

운동중의 심전도 모니터링을 위한 원격조정 송신기의 설계

권창옥 · 최준영* · 김광진* · 이명호

=Abstract=

A Design of the Telemetry Transmitter for Monitoring Exercise Electrocardiogram

Chang-Ok Kwon, June-Young Choi, Kwang-Jin Kim, Myoung-Ho Lee

This paper presents a frequency modulated radio-telemetry transmitter for monitoring and transmitting an exercise electrocardiogram (ECG) and respiration activity simultaneously on single carrier frequency in the standard FM broadcast band of 88-108 MHz.

We have evaluated the performance of the FM telemetry transmitter which is proposed on the basis of an exercise ECG test in the treadmill.

1. 서 론

심장의 운동량은 그 박동수에 비례하므로 사람의 심전도(electrocardiogram)를 측정하여 보면 그 사람의 심장운동량을 추정할 수가 있다. 특히 운동중인 사람의 심전도를 측정하여 그 사람의 현재운동량을 산출하고 이것을 생리학적으로 허용되는 최대운동량과 비교하여 봄으로써 운동자로서의 적합성여부의 판단과 잔여운동량에 대한 추가 적응훈련을 통하여 운동자의 심장운동량을 극대화 시킬 수 있기 때문에 운동중인 사람의 심전도를 측정할 수 있는 연구가 기구에 대한 연구가 임상의학, 의료용기기의 개발 및 기록향상을 지향과 제로 하는 스포츠 과학화 과정에서 절실히 요구되고 있다.

그런데 현재 임상에서 이용하고 있는 심전도 측정장치는 교류전원형으로 설치장소가 제한을 받기 때문에

장소나 거리의 이동을 필요로 하는 운동자의 심전도 측정에는 적합하지 않다.

이런 문제를 해결하기 위해서 바테리를 전원으로 하는 심전도 모니터가 개발되어 사용하고 있으나 전력절주시 과정으로 심장부위에 부착된 전극이 본래의 위치에서 이탈될 때 발생되는 잡음을 완전히 제거할 수가 없어서 거리의 급격한 이동이 없는 운동이외에는 큰 효과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 더욱이 완전한 QRS-Complex파형의 패턴을 얻을 수 없기 때문에 운동중에 심장에서 일어나는 임상적 변화특성을 고찰하기가 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이런 문제점을 개선하기 위하여 원격조정에 의한 88~108[MHz]의 주파수 대역을 갖는 FM방송주파수 변조방식의 심전도 검출 및 송신용 FM송신장치를 개발하여 그 성능을 평가하고 아울러 거리나 위치이동을 요하는 운동중에서 완전한 QRS-complex 파형을 모니터링 할 수 있는 ECG모니터 개발의 가능성을 검토해 보고자 한다.

2. 원격조정 FM송신기의 제작

2-1. FM송신기의 설계기준

<1982. 12. 30 접수>

연세대학교 공과대학 전기공학과

*연세대학교 산업대학원

Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University.

*The Graduate School of Engineering, Yonsei University.

심전도 검출 및 송신용 FM송신기는 그림 2-1과 같이 심전도전극(ECG electrode), 전치증폭기(preamplifier), ECG 증폭기(ECG amplifier), 정전류발진기(constant current oscillator), 정류기(rectifier), 저주파 통파필터(low-pass filter), 고주파 통파필터(high-pass filter), 가산증폭기(summing amplifier), 반송파 변조기(carrier modulator) 및 RF발진기(RF oscillator) 등으로 구성하였으며 각 장치의 설계특성은 아래와 같다.

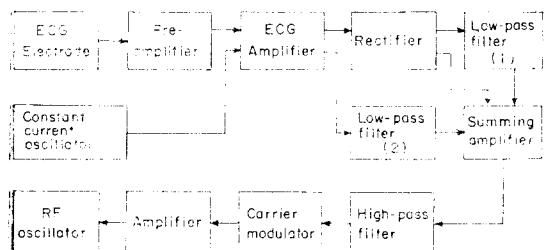


그림 2-1. 심전도 검출 및 송신용 FM송신기의 분류
선도.

Fig. 2-1. Block diagram of the telemetry transmitter for monitoring and transmitting Exercise ECG.

1. 심전도 전극

심전도 검출용 전극으로는 Spacelabs 제품의 Silver-silver chloride (Ag-AgCl) 전극을 사용하였다.

2. 전치 증폭기

심전도 신호의 크기는 0.01~6[mV] 이므로 단순히 심전도 전극만으로는 신호를 검출해낼 수가 없기 때문에 반드시 증폭기를 사용하여야 한다.

특히 심전도 신호가 발생되는 부위의 소스 임피던스는 $10^3\sim 10^7[\Omega]$ 정도 이므로 임피던스 정합(matching)을 위하여 생체 전위용 증폭기(biopotential amplifier)의 입력 임피던스도 커야한다.

본 연구에서는 전치증폭기를 구성하는 3개의 연산 증폭기(operational amplifier) 중 맨앞단의 증폭기는 입력 임피던스가 $10^{12}[\Omega]$ 인 FET를 사용하였다.

전치증폭기의 중요성은 심전도 전극과 흥박부위의 피부가 서로 접촉될 때 전극에 의한 옵셋전위(offset potential)가 발생되어 심전도 신호와 상호 방해현상을 일으키기 때문에 전치증폭기에서 입력신호의 직류 옵셋전위가 차단될 수 있도록 하였다.

3. 정전류 발진기

호흡파형은 심전도와 같이 전기적인 신호로 발생되지 않기 때문에 심전도 검출용 전극으로는 호흡파형을 모니터링 할 수가 없다. 특히 잡음이 없는 심전도 신호

를 검출하기 위해서는 잡음 원인중의 하나인 호흡파형을 따로 분리해야 한다. 그런데 호흡으로 인하여 흥박부위의 임피던스가 변화하게 된다. 따라서 정전류 발진기로부터 일정한 정현파 반송 전류를 전극을 통하여 피검자 흥부에 흘려주면 기저임피던스(basal impedance)의 변화에 따라 진폭변위를 갖는 전압파형으로 호흡파형을 유도해 낼 수 있다.

4. ECG증폭기와 정류기

ECG 증폭기는 호흡파형과 ECG파형을 증폭하여 정류기는 정전류 발진기로부터 발생된 진폭—가변 반송파신호를 통과시킨다. 이때 통과되는 신호는 2개의 다이오드를 통하여 부호가 반대인 두 직류 레벨을 발생한다.

5. 저주파 통파필터(1)

역방향 다이오드를 통하여 정류되는 마이너스(−) dc전압은 호흡으로 인하여 발생되는 변위를 제거하기 위하여 차단주파수가 0.08 [Hz]이고 이득이 -3 [dB] 인 저주파 통파필터로 필터링 된다.

특히 이 저주파 통파필터는 호흡으로 인한 변위와 전극임피던스나 혹은 바테리 공급전압의 변화로 인한 변위등 마이너스(−) dc레벨에서 장시간 동안 상존하는 변위를 급격히 차단하는 역할을 한다. 반면에 순방향 다이오드를 통하여 정류되는 (+)dc 전압은 가산증폭기의 입력으로 인가된다.

6. 저주파 통파필터(2)

전극을 통하여 검출된 심전도 신호는 호흡으로 인한 반송파 신호와 함께 전치 증폭기와 ECG증폭기에 의하여 증폭된다.

그러나 저주파 통파필터(2)에서는 심전도 신호만 증폭시키고 호흡으로 인한 반송파 신호는 차단시키는 역할을 하는데 이 목적을 위하여 차단주파수는 110[Hz]로 이득은 -3 [dB] 로 하였다.

7. 가산증폭기

가산증폭기는 정류기에서 발생되는 호흡에 의한 반송파 신호의 순방향 dc레벨과 역방향 dc레벨을 상쇄시키고 저주파 통파필터(2)에서 증폭된 심전도 신호와 호흡으로 인한 (+)전압신호의 진폭변위만을 가산기의 출력으로 통과시키는 역할을 한다.

8. 고주파 통파필터

고주파 통파필터는 심전도 신호와 호흡에 의한 전압신호의 진폭변위 성분중에서 심전도 신호만을 통과시키기 위한 필터회로로서 차단주파수는 5.0[Hz], 이득은 3[dB]로 하였다.

9. 반송파 변조기

고주파 통파필터에서 통과된 심전도 신호는 비안정

—권창옥 외 : 운동중의 심전도 모니터링을 위한 원격조정 송신기의 설계—

멀티 바이브레이터 (astable multivibrator)에 의하여 RF 발진기가 88~108 [MHz]의 FM방송 주파수 대역에서 동작할 수 있는 필스를 발생하게 한다.

10. RF 발진기

기존의 Colpitts 발진기를 이용하였으며 커패시터와 인더터를 조정하여 88~108 [MHz] 사이의 FM방송 주파수 대역 중에서 어느 하나의 송신주파수 채널을 선택하게 한다.

2-2. FM 송신기의 동작원리

본 연구에서 설정한 설계기준을 중심으로 하고 몇 가지 부수적인 조건으로

1) 사용되는 연산증폭기는 저전력용의 Siliconix L114 triple-operational amplifier를 사용하였으며

2) 휴대하기에 간편하도록 전체의 무게는 500[g] 미만으로 만들며,

3) FM송신기의 송신거리는 약30[m],

4) 회로사이의 상호간섭을 방지하고 안정도를 높이기 위하여 RF발진기와 기타 회로의 전원을 분리하여 세작한 심전도 검출 및 송신용 원격조정 FM송신기의 회로도는 그림2-2와 같으며 종합적인 동작원리는 아래와 같다.

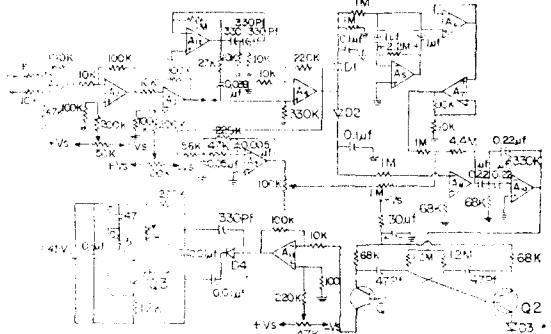


그림 2-2 심전도 검출 및 송신용 FM 송신기회로도

Fig. 2-2. Electronic circuit of the telemetry transmitter for monitoring and transmitting exercise ECG.

먼저 운동자의 총각부위에 부착된 전극 E_1 과 E_2 를 통하여 점출된 0.01~6[mv] 사이의 심전도는 3 개의 연산증폭기 A_1 , A_2 , 및 A_3 로 구성되는 전자증폭기를 통하여 각 단에서의 이득은 10배로 조정되어 전체적으로는 1,000배로 증폭된 후 ECG증폭기 A_4 로 입력된다. 한편 호흡에 따라 변위를 갖는 흉곽부위의 기저임피던스(basal impedance)는 연산증폭기 A_{12} 와 주변 소자들로 구성된 정전류발진기로부터 인가되는 정전류신호와 결합하여 호흡에 따라 진폭이 변하는 ac전압을 발생한다. 여기서 발생된 진폭변위를 갖는 정현파반송파

신호는 ECG증폭기 A_4 로 입력되어 심전도 신호와 함께 증폭된 후 다이오드 D_1 과 D_2 로 구성되는 정류기로 보내진다.

그리고 진폭변위를 갖는 정현파반송파 신호는 다이오드 D_1 과 D_2 를 거쳐는 동안 진폭은 같으나 부호가 반대인 2개의 dc레벨전압으로 정류된다. 이때 마이너스 (-) dc레벨전압은 연산증폭기 A_5 와 주변소자들에 의하여 차단주파수가 0.08[Hz]이고 이득이 -3[dB]인 저주파 통과 필터를 거치는 동안 호흡에 의한 진폭변위를 제거받은 후 증폭기 A_7 를 거쳐서 가산증폭기 A_9 에 이르게 된다. 특히 이 저주파통과 필터는 호흡으로 인한 진폭변위와 전극의 임피던스나 혹은 바래리 전압이 바뀔 때 발생한 변위와 같이 마이너스 (-) 직류레벨에 본래부터 상존하는 변위를 급격하게 차단하는 역할을 한다. 따라서 마이너스 dc (-)레벨에 상존하는 대단히 느린 변위만이 연산증폭기 A_6 로 구성되어 있는 임피던스 정합용 증폭기를 자유롭게 통과된다. 그리고 다이오드 D_2 를 경유한 (+)dc레벨전압은 정현파반송파 신호의 진폭변위는 그대로 유지한 �е 가산증폭기 A_9 으로 입력된다. 그러므로 가산증폭기 A_9 은 증폭기 A_7 를 통하여 입력된 마이너스 (-) dc레벨과 다이오드 D_2 를 거쳐서 입력된 (+)dc레벨을 가산하여 서로 상쇄시키고 단지 호흡으로 인하여 발생된 (-)전압신호의 진폭변위만을 가산기 A_9 의 출력으로 통과시키게 된다. 한편 전극 E_1 과 E_2 에 의하여 점출된 심전도 신호는 정전류발진기로부터 발생되는 정현파 반송파 신호와 함께 ECG증폭기 A_4 에 의하여 증폭된 후 연산증폭기 A_8 과 주변 소자들로 구성되어진 차단주파수 f_c 가 110[Hz]이고 이득이 -3[dB]인 저주파통과필터를 거치면서 심전도 신호만 통과되고 반송파 신호는 차단된다. 그러므로 증폭된 신호는 가산증폭기 A_9 에서 미리 조정된 호흡신호와 함께 가산된다. 따라서 가산증폭기 A_9 의 출력은 호흡에 의한 전압신호와 심전도 신호의 혼합파형으로 나타난다. 가산증폭기 A_9 의 출력은 차단주파수가 5.0 [Hz]이고 이득이 3 [dB]인 고주파통과 필터를 통하여 심전도 신호만을 통과시켜서 비안정 멀티바이브레이터의 트랜지스터 Q_1 과 Q_2 의 베이스에 전류를 흘려줌으로써 RF 발진기가 88~108 [MHz]의 반송주파수 대역에서 동작할 수 있는 필스를 발생하게 된다. 비안정 멀티바이브레이터의 출력은 증폭기 A_{11} 을 거쳐서 RF 송신을 위하여 한개의 트랜지스터 Q_3 와 캐퍼시터 C_1 , C_2 및 인더터 L 로 구성되는 Colpitts 발진기의 입력으로 들어간다. RF 발진기의 송신주파수는 88~108[MHz] 범위중 인더터 L 값을 조정하여 98[MHz] ±5%로 고정된다.

마지막으로 RF 발진기에서 $98[\text{MHz}] \pm 5\%$ 로 송신되는 심전도 신호는 일반 상용으로 쓰이는 FM 카셋트 라디오를 이용하여 카셋테이프에 녹음되도록 한다.

3. 실험 및 결과고찰

본 연구에서 제작한 심전도 검출 및 송신용 원격조정 FM 송신기의 성능을 평가하기 위해 그림 3-1과 같이 운동자의 심전도 측정시스템을 구성하였다.

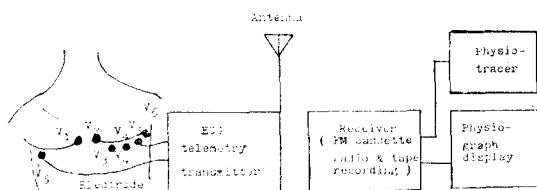


그림 3-1. 운동중의 심전도 측정시스템

Fig. 3-1. Complete monitoring system of the exercise ECG.

3-1 피검자의 선정

피검자로는 체중 64 [kg], 신장 171 [cm], 연령이 25세인 [K]와 체중 57 [kg], 신장 180 [cm], 연령이 21세인 남자[O] 두 사람을 선택하였다.

3-2 정지상태의 심전도

각 피검자에게 충분한 휴식을 취하게 한 후 한쌍의 표면전극을 흥곽부위 좌측쇄골 중앙선에서 제5늑간(그림3-1의 V₅)과 이와 대칭이 되는 위치(그림3-1의 V'₅)에 부착시키고 경상상태에서의 심전도를 기준 모

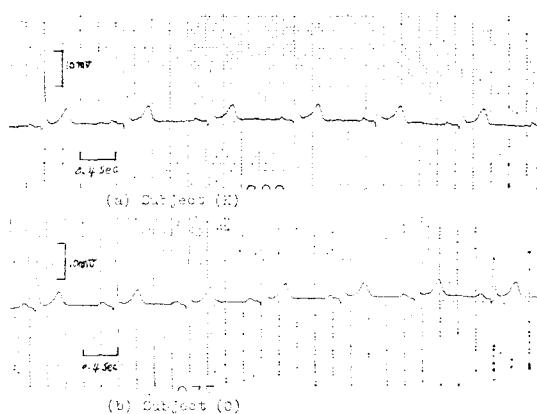


그림 3-2. 경상상태에서 기준모델을 이용하여 측정한 피검자의 심전도

Fig. 3-2. ECG Waves of subjects [K] and [O] in the standing state by recording cardiopan CR-300 ECG recorder system.

델을 이용하여 검출하였는데 그림3-2와 같이 피검자[K]는 60(회/분), 피검자[O]는 75(회/분)로 나타났다

3-3 운동중의 심전도

운동 상태변화에 따른 피검자들의 심전도 변화는 treadmill을 이용하여 측정하였다.

treadmill에서 수행하는 피검자들의 운동량은 i) 정지상태, ii) 5° 의 경사를 $9.6[\text{km}/\text{시간}]$ iii) 10° 의 경사를 $14.4[\text{km}/\text{시간}]$ 및 15° 의 경사를 $19.2[\text{km}/\text{시간}]$ 의 속도로 구분하여 각 피검자들에게 3분동안씩 실시하였는데 그림 3-3은 피검자[K]에 대한 운동량 변화에 따른 심장 박동수의 변화이고 그림3-4는 피검자[O]에 대한 심장 박동수의 변화이다.

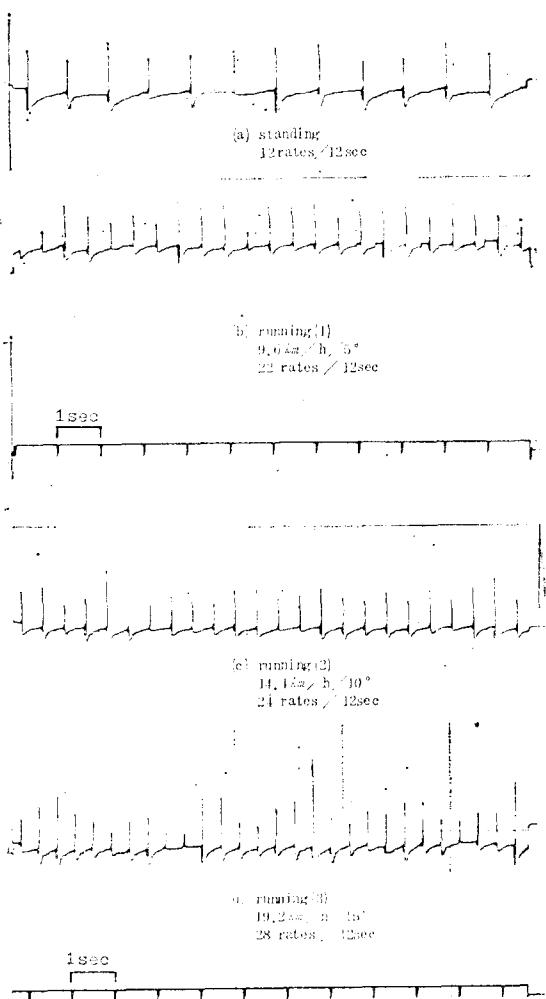


그림 3-3. 운동상태변화에 따른 피검자[K]의 심장 박동수

Fig. 3-3. ECG rates of subject, [K], with different exercising conditions.

표 3-1. 운동상태변화에 따른 피검자 [K]와 [O]의
심장박동수 비교

Table 3-1. Comparison of ECG rates with different exercising conditions between subject [K] and subject [O].

| Exercise | Subject | K | O |
|---------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | condition | (171cm/64kg/25 years) | (180cm/57kg/21 years) |
| Standing | Standing | 60 | 75 |
| 9.6km/hour/ angle 5° | | 110 | 115 |
| 14.4km/hour/ angle 10° | | 120 | 135 |
| 19.2km/hour/ angle 15° | | 140 | 150 |

을 보였다.

4. 제작한 심전도 FM송신장치를 피검자에게 사용하기 전에 먼저 현재 임상병원에서 이용되고 있는 Philips 회사의 Cardiopan CR-300 모델을 통하여 정지상태일 때 심장박동수를 측정한 결과 그림3-2에 보인 바와 같이 피검자[K]의 경우에는 60[회/분], 피검자[O]의 경우에는 75[회/분]의 심장 박동수를 보였다.

5. 결과 고찰(4)에서 얻어진 결과를 각 피검자들의 정상상태일 때의 심장 박동수로 하고 본 연구에서 제작한 심전도 측정용 모니터를 사용하여 정상 상태에서 측정한 심장의 박동수는 그림3-3(a)와 같이 피검자[K]의 경우에는 60[회/분]의 심장 박동수를, 그리고 피검자[O]의 경우에는 그림3-4(a)와 같이, 75[회/분]의 심장 박동수를 보여 제작한 심전도 모니터의 신뢰도를 확인한 후 운동량을 변화시켜 본 결과.

6. 5°의 경사를 9.6[km/시간]의 속력으로 3분동안 달렸을 때 피검자[K]는 그림3-3(b)와 같이 110[회/분]의 심장 박동수를 보인 반면에 피검자[O]는 그림3-4(b)와 같이 115[회/분]의 심장 박동수를 보여 같은 운동량을 수행하는데 피검자[O]의 심장 박동수가 1분동안 5회정도 빠른 것으로 나타났다.

7. 10°의 경사를 시속 14.4[km/시간]의 속력으로 3분동안 달렸을 때 피검자[K]는 그림3-3(c)와 같이 120[회/분]의 심장 박동수를 보인 반면 피검자[O]는 그림3-4(c)에 나타난 것 같이 135[회/분]의 심장 박동수를 보여 같은 운동량을 수행하는데 있어서 피검자[O]가 1분당 심장 박동수가 15회 더 많은 것으로 나타났다.

8. 15°의 경사를 시속 19.2[km/시간]으로 달렸을 때 피검자[K]는 그림3-3(d)와 같이 140[회/분]의

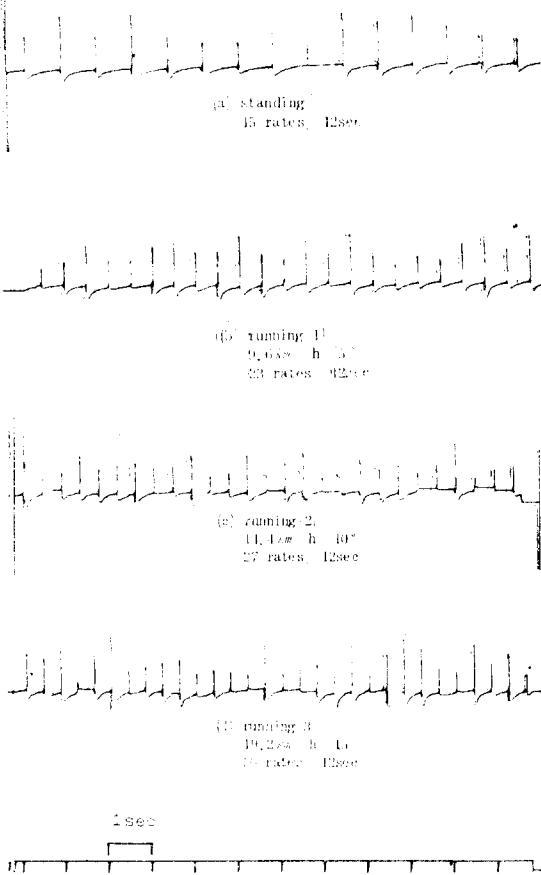


그림 3-4. 운동상태변화에 따른 피검자 [O]의 심장박동수

Fig. 3-4. ECG rates of subject, [O], with different exercising conditions.

한편 표3-1은 운동상태 변화에 따른 피검자들의 심장 박동수를 그림 3-3, 그림 3-4를 판독하여 정량적으로 나타낸 것이다.

3-4 결과 고찰

본 연구에서 제작한 심전도 검출 및 송신용 FM송신기의 특성과 피검자들의 운동상태를 변화시켰을 때 검출된 심장의 박동수로부터 얻어진 결과를 고찰하여 보면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 제작한 심전도 FM송신기는 바테리 전원의 교환없이 약 5주동안 송신되었으며
2. 송신거리는 약 30[m]이며 조절이 가능하였다.
3. 신호도 신호는 98[MHz]에서 가장 안정된 패턴

심장 박동수를 보인 반면 피검자 [O]는 그림3—4 (d) 와 같이 150[회/분]의 심장 박동수로 같은 운동량을 수행하는데 피검자 [O]의 심장 박동수가 10회 정도 빠른 것으로 나타났다.

결 론

본 연구에서 제작한 원격조정에 의한 심전도 검출 및 송신용 FM송신기를 이용하여 운동상태 변화에 따른 심장 박동수를 측정하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 검출된 신호는 바attery 전원의 교환없이 약 5주 동안 송신할 수 있다.
2. 심전도의 송신주파수는 98[MHz]에서 가장 안정되었고 송신거리는 약 30[m] 이었으며 조절이 가능하였다.
3. 생체 잡음을 제거하기 위해 사용한 필터의 차단 주파수 범위가 0.08~110[Hz]일 때 이득은 $\pm 3[\text{dB}]$ 로 안정되었다.
4. 제작된 심전도 모니터의 성능을 평가하기 위하여 정지 상태일 때 두 사람의 피검자를 통하여 측정된 심장의 박동수는 각각 회분 60[회/분], 75[회/분], 으로 기준의 모니터를 이용하여 같은 상태에서 측정한 60[회/분], 75[회/분]과 일치하였다.
5. 5° , 10° , 15° 의 경사를 $9.6[\text{km}]$, $14.4[\text{km}]$ 및 $19.2[\text{km}]$ 의 시속으로 3분동안 달렸을 때 두 피검자의 심장 박동수는 선형적으로 증가하였으며 이 결과를 이용하여 피검자들의 심장의 운동 능력을 간접적으로 평가할 수 있었다.

따라서 이상에서 얻어진 결론으로 미루어 보아 제작한 심전도 검출 및 송신용 FM송신기를 더욱 연구 개선하여 후대하기에 간편하고 신뢰도를 높일 수 있다면 그리고 격렬한 운동을 하거나 또는 장시간동안 달릴지라도 총괄부위에 부착된 전극이 벗어지지 않게 할 수 있다면 운동중인 사람의 심전도를 측정하므로써 운동중에 일어날 수 있는 심장 질환에 대한 임상적 평가를 내릴 수 있을 뿐만 아니라, 운동자의 적합성 여부를 판정할 수 있을 것이다. 나아가서는 생리학적으로 허용하는 심장의 최대박동수(18[회/분]~200[회/분])와 비교하여 잔여 운동량을 산출할 수 있고 이의 추가 실시로 작업의 효율화 및 일정한 운동량을 수행하는데 소요되는 시간을 최소로 줄일 수 있을 것이므로 기록 단축을 목표로 하고 있는 장거리 운동선수들의 기록 향상을 위한 자료가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) L.N. Ziecheck, "The general design consideration for a wireless telemetry system in the medical diagnosis of humans." *IEEE Trans. Aerospace Electronic System (USA)*, Vol. A ES-5, No. 4A, p. 682, 1969.
- 2) F.O. Foghludha, "Medical application of telemetry system," *National Telemetry Conference Record, Conference paper, Washington, D. C.*, pp. 342~343, 1971.
- 3) T.B. Rill, "A radiotelemetry system for transmitting physiologic data from animals," *Amer. J. Vet. Res.*, Vol. 32, No. 1, pp. 155~161, 1971.
- 4) R. Zerzawy, "A programmable 4 channel system for long-time radio telemetry of biomedical parameters," *International Symposium on biotelemetry, Meander, N.V., Leiden, Netherlands*, pp. 49~56, 1972.
- 5) W.P. Holsinger and K.M. Kemph, "Portable EKG telephone transmitter," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. BME-19, pp. 321~323, 1972.
- 6) R.P. Betts and B.H. Brown, "Method for recording electrocardiograms with dry electrodes applied to unprepared skin," *Med. Biol. Eng.*, Vol. 13, pp. 313~315, 1976.
- 7) J.G. Webster, "Minimizing electrode motion artifact by skin abrasion," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. BME-24, March, pp. 134~139, 1977.
- 8) J.G. Webster, "Interference and motion artifact in biopotentials," *IEEE Trans. Region 6. Conference Record*, pp. 53~64, 1977.
- 9) M.R. Neuman, "Biopotential amplifiers," in *Medical Instrumentation: Application and Design*, J.G. Webster, Ed. Boston, pp. 273~335 1978.
- 10) E.K. Chung: *Exercise Electrocardiography: Practical Approach*, The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1979.
- 11) W.M. de Souze and R.B. Panerai, "Variability of thoracic impedance cardiograms in man," *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 19, pp. 411~415, 1981.
- 12) 강두희 : 생리학, 신광출판사, 1980.