P波 加算平均心電図によるP波, Ta波

福並正剛*

近年体表面から従来の心電計では捕捉できない μV 単位の微小電位を検出する加算平均心電計が開発され、そのP波終末部に低電位で長く続く心房遅延電位が発作性心房細動患者で多く出現することから、これが心房細動の不整脈基質として認められてきている。さらに心房遅延電位にも程度の差があり、その程度の差をみることにより、発作性心房細動の慢性化予測や抗不整脈薬の心房細動発作予防効果予測のみならず慢性心不全患者の心不全悪化予測をも可能になってきた。一方、P波の初期部にも同様に低電位で長く続く心房早期電位が洞不全症候群に多く認められることが最近判明した。したがって、発作性心房細動と洞不全症候群が併存する症例ではP波の初期部にも終末部にも異常電位が認められることになる。しかし、Ta波の解析については緒についたばかりであり、今後の発展が期待される。

(心電図, 2001 ; 21 : 384 ~ 391)

近年体表面から従来の心電計では捕捉できない μV 単位の微小電位を検出する加算心電計が開発されたことにより、QRS波終末部の低電位である心室遅延電位が心室頻拍の不整脈基質を反映したものとして注目され、臨床的に広く用いられている。一方、加算平均に不可欠なトリガー点をとりにくいP波に関しても、トリガー方法が開発され¹⁾、P波終末部

の低電位の心房遅延電位(ALP)が心房細動の不整脈基質として認められてきている。

本稿では、加算平均心電計で記録されるフィルター化P波からいかなる情報が得られるかを、その臨床的应用面から述べてみたい。加算平均心電図の記録に際しては、既報のごとく²⁾、修正X, Y, Z誘導で40~300Hzの帯域フィルター下にP波同期法にて洞調律のみ200心拍以上加算平均した。ノイズレベルは0.7 μV 以下であり、再現性についても良好である³⁾。

I. 発作性心房細動と心房遅延電位

発作性心房細動(Paf)患者でのフィルター化P波持続時間(Ad)は対象群に比し有意に長く、同波終

Keywords

- 心房遅延電位
- 発作性心房細動
- 心房早期電位
- 洞不全症候群

*大阪府立病院心臓内科

(〒558-8558 大阪府大阪市住吉区万代東3-1-56)

図1 発作性心房細動 (Paf) 患者 (左) と対照 (Control) 患者 (右) における P 波加算平均心電図 (空間ベクトルマグニチュード表示) の代表例

Paf 患者のみフィルター化 P 波の終末部に低電位の心房遅延電位 (矢印) がⅡ誘導の P 波を超えて認められる。

末部 20msec 間の RMS 電位 (LP_{20}) は有意に低い (図 1) ことから, ALP を “ $Ad > 120\text{msec}$ かつ $LP_{20} \leq 3.5 \mu V$ ” と定義した (感度 91 %, 特異度 76 % の Paf 診断率)¹⁾. この定義に従い, 前向きにフォローした心筋梗塞患者にて本指標の妥当性を確認した⁴⁾. さらに, 最近では心不全患者の Paf 発症予測を正常人の基準値から求めた新基準 “ $Ad > 132\text{msec}$ かつ $LP_{20} < 2.3 \mu V$ ” を用いて可能にしている (図 2)⁵⁾. これらの終末部における異常電位の周波数領域は, フィルター化 P 波終末点より前 25msec 後 75msec の計 100msec 間の高速フーリエ解析の結果, 30Hz 付近の異常電位であることが判明した⁶⁾. これは心室遅延電位と同様の周波数領域の異常であり興味深い. また, ALP の病理学的検討によると明らかに Paf 患者のほうが, 線維化率 (% Fib) が強く, % Fib (特に細胞間線維化率) は Ad と有意に相関し, LP_{20} に逆相関することが判明した (図 3)⁷⁾.

Ⅱ. 発作性心房細動の慢性化予測

Paf 患者のうちいかなる症例が将来慢性化するの

図2 慢性心不全患者における発作性心房細動 (Paf) 発症率

フォロー前の P 波加算平均心電図で異常 ($Ad > 132\text{msec}$ かつ $LP_{20} < 2.3 \mu V$) が認められた群 (太線) はそうでない群 (細線) に比し, 有意に Paf を発症している。

か予測することは, 治療方針を決定するうえで重要である. そこで, 著しい ALP を呈する Paf は慢性化しやすいと仮定して, より厳しい診断基準, “ $Ad \geq 145\text{msec}$ かつ $LP_{20} < 3.0 \mu V$ ” を導入した. Paf 患者をその基準で 2 群に分けて前向きに平均 26 ヶ月間追跡

図3 フィルター化P波持続時間(Ad:左)および同波終末部20msec間のRMS電位(LP₂₀:右)と心臓手術中に採取した心耳標本の線維化率(%Fib)

Adは%Fibと有意な正相関を, LP₂₀は有意な逆相関を呈しており, 開心術後発作性心房細動(Paf)を発症した例(●印)はそうでない例(○印)に比し, Adは延長し, LP₂₀は低値である。

調査したところ, 基準陽性患者23例中10例(43%)が慢性化したのに比し, 陰性患者では99例中4例(4%)しか慢性化しなかった(図4)。すなわち, これは, Pafの慢性化予測も可能であることを示している⁸⁾。

Ⅲ. 抗不整脈薬の心房細動発作抑制効果予測

ALPの程度がPafの慢性化に関連することから, ALP指標を軽減させる抗不整脈薬はPaf発作抑制効果をもつであろうし, ALPを逆に強調するように変化させる薬剤は無効となることが推測される⁹⁾。さらに, 心房筋興奮伝播過程の不均一性も心房細動を発症しやすくすることを考えると, 体表面各点でのAdのバラツキも単極誘導で大きな要因となろう(図5)。そこで, 抗不整脈薬単回経口投与前後で胸壁16点より(V₁₋₆およびV₃を除くV₁₋₆の2肋間上下)に記録したP波加算平均心電図を比較したところ, Adのバラツキ(Ad分散: Adの最大値と最小値の差)

図4 発作性心房細動(Paf)の慢性(Caf)化率をみたKaplan-Meier曲線

極度の心房遅延電位(Ad ≥ 145msecかつLP₃₀ < 3.0 μV)を認めるG-Iでは, そうではないG-IIに比し有意に(p < 0.0001)に慢性化している。

を小さくする薬剤は有効であり, 逆に分散を大きくする薬剤は無効であった(図6)¹⁰⁾。したがって, 本指標も薬剤選択のうえで有用となることが期待され

図5 発作性心房細動患者 (Paf : 左) と対照患者 (Control : 右) における胸壁単極16誘導におけるAd最大誘導とAd最小誘導のP波加算平均心電図(上段)とAdマップ(下段) Paf患者では明らかにいずれもが延長しており、かつその差(Ad分散: Δ Ad)は拡大している。下図のマッピングでもPaf例のほうが複雑なマップを呈し、Adの標準偏差SD[Ad]値も大きいことが分かる。

る(図7)。

IV. 心不全悪化予測

心プールシンチグラムでEF40%未満の心不全患者を対象に、P波加算平均心電図記録後フォローしたところ、 $Ad \geq 145$ msec の患者では高率に心不全悪化に基づく入院が多く認められた。慢性心不全患

者においてはAdが左房径よりむしろ左室拡張末期圧のほうを反映していることを考えると、これは矛盾しない結果と考えられる(図8)。

V. 洞不全症候群と心房早期電位

Pafとは異なり洞不全症候群(SSS)では逆にフィルター化P波初期部で低電位を示すことが多く(図9)。

図6 ピルジカイニド100mg単回経口投与前(pre)後(post)で記録した胸壁マッピング誘導のP波加算平均心電図におけるAd-max(上段), Ad-min(中段), $\Delta Ad (=Ad-max - Ad-min)$ (下段)の変化と心房細動(Paf)発作再発Recurrenceの有無(右, 左)
再発のない群ではAd-maxやAd-minが延長していても ΔAd が減少している。

図7 胸壁マッピング誘導のP波加算平均心電図におけるAd分散が, ピルジカイニド100mg単回経口投与により拡大した群(細線)と縮小した群(太線)の心房細動発作(Paf)再発の比較
前者で明らかに高率にPafが再発している。

図8 左室駆出率40%未満の慢性心不全患者における心不全悪化イベント非発生率とフィルタ化P波持続時間(Ad)
Adが145msec以上の群のほうが有意に心不全悪化イベントの発生が多いことが分かる。

図9 洞不全症候群例 (SSS：左上)と発作性心房細動例 (Paf：右上) および両者の合併例 (SSS&Paf：左下) さらに対照例 (Control：右下) のP波加算平均心電図の比較

SSS例およびSSS&Paf例ではP波の初期部が、Paf例およびSSS&Paf例ではP波の終末部が低電位である。

図10 洞不全症候群例 (SSS)と発作性心房細動例 (Paf) および両者の合併例 (SSS&Paf) さらに対照例 (Control) のP波加算平均心電図初期部10msec間 (EP10)、20msec間 (EP20)、30msec間 (EP30) の比較

SSSを含む群では、Pafの有無に拘わらずいずれもが低値である。

図11 P-Ta波心電図. R波同期により得られたテンプレートQRS波をP波同期心電図よりそのR波ピーク点を基準にサブトラクションした心電図

Ta波とT波の間に両波の境界を示唆するノッチ(矢印)が認められる. この点をTa波終末点としてP-Ta時間を計測した(各誘導の下に表示).

同波初期部30msec間のRMS電位(EP30)と同波開始点より4 μ V未満まで最短持続時間(ED4)を対象群と比較したところ、EP30は有意に低値を示し、ED4は有意に延長していた。そこで“EP30 <3.0 μ VかつED4> 22msec”を心房早期電位(early potential)と定義した(感度76%, 特異度91%のSSS診断率)¹¹⁾。本指標はPafの場合と同様に、非発作時に診断しうる手法として有用である。Ad自体はPafの併存などの因子が入るため、SSSの単独診断に有用でないが、初期部の電位パラメータはPafの有無にかかわらず低電位であり、有用である(図10)。

VI. Ta波解析の現状

P波に連なり心房の再分極波を表すTa波の解析は、QRST波との重畳のため極めて困難である。最近、R波同期法とP波同期法の差を利用したTa波の解析方法を考案した。すなわち、記録中のPQ間隔に変動があれば、Ta波とT波の境界部にずれが生じる(図11)ことを利用してTa波の終末点を決定した。その臨床的意義についてはこれからの検討が待たれるところである。

〔文 献〕

- 1) 福並正剛, 山田貴久, 伯耆徳武: 心房“レート・ポテンシャル”の臨床的意義. 循環器情報処理, 1989; 54~59
- 2) Fukunami M, Yamada T, Ohmori M, Kumagai K, Umemoto K, Sakai A, Kondoh N, Minamino T, Hoki N: Detection of patients at risk for paroxysmal atrial fibrillation during sinus rhythm by P wave-triggered signal-averaged electrocardiogram. *Circulation*, 1991; 83: 162~169
- 3) 山田貴久, 福並正剛, 大森正晴, 熊谷和明, 大江洋史, 阿部泰士, 西川永洋, 金智隆, 伊達基郎, 伯耆徳武: P波同期式体表面加算平均心電図の再現性の検討. 心臓, 1995; 27: 60~64
- 4) Abe Y, Fukunami M, Ohmori M, Kumagai K, Yamada T, Tsujimura E, Hoki N: Prognostic significance of P wave-triggered signal-averaged electrocardiograms in detecting paroxysmal atrial fibrillation: A prospective study. *Circulation*, 1993; 88: I-312
- 5) Yamada T, Fukunami M, Shimonagata T, Kumagai K, Ogita H, Asano Y, Hirata A, Hori M, Hoki N: Prediction of paroxysmal atrial fibrillation in patients with congestive heart failure: Prospective study. *J Am Coll Cardiol*, 2000; 35: 405~413
- 6) Yamada T, Fukunami M, Ohmori M, Kumagai K, Sakai A, Kondoh N, Minamino T, Hoki N: Characteristics of frequency content of atrial signal-averaged electrocardiograms during sinus rhythm in patients with paroxysmal atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol*, 1992; 19: 559~563
- 7) Asano Y, Yamada T, Shimonagata T, Kumagai K, Ogita H, Hirata A, Kaneko M, Fukunami M: Anatomical basis of P-wave signal-averaged ECG in patients with atrial fibrillation after cardiac surgery. *Circulation* 1999; 100 (Suppl): 1~158
- 8) Abe Y, Fukunami M, Yamada T, Ohmori M, Shimonagata T, Kumagai K, Kim J, Sanada S, Hori M, Hoki N: Prediction of transition to chronic atrial fibrillation in patients with paroxysmal atrial fibrillation by signal-averaged electrocardiography. A prospective study. *Circulation*, 1997; 96: 2612~2616
- 9) Yamada T, Abe Y, Kumagai K, Nishikawa N, Kim J, Date M, Nakayama H, Fukunami M: Prediction of efficacy of pilsicainide to suppress paroxysmal atrial fibrillation attacks by P wave-triggered signal averaged ECG. *Circulation*, 1995; 92 (Suppl 1): I-72
- 10) Yamada T, Fukunami M, Shimonagata T, Kumagai K, Sanada S, Ogita H, Asano Y, Hori M, Hoki N: Dispersion of signal-averaged P wave duration on precordial body surface in patients with paroxysmal atrial fibrillation. *Eur Heart J*, 1999; 20: 211~220
- 11) Yamada T, Fukunami M, Kumagai K, Abe Y, Kim J, Sanada S, Hori M, Kamada T, Hoki N: Detection of patients with sick sinus syndrome by use of low amplitude potentials early in filtered P wave. *J Am Coll Cardiol*, 1996; 28: 734~744