



Thoracic cavity-to-cage ratio is a predictor of technical difficulties in minimally invasive esophagectomy

阿部, 智喜

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

2025-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第9163号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100496444>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(課程博士関係)

学位論文の内容要旨

Thoracic cavity-to-cage ratio is a predictor of technical difficulties in
minimally invasive esophagectomy

胸腔胸郭比は低侵襲食道切除術の手術難易度の予測因子である

(指導教員: 神戸大学大学院医学研究科医科学専攻 外科学講座食道

胃腸外科学分野 掛地 吉弘教授)

阿部 智喜

この論文では、胸腔の狭さを表す指標として定義した「胸腔胸郭比(Thoracic cavity-to-cage ratio; TCCR)」が、胸腔鏡下食道切除術(conventional minimally invasive esophagectomy; C-MIE)およびロボット支援胸腔鏡下食道切除術(robot-assisted minimally invasive esophagectomy; RAMIE)の手術難易度を予測する指標として有用であるかを検討しました。

1. 背景

食道癌に対する根治的食道切除術は重要な治療法だが、非常に侵襲的な外科手術の一つでもある。1992年に低侵襲食道手術としてC-MIEが、2003年にRAMIEが報告されて以降、長期の腫瘍学的転帰を損なうことなく、肺炎の発生率の改善や入院期間の短縮などの利点が見られることが報告されている。これらのエビデンスからC-MIEやRAMIEは現在世界的に広く行われる術式となっているが、C-MIEやRAMIEを施行する際に、技術的に困難な症例に遭遇することがある。外科医は感覚的に症例の難易度を評価しているが、これを客観的指標で評価した研究は限られている。

本研究では、C-MIEおよびRAMIEにおいて、胸腔が狭い症例が技術的に高難度であるという仮説を立て、胸腔の広さを評価する新たな指標として、「胸腔胸郭比(Thoracic cavity-to-cage ratio; TCCR)」を定義し、手術難易度評価における有用性を明らかにする。

2. 方法

2010年4月から2021年3月に神戸大学医学部附属病院で、食道扁平上皮癌に対しC-MIEまたはRAMIEを施行した340例を対象とし、後方視的に解析した。

・指標

手術難易度: 胸部操作時間(ポート挿入～食道切除・胸腔内リンパ節郭清～閉創)

胸腔胸郭比(TCCR): 胸部 CT 画像水平断で測定した。

$TCCR = \text{胸腔長} \div \text{胸郭長}$

胸腔長: 胸骨背側面から椎体腹側縁までの距離

胸郭長: 胸骨腹側面から棘突起背側縁までの距離

TCCR は、鎖骨下静脈、気管分岐部、および右肺静脈の 3 レベルで計測された。

3. 結果

3.1 患者背景

C-MIE は 295 例、RAMIE は 45 例に施行された。胸部操作時間の中央値は、C-MIE 群で 310 分(159-600 分)、RAMIE 群で 430 分(240-540 分)であった。

3.2 胸腔操作時間に影響を与える因子

C-MIE 施行症例と RAMIE 施行症例を分けて検証した。それぞれのコホートを胸腔操作時間の中央値(C-MIE 310 分、RAMIE 430 分)で 2 群に分けた。

各因子について、両群の胸部操作時間の中央値を基準に ROC 曲線を用いてカットオフ値を求めた。

3.2.1 C-MIE

単変量解析では、胸腔操作時間の長時間群で、BMI 高値($p = 0.001$)、cN(+)($p = 0.031$)、およびすべてのレベル(鎖骨下静脈、気管分岐部右下肺静脈)の TCCR が低値($p = 0.008$, $p = 0.023$, $p = 0.007$)であった。

3 つのレベルの TCCR は交絡するため、各カットオフに対する大小でポイントをつけ、3 か所の合計を total TCCR score として、スコア化し、多変量解析に用いた。多変量解析では、BMI 高値 ($p = 0.0007$)、cN(+)($p = 0.0191$)、total TCCR score 低値 ($p = 0.0005$)はすべて長時間手術となる独立因子であった。

3.2.2 RAMIE

単変量解析では、胸腔操作時間の長時間群で、年齢が若く($p = 0.046$)、BMI 低値($p = 0.032$)、気管分岐部レベルの TCCR が低値($p = 0.012$)であった。

鎖骨下静脈や右下肺静脈レベルの TCCR は RAMIE における胸部手術時間との関連を認めず($p = 0.074$, $p = 0.063$)、total TCCR score ($p = 0.185$)も関連を認めなかった。

多変量解析では、気管分岐部レベルの TCCR($p = 0.0227$)が唯一の長時間手術の独立因子であった。

4. 考察

この研究では、胸腔胸郭比(TCCR)が低侵襲食道手術における手術難易度を予測する有用な指標になりうることを示した。

鎖骨下静脈・気管分岐部・右下肺静脈レベルの TCCR は、それぞれ上・中・下縦隔の胸腔の狭さを反映すると考えられる。C-MIE においては、これらすべてのレベルの TCCR が胸部手術時間と相関し、これらを総合的に評価する total TCCR score も多変量解析で独立因子であった。C-MIE では鉗子操作に限界があり、高度な技術が求められる。そのため、胸腔全体にわたる総合的な狭さが手術難易度に影響を与えたと予想される。

一方、RAMIE は、三次元的拡大視野や多関節機能などを特徴とし、C-MIE の弱点を補うことが期待される。鎖骨下静脈レベル(上縦隔)の操作には反回神経周囲のリンパ節郭清が含まれ、食道癌手術において腫瘍学的に非常に重要である一方で、反回神経麻痺を引き起こすことがあり、より慎重で精緻な手技が要求される。C-MIE の検証では、鎖骨下静脈レベルの TCCR 低値は胸部操作時間延長と関連していたが、RAMIE の検証では関連を認めなかった。また、RAMIE では C-MIE と比較し

て、反回神経麻痺の発生が減少することも報告されており、RAMIE は上縦隔操作に特に有用であると考えられる。また RAMIE の検証では、気管分岐部レベル(中縦隔)の TCCR のみが多変量解析で独立因子として同定された。中縦隔には気管分岐部や大動脈弓といった解剖学的に固い構造物が存在するため、適切や視野確保や牽引操作は、ロボットの有用性をもってしても難渋する症例があったと考えられる。

5. 結語

TCCR は、胸部 CT 画像から簡単に測定することができ、低侵襲食道手術の手術難易度を予測する因子として有用であった。本研究の知見は、C-MIE と RAMIE の適応を判断する際や、若手外科医への症例割り当ての基準として役立つ可能性があると考えられる。

論文審査の結果の要旨			
受付番号	甲 第 3472 号	氏 名	阿部 智喜
論文題目 Title of Dissertation	Thoracic cavity-to-cage ratio is a predictor of technical difficulties in minimally invasive esophagectomy 胸腔胸郭比は低侵襲食道切除術の手術難易度の予測因子である		
審査委員 Examiner	主 査 福 本 巧 Chief Examiner 副 査 佐々木 良平 Vice-examiner 副 査 明玉、裕三 Vice-examiner		

(要旨は1, 000字～2, 000字程度)

【目的】

食道癌に対する根治的食道切除術は重要な治療法だが、非常に侵襲的な外科手術の一つでもある。1992年に低侵襲食道手術(Minimally invasive esophagectomy; MIE)として胸腔鏡下食道切除術(Conventional MIE; C-MIE)が、2003年にロボット支援胸腔鏡下食道切除術(Robot-assisted MIE; RAMIE)が報告され、現在世界的に広く行われる術式となっている。一方で、C-MIEやRAMIEを施行する際に技術的に困難な症例に遭遇することがあるが、これを客観的指標で評価した研究は限られている。

本研究では、C-MIEおよびRAMIEにおいて、胸腔が狭い症例が技術的に高難度であるという仮説を立て、胸腔の広さを評価する新たな指標として、「胸腔胸郭比 (Thoracic cavity-to-cage ratio; TCCR)」を定義し、手術難易度評価における有用性を明らかにした。

【方法】

2010年4月から2021年3月に神戸大学医学部附属病院で、食道扁平上皮癌に対しC-MIEまたはRAMIEを施行した340例を対象とし、後方視的に解析した。

胸部操作時間(ポート挿入～食道切除・胸腔内リンパ節郭清～閉創)を手術難易度の指標とした。

胸腔胸郭比(TCCR)は、以下のように定義した。胸部CT画像の水平断で、胸腔長(胸骨背側面から椎体腹側縁までの前後径)と胸郭長(胸骨腹側面から棘突起背側縁までの前後径)を測定した。 $TCCR = \text{胸腔長} / \text{胸郭長}$ で算出した。TCCRは、鎖骨下静脈が上大静脈に流入する鎖骨下静脈(Brachiocephalic vein [BV])レベル、気管分岐部(Tracheal bifurcation [TB])レベル、および右下肺静脈が左心房に流入する右肺静脈(Inferior right pulmonary vein [IRPV])レベルの3ヶ所で計測した。

【結果】

1. 患者背景

C-MIEは295例、RAMIEは45例に施行された。胸部操作時間の中央値は、C-MIE群で310分(159-600分)、RAMIE群で430分(240-540分)であった。

2. 胸腔操作時間に影響を与える因子

C-MIE 施行症例と RAMIE 施行症例を分けて検証した。それぞれのコホートを手術難易度の指標である胸腔操作時間の中央値(C-MIE 310 分、RAMIE 430 分)で 2 群に分けた。

TCCR を含む

各因子について、両群の胸部操作時間の中央値を基準に ROC 曲線を用いてカットオフ値を求めた。

3. C-MIE の技術的難易度(胸腔操作時間)の予測因子に関する単変量・多変量解析

単変量解析では、胸腔操作時間の長時間群で、BMI 高値($p = 0.001$)、cN(+) ($p = 0.031$)、およびすべてのレベル(BV, TB, IRPV)の TCCR が低値($p = 0.008$, $p = 0.023$, $p = 0.007$)であった。3 つのレベルの TCCR は交絡するため、各カットオフに対する大小でポイントをつけ、3 ヶ所の合計を Total TCCR score として、スコア化し、多変量解析に用いた。多変量解析では、BMI 高値 ($p = 0.0007$)、cN(+) ($p = 0.0191$)、Total TCCR score 低値 ($p = 0.0005$) はすべて長時間手術となる独立因子であった。

4. RAMIE の技術的難易度(胸腔操作時間)の予測因子に関する単変量・多変量解析

単変量解析では、胸腔操作時間の長時間群で、年齢が若く($p = 0.046$)、BMI 低値($p = 0.032$)、BV レベルの TCCR が低値($p = 0.012$)であった。BV や IRPV レベルの TCCR は RAMIE における胸部手術時間との関連を認めず($p = 0.074$, $p = 0.063$)、Total TCCR score ($p = 0.185$)も関連を認めなかった。多変量解析では、BV レベルの TCCR($p = 0.0227$)が唯一の長時間手術の独立因子であった。

【総括】

この研究では、TCCR が MIE における手術難易度を予測する有用な指標になりうることを示した。

BV・TB・IRPV レベルの TCCR は、それぞれ上・中・下縦隔の胸腔の狭さを反映すると考えられる。C-MIE においては、これらすべてのレベルの TCCR が胸部手術時間と相関し、これらを総合的に評価する Total TCCR score も多変量解析で独立因子であった。C-MIE では鉗子操作に限界があり、胸腔全体にわたる総合的な狭さが手術難易度に影響を与えたと予想される。

一方、RAMIE は、三次元的拡大視野や多関節機能などを特徴とし、C-MIE の弱点を補うことが期待される。BV レベル(上縦隔)の操作には反回神経周囲のリンパ節郭清が含まれ、食道癌手術において腫瘍学的に非常に重要である一方で、反回神経麻痺を引き起こすこと

があり、より慎重で精緻な手技が要求される。C-MIE の検証では、BV レベルの TCCR 低値は胸部操作時間延長と関連していたが、RAMIE の検証では関連を認めなかった。また、RAMIE では C-MIE と比較して、反回神経麻痺の発生が減少することも報告されており、RAMIE は上縦隔操作に特に有用であると考えられる。また RAMIE の検証では、TB レベル(中縦隔)の TCCR のみが多変量解析で独立因子として同定された。中縦隔には気管分岐部や大動脈弓といった解剖学的に固い構造物が存在するため、適切や視野確保や牽引操作は、ロボットの有用性をもってしても難渋する症例があったと考えられる。

【結語】

TCCR は、胸部 CT 画像から簡単に測定することができ、低侵襲食道手術の手術難易度を予測する因子として有用であった。本研究の知見は、C-MIE と RAMIE の適応を判断する際や、若手外科医への症例割り当ての基準として役立つ可能性があると考ええる。

本研究は、胸腔胸郭比と低侵襲食道切除術の難易度との関連について研究したものであるが、従来ほとんど行われなかった低侵襲食道切除術において胸腔の狭い症例で胸腔操作の難易度が高くなることについて重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、本研究者は、博士（医学）の学位を得る資格があると認める。