

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K08627

研究課題名（和文）画像データ解析に基づく漏斗胸形態分類の構築と新規手術支援システムの開発

研究課題名（英文）Construction of a classification system for pectus excavatum morphology based on image data analysis and development of a new surgical support system

研究代表者

政井 恭兵（Kyohei, Masai）

慶應義塾大学・医学部（信濃町）・講師

研究者番号：70778290

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：漏斗胸の外科治療は、チタンプレートで胸郭を矯正するNuss法が広く施行されている。漏斗胸陥凹形態は患者個々で大きく異なりその特徴を理解することが外科治療を行う上で極めて重要である。陥凹の程度に加え、陥凹の非対称性、年齢に伴う骨硬化の程度など多くの因子が漏斗胸手術を複雑化しており、画像解析を行い漏斗胸郭形態の特徴を客観的に把握することで、Nuss法手術の問題点を明らかにすることができた。これを基に、新規の治療法としてNuss法とRavitch法の組み合わせた新規術式Combined Ravitch and Nuss Procedure（CRN法）を開発し臨床に応用することができるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで漏斗胸は小児先天性疾患とされ、疾患対象が小児・思春期の患者であったが、われわれの研究発表によって成人漏斗胸患者が一定頻度存在し治療介入の必要性があること、その臨床特徴や治療における問題点が少しずつ解明されるようになった。成人漏斗胸の病態解明や治療法を明らかにすることは学術的・社会的にも非常に意義のあることであると考えられる。今回の研究を行うにあたり成人漏斗胸患者の手術は骨硬化が強く胸郭挙上が不十分になりやすい点や慢性疼痛の問題などいくつかの問題点が分かってきた。今後は更なる研究を重ね学術的に意義のある研究結果を報告する予定である。

研究成果の概要（英文）：The Nuss procedure, which corrects the chest wall using a titanium bar, is commonly utilized for surgical treatment of pectus excavatum. The varied form of pectus excavatum among patients underscores the importance of understanding its characteristics for effective surgical intervention.

Factors such as the degree and asymmetry of the depression, as well as bone sclerosis associated with age, contribute to the complexity of pectus excavatum surgery. Through objective analysis of pectus excavatum morphology via image analysis, we have identified challenges with the Nuss procedure. As a result, we have developed a new surgical approach, the Combined Ravitch and Nuss Procedure (CRN procedure), which integrates the Nuss and Ravitch procedures as an innovative treatment method ready for clinical practice.

研究分野：呼吸器外科

キーワード：漏斗胸 画像データ解析 Nuss法 バイオメカニクス CRN法

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

漏斗胸は、胸郭が陥凹変形を呈する先天性胸郭変形疾患である。その外科治療は、チタンプレートで胸郭を矯正する Nuss 法が標準治療として国内外で広く施行されている。漏斗胸の成因は幾つかの仮説があるが現在のところ不明であり、その病態解明は治療を行う上で極めて重要である。当院は漏斗胸外来を立ち上げ多くの患者を受け入れているが、Nuss 法を用いた漏斗胸治療を施行する過程で、(1) 漏斗胸の陥凹形態にはいくつかの病型が存在すること、(2) 陥凹形態の相違は異なる病因に起因している可能性があること、(3) 従来施行されている画一的な Nuss 法手術のみでは十分な胸郭矯正が得られず、病型に応じた適切な手術アプローチが必要なことが分かり、これを解明することが学術的、社会的に有意義な研究テーマであると考えた。

2. 研究の目的

研究目的は以下2点である。

(1) 漏斗胸患者の身体所見及び画像所見を基に漏斗胸の病型や表面形態を反映した新たな画像指標を確立すること、(2) 病型に応じた病因を解明し、漏斗胸の画像指標に応じた最適な術式を提案する新規支援システムを開発すること、である。

漏斗胸は胸郭を形成する様々な構造物の複合的病因で生じる症候と考えられ、多様な形態を呈する。非対称症例、局所陥凹症例、扁平胸郭症例などがその代表であるが、明確な定義はなく、漏斗胸の病型と表面形態、体位性変化に着目した新たな画像指標を確立できれば重症度に応じた治療の選択も可能である。具体的には①胸郭陥凹体積を基にした画像評価法、②立位 CT を用いた従来 CT 画像との胸郭形態変化の検討、③CT 有限要素法解析を用いた胸郭生体力学システム開発を本研究の主たる目的とした。

3. 研究の方法

(1) 漏斗胸患者の身体所見及び画像所見を基に漏斗胸の病型や表面形態を反映した新たな画像指標を確立するために i 胸郭陥凹体積を基にした画像評価法、ii 立位 CT を用いた従来 CT 画像との胸郭形態変化の検討、iii CT 有限要素法解析を用いた胸郭生体力学システム開発を行うことを考えた。先ず、当院で行われた漏斗胸手術の画像解析を後方視的に行うことで術前術後の CT 形態変化を客観的にとらえることを試み、既存の評価方法の妥当性を検討した。また、当院で施行した立位 CT 画像を解析することで立位、仰臥位での形態変化を解析した。

である。

(2) 病型に応じた病因を解明し、漏斗胸の画像指標に応じた最適な術式を提案する新規支援システムを開発すること

過去の漏斗胸手術症例の術前術後画像データと金属バーの形態・挿入部位のデータから、漏斗胸手術後の胸郭形態の予測することを試みた。

4. 研究成果

本研究を行うことで、漏斗胸治療は小児漏斗胸と成人漏斗胸でその治療内容が異なることがわかった。漏斗胸治療は肋軟骨の骨化、胸骨の癒合形態によりその胸郭の硬度が異なるため、治療内容にも大きな影響を及ぼすことがわかった。それらについては現在も研究を進めているが、23RD Annual Meeting of Chest Wall International Group (CWIG)にて Combined Ravitch and Nuss procedure の有用性を研究報告し、Combined Ravitch and Nuss procedure for patients with severe pectus excavatum: technique and initial results Journal of Surgical Case Reports, 2023, 10,1-4 に for patients with severe pectus excavatum: technique and initial results を報告した。(図1)

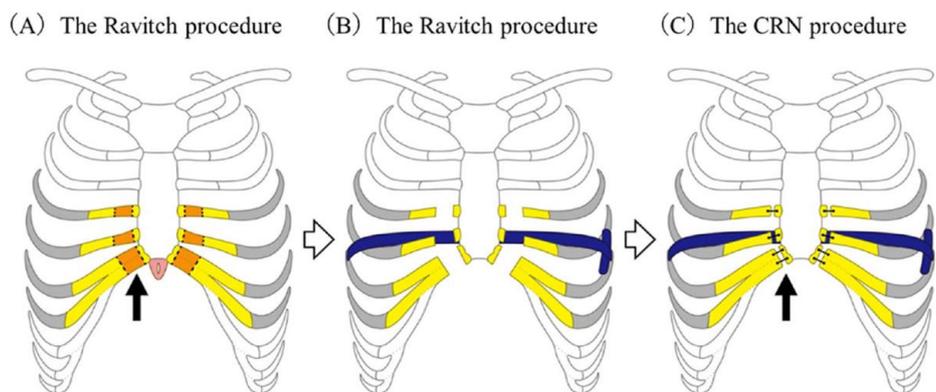


図1

我々は病型に応じた適切な手術アプローチについて研究を進めているが、当院における漏斗胸診療は成人漏斗胸が多く、その病態を理解することが極めて重要であると考え、今回の研究に付随するさまざまな問題点について検討を行った。その一つに肋軟骨骨硬化率が挙げられる。肋軟

骨骨化率は陥凹形態や手術難易度に大きく影響を与えると考え、肋軟骨の骨化率に関する研究を行った。この研究は「肋軟骨石灰化の経年変化と漏斗胸治療に与える影響について」というタイトルで 2024 年開催の第 64 回日本呼吸器学会学術講演会で発表を行った。この中で肋軟骨骨化が強い症例では術中の出血量や手術時間に影響を与え、手術が難しくなる傾向にあることを報告した (図 2、表 1)

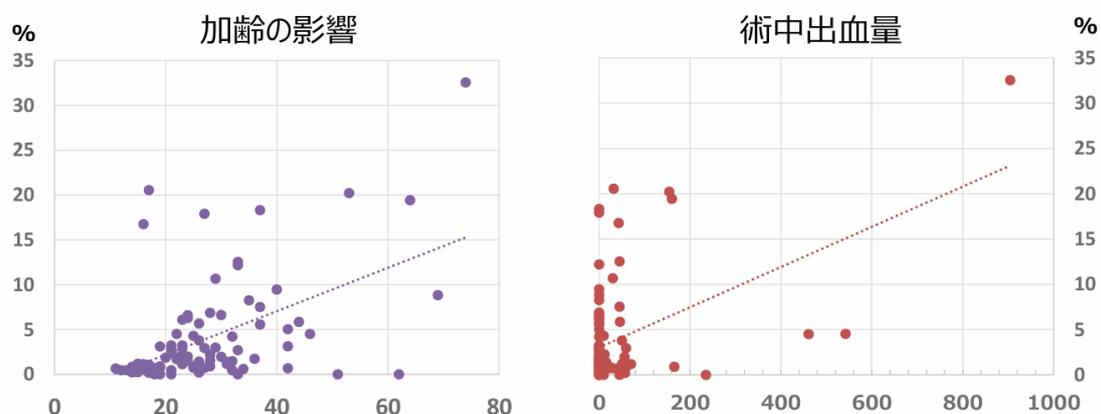


図2、肋軟骨骨化 (%) と年齢、出血量の関係

表 1、肋軟骨骨化と臨床データの相関

	Pearson 相関係数	有意確率	95% 信頼区間 (両側)	
			下限	上限
年齢	0.604	<.001	0.454	0.720
CT-HI	0.265	0.011	0.062	0.447
胸骨捻じれ角	0.299	0.004	0.098	0.477
%VC	-0.113	0.289	-0.313	0.096
手術時間	0.313	0.003	0.114	0.487
出血量	0.494	<.001	0.312	0.64
入院期間	0.213	0.042	0.008	0.402
合併症	0.105	0.322	-0.103	0.304
術式	0.276	0.008	0.074	0.456

加えて成人漏斗胸の問題点として術後の疼痛が挙げられる。術後疼痛は患者の QOL を低下させることから成人漏斗胸の慢性痛の現状を把握することが重要と考え、その特徴を検討した。これは 2023 年の漏斗胸研究会で「漏斗胸手術における術後疼痛の現状と問題点について」というタイトルで一般演題発表を行った。この発表で、(1) 周術期は若年群で術直後の痛みが強い傾向にあること、(2) 退院時の痛みは成人群、若年群の 2 群で同等であるが慢性疼痛への移行は成人群に多い傾向にあることを報告した。(図 3)

図3 周術期の臨床特徴

Variables		Adults 114 (≥21 years old)	Youth 72 (≤20 years old)	<i>p</i>
Pectus Bar本数, n	(%)	2.2	2.3	0.206
手術時間	(min)	116	109	0.290
出血量	(g)	48.4	12.1	0.020
入院日数	(d)	6.4	6.6	0.336
合併症 (Grade 2以上)	(%)	14 (12.3)	13 (18.1)	0.170
術後慢性疼痛(≥2 months)	(%)	50 (43.9)	27 (37.5)	0.380
術後慢性疼痛(≥6 months)	(%)	26 (22.8)	8 (11.1)	0.043

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 鈴木幹人、政井恭兵、朝倉啓介、菱田智之、浅村 尚生	4. 巻 35
2. 論文標題 フレイル chests に対し Nuss 法が有効と考えられた 1 例	5. 発行年 2021 年
3. 雑誌名 日本呼吸器外科学会雑誌	6. 最初と最後の頁 363-368
掲載論文の DOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 政井恭兵
2. 発表標題 成人漏斗胸手術における臨床的特徴と問題点について
3. 学会等名 日本胸部外科学会定期学術集会75回
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木嵩弘
2. 発表標題 女性漏斗胸手術患者の臨床的特徴と手術成績に関する検討
3. 学会等名 日本呼吸器外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 政井恭兵
2. 発表標題 胸郭形態に着目した自然気胸再発メカニズムの検討
3. 学会等名 日本呼吸器外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大久保祐, 政井 恭兵, 加勢田 馨, 朝倉 啓介, 菱田 智之, 浅村 尚生
2. 発表標題 他院術後再発漏斗胸に対する再手術の検討
3. 学会等名 39回日本呼吸器外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡 直幸, 政井 恭兵, 井本 智博, 矢野 海斗, 西田 梨紗, 鈴木 嵩弘, 前田 智早, 大久保 祐, 加勢田 馨, 朝倉 啓介, 菱田 智之, 浅村 尚生
2. 発表標題 側弯症治療後に呼吸苦を認めた漏斗胸に対してCombined Ravitch and Nuss Procedureを施行し症状改善が得られた1例
3. 学会等名 日本胸部外科学会関東甲信越地方会188回
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉野 功祐, 政井 恭兵, 大城 雄基, 櫻田 明久, 青木 輝, 石黒 勇輝, 井本 智博, 岡 直幸, 大久保 祐, 加勢田 馨, 朝倉 啓介, 菱田 智之, 浅村 尚生
2. 発表標題 漏斗胸に対してCombined Ravitch and Nuss Procedureを施行後、側彎の進行を認めたLoeys-Dietz症候群の一例
3. 学会等名 日本胸部外科学会関東甲信越地方会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 政井恭兵
2. 発表標題 非対称性漏斗胸に対するNuss法の問題点と新規治療法の有用性について
3. 学会等名 38回日本呼吸器外科学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 嵩弘
2. 発表標題 女性漏斗胸手術患者の臨床的特徴
3. 学会等名 39回日本呼吸器外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 政井 恭兵
2. 発表標題 Treatment strategy for pectus excavatum- Surgical technique based on the depressed morphology -
3. 学会等名 第73回日本胸部外科学会定期学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大久保祐, 政井 恭兵, 加勢田 馨, 朝倉 啓介, 菱田 智之, 浅村 尚生
2. 発表標題 他院術後再発漏斗胸に対する再手術の検討
3. 学会等名 39回日本呼吸器外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡 直幸, 政井 恭兵, 井本 智博, 矢野 海斗, 西田 梨紗, 鈴木 嵩弘, 前田 智早, 大久保 祐, 加勢田 馨, 朝倉 啓介, 菱田 智之, 浅村 尚生
2. 発表標題 側弯症治療後に呼吸苦を認めた漏斗胸に対してCombined Ravitch and Nuss Procedureを施行し症状改善が得られた1例
3. 学会等名 日本胸部外科学会関東甲信越地方会188回
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	鈴木 高弘 (Suzuki Takahiro) (50868122)	慶應義塾大学・医学部(信濃町)・助教 (32612)	
研究 分担者	西田 梨紗 (Risa Nishida) (60896661)	慶應義塾大学・医学部(信濃町)・助教 (32612)	
研究 分担者	朝倉 啓介 (Keisuke Asakura) (90383786)	慶應義塾大学・医学部(信濃町)・講師 (32612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------