同時20点心外膜マッピング法の考案

小塚 裕* 古瀬 彰* 浅野献一*

不整脈の外科的治療に際し術中心室外膜マッピングを迅速かつ正確に行うことを目的として同時20点心外膜マッピング法および20点同時電位記録用電極(プリント配線ストック型電極)を考案した。動物実験において正常伝導時, 右室ペースング時, 左室ペースング時, 完全右脚ブロック時, 心室頻拍時に同時20点心外膜マッピングを行い, 心室興奮伝播図を作製した。コンピュータ処理による電位の自動認識, 計測および興奮伝播図表示が可能であった。1点ずつ電極をあてて電位記録を行い, 基準点からの時間差を計測する従来の心外膜マッピング法に比較し, 本法には次のような利点が認められた。1)心外膜マッピングに要する時間を数分間に短縮できる。2)数心拍の心室頻拍で心外膜マッピングが可能であり, 循環動態に対する影響が少ない。3)同一心拍の電位記録でマッピングを行うことが可能なためPR間隔やQRS波形が一定でない心室頻拍においても正確なマッピングが可能である。本法には以上のような利点があり, 心室外膜マッピングの方法として有効であると考えられる。

*なお本論文の要旨は第1回日本心電学会(1984年, 名古屋)にて報告した。

Computerized single-beat epicardial mapping with sock type multiple bipolar electrodes
Yutaka Kotsuka*, Akira Furuse*, Ken-ichi Asapo* *Department of Thoracic Surgery,
University of Tokyo

I. はじめに

不整脈の電気生理学的検査法の進歩により不整脈の外科的治療は急激な進歩をとげつつある。preexcitation syndrome はもちろん, 心室頻拍も外科的治療の対象となり, 手術術式もしだいに確立したものになりつつある。不整脈に対するより安全でしかも確実な外科的治療のためには, 術前および術中に電気生理学的検査法を迅速かつ正確に行うことが必要である。電気生理学的検査法へのコンピュータの導入は迅速性, 正確性向上のために有効な手段となっている¹⁾。従来の心表面マッピングでは, 1点ごとに電位記録を行い, reference point との時間差を測定し, この操作を多数点で繰返して心表面の電位分布のマップを作製するものであった。コンピュータの導入により, 電位の認識, reference point との時間差の測定, お

よび表示を短時間に行うことが可能になり, 検査の迅速化に役立っている。電位記録を多数点で同時に行うことが可能になれば検査はさらに迅速化される。多数点の同時電位記録は, 不整脈が不安定で持続しない場合や1心拍ごとにQRS波形が変化する場合(例えば, torsade de pointes など)には特に有効である。我々はこの観点から, 20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置および20チャンネル同時電位記録用電極(プリント配線ストック型電極)を考案し, 動物実験にて心外膜マッピングを行い, その有用性を認めたので報告する。

II. 方 法

1. 20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置(図1)

本装置は心臓電位分布図作製装置(HPM

Keywords

心室頻拍
心外膜マッピング
コンピュータ
プリント配線ストック型電極

(1984年3月14日 原稿受領)

*東京大学医学部胸部外科
(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

図3 プリント配線した周心円双極電極

図1 20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置

-6500, フクダ電子株式会社製)を用い, 心室表面上の20点から同一心拍の電位を記録し, 電位の自動認識を行い, 興奮伝達時間を自動計測し, 心表面の興奮伝播図を自動表示するように改良したものである。本装置のブロックダイアグラムは図2のごとくである。電位の自動認識, 計測は, 電位

図2 20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置のブロックダイアグラム

波形を微分し, その絶対値が最大となる点を電位と認識し, 基準点からの時間差を計測する方法をとっている。本装置の仕様は下記のごとくである。

i) アイソレーションアンプ

ii) 本体

(a) AD変換器: 分解能 8 bit

(b) サンプリング時間間隔: 0.5 msec
1.0 msec
2.0 msec

(c) マイクロコンピュータ: 8085 2台

(d) データメモリー: RAM 512 K Byte

(e) フロッピーディスク: 8 インチ

両面倍密度

記憶容量 1 M Byte

(f) バブルメモリー: 記憶容量 32 K Byte

iii) ブラウン管 14インチカラー表示

図4 従来の20点同時電位記録法
プリント配線された双極電極20個を指に巻いて固定し、左右の手で心室を包み込むようにして電極を心外膜に接触させる。

図5 プリント配線ストッキング電極
左側：電極の外観
右側：電極の内側

iv) サーマルプリンター (SPL-1)

2. プリント配線ストッキング電極の作製

前述の20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置を十分に機能させるためには、心表面20点の電位を同時に記録可能な電極が必要である。我々はプリント配線した同心円双極電極(図3)を考案し、左右の第2～第5指に巻いて固定し、両手で左右

心室を包み込むようにして電位の20点同時記録を行ってきたが(図4)、心尖部付近には電極を正確に接触させにくい欠点があった。そこでナイロンストッキングの先端部分を利用し、その内側にプリント配線電極を20個縫着した電極(プリント配線ストッキング電極、図5)を考案、作製した。ナイロンストッキングの弾力性を利用して心室部

図6 プリント配線ストックング電極を心室部位に装着したところ

図7 冠状動脈の走行を指標とした電位記録部位

LAD:left anterior descending
AM:acute marginal
OM:obtuse marginal
PD:posterior descending

位に電極を装着し(図6), 全電極が心室表面に正確に接触するように工夫したものである。

3. 電位記録

雑種成犬を用い, 全身麻酔, 陽圧呼吸下に右第5肋間にて開胸し, 心嚢を切開して心臓に到達した。心臓を一時的に脱転し, 冠状動脈(LAD:left anterior descending, OM:obtuse marginal, AM:acute marginal)の走行を指標として(図7), プリント配線ストックング電極を心室部位に装着した。ブラウン管に20点の電位記録を表示し,

電位が正しくとれているか否かを検討した。心尖部付近の電極は比較的接触不良になりやすかったが, その場合には電極を上から指で軽く圧迫することにより, 正確な電位記録が可能であった。

正常伝導時, 右室ペースング時, 左室ペースング時, 完全右脚ブロック時, Harrisの実験モデルによる心室頻拍²⁾時に電位記録を行い, それぞれの心室興奮伝播図を作製した。

III. 結 果

1. 正常伝導時心外膜マッピング

正常伝導時の心外膜マッピングにより図8上段の心室マップを得た。右心室の break through を最早期興奮部位とするマップになった。実際の電位記録の波形(図7下段)はややわかりにくいものとなっているが, コンピュータ処理により自動認識, 自動計測されている。

2. 心室ペースング時心外膜マッピング

プリント配線ストックング電極を心室部位に装着し, その上から双極電極をあてるとそのままペースングが可能であった。右心室でペースングしつつ20点同時電位記録を行い, マッピングしたものが図8であり, 左心室でペースングしつつマッピングしたものが図9である。図8, 図9はともにペースング部位を最早期興奮部位とし, 興奮が順次周囲へ伝播していることを示している。

図8 正常伝導時の心外膜マッピング
右心室の break through が最早期興奮部位となっている。

3. 右脚ブロック時心外膜マッピング

房室間溝付近の右室自由壁から21ゲージの注射針を刺入し、EKGをモニターしながら非直視下に右脚を切離して完全右脚ブロックを作製し、心外膜マッピングを行い図10の心室マップが得られた。左室後壁を最早期興奮部位とし、興奮が順次周囲に拡がり、右室流出路付近の興奮が最も遅れていた。

4. 心室頻拍時心外膜マッピング

左冠状動脈前下行枝の二段階結紮により左前下行枝の支配領域に心筋梗塞を作製し、Harrisの第1相におきた心室頻拍²⁾時に心外膜マッピングを行い、図11の心室マップが得られた。虚血心筋部位を最早期興奮部位とする心室頻拍であることを示している。20点同時電位記録を行い、コンピュータ処理することにより数心拍の心室頻拍が1回起これば心外膜マッピングが可能であり、心室頻

図9 右室ペースング時の心外膜マッピング
右室のペースング点を最早期興奮部位とし、興奮が順次周囲に伝播している。

拍のように長時間持続すると循環動態に破綻をきたす不整脈の心室マッピングには特に有効であった。

IV. 考 察

不整脈の外科的治療の最近の急激な進歩は、開心術一般の安全性向上や病理学的研究の進歩に根

ざしつつも、電気生理学的検査法の進歩によるところが大きい。Sealy らが初めて成功した preexcitation syndrome の外科的治療法³⁾は、その後の多くの臨床経験を経て、細部には問題が残されているものの大筋はほぼ確立された治療法になりつつある。心室頻拍に対する外科的治療法も Guiraudon らの心室切開術⁴⁾、Gallagher らの凍結手

図10 左室ペーシング時の心外膜マッピング
左室のペーシング点を最早期興奮部位とし，興奮が順次周囲に伝播している。

術⁵⁾，Guiraudon らの encircling endocardial ventriculotomy⁶⁾，Harken らの心内膜切除術⁷⁾⁸⁾などの種々の術式が考案され，臨床経験を重ねつつ手術の安全性，確実性は改善されつつあり，薬物抵抗性，反復性心室頻拍に対する外科的治療法はその有効性が広く認められるにいたっている。

我々も薬物抵抗性，反復性心室頻拍に対し，電

気生理学的検査法を用いて心室表面最早期興奮部位を検出し，心室切開を行った後に心内膜側最早期興奮部位を同定し，Harken らの術式を用いて左心室心内膜切除を行い，心室頻拍を消失させた経験を報告⁹⁾した。しかしその手術時の心表面マッピングに際しては，左心室の多数点の電位記録を1点ずつ行い，extrastimulus 法や rapid pac-

図11 右脚ブロック時の心外膜マッピング
左室後壁が最早期興奮部位となり、右室流出路付
近の興奮が最も遅延している。

ing 法による心室頻拍の誘発を何回も繰返す必要があった。また、誘発された心室頻拍の心電図所見は各 QRS 波形が必ずしも同一ではなく、RR 間隔も必ずしも一定ではなかった。

このような心室頻拍時の心室マッピングは、各点の電位記録施行時の時間的ずれを考慮すると必ずしも正確とはいえないものと考えられる。以上に述べた臨床経験上の問題点は、すべての点の電

位記録を同時に行うことができれば解決されるものと思われる。

我々はこのような観点から20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置およびプリント配線ストック電極を考案し、実験においてその有用性を検討し、次のような長所を認めた。

1) 心外膜マッピングに要する時間を数分間に短縮可能である。2) 数心拍の心室頻拍で心外膜

図12 心室頻拍時の心外膜マッピング
左前下行枝の結紮により生じた心筋虚血部位が最
早期興奮部位になっている。

マッピングが可能であり、循環動態に対する影響が小さい。3) 心室頻拍が不安定で持続せず、短時間のうちに洞調律に復す場合でもマッピングが可能であり、さらに心室細動に移行しやすい場合でも、心室頻拍の誘発を最小限にすることにより心室細動の危険を防ぐことができる。4) 1心拍

の電位記録でマッピングが可能のため、RR 間隔や QRS 波形が一定でない心室頻拍 (torsade de pointes) においても正確なマッピングが可能である。5) 電極の装着が容易である。6) 電極装着時に心臓を一時的に脱転するだけでよく、心室頻拍誘発時および電位記録時には心臓は生理的位置

にある。7) 電極を装着したままベージングが可能である。8) 各電極はプリント配線されており、電極は薄くかつ表面が平滑であり、電極の刺激による不整脈発生の危険性がない。9) 導線もプリント配線されているので、術野に多数のコードが散乱することがなく、整理しやすい。

以上のような長所をもっているが2, 3の問題点もある。1) 臨床応用に際し、患者の心臓は小児の小さな心臓から成人の著明に拡張した心臓まで大きさが種々であり、一種類のストッキング電極では対応不能である。しかし、このストッキング電極は伸縮性に富んでおり、2, 3種類の大きさのものをあらかじめ用意すれば十分に対応が可能と思われる。2) 臨床で手術の対象となる心臓は右心室あるいは左心室の著明な拡張を認めることが多く、コンピュータにプログラムした部位と、実際に電極が接している部位とが多少ずれることが予想される。この場合、コンピュータで処理、表示したマップと心表面の実際の興奮伝播とは多少の差を生じることになるが、マップの最早期興奮部位に相当する電極が実際に接している部位が正確な最早期興奮部位になるので、臨床応用上は問題が少ないと考えられる。3) 左室側の電極は心臓の重さのために接触が良好であるが、右室側心尖部付近の電極は時に接触不良を生じ、電位が正しく記録されないことがある。この場合、電極を指で軽く圧迫することにより良好な電位記録が可能である。4) Horowitz らは術中の心表面マッピングを50—100点で行う¹⁰⁾としている。しかし Spielman らは心外膜側最早期興奮部位と心内膜側最早期興奮部位とは0.5—6.0 cmのずれがある¹¹⁾としており、心内膜マッピングを行うならば、心外膜マッピングを50点以上で行う必要は必ずしもないものと思われる。我々も左室20点右室20点計40点の心外膜マッピング用プログラムを用いているが、40個の電極を装着し電位記録を行うのは導線の整理が困難になるものと思われる。40点で電位記録を行うことが必要な場合には左室20点と右室20点の2回にわけて記録するのが現実的ではないかと考えている。

V. おわりに

我々は20チャンネル同時電位記録を行い、コンピュータ処理により迅速で正確な心外膜マッピン

グを行うために、20チャンネル心表面興奮伝播図作製装置およびプリント配線ストッキング電極を考案、作製した。実験においてこの電極を用いて心外膜マッピングを行い、その有用性を認めたので報告する。

追記：最近 Jones らはメッシュを用いた25チャンネル同時記録用の電極の使用を報告¹²⁾している。原理的には我々が考案した電極と同じであるが、電極と導線の材質、電極を固定するものの材質が異っている。Jones らの電極の使用経験は我々にはないが、1) 電極装着の難易、2) 電極と心外膜との接触の良否、3) 導線の処理の難易などの点について今後比較検討したいと考えている。

〔文 献〕

- 1) Ideker RE, Smith WM, Harrison L, Klein GJ, Smith WM, Kasell J, Wallace AG, Gallagher JJ: The role of computers in the cardiac mapping of ventricular tachycardia. in ventricular tachycardia—mechanisms and management—ed by Josephson ME. Futura, New York, 1982, 381
- 2) Harris SA: Delayed development of ventricular ectopic rhythms following experimental coronary occlusion. *Circulation* 1:1318, 1950
- 3) Cobb FR, Blumenschein SD, Sealy WC, Boineau JP, Wagner GS, Wallace AG: Successful surgical interruption of the bundle of Kent in a patient with Wolf-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 38:1018, 1968
- 4) Guiraudon G, Frank R, Fontaine G: Interet des cortographies dans le traitement chirurgical des tachycardies ventriculaires regelles recidivants. *Nouv Presse Med* 3:321, 1974
- 5) Gallager JJ, Anderson RW, Kasel J, Rice JR, Pritchett ELC, Gault JM, Harrison L, Wallace AG: Cryoablation of drug-resistant ventricular tachycardia in a patient with a variant of scleroderma. *Circulation* 57:190, 1978
- 6) Guiraudon G, Fontaine G, Frank R, Escade G, Etievent P, Cabrol C: Encircling endocardial ventriculotomy. A new surgical treatment for life-threatening ventricular tachycardias resistant to medical treatment following myocardial infarction. *Ann Thorac Surg* 26:438, 1978
- 7) Harken AH, Josephson ME, Horowitz LN: Surgical endocardial resection for the treatment of malignant ventricular tachycardia. *Ann Surg* 190:456, 1979

- 8) Josephson ME, Harken AH, Horowitz LN :
Endocardial excision : A new surgical technique for the treatment of recurrent ventricular tachycardia. *Circulation* 60 : 1430, 1979
- 9) Furuse A, Matsuo H, Nakanishi S, Yamaguchi H, Harumi K, Cheanvechai C, Saigusa M : Endomyocardial resection for recurrent ventricular tachycardia—report of a case—*Jap Heart J* 23 : 245, 1982
- 10) Horowitz LN, Harken AH, Josephson ME :
Intraoperation activation mapping of ventricular tachycardia. in ventricular tachycardia—mechanism and management—ed by Josephson ME. Futura, New York, 1982, 331
- 11) Spielman SR, Michelson EL, Horowitz LN, Spear Jf, Moore EN : The limitation of epicardial mapping as a guide to the surgical therapy of ventricular tachycardia. *Circulation* 57 : 666, 1978
- 12) Jones DL, Klein GJ, Gulamhusein S, Jarvis E :
The repetitive ventricular response : relationship to ventricular fibrillation threshold in dogs. *PACE* 6 : 1221, 1983