

Comparison of the Electrocardiographic Characteristics of Junior Athletes and Untrained Subjects

Sang Ku Park¹ and Ji-Hyuk Kang²

Department of Neurology Laboratory, Samsung Medical Center, Seoul 135-710, Korea¹,

Department of Biomedical Laboratory Science, College of Health, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea²

The hearts of highly trained athletes show morphologic and electrocardiographic (ECG) changes that suggest the presence of cardiovascular disease, including sinus bradycardia, a striking increase in precordial R-wave or S-wave voltages, ST segment depression, and T-wave inversions. Despite a number of previous observational surveys, the determinants of abnormal ECG patterns in trained athletes remain largely unresolved. In this study, we compared the electrocardiographic characteristics of athletes to determine any sensitive indicators. Comparison between ECG patterns and cardiac physiology was performed in 21 junior athletes and 25 untrained subjects with no signs of cardiac disease. Sinus bradycardia was detected in a subset of athletes but not statistically significant between the athletes (69.9 ± 11.1 bpm) and the control (72.7 ± 9.9 bpm) group. The mean values of the PR and QTc intervals in the athletes' group were 149.2 ± 15.4 ms and 402.3 ± 28.8 ms, respectively. Also, there were no significant differences between control group and the athletes' group. In addition, the athletes demonstrated a spectrum of alterations in the 12-lead ECG pattern, including marked increase in precordial R-wave or S-wave voltages ($SV_1 + RV_5 \geq 35$ mm, 23.8%), QRS duration (≥ 90 ms, 90.5%), suggestive of left ventricular hypertrophy. However, left axis deviation, ST segment depression, and T-wave changes in V5, V6 were not observed in either the athletes or control group. Our findings suggest that sinus bradycardia, precordial R-wave or S-wave voltages, and QRS duration seem to be more sensitively detected in athletes than in control group. Further researches on the electrocardiographic patterns of athletes should be carried out to improve the sensitivity and specificity of diagnostic criteria.

Key Words : Electrocardiographic characteristics, Junior athletes, Untrained subjects

I. 서론

장기간에 걸쳐 규칙적인 운동을 하면 이에 대한 심혈관계의 반응으로 좌심실내경의 증가나, 좌심실 후벽 및 심실중격(interventricular septum) 두께의 증가 등이 나타나게 되

는데(Naylor 등, 2008) 심장의 이러한 형태학적 변화는 운동에 따른 압력 또는 용량과부하에 대한 적응반응으로 생기며 대부분의 변화가 운동을 중지하면 가역적인 것으로 알려져 있다(최지용 등, 1991; 우연조 등, 1992). 운동선수심장(athletic heart)이란 장기간에 걸친 훈련, 특히 경쟁운동을 해 온 운동선수들의 심장이 형태학적, 기능적으로 일반 사람들의 심장과 차이가 있다는 것을 의미한다. 이러한 운동에 의한 심장의 변화는 운동의 종류, 강도 및 기간에 따라 다르게 나타나며(김영주 등, 2008) 인종과 성별, 나이에 의해서도 다르게 나타난다(임인자 등, 2000; Rawlins 등, 2009). 운동선수는 운동을 하지 않은 사람에 비해 최대산소섭취량, 심박출량(cardiac output) 및 심실이완말기용적이 증가하고, 심

Corresponding author : Ji-Hyuk Kang, Department of Biomedical Laboratory Science, College of Health, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea,

Tel: 010-9700-9397, E-mail: shigella@naver.com

Received : 29 August 2012

Return for modification : 13 September 2012

Accepted : 13 September 2012

근 양의 증가로 심실벽이 두꺼워진다. 또한, 교감신경은 억제되고 부교감 신경은 항진되어 안정 시 심전도 상에서 일반인에서는 병적인 변화로 여겨지는 소견들이 흔히 나타나게 된다(Franklin 등, 1997; Holly 등, 1998).

심전도(Electrocardiogram, ECG)는 심장의 기능을 전기생리학적으로 분석할 수 있으며, 운동선수들에게 흔하게 나타나는 심전도 소견의 특징으로는 동성서맥(sinus bradycardia), 동성부정맥(sinus arrhythmia), 1° 방실차단(1° AV block), 벤케바하 현상(Wenckebach phenomenon), 불완전 우각차단(incomplete right bundle branch block, IRBBB), 요철이 보이는 P파(notched P wave), 진폭척도에 의한 좌심실비대(left ventricular hypertrophy), ST분절의 상승 및 하강, QTc 간격의 증가 및 크고 높거나 역위된 T파(T wave inversion) 등을 들 수 있다(Holly 등, 1998; 주기찬 등, 2002; Pelliccia 등, 2007). 운동선수에게 나타나는 이러한 심전도의 특징은 조율(rhythm), 전도(conduction), 재분극(repolarization) 측면에서 심장질환 환자들과 유사하므로 병리적 현상과의 구분에 어려움이 따른다. 즉 운동에 의해 심전도에서 나타나는 변화는 정상인의 경우 정상적인 생리적 적응반응일수 있고, 심장질환자의 경우 비정상적인 병리적 반응일 수 있기 때문이다.

지금까지 프로 운동선수의 안정 심전도상의 특징에 관한 연구는 많이 진행되었으나, 젊은 동일 연령에서 중등도이상의 운동군과 비운동군사이의 심전도 소견에 대한 비교 논문은 매우 드문 실정이다. 또한 이러한 대상간의 심전도 소견의 비교는 운동에 대한 적응반응으로서의 심장의 초기 변화 상태를 추적할 수 있을 뿐만 아니라 동시에 심장의 기능적 적응변화측면에서 가장 민감한 지표를 설정하는데 중요한 정보를 얻을 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 21세 청년들을 대상으로 운동군과 비운동군의 안정 심전도를 측정하고, 운동에 의해 가장 많은 영향을 받는 심전도 결과의 지표들을 비교·분석하여 운동에 대한 심장의 정상적인 생리학적 반응을 분석함으로써 비정상적인 병리학적 반응과의 구분에 도움을 주고자 한다.

II. 검사대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 심장순환계에 특별한 질환을 가지고 있지 않은 구미시 소재의 K대학교에 재학 중인 학생 46명을 대상으로 실시하였다. 운동군과 비운동군의 심전도 소견을 비교하기 위하여 운동군 21명(육상, 태권도, 유도, 마라톤)과 비운동군 25명의 안정 심전도를 측정하였다. 운동군의 운동 종목별 분포는 육상 10명, 마라톤 3명, 태권도 6명, 유도 2명으로 평균운동기간은 6년으로 매일 평균 3시간 이상의 운동을 하는 학생으로 하였고, 비운동군은 일주일에 1시간 이내의 운동을 하는 학생을 대상으로 하였다. 대상자들의 신체적인 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of study population

Variables	Age (years) (Mean ± SD)	height (cm) (Mean ± SD)	weight (kg) (Mean ± SD)
Athletes group (n=21)	20.8 ± 1.2	175.2 ± 6.8	70.2 ± 10.0
Control group (n=25)	20.9 ± 2.0	169.2 ± 8.6	62.0 ± 9.8

Abbreviation: SD, standard deviation.

2. 심전도 측정 및 분석

심전도의 측정은 Cardiofax-ECG 1350 (NIHON KOHDEN, Japan)을 사용하여 이마면 쌍극유도인 Einthoven의 표준팔다리유도법 I, II, III유도 및 이마면 단극유도인 Goldberger의 증폭단극팔다리유도 aV_R, aV_L, aV_F유도를 측정하였다. 그리고 수평면 단극유도인 Wilson의 단극가슴유도 V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆ 유도를 측정하였다. 심전도의 측정 조건은 감도 10mm/mV, 기록지 이동속도 25mm/sec, 시정수 3.2초, 필터 off 상태에서 기록하였다.

운동군과 비운동군의 심전도 결과 중 동성서맥의 특징을 관찰하기 위해 심박수를 비교하였고, 한 RR주기 내에서 심장주기의 특징을 관찰하기 위해 PR간격 및 QTc간격을 분석하였다. 그리고 좌심실 비대의 소견을 관찰하기 위해 심전도의 축, ST분절의 하강, T의 역위, SV₁과 RV₃의 진폭 합 및 QRS간격을 비교·분석하였다. 그 중 심전도의 축은 유도 I

에서 QRS군의 극성과 유도 aV_F에서 QRS군의 극성을 관찰하여 벡터의 방향을 통해 분석하였는데, 유도 I에서 양성파이고 AV_F에서는 음성파인 경우를 좌심실 비대로 판단하였다. ST분절의 하강은 ST분절이 등전위선인 PQ junction보다 1 mm이상 하강하고, 그 하강이 J점으로부터 80 ms 이상 지속되는 경우를 양성으로 하였다. SV1과 RV5의 진폭 합이 35 mm이상인 경우와 QRS의 주기가 90 ms이상인 경우도 심전도 비대의 소견을 의미하는 지표로서 분석하였다.

실험결과와 정확성을 위해 검사대상자에게 검사방법의 안전성을 충분히 설명하여 불안감 및 긴장감을 최소화하였고, 20분이상의 안정 상태 후에 심전도 검사를 실시하였다. 근전도 및 바닥선 동요 등 인공산물의 영향을 최소화하기 위해 검사실의 온도는 20~25℃를 유지하였다.

3. 통계학적 분석

심전도 검사의 모든 측정치는 평균과 표준편차를 산출하고, 결과분석은 MS-excel 및 SPSS 통계프로그램(SPSS 12.0, Chicago, IL)을 이용하여 독립표본 T-검정(independent samples T-test)을 실시하였으며, 유의수준 0.05하에서 통계적 유의성을 검정하였다.

III. 결과

1. 심박수의 비교

운동군과 비운동군간의 평균 심박수를 분석한 결과(Fig. 1) 운동군은 69.9 ± 11.1 bpm (beats per minute)이고, 비운

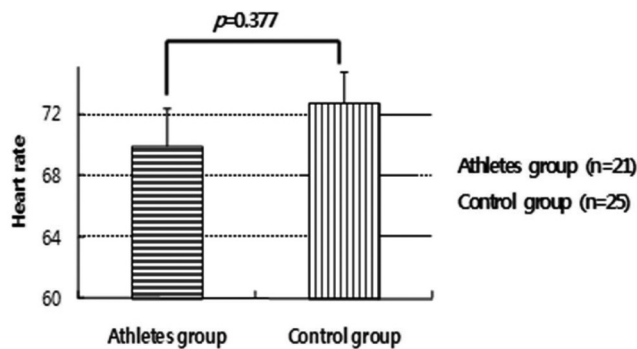


Fig. 1. Difference in the heart rate of the athletes- and control groups.

동군은 72.7 ± 9.9 bpm으로 운동군에서 상대적으로 느린 맥을 보였으나, 두 군간에 통계적 유의성은 없었다. 그리고 심박수가 60회 이하인 경우는 운동군에서 4명(19.0%), 비운동군에서는 1명(4%)이었다.

2. PR간격 및 QTc간격의 비교

운동군과 비운동군사이의 PR간격을 분석한 결과(Fig. 2) 운동군은 149.2 ± 15.4 ms, 비운동군은 158.0 ± 23.2 ms로 운동군의 PR간격이 상대적으로 짧은 것으로 나타났으나, 두 군간에 통계적 유의성(p=0.147)은 없었다. QTc간격은(Fig. 3) 운동군이 402.3 ± 28.8 ms, 비운동군이 406.1 ± 17.6 ms로 운동군이 상대적으로 더 짧은 것으로 나타났으나, 역유의한 차이는 없었다(p=0.587).

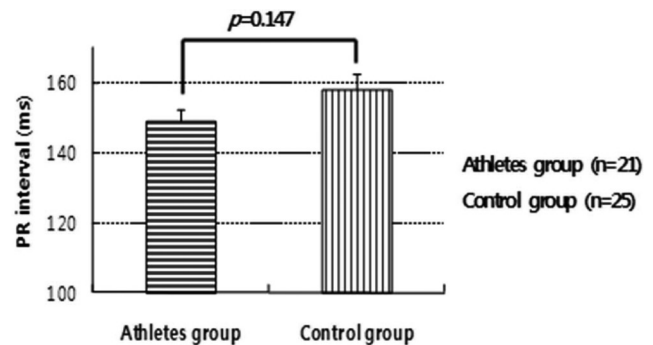


Fig. 2. Difference in the PR interval of the athletes- and control groups.

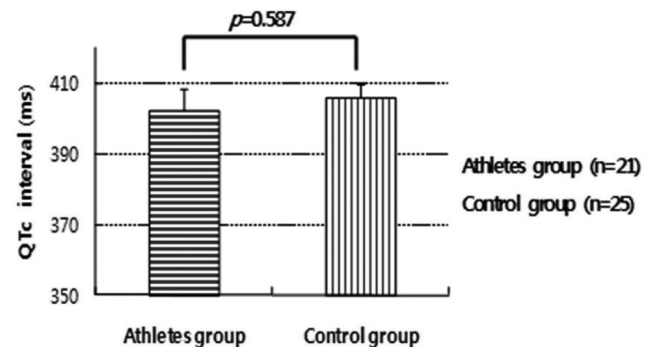


Fig. 3. Difference in the QTc interval of the athletes- and control groups.

Table 2. Differences between the criteria for left ventricular hypertrophy of the athletes- and control groups

Variables	Athletes group (n=21)	Control group (n=25)	p
	Mean ± SD	Mean ± SD	
LAD (0 ~ -90°)	0%	0%	0%
ST segment depression (V ₅ , V ₆)	0%	0%	0%
Criteria for LVH T-wave inversion (V ₅ , V ₆)	0%	0%	0%
SV1 + RV5 ≥ 35 mm	5 (23.8%) 29.1 ± 0.7	1 (4.0%) 26.2 ± 0.6	0.154
QRS dur. ≥ 90 ms	19 (90.5%) 98.6 ± 9.1	18 (72.0%) 94.9 ± 8.5	0.134

Abbreviation: LVH, Left Ventricular Hypertrophy; LAD, left axis deviation; QRS dur., QRS duration; ms, millisecond; SD, standard deviation.

3. 좌심실 비대 특징 비교

좌심실비대의 진단기준 중(Table 2) 좌측편위, V_{5,6}에서 ST분절 하강 및 T파의 역위는 관찰되지 않았다. V₁에서 S 파의 깊이와 V₅에서 R파 높이의 합이 35 mm 이상인 경우는 운동군과 비운동군에서 각각 5명(23.8%), 1명(4%)으로 운동군에서 더 높았고, 이는 통계적으로 유의하지 않았다 ($p=0.154$). QRS주기가 90 ms 이상인 경우 또한 운동군과 비운동군에서 각각 19명(90.5%), 18명(72.0%)으로 운동군에서 높게 나타났고, 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($p=0.134$).

IV. 고찰

심혈관계와 근육은 서로 밀접한 관계를 가지면서 신체활동 및 운동에 다양하게 반응한다. 반복적이고 지속적인 운동자극의 특성에 따라 심혈관계는 적응하게 되며, 심전도를 통하여 심장의 기능적 상태를 관찰할 수 있다는 것은 이미 의학계의 상식으로 받아들여지고 있으며 운동생리학 분야에서도 운동선수의 심장기능의 향상 정도를 파악하는데 유효하게 이용되고 있다(박태열, 2000). 오랫동안 유산소운동을 하는 경우에는 계속되는 근 수축으로 인해 정맥환류(venous return volume)가 증가하므로 심장 내 혈액량의 증

가로 좌심실의 직경이 증가된다(McMullen 등, 2007). 이와 함께 부교감신경의 긴장도가 증가되고, 교감신경은 비활성화 되어 심장자극전도계도 변화가 일어나게 된다. 또한 무산소운동을 주로 하는 경우에는 순간적인 근 수축으로 인해 혈압이 증가된다. 이러한 운동자극은 심혈관계의 정상적인 적응현상을 유도하여 심장근육의 두께가 증가하게 되므로 전기활동도 변화에 의하여 백터를 전위시켜 결국 심전도 상에서 심실비대의 소견으로 나타날 수 있다. 운동자극에 의한 심장의 해부학적, 생리학적 변화는 심전도 상에서 파형의 크기 증가, ST분절의 변화, QTc간격의 증가 등으로 나타나게 되며 부교감신경의 항진으로 인해 동성서맥, 동성 부정맥, 1도 방실차단 등의 소견을 보인다(Holly 등, 1998).

본 연구에서는 동일연령의 청년들을 대상으로 운동군과 비운동군의 안정 심전도를 측정하고, 운동에 의해 가장 많은 영향을 받는 심전도 결과의 지표들을 비교·분석하여 운동에 대한 심장의 정상적인 생리학적 반응을 분석함으로써 정상적인 적응현상과 비정상적인 병리학적 반응과의 구분에 도움을 주고자 하였다. 운동에 의한 동성서맥의 특징을 관찰하기 위해 실시한 심박수의 비교에서(Fig. 1) 개별 값을 이용한 유의성분석에서는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났지만, 운동군에서 상대적으로 낮은 평균치를 보였다. 그리고 분당 심박수 60회 이하를 기준으로 하는 동성서맥에 해당하는 비율에서는 운동군에서 19%인 것

으로 나타나, 비운동군보다 4배 이상 높은 비율을 보였다. 이는 운동군의 대상이 전문적인 프로 운동선수가 아닌 중등도 이상의 운동을 하는 집단임을 가만할 때 경향성 측면에서는 운동에 의한 서맥화가 정상적 적응반응으로서 의미가 있으며 운동에 의해 영향을 받는 지표로서 의미가 있음을 시사한다. 이 결과는 운동선수의 안정 심전도에서 동성 서맥이 가장 빈번하다는 이전연구(Gott 등, 1968; Pelliccia 등, 2001)와 일치하는 소견이라고 할 수 있다. 또한 심장의 서맥화는 운동의 강도뿐만 아니라 종류에 따라서도 다르게 나타난다는 점을 고려할 때 본 연구대상에서 운동군의 집단이 육상 이외에도 태권도, 유도 등의 운동을 포함하고 있어 유연성 및 근력운동에 좀 더 치우친 운동특성이 심박수 측면에서는 비운동군과 유의성을 적게 나타나게 한 이유로 판단된다. 1회 심장주기의 특징을 관찰하기 위해 실시한 PR간격 및 QTc간격의 분석에서(Fig. 2, 3) 운동군은 대조군 보다 두 지표 모두 더 짧은 것으로 조사되었다. 운동군의 평균 RR간격이 더 넓은에도 불구하고, 그 주기 내에서 PR간격이 더 짧다는 것은 심방의 수축 및 방실전도가 신속하게 일어남을 의미하고, QTc간격이 더 짧다는 것은 전기적 심실의 수축시간이 적다는 것을 의미하므로 바꾸어 말하면 결국 1회 심장주기에서 심실의 이완시간이 더 길다는 것을 의미하는 결과로 볼 수 있다. 심장동맥(coronary artery)은 좌심실에서 이어져 오른대동맥에서 처음으로 분지되는 혈관으로 심장자체에 산소와 영양분을 공급하는 중요한 기능하며 해부학적으로 심장근육에 묻혀있는 형태이다. 심장의 수축시간이 더 길어질수록 심장동맥도 좁혀져 있는 시간이 길어지므로 혈류의 흐름이 원활하지 않게 되어 심장자체에 영양분을 공급하는데 불리하게 작용될 수 있다. 본 연구에서 운동군은 비운동군에 비해 1회 심장주기 내에서 심실의 이완시간이 더 길다는 결과를 얻었다. 이는 운동에 의해 심장의 이완기가 더 길어질 수 있으며, 곧 운동이 심장자체에 더욱 유리하게 작용할 수 있다는 것을 암시한다. 반면 이 결과는 사이클 운동에 의해 QTc간격이 증가한다는 기존의 연구결과(Van Ganse 등, 1970) 및 장거리선수를 대상으로 한 연구에서 유의한 변화가 없다는 연구결과(Parker 등, 1978; Northcote 등, 1989) 등과 다른 결과로 이에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 이

전 연구결과의 다양성과 본 연구결과와의 불일치성 등을 종합적으로 고려할 때 QTc간격의 변화는 운동에 대한 심장의 기능적 적응변화측면에서 일반적인 지표로서 의미가 낮은 것으로 판단되며, QTc간격이 연장된다는 것은 심실의 활동전위가 지연됨을 의미하고 이로 인해 심각한 심실성 부정맥을 유발할 수 있는 중요한 관점이기 때문에 더욱 엄격하게 대상을 선별하여 연구를 진행해야 할 것으로 생각된다. 운동에 의해 많은 영향을 받는 심전도의 지표 중 하나인 좌심실 비대 소견을 관찰하기 위한 분석에서(Table 2) 벡터의 방향을 통한 좌측편위 소견, 좌측흉부유도에서의 ST분절의 하강 및 T파의 역위는 단 한 건도 관찰되지 않았다. 본 연구의 결과로 볼 때 벡터를 전위시킬 정도의 심근의 비후와 허혈상태를 반영하는 ST분절 및 T파의 변화는 운동에 의한 심장의 초기변화는 아닌 것으로 판단되며, 심장의 적응변화에 민감한 지표로는 적용되지 못할 것으로 판단된다. 반면 좌심실비대 소견의 지표로서 QRS간격은 90 ms 이상인 경우가 90.5%로 매우 높게 관찰되었다. 하지만, 이 지표는 비운동군에서도 72.0%의 높은 비율로 나타나, 민감도(sensitivity)는 높으나 특이도(specificity)는 낮은 지표로 판단된다. SV₁과 RV₃의 진폭 합이 35 mm 이상인 경우는 두 군간에 통계적 유의성은 인정되지 않았지만, 운동군에서 23.8%로 비운동군에 비해 6배 정도 높은 비율로 나타났다. QRS군의 진폭과 QRS간격은 서로 양의 상관성을 가지는 기존의 사실을 고려할 때 본 연구의 결과 QRS간격은 높은 민감도를 보였고, 진폭은 비운동군과 많은 차이가 난다는 각각의 사실은 진폭과 간격을 동시에 고려하여 판단하면 심장기능의 초기 적응변화에 나타나는 민감한 지표로서 의미가 있을 것으로 판단된다. 동시에 운동군의 경우는 비운동군보다 체지방이 적 더 적은 이유로 높은 진폭의 파형을 나타낼 수 있으므로 심실의 비대를 진단하기 위해서는 여러 가지 다른 징후(sign)들을 종합적으로 판단해야 할 필요성도 있다고 사료된다.

본 연구의 대상은 하루 3시간 정도의 중등도 이상의 운동을 하는 운동군과 비운동군사이의 심전도 소견을 분석하여 운동에 대한 적응반응으로서 심장의 초기 변화 상태를 추적할 수 있는 민감한 지표를 설정하고, 이러한 정상적인 적응반응을 병리학적 반응과의 구분에 도움을 주기 위하여 실시하였다. 본 연구의 결과 운동에 의하여 서맥화 현상, QRS군

의 진폭증가 및 QRS간격 연장이 심장의 초기 적응변화에 민감한 지표로 의미가 있다고 판단된다. 또한 축의 편위, 방실차단 (AV block), ST분절의 변화, T파의 역전 및 QTc의 연장 등은 운동에 의한 초기의 변화지표로는 합당하지 않으므로 이런 지표에서 변화가 관찰된다면 병리학적 관점에서 조금 더 관심을 기울여 판단을 해야 할 것으로 생각되며, 연구자간의 상이한 결과들을 보완하기 위해서는 좀 더 다양한 대상자 스펙트럼에서 지속적인 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Franklin BA, Fletcher GF, Gordon NF, Noakes TD, Ades PA, Balady GJ. Cardiovascular Evaluation of the Athlete—Issues Regarding Performance, Screening and Sudden Cardiac Death. *Sports Med.* 1997, 24(2):97–119.
- Gott PH, Roselle HA, Crampton RS. The athletic heart syndrome. *Arch Intern Med.* 1968, 122(4):340–344.
- Holly RG, Shaffrath JD, Amsterdam EA. Electrocardiographic alterations associated with the hearts of athletes. *Sports Med.* 1998, 25(3):139–148.
- McMullen JR, Jennings GL. Differences between pathological and physiological cardiac hypertrophy: novel therapeutic strategies to treat heart failure. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2007, 34(4):255–262.
- Naylor LH, George K, O’Driscoll G, Green DJ. The athlete’s heart: a contemporary appraisal of the ‘Morganroth hypothesis’. *Sports Med.* 2008, 38(1):69–90.
- Northcote RJ, Canning GP, Ballantyne D. Electrocardiographic findings in male veteran endurance athletes. *Br Heart J.* 1989, 61(2):155–160.
- Parker BM, Londeree BR, Cupp GV, Dubiel JP. The noninvasive cardiac evaluation of long-distance runners. *Chest.* 1978, 73(3):376–381.
- Pelliccia A, Maron BJ. Athlete’s heart electrocardiogram mimicking hypertrophic cardiomyopathy. *Curr Cardiol Rep.* 2001, 3(2):147–151.
- Pelliccia A, Culasso F, Di Paolo FM, Accettura D, Cantore R, Castagna W, et al. *Eur Heart J.* 2007, 28(16):2006–2010.
- Rawlins J, Bhan A, Sharma S. Left ventricular hypertrophy in athletes. *Eur J Echocardiogr.* 2009, 10(3):350–356.
- Van Ganse W, Versee L, Eyllenbosch W, Vuylsteek K. The electrocardiogram of athletes. comparison with untrained subjects. *Br Heart J.* 1970, 32(2):160–164.
- 김영주, 권만근, 이윤희. 중년남성의 운동유형의 적응이 좌심실 구조와 기능 및 심폐체력에 미치는 영향. *한국사회체육학회지.* 2008, 34:1073–1082.
- 박태열. 육상장거리선수의 심전도 파형에 관한 연구. *한국사회체육학회지.* 2000, 14:545–552.
- 우언조, 박현식, 이봉렬, 채성철, 전재은, 박의현 등. 배구선수에서 집중훈련전후의 심전도 및 심초음파 도의 비교관찰. *순환기.* 1992, 22(6):939–946.
- 임인자, 김태호, 김찬. 엘리트 운동선수의 성별에 따른 안정시 심전도 특성. *대한스포츠의학학회지.* 2000, 18(1):23–32.
- 주기찬, 고성식, 변재경, 정덕조, 송상협. 운동선수의 안정시 및 점증부하운동 중 심전도 양상. 2002, 11(2):467–482.
- 최지용, 안기성, 장성국, 최동욱, 박희명, 김유문 등. 수영선수에서 집중훈련이 심전도 및 운동능력에 미치는 영향. *순환기.* 1991, 21(6):1210–1218.