

— 綜 説 —

ヒス束心電図の臨床応用

伊藤 明一, 篠田 晋, 長島 道夫  
 厨川 和哉\*

I. はじめに

ヒス束の電位を初めて記録したのは、1958年の Alanis ら<sup>1)</sup>である。彼らは、イヌの摘出灌流心の心外膜側から針電極を刺入し、心房波と心室波の間に急峻なフレを認めた。この電位は、洞結節を破壊しても、心室波に先行して残存した。この電位の記録されるレベルより下位でブロックを作製すると、この電位は心房波に続いて出現し、心室波と無関係であることを観察した。以上の結果より、このフレは心房や心室の電気現象でなく、ヒス束に由来するものと考えられた。

さらに1969年 Scherlag ら<sup>2)</sup>は、ヒトで心臓カテテル法を用いて、ヒス束電位を記録する方法を考案した。このようなヒス束電位の記録は、ヒス束心電図 His bundle electrogram と呼ばれ、応用範囲の広さとともに簡便性かつ安定性にすぐれているため、急速に普及するようになった。当院では、1972年10月より1981年6月までの8年9カ月間に、568回本検査を施行した。その経験をもとに以下に述べる。

II. ヒス束心電図記録法

鼠径部を剃毛し消毒を行い、Seldinger 法により経皮的に大腿静脈を穿刺する。大腿静脈は大腿動脈の内側を平行して走行しているの、鼠径靭帯のやや下方で大腿動脈拍動部位より約5mm内側の部位を局所麻酔した後、約3mmの皮膚切開を加え、19ゲージのエラスター針を刺入する。内針を抜き外筒に注射器をつけ、吸引しながらゆっくり引き抜くと静脈血の逆流をみる。そこで

外筒をさらに進めガイドワイヤーを挿入し、刺入部の大腿静脈を圧迫しながら外筒を抜去し、ガイドワイヤーのみを静脈内に留置する。再び十分な局所麻酔を行う(図1, 2)。

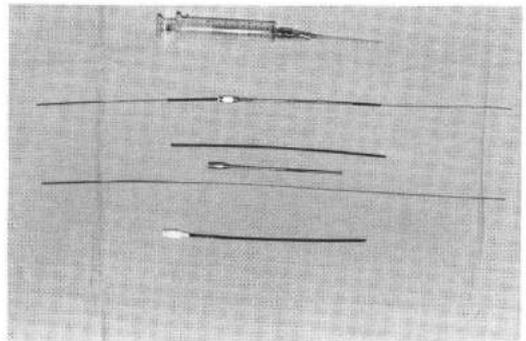


図1. 穿刺用具。上段よりエラスター針、イントロデューサー、その内筒(3段目)、外筒(4段目)とガイドワイヤー(5段目)、最下段が拡張器。



図2. 電気生理学的検査。

拡張器を回転させながらガイドワイヤーを介し挿入し、大腿静脈穿刺部を拡張させてから、カテテルイントロデューサーを挿入する。静脈内に入ると抵抗が消失する。そこで外筒のみを静脈内に残し、ガイドワイヤーと内筒を抜去する。ついで

仙台市立病院内科  
 \* 同 中央臨床検査室



図 3. 電極カテーテル。左より 3 極, 双極, 6 極。

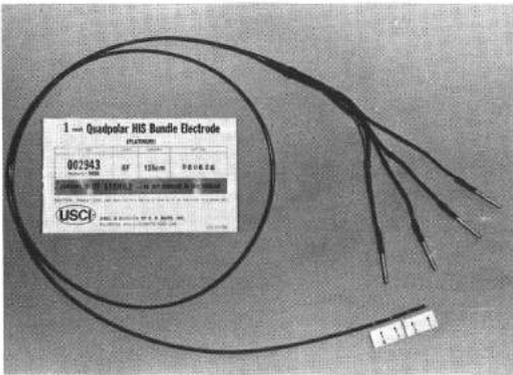


図 4. 4 極カテーテル。

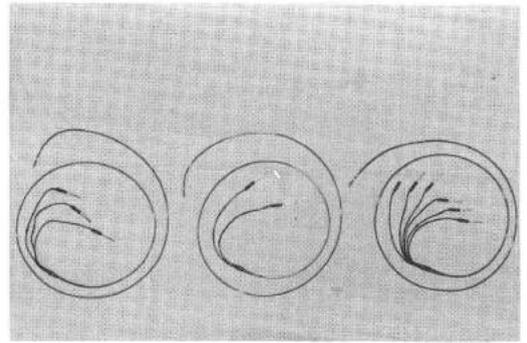


図 6. 電気生理学的検査装置。

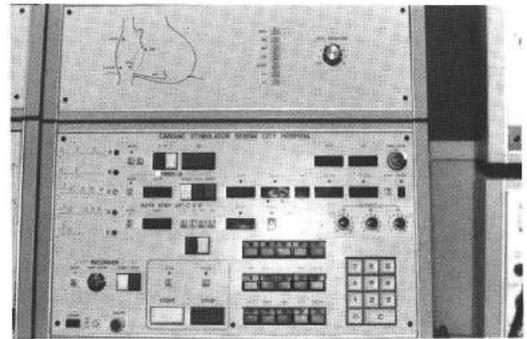


図 7. 電気刺激装置。

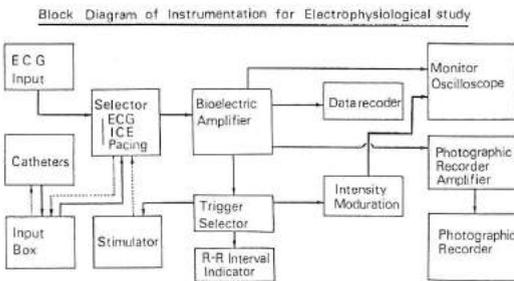


図 5. 電気生理学的検査のブロックダイアグラム。  
ICE は心内心電図。

外筒の中に電極カテーテルを挿入する。通常 6F の双極ペースメーカー用カテーテル（電極幅 2 mm, 電極間距離 10 mm）を使用する。同時に 3 極, 4 極あるいは 6 極カテーテルを用いることもある（図 3, 4）。

X 線透視下にカテーテルを進め, 下大静脈, 右心房を介し右心室へ挿入する。この際心室性期外収縮の発生に注意する。電極を接続箱と連結し,

生体電気現象用増幅器に接続する（図 5, 6, 7）。オシロスコープをみながら, ヒス束電位の出現を確認する。

電極カテーテル先端が右室心尖部寄りにある場合, 大きな心室波が認められる（図 8e）。カテーテルを軽く時計方向に回転させながら引きぬくと, カテーテル先端が心室中隔に接近し, 右脚電位が記録される（図 8d）。さらに引きぬくと, 心房波が大きくなり, 心房波と心室波の間に 2~3 相性の急峻なフレが出現する（図 8c, 9）。このフレがヒス束の電位である。

カテーテルをさらに右房側へ引きぬくと, ヒス束電位は消失し（図 8b）, ついで心房波のみとなる（図 8a）。心房波と心室波はみられるが, ヒス束電位が認められない場合, カテーテルが冠静脈洞に挿入されていることがあるので, カテーテルの走行に注意する必要がある。

高域および低域遮断フィルターとヒス束心電図の関係を図 10 に示す。時定数が一定で, 高域遮断

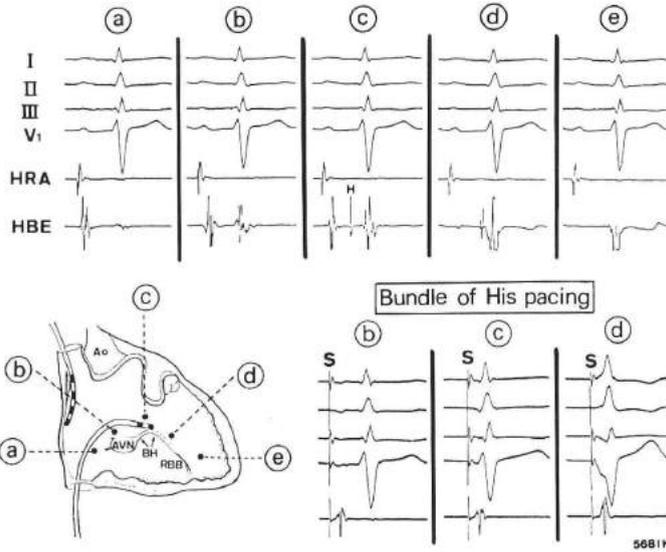


図8. 心電図(I, II, III, V<sub>1</sub>誘導), 右房高位電位(HRA), ヒス束心電図(HBE)の同時記録。右心房(a)から右心室側(e)へ電極が移動するにつれて, 心房波が小さくなり, 心室波が増大する。ヒス束電位Hはcで, 右脚電位はdで記録される。記録用カテーテルを用いて電気刺激を行なうと, cではヒス束刺激, bでは心房刺激, dでは心室刺激となる。

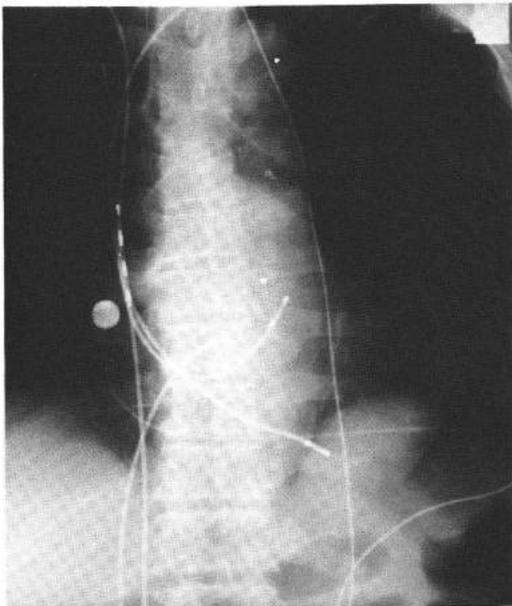


図9. 電極カテーテルの位置。大腿静脈よりヒス束心電図電図記録用双極カテーテル, 右房高位電位記録および右房刺激用4極カテーテルを挿入し, 左肘静脈より冠静脈洞を介し左心房後壁に, 右肘静脈より右室心尖部に双極カテーテルを位置させている。

フィルターが減少すると, ヒス束電位の減高が認められる。また時定数が減少すると, 低周波数成分が遮断され, 緩徐なフレが消失し, 見易くなる。われわれは, 高域遮断フィルターを500 Hz, 時定数を0.003秒とし, 紙送り速度100 mm/秒で電磁オシログラフを用いて記録し, データレコーダーにも収録している<sup>3-6)</sup>。

大腿静脈からカテーテルを挿入しヒス束心電図を記録しえない場合や, 大腿静脈へのカテーテルの挿入が禁忌あるいは不可能なことがまれにある。このようなとき, 肘静脈を介するアプローチが試みられている(図11)。肘静脈よりカテーテルを挿入する場合, 駆血帯で静脈を怒張させ, 静脈の走行を確かめた後に穿刺する。外側部の静脈は, 桡側皮静脈を介し直角に腋窩静脈に注ぐため, カテーテルを進められなくなることがあるので, された方がよい。

1973年 Narula ら<sup>7)</sup>(図12のように6字形のループを作成), Ali ら<sup>8)</sup>(図13に類似), Gallagher ら<sup>9)</sup>(図14のように先端がJ字形に屈曲できるように工夫したカテーテルを使用)は, それぞれ異



図10. 高域および低域遮断フィルターのヒス束心電図波形におよぼす影響。

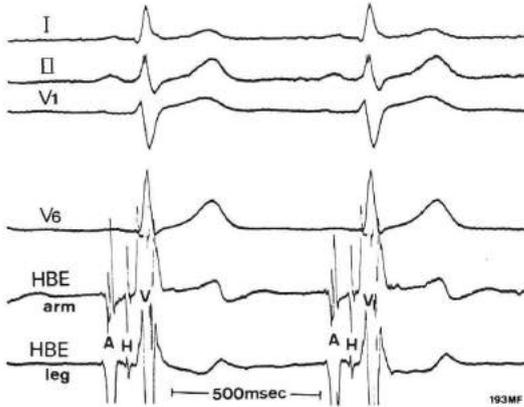


図11. ヒス束心電図記録用カテーテルは、肘静脈(HBE arm)と大腿静脈(HBE leg)より挿入されている。両者のヒス束電位Hは同時に出現している。

なる方法を発表した。1975年われわれ<sup>10)</sup>は本邦での第1例目を報告した。そのカテーテルのループは逆6字形を呈しており、それまでの報告と異っていた。

最近 Giuffrida ら<sup>11)</sup>は、6極カテーテルを使用し、先端を右房に位置させ、三尖弁を横切る逆6字形のループを作成し、ヒス束心電図を記録する方法を発表した。この方法では、心房刺激、長時間におよぶヒス束心電図の記録、さらに下肢の運動

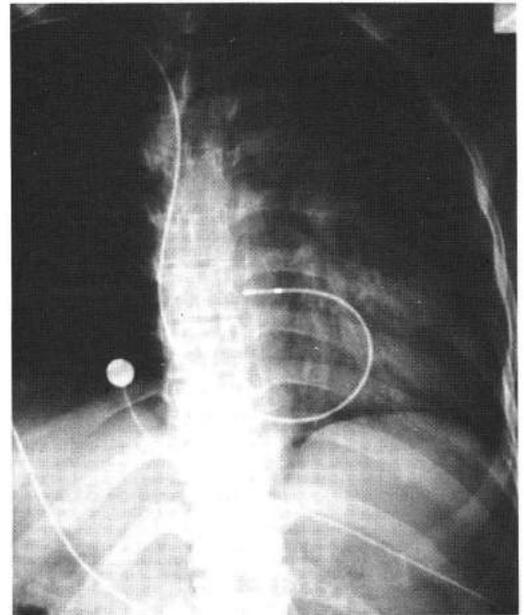


図12. 下大静脈欠損症の例で、右肘静脈よりカテーテルを挿入し、ヒス束心電図を記録。

負荷も可能であると述べている。以上のような肘静脈を利用する方法は、一般的な方法が不可能な場合考慮すべきである。また動脈を介して逆行性にカテーテルを進め、大動脈弁の無冠尖の部位にカテーテル先端を位置させ、ヒス束電位を記録する

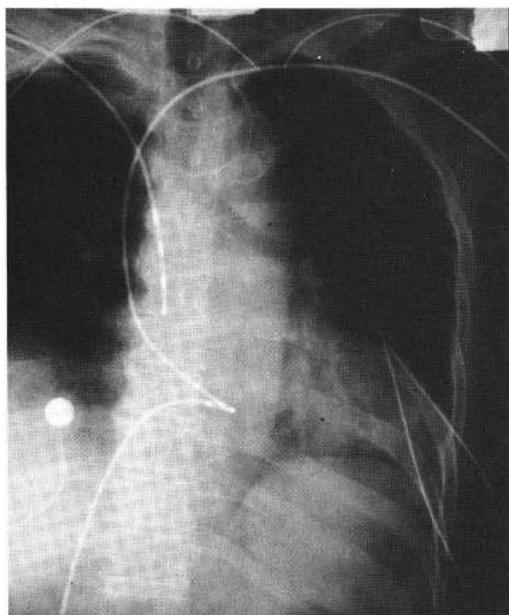


図 13. 左肘静脈と大腿静脈より挿入した両者のカテーテルで、ヒス束心電図を記録。

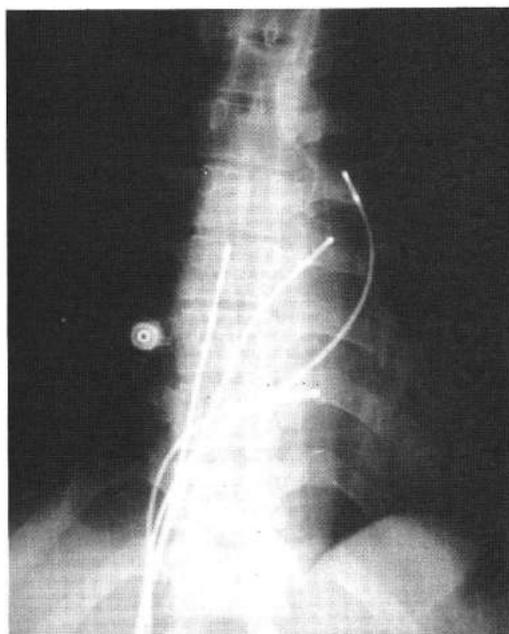


図 15. 心房中隔欠損孔を介し左房へカテーテルを挿入。さらに肺動脈へもカテーテルを進め、左房電位を記録。

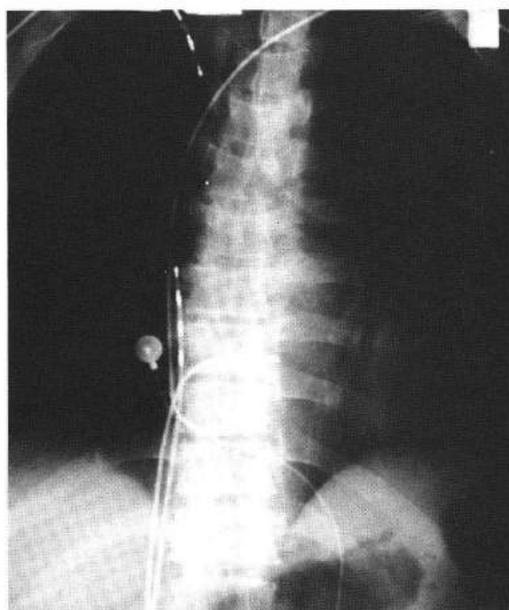


図 14. Gallagher の考案したカテーテルを左肘静脈より挿入し、ヒス束心電図を記録。

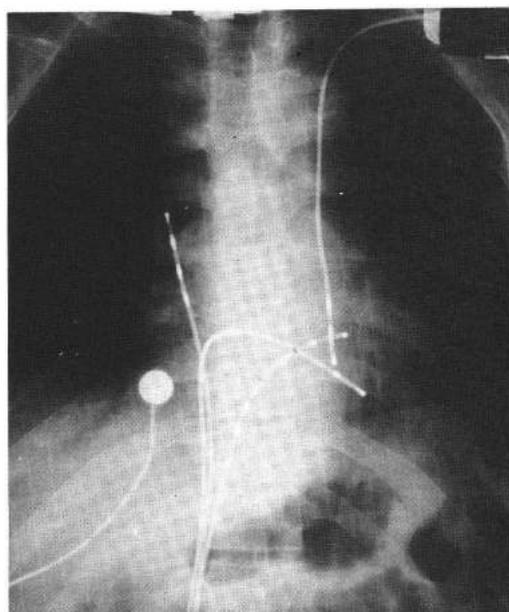


図 16. 左上大静脈残遺。

こともできる<sup>12)</sup>。

### III. 心房電位の記録法

右房へのカテーテルの到達は、下肢あるいは上肢のいずれの静脈を用いても困難でない。左房電位の記録は、心房中隔欠損や卵円孔開存が存在する場合(図15)には容易である。冠静脈洞を介しカテーテルを左房後壁に位置させ、左房電位を記録する方法が一般的である<sup>13,14)</sup>。この場合、左肘静脈を介する方が右側よりも冠静脈洞挿入が容易である。またカテーテルを、大腿静脈から挿入し右房内でループを作成し、冠静脈洞へ挿入することもある。

冠静脈洞へカテーテルが挿入されると、その先端が左上方へ向いても心室性期外収縮が出現せず、心室波とともに心房波も明瞭に認められるので、右室流出路との鑑別は容易である。側面像でカテーテル先端が心陰影の後方に位置していれば確実である。

左上大静脈残遺が合併すると(図16)、冠静脈洞に連結し、まれに左房へ開口するので、左房電位の記録が可能になる。このように、左房電位を記録しようとする場合、左肘静脈を利用した方がよい。さらに肺動脈<sup>15)</sup>(図15)や食道<sup>16)</sup>からの記録も試みられている。

### IV. ヒス束心電図の測定法

われわれは体表面心電図の4誘導(I, II, III, V<sub>1</sub>)、右房高位電位とヒス束心電図を同時記録している。さらに左房、右房低位外側部や右室尖部の電位を記録することもある<sup>14)</sup>。

ヒス束心電図は、3つの分離したフレにより構成されており、PやQRSに一致するフレをそれぞれA波、V波と呼び、これら両者の間に認められる急峻なフレをH棘という。ヒス束心電図の出現により、PR間隔はPA, AH, HVの3つの間隔に分けられるようになり、より詳細な伝導障害の局在診断が可能となった(図17)。さらに図18のように、PR間隔が正常であってもPA, AHあるいはHV間隔が延長している場合もある。

PA間隔：心電図のP波の始まりから、ヒス束

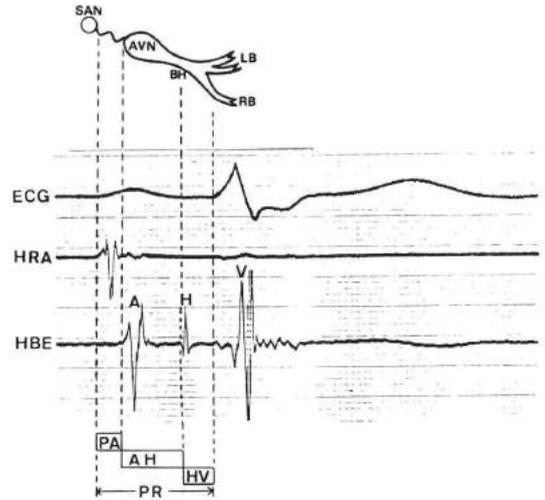


図17. ヒス束心電図と刺激伝導系の関係。SANは洞結節, AVNは房室結節, BHはヒス束, LBは左脚, RBは右脚をさす。ヒス束心電図はA波, H棘, V波より成るので, PR間隔はPA, AH, HVの3間隔に分けられる。

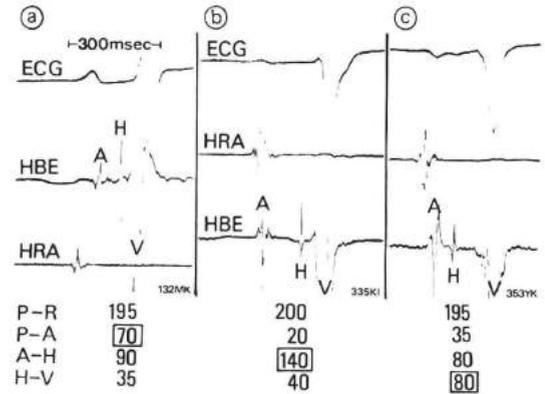


図18. PR間隔が正常でもPA, AH, HV間隔が延長している例もある。

心電図で得られるA波の急峻なフレの始まりまでの間隔をさし、心房内伝導時間の指標として用いられ、その正常範囲は20~50 msecである<sup>5)</sup>。P波の始まりを正確に知ることは困難であることが多く、右房と左上大静脈の境界部の洞結節付近で右房高位電位を記録し、そのフレの始まりをP波の始まりとしている。洞調律では右房高位電位がヒス束心電図のA波に先行しているが、逆伝導時には心房興奮様式が逆になる。

**AH 間隔:** ヒス束心電図のA波の始まりからヒス束電位のフレの始まりまでを測定する。房室結節内の伝導時間と考えられ、60~120 msecが正常である<sup>5)</sup>。房室結節の興奮開始時点を正確に知ることは不可能なので、ヒス束付近の右房の興奮開始時点をとっている。またヒス束心電図で得られるH棘は、動物実験によりヒス束全体の電位を示すことが明らかにされたので<sup>17)</sup>、Hのフレの始まりから測定している。

**HV 間隔:** ヒス束心電図のHのフレの始まりから、心電図あるいはヒス束心電図のV波のうち最も早期に出現する心室興奮までを測定する。ヒス-プルキンエ系の伝導時間を示し、30~55 msecが正常範囲である<sup>5)</sup>。

右脚でなくヒス束の電位であることを確かめるために、カテーテルを右心室より右心房側へ引きぬき、HV間隔が最も長い位置で測定するべきである。HV間隔が30 msec未満の場合、右脚電位の可能性が高い。また右脚電位が記録される時、心房波はほとんどみられない(図8d)。

ヒス束電位の同定には、高頻度心房刺激によるAH間隔の延長(後述)やアトロピン投与によるAH間隔の短縮を誘発する方法が試みられている<sup>18)</sup>。またヒス束心電図記録用カテーテルを用いて、電気刺激を行い、電気刺激よりQRSの始まりまでの間隔がHV間隔に等しく、そのQRS波型が洞調律時と同一であるとき、ヒス束電位の同定として最も確かな所見を得たといえる(図8, 19)<sup>19)</sup>。

## V. 電気刺激法

ヒス束心電図記録下に電気刺激を行う電気生理学的検査法は、潜在性伝導障害の発見や刺激伝導系の不応期の測定を可能とし<sup>20)</sup>、さらに発作性頻拍症<sup>3~6,14,20)</sup>や洞不全症候群<sup>21)</sup>の診断にも利用されている。刺激様式には図20に示す5種類がある。刺激部位として、右房(図21)のみならず左房(図22)や右室(図23)が用いられている。

洞頻度を上まわる頻度で心房刺激を行い、刺激頻度を10/分ずつ増してゆくと、AH間隔が徐々に延長し、次いでWenckebach型第2度房室

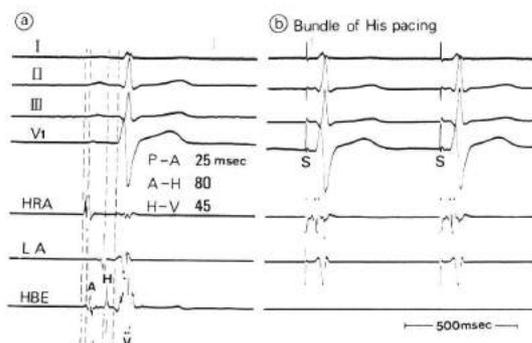


図19. ヒス束刺激時の刺激(S)からQRSまでの間隔は45 msecで、HV間隔に一致している。ヒス束刺激時のQRS波型は、洞調律時と同一である。LAは左房電位。

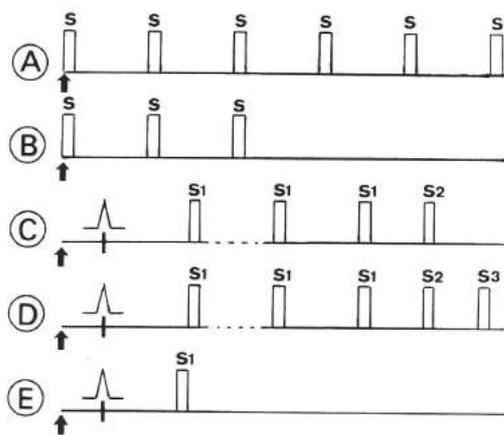


図20. 刺激様式。A. 高頻度刺激を行ない、頻度を徐々に増してゆく。B. 一定の時間のみ高頻度刺激を行なう。C. 一定のS<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>間隔で8発刺激し、S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>間隔を漸次短縮する。D. 8発のS<sub>1</sub>はCと同じで、S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>を決め、S<sub>2</sub>-S<sub>3</sub>を徐々に短縮する。E. 自発心拍をtriggerとしてR-S<sub>1</sub>間隔を漸次短縮する。

(AH)ブロックが誘発される<sup>22)</sup>。この間HV間隔は一定である(図21)。房室結節に伝導障害がある場合、Wenckebach型房室(AH)ブロックの出現する心房刺激頻度は120/分以下と低頻度である。一方、高頻度心房刺激時AH間隔の延長がみられない場合、房室結節を迂回する副伝導路の存在が示唆される<sup>23)</sup>。まれに頻度130/分以下の心房刺激でヒス束以下のブロックが誘発されることがある(図24)。このような場合、房室ブロックの発生が予測されると考えられている<sup>24)</sup>。

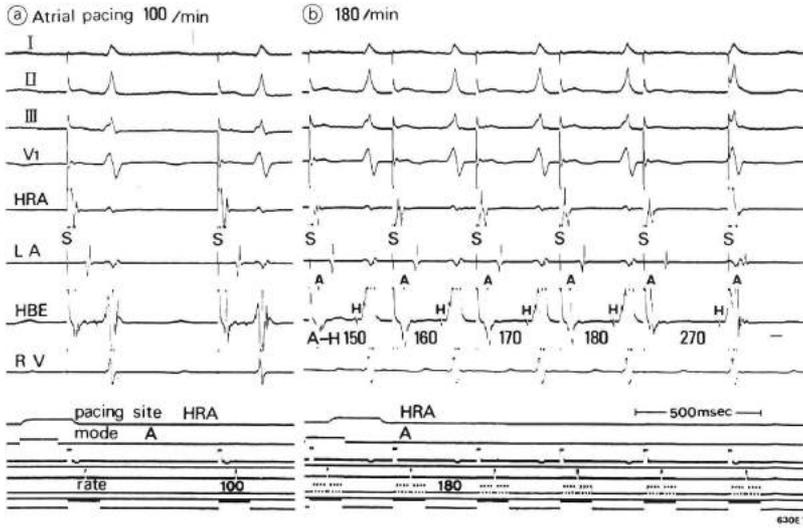


図 21. 右房高位 (HRA) での高頻度刺激。頻度 100/分 (a) では 1:1 伝導を示すが、180/分 (b) で Wenckebach 型第 2 度房室 (AH) ブロックが誘発される。RV は右室心尖部電位。電気刺激の部位、様式や頻度が記録用紙の下段に矩形波で表示されるように設計されている。

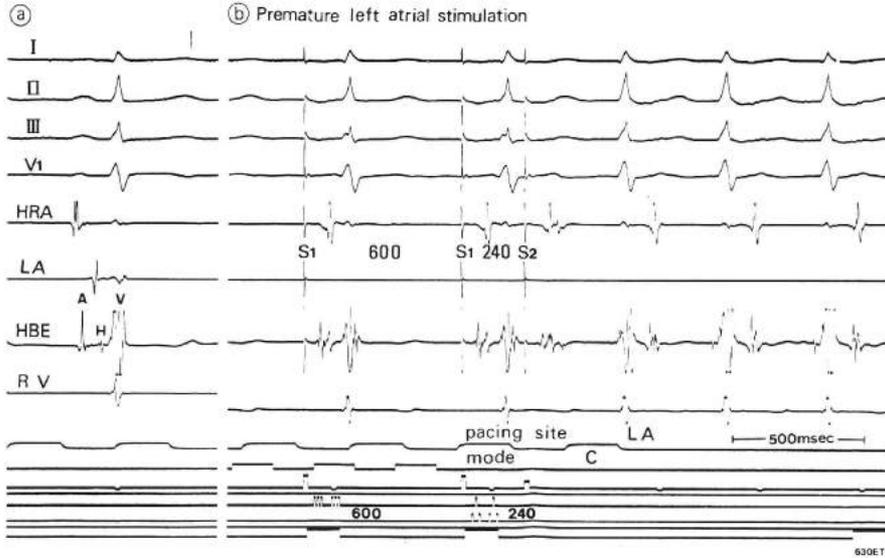


図 22. 図 21 と同一例。㉑ 洞調律。㉒ 左房での早期刺激法による発作性室性頻拍の誘発。電気刺激の部位 (LA)、様式 (C)、 $S_1$ - $S_1$  間隔 (600 msec)、 $S_1$ - $S_2$  間隔 (240 msec) も下段に表示されている。

図 22b や 23c に示すように、基本周期 (basic cycle length,  $S_1$ - $S_1$ ) で電気刺激を 8 発 ( $S_1$ ) 行い、9 発目との間隔 ( $S_1$ - $S_2$ ) を徐々に短縮し、房室間あるいは室房間の伝導様式を検討する方法を早期

刺激法 extrastimulus method といい、不応期の測定や発作性頻拍症の機序の鑑別に利用されている<sup>20)</sup>。

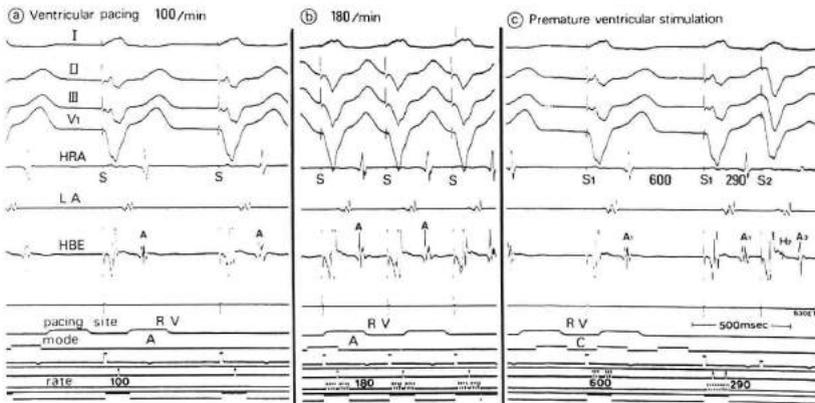


図 23. 図 21, 22 と同一例。右室での高頻度刺激 (a, b) と早期刺激 (c)。

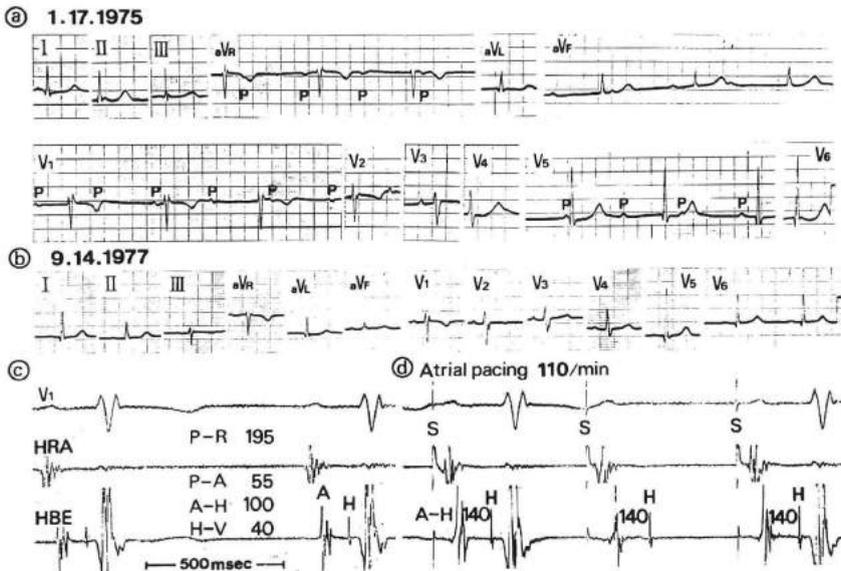


図 24. 第 3 度房室ブロックを呈していたが (a), 1:1 房室伝導に回復した (b)。HV 間隔も正常であったが (c), 高頻度心房刺激を行なうと (d), 110/分という異常に低い刺激頻度で 2:1 房室 (HV) ブロックが誘発され、人工ペースメーカーが植え込まれた。

## VI. 検査にともなう合併症

検査後、静脈穿刺部位から出血することがある。しかし術後の 10 分間の用手圧迫、3~5 時間の圧迫縫帯、12~18 時間の床上安静と注意深い観察を行えば、問題になることは少ない。血栓塞栓症の合併も報告されている<sup>13)</sup>。われわれは、血栓塞栓症の既往がみられたり、その危険が大きいとき、

検査が長時間におよぶとき以外、原則として抗凝剤の投与を行っていないが、このような合併症を経験していない。また静脈炎や感染症は、術後の抗生物質投与で予防される。

不整脈は検査中にしばしば出現し、不整脈の誘発が検査の目的であることもある。発作性頻拍は、上室性でも心室性でも、ほとんどの場合電気刺激による停止が可能である。心房粗細動は、心房刺

激時に誘発されることがあるが、数秒ないし数分で自然に洞調律に復することが多い。しかし、心房粗細動が持続し一般状態が良好でない場合には、直流除細動を行うこともある。さらに、心室細動出現の危険もあるので、常に直流除細動器が使用できるような準備が必要である。

## VII. 非観血的ヒス束心電図記録法

1973年 Berbari ら<sup>25)</sup>は、体表面から非観血的にヒス束電位を記録する方法を発表した。ヒス束電位は、胸壁まで伝導する時に著明に減弱し、さらに種々の雑音も加わるので、その記録は不可能であると考えられていた。しかし加算平均する方法を用いると、 $n$ 回の加算で signal-to-noise ratio は $\sqrt{n}$ だけで増加するので、ヒス束電位を雑音から区別しうる事が可能となった。

われわれは、検出率の高かった第4肋間の高さの胸骨正中線上を陽極、同じ高さの背面脊椎上を

陰極とする双極誘導を用いた。50-500 Hz の band pass filter を介し、日本光電製 ATAC 350 を使用し、R波を trigger として加算した。図 25 のように加算回数を増すと、P と QRS の間に blip (図中 B) が認められる。このような blip は 55 例中 43 例 (78%) で得られた。43 例の BR 間隔 (blip から QRS までの間隔) について、観血的方法より求めた HV 間隔との関係を検討したところ、両者の相関が認められ (図 26, 27, 28)、臨床応用の可能性が示唆された。

非観血的方法は数十回以上の加算を必要とするので、観血的方法のように1拍ごとの情報を得られないのが欠点である。しかし非観血的方法は、反復検査が可能であり、レントゲン透視装置を必要とせず、被爆の危険もなく、検査に要する人員も少なくすむ。このような多くの利点を有しているため、今後広く臨床応用の拡大が期待される。

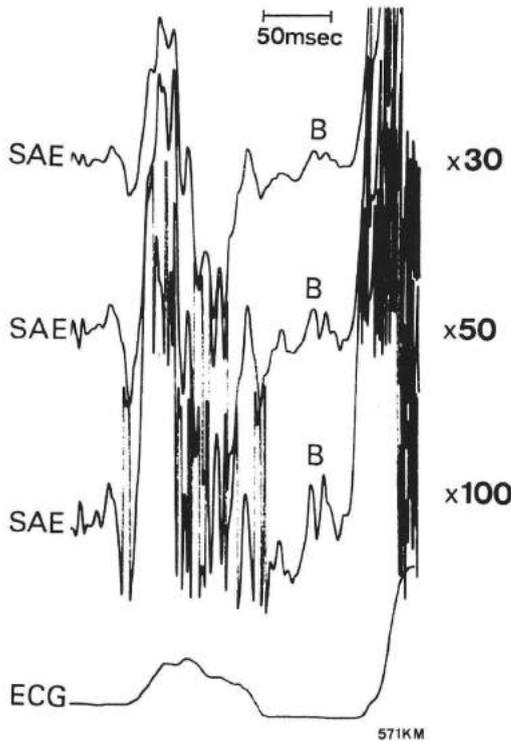


図 25. 非観血的体表面ヒス束心電図 (SAE)。blip (B) は加算回数を 30, 50, 100 回と増すとつれ明瞭になる。

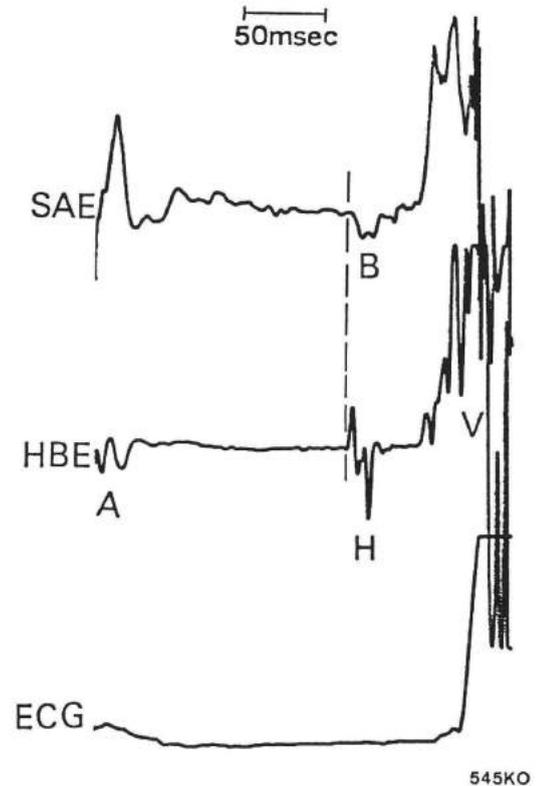


図 26. 第1度房室ブロック。非観血的ヒス束心電図 (SAE) の B と観血的ヒス束心電図 (HBE) の H は一致している。

## Junctional rhythm

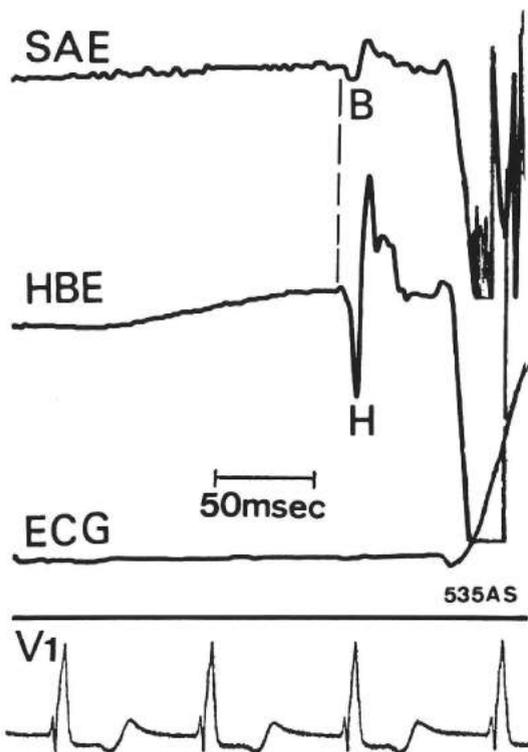


図 27. 房室接合部性調律。SAEのBとHBEのHが一致して出現している。

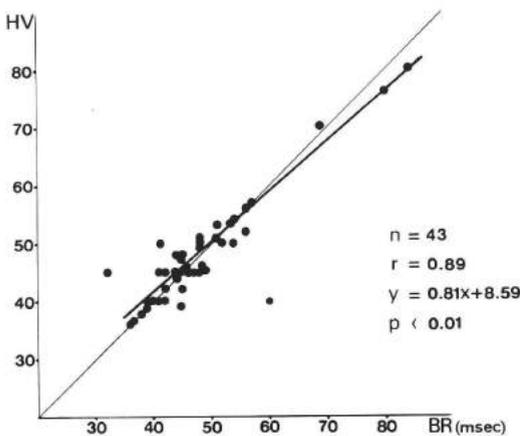


図 28. 非観血的体表表面ヒス束心電図のBR間隔と観血的ヒス束心電図のHV間隔との関係。

## VIII. ま と め

ヒス束心電図の記録法や測定法について述べた。ヒス束心電図の臨床応用が可能となり、ヒトの心臓電気生理学がさらに詳細に理解されるようになった。これらの検査から得られた新知見を活用することにより、従来の体表表面心電図の判読も向上した。電気生理学的検査法は、不整脈の診断のみならず、刺激伝導系の伝導能の検討や不応期の測定、洞結節自動能の評価、原因不明の失神発作の解明、人工ペースメーカー植込み術の適応決定、発作性頻拍症の誘発や停止、薬剤効果の検討にも利用されている。詳細については紙面の都合で割愛した。

## 文 献

- 1) Alanis J, Gonzalez H & López E: The electrical activity of the bundle of His. *J. Physiol.*, **142**, 127, 1958.
- 2) Scherlag BJ, Lau SH, Helfant RH et al: Catheter technique for recording His bundle activity in man. *Circulation*, **39**, 13, 1969.
- 3) 伊藤明一, 丹野三男, 船渡 泰, 他: A型WPW症候群の1例, His束心電図による房室伝導に関する考察を中心として. *心臓* **5**, 1759, 1973.
- 4) 伊藤明一, 丹野三男, 船渡 泰, 他: HV時間の短縮を示した2例. *心臓* **6**, 380, 1974.
- 5) Ito M: The effects of atropine on atrio-ventricular conduction in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome: Studies with His bundle electrogram. *Jpn. Circul. J.*, **40**, 1285, 1976.
- 6) Ito M, Shinoda S, Nagashima M et al: The effect of atropine on ventriculoatrial conduction during ventricular pacing in patients with and without Wolff-Parkinson-White syndrome. *Tohoku J. exp. Med.*, **121**, 327, 1977.
- 7) Narula OS, Runge M & Samet P: A new catheter technique for His bundle recordings via the arm veins. *Brit. Heart J.*, **35**, 1226, 1973.
- 8) Ali N, Wickramasekaran R, Barbedo A et al: Recording of His bundle electrogram from the arm. *J. Electrocardiol.*, **6**, 193, 1973.

- 9) Gallagher JJ, Damato AN, Lau SH et al: Antecubital vein approach for recording His bundle activity in man. *Amer. Heart. J.*, **85**, 199, 1973.
- 10) 伊藤明一, 丹野三男, 船渡 泰, 他: 肘静脈よりカテーテルを挿入し His 束心電図を記録しえた1例. 呼吸と循環, **23**, 57, 1975.
- 11) Giuffrida G, Critelli G, Giudice P et al: His bundle electrogram recording using a multipolar electrode catheter via the arm veins. *J. Electrocardiol.*, **14**, 125, 1981.
- 12) Narula OS, Javier RP, Samet P et al: Significance of His and left bundle recordings from the left heart in man. *Circulation*, **42**, 385, 1970.
- 13) Josephson ME & Seides SF: *Clinical cardiac electrophysiology: Techniques and interpretations.* Lea & Febiger, Philadelphia, 1979.
- 14) Ito M, Shinoda S, Nagashima M et al: Electrophysiological diagnosis of participation of accessory pathway in patients with paroxysmal supraventricular tachycardia. *Jpn. Circul. J.*, **45**, 472, 1981.
- 15) Breithardt G & Seipel L: Recording of left atrial potentials from pulmonary in man. *Brit. Heart J.*, **43**, 689, 1980.
- 16) Gallagher JJ, Smith WM, Kasell J et al: Use of the esophageal lead in the diagnosis of mechanisms of reciprocating supraventricular tachycardia. *PACE*, **3**, 440, 1980.
- 17) Varghese PJ, Elizari MV, Lau SH et al: His bundle electrograms of dog: Correlation with intracellular recordings. *Circulation*, **48**, 753, 1973.
- 18) 伊藤明一, 篠田 晋, 丹野三男, 他: atropine の刺激伝導系におよぼす影響. 呼吸と循環, **23**, 149, 1975.
- 19) Narula OS, Scherlag BJ & Samet P: Per-venous pacing of the specialized conducting system in man. His bundle and A-V nodal stimulation. *Circulation*, **41**, 77, 1970.
- 20) 長島道夫, 伊藤明一, 篠田 晋, 他: 副伝導路が関与する発作性上室性頻拍の房室伝導曲線. 心臓, **11**, 604, 1979.
- 21) 篠田 晋, 伊藤明一, 長島道夫, 他: Sick sinus syndrome における電気生理学的検査法. 診断と治療, **65**, 121, 1977.
- 22) 伊藤明一, 篠田 晋, 長島道夫, 他: 心房刺激時の Wenckebach 周期, His 束心電図による検討. 呼吸と循環, **23**, 821, 1975.
- 23) 篠田 晋, 伊藤明一, 長島道夫, 他: Lown-Ganong-Levine 症候群の1例, 電気生理学的検索. 呼吸と循環, **24**, 253, 1976.
- 24) 伊藤明一, 篠田 晋, 長島道夫: 房室ブロックにおけるペースメーカー植込み手術の適応. 心臓ペースシング, ペースメーカー委員会, 1980, p. 33.
- 25) Berbari EJ, Lazzara R, Samet P et al: Non-invasive technique for detection of electrical activity during the P-R segment. *Circulation*, **48**, 1005, 1973.

(昭和56年6月30日 受理)