原 著

2 チャンネル式ホルター心電計における 3 誘導心電図記録アダプターの試作と臨床応用

田辺晃久* 吉川 広* 古屋秀夫*
五島雄一郎* 伊賀富栄** 福土広通***

ホルター心電図における虚血 ST 変化をより確実に捕捉するため、2 チャンネル式ホルター心電図法にて計 3 誘導記録可能なアダプターを試作し、臨床に応用した。チャンネル 1 は V_5 -like lead (CM_5 誘導) とし、同一心電図を 24 時間記録した。チャンネル 2 はこのアダプターを適用し V_2 -like lead (CM_2 誘導) と II or aVF -like lead (CM_9 誘導) を交互に記録可能とした。本アダプターの原理は oscillator, divider, inverter を利用し、上向きパルスと下向きパルスを交互に 30 秒ずつ発信させ、それぞれ CM_2 誘導と CM_9 誘導を同期させたものである。虚血性心臓病患者 50 名に応用し、35 名計 90 件の一過性虚血 ST 変化を認めたが、うち 66 件 (73%) は無症候性虚血 ST 変化であった。ST 変化を認めた誘導は CM_5 誘導 24/35 名 (69%)、 CM_2 誘導 9/35 名 (26%)、 CM_9 誘導 18/35 名 (51%) であった。異型狭心症は 2 名で、うち 1 名は CM_2 誘導 ST 上昇時 CM_9 誘導と CM_5 誘導は ST 下降、他の 1 名は CM_9 誘導 ST 上昇時 CM_2 誘導 ST 下降、 CM_5 誘導 ST 変化なしであった。以上より、本法はチャンネル数、電極数を増加することなく 3 誘導心電図記録が可能で、とくに無症候性虚血 ST 変化や 2 誘導のみでは見逃しやすい異型狭心症の検出に有用と考えられた。

ホルター心電図法は 2 チャンネル式 2 誘導心電図記録が一般的である。しかしながら、一過性虚血 ST 下降を見逃さず検出するため、あるいは異型狭心症を ST 上昇として適確に捕捉するためには少なくとも 3 次元で心電現象を把握することが可能な 3 誘導心電図記録がより好ましい。

現在の記録器を 3 チャンネル 3 誘導心電図記録とすれば、この点は解決されるが費用や重量の負

担が増大し、また解析器の改造も必要となる。

今回、我々は 2 チャンネルホルター心電計そのものを変えることなく、一方のチャンネルの誘導のみを一定時間毎に切り替えることにより、計 3 誘導心電図記録可能な簡便なアダプターを試作し臨床に応用したので報告する。

I. 方 法

1. アダプターの作製

図 1 A はホルター心電図法における我々の電極位置を示す。X と c は胸骨柄、Y は標準 12 誘導心

(1986 年 5 月 27 日 原稿受領)
(1986 年 8 月 6 日 掲載承認)

* 東海大学医学部内科
(〒259-11 神奈川県伊勢原市望星台)
** 東海大学医学部精神科
(同 上)
*** 東海大学附属病院中央臨床検査部
(同 上)

Keywords

2 チャンネル式ホルター心電計
3 誘導心電図記録
ST 変化
虚血性心臓病

図1 電極位置(A)と記録器誘導コードのコネクター(B)

電図(12-lead ECG)法の V_5 の位置, a は 12-lead ECG 法の V_2 の位置, b は第9肋骨と左前腋窩線の交点を示す。図1 Bは Avionics 社製 Model 447 ホルター心電図記録器の電極コードのコネクターの略図である。

本研究における2チャンネル式3誘導ホルター心電図記録の原理は図1 A Bに示した X-Y 電位すなわち V_5 に似た波形を記録できる V_5 -like lead (CM_5 誘導)を一方のチャンネルを使って24時間連続記録する。他方, V_2 に似た波形のえられる a-c 電位 (V_2 -like lead: CM_2 誘導)とIIあるいは

aVF に似た波形のえられる b-c 電位 (II or aVF -like lead: CM_9 誘導)を一定の秒単位で切り替え, 第2のチャンネルに input し24時間を通して交互に心電図記録するというものである。

図2は第2のチャンネルに接続する誘導切り替えアダプターの設計略図である。まず, oscillator で70c/sの矩形波パルスを発振させ, divider (14 Bit Binary Counter) を用い矩形波の周期を減少させた。これにより一定のスイッチ切り替え時間 (15秒, 30秒, 60秒, 120秒のいずれかを選択可能)をえた。本研究では30秒幅を選択した。

図2 誘導切り替えアダプターの設計略図

図3 誘導切り替えアダプター(矢印)

スイッチ作動は、A点の信号が High の状態(電源電圧と等しい時、以下 'H' とする)の時はB点の信号は Low の状態 (0 V、以下 'L' とする)であり、アナログスイッチは 'H' の時に信号を直通する。例えば、A点が 'H' の時にはアナログスイッチ2と4がスイッチ 'ON' となり、入力信号 a は ground へ、b は $\oplus$ へ入力される。この時B点は 0 V であるのでアナログスイッチ1と3は作動しない。A点では 'H' の状態が30秒経過すると 'L' となる。これと同時にB点は 'H' の状態となりアナログスイッチ1と3が 'ON' となる。この時入力信号 a は $\oplus$ に b は ground におとされる。アダプターの電源は 9 V、重量は50 g であった。

図3の右側はホルター心電図記録器、中央矢印は試作した誘導切り替えアダプターである。実際の使用時にはケースに入れ携帯用記録器に固定した。

2. 臨床応用

対象は東海大学病院循環器内科の患者で、ホルター心電図検査日前1週間以内に少なくとも1回以上狭心発作のあった虚血性心臓病患者50名(狭心症41名、陳旧性心筋梗塞9名:前壁中隔梗塞6名、下壁梗塞3名)であった。性別数は男38名、女12名、年齢は37~86歳(平均 58.8 ± 10.8 歳)であった。患者は全例、臨床症状、運動負荷心電図、運動負荷 ^{201}Tl シンチグラム、冠動脈造影などで虚血性心臓病と診断された例であった。

ホルター心電図記録器は前述した Avionics 社製

Model 447 で、これに誘導切り替えアダプターを連結した。チャンネル1は CM_5 誘導とし、24時間連続記録した。チャンネル2はアダプターを用い、 CM_2 誘導と CM_9 誘導を30秒毎に切り替えた。患者には日課表をもたせ、ホルター心電図記録中日常生活での狭心発作の有無、程度、持続時間などを正確に記載させた。ホルター心電図の解析は Avionics 社製 DCG7 Dynamic Electrocardioscanner、フクダ電子社製圧縮心電図解析装置(TR-210)にて行った。

ST 変化は以下に示す基準を満たし、かつ1分以上持続するものを一過性虚血 ST 変化とした。

- 1) S波のうしろ 80 msec で 0.1 mV 以上の水平型 ST 下降または終末型 ST 下降
- 2) S波あるいはR波の下行脚最下点のうしろ 80 msec で 0.2 mV 以上の ST 上昇

なお体位変換による ST 変化との鑑別は著者らが体位情報同時記録ホルター心電図法により検討した成績^{1),2)}にもとづき行い、体位 ST 変化の基準を満たす ST 変化は除外した。

II. 結 果

図4はアダプターを使用した場合と使用しない場合のホルター心電図記録器の周波数特性を示す。アダプター使用では0.3c/s 以下および50c/s 以上の周波数でごく軽度の信号減衰がみられる(点線部)が、全体的には周波数特性に大きな影響を及ぼさないことがわかる。

図4 誘導切り替えアダプター使用前後の周波数特性

図5 71歳男性、陳旧性心筋梗塞患者における誘導切り替えアダプター使用ホルター心電図記録

図5は71歳男性陳旧性心筋梗塞患者における本法ホルター心電図記録である。Aのチャンネル2では矢印でII-like lead (CM₉誘導) から V₂-like

lead (CM₂誘導) に誘導が切り替わり、Bのチャンネル2の矢印では反対に V₂-like lead (CM₂誘導) から II-like lead (CM₉誘導) にもどってい

図6 53歳男性，異型狭心症患者における誘導切り替えアダプター使用ホルター心電図記録

図7 44歳男性，労作兼安静狭心症患者における誘導切り替えアダプター使用ホルター心電図記録

る。チャンネル1は24時間を通して V₅-like lead (CM₅ 誘導) 記録である。

図6は53歳男性異型狭心症患者の本法ホルター心電図記録である。Aは午前3時2分の記録でST変化発生直前，BはST変化時の記録である。Bのチャンネル2でV₂-like lead (CM₂ 誘導) に著明なST下降を認め，誘導がII-like lead (CM₉ 誘導) に切り替わった後(矢印)著明なST上昇となって

いる。この例は本法により初めて異型狭心症と診断された。

図7は44歳男性労作兼安静狭心症患者の狭心症発作前(7:56 a.m.)と発作時(8:11 a.m.)の本法ホルター心電図記録である。狭心発作時のST下降はV₅-like lead (CM₅ 誘導)，II-like lead (CM₉ 誘導)，V₃-like lead (CM₂ 誘導)で認められるが，とくにV₅-like lead (CM₅ 誘導)で著明である。

図8 虚血ST変化例29名におけるST変化の出現誘導

なお本例では誘導切り替え時に心電図の基線の大きなゆれが認められる。このゆれの回復にはAで約2秒、Bで約3.5秒を要している。

以上のように解析していくと、対象50名中29名(58%)に計90回の一過性虚血ST変化がみられた。この90回のST変化のうち狭心症状を伴ったのは24回(27%)のみで、他は無症候性虚血ST変化であった。

図8はST変化のみられた29名においてST変化がCM₅誘導、CM₂誘導、CM₉誘導のいずれの誘導に何名生じたかを示した図である。CM₅誘導にST変化を認めた例(図8のV₅、V₅+II、V₅+V₂、V₅+V₂+II)は24名、CM₂誘導(V₂、V₅+V₂、V₂+II、V₅+V₂+II)は9名、CM₉誘導(II、V₅+II、V₅+V₂+II)は18名であった。このうちCM₅誘導のみにST変化を認めた例は9名、CM₂誘導のみの例は1名、CM₉誘導のみの例は2名であった。

アダプター使用における誘導切り替え時の心電図基線のゆれと回復時間は個人間で異なり、また同一個人でも体位や時間帯により異なった。各例における誘導切り替え時の心電図基線回復の最大時間は0~7.2秒(平均2.8±1.8秒)、最小時間は0~6.0秒(1.4±1.5秒)であった。

異型狭心症は2名(図8)で、うち1名はCM₉

誘導でST上昇、CM₂誘導でST下降、他の1名は反対にCM₂誘導でST上昇、CM₉誘導とCM₅誘導でST下降を示した。

III. 考 案

2チャンネル式2誘導ホルター心電図法では一方の誘導はCM₅誘導(陽極はV₅、陰極は胸骨柄)あるいはCC_{5R}誘導(陽極はV₅、陰極はV_{5R})、あるいはCRC₅誘導(陽極はV₅、陰極は右鎖骨下窩右方から1/3の位置)など12-lead ECGのV₅の波形に似た誘導の選択が一般的である。他方の誘導の選択は各施設により異なるが、多くの場合II、III、aVFの波形に似た誘導があるいはV、V₂の波形に似た誘導のいずれかが選ばれている。

誘導点の選択にあたってはまずST変化を見逃がさないことが最も重要である。ついでST変化の誘導から心筋虚血領域や病変責任冠動脈が明らかにできればさらに好ましい。

しかしながら、ST下降に関しては、誘導点と心筋虚血領域との相関の有無は必ずしも結論がだされておらず、相関があるという報告^{3),4)}と、ないという報告^{5),6)}がある。Mirvis⁷⁾はこれに関連した犬の実験で84個の電極を体表面につけ検討したところ、個々の冠動脈狭窄による心筋虚血領域と誘導点とが独立して相関する部は限られており多くはオー

オーバーラップしていると述べた。

一方、ST 上昇に関しては、Kennedy⁸⁾は左前下行枝のスパズムでは V₃, V₂, 右冠動脈や左回旋枝のスパズムでは III, aVF に最もよく ST 上昇がみられるとし、V₅ には 3 枝のどの枝でも影響を与えると報告した。また MacAlpin⁹⁾は異型狭心症 339 例中 333 例 (98.2%) もの大多数が 12-lead ECG の III 誘導あるいは V₃ 誘導のいずれかに ST 上昇を認めたとし、ホルター心電図法において心筋虚血 ST 変化をもれなく検出するためには V₅-like lead に加えて V₂-like lead (あるいは V₃-like lead) と III-like lead (あるいは II-like lead) の少なくとも 3 誘導記録が必要であると強調した。

本来、ホルター心電図法においても 12-lead ECG と同様 12 誘導記録が望ましい。しかしながら、価格の上昇、多数電極装着の繁雑さ、心電図記録器重量の増加、心電図記録へのアーチファクト混入増加の懸念、そしてさらには解析の繁雑さなど多くのマイナス面も少なくない。

そこで、我々は本来の記録器、解析器を改造することなく、同じ電極数で、必要最少限とされる 3 誘導記録ができ、しかも軽重量、安価な誘導切り替えアダプターを試作した。その結果、本アダプターは 2 チャンネル式ホルター心電計の一方のチャンネルのみを 30 秒毎に誘導を切り替えることにより 2 誘導記録ができ、他方のチャンネルとあわせると計 3 誘導心電図記録が可能となった。

しかしながら、本アダプター使用では誘導切り替えチャンネルにおける各誘導の心電図記録時間に配慮が必要であった。誘導の心電図記録が長すぎるとその間に生じた他方の誘導における短時間の ST 変化を検出しにくくなるし、短かすぎれば切り替え回数が頻回すぎ ST 変化の連続性が不明になると考えられた。

Nademanee¹⁰⁾は狭心発作を伴う ST 変化 92 件ではそのすべてが虚血開始後 2~18 分つづいたと報告した。我々は体位センサーを用いてホルター心電図法における体位 ST 変化と虚血 ST 変化との鑑別を行ったが、ST 変化最大に至るまでの時間は体位 ST 変化では 24 件中 19 件 (76%) が 10 秒以内であったのに対し、虚血 ST 変化では 32 件中 28 件 (88%) が 1 分以上であった¹⁾。したがって、我々の行った 30 秒毎の切り替えは短かすぎも長すぎもなく虚血 ST 変化を見逃さず検出するためには妥当な時

間と考えられた。

誘導切り替え時の心電図基線のゆれの大きさは個人間あるいは同一個人でも体位や時間帯で異なることからアダプターのみに由来するとは考えられなかった。また、この虚血 ST 変化検出への影響については基線のゆれの回復が多くは 1 秒程度、最も長くても 7.2 秒であったことから臨床使用に問題とはならないと考えられた。

狭心症状を伴わない無症候性虚血 ST 変化は本研究では 90 件中 66 件 (73%) であった。Schang¹¹⁾は 75%, Biagini¹²⁾は 88% であったと報告している。Biagini¹²⁾はさらに無症候性虚血 ST 変化の生じている間に行った冠動脈造影から、その変化 8 件中 6 件 (75%) は冠スパズムによることを明らかにした。また我々は不安定狭心症の回復期にシャワー浴を行わせ 12-lead ECG を記録したが、その際 22 名中 16 名 (23%) に虚血 ST 変化を認めた。しかし、狭心症状を訴えたのはわずか 16 名中 5 名 (31%) のみであった¹³⁾。

このように、虚血性心臓病患者においては狭心症状がなくても虚血 ST 変化の生じている可能性が少なくない。それ故、ホルター心電図法の ST 変化捕捉においても 3 誘導法は 2 誘導法に比べそれだけ無症候性 ST 変化を見逃さず検出することにつながると考えられる。

異型狭心症 2 名中 1 名は CM₁ 誘導で ST 上昇、CM₂ 誘導で ST 下降、他の 1 名は反対に CM₂ 誘導で ST 上昇、CM₁ 誘導で ST 下降であった。ホルター心電図法の 2 誘導をそのまま利用し、もし前者で CM₁ 誘導と CM₂ 誘導を選び、後者で CM₁ 誘導と CM₂ 誘導を選んでいれば、いずれも ST 上昇を見逃したことになる。したがって、3 誘導心電図記録可能な誘導切り替えアダプターを使用したホルター心電図法は異型狭心症の検出にも有用と考えられる。

最後に、ホルター心電図法の ST 変化の意義についてはまだ議論の余地が多い。それは ST 変化が心筋虚血によるばかりでなく、ほかの種々の要因によっても生じたり、また誘導点が確立されていないことなどによる。われわれのこの方法が臨床的に充分実用に耐えられるか否か今後さらに検討していく必要がある。

IV. 結 論

ホルター心電図における虚血 ST 変化をより確実に捕捉するため、2 チャンネル式ホルター心電計にて 3 誘導心電図記録可能なアダプターを試作し、臨床に応用した。

- 1) 5 電極 X, Y, a, b, c のうち X-Y 電位は V_5 -like lead (CM_5 誘導) とし, a, b, c に試作誘導切り替えアダプターを適用した。
- 2) 原理は oscillator, divider, inverter を利用し, 上向きパルスと下向きパルスを交互に 30 秒幅で発振させ, 上向きパルス作動時には b-c 電位記録 (II-like lead : CM_9 誘導) で a が ground, 下向きパルス作動時は a-c 電位記録 (V_2 -like lead : CM_2 誘導) で b が ground というものであった。
- 3) 本法はチャンネル数, 電極数, 記録器の重量などを増すことなく, しかも安価に作製でき, 解析装置の改造も必要なかった。
- 4) 虚血性心臓病患者 50 名に応用し, うち 35 名 90 件の虚血 ST 変化を認めたが, 66 件 (73%) は無症候性虚血 ST 変化であった。ST 上昇は CM_2 誘導と CM_9 誘導に各 1 名認め異型狭心症と診断された。
- 5) 以上より, 本アダプターを利用すると心電現象をおおよそ 3 次元で把握でき, とくに無症候性虚血 ST 変化や 2 誘導のみでは見逃しやすい異型狭心症の検出に有力と考えられた。

〔文 献〕

- 1) 田辺晃久, 本間康彦, 兼本成斌, 日野原茂雄, 五島雄一郎: ホルター心電図法における虚血 ST-T 変化と体位変換 ST-T 変化の鑑別に関する研究, 日内会誌 73 : 15, 1984
- 2) Tanabe T, Iga T, Fukushi H, Goto Y : A new device for detection of postural ST-T changes in ambulatory electrocardiography. Am Heart J 109 : 187, 1985
- 3) Robertson D, Kostuk WJ, Ahuja SP : The localization of coronary artery stenoses by 12 lead ECG responses to graded exercise test. Am Heart J 91 : 437, 1976
- 4) Fox KM, Selwyn A, Oakley D, Shillingford JP : Relation between the precordial projection of S-T segment changes after exercise and coronary angiographic findings. Am J Cardiol 44 : 1068, 1979
- 5) Kasebaum DG, Sutherland KI, Judkins MP : A comparison of hypoxemia and exercise electrocardiography in coronary artery disease. Am Heart J 75 : 759, 1968
- 6) Dunn RF, Freedman B, Bailey IK, Uren RF, Kelly DT : Localization of coronary artery disease with exercise electrocardiography : correlation with thallium-201 myocardial perfusion scanning. Am J Cardiol 48 : 837, 1981
- 7) Mirvis DM : Differential electrocardiographic effects of myocardial ischemia induced by atrial pacing in dogs with various locations of coronary stenosis. Circulation 68 : 1116, 1983
- 8) Kennedy HL : Ambulatory electrocardiography including Holter recording technology. Lea & Febiger, 1981, 38p
- 9) MacAlpin RN : Correlation of the location of coronary arterial spasm with the lead distribution of ST segment elevation during variant angina. Am Heart J 99 : 555, 1980
- 10) Nedemanee K, Singh BN, Guerrero J, Hendrickson J, Intaraschot V, Baky S : Accurate rapid compact analog method for the quantification of frequency and duration of myocardial ischemia by semiautomated analysis of 24-hour Holter ECG recordings. Am Heart J 103 : 802, 1982
- 11) Schang SR Jr, Pepine CJ : Transient asymptomatic S-T segment depression during daily activity. Am J Cardiol 39 : 396, 1977
- 12) Biagini A, Mazzel MG, Carpeggiani C, Testa R, Antonelli R, Michelassi C, L'Abbate A, Maseri A : Vasospastic ischemic mechanism of frequent asymptomatic transient ST-T changes during continuous electrocardiographic monitoring in selected unstable angina patients. Am Heart J 103 : 13, 1983
- 13) Tanabe T, Goto Y : Unstable angina pectoris - changes in the ST-T segment during daily activities such as bathing, eating, defecating and urinating. Jpn Circ J 47 : 451, 1983