

平成 27 年度科学研究費

**「乳児特発性僧帽弁腱索断裂の病態解明と治療法の確立に関する総合的研究」**

( H26-難治等(難)-一般-020 )

研究代表者 白石 公

国立循環器病研究センター 小児循環器部

[背景] 乳児特発性僧帽弁腱索断裂は、生来健全な乳児に突然の僧帽弁腱索断裂による急性呼吸循環不全が発症し、診断と早期の外科治療が遅れると死に至る疾患である。ほとんどが日本人で、生後4-6ヶ月に発症が集中するという特徴を持つ。基礎疾患として川崎病、抗SSA抗体、弁の粘液変成、ウイルス心内膜炎などが示唆されるが詳細は不明である。

[対象と方法] 乳児特発性僧帽弁腱索断裂と診断された乳児で、弁置換を行った症例では弁組織の凍結保存やホルマリン固定病理組織標本の免疫組織科学的検討を行い、腱索断裂のメカニズムを解明研究する。

[結果]大阪大学附属微生物病研究所感染症メタゲノム解析研究分野において、ウイルスゲノムの検索およびRNAトランスクリプトーム解析を開始した。現在既に1例の新たな症例においてサンプルを解析中で、同様に過去に僧帽弁置換術を行った3例においてもホルマリン固定パラフィン切片から、解析を行う予定である。

[結論]ウイルスゲノムの網羅的解析による病因解析、同じく組織からのRNAトランスクリプトーム解析による病態解明を行い、本疾患の診断および治療法の確立に向けて研究を進展させる予定である。

研究者一覧

主任研究者

白石 公 国立循環器病研究センター・小児循環器部

分担研究者

武田 充人 北海道大学医学部・小児科  
中西 敏雄 東京女子医科大学・循環器小児科  
賀藤 均 国立成育医療研究センター・器官病態系内科・循環器科  
山岸 敬幸 慶応義塾大学医学部・小児科  
安河内 聡 長野県立こども病院・循環器科  
今中 恭子 三重大学医学部・修復再生病理学  
市川 肇 国立循環器病研究センター・小児心臓外科  
森崎 隆幸 国立循環器病研究センター・研究所・分子生物学部  
宮本 恵宏 国立循環器病研究センター・予防健診部  
黒崎 健一 国立循環器病研究センター・小児循環器集中治療室  
北野 正尚 国立循環器病研究センター・小児循環器部  
坂口 平馬 国立循環器病研究センター・小児循環器部  
池田 善彦 国立循環器病研究センター・臨床検査部病理  
檜垣 高史 愛媛大学大学院医学系研究科・地域小児・周産期学講座  
佐川 浩一 福岡市立こども病院・循環器科

## A. 研究目的

生来健康である乳児に、数日の感冒様症状に引き続き突然に僧帽弁の腱索が断裂し、急速に呼吸循環不全に陥る疾患が存在する。本疾患は原因が不明で、過去の報告例のほとんどが日本人であるという特徴をもつ。発症早期に的確に診断され、専門施設で適切な外科治療がなされないと、急性左心不全により短期間に死に至る。また外科手術により救命し得た場合も人工弁置換術を余儀なくされるもしくは神経学的後遺症を残すなど、子どもたちの生涯にわたる重篤な続発症をきたす。しかしながら本疾患は国内外の小児科の教科書に独立した疾患として記載されておらず、多くの小児科医は本疾患の存在を認識していない。またその急激な臨床経過の特徴から、過去の死亡例は「乳児突然死症候群」と統計処理された可能性があり、実際の発症はさらに多いと考えられる。これまでの我々の調査の結果、僧帽弁腱索が断裂する原因として、ウイルス感染（心内膜心筋炎）、母体から移行した血中自己抗体（抗 SSA 抗体）、川崎病（回復期以降）、細菌性心内膜炎などが明らかになっており、これら何らかの感染症や免疫学的異常が僧帽弁腱索断裂の引き金になると考えられているが、各々の病態の詳細は不明である。また最近数年間、国内での症例報告が増加しており、早期の実態調査、早期発見の啓蒙、診断治療方針の確立が急務である。

## B. 研究方法

1. 新たに発症する症例において、前向きに血液サンプル、弁置換を行った症例では弁組織の凍結保存や病理組織標本を収集し、ウイルスゲノムの解析、免疫組織学的検討、分子生物学的検索を加え、腱索断裂のメカニズムの解明研究を展開する。具体的には、発症時の患者血液を用いて、炎症性サイトカイン、スーパー抗原、血液中のリンパ球分画、抗核抗体、抗 DNA 抗体、抗 SSA 抗体、抗 SSB 抗体、心筋心内膜炎を引き起こすウイルス分離とウイルス抗体価などを調べ、基礎疾患を明らかにするとともに、腱索組織の破壊に至る病理組織学的、免疫組織学的メカニズムを明らかにする。得られる新鮮な腱索組織を用いて、血管新生因子である VEGF、弁や腱索組織に含まれ膠原線維や弾性線維の remodeling に関する matrix metalloproteinases、抗核抗体、抗 DNA 抗体、抗 SSA 抗体、抗 SSB 抗体、などの免疫組織化学を行う。免疫組織学的研究の一部は、文部省科学研究費基盤 (C)「乳児特発性僧帽弁腱索断裂の病因に関する基礎的研究」(主任：白石 公)により現在実施中である。
2. 新たな研究計画を国立循環器病研究センター倫理委員会に提出し承諾された (M25-097-2)。その結果、患者代諾者から同意書を得た上で、DNA, RNAを劣化させない固定液PaxGeneで固定し、そこからDNA, RNAを回収して、大阪大学附

属微生物病研究所感染症メタゲノム解析研究分野教室において、ウイルスゲノムの検索およびRNAトランスクリプトーム解析を行っている。現在既に1例の新たな症例においてサンプルを解析中である。また同様に過去に僧帽弁置換術を行った3例においてもホルマリン固定パラフィン切片（FFPE）からRNA、DNAを回収して、ウイルスゲノムの検索およびRNAトランスクリプトーム解析を行う予定である。

### C. 研究結果

本疾患は生後4～6ヶ月の乳児に好発する。ただし母親由来のSSA抗体陽性患者では生後1～2ヶ月以内に発症することがある。数日の発熱、咳嗽、嘔吐などの感冒様の前駆症状に続き、突然に僧帽弁腱索が断裂する。重度の僧帽弁閉鎖不全により心拍出量の低下および著しい肺うっ血をきたし、短時間に多呼吸、陥没呼吸、呼吸困難、顔面蒼白、頻脈、ショック状態に陥る。少数で三尖弁の腱索断裂を合併することがある。複数の腱索が断裂すると、人工弁置換術を余儀なくされることがある。術後に別の腱索次々と断裂し、数日後に人工弁置換が必要となる症例も散見される。乳児時期に人工弁置換を行った場合は、生涯にわたる抗凝固剤の内服が必要であるとともに、再弁置換もしくは再々弁置換術が必要となる。また女児では成人期に達した際、抗凝固薬の内服は妊娠や出産において大きな障害となる。

通常、胸骨左縁第III肋間から心尖部にか

けて収縮期逆流性心雑音が聴取される。心雑音の指摘のない乳児が急速に呼吸循環不全に陥り、新たな心雑音が聴取された場合には、本疾患を疑う。ただし急性左心不全による肺水腫のため、肺野に全体に湿性ラ音が聴取されて心雑音が聴き取りにくい場合があるので注意が必要である。また急速な経過のために心拡大が顕著でなく、心疾患として認識されず、肺炎と初期診断する可能性があるため注意を要する。

典型的な症例を1例示す。図1は生後4ヶ月の乳児に発症した僧帽弁腱索断裂である。2日間の発熱の後、顔面蒼白のショック症状を呈した。二次救急病院での初期診断は肺炎であったが、心雑音に気づかれて心エコーを行ったところ、重度の僧帽弁逸脱および僧帽弁腱索断裂に気付かれ、三次救急病院に搬送された。強心利尿薬による内科的治療で循環不全が改善できなかったため、速やかに外科手術が執り行われた。搬送当初、ショック状態で人工呼吸を必要とし、速やかに外科手術が行われ、人工腱索による腱索修復と僧帽弁縫縮術が行われた。術後経過は順調で、軽度の僧帽弁閉鎖不全を遺残するのみで、現在外来で内服治療もなく良好に経過している。

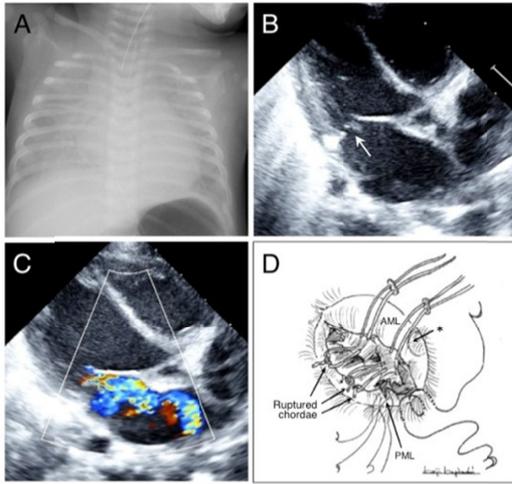


図 1：生後 4 ヶ月の乳児に発症した僧帽弁腱索断裂 (A:胸部 Xp 所見、B:断層心エコー所見、C:ドプラー断層所見、D:手術所見)

全国調査の結果、過去 16 年間に発症した 95 例の臨床データを得た。発症は生後 4~6 ヶ月に集中した(85%, 図 2)。性別では、やや男児に多かった(図 3)。季節別では、春から夏の頻度が高かった(66%, 図 4)。

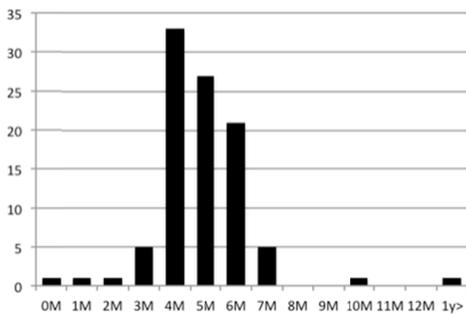


図 2：発症月例の分布

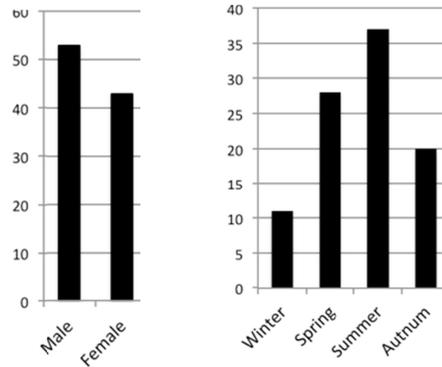


図 3：男女分布 図 4：発症の季節分布

基礎疾患として、川崎病 10 例、抗 SSA 抗体陽性は調べた 12 例中 2 例に、細菌性心内膜炎 1 例が認められた (表 1)。

Table 1. Clinical Characteristics of the 95 Patients

Clinical Findings	
Age at onset (months)	5 (4-6)*
Body weight at onset (kg)	6.83 (6.14-7.51)*
Gestational weeks	39 (38-40)*
Body weight at birth (kg)	2.97 (2.70-3.28)*
History of Kawasaki disease	10 cases; Acute and convalescent stage (day ≤ 30), 3 cases Beyond convalescent stage (day > 30), 7 cases
Anti-SSA antibody-positive (12 cases examined)	2 cases; 0 and 5 mo
Prodromal symptoms	88 cases; fever 37, cough 16, vomit 14, others 21
Cardiogenic shock after initial prodromes	2 (1-7) *

\*Data are presented as median (interquartile range).

表 1：95 例の臨床所見

血液生化学所見では、急性循環不全によるショックから白血球数は中等度の増加 (全国調査での中央値 15,440/uL) がみられるが、一般に CRP は軽度の上昇に留まる (中央値 1.60mg/dL)。トランスアミナーゼ値は心不全の強い症例では上昇するが多くは正常範囲で (AST, ALT 中央値 44, 21(IU/L))。心筋逸脱酵素、とくに CPK-MB や心筋トロポニン T の上昇は見られない。ほとんどの

症例で BNP 値は高度に上昇する（中央値 1,450pg/mL）（表 2）。

胸部 X 線所見では、急速に心不全が進行するために心拡大は軽度（心胸郭比中央値 56%）にとどまるが、多くの症例（75%）において両肺野にうっ血像が認められる（図 1）。一部の僧帽弁閉鎖不全の経過が長い症例では心拡大が明らかとなる。心電図では特徴的な所見は少なく、急性左心不全による左胸部誘導で T 波の平定化や陰転が見られることがある。僧帽弁腱索断裂の診断は、断層心エコー検査で確定可能である。左室長軸断面および心尖部四腔断面像において、僧帽弁尖の逸脱および翻転、断裂により遊離した腱索、ドブラー断層で大量の僧帽弁逆流シグナルが確認できる。僧帽弁閉鎖不全の程度は、全国調査では高度 70 例（73%）、中等度 22 例（23%）、軽度 4 例（4%）であった。しかしながら、急性心不全のために左室腔の拡大は明らかでなく（左室拡張末期径 z value 中央値 1.47）、左室短縮率は高度な僧帽弁閉鎖不全のため軽度亢進する（中央値 0.41）。全国調査では、断層心エコーで特徴的な所見として乳頭筋頂部の腱索付着部位にエコー輝度の亢進が 8 例（8.4%）に認められた。粘液変性と考えられる僧帽弁尖の有意な肥厚は 9 例（9.5%）に認められた。全国調査では僧帽弁前尖の断裂が 28 例、後尖の断裂が 33 例、両者の断裂が 22 例に認められた。まれに三尖弁の腱索断裂を伴う症例も存在し（6 例）、心不全が重篤になるので注意が必要である。

Table 2. Laboratory Findings of the 95 Patients

Examinations	On Admission	At Discharge	P Value
WBC (u/L)	15 440 (11 990–21 650)	9 160 (7 330–11 100)	<0.0001
Hb (g/dL)	10.2 (8.9–11.1)	11.8 (10.9–13.0)	<0.0001
PLT ( $\times 10^3/uL$ )	501 (338–600)	368 (302–439)	0.0003
CRP (mg/dL)	1.60 (1.97–3.15)	0.11 (0.16–0.31)	<0.0001
AST (IU/L)	44 (30–105)	36 (29–44)	0.0003
ALT (IU/L)	21 (13–135)	22 (16–36)	0.0160
LDH (IU/L)	421 (267–763)	332 (264–484)	0.0046
CPK (IU/L)	119 (77–247)	76 (45–123)	0.0002
CPK-MB (U/L)	27 (12–91)	31 (20–42)	0.0749
BNP (pg/mL)	1,450 (839–2545)	72 (32–114)	0.0007
cTnT (n=22, ng/mL)	0.027 (0–0.132)	—	—

Data are presented as median (interquartile range). ALT indicates alanine aminotransferase; AST, aspartate aminotransferase; BNP, brain natriuretic protein; CPK, creatine phosphokinase; CRP, C reactive protein; cTnT, cardiac troponin T; Hb, hemoglobin; LDH, lactate dehydrogenase; MB, myocardial band; PLT, platelets; and WBC, white blood cells.

表 2：95 例の血液生化学所見

生来健康で心雑音が指摘されたことがない生後 4～6 ヶ月の乳児に、数日の感冒要症状に引き続き、突然の多呼吸、陥没呼吸、顔面蒼白、ショック症状がみられ、聴診で収縮期の逆流性心雑音が聴取された場合、本疾患を疑う。断層心エコーにより診断がつき次第、可及的に乳児の開心術が行える小児循環器専門施設に紹介する。必要な治療としては、診断がつき次第まず呼吸循環動態の改善に努める。全身蒼白のショック状態で呼吸困難が強い場合には、鎮静下に気管内挿管による人工呼吸管理を行い、動脈ラインおよび中心静脈ラインの確保による集中治療管理を開始し、アシドーシスの補正、強心薬の持続静脈投与、利尿薬の静脈内投与により、左心不全および肺うっ血の改善を試みる。診断がついた後も、内科的治療により経過観察している間に次々と新たな腱索が断裂する可能性があるため、これらの集中治療によっても呼吸管理および循環動態が維持できない場合は、時期を

逃さず外科手術に踏み切ることが重要である。

手術は一般に人工腱索を用いた僧帽弁腱索形成術を行う。僧帽弁輪が拡大した症例では弁輪縫縮術も併用する。ただし複数の腱索が断裂した症例や、断裂が前尖と後尖の広範囲にわたり、人工腱索だけでは修復不可能と判断される場合は、機械弁置換術を行う。好発年齢である生後4~6ヶ月の乳児では、通常16mmの機械弁を挿入する。

今回の調査では、外科治療は、最終的に腱索形成もしくは弁輪縫縮が52例(55%)、機械弁置換が26例(27%)に行われた。死亡例は8例(8.4%)であった。中枢神経系後遺症は10例(11%)認められた。全体では35例(40%)が何らかの後遺症/続発症を残し、本疾患の罹病率は極めて高い。(図5)。

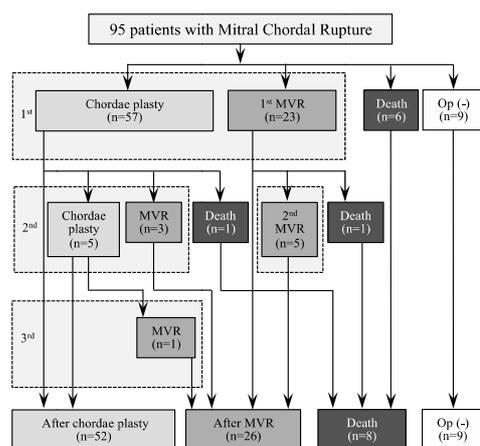


図5：95例の外科的治療内容

腱索の病理組織(21例)では、単核球を主体(とする心内膜下の炎症細胞浸潤が18例(64%)に認められた。多核白血球の浸潤はごく少数のみ認められた。断裂部位は線維性組織で置換され癒痕化していた。粘

液様変性が11例(39%)に認められた。急性炎症のマーカであるテネイシンCは腱索全体にわたり陽性であった。

(図6)。免疫組織科学では、浸潤した単核球は、CD3陽性Tリンパ球およびCD68陽性マクロファージであった。剖検のえられた2症例では、他の内臓臓器に腱索と同様な炎症所見は認められなかった。

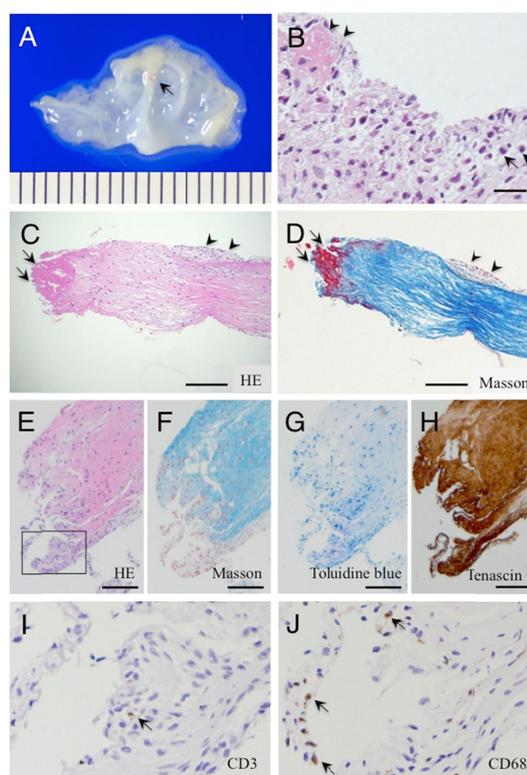
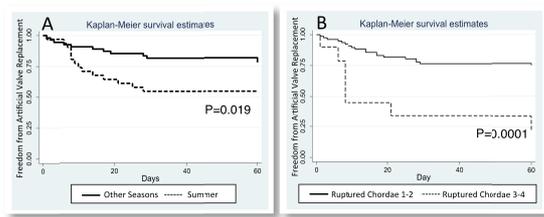


図7：A: 発症季節から見た機械弁置換術回避のKaplan-Meier survival、夏に発症した患者の回避率が他の季節に比べて有意に低い。



B: 断裂した検索数から見た機械弁置換から回避の Kaplan-Meier survival。断裂部位が3-4箇所患者は、1-2箇所患者に比べて人工弁回避率が低い。

### 考察

本疾患の原因は現時点では明らかではないが、今回の研究から、川崎病の回復期、母親由来の抗 SSA 抗体、僧帽弁および腱索組織の粘液変成、ウイルス感染などが引き金になって発症することが明らかになった。

川崎病が10症例において病歴があり、川崎病による心内膜炎が僧帽弁尖や腱索組織に波及して、細胞浸潤から線維化、癒痕化をきたして腱索断裂に導いた可能性がある。今後川崎病は、僧帽弁腱索断裂の一因として認識しておく必要がある。

母親由来の抗 SSA 抗体は、症例数は2例であるとはいえ見逃すことのできない原因であると考えられる。抗 SSA 抗体は、胎盤を通過して、胎児の心筋細胞、とくに刺激伝導系細胞に結合してアポトーシスから炎症細胞の浸潤をきたし、抗 SSA 抗体陽性の母親の約1%に完全房室ブロックを起こす。詳細は明らかではないが、同様な機序で心内膜細胞にも結合して胎児期に炎症を引き起こし、腱索部分が癒痕化して、出生後のある特定の時期に断裂することが想定され

る。しかしこの機序に関するエビデンスはないので、今後 SSA 抗体と胎児心内膜組織、弁組織、腱索組織を用いた in vitro の実験が必要になる。一部の症例で僧帽弁乳頭筋頂部の腱索への移行部にエコー輝度の高い所見が認められた。非特異的所見であり、echogenic intracardiac focus (EIF)と区別されなければならないが、今後症例を重ねて、これらの所見を抗 SSA 抗体陽性の母親から生まれた児に対する腱索断裂の早期診断につなげてゆく必要がある。

弁および腱索組織の粘液様変成も比較的高率(39%)に求められた。元々弁および腱索に脆弱性のある児に何らかの炎症もしくは物理的要因が加わり発症した可能性が示唆される。

直接的なエビデンスは現時点でないが、CRPが上昇しないこと、腱索組織から単核球を主体とする炎症細胞浸潤が高率(69%)に見られたこと、感冒様の症状が高率(88例)に認められたこと、母親からの IgG 抗体が低下する生後4ヶ月を筆頭に、生後4ヶ月をヶ月に高率に発症する、季節的に春から夏に多発する、これは心筋炎を引き起こすエンテロ系ウイルスの好発時期に一致するが、これらの所見から、何らかのウイルス感染が腱索に炎症を引き起こし断裂に導いた可能性が高く示唆された。今後患者の血液、尿、心臓のサンプル(弁置換を行った症例)からウイルス分離やウイルスゲノムの検索を行う必要がある。残念ながら本年度は血液のウイルス分離を2例で行ったが、いずれも陰性であった。今後研究を継

続して、早期発見および的確な治療法を早急に確立する予定である。とくに採取した弁組織からのウイルス DNA の検索、トランスクリプトーム検索による RNA の解析を行い、病院解明に向けて研究を発展させる予定である。

近年、DNA, RNAを劣化させない固定液 PaxGeneが発売され、様々な保存組織から損傷の少ない良質のDNA, RNAが抽出できるようになり、このような保存組織から次世代シーケンサーを用いたDNA, RNAの網羅的解析を行うことが可能となった。本疾患の病因を明らかにするためには、臨床経過や臨床検査所見から、既知の原因の中から考えられる病因を特定してゆくアプローチのみならず、遺伝子や転写産物の網羅的解析のデータから、これまで知られていなかった未知の病因に迫るアプローチも不可欠である。

そこで、本疾患の直接的な病因研究に取り組むことを目的として、DNA, RNAの網羅的解析を含む新たな研究計画を国立循環器病研究センター倫理委員会に提出し、承諾された (M25-097-2)。本疾患で僧帽弁置換術を余儀なくされた症例において、患者代諾者から同意書を得た上で、得られた組織をPaxGeneで固定し、そこからDNA, RNAを回収して、大阪大学附属微生物病研究所感染症メタゲノム解析研究分野教室において、ウイルスゲノムの検索およびRNAトランスクリプトーム解析を行っている。平成27年度は、新たに発症した1例において、PaxGene固定のサンプルを解析中である。ま

た同様に過去に僧帽弁置換術を行った3例においても両親から同意書による承諾を得て、ホルマリン固定パラフィン切片 (FFPE) からRNA, DNAを回収して、ウイルスゲノムの検索およびRNAトランスクリプトーム解析を行う予定である。本疾患にウイルス感染が関与しているのか、病理組織学的には多くの症例で軽度のリンパ球浸潤を主体とする非特異的炎症所見が見られるが、まずウイルスDNA, RNA解析により、本疾患のような弁や腱索を主体とする心内膜炎を引き起こすことがこれまで考えてこられなかったウイルスが、新たに見つかる可能性がある。そうすれば、本疾患予防のための抗体やワクチンの作成にもつながる。また、RNAトランスクリプトーム解析を用いてどのような炎症シグナルカスケードが亢進しているかを明らかにできれば、本疾患における腱索断裂にいたる分子細胞生物学的なメカニズムを明らかにすることができ、本疾患の治療薬の開発につなげる可能性が出てくる。

## E. 結論

弁形成もしくは弁置換により外科手術が成功すれば、左室の収縮機能は比較的短期間に改善する。また症例によっては、腱索形成術後に別の腱索が新たに断裂することがあり、術後も断層心エコーおよびドプラー断層により僧帽弁閉鎖不全の増悪に十分留意する必要がある。ショック状態で搬送された症例では、低血圧もしくは低酸素による中枢神経系障害を合併することがあるの

で、術直後より頭部エコー検査や頭部 CT 検査を実施して、脳浮腫や頭蓋内出血などの中枢神経系障害の出現に留意する。

死亡例が 8 名 (8.4%)、人工弁置換症例が 26 例 (27.3%)、呼吸循環不全に伴い発症した中枢神経系後遺症が 10 例 (10.5%) に認められ、生来健康な乳児に発症する急性疾患として見逃すことのできない疾患である。病因を明らかにし適切な治療法を確立することが急務である。