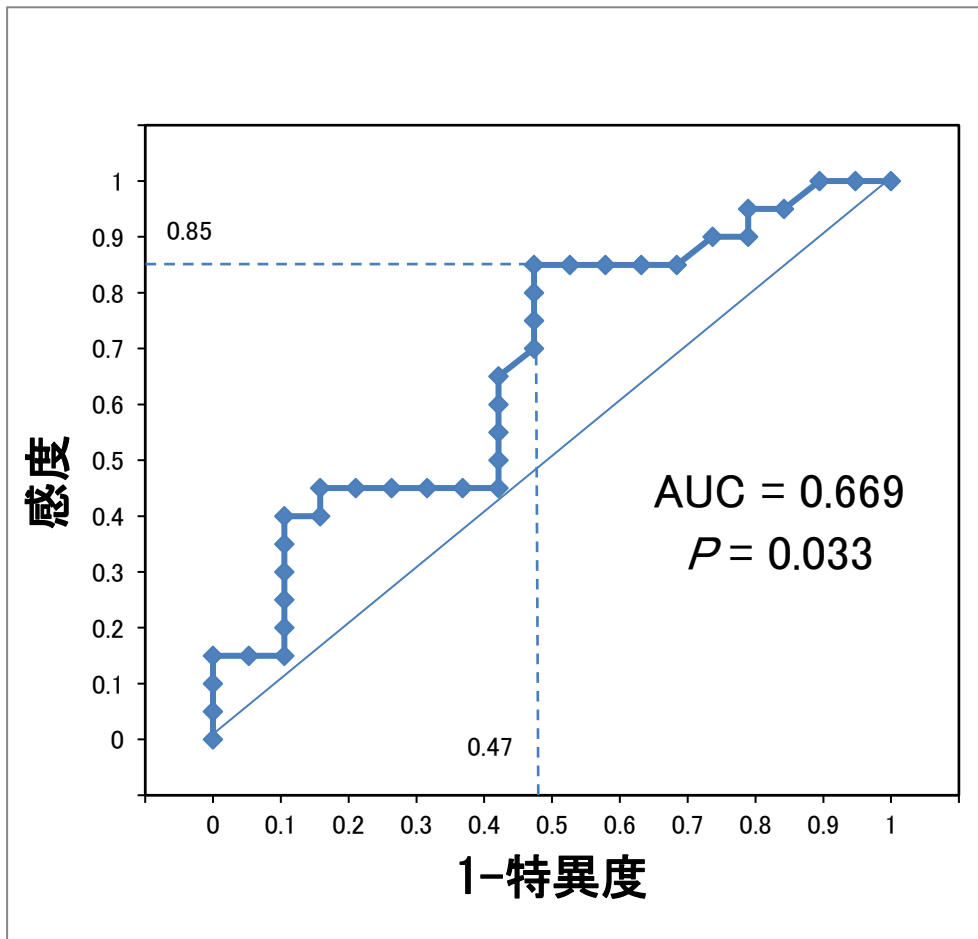


図 10. 胃内容量と仰臥位幽門洞 CSA の相関プロット

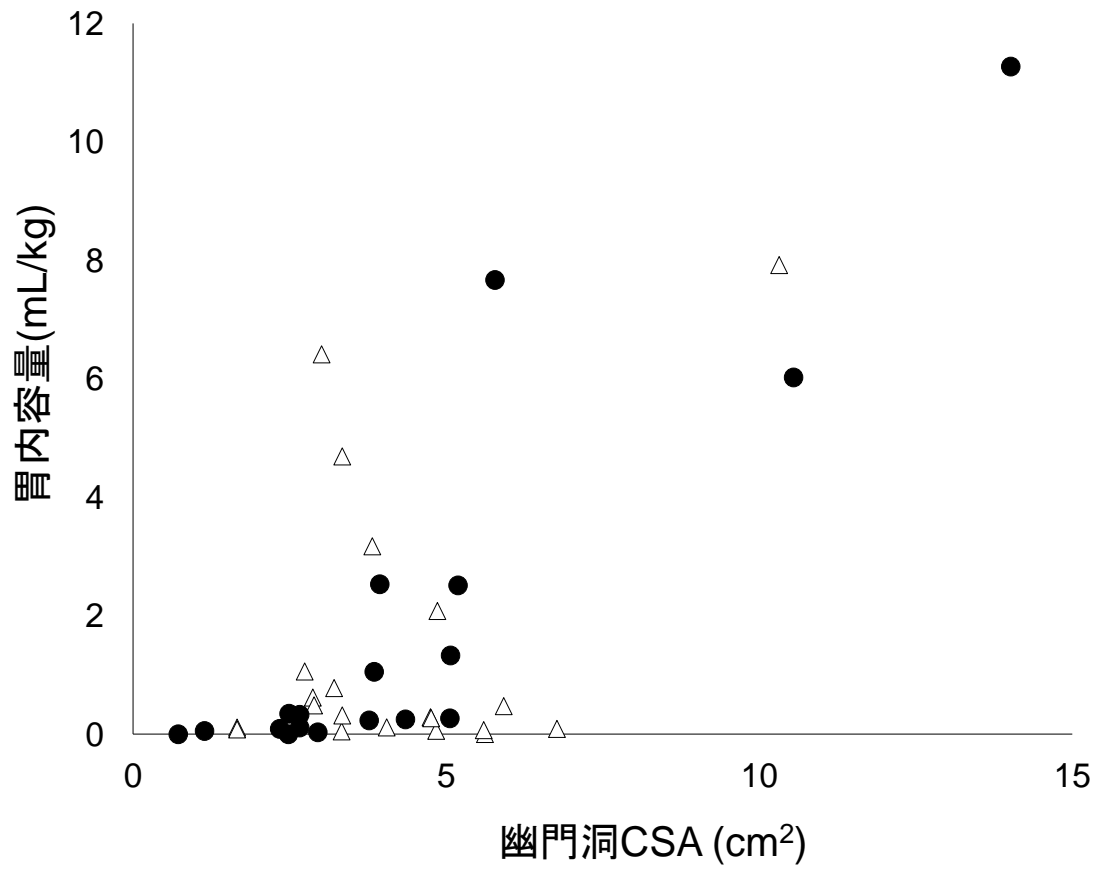
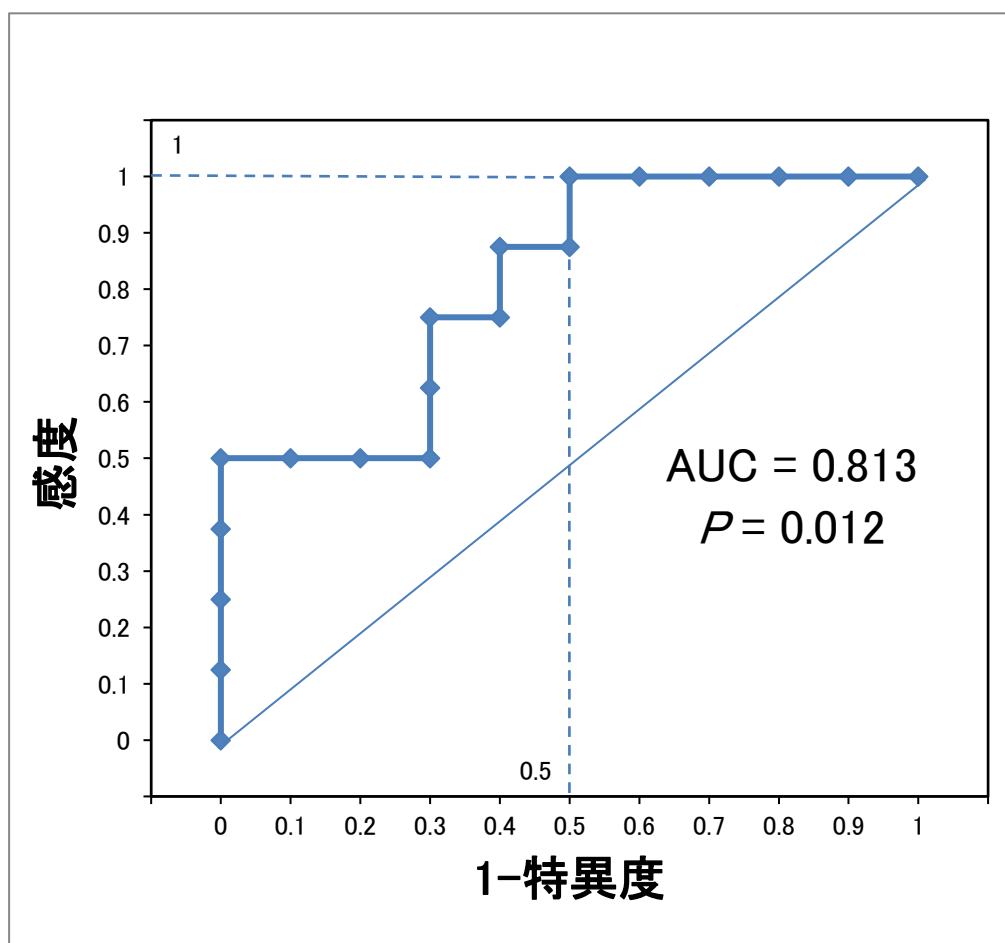
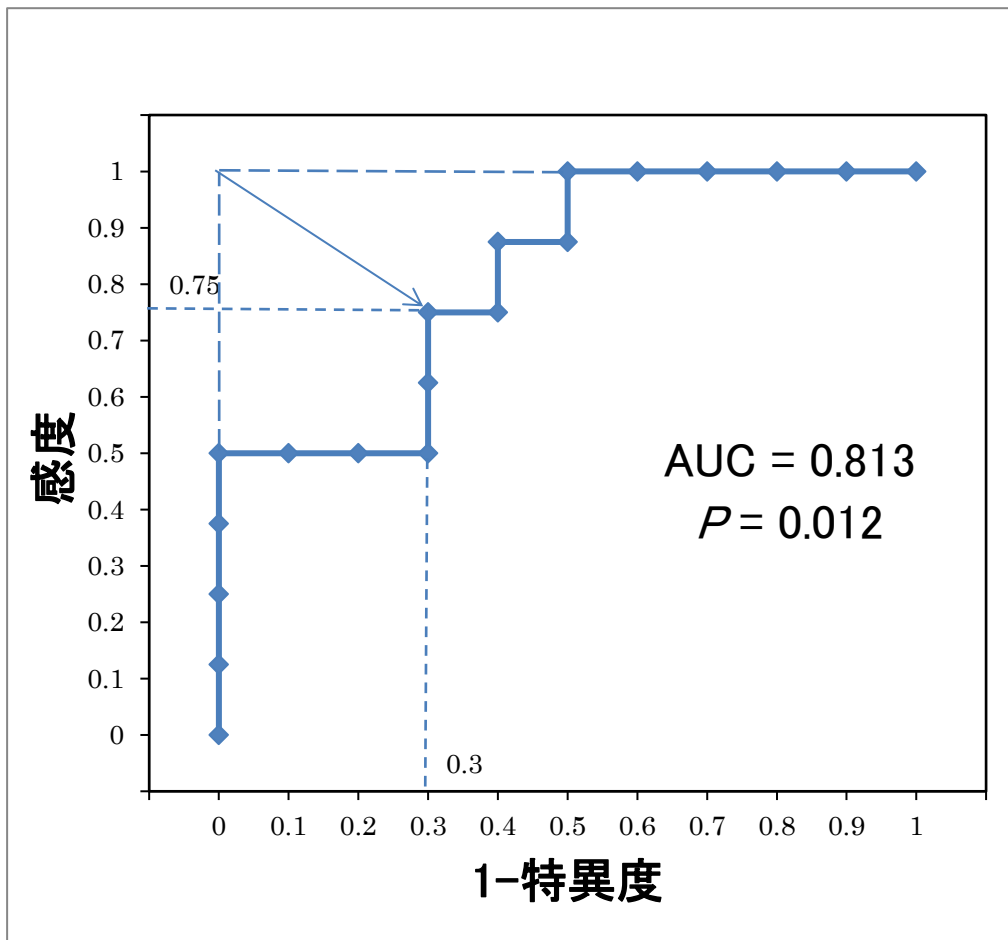


図 11. 固形物や濃厚液かつ胃内容量 > 1.5 mL/kg の存在として定義される「最高リスク胃」の診断のための幽門洞 CSA の ROC 曲線 (n = 18)

(a)



(b)



11. 表

表 1. 飲水の有無と測定体位による幽門洞 CSA 値

	<i>P</i> 値
空腹時仰臥位 v. s. 飲水後仰臥位	0.001
4.42 ± 1.21 8.27 ± 3.16	
空腹時右側臥位 v. s. 飲水後右側臥位	<0.0001
4.83 ± 1.88 16.1 ± 4.38	
空腹時仰臥位 v. s. 空腹時右側臥位	0.509
4.42 ± 1.21 4.83 ± 1.88	
飲水後仰臥位 v. s. 飲水後右側臥位	0.0006
8.27 ± 3.16 16.1 ± 4.38	

値は平均 ± 標準偏差 (cm²) で表示

データ群間の比較は対応のある t 検定を使用

幽門洞横断面積 (Cross Sectional Area: CSA)

表 2. 研究 2 の患者特性

患者特性	全体
年齢, 中央値 [IQR]	59 [34-68]
性別 (男 / 女)	27/12
身長, 中央値 cm [IQR]	166 [163-170]
体重 (kg), 平均 (SD)	67.4 (11.6)
BMI (kg/m ²), 平均 (SD)	24.3 (3.5)
ASA 評価, <i>n</i> (%)	
1	20 (51)
2	19 (49)
手術適応, <i>n</i> (%)	
急性虫垂炎	18 (46.1)
急性胆嚢炎	14 (35.9)
腸閉塞	7 (17.9)
CT-US 間隔時間 (分), 平均 (SD)	145 (38)
絶食時間 (時間), 中央値 [IQR]	16 [10.3-23.5]
絶飲時間 (時間), 中央値 [IQR]	6 [5-7]

値は平均 (標準偏差 SD) または中央値 [四分位範囲 IQR] で表示。

BMI: Body mass index, ASA: American Society of Anesthesiologists 米国麻酔科学会, CT-US: 腹部 CT 撮影から幽門洞超音波検査までの時間

表 3. 高リスク胃群と非高リスク胃群における絶飲または絶食時間と

腹部 CT 撮像から幽門洞超音波検査までの時間

	高リスク胃群 (n=20)	非高リスク胃群 (n=19)	P 値
絶食時間 (時間)	18 [10-24.9]	14.5 [10.5-22]	0.673
絶飲時間 (時間)	6.25 [5.13-8.0]	5.5 [4.0-7.0]	0.162
CT-US 間隔 (分)	150 [120-180]	150 [120-180]	0.932

高リスク胃は固形物や濃厚液の存在、または CT 胃内容量 > 1.5 mL/kg の存在と定義。

値は中央値 [四分位範囲 IQR] で表示。群間の比較は

Mann-Whitney U 検定を使用。

CSA: Cross Sectional Area, CT: Computed tomography,

CT-US 間隔: 腹部 CT 撮影から幽門洞超音波検査までの時間

表 4. 研究 2 における高輝度像観察群の患者特性

患者特性	全体 (n=39)	高輝度像観察群 (n=18)	P 値
年齢, 中央値 [IQR]	59 [34-68]	61 [51-68]	0.406
性別 (男 / 女)	27/12	12/6	1.000
身長, 中央値 cm [IQR]	166 [163-170]	166 [161-167]	0.865
体重 (kg), 平均 (SD)	67.4 (11.6)	67.0 (11.6)	0.922
BMI (kg/m ²), 平均 (SD)	24.3 (3.5)	24.4 (3.6)	0.977
ASA 評価, n (%)			0.410
1	20 (51)	7 (39)	
2	19 (49)	11 (61)	
手術適応, n (%)			0.476
急性虫垂炎	18 (46.1)	7 (38.9)	
急性胆嚢炎	14 (35.9)	5 (27.8)	
腸閉塞	7 (17.9)	6 (33.3)	
CT-US 間隔 (分), 平均 (SD)	145 (38)	147 (42)	0.861
絶食時間 (時間), 中央値 [IQR]	16 [10.3-23.5]	18 [10.0-24.8]	0.867
絶飲時間 (時間), 中央値 [IQR]	6 [5-7]	6 [5.1-8.0]	0.363

高輝度像観察群は固形物や濃厚液の存在、かつ CT 胃内容量 > 1.5 mL/kg の存在と定義。

値は平均 (標準偏差 SD) または中央値 [四分位範囲 IQR] で表示。群間の比較は、連続変数は分散分析、名義変数は Fisher の正確検定を使用。

BMI: Body mass index, ASA: American Society of

Anesthesiologists 米国麻酔科学会, CT-US 間隔: 腹部 CT

撮影から幽門洞超音波検査までの時間

12. 謝辞

本研究は東北大学大学院医学系研究科麻酔科学・周術期医学分野教授 山内正憲先生の御指導により、筆者の勤務先である石巻赤十字病院において実施した。研究の構想から学会発表、論文執筆、博士論文御指導に至るまで、終始手厚い御指導・御尽力を賜った山内正憲先生には心からの、特に深い感謝の意を表します。石巻赤十字病院において研究を遂行するにあたり御協力頂いた、石巻赤十字病院の放射線技術課の鎌田賢治先生、術前 CT 検査の手配を頂いた石巻赤十字病院の外科の先生方、胃幽門洞 CSA 測定の間支援を頂いた石巻赤十字病院麻酔科の入間田悌二先生を始めとする麻酔科の先生方、データ解析のアドバイスを頂いた東北大学手術部助教小林直也先生に感謝の意を表します。特に、論文執筆にあたり終始多大な御指導・御尽力を賜った、東北大学大学院医学系研究科麻酔科学・周術期医学分野講師 外山裕章先生に、心からの感謝の意を表します。