

단일유도 VDD 심박동조율기 환자에서 방실 동시화에 대한 고찰

계명대학교 의과대학 동산의료원 내과학교실,¹ 홍부외과학교실²한 성 욱¹ · 박 남 희²

Investigation of the Atrioventricular Synchronization in Patients with Single Lead VDD Pacemaker

Seong-Wook Han, MD¹ and Nam-Hee Park, MD²¹Department of Internal Medicine and ²Cardiothoracic Surgery, College of Medicine, Keimyung University, Daegu, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives : For the past 10 years, VDD pacemakers have been substituted for DDD pacemakers, due to their ease of implantation and follow up. The degree of AV synchrony and associated factors were evaluated in the patients with VDDR pacemakers. **Subjects and Methods :** Twenty one patients, 10 males and 11 females, were enrolled. The mean age of the patient was 56 years. In the supine position, the atrial sensing threshold and cardiac cycle data were checked to evaluate the AV synchrony with a programmer. If the AV synchrony was less than 90%, it was considered improper synchronization. **Results :** The measured P wave amplitudes were 2.33 and 1.22mV at implant and follow up, respectively. From the follow up cardiac cycle data, the percentage of ventricular pacing only (Vp), atrial sensing and ventricular pacing (AsVp) and the total percentage of AV synchronization (PAS) were 21.38, 76.33 and 77.77%, respectively. Inadequate AV synchrony was observed in 11 patients. The causes were the absence of a minimal tracking limit, a faster pacing rate than the patient's resting rate, atrial fibrillation, sinus node dysfunction, atrial under sensing and functioning of the rate adaptive function in 4, 3 and 1 each, respectively. After rectifying the causes, the cardiac cycle data improved from 32.83 to 5.17% for the Vp, from 62.67 to 91.5% for the AsVp and from 65.52 to 94.38% in the PAS, all with statistical significance. **Conclusion :** For proper AV synchrony, it is necessary to carefully manipulate, not only the P wave sensitivity, but also several other of the pacemaker parameters. (Korean Circulation J 2003;33(8):709-714)

KEY WORDS : Pacemaker, artificial ; Atrioventricular block ; Synchronization.

서 론

방실 동시성(atrioventricular synchrony)을 유지하는 조율은 심실 박동 조율(ventricular pacing)보다 혈

논문접수일 : 2003년 5월 28일

심사완료일 : 2003년 6월 23일

교신저자 : 한성욱, 700-712 대구광역시 중구 동산동 194

계명대학교 의과대학 동산의료원 내과학교실

전화 : (053) 250-7448 · 전송 : (053) 250-7034

E-mail : swhan@dsmc.or.kr

역학적 이득, 심방 세동 발생의 감소, 삶의 질 향상 등 다양한 면에서 우위를 차지하고 있다.¹⁻⁴⁾ 동결절(sinus node) 기능이 정상이고 완전 방실 차단을 갖는 환자에서 이 이상적인 심박동조율은 심방의 신호를 감지하고 심실에서의 조율이라 할 수 있다. 고식적인 DDD 심박동조율기보다 VDD 심박동조율기가 싸고 시술이 간편한 이점이 있고⁵⁾⁶⁾ 또 VDD 심박동조율기의 신빙성이 입증되면서⁷⁾⁸⁾ 지난 10년간 DDD 심박동조율기가 VDD 심박동조율기로 많이 대체되고 있다.

본 연구는 VDD(R) 심박동조율기를 삽입한 환자에서 방실 동시성 유지의 정도와 이에 관여하는 인자들을 알아 보고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

1995년 1월부터 1998년 6월까지 VDD 심박동조율기를 삽입한 환자 35명 중 추적검사가 가능한 21명을 대상으로 하였다. 나이는 평균 53.7세(23~82세)였고 남자가 10명 여자가 11명이었다. 심박동조율기 삽입전의 동결절의 기능 평가는 안정시 12유도 심전도나 모니터상 심전도를 이용하여 낮시간 동안 동리듬이 60회이상이고 동정지나 동방차단이 관찰되지 않는 경우 정상으로 판정하였다. 심박동조율기의 적응증은 Mobitz 1형 2도 방실차단이 3명이었고 Mobitz 2형 2도 방실차단이 1명, 고도 방실차단이 2명, 완전 방실차단이 15명이었다(Table 1).

심박동조율기 삽입 및 기구

유도는 좌측 쇄골하 정맥을 통하여 삽입하였고 유도 끝은 우심실 끝(apex)에 위치시켰다. 심방 감각 쌍극자(atrial sensing dipole)는 투시검사하에서 우심방의 중간 1/3에서 심방 감각 쌍극자의 신호가 얇고 깊은 호흡(shallow and deep breathing)에서 1.0 mV 이상인 자리에 위치시켰다. 발전기(generator)는 쇄골하 피하에 삽입하였다. 모든 환자에서 VDD 심박동조율기는 Unity™ 모델 292-07(Intermedics, Inc., U.S.A.)을 사용하였고 유도는 Unipass™ 단일 유도 모델 425-04(Intermedics, Inc., U.S.A.)를 사용하였다.

추적 검사

모든 환자는 앙와위에서 Rx 2000® 프로그래머(Inter-

medics, Inc., U.S.A.)를 이용하여 심방 감지 역치를 측정하였고 프로그래머의 원격측정(telemetry)기능을 이용한 심주기의 데이터를 얻어 방실 동시성의 정도를 평가하였다. 방실 동시성의 정도는 모든 심실 조율 중 심방 감지 심실 조율의 백분율로 평가하였다. 방실 동시성이 90% 미만인 경우 부적절한 방실 동시성으로 평가하고 그 원인을 분석하여 교정하여 추적 관찰하였다. 평균 22.48 ± 11.5 (5~43)개월 추적 관찰하였다.

통계 처리

SPSS 11.0®(Statistical Package for Social Science, SPSS Co., U.S.A.) 통계처리 프로그램을 이용하였고 각각의 측정치는 평균±표준편차로 표시하였다. paired t-test를 이용하여 심박동조율기 삽입시와 추적검사시 심박동조율기의 자료들을 비교하였고 방실 동시성의 정도를 교정 전 후로 비교하였다. p값이 0.05이하일 때 통계적 유의성이 있는 것으로 하였다.

결 과

심박동조율기 지표들의 변화.

심박동조율기 삽입 당시 심방 전위는 평균 2.33 mV였고 추적 관찰시 1.22 mV로 다소 감소되었지만 통계적 유의성은 없었다. 심실 조율 역치는 삽입 당시 0.71 V로 추적 관찰시와 큰 차이는 없었고 유도 교류저항(impedance)도 시술 당시와 추적 관찰시 큰 차이는 없어 심실 조율 기능은 잘 유지되고 있었다(Table 2).

심방 감각 역치의 변화

심방 전위 감지 역치가 1.0 mV 이하로 감소된 환자가 3명에서 있었고 그 중 1명에서 90% 미만의 방실 동시화를 관찰할 수 있었다. 1명에서는 심방세동의 발생으로 더 이상 방실 동시화를 얻을 수 없었고 1명에서는 동

Table 1. Indications for cardiac pacing and the sinus rate at the time of implantation

AV block	
Mobitz type I	3 (14.3%)
Mobitz type II	1 (19.0%)
High degree	2 (9.5%)
Complete	15 (71.4%)
PP interval at implantation	780 ± 148.5 (520-1080) msec
AV : atrioventricular	

Table 2. Comparison of the pacemaker parameters at the time of implantation with those at the follow up

Variables	At implantation	At follow up	p
Atrial sensitivity (mV)	2.33 ± 0.98	1.22 ± 0.50	NS
Pacing threshold (V)	0.71 ± 0.21	0.76 ± 0.31	NS
Lead impedance (W)	743.8 ± 149.2	882.2 ± 124.7	NS
NS : non-specific			

결절 기능 부전으로 인해 제대로 된 방실 동시화를 얻을 수 없었다.

방실 동시화의 정도

프로그래머의 원격측정을 이용한 심주기상 방실 동시화 없이 심실에서만 조율을 한 경우가 평균 21.38%였고 심방감지 심실조율을 한 경우가 76.33%였다. 동리듬과 자발적 방실 전도를 갖는 경우가 1.52%였다. 총 심실 조율 중 심방감지 심실조율의 빈도는 77.77%였다 (Table 3). 21명의 환자 중에 90 % 미만의 방실 동시화를 갖는 환자는 11명이었고 방실 동시화 소실의 원인을 살펴보면 최소추적한계(minimal tracking limit)를 지정해 주지 않은 경우가 4예로 가장 많았고, 3예에서는 최소추적한계도 지정되어 있었고 심방 전위 감지도 정상적이어서 안정시 맥박수가 조율 맥박수보다 낮은 것이 원인으로 생각되었다. 그리고 심방세동의 발생이 1예, 동결절 기능 부전 1예, 심방 전위 감지 역치의

Table 3. Proportion of the cardiac cycles assessed by telemetry

Events	Percentage of events (%)
VPC	0.29 ± 1.10
AsVs	1.52 ± 2.60
AsVp	76.33 ± 27.92
Vp only	21.38 ± 26.55
PAS	77.77 ± 27.58

VPC : ventricular premature complex, AsVs : atrial sensing & ventricular sensing, AsVp: atrial sensing & ventricular pacing, Vp : ventricular pacing, PAS : percentage of atrial synchronization

Table 4. Possible causes of the loss of atrioventricular synchrony

Age/Sex	PAS (%)	A. sense (mV)	PR (bpm)	MTL	Possible causes
68/M	83.3	>1.6	55	48	Lower rate at rest
23/F	58	>1.6	60	—	MTL (—)
54/M	80.8	1.1	60	—	MTL (—)
30/F	83	>1.6	55	48	lower rate at rest
82/M	62.2	0.2	55	48	atrial sensitivity ↓
67/M	0		70		atrial fibrillation
67/M	85	1.1	60	—	MTL (—)
41/F	70	1.1	55	48	rate adaptation : on
62/F	84.4	1.1	60	48	lower rate at rest
71/F	23.7		55	48	sinus node dysfunction
73/F	36.6	>1.6	60	—	MTL (—)

PAS : percentage of atrial synchronization, A. sense : threshold of the atrial sensitivity, PR : pacing rate, bmp : beats per minute, MTL (—) : lack of a minimal tracking limit

감소가 1예에서 있었다. 나머지 1예는 속도 적응(rate adaptation) 기능이 켜져 있어 심실 조율이 많이 발생된 경우였다(Table 4). 심방세동과 동결절 기능 부전 환자를 제외한 나머지 9명의 환자에서 가능성있는 원인을 재프로그래밍하고 나서 추적 관찰했을 때 심실에서만 조율된 빈도가 재프로그래밍 전 32.83%에서 재프로그래밍 후 5.17%로 좋아졌고 심방감지 심실조율의 경우는 62.67%에서 91.50%로 증가되어 심실 조율 중 방실 동시화의 빈도는 65.52%에서 94.38%로 통계적으로 유의하게 증가되었다($p < 0.05$) (Table 5).

고 찰

동결절 기능이 정상이고 방실차단을 갖는 환자에서

Table 5. Follow up results of the cardiac cycle data after rectifying the cause in patients with improper AV synchrony

Events	Percent of events (%)		p
	Before reprogramming	After reprogramming	
VPC	1.00 ± 2.00	3.17 ± 5.53	NS
AsVs	1.83 ± 2.86	0.33 ± 0.52	NS
AsVp	62.67 ± 17.36	91.50 ± 10.99	0.014
Vp only	32.83 ± 16.41	5.17 ± 6.11	0.010
PAS	65.52 ± 17.60	94.38 ± 7.05	0.013

AV : atrioventricular, VPC : ventricular premature complex, AsVs : atrial sense & ventricular sense, AsVp : atrial sense & ventricular pace, Vp: ventricular pacing only, PAS : percentage of atrial synchronization, NS : non-specific

DDD 심박동조율기 대신에 VDD 심박동조율기가 대체되고 두 박동기 종류간에 방실 동시화를 유지하는 비율도 차이가 없음은 인정되고 있다.⁵⁾⁹⁾ 하지만 심방 부유유도(floating lead)에 의한 심방 전위 감지의 변화가 심하기 때문에¹⁰⁾¹¹⁾ 간헐적인 심방 전위의 저감지(undersensing)가 단일유도 VDD 심박동조율기의 문제로 남아 있다. 비록 방실 동시화율은 90% 이상이지만¹²⁾ 24시간 심전도상 간헐적인 심방 전위 저감지는 23~57%까지⁵⁾¹⁰⁾ 보고되어 있고, 이는 심방 전위 감지 역치의 증가로 다소 호전될 수 있다. 하지만 대부분은 증상이 없어 실제 VVI(R) 방식으로서의 재프로그래밍은 1.7~3.5% 정도로 알려져 있다.⁵⁾¹³⁾

심방 전위 저감지의 원인으로는 동결절 기능 부전, 심방세동의 발생, 심방 전위 감지 역치의 감소등을 들 수 있다. VDD 심박동조율기 삽입 전 동결절 기능 평가에 운동부하 심전도, 아트로핀 정주에 대한 반응, 안정시 동리듬의 정도등이 이용되나 실제 VDD 심박동조율기를 삽입받은 환자에서 동결절 부전 발생률은 0.2%¹⁴⁾에서 1.7%¹⁵⁾ 정도로 낮아 안정시 동리듬이 분당 50회 이상이고 증상이 없으면 동결절 기능을 정상적이라고 예측하기에는 충분하다고 알려져 있다.¹⁵⁾ 또 영구 심방세동(permanent atrial fibrillation)의 발생은 3.5~6.7% 정도로 알려져 있어⁵⁾¹⁶⁾ 그 빈도는 많이 높지 않다. 따라서 심방 전위 저감지의 주 원인은 감지되는 심방 전위 변화라 할 수 있다. 심방 전위는 심박동조율기 삽입 후 첫 3개월에는 다소 감소하나 3년 이상의 기간에서 안정적으로 유지되는 것으로 알려져 있고¹⁷⁾¹⁸⁾ 나이가 많거나 우심방의 너무 낮은 위치에 심방 감각 쌍극자를 위치시킨 경우, 또 시술 시 심방 전위 진폭(atrial potential amplitude)이 1 mV 이하이거나 너무 넓은 범위에 걸쳐 측정될 경우 심방 전위 저감지가 많은 것으로 알려져 있다.¹⁹⁾²⁰⁾

심방 감지 정도의 평가는 24시간 심전도, 운동부하 심전도, 심박조율기 검사 당시 12유도 심전도, 원격측정의 심주기를 이용하여 방실 동시화를 평가함으로써 알 수 있고 프로그래머를 이용하여 검사 당시의 심방 전위 진폭을 직접 측정하거나 심방 감지 역치를 측정하고 심박조율기의 심방 감지 민감도(sensitivity)와 비교함으로써 간접적으로 알 수 있다. 심방 전위는 심방실 용적의 변화, 카테콜아민, 심박수의 영향을 받기 때문에²¹⁻²³⁾ 체위, 호흡, 운동등에 영향을 받는다. 따라서 심방 전위를

평가할 때 한 체위에서만 측정하는 것은 심방 감지의 정도를 평가하기에 부족하고 여러 자세에서 측정하는 것이 바람직하다. 만약 심박동조율기에서 심방 전위 히스토그램(histogram)을 얻을 수 있으면 더 유용하다.²⁴⁾²⁵⁾ 심방 감지 기능상실을 평가하는 각각의 방법에 대한 민감도는 Wiegand 등²⁶⁾의 연구에 의하면 24시간 심전도가 97.5%, 심방 전위 히스토그램이 90%, 심박동조율기의 심주기가 68%, 운동부하 심전도가 58.8%, 12유도 심전도가 21.3% 정도인 것으로 알려져 있다. 따라서 모든 환자를 24시간 심전도로 심방 전위 감지의 정도를 평가하면 좋겠지만, 원격측정의 심주기만을 이용할 경우는 반드시 심박동조율기내의 전기도(electrogram)를 저장하여 같이 평가하는 것이 필요하다.²⁷⁾

여러 연구에서 심박동조율기의 심방 전위 감지 민감도를 최대한으로 지정한 경우에도 과감지(oversensing)는 관찰되지 않았고 또 심방 전위의 변화가 심하므로 심방 전위 감지 민감도를 최대치로 지정하거나 적어도 3배의 안전경계(safety margin)를 두고 민감도를 지정하는 것이 심방 감지를 최대화하기 위해 주로 추천된다.²⁸⁻³⁰⁾

심방 전위 감지 역치를 평가하고 감지 민감도를 조절하는 것이 방실 동시화에 중요하지만 그 외에 부가적으로 고려해야 할 사항들이 있다. 심박동조율기의 조율수가 안정시 심박수보다 빠른 경우 방실 동시화를 얻을 수 없다. 따라서 가능한한 조율수를 낮게 지정해주는 것이 중요하고 만약 어느 정도의 조율수를 지정해야만 한다면 속도 히스테레시스(rate hysteresis) 기능을 이용하여 최소추적한계를 낮게 설정하는 것이 중요하다. 속도 적응 기능이 있는 경우, 체위 변동 감지에 의한 조율수가 동리듬보다 빠른 경우도 방실 동시화를 얻을 수 없다.

본 연구의 제한점은 24시간 심전도나 심방 전위 히스토그램등 다른 방법의 병행없이 프로그래머의 원격측정에 의한 심주기만을 방실 동시화 평가에 사용했고, 환자들을 양와위에서만 프로그래머로 심방 전위 감지 역치를 측정했다는 점이다.

비록 원격측정의 심주기 자료가 심방 전위 저감지의 정도를 평가하는데 부족하고 심방 전위의 변화에 대한 평가가 완전히 이루어지지 않았지만, 심박동조율기 자체의 여러 지표들을 교정함으로써 방실 동시화의 비율을 향상 시킨 것은 방실 동시화의 최적화에 속도 히스테레시스등의 기능을 이용하거나 심박동조율기의 조율수를 가능한 낮게 설정하고 불필요한 기능을 사용하지 않는

것도 중요함을 시사한다. 따라서 VDD 심박동조율기를 가진 환자에서 최적의 방실 동시화를 위해서는 심방 감지의 최대화뿐 만 아니라 심박동조율기 지표들의 세심한 조작도 필수적이라 하겠다.

요 약

배경 및 목적 :

동결절이 정상이고 완전 방실 차단을 갖는 환자에서의 이상적인 심박동조율은 심방의 신호를 감지하고 심실에서의 조율이다. 최근 10년간 DDD 심박동조율기가 시술과 추적 검사가 다소 쉬운 VDD 심박동조율기로 많이 대체되고 있다. 본 연구는 VDD(R) 심박동조율기를 삽입한 환자에서 방실 동시성 유지의 정도와 이에 관여하는 인자들을 알아 보고자 하였다.

방 법 :

VDDR 심박동조율기를 삽입한 21명의 환자를 대상으로 하였다. 나이는 평균 53 ± 16 세였고 남자가 10명이었다. 평균 22.5 ± 11.5 개월 추적 관찰하였다. 앙와위에서 프로그래머를 이용하여 심방 감지 역치를 측정하였고 원격측정을 이용한 심주기의 데이터를 얻어 방실 동시성의 정도를 평가하였다. 방실 동시성이 90% 미만인 경우 부적절한 방실 동시성으로 평가하고 그 원인을 분석하여 교정하여 추적 관찰하였다.

결 과 :

심박동조율기 삽입 당시 심방 전위는 평균 2.33 mV였고 추적 관찰시 1.22 mV로 다소 감소되었지만 통계적 유의성은 없었다. 방실 동시화의 정도는 심실에서만 조율을 한 경우가 평균 21.38%였고 심방감지 심실조율을 한 경우가 76.33%였다. 총 심실 조율 중 심방감지 심실조율의 빈도는 77.77%였다. 21명의 환자 중에 90% 미만의 방실 동시화를 갖는 환자는 11명이었고 원인들로는 최소추적한계를 지정해 주지 않은 경우가 4예로 가장 많았고 안정시 맥박수가 조율 맥박수보다 낮을 것으로 생각되는 예가 3예에서 있었다. 그리고 심방세동의 발생이 1예, 동결절 기능 부전 1예, 심방 전위 감지 역치의 감소 1예, 속도 적응 기능이 켜져있는 경우가 1예에서 있었다. 9명에서 가능성있는 원인을 재프로그래밍하고 나서 추적 관찰했을 때 심실에서만 조율된 빈도가 재프로그래밍 전 32.83%에서 재프로그래밍 후 5.17%로 좋아졌고 심방감지 심실조율의 경우는 62.67%에서 91.50%로

증가되어 심실 조율 중 방실 동시화의 빈도는 65.52%에서 94.38%로 통계적으로 유의하게 증가되었다($p < 0.05$).

결 론 :

VDD 심박동조율기를 가진 환자에서 최적의 방실 동시화를 위해서는 심방 감지의 최대화뿐 만 아니라 심박동조율기 지표들의 세심한 조작도 필수적이라 하겠다.

중심 단어 : 인공심박동조율기 ; 방실 차단 ; 동시화.

REFERENCES

- 1) Nowak B, Voigtländer T, Himmrich E, Liebrich A, Poschmann G, Epperlein S, Treese N, Meyer J. Cardiac output in single-lead VDD pacing versus rate-matched VVIR pacing. *Am J Cardiol* 1995;75:904-7.
- 2) Rediker DE, Eagle KA, Homma S, Gillam LD, Harthorne JW. Clinical and hemodynamic comparison of VVI versus DDD pacing in patients with DDD pacemakers. *Am J Cardiol* 1988;61:323-9.
- 3) Menozzi C, Brignole M, Morrachini PV, Lolli G, Bacchi M, Tesorieri MC, Tosoni GD, Bollini R. Inpatient comparison between chronic VVIR and DDD pacing in patients affected by high degree AV block without heart failure. *Pacing Clin Electrophysiol* 1990;13:1816-22.
- 4) Conolly SJ, Kerr CR, Gent M, Roberts RS, Yusuf S, Gillis AM, Sami MH, Talajic M, Tang AS, Klein GJ, Lau C, Newman DM. Effects of physiologic pacing versus ventricular pacing on the risk of stroke and death due to cardiovascular causes. *N Engl J Med* 2000;342:1385-91.
- 5) Wiegand UK, Bode F, Schneider R, Taubert G, Brandes A, Peters W, Katus HA, Potratz J. Atrial sensing and AV synchrony in single lead VDD pacemakers: A prospective comparison to DDD devices with bipolar atrial leads. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1999;10:513-20.
- 6) Naegeli B, Osswald S, Pfisterer M, Burkart F. VDD (R) pacing: short- and long term stability of atrial sensing with a single lead system. *Pacing Clin Electrophysiol* 1996;19:455-64.
- 7) Crick JC. European multicenter prospective follow-up study of 1002 implants of a single lead VDD pacing system. *Pacing Clin Electrophysiol* 1991;14:1742-4.
- 8) Parravicini U, Zanetta M, Zenone F, Bielli M. Complications of a single lead VDD Pacing in 35 patients with AV block. *Pacing Clin Electrophysiol* 1992;15:1901-2.
- 9) Nowak B, Voigtlaender T. DDD and VDD evaluation (DAVE-study): a prospective randomized comparison of DDD- and VDD-stimulation in AV-block. one year follow-up of the first 100 patients[abstract]. *Pacing Clin Electrophysiol* 1999;22:853.
- 10) Ertas R, Karaoguz R, Guldal M, Dumbasar D, Gulec S, Oral D. Atrial sensing performance of a single-lead VDD pacing system during physical activity. *J Electrocardiol* 2000;33:253-60.
- 11) Toivonen L, Lommi J. Dependence of atrial sensing function on posture in a single-lead atrial triggered ventricular (VDD) pacemaker. *Pacing Clin Electrophysiol* 1996;19:309-13.
- 12) Kang KE, Choue CW, Kang HS, Kim KS, Song JS, Bae

- JH. *Clinical investigation of P wave amplitude and atrial synchronous ventricular pacing in different body position and physical activity with a single-pass lead VDD pacing.* Korean Circ J 1999;29:1082-8.
- 13) Ovsyshcher IE, Katz A, Rosenheck S, Erdman S, Bondy C. *Single lead VDD pacing: Multicenter study.* Pacing Clin Electrophysiol 1996;19:1768-71.
 - 14) Wiegand UK, Bode F, Schneider R, Brandes A, Haase H, Katus HA, Potratz J. *Development of sinus node disease in patients with AV block: implications for single lead VDD pacing.* Heart 1999;81:580-5.
 - 15) Pakarinen S, Toivonen L. *Pre-implant determinants of adequate long-term function of single lead VDD pacemakers.* Europace 2002;4:137-41.
 - 16) Chamberlain-Webber R, Barnes E, Papouchado M, Crick JP. *Long-term survival of VDD pacing.* Pacing Clin Electrophysiol 1998;21:2246-8.
 - 17) Chiladakis JA, Patsouras N, Agelopoulos G, Nikolopoulos N, Manolis AS. *Comparative three-year performance of chronic atrial sensing among eight different VDD systems.* Am J Cardiol 2002;89:1215-8.
 - 18) Ovsyshcher IE, Katz A, Bondy C. *Clinical evaluation of a new single pass lead VDD pacing system.* Pacing Clin Electrophysiol 1994;17:1859-64.
 - 19) Wiegand UK, Nowak B, Reisp U, Peiffer T, Bode F, Potratz J. *Implantation strategy of the atrial dipole impacts atrial sensing performance of single lead VDD pacemakers.* Pacing Clin Electrophysiol 2002;25:316-23.
 - 20) Hunziker P, Buser P, Pfisterer M, Burkart F, Osswald S. *Predictors of loss of atrioventricular synchrony in single lead VDD pacing.* Heart 1998;80:390-2.
 - 21) Frohlig G, Blank W, Schwerdt H, Sen S, Bette L. *Atrial sensing performance of AV universal pacemaker during exercise.* Pacing Clin Electrophysiol 1988;11:47-60.
 - 22) Battler A, Froelicher V, Sitsky R, Ashburn W. *Relationship of QRS amplitude changes during exercise to left ventricular function and volumes and the diagnosis of coronary heart disease.* Circulation 1979;60:1004-13.
 - 23) Lekven J, Chatterjee K, Tyberg JV, Parmley WW. *Reduction in ventricular endocardial and epicardial potentials during acute increments in left ventricular dimensions.* Am Heart J 1979;98:200-6.
 - 24) Boute W, Alvers BA, Giele V. *Avoiding atrial undersensing by assessment of P wave amplitude histogram data.* Pacing Clin Electrophysiol 1994;17:1878-82.
 - 25) Langford EJ, Smith RE, McCrea WA, Wainwright RJ. *Determining optimal atrial sensitivity settings for single lead VDD pacing: the importance of the P wave histogram.* Pacing Clin Electrophysiol 1997;20:619-23.
 - 26) Wiegand UK, Bode F, Schneider R, Brandes A, Haase H, Katus HA, Potratz J. *Diagnosis of atrial undersensing in dual chamber pacemakers: impact of autodiagnostic features.* Pacing Clin Electrophysiol 1999;22:894-902.
 - 27) Israel CW, Gascon D, Nowak B, Campanale G, Pascotto P, Hartung W, Lelloche D. *Diagnostic value of stored electrograms in single-lead VDD systems.* Pacing Clin Electrophysiol 2000;23:1801-3.
 - 28) Santini M, Ricci R, Pignalberi C, Auriti A, Pepe M, Assale R, Caporicci D. *Immediate and long term atrial sensing stability in single-lead VDD pacing depends on right atrial dimensions.* Europace 2001;3:324-31.
 - 29) Papouchado M, Crick JC. *Evolution of atrial signals from a single lead VDD pacemaker.* Pacing Clin Electrophysiol 1996;19:1772-6.
 - 30) Lau CP, Tai YT, Leung SK, Leung WH, Chung FL, Lee IS. *Long-term stability of P wave sensing in single lead VDDR pacing.* Pacing Clin Electrophysiol 1994;17:1849-53.