

판정테이블을 이용한 부정맥 자동진단 시스템 설계에 관한 연구

정기삼* · 이재준* · 황선철* · 이명호*

= Abstract =

Design of Arrhythmia Automatic Diagnostic System Using Decision Table

Kee-Sam Jeoung*, Jae-Joon Lee*, Seon-Cheol Hwang*, and Myoung-Ho Lee*

We have developed an arrhythmia automatic diagnostic system using decision table which is based on the criteria of Minnesota code. This system is divided into two parts. One is wave detection algorithm using significant point extraction method, the other is arrhythmia diagnostic algorithm. The proposed system allows physicians to diagnose more accurately by providing the objective information about a lot of computer-processed ECG data.

1. 서 론

심전도 신호는 심장근육의 규칙적인 수축에 의해 이루어지며 정상적인 범위내의 빈도를 벗어나거나 정상빈도를 갖더라도 패턴상의 이상이 있는 경우를 부정맥(arrhythmia)이라 한다. 부정맥이 나타나면 일단 심장질환이 있다고 간수 있으며 R-R 간격의 차이에 의하여 규칙성 부정맥과 불규칙성 부정맥으로 나누어지며 파형의 형태(morphology)와 함께 심장질환을 진단하는데 중요한 요소로 사용되고 있다. 부정맥의 분류와 이들의 진단 기준은 임상전문의 마다 약간의 다른 견해를 보이고 있어 진단 기준의 표준화가 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 진단의 기준으로 미국 심장협회

(american heart association : AHA)가 공인한 미네소타코드(Minnesota code) 분류법을 사용하였다.

심전도파형을 자동진단하기 위해서는 진단에 필요한 여러가지 유용한 정보가 필요하며, 이러한 정보는 심전도 파형을 분석함으로써 얻을 수 있다. 심전도 자동진단에 있어서 심전도파형의 분석과정은 진단의 정확도를 결정하는 가장 기본적이고도 중요한 척도가 된다.

따라서 본 연구에서는 환자의 심전도 데이터를 신호처리 이론에 따라 처리하여 필요한 정보를 도출한 후, 이 정보를 바탕으로 미네소타 코드의 진단기준을 판정테이블(decision table)에 적용하여 부정맥 자동 진단 시스템을 설계하였다.

2. 미네소타 코드 분류법에 의한 진단 변수 설정

미네소타 코드는 다양한 심전도를 체계적이고 객관성 있게 분류한 것으로서 임상상의 심장병 진

<접수: 1991년 3월 9일>

*연세대학교|공과대학 전기공학과

*Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

<본 연구는 1990년도 연세대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임>

단에서 뿐만 아니라 컴퓨터를 이용한 자동진단 시스템에 널리 이용되고 있다. 미네소타 코드 중에서 CODE-8은 심장 질환 중 가장 빈번하면서도 중요한 진단대상인 부정맥으로서 24가지의 부코드(sub-code)로 분류된다. CODE-8은 12 Lead중에서 Lead II의 파형만을 가지고 분류를 하게 된다. CODE-8에서 사용되는 변수는 심박수(heart rate)와 R-R간격(R-R interval), QRS complex의 폭등이 있고, 부수적인 변수로 QRS Complex 및 P파의 형태와 P-P간격(P-P interval) 및 P파의 상대적 위치를 나타내는 P-R간격(P-R interval)이 있다.

표 1은 미네소타 코드에 의한 부정맥 진단기준

을 나타낸 것이다. 심전도 신호로 질병을 진단할 때, 질병에 따라서 하나의 파형만으로 진단이 가능한 경우도 있으나 대부분의 경우에는 복합적인 증세로 나타난다. 그러므로 본 논문에서는 1차 진단 기준과 2차 진단기준을 분류하여 자동진단 알고리즘을 설계하였다. 이러한 과정은 여러가지의 증상을 종합적으로 분석해야하는 질병에 있어서 필수적인 과정이며 보다 정확하고 신뢰도가 높은 진단을 할 수 있도록 도와준다.

본 논문에서는 표 1의 진단기준에 의하여 표 2와 같이 진단 변수를 설정하였다.

표 1 부정맥 자동진단을 위한 진단 기준

Table 1 The criteria for arrhythmia automatic diagnosis

CODE	박동률 (회)	P파형	P파의 수	P-R간격 (msec)	QRS 파형	QRS 폭	R-R 간격 (msec)
8-1-1		비정상	0-1				≥ 10%
8-1-2		miss	0		비정상	비정상	불규칙
8-1-4		불규칙	1	불규칙	정상	120이상	
8-2-1	부정확	부정확	0		부정확		부정확
8-2-2		miss	0		중복파형	120이상	
8-3-1		miss	0				불규칙
8-3-2		F-wave	2-8		정상		
8-4-1		비정상	0-1	120 이하			정상
8-5-1	* 한 주기	파형이 빠짐					2XR-R
8-6-1	60 이상	miss	0-1	불규칙		120 이상	(모두)
8-6-2	60 이상	불규칙	0-1	120 이상	capture	120 이상	
8-6-3	60 이상	불규칙	0-1			120 이상	
8-6-4	60 이상	불규칙	0-1			120 이상	
8-7	100 이상						
8-8	50 이하						

a) 1차 진단 기준

CODE	형 태	선 행 코 드
8-1-3	* CODE 8-1-1과 8-1-2가 결합된 형태	8-1-1, 8-1-2
8-1-5	* CODE 8-1-2와 8-1-4가 결합된 형태	8-1-2, 8-1-4
8-2-3	* 3개 이상의 연속된 VPB와 박동률 100 이상	8-1-2
8-2-4	* 결합간격은 120msec 이상 변동	8-1-2
8-3-3	* 가끔 CODE 8-3-1이 나타남	8-3-1
8-3-4	* 가끔 CODE 8-3-2이 나타남	8-3-2
8-4-2	* 3개 이상 연속된 CODE 8-1-1과 박동률 100 이상	8-1-1
8-5-2	* P-P간격이 감소하다가 한주기 파형이 빠짐	
8-9	* 위에서 분류되지 않은 기타 부정맥 코드	

b) 2차 진단 기준

표 2 심전도 자동진단을 위한 변수
Table 2 Parameter for ECG automatic diagnosis

데이터	변수형	특 징
P파 형태	char	1: Normal P-wave 2: Inverse or Abnormal P-wave 3: P-wave Miss 4: F-wave
QRS 폭	int	Normal: ≤ 120 m sec
R-R 간격	int	
P-P 간격	int	

3. 파형 검출 알고리즘

심전도를 자동으로 진단하기 위해서 우선적으로 선행되어야 하는 것은 심전도를 분석하여 심전도 파형에 따른 P파, QRS complex, T 파를 분류하여 검출하는 것이다. 파형이 얼마나 정확하게 검출되는가 하는 것이 실제로 진단의 정확도를 결정하는 척도가 된다.

본 논문에서는 5-point derivatives를 이용하여 특성점을 구한 다음 패턴 매칭(pattern matching) 기법에 의해 파형을 검출하고 진단에 필요한 파라미터를 추출하였다.

부정맥을 자동 진단하기 위하여 본 논문에서 사용한 진단 변수는 R-R간격, QRS폭, P-morphology, P-P 가격이다. 그러므로 본 논문에서는 T파의 검출은 고려하지 않는다.

3.1 특성점의 검출

컴퓨터는 기울기(미분값)에 의해 파형인식을 하므로 입력된 심전도 데이터로부터 각점에서의 미분값을 구한다.

5-point derivative 식은 식(1)과 같다.

$$F(n) = 1/60 * [14 * X(x-n) - 3 * X(n-3) - 2 * X(n2) - X(n+1) + X(n+2) + 3 * X(n+3) + 4 * X(n+4)]$$

X(n) : 입력 ECG 신호 (1)

5-point derivative를 이용하여 추출한 특성점으로 특성점집합을 만든다. 인접된 두 개의 특성점의 기울기를 구하여 피이크와 벨리를 발생순서에 따

라 리스트를 만든다. 특성점에서 피이크와 벨리의 발생조건은 다음과 같다.

기울기 $S(i) > 0, S(i+1) < 0$ 면 점 i 는 피이크이며 기울기 $S(i) < 0, S(i+1) > 0$ 면 점 i 는 벨리이다. 이 리스트 중에서 기울기 값이 가장 큰 값을 검색하여 R파로 검출하고 R파의 리스트를 만든다.

3.2 P파 검출을 위한 문턱값의 설정

P파는 크기가 매우 작아 잡음에 묻혀 버리기가 쉽기 때문에 파의 검출에 많은 어려움이 따른다.

P파의 지속시간은 심박수에 영향을 받을 수 있으므로 리스트를 기준으로 심박수를 구한 다음 이에 따라 P파 지속시간의 문턱치값을 결정한다. 특성점 리스트는 R파를 구하기 위하여 사용된 다음 R파와 R파 사이를 특성점을 따라 순방향과 역방향으로 탐색하여 각각 벨리가 나타날 때까지 P파의 검출 매개변수(진폭, 지속시간, 기울기)의 변화를 구한다. 문턱치를 만족하는 값이 나타나면 P파가 검출된 것으로 하고 리스트에서 다음 피이크를 추출하여 피이크가 없을 때까지 계속한다.

P파 검출을 위해 사용한 문턱값은 표 3과 같다.

표 3 P파검출을 위하여 사용한 문턱값
Table 3 The threshold values for P wave detection

심박수 변수	정상+10% (60-100회)	90%이하 (60회 이하)	110%이상 (100회 이상)
지속시간	75-125(ms)	80-150(ms)	50-110(ms)
진 폭	80-250(mV)	80-250(mV)	80-250(mV)
기울기	$S > 2, S < -2$	$S > 2, S < -2$	$S > 2, S < -2$

3.3 진단 파라미터 검출

QRS 폭의 검출은 특성점을 이용하여 먼저 P파를 검출하고 R파를 기준으로 $F(n)$ 값이 5개 점 이상 일정치 이하를 유지하는 점을 역방향 탐색한 후 그 시작점을 Q점으로 잡았다. 마찬가지로 방법으로 순방향 탐색을 통하여 $F(n)$ 값이 일정치 이하를 유지하는 점을 S점으로 결정하였다.

QRS폭과 P파를 검출한 후 R-R간격과 P-P간격을 구하고 평균 P-P 간격과 R-R간격을 계산한다. 전처리 과정에서 구한 $F(n)$ 을 문턱치를 두어 이것과 비교, 분석하여 T파의 끝점과 $F(n)$ 점을

확정한 후 두 점 사이의 전구간을 역방향 검색 방식으로 검색한다. 이 경우 P파 검색 구간을 R-R 간격에 의해 설정하는 경우 놓칠 수 있는 다중 P파를 검출할 수 있다. R파가 인식되면 PR세그먼트의 평평한 구간을 기저선으로 간주하여 기저선 값을 구하고 검색 구간내의 F(n)값과 비교하여 P파와 잡음을 선별하여 P파로 확정하게 된다. 이 과정에서 P파의 폭과 침두값을 기준치와 비교하여 잡음과 구별하게 된다. 이때 P-ONSET 점과 P파의 침두치 및 P-OFFSET 점을 구하여 P파의 폭을 계산한 후 T-END(n-1)까지 다시 탐색과정을 계속한다. 탐색구간 검색이 끝나면 그 구간내의 P파의 위치 및 폭을 가지고 P파의 형태 및 이상 유무를 판별한다.

4. 판정 테이블에 의한 자동진단 알고리즘

판정 테이블은 시스템에서 수학적인 모델링이나 확률통계적인 방법으로는 만족시킬 수 없는 조건(conditions)과 동작(actions)사이의 상호관계를 논리적으로 정의하는 기법으로서 설계상에서 나타날 수 있는 불완전성 및 불필요한 부분들을 점검하고 수정하여 최적화(optimization)된 알고리즘을 개발할 수 있는 기법이다. 각각의 조건들은 주어진 변수들에 대하여 변수의 상태 및 변수간의 상관관계를 나타낼 수 있으므로 의사가 진단에 있어서 중요하다고 생각하는 정보, 혹은 증세를 판정 테이블

에서 조건부에 나열하여 각각의 만족하는 경우에 대한 적절한 동작(또는 판단)을 행할 수 있다.

6초동안에 샘플링된 원시데이터에서 추출한 심전도 파형데이터로부터 부정맥의 유무를 판정하고 각각의 이상파형이 속할 수 있는 범주로 나누어 분류한다. 이 과정을 영역의 특징분류라 하고 그림 1의 판정테이블에 나타낸 바와 같다.

이 과정은 자동진단의 기초적인 단계로서 몇개의 파형으로 이루어진 영역을 설정하고 그 영역이 가지는 특성을 이해한후, 특성에 따라 6개의 범주로 분류한다. 이 단계의 특징은 몇 종류의 부정맥이 가지는 특성을 묶어서 규칙적으로 표현함으로써 세부적인 파형교찰을 할 때, 영역에 해당하는 질병의 증세만을 관찰하여 진단할 수 있기 때문에 매우 효율적인 알고리즘을 작성할 수 있다. 영역의 특성 검출을 거친 데이터는 부테이블(sub table)에서 영역내에 각 파형에 대하여 검증을 거친다. 예를 들어 Sub-1 테이블의 경우, R-R 간격이 불규칙하고 QRS complex 및 P파의 형태가 변하는 특징이 있는 심전도 데이터를 진단하기 위한 제 2 단계 과정이다. 이 영역에서는 미네소타 코드번호 8-1-1, 8-1-2, 8-1-3, 8-1-5, 8-2-3-, 8-2-4, 8-4-2와 관련이 있는 심전도 데이터를 분류하여 1차 진단 기준을 만족하는 코드를 분류한다.

제 3단계를 과정에서는 제 2단계에서 분류된 1차 진단 코드를 가지고 최종적인 진단의 단계로

* 박동이 규칙적이고 QRS군의 형태가 규칙적이며 P파의 형태변화가 없고 P-P간격이 R-R간격보다 크지 않으면 정상 또는 부정맥이 아님					
* 박동률이 100을 넘으면 CODE 8-7, 60을 넘지 않으면 CODE 8-8					
P-P 간격보다 R-R간격이 큰가?					
Y		C3		N	
Y		C1		N	
Y		C1		N	
		QRS군의 형태가 불규칙한가?			
		Y		N	
		Y		N	
		Y		N	
GOTO SUB-6		GOTO SUB-5		GOTO SUB-1	
X6		X5		X1	
				GOTO SUB-1	
				GOTO SUB-4	
				GOTO SUB-3	
				X3	

그림 1 영역의 특징 분류를 위한 기본 판정 테이블
Fig. 1 Basic decision table for feature classification in the action-stub

-정기삼 외 : 판정테이블을 이용한 부정맥 자동진단 시스템 설계에 관한 연구-

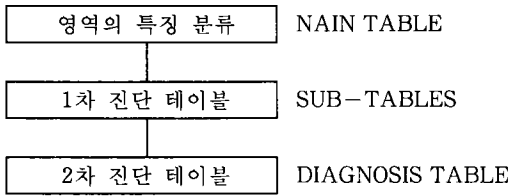


그림 2 진단을 위한 판정테이블의 흐름도
Fig. 2 Flowchart to decision table for diagnosis

분기하게 된다.

그림 2는 자동진단의 과정을 각각의 판정테이블 간의 흐름으로 나타낸 것이다.

5. 실험 및 결과 고찰

본 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 본 연구에서 설계한 부정맥 자동진단 시스템의 정확도와 타당성을 판정하기 위하여 KONTRON 994 심전도 시뮬레이터로부터 얻은 데이터로 실험하였다. 시뮬레이터에서 나온 여러 경우의 부정맥 파형을 12-bit A/D 변환기를 이용하여 240 Hz로 샘플링하여 디지털 데이터를 구성하였다. 그림 3은 본 연구에서 설계한 판정테이블을 이용한 부정맥 자동진단 시스템의 흐름도이다. 실험에 이용된 파형은 다음과 같다.

- 1) Normal ECG
- 2) Atrial fibrillation (CODE 8-3-1)
- 3) Atrial flutter (CODE 8-3-2)

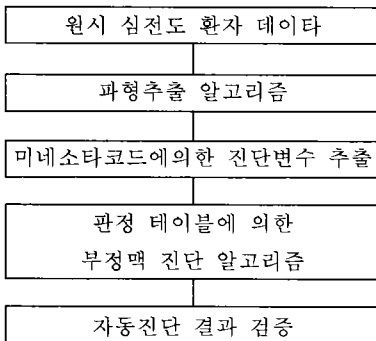


그림 3 제안된 부정맥자동진단 시스템의 흐름도
Fig. 3. Flowchart to the proposed arrhythmia automatic diagnostic system

4) Sinus tachycardia (CODE 8-7)

먼저 6초간 받아들여진 심전도 신호를 화면에 표시하고 그 다음 심박수와 영역을 분류하기 위한 조건을 표시 하였으며 최종적으로 가능성 있는 질병의 코드를 나타내었다.

그림 4는 정상 심전도 신호를 입력하였을 때 얻어진 결과이다. P파 및 QRS폭, R-R 간격 및 P-P 간격이 모두 정상으로 “정상 또는 부정맥이 아

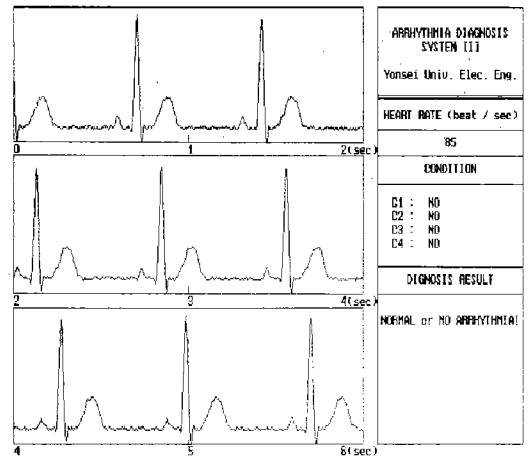


그림 4 정상 심전도 파형의 데이터를 입력한 결과
Fig. 4 Simulation results for normal ECG

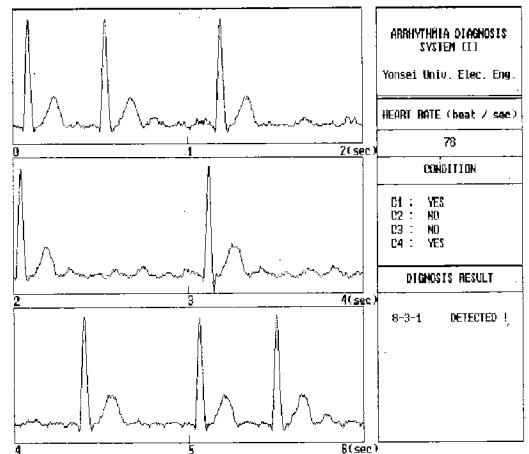


그림 5 Atrial fibrillation 파형의 데이터를 입력한 결과
Fig. 5 Simulation results for atrial fibrillation

니다"라는 진단결과가 나왔다.

그림 5는 atrial fibrillation 데이터를 입력한 결과로 P파가 뚜렷하게 나타나지 않고 R-R간격은 불규칙하며 QRS complex는 정상이다. 이러한 영역은 TABLE MAIN에서 SUB-2테이블로 분기하게 되고 SUB-2 테이블에서 세부적인 파형을 검증하게 된다. 그 결과로 Code 8-3-1이 검출 되었다.

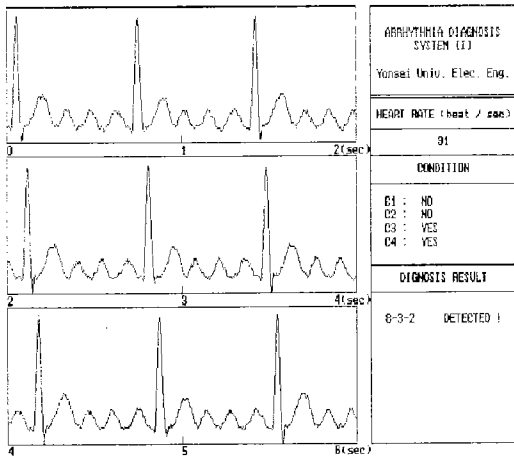


그림 6 atrial flutter 파형의 데이터를 입력한 결과
Fig. 6 Simulation results for atrial flutter

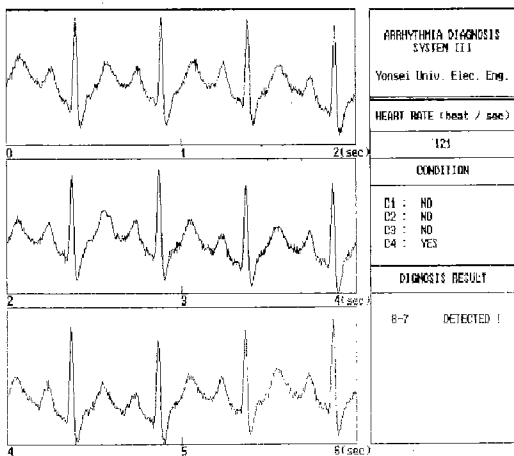


그림 7 Sinus tachycardia 파형의 데이터를 입력한 결과
Fig. 7 Simulation results for sinus tachycardia

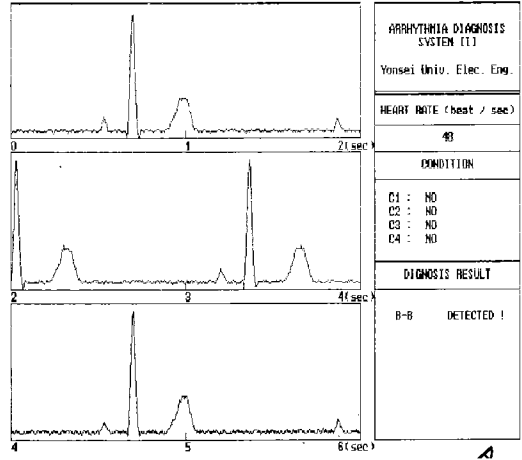


그림 8 Sinus bradycardia 파형의-데이터를 입력한 결과
Fig. 8 Simulation results for sinus bradycardia

그림 6은 atrial flutter 데이터를 입력한 결과로서 P파의 파형이 F파형으로 검출 되었고 QRS complex는 정상이다. 이경우 2:1에서 8:1블럭이 나타날 수 있다. 그러므로 이러한 영역은 TABLE -MAIN으로 부터 SUB-3 테이블로 분기하게 되고 SUB-3 테이블에서 세부적인 파형을 검증한 결과 Code 8-3-2로 검출 되었다.

그림 7은 sinus tachycardia 데이터로서 각 파형은 각 파형의 정상적이지만 박동률이 100을 넘는 경우이다.

그림 8은 sinus bradycardia 데이터로서 각 파형은 정상적이지만 심박수가 60을 넘지 않는 경우이다.

6. 결 론

본 논문은 P파 및 QRS-T군의 검출 알고리즘에서 검출된 정보를 주어진 조건에 대하여 가장 적절한 동작을 정의함으로써 적절한 자동진단을 할 수 있는 최적알고리즘 설계기법인 판정테이블 (Decision Table) 기법으로 처리하여 부정맥을 자동으로 진단하는 소프트웨어 알고리즘 개발에 관한 연구로서 그 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 판정테이블 기법은 의료진단에서 병과 증상사이

의 많은 복잡한 문제들을 간단하고도 명료하게 표현할 수 있었다.

2. 판정테이블은 형태가 간단하여 수정이 필요할 때에나 시스템을 확장할 때, 몇 가지의 규칙을 수정하거나 추가하기만 하면 부정맥뿐만 아니라 다른 심장병의 자동진단으로의 확장도 용이하다.
3. 본 시스템은 많은 양의 심전도 데이터를 컴퓨터가 처리하여 객관성 있는 정보를 임상 전문의에게 제공함으로써 많은 부담을 줄여 줄수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Myoung-Ho Lee, Kyoung-Jung Lee, "The Design of a Process Module for the Distributed Process of ECG Signal", IEEE EMBS Conference, Nov, 4-7, 1988.
- 2) Roland J. P., Recharad S.C., Henry B. : The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings, PSG Inc, 1982.
- 3) Nygars M.E., Hulting J., "An automated System for ECG Monitoring", Comput. Biomed. Res. m pp. 181-202, 1979.
- 4) Henry J. L., Marriott: Practical Electrocardiography 8th ed, Williams & Wilkins, 1988.
- 5) 이명호, 윤형로, "마이크로컴퓨터를 이용한 실시간 ECG 자동진단알고리즘", 의공학회지, Vol. 6, No. 1, pp. 55-63, 1985.
- 6) Recharg B. Hurley: DEcision Tables in Software Engineering, Van Nostrand Reinhd, Data Processing Series, 1983.
- 7) Josef Wartak: Computers in Electrocardiography, Thomas Books, 1970.
- 8) Mary Boudreau Conover: Understanding Electrocardiography, 5th ed, Mosby, 1988.
- 9) 최윤식 : 임상 심전도학, 서울대학교 출판부, 1989.
- 10) 황선철, 정희교, 김용만, 이명호, "심방성 부정맥 진단 알고리즘에 관한 연구", 의공학회지, Vol. 10, No. 1, pp. 17-23, 1989.
- 11) 김덕원, 송철규, 황수관, 이명호, 박장춘 등 "트래드밀 운동시 임티던스 심장기록법을 이용한 심박출량의 측정", 의공학회지, Vol. 10, No.3, pp. 279-284, 1989.
- 12) 이명호, 안재봉, 박장춘 등 "마이크로컴퓨터를 이용한 휴대용 부정맥 모니터의 개발(II)", 의공학회지, Vol. 10, No. 3, pp. 351-360, 1989.
- 13) G.M. Friesen, T.C. Jannett, M.A. Jadallah, S.L. Yates, S.R.Quint, and H.T.Nagle, "A comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms", IEEE Trans., BME, Vol. 37, No. 1, pp. 85-98, 1990.