

Review

【シリーズ：不整脈】

小児上室頻拍の心電図診断と急性期治療

加藤 愛章, 坂口 平馬

国立循環器病研究センター小児循環器内科

Diagnosis and Acute Therapy of Supraventricular Tachycardia in Children

Yoshiaki Kato and Heima Sakaguchi

Department of Pediatric Cardiology, National Cerebral and Cardiovascular Center, Osaka, Japan

The clinical characteristics of supraventricular tachycardia (SVT) in children differ from those in adults. SVT has a nonspecific presentation in neonates and infants with symptoms caused by heart failure and sometimes becomes severe because of delayed diagnosis. In older children, palpitations may be a subjective complaint, and most SVTs have a mild presentation. Tachycardia-induced cardiomyopathy secondary to incessant SVT is more often observed in children than in adults. Atrioventricular reciprocating tachycardia and atrioventricular nodal re-entrant tachycardia account for >90% of cases of pediatric SVT, and ectopic atrial tachycardia and other SVTs are less common. The first step in the electrocardiographic diagnosis of SVT involves detection of the P wave, followed sequentially by assessment of P wave morphology and assessment of the time relationship between P waves and QRS complexes. Intravenous administration of adenosine triphosphate is useful for elucidation of the mechanism of SVTs. In hemodynamically unstable children, acute management includes performing immediate synchronized cardioversion. If the child is stable, performing a vagal maneuver and/or intravenous administration of adenosine triphosphate can achieve termination of most SVTs. Administration of second-line antiarrhythmic agents is necessary to treat intractable SVTs. This review discusses a practical approach to electrocardiographic diagnosis of this condition and provides a brief overview of recent information about acute management of pediatric SVT.

Keywords: supraventricular tachycardia, electrocardiographic diagnosis, adenosine triphosphate, antiarrhythmic agent, Valsalva maneuver

小児の上室頻拍の臨床像は成人とは異なり、年代に合わせた対応が必要である。乳児期には心不全による症状が主となり、発見が遅れて重症化することがある。学童期以降では動悸が主症状となり、軽症なことが多い。小児においては持続する頻拍では頻拍誘発性心筋症を来することがあり、成人以上に注意が必要である。小児の上室頻拍では房室回帰性頻拍、房室結節回帰性頻拍で90%を占め、異所性心房頻拍などの他の不整脈は稀である。心電図診断においては、P波を認識し、P波の波形、QRS波との時間関係などを確認する。アデノシン三リン酸投与を併用するとより正確な診断が可能となる。急性期治療において、血行動態が安定していない場合はただちに同期下カルディオバージョンを行う。血行動態が安定していれば、迷走神経刺激、アデノシン三リン酸投与を要し、多くのSVTは停止する。停止しないSVTに対しては他の抗不整脈薬投与が必要となる。本稿では、小児SVTの心電図診断の具体的な方法を概説し、急性期治療の新たな知見を紹介する。

はじめに

上室頻拍 (Supraventricular Tachycardia: SVT) は非専門医でも遭遇することがある、比較的頻度の高い疾患である。小児の SVT は Wolff-Parkinson-White (WPW) 症候群に伴う房室回帰性頻拍 (Atrioventricular Reciprocating Tachycardia: AVRT) または房室結節回帰性頻拍 (Atrioventricular Nodal Reentrant Tachycardia: AVNRT) で 90% を占める。頻拍の機序は成人の SVT と共通である点が多いが、その臨床像は異なる点も多く、年齢に応じた対応が必要である。心電図での診断を中心として、急性期の薬物治療、非薬物治療について最近の話題を加えて概説する。

I. 上室頻拍の種類

現状として SVT の分類は文献や施設により異なり、どの不整脈を SVT の範疇とするかも各ガイドライン間で差がある^{1,2)}。一般に、SVT は頻拍回路に心房が不可欠な不整脈の総称とされている。歴史的には心電図波形で推測された不整脈機序から不整脈の分類が進められてきたが、最近では心臓電気生理検査による心内の詳細なマッピングに基づく分類も提唱され、さらに細分化が進んできている。本稿においては、(Table 1) のように頻脈性不整脈を分類し³⁾、SVT として頻度の高い AVRT, AVNRT, 異所性心房頻拍 (Ectopic Atrial Tachycardia: EAT) を中心に概説する。

II. 小児の上室頻拍の特徴

1. 年代での変化

小児は出現する頻拍の種類が年代により大きく変化

し、発症する時期は乳児期と学童期の 2 つのピークがある。胎児期から乳児期にかけては 90% が AVRT で、徐々に AVNRT と EAT の割合が上昇する⁴⁾。幼児期は SVT の出現頻度は低くなるが、学童期から上昇し、90% 以上は AVRT と AVNRT で占められる。成人期においては、加齢に伴い心房細動での頻拍の頻度が上昇する。

2. 症状

症状は年代により大きく異なり、同程度の心拍数であれば、一般に、成人に比べて小児のほうが症状は乏しい。胎児期には胎児水腫、新生児期～乳児期には活気不良、経口摂取困難などの非特異的な心不全症状が主となる。胎児～乳幼児では洞性頻脈でも一過性に 230 回/分となることがある一方で、頻拍により心拍数が 200 回/分以上が継続すると心機能低下を来すことがある。学童以降では動悸が主症状となることが多く、失神を来すことは稀である。ただし、年少児においては、頻拍を“動悸”として認識できないことが多く、診察時には注意が必要である。

3. 頻拍誘発性心筋症

EAT や AVRT の亜型である永続性接合部回帰頻拍 (Permanent Junctional Reciprocating Tachycardia: PJRT) の一部では、心拍数が比較的 low、無症状で、持続することにより頻拍誘発性心筋症 (Tachycardia-Induced Cardiomyopathy: TIC) を来すことがある⁵⁻⁷⁾。拡張型心筋症と診断される症例の中には TIC が含まれることがあり、SVT の有無を確認することは重要である。

Table 1 Common mechanisms for tachycardia in children

	Reentrant	Enhanced Automaticity	Triggered Activity
Sinus Node		Sinus Tachycardia	
Atrium	Atrial Flutter/IART Atrial Fibrillation	Ectopic Atrial Tachycardia Multifocal Atrial Tachycardia	Some Ectopic Atrial Tachycardia
AV Junction	AVNRT	Junctional Ectopic Tachycardia	
Ventricle	Fascicular Ventricular Tachycardia	Focal Ventricular Tachycardia	Some Focal Ventricular Tachycardia Torsade de Pointes
AV Accessory Pathways	AVRT Orthodromic AVRT PJRT Antidromic AVRT Atrio-fascicular Mahaim		

AV, atrioventricular; AVNRT, atrioventricular nodal reentrant tachycardia; AVRT, atrioventricular reentrant tachycardia; IART, intra-atrial reentrant tachycardia; PJRT, permanent junctional reciprocating tachycardia

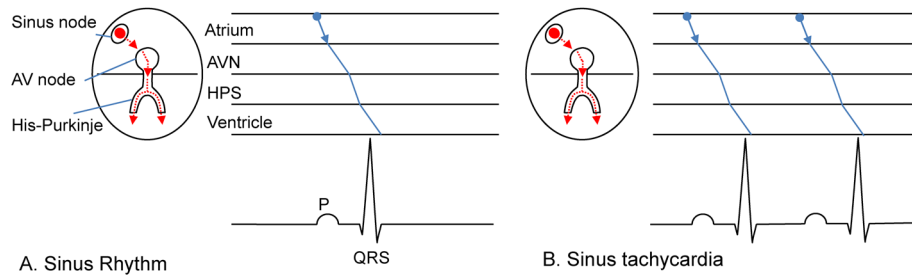


Fig. 1 Electrocardiogram and Laddergram

Sinus rhythm (A), and sinus tachycardia (B). AVN, atrioventricular node; HPS, His-Purkinje system

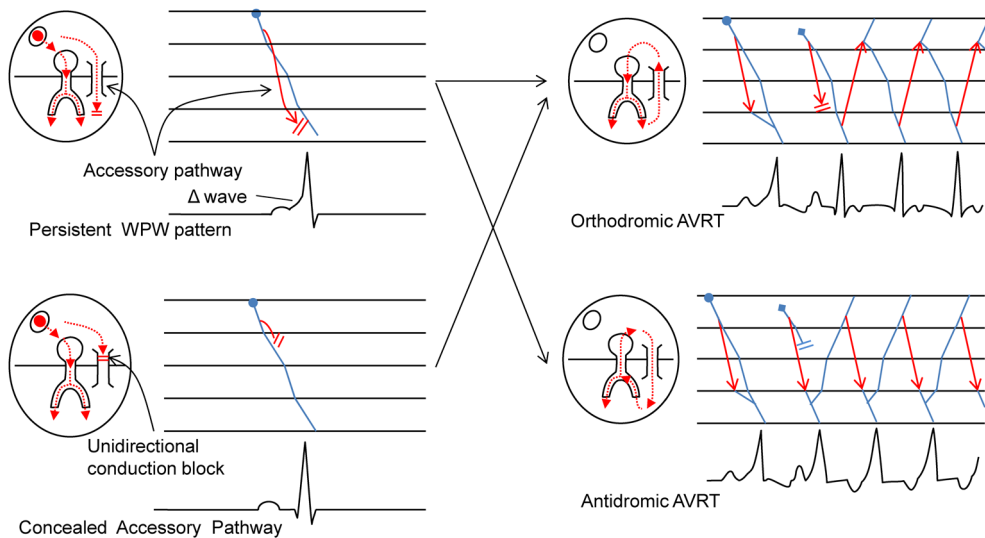


Fig. 2 Accessory pathway and atrioventricular reciprocating tachycardia

AVRT, atrioventricular reciprocating tachycardia; PJRT, permanent form of junctional reciprocating tachycardia

III. 上室頻拍の機序

古典的な記述法ではあるが、本稿では laddergram (Fig. 1) を用いて SVT の機序を解説する。上段から心房、房室結節、His-Purkinje 系、心室に並べ、心筋興奮の過程を図示化したものである。興奮伝搬が速い部位では傾斜が大きく、遅い部位では傾斜が小さくなる。

1. 房室回帰性頻拍 (Atrioventricular Reciprocating Tachycardia: AVRT) (Fig. 2)

一般に順行性または逆行性のいずれかの房室伝導に房室副伝導路を含む頻拍を指す。房室結節を順行伝導し、房室副伝導路を逆行伝導する正方向性 AVRT (Orthodromic AVRT) と、房室結節を逆行伝導し、房室副伝導路を順行伝導する逆方向性 AVRT (Antidromic AVRT) とがある。房室副伝導路は房室結節に比べて一般に伝導が速く、洞調律時に房室結節を介

する心室興奮より早期に副伝導路付着部位の心室を興奮させる (preexcitation) ために、心電図で QRS 波の直前にスラー (いわゆるデルタ波) を形成し、その心電図変化は WPW pattern (または WPW ECG pattern) と呼ばれる⁸⁾。房室副伝導路 (いわゆる“Kent 束”) 以外の①右房-束枝、②房室結節-心室、③房室結節-束枝、④束枝-心室の間での副伝導路でも Pre-excitation により、WPW pattern を呈することがある。歴史的には、房室副伝導路により WPW pattern を呈し、頻拍を来すものを“WPW 症候群”として報告されてきたが^{8,9)}、その呼称は欧米では使用されない傾向にあり、WPW pattern を呈する疾患の総称として心室早期興奮症候群 (Preexcitation syndrome) と記載されることが多い。日本においては、① WPW pattern を呈するものを顕性 WPW 症候群と呼ぶだけでなく、②房室伝導路により WPW pattern を呈するが頻拍を来さないもの (無症候性 WPW 症候群)、③房室副伝導路の順行伝導が間欠的であるもの (間

欠性 WPW 症候群), ④房室副伝導路が逆行伝導のみで WPW pattern を呈さないもの (潜在性 WPW 症候群), ⑤房室副伝導路以外の副伝導路により WPW pattern を呈するものなども含めて, 広義の WPW 症候群に含めることがあり, 用語の解釈に注意が必要である。

副伝導路の伝導特性, 位置により出現する不整脈は異なり, 各々の患児においてどのような臨床像となるかを想定しておく必要がある。通常の房室副伝導路は房室結節に比べて伝導速度が速く, 減衰伝導特性をもたない。房室副伝導路は順行・逆行のいずれかが伝導しないものや, 両方向のものがある。順行伝導のないものは心電図では preexcitation はないが, 逆行伝導のために正方向性 AVRT の原因となり, AVRT with concealed accessory pathway と記載されるが, 以前より使用される潜在性 WPW 症候群とほぼ同義である。房室副伝導路の伝導特性, 房室結節の伝導特性, 心臓のサイズ, トリガーとなる期外収縮の出現頻度は年代により変化するため, AVRT の出現頻度が年代で変化すると考えられている^{10,11)}。小児においては房室結節を介する伝導が比較的速いために, 房室副伝導路の順行伝導があってもデルタ波が目立たずに見逃されることがある。特に左側壁に房室副伝導路がある場合には, short PQ とはならず, 小さなデルタ波だけが観察されることもある。また, 順行伝導の不応期が短い房室副伝導路を有する顕性 WPW 症候群では心房細動出現時に過剰に心室への刺激が伝わり, いわゆる“偽性心室頻拍”を来し致死的となることがある。

Pediatric and Congenital Electrophysiology Society のステートメントでは, 頻拍がなくても WPW pattern を呈する症例においては房室副伝導路の伝導特性を調べて, リスク評価することが推奨されている¹²⁾。学校検診で発見されることの多い束枝—心室副伝導路 (Fasciculo-ventricular pathway) では WPW pattern を呈するが, 頻拍は来さない¹³⁾。また, 稀ではあるが, 顕性 WPW 症候群の一部では preexcitation による心室内同期不全から心機能低下を来す症例も報告されている¹⁴⁾。また, 逆行性のみ伝導し, 伝導速度が遅く, 減衰伝導特性を有する特殊な房室副伝導路を持つ症例ではインセサント型に頻拍を呈する PJRT を来すことがある¹⁵⁾。PJRT は頻拍として比較的遅いために, 頻拍の存在に気づかれずに持続することとなり, TIC の原因となりうる^{7,16)}。複数の房室伝導路を有する症例では, それらの複数の副伝導路を介しての複雑な房室回帰性頻拍を来すことがある。

WPW 症候群は学校心臓検診で遭遇することが多

く, その頻度は 0.15% と報告されているが, 調査の対象により大きく異なる。房室副伝導路の成因は諸説あるが, 発生学的異常によるものであり, WPW 症候群は先天性心疾患の範疇にあると考えられている。心臓の発生の初期段階では心房と心室の心筋は連続しているが, 徐々に心房と心室の間は線維組織で電氣的に隔離される。その過程の異常で残存した心房と心室で連続する心筋線維が房室副伝導路であると推測されている^{17,18)}。三尖弁輪形成の異常である Ebstein 病では房室副伝導路の合併が多く (20%)¹⁹⁾, 複数の房室副伝導路をもつこともある。弁輪付近の横紋筋腫や, 肥大型心筋症や左室心筋緻密化障害での房室副伝導路の合併も報告されているが, その機序は不明な点が多く, 後天的な要素も含まれると推測されている²⁰⁾。

2. 房室結節回帰性頻拍 (Atrioventricular Nodal Reentrant Tachycardia: AVNRT) (Fig. 3)

古典的には房室結節内での縦解離による房室結節二重伝導路 (遅伝導路 Slow pathway (SP) と速伝導路 Fast pathway (FP)) 間でのリエントリー性頻拍と考えられていたが, 実際の頻拍回路は不明な点が多い。房室結節周囲の解剖学的構造は複雑で, 個人差が大きい。心内の詳細なマッピングにより, 房室結節内 (Compact AV node 内) だけでなく周辺の心房組織も含めたリエントリー回路が想定されている²¹⁾。頻拍は学童以降に出現することが多く, 成長による解剖学的変化²²⁾とトリガーとなる期外収縮の出現頻度の増加によりリエントリーが成立しやすい状況になるためと考えられている。AVNRT 以外の不整脈での小児患者に対する心臓電気生理検査によるデータでは 15~40% で房室結節二重伝導路を有するが²³⁾, 全例で AVNRT を来すわけではない。そのため房室結節二重伝導路自体は必ずしも異常な構造物ではないと考えられている。

通常型 AVNRT では SP を順行伝導し, FP を逆行伝導するために Short RP' 型頻拍 (後述) を呈する (Slow/Fast 型)。FP を順行伝導し SP を逆行伝導する Fast/Slow 型 AVNRT は Long RP' 型頻拍 (後述) となり, 非通常型 AVNRT と呼ばれる。また通常の SP や FP とは異なる部位で遅い伝導特性を持つ伝導路との間でリエントリー回路を形成することがあり, Slow/Slow 型 AVNRT と分類される頻拍も存在する²¹⁾。SP と FP のリエントリー回路より下位で心室への順行伝導が機能性にブロックされると, 2:1 房室ブロックを呈することがある。また, 房室結節二重伝導があることで, 心房からの刺激が心室に二重に入ることがあり

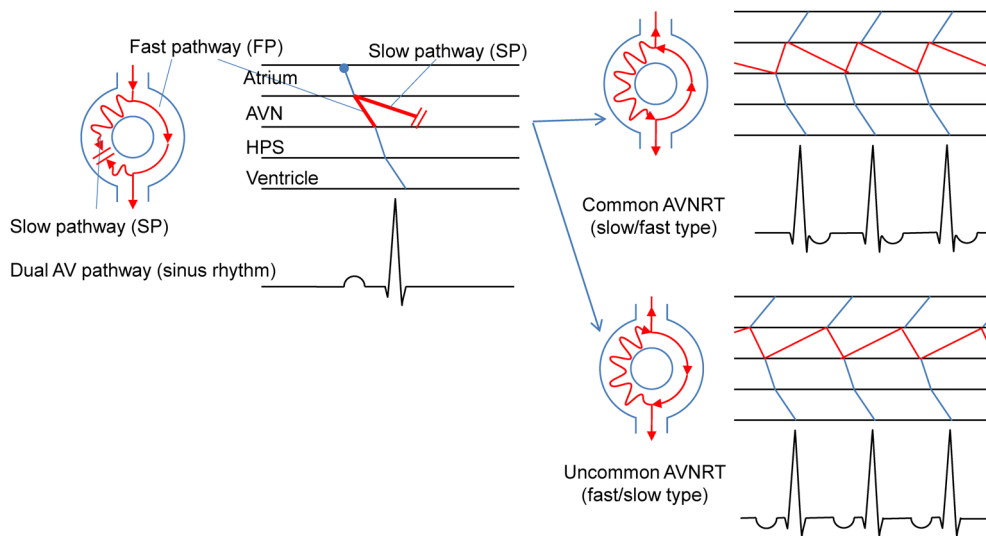


Fig. 3 Dual atrioventricular pathway and atrioventricular nodal reentrant tachycardia
AVNRT, atrioventricular nodal reentrant tachycardia; FP, fast pathway; SP, slow pathway

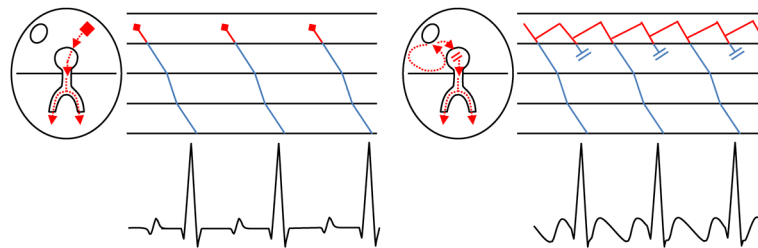


Fig. 4 Ectopic AT and Atrial Flutter

(Ventricular double response), 洞調律時でも頻拍を呈することがある。

3. 異所性心房頻拍 (Fig. 4)

心房頻拍は施設や文献により分類や呼称が大きく異なる。ここでは心房の1か所の部位を起源とする心房頻拍 (異所性心房頻拍: EAT) について述べる。EATは異常自動能, トリガードアクティビティやマイクロリエントリーによるものがある。成人においてはEATは分界陵, 房室弁輪付近, 静脈と心房の接合部付近を起源とするものが多いが, 下大静脈を起源とするものは稀である²⁴⁾。小児においては上記に加え心耳起源のものが多く, 頻拍自体は遅く, 持続することでTICの原因となる症例もあり注意が必要である^{5,6)}。

IV. 心電図診断

診断の第一歩は頻拍の存在を認識し, 心電図を記録することである。前述のように, 年少児においては動悸以外の症状が初発症状となることが多い。心電図を

確認すれば上室頻拍の有無は容易に判断できるが, その後の有効な治療に繋ぐため, より詳細な診断が必要である。頻拍時心電図のみから診断しようとせず, 臨床経過, 安静時や頻拍停止時の心電図なども合わせて総合的に判断することで, 正確な診断に近づくことができる。

1. Narrow QRS 頻拍

上室頻拍の多くは, His-Purkinje 線維を順行性伝導するため, 洞調律時と同様のQRS幅の狭い頻拍を呈し, Narrow QRS 頻拍と呼ばれる。心電図による診断の手順を示す。前述のAVRT, AVNRT, EAT以外にも洞性頻脈 (Sinus Tachycardia), 不適切洞頻脈 (Inappropriate Sinus Tachycardia), 洞結節リエントリー頻拍 (Sinus Nodal Reentry Tachycardia), 心房細動 (Atrial Fibrillation: AF), 心房粗動 (Atrial Flutter: AFL), 接合部頻拍 (Junctional Ectopic Tachycardia: JET), 心室頻拍 (Ventricular Tachycardia: VT) なども鑑別する必要がある。

① P 波の同定

頻拍時心電図のみでは P 波の同定が困難なことは多く、洞調律時の心電図があれば必ず比較する。QRS や T 波と重なり、ノッチとして認識されることも多い。P 波の確認が困難な場合には、経食道リードを用いるとわかりやすいことがある。

② P 波の波形

心房細動や心房内のマクロリエントリー性頻拍である心房粗動以外では、基本的には心房の興奮は 1 か所の心房筋から周囲に拡がるように伝播するため、P 波の波形により心房のどの部位が最初に興奮したかをある程度推測することができる。房室副伝導路を逆行伝導する正方向性 AVRT では、房室副伝導路の心房への付着位置により P 波の波形が異なる。下壁誘導 (II, III, aVF 誘導) で陰性 P 波は AVNRT や後中隔の房室副伝導路を介する AVRT での心房への逆行性 P 波の可能性が高い。下壁誘導で陽性 P 波では AVRT よりも EAT の可能性が高く、AVNRT はほぼ否定的である。AVRT で左自由壁の房室副伝導路では I 誘導で陰性 P 波、右自由壁の房室副伝導路では I 誘導で陽性 P 波かつ V1 誘導で陰性 P 波となる。EAT においても頻拍の起源により P 波の波形が異なり、洞調律の P 波と類似した波形であれば洞性頻脈か、洞結節近くの心房を起源とする EAT と考えられる。

③ P 波と QRS 波の数の関係

心房と心室の両方を頻拍回路に含む AVRT は P 波と QRS 波の数は 1:1 となる。房室結節での伝導が良好な小児においては多くの頻拍で 1:1 となることが多いが、房室伝導の特性によってはその比率が異なってくる。一部の AVNRT ではリエントリー回路より下位の部位での伝導ブロックにより 2:1 で房室伝導することがある。EAT, AFL では心房の頻拍周期が短いと、全ての心房の興奮は心室には伝わらず 2~4:1 となることがある。逆に <1:1 となる場合、つまりは心室の興奮が心房の興奮よりも多い頻拍では JET や VT を考慮する。

④ P 波と QRS 波の時間の関係

QRS 波から次に出現する P 波までの間隔である RP' 間隔を PR 間隔と比較する。RP' 間隔が PR 間隔より短い場合は Short RP' 型頻拍、長い場合は Long RP' 型頻拍と呼ばれる。多くの房室副伝導路を逆行伝導する正方向性 AVRT では QRS 波の少し後に逆行性 P 波が出現するために、RP' 間隔は PR 間隔より短く、Short RP' 型頻拍を呈する。SP を順行伝導し、FP を逆行伝導する通常型 AVNRT では RP' 間隔が短く、逆行性 P 波が QRS 波に埋没して観察できないこともある。ま

た、QRS 波に逆行性 P 波が一部重なり、QRS 波の一部と見えることから、V1 誘導での Pseudo R' 波、下壁誘導での Pseudo S 波を形成することがある。伝導特性によっては P 波が QRS に先行することもあり、下壁誘導で Pseudo Q 波を呈することがある。EAT では P 波に引き続き QRS 波が出現し、P 波は先行する QRS 波には依存しないため、RP' 間隔は変動するが、一般に Long RP' 型頻拍となる。ただし、1 度房室ブロックを合併していると、P 波に引き続く QRS 波よりも先行する QRS 波のほうが近くなると Short RP' となることもある。伝導の遅い特殊な房室副伝導路を逆行する PJRT や、速伝導路 Fast pathway (FP) を順行伝導して遅伝導路 Slow pathway (SP) を逆行伝導する非通常型 AVNRT では、QRS 波から次の逆行性 P 波が出現するまでに時間を要するために Long RP' 型頻拍となる。

⑤ 頻拍の開始 (Table 2)

突然に頻拍が開始する場合はリエントリーを頻拍機序とすることが多く、心房期外収縮で PR 延長とともに開始する場合は AVNRT の可能性が高く、心室期外収縮で開始する場合は AVRT の可能性が高い。期外収縮や PR 延長がない場合は EAT や PJRT の可能性が高い。異常自動能を頻拍機序とする場合には徐々に速くなる、いわゆる "Warm up" で頻拍開始することが多い。

⑥ 頻拍の停止 (Table 2, Fig. 5)

突然に頻拍が停止する場合はリエントリー性頻拍である AVRT か AVNRT の可能性が高い。異常自動能による EAT では徐々に遅くなる、いわゆる "Cool down" で頻拍は停止する。

⑦ 脚ブロックの出現

頻拍中に左脚ブロック、または右脚ブロックとなり、頻拍周期が延長した場合は同側の房室副伝導路を逆行伝導する AVRT が示唆される (Coumel 現象)。

⑧ アデノシン三リン酸 (Adenosine Triphosphate: ATP) への反応 (Table 2)

急速静注することで、房室伝導を一時的に遮断し頻拍を停止させるだけでなく、洞調律も徐拍化させ (Fig. 5A)、一部の ATP 感受性 EAT では停止効果を有するものがある。正方向性 AVRT では房室ブロックで停止し (Fig. 5B)、AVNRT は多くは房室ブロックだが、心房ブロックのいずれでも停止する (Fig. 5C)。ATP 非感受性 EAT では一過性に房室ブロックを来し、頻拍は停止せず、房室ブロック出現時に異常な P 波が顕性化する (Fig. 5D)。新生児では心室頻拍でも比較的 QRS 幅が狭く、上室頻拍と判断されることがある。一

Table 2 Characteristics of tachycardia

	Onset	Heart rate	Termination	Response to adenosine triphosphate
Sinus Tachycardia	Warm up	Varies slightly with respiration and activity	Cool down	Transient slow down without termination
EAT	Warm up	Nearly constant	Cool down	Transient slow down and/or AV block without termination*
Atrial flutter/IART	Sudden	Nearly constant	Sudden	Persistent tachycardia with transient AV block
AVRT	Sudden	Nearly constant	Sudden	Terminate with AV block
AVNRT	Sudden	Nearly constant	Sudden	Terminate with AV block or VA block
JET	Warm up	Varies slightly with respiration and activity	Cool down	Transient slow down without termination*

*Some EAT and JET due to triggered activity can slow down and terminate

AVNRT, atrioventricular nodal reentrant tachycardia; AVRT, atrioventricular reciprocating tachycardia; IART, intra-atrial reentrant tachycardia; JET, junctional ectopic tachycardia

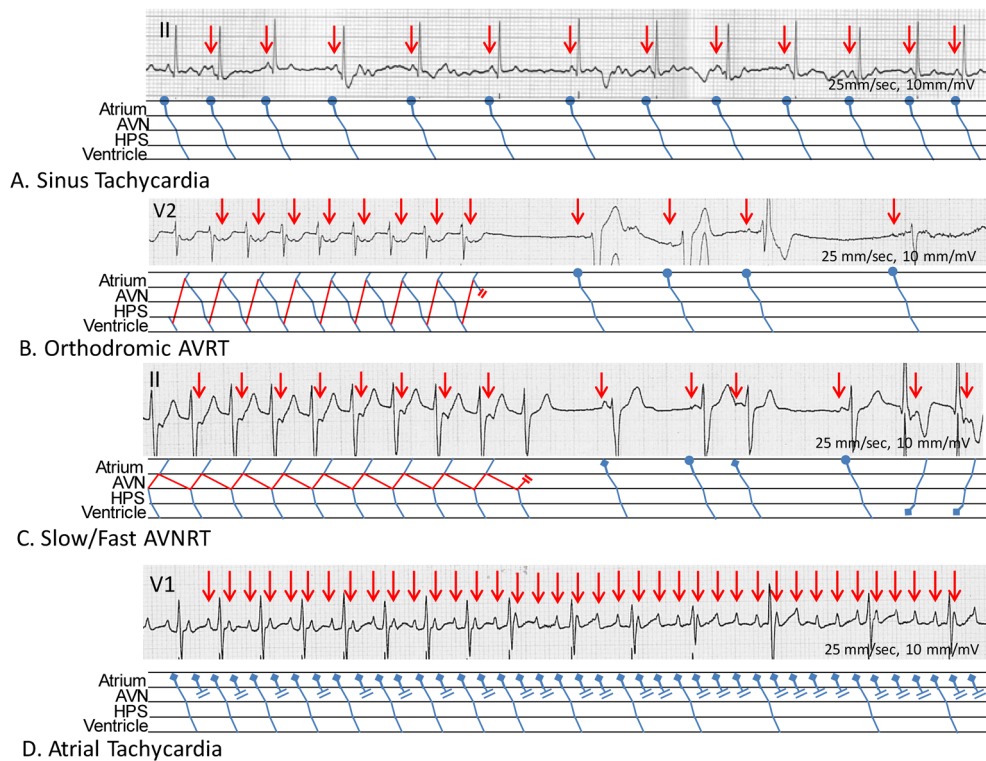


Fig. 5 Response to adenosine triphosphate

P wave preceding QRS complex slow down without atrioventricular block, and accelerate again (A). Tachycardia terminated abruptly with AV block (B). Tachycardia terminated abruptly with VA block (C). Tachycardia slowed down transiently with 3-4:1 AV block while atrial rate did not slow (D).

部の心室頻拍では ATP で頻拍自体が停止し、一部では頻拍は停止しないが室房伝導がブロックされ、逆行性 P 波が一過性に消失することがある。

※ ATP 急速静注による診断の注意点

胸部違和感、顔面紅潮などの副作用は不快感が強いが半減期は短く、一過性である。ATP 投与で誘発される心房期外収縮、心室期外収縮により SVT が停止することがあり、一方でトリガーとなり次の頻拍を誘

発することがある。ATP 急速静注による診断は得られる情報が多く、臨床的には非常に有用である。未診断例においては、重症喘息などの既往がなければ、積極的に実施することを薦めたい。有効な検査を施行するための注意点をあげる。

①十分な量を、急速静注する

国内で利用できる薬剤は ATP 製剤（アデホス®）であり、海外で使用する Adenosine 製剤（Adeno-

card[®], Adenoscan[®])とは異なるものである。ATPが血中で代謝されて Adenosine となるが、不整脈に対する作用機序は迷走神経への影響などが Adenosine とは若干異なる²⁵⁾。多くの経験から SVT に対する ATP の有効性は明らかであるが、本邦においては頻拍停止を目的とした ATP 投与の保険適応はない。投与量についてのエビデンスは乏しく、見解は一定ではない。各施設で投与量が異なるが、0.2~0.4mg/kg から開始し、効果がなければ倍量に増量する施設が多いようである。一過性に房室ブロックを来す、または徐拍化するだけの十分な量まで増やすことが重要である。実際には投与法に慣れていない為に徐々に静注されてしまうケースも多い。血中に投与された ATP は容易に代謝され失活するので、ダブルシリンジ法などを用いて急速に静注し、十分量の生理食塩水などで後押しフラッシュするなど、投与法に工夫が必要である。

②必ず心電図を記録する

ATP が適切な方法で十分量で投与されていれば、頻拍が必ずしも停止しなくても、通常は前述のように種々の心電図での変化を来す。また、ATP で頻拍停止した直後に頻拍が再発した場合にも ATP 不応として判断されてしまうことがある。その場で正確な診断ができなくても、後から見直すことで多くの頻拍が診断可能であるため、心電図の記録は必ず残す必要がある。

上記の注意点については、実際に救急外来で頻拍患者に対応する研修医を含め、施設として小児循環器を専門としない医師に対しても周知しておくことが重要である。

2. Wide QRS を呈する SVT

QRS 幅の広い頻拍は Wide QRS 頻拍と呼ばれ、VT であることが多いが、一部で SVT が含まれる。変行伝導を伴う SVT、房室副伝導路を順行伝導し房室結節を逆行伝導する逆行性 AVRT などである。小児では VT では房室解離がなく、1:1 で室房伝導を呈することも多い。

3. WPW 症候群における副伝導路の位置推定

顕性 WPW 症候群の QRS 波形は、房室結節を介した通常の心室興奮と、副伝導路の心室付着部位から拡がる異常な心室興奮との融合波である。デルタ波は三尖弁輪または僧帽弁輪起源の心室期外収縮の初期成分と一致することから、デルタ波の形態により副伝導路の位置推定が可能となる。房室副伝導路の位置を推

定するのに、古典的には Rosenbaum 分類が有名で、V1 誘導での QRS 波が R または Rs パターンは A 型で房室副伝導路は左側、rS パターンのものは B 型で房室副伝導路は右側に存在するとされている²⁶⁾。V1 誘導で QS パターンの場合は房室副伝導路は中隔に存在することが多く、それを C 型として前述の A, B 型に加え 3 パターンに分けた上田分類も日本独自の概念だが、房室副伝導路の位置推定に有用である²⁷⁾。小児においても、成人のデータから Arruda らが考案した V1 の QRS 波形と、各誘導でのデルタ波の初期成分 (20ms) の極性を用いるアルゴリズム²⁸⁾ が利用されることが多い。他にもいくつかのアルゴリズムが考案されているが²⁹⁾、体格の異なる小児や先天性心疾患に合併するものでは正確性を欠くとの報告もあり^{30,31)}、解釈には注意が必要である。

V. 急性期治療

SVT の治療は、頻拍発作時に対応する急性期治療、発作が起こらないようにする予防的治療、カテーテルアブレーションによる根治的治療に分けられる。さらに急性期治療は、頻拍自体を停止させて洞調律に戻すリズムコントロールと、頻拍自体は停止させないが心拍数自体を減らし症状を和らげるレートコントロールに分けられる。日本循環器学会のガイドライン³²⁾、欧州心臓病学会のステートメント²⁾では抗不整脈薬選択の推奨度、エビデンスレベルが提示されているが、小児の SVT の治療においては高いエビデンスレベルのデータに基づく治療法は確立されていない (Table 3)。有効な治療選択のためには、常に治療の標的が何であることを意識する必要がある。正確な診断が不可欠である。AVRT は房室結節または房室副伝導路が治療の標的となり、AVNRT では房室結節が治療の標的となる。EAT は機序が様々であり、症例によって有効な治療が大きく異なる。頻拍を停止させる急性期治療としては、血行動態が安定していれば、まずは迷走神経刺激を試み、停止しなければ薬物治療に移行するのが一般的である。未診断例についてはライン確保が必要だが、ATP 急速静注による診断的治療を行うことが有用である。

1. 迷走神経刺激…息ごらえ (Valsalva 法)、顔面冷却 (アイスバグ法) などの方法がある。眼球圧迫、頸動脈マッサージは合併症のリスクが高いために行ってはならない。Valsalva 法は胸郭の内圧を変動させて迷走神経反射を来し、房室結節での伝導を一過性に抑える方法であり、SVT を繰

Table 3 Acute therapy of supraventricular tachycardia in infants and children

Drug/Intervention	EHRA/AEPC 2013			JCS 2013			
	Dosage	Class	Level	Dosage	Arrhythmia	Class	Level
Vagal maneuvers	For infants: ice immersion, gastric tube insertion For older children: Valsalva, head stand	I	B	Ice immersion, Valsalva		IIa	C
Adenosine triphosphate				0.1–0.3 mg/kg	AVRT AVNRT EAT	IIa IIa IIa	C C C
Adenosine	For infants: 0.15 mg/kg For > 1 year of age: 0.1 mg/kg	I	B				
Verapamil	0.1 mg/kg slowly over 2 min	I	B	0.1–0.2 mg/kg over 5 min	AVRT AVNRT	IIa IIa	C C
Flecainide	1.5–2 mg/kg over 5 min	IIa	B	1–2 mg/kg over 5 min	AVRT EAT	IIa IIb	C C
Amiodarone	Loading: 5–10 mg/kg over 60 min Maintenance: 5–15 μ g/kg/min	IIb	B	Loading: 5 mg/kg over 30 min Maintenance: 10 mg/kg/day	EAT	IIb	C
Transesophageal overdrive pacing		I	B				

り返す小児においては、自然と身に着けていることがある。成人において、息ごらえに加えて仰向けで下肢挙上を加える“修正 Valsalva 法”で、高率に頻拍停止が可能であったと報告されている³³⁾。小児においても手技の工夫次第で頻拍をより高率に停止できる可能性がある³⁴⁾。

- 薬物治療…①房室結節、②副伝導路での伝導を抑える、または③異常自動能・トリガードアクティビティを抑えることで頻拍を停止させる。房室結節の伝導を抑える薬物として ATP、Ca チャネル遮断薬、 β 遮断薬、ジギタリスなどが用いられ、副伝導路の伝導を抑える薬物として Na チャネル遮断薬、K チャネル遮断薬が用いられる。AVRT や AVNRT、さらに未診断例においても、多くの症例は適切に投与された ATP 投与で頻拍停止が可能である。しかし、ATP 投与で一旦停止してもすぐに再発してしまう症例や、ATP では停止しない症例については second line の抗不整脈薬選択が必要となる。異常自動能・トリガードアクティビティを機序とする EAT は薬剤抵抗性のことが多く、Na チャネル遮断薬、K チャネル遮断薬で頻拍の停止（リズムコントロール）が困難な場合は、Ca チャネル遮断薬や β 遮断薬、ジゴキシンによる房室伝導抑制を行い、心拍数を抑えるレートコントロールを行うこともある。抗不整脈薬は基本的に心機能を低下させる副作用を持つので、心機能低下例では薬物選択に注意を要する。特に、Ca チャネル遮断薬は新生児期、乳児期早

期には心停止を来す可能性があるので投与は禁忌である。

本邦で開発された β 1 選択性の高い超短時間作用型 β 遮断薬である塩酸ランジオロールは、心機能低下のある症例でも比較的安全に使用でき、小児においても周術期の頻拍に対する使用が報告されている³⁵⁾。現在、心機能低下を有する小児の頻拍に対しての効果を検証するため、国内での多施設共同研究が進行中である³⁶⁾。

呼吸抑制の少ない鎮静薬として使用される α 2 アドレナリン受容体作動薬であるデクスメデトミジンは機序が不明な点も多いが、抗不整脈作用があることが知られている。特に周術期に使用することで、術後の JET の抑制に有効であることが相次いで報告されている。また、小児のリエントリー性 SVT の停止に有効であったとの研究報告もあり³⁷⁾、抗不整脈薬としての使用法の確立が期待される。

- DC カルディオバージョン…血行動態が不安定な場合には、直ちに直流通電による同期下カルディオバージョンを速やかに施行する（0.5～1 J/kg）。リエントリー、トリガードアクティビティによる SVT では停止が得られることが多いが、異常自動能による SVT には無効である。
- 食道ペーシング…専用の食道ペーシング用のカテーテル、高出力の体外式ペースメーカーが必要だが、食道を介して心房に対するオーバードライブペーシングを行う。リエントリーによる SVT

に対しては有用であることがある³⁸⁾。

VIII. おわりに

小児に対する高周波カテーテルアブレーション治療が開始され30年近く経過し、SVTのほとんどが根治可能となっている。この間の医療技術の進歩は目覚ましく、3次元マッピングシステム、ロボットナビゲーション、イリゲーションカテーテル、冷凍凝固アブレーション、多点同時マッピングなどが開発され、より効率的で安全な治療が可能となってきている。同時に、心臓電気生理検査での詳細な心内マッピングにより、体表心電図では知り得なかったAVNRTなどの複雑な頻拍回路が徐々に解明されてきた。一方でSVTの心電図診断については目新しい進歩はないが、心電図は不整脈診断の基本となる欠かせない検査であることに変わりはない。心電図から得られる情報は多く、背景にある頻拍回路を想定しながら心電図波形をじっくりと観察し、診断を進めていただきたい。本稿が小児SVTの心電図診断の理解の一助になれば幸いである。

利益相反

本論文について、開示すべき利益相反(COI)はない。

引用文献

- 住友直方, 岩本真理, 牛ノ濱大也, ほか: 小児不整脈の診断・治療ガイドライン. 日小児循環器会誌 2010; Suppl: 1-62
- Brugada J, Blom N, Sarquella-Brugada G, et al: European Heart Rhythm Association; Association for European Paediatric and Congenital Cardiology: Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEPC-Arrhythmia Working Group joint consensus statement. *Europace* 2013; **15**: 1337-1382
- Walsh EP: Clinical Approach to Diagnosis and Acute Management of Tachycardias in Children, in Walsh EP, Saul JP, Triedman JK (eds): *Cardiac Arrhythmias in Children and Young Adults with Congenital Heart Disease*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001, pp95-113
- Ko JK, Deal BJ, Strasburger JF, et al: Supraventricular tachycardia mechanisms and their age distribution in pediatric patients. *Am J Cardiol* 1992; **69**: 1028-1032
- Toyohara K, Fukuhara H, Yoshimoto J, et al: Electrophysiologic studies and radiofrequency catheter ablation of ectopic atrial tachycardia in children. *Pediatr Cardiol* 2011; **32**: 40-46
- Sakaguchi H, Miyazaki A, Yamamoto M, et al: Clinical characteristics of focal atrial tachycardias arising from the atrial appendages during childhood. *Pacing Clin Electrophysiol* 2011; **34**: 177-184
- Kang KT, Potts JE, Radbill AE, et al: Permanent junctional reciprocating tachycardia in children: A multicenter experience. *Heart Rhythm* 2014; **11**: 1426-1432
- Cohen MI, Triedman JK, Cannon BC, et al: Pediatric and Congenital Electrophysiology Society (PACES); Heart Rhythm Society (HRS); American College of Cardiology Foundation (ACCF); American Heart Association (AHA); American Academy of Pediatrics (AAP); Canadian Heart Rhythm Society (CHRS): PACES/HRS expert consensus statement on the management of the asymptomatic young patient with a Wolff-Parkinson-White (WPW, ventricular preexcitation) electrocardiographic pattern. *Heart Rhythm* 2012; **9**: 1006-1024
- Wolff L, Parkinson J, White PD: Bundle-branch block with short P-R interval in healthy young people prone to paroxysmal tachycardia. *Am Heart J* 1930; **5**: 685-704
- Deal BJ, Keane JF, Gillette PC, et al: Wolff-Parkinson-White syndrome and supraventricular tachycardia during infancy: Management and follow-up. *J Am Coll Cardiol* 1985; **5**: 130-135
- Perry JC, Garson A Jr.: Supraventricular tachycardia due to Wolff-Parkinson-White syndrome in children: Early disappearance and late recurrence. *J Am Coll Cardiol* 1990; **16**: 1215-1220
- Cohen MI, Triedman JK, Cannon BC, et al: PACES/HRS expert consensus statement on the management of the asymptomatic young patient with a Wolff-Parkinson-White electrocardiographic pattern. *Heart Rhythm* 2012; **9**: 1006-1024
- Suzuki T, Nakamura Y, Yoshida S, et al: Differentiating fasciculoventricular pathway from Wolff-Parkinson-White syndrome by electrocardiography. *Heart Rhythm* 2014; **11**: 686-690
- Tomaske M, Janousek J, Razek V, et al: Adverse effects of Wolff-Parkinson-White syndrome with right septal or posteroseptal accessory pathways on cardiac function. *Europace* 2008; **10**: 181-189
- Saul PJ, Kanter RJ, Abrams D, et al: WRITING COMMITTEE: PACES/HRS expert consensus statement on the use of catheter ablation in children and patients with congenital heart disease: Developed in partnership with the Pediatric and Congenital Electrophysiology Society (PACES) and the Heart Rhythm Society (HRS). Endorsed by the governing bodies of PACES, HRS, the American Academy of Pediatrics (AAP), the American Heart Association (AHA), and the Association for European Pediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Heart Rhythm* 2016; **13**: e251-e289
- Vaksmann G, D'Hoinne C, Lucet V, et al: Permanent junctional reciprocating tachycardia in children: A multicentre study on clinical profile and outcome. *Heart* 2006; **92**: 101-104
- Lunel AA: Significance of annulus fibrosus of heart in relation to AV conduction and ventricular activation in cases of Wolff-Parkinson-White syndrome. *Br Heart J* 1972; **34**: 1263-1271
- Hahurij ND, Gittenberger-De Groot AC, Kolditz DP, et al: Accessory atrioventricular myocardial connections in the developing human heart: Relevance for perinatal supraventricular tachycardias. *Circulation* 2008; **117**:

- 2850–2858
- 19) Hebe J: Ebstein's anomaly in adults. Arrhythmias: Diagnosis and therapeutic approach. *Thorac Cardiovasc Surg* 2000; **48**: 214–219
 - 20) Ichida F, Hamamichi Y, Miyawaki T, et al: Clinical features of isolated noncompaction of the ventricular myocardium: Long-term clinical course, hemodynamic properties, and genetic background. *J Am Coll Cardiol* 1999; **34**: 233–240
 - 21) Nakagawa H, Jackman WM: Catheter ablation of paroxysmal supraventricular tachycardia. *Circulation* 2007; **116**: 2465–2478
 - 22) Waki K, Kim JS, Becker AE: Morphology of the human atrioventricular node is age dependent: A feature of potential clinical significance. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2000; **11**: 1144–1151
 - 23) Cohen MI, Wieand TS, Rhodes LA, et al: Electrophysiologic properties of the atrioventricular node in pediatric patients. *J Am Coll Cardiol* 1997; **29**: 403–407
 - 24) Kistler PM, Roberts-Thomson KC, Haqqani HM, et al: P-wave morphology in focal atrial tachycardia: Development of an algorithm to predict the anatomic site of origin. *J Am Coll Cardiol* 2006; **48**: 1010–1017
 - 25) Pelleg A, Belhassen B: The mechanism of the negative chronotropic and dromotropic actions of adenosine 5'-triphosphate in the heart: An update. *J Cardiovasc Pharmacol* 2010; **56**: 106–109
 - 26) Rosenbaum FF, Hecht HH, Wilson FN, et al: The potential variations of the thorax and the esophagus in anomalous atrioventricular excitation. *Am Heart J* 1945; **29**: 281–326
 - 27) Ueda H, Nameki C, Saruta H, et al: Further studies on the W.P.W. syndrome (Pre-excitation Syndrome) with special reference to the intracardiac and esophageal lead. *Jpn Circ J* 1957; **21**: 361–375
 - 28) Arruda MS, McClelland JH, Wang X, et al: Development and validation of an ECG algorithm for identifying accessory pathway ablation site in Wolff-Parkinson-White syndrome. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1998; **9**: 2–12
 - 29) Boersma L, Garcia-Moran E, Mont L, et al: Accessory pathway localization by QRS polarity in children with Wolff-Parkinson-White syndrome. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2002; **13**: 1222–1226
 - 30) Bar-Cohen Y, Khairy P, Morwood J, et al: Inaccuracy of Wolff-Parkinson-White accessory pathway localization algorithms in children and patients with congenital heart defects. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006; **17**: 712–716
 - 31) Wren C, Vogel M, Lord S, et al: Accuracy of algorithms to predict accessory pathway location in children with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Heart* 2012; **98**: 202–206
 - 32) 佐地 勉, 石川司朗, 越前宏俊, ほか: 循環器病の診断と治療に関するガイドライン (2010–2011 年度合同研究班報告)—小児期心疾患における薬物療法ガイドライン—. 循環器病の診断と治療に関するガイドライン 2013; **2012**: 89–271
 - 33) Appelboam A, Reuben A, Mann C, et al: REVERT trial collaborators: Postural modification to the standard Valsalva manoeuvre for emergency treatment of supraventricular tachycardias (REVERT): A randomised controlled trial. *Lancet* 2015; **386**: 1747–1753
 - 34) Bronzetti G, Brighenti M, Mariucci E, et al: Upside-down position for the out of hospital management of children with supraventricular tachycardia. *Int J Cardiol* 2018; **252**: 106–109
 - 35) Tokunaga C, Hiramatsu Y, Kanemoto S, et al: Effects of landiolol hydrochloride on intractable tachyarrhythmia after pediatric cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2013; **95**: 1685–1688
 - 36) Sumitomo N, Horigome H, Miura M, et al: Heartful Investigators: Study design for control of HEART rate in inFant and child tachyarrhythmia with heart failure using landiolol (HEARTFUL): A prospective, multicenter, uncontrolled clinical trial. *J Cardiol* 2017; **70**: 232–237
 - 37) Chrysostomou C, Morell VO, Wearden P, et al: Dexmedetomidine: Therapeutic use for the termination of reentrant supraventricular tachycardia. *Congenit Heart Dis* 2013; **8**: 48–56
 - 38) Brockmeier K, Ulmer HE, Hessling G: Termination of atrial reentrant tachycardias by using transesophageal atrial pacing. *J Electrocardiol* 2002; **35** Suppl: 159–163