

房室接合部をめぐる最近の話題

平尾見三*

はじめに

心房一心室間伝導において、房室接合部は刺激伝達の単なる中継部位ではなく、制御部位として重要な役割を担っている。第一に、心室収縮の開始以前に心房血が心室に送血される様、房室接合部は心房興奮から心室興奮開始までの間に一定の間を設けるべく、伝導を遅延させる。第二は、房室伝導比の制御であり、心房細動など心房興奮が異常な高頻度の際、房室接合部は心室への伝導頻度が一定上限を超えない様、伝導抑制的に働く。

近年、頻脈性不整脈治療にカテーテル焼灼術が導入され、本邦でもその臨床的な有用性が広く受け入れられてきた。それに伴い、焼灼術に不可欠な心内腔構造物の解剖と形態、房室接合部を含む刺激伝導系の解剖学的、機能的構築についても新たな関心がもたれ、多くの新知見も報告されている。本稿では、房室結節リエントリー性頻拍のカテーテル焼灼術などから得られた、房室接合部に関連した新しい知見を中心に述べていきたい。

房室接合部の解剖

房室接合部は、組織学的には三つの異なる特殊組織からなる。心房アプローチ部（移行型細胞群）、房室結節（compact AV node）、ヒス束である。

1. 心房アプローチ部：心房アプローチ部は、Kochの三角（the triangle of Koch）と呼ばれる範囲に局限する。Kochの三角とは、図1に示すように、Todaro 腱索と三尖弁弁輪部を二辺とし、冠状静脈洞（coronary sinus=CS）開口部を底辺とみなした心房中隔領域である。成人においては、その長さ（中心線維体からCS開口部まで）は17

mm（10-24 mm）、CS開口部から三尖弁弁輪部までの幅は13 mm（6-21 mm）とされる¹⁾。房室結節は、例外なく Kochの三角の頂点に位置する²⁾が、CS開口部の位置は個体差が大きく²⁾、上述の計測値のように房室結節-CS開口部間の距離は、

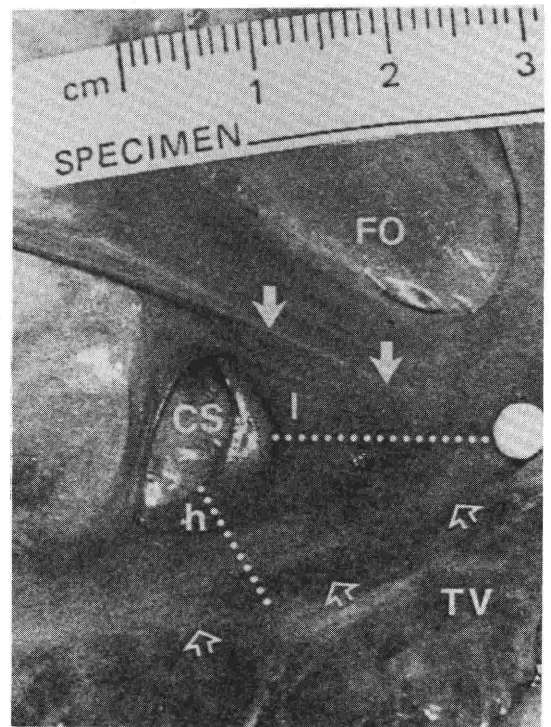


図1 Kochの三角

ヒト右心房中隔部における Kochの三角は、Todaro 腱索（図中↓）と三尖弁輪部（図中↑）を長辺とし、冠状静脈洞開口部（図中CS）を底辺とする領域である。図中略字：FO=卵円窩、TV=三尖弁中隔尖、l=中心線維体（図中、白丸）からCSまでの距離、h=三尖弁輪部からCSまでの距離（本文参照）。文献¹⁾より引用。

*東京医科歯科大学第一内科

ばらつく。

心房から房室結節への刺激の主要進入部位は二つ (dual AV nodal inputs) あり、一つは心房中隔からの前方 input, 他方は分界稜 (crista terminalis) からの後方 input である。Becker, Anderson らは、心房アプローチ部の移行型細胞群を部位により三つのゾーン, anterior superficial, deep, posterior に分類した³⁾。前二者が、房室結節の前上方に連続して幅の広い前方 input を、posterior 移行型細胞ゾーンが房室結節の後下方に連続して後方 input を形成するとした。一方、James⁴⁾, Hecht ら⁵⁾, Racker⁶⁾ は、心房アプローチ部をゾーンとするより、より明確な束状の構造物としてとらえた。James は、洞房結節—房室結節間を結ぶ三本の結節間経路という、心房内刺激伝導系として明確な構造物の存在を提唱した⁴⁾。Racker は、最近、イヌ心臓の組織学的検討より、図2のごとくに、分類・命名した⁶⁾。SAB (superior atrionodal bundle) は前方 input に、PAVB (proximal AV bundle) が後方 input に、それぞれ相当すると考えられる。Racker は、これらが

特殊伝導組織として機能し、形態学的にも心房作業心筋とは異なることを明らかにした⁶⁾。Racker の唱える説には異論も多いが、カテーテル焼灼術の成績と照らし合せた場合、概念的には臨床データとの整合性がある様に思われる。

2. 房室結節: compact AV node は、右房底と右線維三角との間に扇状に平べったく広がる塊状構造物で、Koch の三角の頂点に所在する。成人でのその大きさは、長さ5—7mm, 幅2—5mmとされる⁸⁾。房室結節は、その95%を占めるT細胞 (移行型細胞) と、残りのP細胞 (ペースメーカー細胞) から成り立つ⁹⁾。T細胞は、分枝と吻合により複雑な網状の三次元構造にて房室結節を構成する。P細胞は、通常、T細胞の中に散在するが、一方、房室結節の深部では、小さな塊状の細胞群として存在する⁹⁾。

3. ヒス束: ヒス束は、心内膜下 (時に右室中隔筋下) の心室中隔膜様部下縁 (稀に、筋性部上縁) を走行する。成人で、その太さは1—1.5mm, 長さ約10mmである²⁾。ヒス束は結合組織鞘によって覆われ、隣接する心室筋とは電気的には絶縁されている。

電気生理学的特性

1. 房室結節二重伝導路: ウサギの心臓において、心房から心室への刺激伝導の際、房室結節への心房からのアプローチが前方と後方の二方向から別々に存在することが電気生理学的に証明されている¹⁰⁾。

房室結節性リエントリー性頻拍の機序として、Mendez, Moe らにより提唱された房室結節上部の機能的縦解離の概念 (房室結節二重伝導路 dual AV nodal pathways)¹¹⁾ が、カテーテル焼灼術登場以前には広く受け入れられていた。しかし、現在では二つの伝導路は房室結節内ではなく、房室結節外=心房アプローチ部に存在するとの説が有力となっている。その理由として、Cox らが傍結節部 (perinodal region) の冷凍凝固術により、房室結節リエントリー性頻拍を治癒せしめたこと¹²⁾、房室結節よりはるか離れた後中隔 (右房) に高周波通電を加えることにより、選択的遅伝導路焼灼ができる^{13—16)} 事実などがあげられる。

また、房室結節リエントリー性頻拍の回路を論ずる時のみ触れられてきた房室結節二重伝導路の

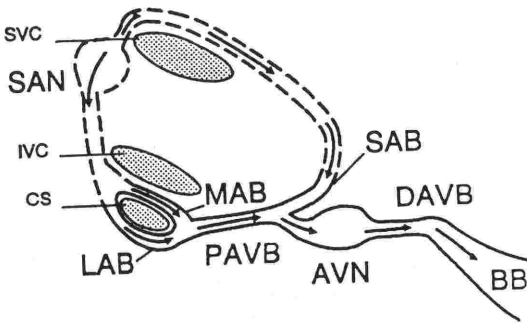


図2 結節間特殊伝導路

Racker⁶⁾の提唱するイヌにおける洞結節から房室結節に到る伝導路である。心房から房室結節 (AVN) には、前方から SAB (superior atrionodal bundle), 後方から PAVB (proximal atrionodal bundle) 経由で進入し、房室結節からは DAVB (distal atrioventricular bundle) につながる。洞結節 (SAN) から発する図中の破線部分は未検討部。図中略字: SVC = 上大静脈, IVC = 下大静脈, CS = 冠状静脈洞開口部, LAB = lateral atrionodal bundle, MAB = medial atrionodal bundle, BB = bundle branch. 文献⁵⁾より引用。

概念が、カテーテル焼灼術の臨床導入以来、変化してきた。臨床的にまず Sung らにより、この二つの伝導路は解剖学的に別々に存在し、遅伝導路は CS 開口部近傍に存在することが示された¹⁷⁾。Keim らは、房室結節リエントリー性頻拍患者の開心術時に、冷凍マッピング術を実施し、速伝導路（逆行性）は全例で房室結節の上、前方に位置し、遅伝導路（順行性）はほとんどの例において房室結節の下、後方に位置することを確認した¹⁸⁾。同様に、この頻拍に対する数多くの遅伝導路高周波焼灼術の成績より、ごく稀な例を除き¹⁹⁾、心房中隔前方に速伝導路、後方に遅伝導路が存在すると考えられる様になった（新しい dual AV nodal pathways 説）。

Hazlitt らは、房室結節リエントリー性頻拍のない145名において、遅伝導路の伝導を反映する電位が99%の人に、実際の遅伝導路経由の順行伝導は70%、逆行伝導は38%にみられたと報告している²⁰⁾。これらの報告をうけて、最近では、健常人においても房室結節への進入路として、二経路が存在するという説が支持されつつある。

2. 速伝導路、遅伝導路の電気生理学的特性：房室結節リエントリー性頻拍に対するカテーテル焼灼術において、各伝導路を焼灼した時のデータをまとめてみる。まず、速伝導路焼灼により、1) 順行伝導（心房→心室）においては、PR 間隔、AH 間隔の延長をみるが、Wenckebach 周期（ヒス束/心室へ伝わりうる最短の心房周期）は不変^{21~24)}、2) 逆行伝導（心室→心房）においては、室房ブロックあるいは室房間隔の延長および逆行性 Wenckebach 周期の延長が生ずる^{21~24)}。一方、遅伝導路焼灼により、1) 順行伝導においては、PR 間隔、AH 間隔は不変も、Wenckebach 周期は延長^{16,24,25)}（ないし不変^{13~15,26)}、2) 逆行伝導においては、有意の影響を与えない^{13,15,16,24~26)}。以上より、順行伝導時、通常心房頻度においては、心房からの刺激は速伝導路を優先的に通り房室結節へ進入するが、心房頻度が一定頻度より高くなると速伝導路は伝導ブロックを起こし、かわって刺激は遅伝導路を経由して心房から房室結節へと進入すると解釈可能である。

逆行伝導の場合、速、遅の両伝導路が存在する例（全体の約1/3程度?）において、その大部分では、心室からの刺激は房室結節から速伝導路

を経由して心房へ伝播し、一部で高頻度心室興奮時のみ遅伝導路を経由するものと考えられる。

3. 房室結節“多重”伝導路：上述してきた房室結節二重伝導路説によっては解釈困難で、三本以上の伝導路の存在を想定しなければならない場合がある。房室伝導曲線上の不連続点が一箇所あるいわゆる房室結節三重伝導路の頻度は電気生理学的検査を実施した2000例中10例（0.5%）と、Swiryn らは報告している²⁷⁾。電気生理学的には、二種以上の房室結節リエントリー性頻拍が誘発される、頻拍周期が交代性に变化するなどの所見の他、一本の伝導路を焼灼後にも他に二本残存するなどの所見が、三重伝導路の存在を支持する。また、房室結節リエントリー性頻拍治療のため、遅伝導路および速伝導路を選択的に焼灼した例で、房室ブロックに到らなかった例がある^{28,29)}。これらの電気生理学的現象は、解剖学的に異なる三箇所以上の部位に伝導路の存在説、遅伝導路が多成分（multiple components）から構成される説³⁰⁾などにて説明が試みられているが、今後のさらなる検討を要する。

房室接合部と不整脈

1. 房室結節リエントリー性頻拍：

いわゆる発作性上室性頻拍の機序として最も頻度の高いものは、房室結節リエントリー性頻拍（図3中段）である。高周波カテーテル焼灼術の臨床応用により、房室結節リエントリー性頻拍はいまでは房室ブロックの誘発なく、高い成功率をもって根治治療できる様になった。直流電流エネルギーと異なり圧傷害（barotrauma）のない高周波電流エネルギー使用により、狭い範囲（直径5mm以下）で均一な焼灼巣を房室結節から離れた右房後中隔で作成できるからである。

歴史的には、まず速伝導路を焼灼する方法²¹⁾が先行し、その後、遅伝導路を目標とする後方アプローチ法^{13~16)}（高周波電流による選択的遅伝導路焼灼術）が登場し、房室結節リエントリー性頻拍の標準的治療法となっている。後方アプローチ法には、遅伝導路の電位が記録される部位をみつけて通電する電位ガイド法、あるいはCS開口部の後方から成功するまで少しずつ前方に、通電部位を順に上げていく解剖学的ガイド法がある。図4に後方アプローチ時の焼灼用電極カテーテル

の位置を示す。いずれの方法でも、遅伝導路焼灼成功時には、促進型房室接合部調律（図3下段）が出現し、その後、頻拍は誘発不能となる。成功率は91-100%と高く、房室ブロック発生率は1%以下、再発率は0-10%と報告されている^{11-13,27}。速伝導路を選択的に焼灼する方法（前方アプローチ法）は、PR間隔を有意に延長させ、また、房室ブロック誘発の危険性があることより、第一選択とはならない。

2. 心房細動：

頻脈型心房細動で、肥大型心筋症のように頻脈時血行動態が悪化する症例では、心室レートの制御が非常に重要となる。このような症例に、房室結節/ヒス束に対しカテーテル焼灼術を行ない完全房室ブロックを作成後、心臓ペースメーカー植え込み術にて対処する方法がある^{31,32}。一方、房室ブロックを誘発せずに、心室レートを適性な拍数にコントロールするために、房室結節伝導を部分制御する修飾術が報告されている。歴史的には、速伝導路を含む房室結節近傍を焼灼する方法が提唱されたが、有効ではなかった。その後、Feldらは高周波電流による遅伝導路焼灼により、

心房細動患者の約70%においては最大心拍数、平均心拍数を各25%、35%程度有意に低下させられると報告した³³。この方法が無効の症例では、速伝導路の Wenckebach 周期がより短いと報告されている³⁴。一方、連続心電図記録から、RR間隔のヒストグラムをつくり、それが短いRR間隔のところに二つ目のピークをもつ二峰性パターンならば、遅伝導路焼灼術は無効であるとの報告がある³⁵。二峰性パターンをもつ心房細動症例には、速伝導路の他に、それより短い不応期を有する遅伝導路が存在するものと想定されている。

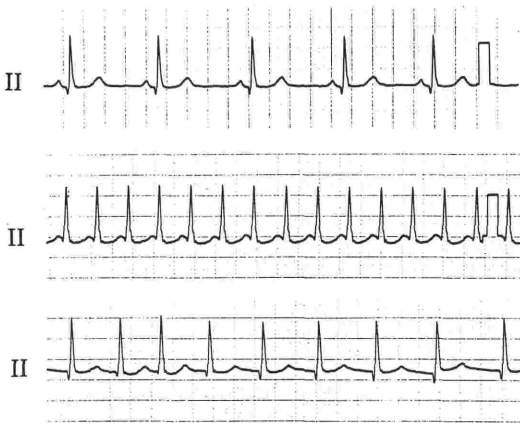


図3 房室結節リエントリー性頻拍
 動悸発作歴のある48歳女性。洞調律心電図(上段：脈拍69/分)では、デルタ波など異常を認めない。中段は、発作時心電図でORS波形が正常の発作性上室性頻拍(心拍数198/分)である。電気生理学的検査により房室結節リエントリー性頻拍と診断し、洞調律時に遅伝導路の高周波通電実施したところ、下段のごとく促進型房室接合部調律(P波欠如)が出現し、頻拍の治療に成功した。

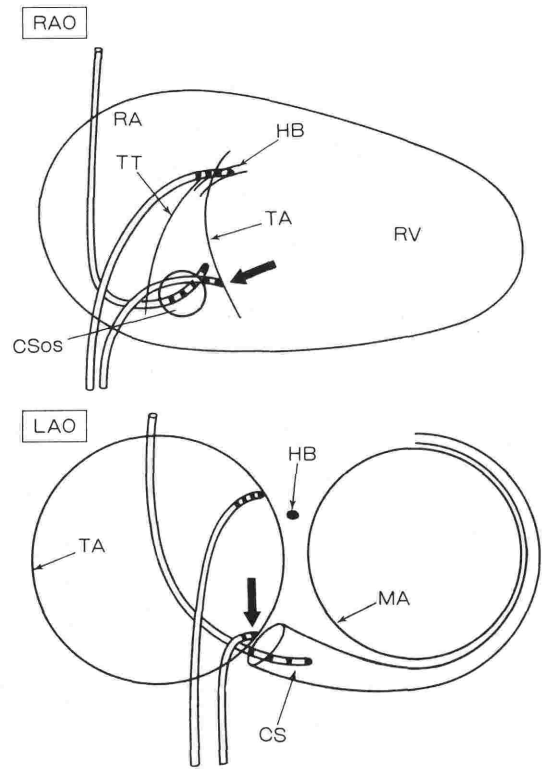


図4 遅伝導路に対するカテーテル焼灼術X線透視下に、ヒス束(HB)近傍と冠状静脈洞(CS)に置いた二本の電極のカテーテルを目印に、焼灼用電極カテーテルを留置する。右前斜位像(RAO)にて、カテーテル(図中、矢印)が Koch の三角の底辺部、房室結節より離れた部位にあることが明らかである。左前斜位像(LAO)で、焼灼用カテーテルが右心房中隔の CS 開口部(CSos)近くに位置することがわかる。図中略字：RA = 右房、RV = 右室、TA = 三尖弁輪部、MA = 僧帽弁輪部、TT = Todaro 腱索。

この方法の長期成績を含めた有用性は今後の検討を待たねばならないが、遅伝導路の特性を見極めた焼灼法と考えられる。

3. 房室ブロック作成術:

心房細動中の早い心室拍数のコントロールが不可欠で、いかなる薬物療法にても達成できなければ、房室結節/ヒス束へのカテーテル焼灼による房室ブロック作成術の適応となり得る。その場合、通常の方法(右側アプローチ^{31,32)}が無効ならば、左室大動脈弁直下(左側アプローチ³⁵⁾が選択される。しかし、右側アプローチにてPR間隔が延長している症例であれば、左側アプローチの前に、試みられるべき方法として、遅伝導路への焼灼術がある^{36,37)}。

終わりに

房室接合部は、心房一心室間の刺激伝導の制御部位として重要な役割を果たすだけでなく、上室性頻脈性不整脈の発生、維持などに関与する特異な部位である。本稿では、この房室接合部について、臨床電気生理学的見地より新しい知見を交えて解説を試みた。一部には未解決の問題、意見の一致の得られてない問題について言及したが、紙面の都合にて説明不十分な点もあると思われるので、引用文献も併せて参考にしていただきたい。

文 献

- McGuire MA, Johnson DC, Robotin M, et al: Dimensions of the triangle of Koch in humans. *Am J Cardiol* 70: 829-830, 1992
- 清水 進: ヒト心臓における房室伝導系のマクロ的微小解剖. *心臓* 21: 129-141, 1989
- Becker AE, Anderson RH: Morphology of the human atrioventricular junctional area. In HJJ Wellens, KI Lie, MJ Janse (eds.): *The Conduction System of the Heart: Structure, Function and Clinical Implication*. Leiden, The Netherlands, Sterfest Kroese BV, 1976, pp263-286
- James TN: Morphology of the human atrioventricular node, with remarks pertinent to its electrophysiology. *Am Heart J* 62: 756-771, 1961
- Hecht HH, Kossmann CE, Childers RW, et al: Atrioventricular and intraventricular conduction-revised nomenclature and concepts. *Am J Cardiol* 31: 232-243, 1973
- Racker DK: Atrioventricular node and input pathways: A correlated gross anatomical and histological study of the canine atrioventricular junctional region. *Anat Rec* 224: 336-354, 1989
- Racker DK: Sinoventricular transmission in 10 MK by canine atrioventricular nodal inputs. Superior atrionodal bundle and proximal atrioventricular bundle. *Circulation* 83: 1738-1753, 1991
- Widran J, Lev M: The dissection of the atrioventricular node, bundle and bundle branches in the human heart. *Circulation* 4: 863-867, 1951
- Sherf L, James TN, Woods WT: Function of the atrioventricular node considered on the basis of observed histology and fine structure. *J Am Coll Cardiol* 5: 770-, 1985
- Anderson RH, Janse MJ, van Capelle FJL, et al: A combined morphological and electrophysiological study of the atrioventricular node of the rabbit heart. *Circ Res* 35: 909-922, 1974
- Mendez C, Moe GK: Demonstration of a dual A-V nodal conduction system in the isolated rabbit heart. *Circ Res* 19: 378-393, 1966
- Cox JL, Holman WL, Coin ME: Cryosurgical treatment of atrioventricular node reentrant tachycardia. *Circulation* 76: 1329-1336, 1987
- Jackman WM, Beckman KJ, McClelland JH, et al: Treatment of supraventricular tachycardia due to atrioventricular nodal reentry by radiofrequency catheter ablation of slow-pathway conduction. *N Engl J Med* 327: 313-318, 1992
- Kay GN, Epstein AE, Dailey SM, et al: Selective radiofrequency ablation of the slow pathway for the treatment of atrioventricular nodal reentrant tachycardia: Evidence for involvement of pericardial myocardium within the reentrant circuit. *Circulation* 85: 1675-1688, 1992
- Haissaguerre M, Gaita F, Fischer B, et al: Elimination of atrioventricular nodal reentrant tachycardia using discrete slow potentials to guide application of radiofrequency energy. *Circulation* 85: 2162-2175, 1992
- Wu D, Yeh S, Wang C, et al: Nature of dual atrioventricular node pathways and the tachycardia circuit as defined by radiofrequency ablation technique. *J Am Coll Cardiol* 20: 884-895, 1992
- Sung RJ, Waxman HL, Juma Z, et al: Sequence of retrograde atrial activation in patients with dual atrioventricular nodal pathways. *Circulation* 64: 1053-1067, 1981
- Keim S, Werner P, Jazayeri M, et al: Localization of the fast and slow pathways in atrioventricular nodal reentrant tachycardia by intraoperative ice mapping. *Circulation* 86: 919-925, 1992
- Engelstein ED, Stein KM, Markowitz SM, et al: Posterior fast atrioventricular node pathways: Implications for radiofrequency catheter ablation of atrioventricular node reentrant tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 27: 1098-1105, 1996
- Hazlitt HA, Beckman KJ, McClelland JH, et al: Prevalence of slow AV nodal pathway potentials in patients without AV nodal reentrant tachycardia. (abstract) *J Am Coll Cardiol* 21: 281A, 1993
- Lee MA, Morady F, Kadish A, et al: Catheter modification of the atrioventricular junction with radiofrequency energy for control of atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *Circulation* 83: 827-835, 1991
- Langberg JJ: Radiofrequency catheter ablation of AV nodal reentry: The anterior approach. *PACE* 16:

- 615-622, 1993
- 23) Kottkamp H, Hindricks G, Willems S, et al : An anatomically and electrogram-guided stepwise approach for effective and safe catheter ablation of the fast pathway. *J Am Coll Cardiol* 25:974-981, 1995
 - 24) Jazayari MR, Hempe SL, Sra JS, et al : Selective transcatheter of the fast and slow pathways using radiofrequency energy in patients with atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *Circulation* 85 : 1318-1328, 1992
 - 25) Wathen M, Natale A, Wolfe K, et al : An anatomically guided approach to atrioventricular node slow pathway ablation. *Am J Cardiol* 70:886-889, 1992
 - 26) Moulton K, Miller B, Scott J, et al: Radiofrequency catheter ablation for AV nodal reentry. A technique for rapid transection of the slow AV nodal pathway. *PACE* 16:760-767, 1993
 - 27) Swiryn S, Bauernfeind R, Palileo E, et al : Electrophysiologic study demonstrating triple antegrade AV nodal pathways in patients with spontaneous and/or induced supraventricular tachyarrhythmias. *Am Heart J* 103:168-175, 1982
 - 28) Goldberger J, Brooks R, Kadis A : Physiology of "atypical" atrioventricular junctional tachycardia occurring following radiofrequency catheter modification of the atrioventricular node. *PACE* 15:2270-2282, 1992
 - 29) Hirao K, McClelland J, Beckman K, et al : Prolongation of AH interval during AV junction ablation: Evidence for persistence of slow AV nodal pathway conduction from posteroseptal right atrial pacing. (abstract) *PACE* II-16, 856, 1993
 - 30) Beckman K, Jackman W, McClelland J, et al : Evidence for multiple slow pathways in patients with atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *Circulation* (abstract) 84-II:582, 1991
 - 31) Langberg JJ, Chin MC, Rosenqvist M, et al : Catheter ablation of the atrioventricular junction with radiofrequency energy. *Circulation* 80:1527-1535, 1989
 - 32) Jackman WM, Wang X, Friday K, et al : Catheter ablation of atrioventricular junction using radiofrequency current in 17 patients. *Circulation* 83 : 1562-1576, 1991
 - 33) Feld GK, Fleck RP, Fujimura O, et al : Control of rapid ventricular response by radiofrequency catheter modification of the atrioventricular node in patients with medically refractory atrial fibrillation. *Circulation* 90 : 2299-2307, 1994
 - 34) Sorrentino D, May T, Kaplan A, et al : R-R interval variability in atrial fibrillation before and after AV node attenuation. (abstract) *PACE* II-18:842, 1995
 - 35) Sousa J, EL-Atassi R, Rosen S, et al : Radiofrequency catheter ablation of the atrioventricular junction from the left ventricle. *Circulation* 84:567-571, 1991
 - 36) Hirao K, McClelland J, Beckman K, et al : Prolongation of AH interval during AV junction ablation: Evidence for persistence of slow AV nodal pathway conduction from posteroseptal right atrial pacing. (abstract) *PACE* II-16, 856, 1993
 - 37) 井川昌幸, 家坂義人, 高橋 淳ほか : 高周波カテーテルアブレーションにより fast pathway および slow pathway の選択的焼灼を行ない, 完全房室ブロック作成に成功した, 心房粗細動を伴った徐脈頻脈症候群の一例. *心電図* 15 : 341-347, 1995