

副伝導路の3相・4相ブロックの電気生理学的特徴

Phase 3 and phase 4 block in the accessory pathway

藤木 明  
吉田 繁樹  
谷 昌尚  
水牧 功一  
辻 博  
篠山 重威

Akira FUJIKI  
Shigeki YOSHIDA  
Masanao TANI  
Koichi MIZUMAKI  
Hiroshi TSUJI  
Shigetake SASAYAMA

**Summary**

Pacemaker activity at a site proximal to the area of a conduction disturbance has been postulated as depressing conduction in late diastole (phase 4 block). To elucidate the correlation between the site of phase 4 depolarization and that of a conduction disturbance, we examined seven patients with intermittent Wolff-Parkinson-White syndrome who had tachycardia (phase 3) and bradycardia (phase 4) dependent on block in the accessory pathway.

In each patient, antegrade conduction over the accessory pathway was absent at the sinus rate. During premature atrial stimulation a "window" of accessory pathway conduction was identified in each patient. The outer limit of the window ranged from 420 to 670 ms; the inner limit, from 330 to 620 ms. The duration of the window ranged from 20 to 160 ms. Four patients with orthodromic atrioventricular reentrant tachycardia exhibited preserved retrograde accessory pathway conduction. In one patient with unsustained orthodromic atrioventricular reentrant tachycardia, retrograde accessory pathway conduction also exhibited phase 3 and phase 4 blocks. The remaining two patients had no retrograde accessory pathway conduction. In two patients, retrograde concealed conduction in the accessory pathway induced by ventricular stimulation eliminated a phase 4 block in antegrade accessory pathway conduction.

These results suggest that 1) an antegrade phase 4 block may have phase 4 depolarization in the accessory pathway and block at the ventricular insertion of the accessory pathway; 2) a retrograde phase 4 block may have a conduction disturbance at the atrial insertion of the accessory pathway; and 3) a complete retrograde block may occur at the atrial insertion of the accessory pathway.

**Key words**

Intermittent WPW syndrome    Antegrade and retrograde conduction    Automaticity

富山医科薬科大学 第二内科  
富山市杉谷 2630 (〒930-01)

The Second Department of Internal Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University, Sugitani 2630, Toyama 930-01

Received for publication January 19, 1989; accepted May 13, 1989 (Ref. No. 36-66)

目 的

間欠型 WPW 症候群の機序の一つに Rosenbaum らの提唱した 3 相 4 相ブロックがある<sup>1-4)</sup>. Singer らは微少電極法による実験から, 4 相ブロック出現には伝導障害部の 4 相脱分極が必要であると指摘した<sup>5)</sup>. ところが最近, Antzelevitch らは Purkinje 線維を用いた sucrose gap 法による実験から, 4 相ブロックは興奮の伝導方向に依存すると報告した<sup>6)</sup>. すなわち 4 相脱分極部の遠位に伝導障害が存在する場合には 4 相ブロックとなり, その逆の場合, 伝導は障害されないという現象である. そこで今回, 洞調律時や基本連続刺激ではデルタ波を認めず, 心房早期期外刺激の連結期を短縮すると, 一定の zone を持ってデルタ波が出現する間欠型 WPW 症候群 7 例を対象に, 副伝導路の順行伝導と逆行伝導の電気生理学的特徴を検討した. さらに副伝導路の自動能と伝導障害部の位置関係が伝導パターンに及ぼす影響についても考察した.

方 法

従来の方法で 2 極または 4 極の 6F 電極カテテルを経静脈的に挿入し, 高位右房 (HRA), 右室心尖部 (RV), His 束領域 (HB), 冠静脈洞 (CS) に留置した. 体表面心電図の 3 誘導と 40 から

500 Hz のフィルターで処理した心腔内電位を, 同時にミンゴグラフの上に紙送り速度 50 ないし 100 mm/sec で記録した. 閾値の 2 倍, 幅 2 msec の刺激を高位右房または右室心尖部に加えた. 心房または心室の連続刺激法により, 最大 1:1 房室伝導能, 最大 1:1 室房伝導能を検討した. 心房または心室で 8 連続基本刺激 S<sub>1</sub> の最後に加えた早期刺激 S<sub>2</sub> 間隔を 10 msec ずつ短縮し, 心房と心室および副伝導路の有効不応期を求めた. 心房早期刺激間隔を順次短縮した際, デルタ波がみられる最大の心房興奮間隔 A<sub>1</sub> A<sub>2</sub> を outer limit, 最小の間隔を inner limit とし, その差をデルタ波出現の window の幅とした.

結 果

7 例いずれにおいても, 洞調律時は副伝導路を介した興奮は全く認めなかった. 電気生理学的検査施行時, disopyramide 300 mg 服用中の症例 2 を除き, 他はすべて無投薬であった. 心房早期刺激により副伝導路を介する伝導が出現する早期刺激間隔の outer limit は 420 msec から 670 msec, 一方 inner limit は 330 msec から 620 msec であった. デルタ波出現の早期刺激間隔の幅は 20 msec から 160 ms であった (Table 1).

症例 1 から 4 では, 房室結節を順伝導し, 副伝導路を逆伝導する房室回帰性頻拍を認めた. 症例

Table 1. Clinical characteristics and electrophysiologic data

Pt. No.	Age Sex (yr)	Clinical arrhythmia	Location of AP	A1A2 with antegrade AP conduction (ms)	Retrograde APERP
1	18 F	AVRT	Left lateral	450~610	260
2	49 M	AVRT	Left posterior	330~420	300
3	39 M	AVRT	Anteroseptal	600~620	310
4	42 M	AVRT	Left lateral	560~580	280
5	59 M	Paf	Right posterior	620~670	390~500*
6	39 M	—	Left lateral	410~480	—
7	65 M	Paf	Left posterior	500~580	—

AP=accessory pathway; AVRT=atrioventricular reentrant tachycardia; ERP=effective refractory period; Paf=paroxysmal atrial fibrillation.

\* A zone of V1V2 with retrograde AP conduction is observed.

1では基本刺激周期 900 msec の心房刺激時にはデルタ波を認めず、また早期心房刺激間隔 620 msec でもデルタ波は出現せず、房室伝導時間の延長に伴い、CS に最早期興奮を有し、副伝導路を逆行性に心房に戻る心房エコーが認められた (Fig. 1 A)。ところが Fig. 1 B に示すように、早期刺激間隔を 610 msec に短縮すると左側壁の副伝導路を介するデルタ波が突然認められ、さらに短縮すると 450 msec まで連続してデルタ波が出現した。刺激間隔が 440 msec になると、早期心房興奮の心室への伝導が途絶した (Figs. 1 C, D)。一方、心室刺激に際しては基本周期 600 msec における逆行性副伝導路有効不応期は 260 msec, 1:1 室房伝導は基本周期 300 msec 以下と良好であった (Fig. 2)。症例 2, 3, 4 のデルタ波出現の早期心房興奮間隔の幅は、90, 20, 20 msec で

あった。症例 2, 4 が左側副伝導路、症例 3 は前中隔側に副伝導路を有した。

症例 5 は右後壁の副伝導を有し、デルタ波出現の window は 620 msec から 670 msec であったが (Fig. 3), 本例は順行伝導だけでなく、さらに逆行伝導においても順行伝導と同様の window がみられた。基本周期 750 msec の右房連続刺激 8 発の後に、心室 V 波より 500 msec の間隔で心室刺激  $S_1$  を加えたところ、室房伝導を介した心房興奮  $A_1$  が生じた。その後さらに 550 msec の間隔で心室刺激  $S_2$  を加えたが、この場合は室房伝導を認めなかった。この心室早期刺激  $S_2$  の間隔を順次短縮すると、500 msec より 390 msec までの間で心房早期興奮  $A_2$  がみられ、それ以下では再び室房伝導は消失した (Fig. 4)。この室房伝導は心室早期刺激による伝導時間延長がなく、

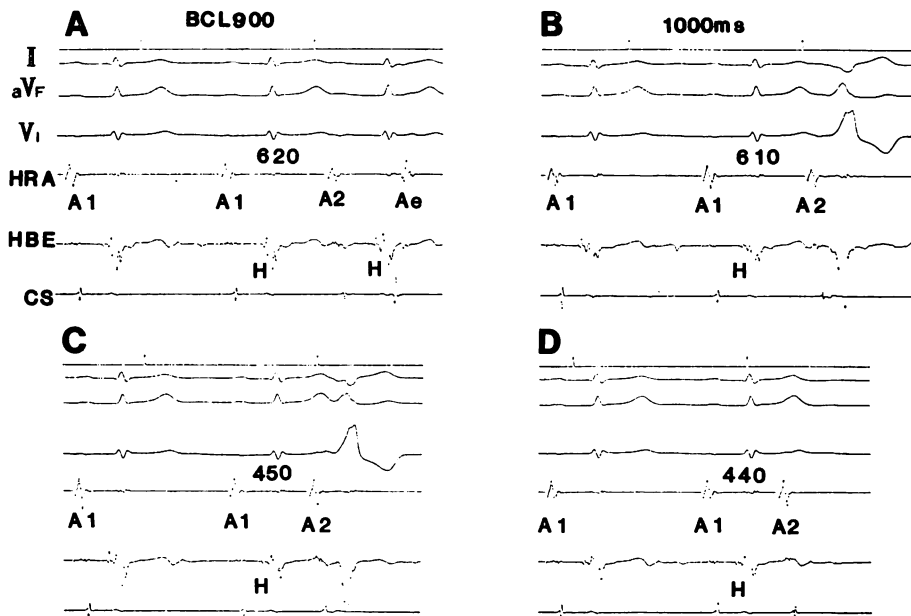
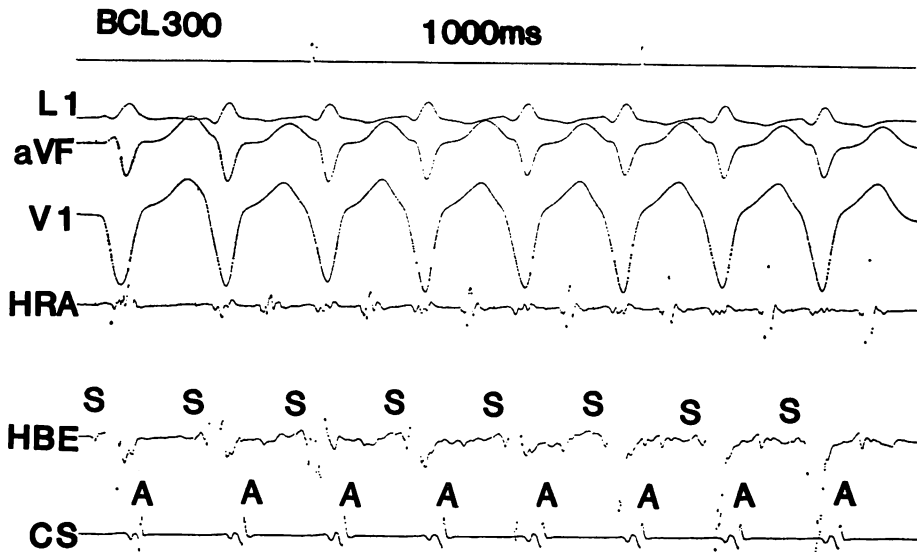


Fig. 1. Antegrade phase 3 and phase 4 blocks in the accessory pathway in patient 1 (18F).

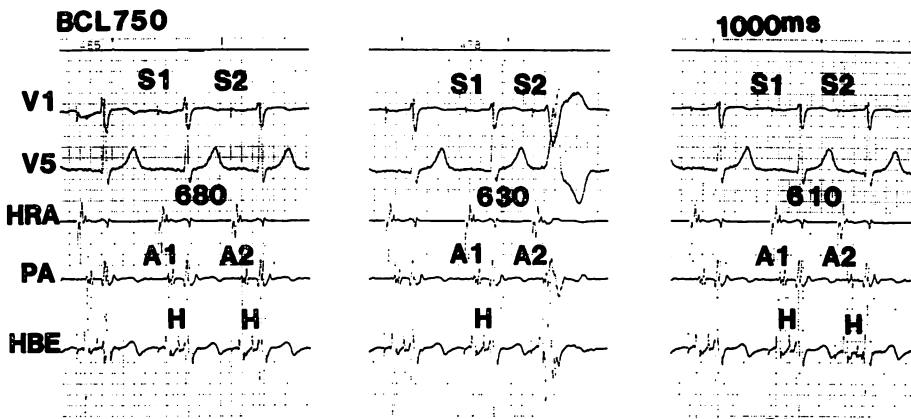
A zone of antegrade conduction over the accessory pathway is observed. A: At an A1A2 interval of 620 ms, the atrial impulse conducts to the ventricle over the AV node and returns to the atrium through the accessory pathway. B and C: Antegrade conduction over the accessory pathway is observed between A1A2 intervals of 610 ms to 450 ms. D: At A1A2 intervals shorter than 440 ms the atrial impulse does not conduct to the atrium. Surface leads I, aVF, and  $V_1$  are shown.

HRA=high right atrium; HBE=His bundle electrogram; CS=coronary sinus.



**Fig. 2. Retrograde conduction over the accessory pathway of patient 1.**

1:1 ventriculoatrial conduction was maintained up to a cycle length of 300 ms. Electrograms are designated as in Figure 1.



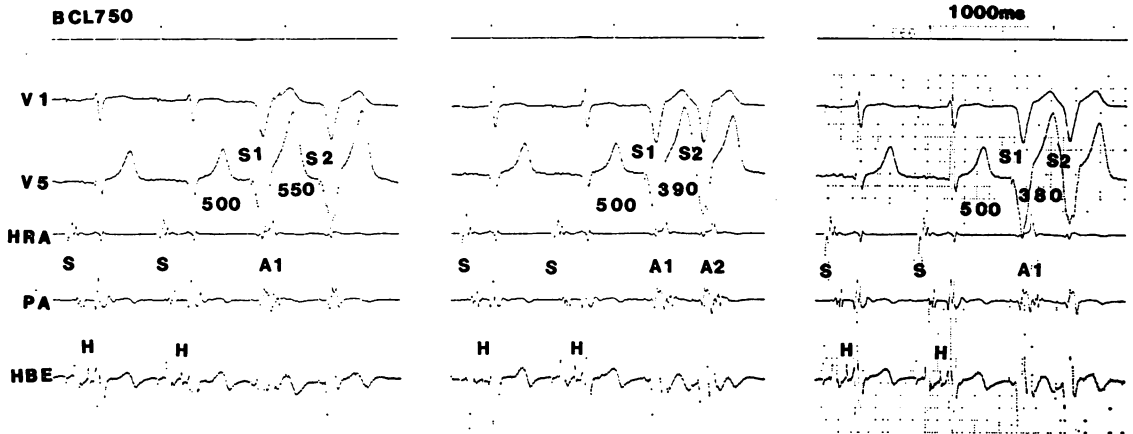
**Fig. 3. Antegrade phase 3 and phase 4 blocks in the accessory pathway of patient 5 (59M).**

The zone of antegrade conduction over the accessory pathway is observed. Surface leads V1 and V5 are shown.

HRA=high right atrium; PA=pulmonary artery; HBE=His bundle electrogram.

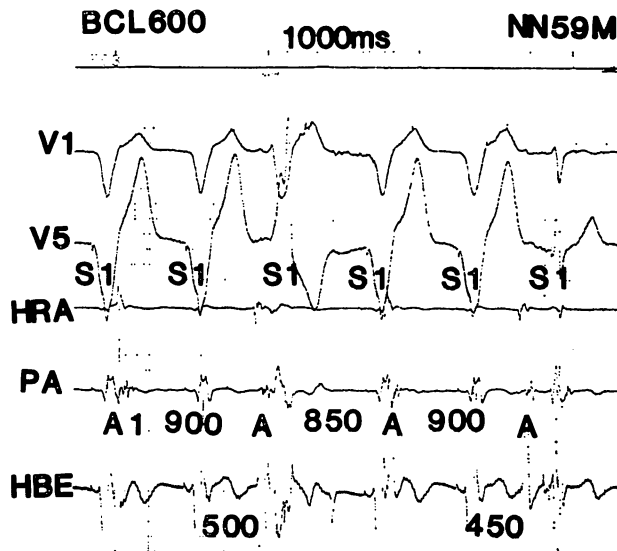
心房興奮パターンも房室回帰性頻拍中と同一であったことから、副伝導路を介するものと考えた。次に本例の基本周期 600 msec の心室刺激の記録を Fig. 5 に示す。第 1 拍目は室房伝導がみられ

るが、以後の心室刺激はいずれも室房伝導を伴っていない。一方、3 拍目の心室興奮は心室刺激によるものと異なり、副伝導路の順行伝導を介した心室興奮と考えられた。すなわち先行する心房興



**Fig. 4. Retrograde phase 4 block in the accessory pathway of patient 5.**

After eight atrial stimuli (S) at a cycle length of 750 ms, a single ventricular stimulus (S1) is introduced at a coupling interval of 500 ms. At this coupling interval ventricular excitation conducts to the atrium (A1) over the accessory pathway. The second ventricular extrastimulus (S2) at a coupling interval of 550 ms does not conduct to the atrium (left panel). At S1S2 intervals of 500 ms to 390 ms, the ventricular premature impulse conducts to the atrium through the accessory pathway (middle panel). At S1S2 intervals shorter than 380 ms, the ventricular premature beat does not conduct to the atrium (right panel). Electrograms are designated as in Fig. 3.



**Fig. 5. Elimination of an antegrade phase 4 block in the accessory pathway by retrograde concealed conduction in patient 5.**

During ventricular pacing at a cycle length of 600 ms, the first ventricular beat conducts to the atrium and the second ventricular beat does not conduct to the atrium which discharges spontaneously at a cycle length of 900 ms. This atrial impulse conducts to the ventricle over the accessory pathway in spite of an AA interval of 900 ms. Electrograms are designated as in Fig. 3.

奮間隔は 900 msec と、先程のデルタ波出現の window 620~670 msec から大きく外れるにもかかわらず、副伝導路を介した伝導がみられた。一方、3 拍目は narrow QRS の心室興奮がみられた。この場合は先行する心房興奮間隔は先程と同じ 900 msec であるが、先行する心室興奮と心房興奮の間隔がデルタ波出現時の 3 拍目の 500 msec に比して 450 msec であり、50 msec 短縮していた。

症例 6 と 7 は、洞調律時および種々の基本周期での心室連続刺激中、拡張末期からの早期心室刺激によっても、室房伝導は全く認められなかった。副伝導路の順行伝導には 70 msec と 80 msec の window がみられた。Fig. 6 に症例 7 を呈示する。洞周期が 680 msec でほぼ一定の際に心房に早期刺激を加えたところ、心房興奮間隔が 500 msec なら 580 msec の間でのみ、左後中隔の副伝導路を介したデルタ波がみられた。Fig. 7 にこの例の基本周期 600 msec の際における心室連続刺激の記録を示す。いずれの心室刺激の場合にも室房伝導は全く認めないが、矢印で示したごとく QRS 波形が副伝導路を介した心室興奮と

類似した部分が認められる。それぞれに先行する心房興奮間隔は 860 msec と 740 msec であり、心房早期刺激で求めたデルタ波出現の window である 500~580 msec とは異なっている。また矢印の 1 拍目と 2 拍目で HRA における房室伝導間隔に差があるが、一方、CS では同一であることから、心房内の伝導パターンは異なるが、副伝導路を介する房室伝導時間は同一と考える。この例も症例 5 と同様、心室刺激による副伝導路への逆行性不顕伝導が順行伝導を可能にしたものと思われる。

## 考 察

### 1. 順行性 3 相 4 相ブロック

7 例すべてにおいて、基本刺激の心房興奮は副伝導路を伝導せず、ある特定の連結期の心房早期興奮のみ副伝導路を伝導し、デルタ波が出現した。一方、連結期のさらに短い心房早期興奮、逆により長い連結期の心房興奮は副伝導路を伝導せず、デルタ波を生じなかった。3 相 4 相ブロックの機序によると、長い連結期の興奮は、緩徐な拡張期脱分極により副伝導路の伝導ブロックが生

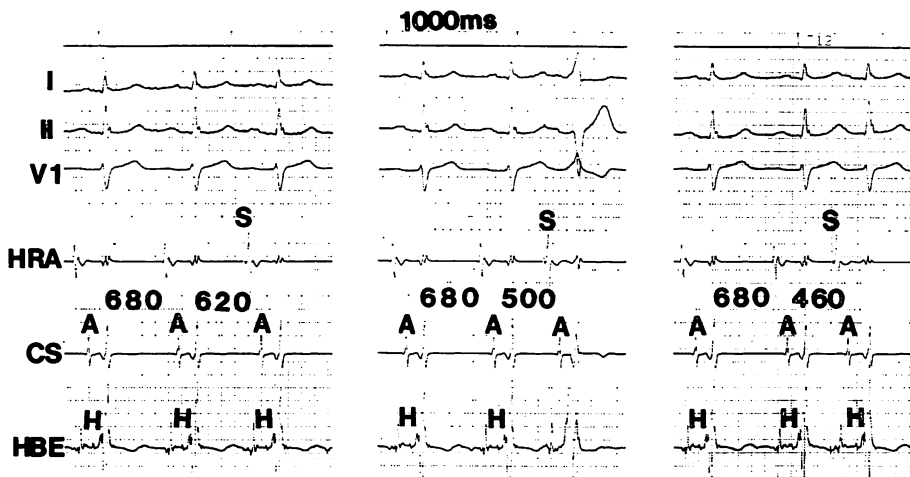
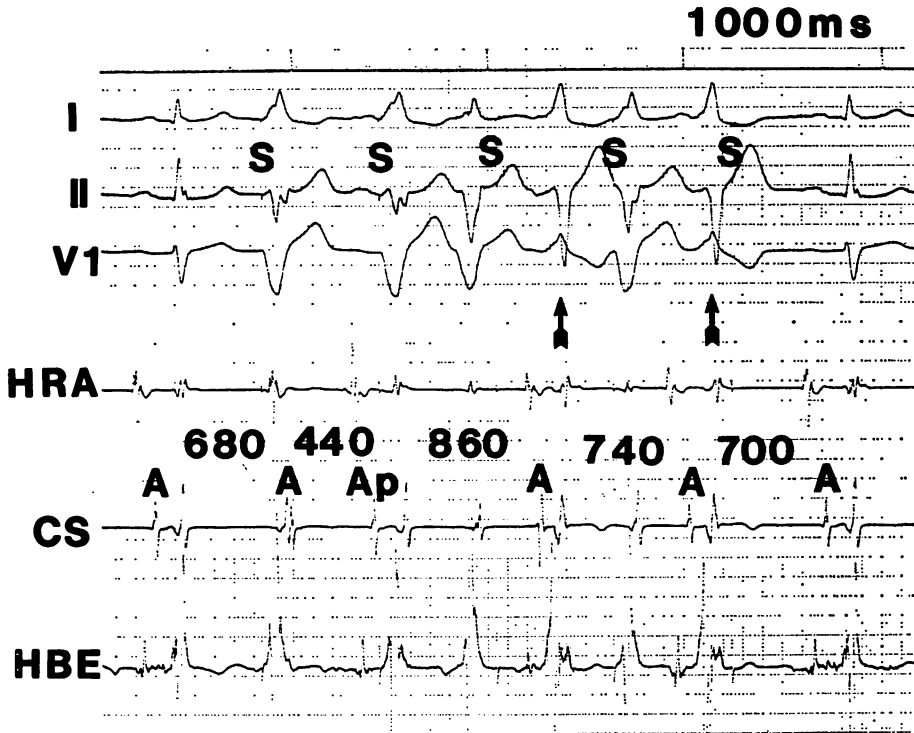


Fig. 6. Antegrade phase 3 and phase 4 blocks in the accessory pathway of patient 7 (65M). A zone of antegrade conduction over the accessory pathway is observed. Surface leads I, II and V1 are shown.

HRA=high right atrium; HBE=His bundle electrogram; CS=coronary sinus.



**Fig. 7. Elimination of an antegrade phase 4 block in the accessory pathway by retrograde concealed conduction in patient 7.**

During ventricular pacing at a cycle length of 600 ms, no retrograde accessory pathway conduction is observed. After the second ventricular stimulation, premature ventricular excitation appears. The next atrial impulse preexcites the ventricle in spite of an AA interval 860 ms. Arrows indicate preexcitation. Electrograms are designated as in Fig. 5.

じ、また短い連結期の興奮は、先行する不顕性伝導により順行性伝導ブロックが生ずると考えられる<sup>1)</sup>。一方、副伝導路の supernormal conduction も、心房早期刺激に際して、zone を持って順行伝導を生じさせる機序として報告されている<sup>7,8)</sup>。洞調律や基本刺激時に副伝導路の順行伝導が認められることから、これらはいずれも徐拍依存性4相ブロックでは説明できない。逆に今回の7例は明らかな徐拍依存性ブロックを呈することから、supernormal conduction とは異なると考えられた。徐拍依存性ブロックの機序について、Jalife らは最近 Purkinje 線維を sucrose gap 法を用いて検討し、4相脱分極が存在しなくても徐拍依存

性ブロックが生じることを示した<sup>9)</sup>。彼らは、伝導障害部の興奮伝導の成否は、局所電流強度と未興奮部の興奮性の時間依存性の変化により規定されると報告した。臨床電気生理学的検査において、拡張期脱分極を直接証明するのは極めて困難と考えられる。しかし、副伝導路と類似した電気生理学的特徴を有するとされる心房筋において、異なる機序による自動能の存在が種々報告されている<sup>10,11)</sup>、それゆえ、副伝導路自体の自動能を徐拍依存性ブロックの機序として考えることも可能と思われる。

## 2. 順行性に3相4相ブロックを示す副伝導路の逆行伝導について

順行性に3相4相ブロックを呈する副伝導路の逆行伝導特性についての検討は乏しい<sup>3,4)</sup>。今回の検討では3種類の伝導パターンが見られた。すなわち症例1から4は逆行伝導は良好であり, 症例5は逆行性にも3相4相ブロックがみられ, 症例6, 7は逆行伝導が全く認められなかった。Antzelevitchらは実験的にPurkinje線維を対象として, sucrose gap法を利用し, 障害領域の近位部の4相脱分極は活動電位の立ち上がりを抑制し, 局所電流強度が減少し, 伝導ブロックを生じさせるとした<sup>6)</sup>。一方, 障害領域の遠位部に4相脱分極が生じる場合は, 未興奮部の興奮性が増大し, 伝導が促進すると報告している。この実験に基づいて今回の結果を考えると, Fig. 8に示したごとく, 順行性の4相ブロックは, 副伝導路の自動能と副伝導路の心室接合部の伝導障害を示唆し, 一方, 逆行性の4相ブロックは, 副伝導路の自動能と心房接合部の伝導障害が疑われる。また逆行性ブロックは, 心房接合部のブロックによると考えられる。

## 3. 逆行性不顕伝導の順行性4相ブロックへの効果

Figs. 5, 7に心室刺激の4相ブロックへの効果を示したが, これらは心室ペーシングによる副伝導路自動発生部への逆行性不顕伝導により, 膜電位の過分極を生じ, 副伝導路の4相ブロックが解除され, 順行伝導が可能になったものと考えた。すなわちFig. 5に示した例(症例5)の基本周期600 msecの心室刺激中, 3拍目は2拍目の心室興奮が副伝導路へ逆行性の不顕伝導をし, 4相脱分極をリセットしたため, 順行伝導が可能になったと考えられる。一方, 6拍目はnarrow QRSとなっているが, これは5拍目の心室興奮と次の心房興奮が450 msecであり, 2拍目と次の心房興奮までの500 msecより50 msec短いことから, 副伝導路の逆行性不顕伝導によるリセットは生じるものの, それ自体による不応期から脱することができず, デルタ波がみられなかったと考えられ

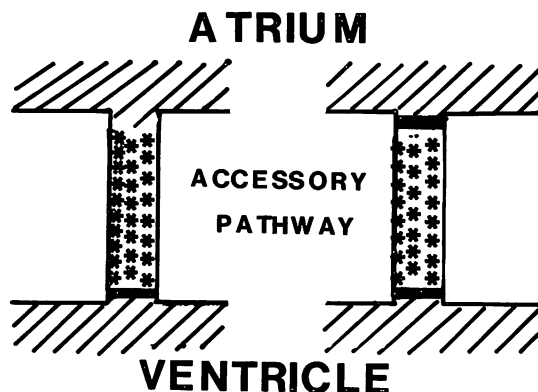


Fig. 8. Schematic representation of the proposed electrophysiologic mechanisms underlying a phase 4 block in the accessory pathway.

The asterisk area indicates automaticity in the accessory pathway. The black bars indicate the site of conduction disturbance.

る。

## 4. 臨床的な意義

副伝導路の3相4相ブロックは, 心房細動時の頻回心室応答を生じ難くするという。しかし房室回帰性頻拍は副伝導路の逆行伝導に依存するため, 7例中4例に頻拍発作が誘発された。順行性と逆行性の4相ブロックが生じた1例では非持続性の頻拍を認めたが, 室房伝導のない2例には頻拍発作は誘発されなかった。

## 結 論

3相4相ブロックを示す間欠型WPW症候群7例を対象に, その副伝導路の順行と逆行伝導特性につき検討した。

1. 副伝導路順行伝導が出現する心房早期興奮間隔のouter limitは670 msecから420 msec, inner limitは620 msecから330 msecであった。

2. 副伝導路の逆伝導は3つのtypeに分かれた。4例は1:1室房伝導能が毎分200以上と良好, 1例は心房早期興奮間隔が500 msecから390 msec間でのみ, 副伝導路の逆行伝導を認め,



逆行性4相ブロックと考えた。残り2例は洞調律時や種々の基本周期における心室早期期外刺激でも、全く室房伝導を認めなかった。

3. 心室刺激による副伝導路への逆行性不顕伝導が、順行性4相ブロックを消失させる現象が2例でみられた。

### 要 約

伝導障害部の近位にある自動能は、順方向に4相ブロックを生じるといわれる。4相脱分極と伝導障害部の関係を明らかにする目的で、3相4相ブロックによる間欠型WPW症候群の7例を対象に、副伝導路の電気生理学的特徴を検討した。

デルタ波は洞調律時は認めず、心房早期興奮に際してのみ出現した。デルタ波出現のouter limitは420から670 msecであり、inner limitは330から620 msecであった。デルタ波出現のzoneは20から160 msecであった。4例の房室回帰性頻拍を伴う症例の逆行伝導はいずれも良好であった。1例の非持続性の房室回帰性頻拍を有する例は、逆行伝導においても3相4相ブロックが認められた。残り2例は室房伝導が全く認められなかった。また2例で、心室刺激による副伝導路の逆行性不顕伝導が順行性4相ブロックを解除させた。

これらより、1) 順行性の4相ブロックは副伝導路の4相脱分極と心室接合部での伝導障害、2) 逆行性4相ブロックは副伝導路の4相脱分極と心房接合部での伝導障害、3) 逆伝導が全くない例は心房接合部でのブロックが、それぞれの機序と考えられた。

### 文 献

1) Rosenbaum MB, Elizari MV, Levi RJ, Nau GJ: Paroxysmal atrioventricular block related to hy-

- popolarization and spontaneous diastolic depolarization. *Chest* **63**: 678-688, 1973
- 2) Przybylski J, Chiale PA, Halpern CMS, Lazzari JO, Elizari MV, Rosenbaum MB: Existence of automaticity in anomalous bundle of Wolff-Parkinson-White syndrome. *Br Heart J* **40**: 672-680, 1978
- 3) Lerman BB, Josephson ME: Automaticity of the Kent Bundle: Confirmation by phase 3 and phase 4 block. *J Am Coll Cardiol* **5**: 996-998, 1985
- 4) Fujiki A, Yoshida S, Tani M, Sasayama S: Intermittent Wolff-Parkinson-White syndrome due to phase 3 and phase 4 block: Disappearance of rapid ventricular response during atrial fibrillation. *J Electrocardiol* **21**: 77-82, 1988
- 5) Singer DH, Lazzara R, Hoffman BF: Interrelationships between automaticity and conduction in Purkinje fibers. *Circ Res* **21**: 537-558, 1967
- 6) Antzelevitch CH, Jalife J, Moe GV: Frequency dependent alterations of conduction in Purkinje fibers: A model of phase 4 facilitation and block: *in* *Frontiers of Cardiac Electrophysiology*: (ed by Rosenbaum MB, Elizari MV). Boston, Martinus Nijhoff, 1983, p. 397
- 7) Chang MS, Miles WM, Prystowsky EN: Supernormal conduction in accessory atrioventricular connections. *Am J Cardiol* **59**: 852-856, 1987
- 8) Przybylski J, Chiale PA, Sanchez RA, Postori TD, Francos HG, Elizari MV, Rosenbaum MB: Supernormal conduction in the accessory pathway of patients with overt or concealed ventricular pre-excitation. *J Am Coll Cardiol* **9**: 1269-1278, 1987
- 9) Jalife J, Antzelevitch C, Lamanna V, Moe GK: Rate-dependent changes in excitability of depressed cardiac Purkinje fibers as a mechanism of intermittent bundle branch block. *Circulation* **67**: 912-922, 1983
- 10) Gillette PC, Garson A Jr: Electrophysiologic and pharmacological characteristics of automatic atrial tachycardia. *Circulation* **56**: 571-575, 1977
- 11) Fujiki A, Yoshida S, Mizumaki K, Sasayama S: Atrial automatic tachycardia with two different types of electrophysiologic characteristics. *Am Heart J* **117**: 699-701, 1989