

Review

【特集：日本小児循環器学会第 13 回教育セミナー】

12 誘導心電図でここまで読みたい不整脈

岩本 眞理

済生会横浜市東部病院こどもセンター

Arrhythmia that can be identified with a 12-lead ECG

Mari Iwamoto

Children's Center, Saiseikai Yokohamashi Tobu Hospital, Kanagawa, Japan

The goals for the identification of arrhythmias using a 12-lead electrocardiogram (ECG) are as follows. The detection of a P-wave at 2:1 A-V conduction with an atrial flutter or atrial tachycardia is important. When confronted with a wide QRS tachycardia, it is necessary to determine if the arrhythmia is ventricular tachycardia or supraventricular tachycardia with ventricular conduction delay. The QRS morphology of a ventricular arrhythmia may allow for the site of origin to be determined, which is important information for catheter ablation. Even if there is no arrhythmia in a 12-lead ECG, the proarrhythmic factor can occasionally be identified. Inherited arrhythmias (e.g., LQTS, short QTS, and Brugada syndrome) can be diagnosed with a resting 12-lead ECG; however, in cases of catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia (CPVT), the resting 12-lead ECG is normal. Therefore, an exercise stress ECG and history of syncope are important for diagnosis. Cardiac diseases (e.g., cardiomyopathy) are also important bases of arrhythmia and we can observe abnormalities with a 12-lead ECG, even without an arrhythmia.

Keywords: ventricular arrhythmia, supraventricular tachycardia with conduction delay, inherited arrhythmia, long QT syndrome, cardiomyopathy

12 誘導心電図で不整脈が記録されている場合には、まず不整脈の存在を確定する。2:1 房室伝導が継続している心房粗動や心房頻拍では 12 誘導を細かく見ることで P 波を見つけることが可能になる。また QRS 幅の広い頻拍でも P 波と QRS の関連をみることで心室内変行伝導なのか心室頻拍なのかを鑑別する。心室性不整脈であれば QRS 形態からその起源を推測しアブレーション治療の重要な情報となる。また心電図記録中に不整脈がなくても 12 誘導心電図から不整脈基質を知ることが可能である。不整脈基質に遺伝性不整脈があり、QT 延長症候群・QT 短縮症候群・Brugada 症候群等は 12 誘導心電図から診断可能だが、カテコラミン誘発多型性心室頻拍の安静時心電図は正常であり病歴と運動負荷心電図が必須である。また器質的心疾患に伴った不整脈（心筋症他）では疾患に応じた心電図異常があり不整脈基質として重要である。

はじめに

不整脈の診断は実際に不整脈が出現している時の心電図記録によって確定される。不整脈の発作時の心電図や常に不整脈がある場合、不整脈が頻繁に出現して

いる場合は、心電図での証明はそれほど難渋しない。しかし不整脈発作頻度が少ないと発作時心電図を捉えることは容易でないことがしばしばある。また 12 誘導心電図では洞性脈時の心電図から不整脈基質を予測できる状況が少なからずある。ここでは 12 誘導心電

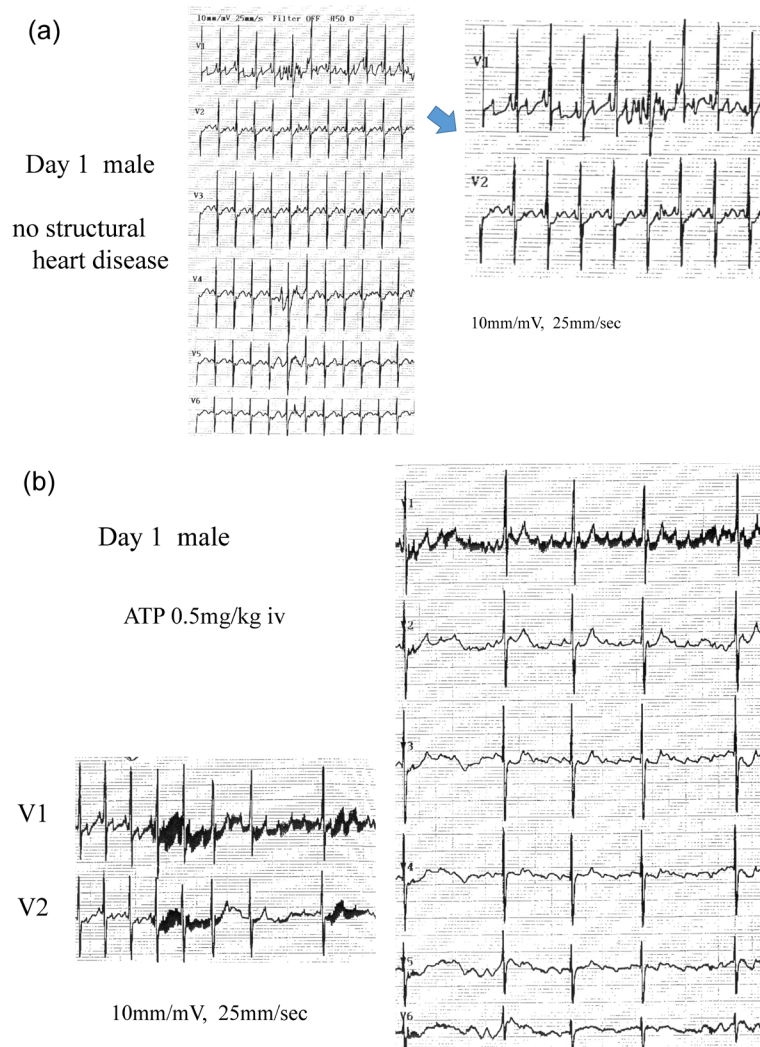


Fig. 1 Atrial flutter

(a) ECG of a 1 day-old male with no structural heart disease. His heart rate was consistently 150bpm during sleep or crying. P waves were prominent at V1 and V2, indicating an atrial flutter with 2:1 A-V conduction. (b) Same case as in Fig. 1(a) following ATP 0.5mg/kg IV, showing the P-wave clearly because of A-V block.

図で不整脈が記録されている場合に何を读むのか、また不整脈が記録されていない場合の不整脈基質の診断について解説していく。

心電図記録中に不整脈のある場合

12誘導心電図からは、以下の3点について見極める。

- 1) 不整脈の確定
- 2) QRS幅の広い頻拍 (wide QRS tachycardia) が心室性不整脈なのか上室性不整脈なのか
- 3) QRS形態から期外収縮・頻拍の起源や副伝導路の位置の推定

1) 不整脈を確定すること

明らかな不整脈や心室性不整脈であれば不整脈の確定は容易であるが、心房性不整脈では不整脈の存在がわかりにくい場合がある。その一例を Fig. 1 に示す。日齢1の男児で生後より 150bpm の脈拍であり、活気良好、血圧・呼吸数は正常範囲で、身体所見に特記すべきことはなかった。脈拍は啼泣時も睡眠時も 150bpm と常に一定であり変動がなかった。モニター心電図では不整脈の存在がわからなかったが、12誘導心電図では V1 と V2 で心房波が 300bpm で 2:1 房室伝導となっていることが示された (Fig. 1a)。他の誘導では心房波が QRS や T 波に隠れてわかりにくいものであった。ATP を急速静注して房室伝導を抑制

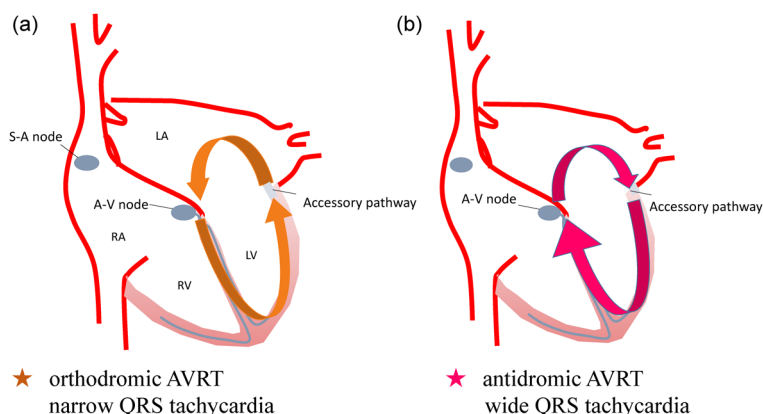


Fig. 2 Patterns of atrioventricular reciprocating tachycardia (AVRT) with WPW syndrome
(a) orthodromic AVRT. (b) antidromic AVRT.

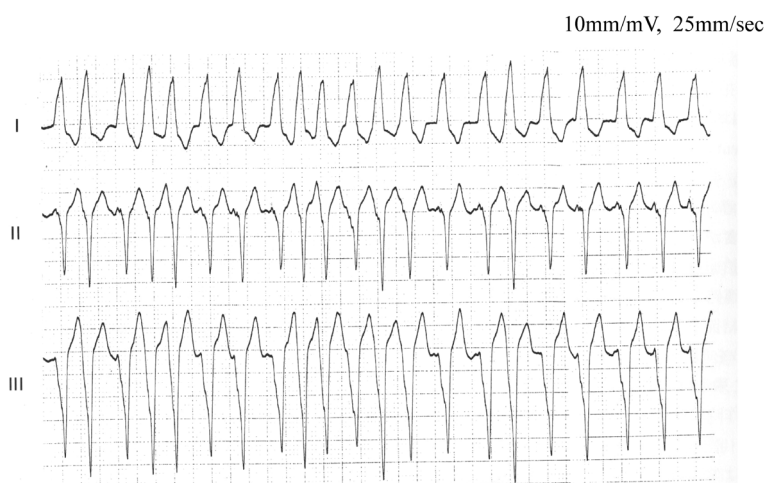


Fig. 3 ECG of atrial fibrillation with WPW syndrome

There is an irregular rhythm with a wide QRS (δ -wave), and small P waves (f wave) occur just prior to an R wave.

すると心房波が顕在化して 300bpm の心房粗動であることがわかった (Fig. 1b). このように心房粗動や心房頻拍で 2:1 房室伝導によって脈拍が安定している場合は、誘導によっては心房波が小さく同定しにくいことがある. このため 12 誘導心電図のすべての誘導の中で心房波の見える誘導を探して診断に至ることが可能となる. しかし P 波が同定しにくい・確定できないことも少なからずあり, この場合は食道誘導心電図記録で心房波を同時記録することが P 波の同定に有用である.

2) QRS 幅の広い頻拍 (wide QRS tachycardia) について

QRS 幅の広い頻拍症の多くは心室性不整脈であるが, 残りは心室内変行伝導を伴う上室性不整脈である. 心室内変行伝導には脚ブロックを伴う場合や副伝

導路を順行伝導する場合などがある. これらは常に認められるとは限らず頻拍の時のみ出現したり (脈拍が速くなると伝導障害が明らかになる場合), 逆に脈が速くなると消失する (顕性 WPW 症候群における順行性副伝導路の不応期より短い RR 間隔の場合に δ 波が消失して narrow QRS 波形になる) こともある. QRS 幅の広い頻拍で上室性または心室性不整脈の鑑別に重要なのは心房波の同定である. 12 誘導心電図ではいずれかの誘導で P 波を探しだす. P と QRS 波の関係をみることによって不整脈が上室性か心室性かを見極める. QRS 幅の広い頻拍で P 波と QRS 波がバラバラで同期していなければ (房室解離の状態であれば) 心室頻拍といえる. WPW 症候群でみとめる房室回帰頻拍 (Atrio-ventricular reciprocating tachycardia: 以下 AVRT) は, 多くが narrow QRS tachycardia で房室結節を通る正常刺激伝導系を下行して副伝導路

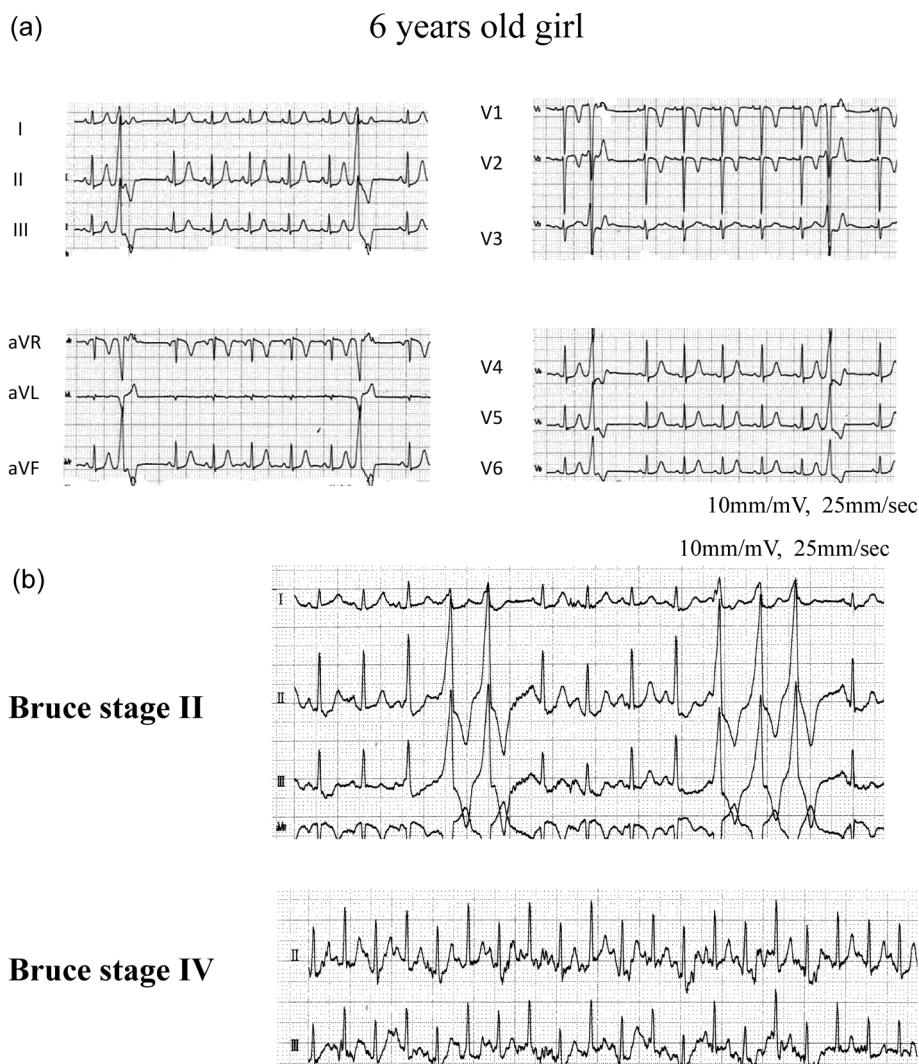


Fig. 4 A case of idiopathic ventricular tachycardia

(a) A 12-lead ECG at rest. The PVC morphology exhibits LBBB and inferior axis pattern with a recognized outflow origin.
 (b) Treadmill exercise test of the same case, short runs of PVC have been seemed during exercise.

を逆行するもので正方向性房室回帰頻拍 (orthodromic AVRT) と呼んでいる (Fig. 2a). またこの逆向き (副伝導路を下行し房室結節を逆行) の場合を反方向性房室回帰頻拍 (antidromic AVRT) と呼び (Fig. 2b), この場合 QRS はデルタ波を呈するので QRS 幅は広い. 両者ともに QRS 波のすぐ後に逆行性 P 波がみられる. また WPW 症候群に伴う心房細動では副伝導路を順行性に通るので不整な QRS 幅の広い (δ 波) 頻脈を呈する (Fig. 3). この場合は心室細動・突然死のリスクがあるので注意が必要であるが, 小児では成人と比べて心房細動の頻度は極めて少ない.

3) 期外収縮・頻拍 (心房・心室) の起源

12 誘導心電図中に期外収縮や頻拍が記録されてい

れば, その形態から不整脈の起源をある程度推測できる. 心室性を例にして解説する. まず心室期外収縮や頻拍の QRS 形態が同一なのか (単形性), 2 種類以上あるのか (多源性・多形性) をみる. QRS 形態から起源を推定する. R 波のベクトルの方向からその起源を推定するのであるが, 例えば下向きベクトルであれば起源は上方, 左向きベクトルであれば起源は右といった具合である. また心電図の単極誘導において QS パターンを示す部位が起源に近いと想定し, aVR で QS パターンであれば右室起源, V6 で QS パターンであれば左室心尖部起源といった具合である. 心室頻拍の例を呈示する.

①左脚ブロック・下方軸タイプの心室頻拍

多くは右室流出路, 一部は左室流出路からの起源で

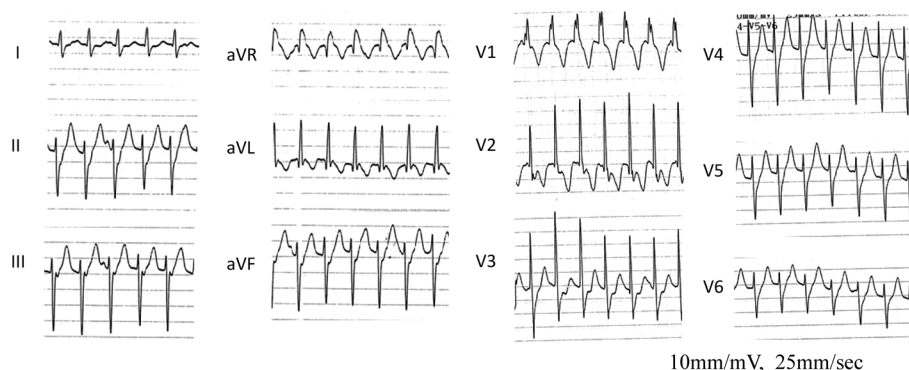


Fig. 5 A case of left ventricular tachycardia, termed verapamil sensitive left fascicular ventricular tachycardia. QRS morphology exhibits RBBB and north-west pattern, and the QRS duration is not as wide.

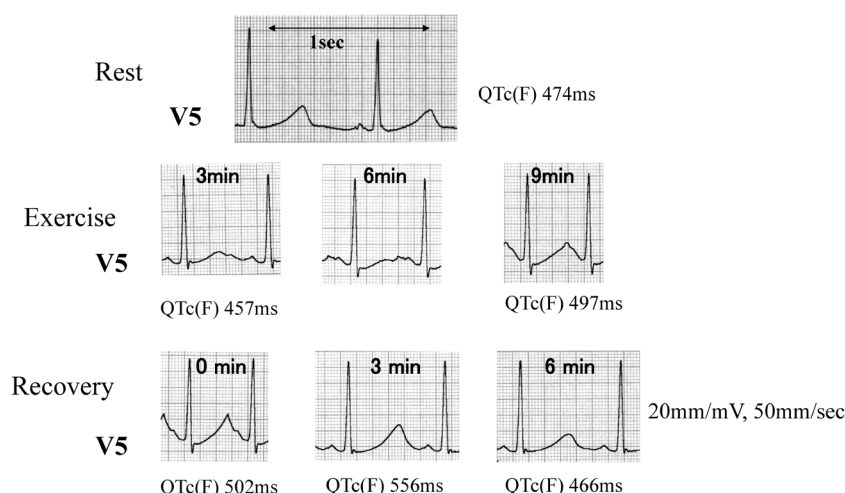


Fig. 6 ECG of a 13-year-old girl with LQT1

She experienced syncope following exercise. QTc during and soon after the exercise test became longer.

あり、器質的疾患がない特発性心室頻拍のうち「流出路心室頻拍」と呼ばれる。QRS 形態によって右室流出路の中隔側・自由壁側、左室流出路・大動脈冠尖・心外膜側等の予測をすることが可能でカテーテルアブレーション時の参考になる。小児や若年期の特発性心室頻拍の大部分を占め予後良好であるが、運動により誘発されることが多い。実例の心電図を呈示する。6 歳女児で学校検診によって心室期外収縮を指摘された。無症状であった。心室期外収縮は単形性で左脚ブロック・下方軸パターンであった (Fig. 4a)。運動負荷心電図では Bruce stage II に 2~3 連発の期外収縮が出現 (心室拍数 150bpm) したが洞性脈が 160bpm 以上になると心室期外収縮は消失した (Fig. 4b)。この間本人の自覚症状はなかった。流出路心室頻拍の約 6 割が数年の経過で自然消失することが知られており¹⁾、一方でカテーテルアブレーションの成績が良

好なので治療適応は個別に検討する。抗不整脈薬では β ブロッカー・カルシウム拮抗薬などが有効であることが多い。

② 右脚ブロック・左軸偏位タイプ心室頻拍

(ベラパミル感受性) 左心室頻拍あるいは束枝心室頻拍とも呼ばれる。機序は左束枝の一部がリエントリー回路に含まれるマクロリエントリーである。90% が左脚後枝で左軸偏位を呈し、10% は左脚前枝で右軸偏位を呈する。多くは持続性心室頻拍である。Fig. 5 に 9 歳女児の実例を呈示するが、回路の中に伝導速度の速いプルキンエ線維が含まれるため心室頻拍時の QRS 幅は比較的狭いのも特徴的である。カテーテルアブレーションでは拡張期の異常プルキンエ電位を指標にする。

③ 副伝導路の位置の推定

心室期外収縮の起源の推定と同様の考え方でおおよ

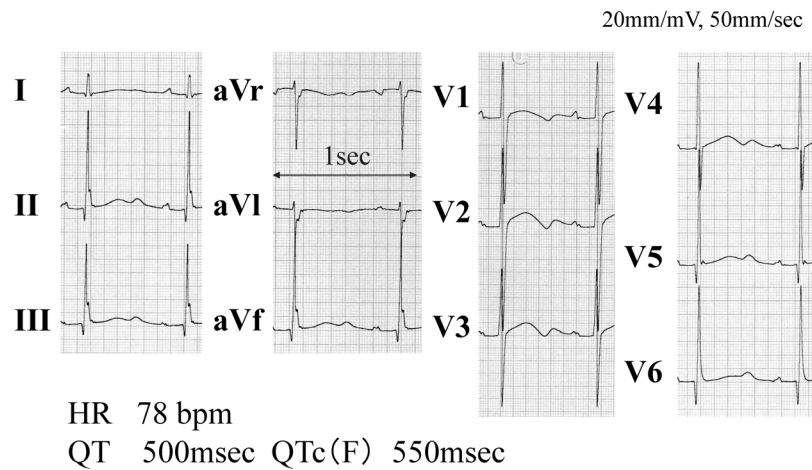


Fig. 7 A 12-lead ECG of a 13-year-old girl with LQT2

She experienced occasional syncope after she heard loud sounds. There is QT prolongation (QT=500msec, QTc=570msec) and bifid T waves.

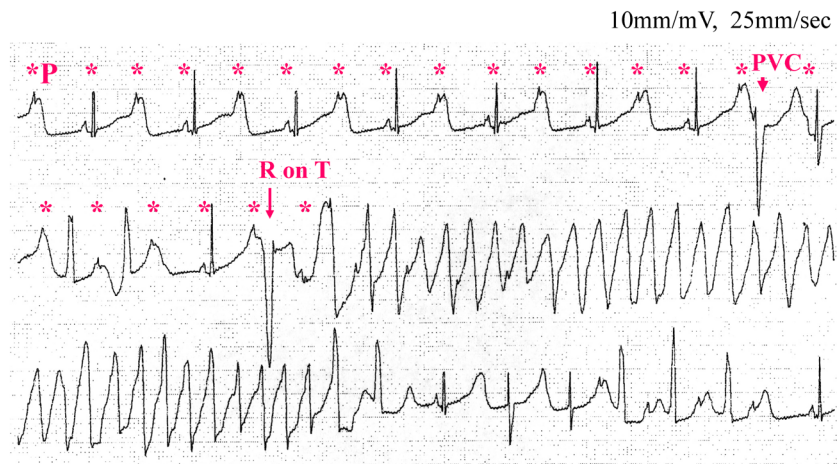


Fig. 8 Holter ECG recording of a 3-month girl with LQT2

There are 2:1 A-V blockages due to prolonged QT (functional A-V block), soon after PVC which exhibits R on T, and Torsade de Pointes appeared.

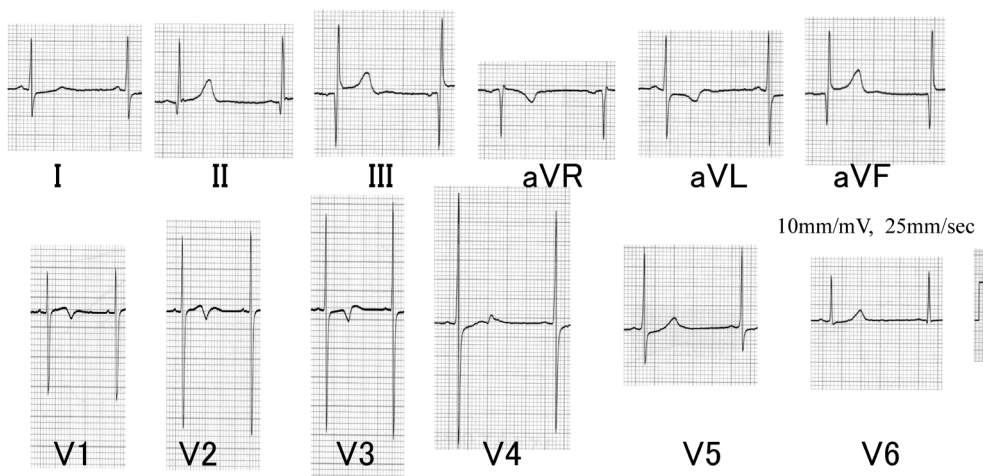


Fig. 9 A 12-lead ECG of a nine-year-old boy with hypertrophic cardiomyopathy (HCM)

There are deep Q waves at III, aVF, and an ST depression at aVL-V4-V5 and biphasic T waves at aVL-V1-V4.

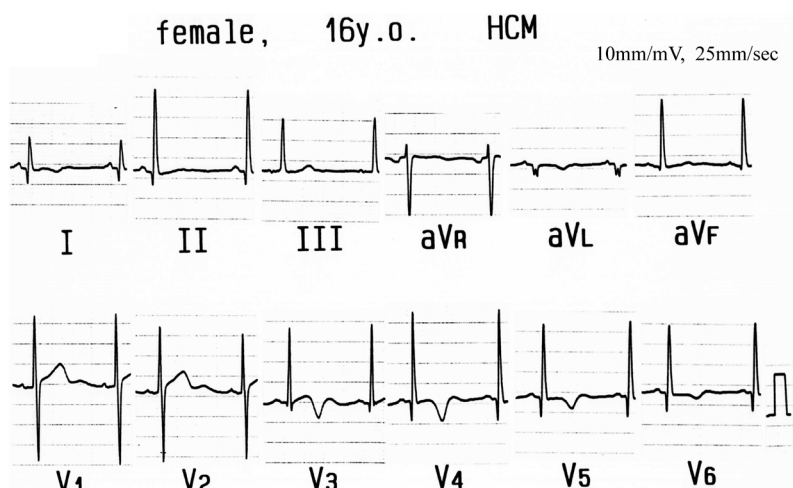


Fig. 10 A 12-lead ECG of a 16-year-old girl with HCM

There are inverted T waves at aVL-V3-6.

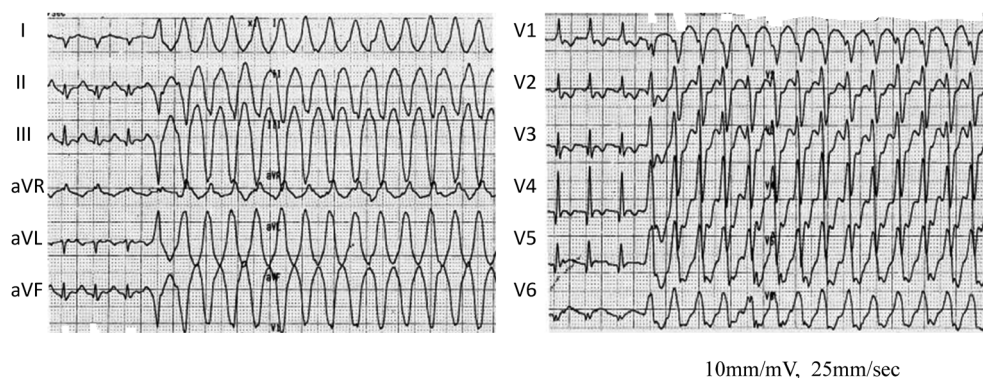


Fig. 11 A 12-lead ECG of a 25-year-old male with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC)

There are ϵ -waves with the first three sinus rhythms at the V1-2 lead, and from the fourth strip, sustained ventricular tachycardia is initiated.

その副伝導路の部位を推定する。12誘導心電図で見られるデルタ波の形態から副伝導路の部位の推定はカテテルアブレーションの実績よりいくつかのアルゴリズムが紹介されている²⁻⁴⁾。

心電図記録中に不整脈のない場合

心電図記録中に必ずしも不整脈を記録できるわけではない。症状や状況から不整脈の存在が強く疑われても、不整脈発作の頻度が低いと不整脈の心電図記録が困難であることがしばしば経験される。しかしながら12誘導心電図から不整脈基質を抽出することが可能な疾患として遺伝性不整脈と器質性心疾患に合併する不整脈とがあげられる。

1) 遺伝性不整脈

主なものにQT延長症候群、Brugada症候群、QT短縮症候群、カテコラミン誘発多形性心室頻拍（Catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia；以下CPVT）などがある⁵⁾。いずれも不整脈発作は心室性不整脈で失神や突然死の原因になりうる。家族歴を有することが多い。CPVT以外の3疾患では不整脈発作時でなくとも安静時の12誘導心電図で診断可能である。

① QT延長症候群

現在では15種類以上の遺伝子異常が判明しているが、LQT1・LQT2・LQT3で90%以上を占める。12誘導心電図でQT延長や時に特徴的な形態のT波がみられる。QT延長症候群の診断は心電図所見・病歴・家族歴等を参考にする⁶⁾。QT間隔の補正方法は一般的にBazett補正 $\{(QT \text{ 間隔}) / (RR \text{ 間隔})^{1/2}\}$ が多

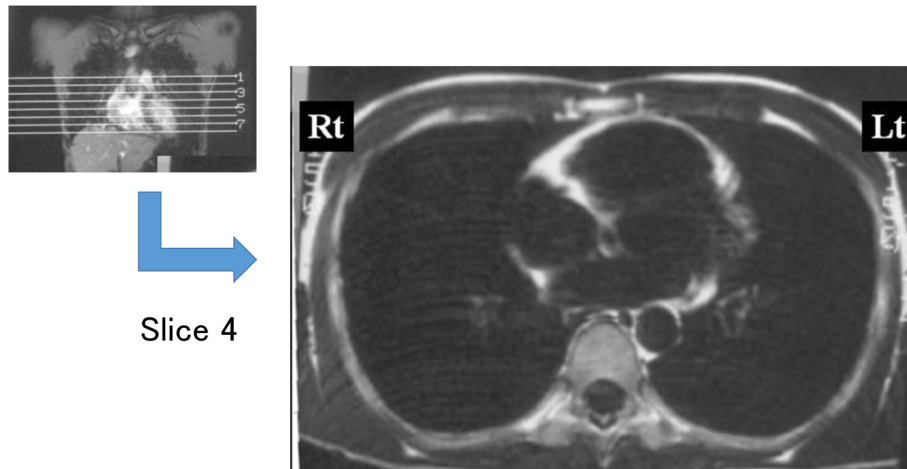


Fig. 12 Cardiac MRI of ARVC revealing fatty infiltration of the right ventricular myocardium and dilatation of the right ventricle

Same case as in Fig. 9.

く用いられているが、心拍数が高い場合は過剰に補正される。そのため心拍数の高い小児では Fridericia 補正 $\{(QT \text{ 間隔}) / (RR \text{ 間隔})^{1/3}\}$ の併用または採用が望ましい⁷⁾。LQTS の心電図を呈示する。ここでは LQTS 症例に限って QT 間隔を読みやすくするために心電図の記録条件を 20 mm/mV, 50 mm/sec とし、QT 間隔の補正は Fridericia 法で QTc(F) と表示した。Fig. 6 は LQT1 で運動時失神を呈する症例であるが QTc 時間は 474 ms で T 波は normal appearance pattern, 運動負荷によって QTc 時間は通常では短縮するところが、この症例では逆に延長した。Fig. 7 は LQT2 で安静時に大きな音をきっかけに心室細動を呈する症例の 12 誘導心電図で、QTc 時間は 550 ms と延長し T 波は 2 峰性を呈していた。Fig. 8 は乳児期に 2:1 房室ブロックを呈した LQT2 の症例で 24 時間心電図にて睡眠中に Torsade de Pointes (TdP) が記録された。安静時の 12 誘導心電図では QTc 時間 600 ms, T 波は late onset T の形態で QT 延長による 2:1 房室ブロックを呈していた。TdP の誘因として期外収縮によって RR 間隔が「long-short」になり、先行する RR 間隔が延長した次の心室不応期が延長して、R on T になりやすいことがあげられる。

② QT 短縮症候群

QT 時間の著明な短縮と心室細動、または失神などの症状を合併した場合に診断する。QTc 時間で 300 msec 以下の場合に QT 短縮と定義する。

③ Brugada 症候群

12 誘導心電図で右脚ブロックと右側胸部誘導 (V1-3 誘導) の恒常的な ST 上昇を認める。成人 (若

年～中年) 男性に多く特発性心室細動を呈する疾患群である。1992 年の Brugada の報告 8 例中 3 例が小児であったが⁸⁾、実際に小児例は稀と考えられている。

④ カテコラミン誘発多形性心室頻拍 (CPVT)

運動・ストレスによって心室頻拍・失神・突然死が誘発される予後不良な疾患である。原因遺伝子としてリアノジン受容体 (RyR2), Calsequestrin (CACSQ2) などがある。この疾患では安静時 12 誘導心電図では異常を認めないので、学校検診では失神歴・突然死の家族歴などの問診に注意する⁹⁾。運動負荷心電図で運動中と直後に多形性心室頻拍が出現する。実際には失神・運動時の動悸や眼前暗黒感等の症状を主訴に医療機関を受診することが多い。

2) 器質性心疾患に合併するもの

小児では先天性心疾患や心臓手術後、心筋症 (肥大型心筋症, 拡張型心筋症, 拘束型心筋症, 左室緻密化障害, 不整脈原性右室心筋症) で不整脈の合併がみられる。成人では心筋虚血・サルコイドーシスなどの頻度が多い。心筋症の中でもとくに肥大型心筋症は若年者の運動中の失神や突然死の原因として注意すべき疾患である。初期は無症状で心電図変化が先行することが多い。心エコーで心室壁肥厚などの変化があっても、初期の軽度心室拡張障害では自覚症状に乏しい。12 誘導心電図では左室肥大, 異常 Q 波, ST-T 変化などを呈するが、その組み合わせは様々である。Fig. 9 は深い Q 波を呈した肥大型心筋症の例で、Fig. 10 は ST-T 変化が主体の肥大型心筋症の例である。運動時の失神・突然死の機序としては、心室性不整脈 (特

に心室細動)が原因と言われている。また不整脈原性右室心筋症は、小児例は少ないが若年者にみられる心室性不整脈とそれに伴う症状が主体の心筋症である。Fig. 11は15歳時に学校検診で心電図異常を指摘され、経過中に持続性心室頻拍を頻回に呈した症例である。安静時の洞性脈時にはV1でε波を認め、その後持続性心室頻拍が始まっている。MRIでは右室心筋の脂肪変性を広範に認めた (Fig. 12)。

最後に

12誘導心電図から私たちは多くの貴重な情報を得ることができる。それは不整脈の存在、起源、さらには予後も予測することも可能となることがある。また不整脈が記録されていなくても、12誘導心電図の中に不整脈基質を見出すことができる場合もある。診療の中で12誘導心電図をじっくり見ることの重要性を認識してもらえれば幸いである。

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

- 1) Iwamoto M, Niimura I, Shibata T, et al: Long-term course and clinical characteristics of ventricular tachycardia detected by children by school-based heart disease screening. *Circ J* 2005; **69**: 273–276
- 2) Arruda MS, McClelland JH, Wsng X, et al: Development and validation of an ECG algorithm for identifying accessory pathway ablation site in Wolf-Parkinson-White syndrome. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1998; **9**: 2–12
- 3) d'Avila A, Brugada J, Skeberis V, et al: A fast and reliable algorithm to localize accessory pathways based on the polarity of the QRS complex on the surface ECG during sinus rhythm. *Pacing Clin Electrophysiol* 1995; **9**: 1615–1627
- 4) Chiang CE, Chen SA, Teo WS, et al: An accurate stepwise electrocardiographic algorithm for localization of accessory pathways in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome from a comprehensive analysis of delta waves and R/S ratio during sinus rhythm. *Am J Cardiol* 1995; **76**: 40–46
- 5) Schwartz PJ, Crotti L: QTc behavior during exercise and genetic testing for the long Q-T syndrome. *Circulation* 2011; **124**: 2181–2184
- 6) Priori SG, Wilde AA, Horie M, et al: Executive summary HRS/EHRA/APHRS expert consensus statement on the diagnosis and management of patients with inherited primary arrhythmia syndromes. *Europace* 2013; **15**: 1389–1406
- 7) 日本小児循環器学会学校心臓検診委員会 (吉永正夫委員長): QT 延長, 器質的心疾患を認めない不整脈の学校生活管理指導ガイドライン (2013 年改訂版). *日小児循環器会誌* 2013; **29**: 277–290
- 8) Antzelevitch C, Brugada P, Borggrefe M, et al: Brugada syndrome. Report of the second consensus conference: Endorsed Heart Rhythm Society and European Heart Rhythm Association. *Circulation* 2005; **111**: 659–670
- 9) Pflaumer A, Davis AM: Guidelines for the diagnosis and management of catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia. *Heart Lung Circ* 2012; **21**: 96–100