

심박수에 의한 테니스경기의 에너지 소요량 측정

중앙대학교 의과대학 예방의학교실
조 병 희 · 정 규 철 · 홍 연 표

=Abstract=

Evaluation of Energy Cost in Terms of Oxygen Uptake by Measuring Heart Rate During Tennis Games

Byung-Hee Cho, Kyou-Chull Chung and Yeon-Pyo Hong

*Deps. of Preventive Medicine and Community Health
College of Medicine, Chung-Ang University, Seoul 151, Korea*

The energy expended while playing tennis was determined from the players heart rate and from the amount of oxygen they consumed:

This study was made using eight healthy but unathletic male college students. Expired air was collected for 2 minute periods during each game by the Douglas bag method. Samples were collected when serving and receiving. The air collected was measured using a wet test gas meter. The amount of air collected was expressed in STPD. Oxygen consumption was determined by measuring the oxygen content of the expired air with a Orsat gas analyzer. The energy expended during the tennis games was calculated indirectly. The caloric coefficient of oxygen was multiplied by the volume of oxygen consumed. The caloric coefficient of oxygen varied from 4.6 to 5.1 kcal/liter of oxygen. In this study the value of 5 kcal/liter of oxygen was used in the calculations. The accuracy of the measurements of energy expended was tested using regression analysis of the measured volume of oxygen.

The mean values of heart rate, oxygen consumed and energy expended did not vary when the activity of serving and receiving was compared. The mean value of oxygen consumed during play was $1.4329 \pm 282 \text{ml/min}$ or $21.6 \pm 4.0 \text{ml/kg/min}$. The energy expended was $7.15 \pm 1.46 \text{kcal/min}$ or $6.45 \pm 1.23 \text{kcal/kg/min}$. The values were equivalent to 5.5 mets. When the levels of oxygen consumed were estimated using the formulas, they were found to be higher than the measured levels. The estimated amounts, however, were within 25% of the measured amounts.

I. 머리말

운동선수 또는 산업장에 종사하는 근로자들의 건강 증진을 하여서는 소요되는 에너지량을 평가함으로써 적절한 영양공급을 해주어야 할 것이다. 운동 또는 작업등의 근육 활동을 할 때에 소비되는 에너지량은 여러가지 방법에 의하여 측정할 수 있으나 Douglas bag

방법에 의해 측정하는 것이 가장 합리적인 것으로 알려져 있다 (Passmore and Durnin, 1955).

그러나, 운동경기를 하거나 작업중에 mask를 착용하고 호기를 채취하여 호기중의 산소섭취량을 측정할 때에는 호기가 누출될 우려가 있으며, 운동경기나 작업등에 지장을 줌으로써 실제적인 작업량과는 차이가 있을 수 있으며, 그 외 여러가지 기기와 조작이 필요하기 때문에 조작하기 번거로운 뿐 아니라 정확성을 기

하기 어려운 점이 없지 않다(Astrand and Rodahl, 1970).

지금까지 treadmill에서의 보행운동이나 ergometer를 타는 것과 같은 비교적 규칙적인 운동을 할 때의 심박수를 측정함으로써 산소소비량과 에너지대사량을 추정한 연구는 비교적 많으며(Kim and Chung, 1983; Givoni and Goldman, 1971; Van der Wald and Wyndham, 1973), Hong and Chung(1982)은 우리나라의 남자 대학생을 대상으로 하여 비교적 측정하기 간편하며 오차가 적은 심박수를 측정하여 산소소비량을 추정하고 에너지대사량을 산출하는 예측식을 발표한 바 있다.

그러나, 각종 운동경기와 같이 운동량이 수시로 불규칙하게 변동하는 운동상태에서 심박수를 측정함으로써 산소섭취량이나 에너지소모량을 추정할 수 있을 것인지에 대하여는 아직까지 시도된 바 없다.

저자는 이번 연구에서 테니스 경기 때의 산소소비량 또는 에너지소비량을 측정하는데 있어서 과연 심박수로 부터 추정할 수 있을 것인지를 알아 보기 위하여 Douglas bag 방법으로 실측한 산소섭취량으로 부터 산출한 에너지대사량과 비교 분석하였고, 운동경기나 산업장 작업과 같은 불규칙적인 근육운동을 할 때의 에너지대사량 추정에 있어서 심박수에 의한 추정방법의 적용 가능성과 타당성을 알아 보았다.

II. 연구대상 및 연구방법

1. 연구대상

특별히 신체적인 훈련을 받지 않은 만 18세에서 24세까지의 건강한 남자 대학생 8명을 대상으로 하였다 이들은 과거에 심장질환이나 폐질환을 앓은 일이 없었으며, 실험당일 건강한 상태에 있었다. 이들의 신체적 적성은 table 1과 같다. 즉, 피검자들의 평균연령은 21.1 ± 2.23 세, 평균신장은 173.9 ± 7.74 cm, 평균체중은

Table 1. Physical Characteristics of the Subjects (N=8)

	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	B.S.A. Standard (m) wt. ratio	
mean	21.1	173.9	66.8	1.80	1.01
+S.D.	2.23	6.74	9.89	0.15	0.11
C.V.(%)	10.5	3.9	14.8	8.3	10.9

*B.S.A.: Body Surface Area

*C.V.: Coefficient of Variance

*S.D.: Standard Deviation

66.8 ± 9.89 kg, 한국인의 체표면적 산출식(Choi, 1954)에 의하여 계산한 체표면적의 평균치는 1.80 ± 0.15 m², 그리고 체중/0.9(신장-100)에 의하여 계산된 표준체중비의 평균치는 1.01 ± 0.11 로써 피검자들은 대체로 표준체격을 가진 자들이었다.

2. 연구방법

(가) 환경조건

이 연구는 1983년 8월부터 10월까지 중앙대학교 테니스장에서 실시하였다. 실험기간 동안 실외의 온열조건은 평균건구온도 $20.2 \pm 4.1^\circ\text{C}$ ($15 \sim 26.5^\circ\text{C}$), 평균습구온도 $1.1 \pm 3.0^\circ\text{C}$ ($13 \sim 22^\circ\text{C}$), 비습은 $70.3 \pm 5.74\%$ ($64 \sim 78\%$), 기압은 761 ± 2.5 mmHg ($756.5 \sim 763.8$ mmHg)였다.

(나) 테니스 경기시의 심박수 및 산소섭취량의 측정

i) 복장: 피검자는 가벼운 T-셔츠와 반바지를 입고, 두꺼운 양말과 가벼운 테니스화를 신고, 2인 1조가 되어 테니스 경기를 하였다. 테니스 경기시의 심박수와 산소섭취량의 변동을 공격시와 수비시로 구분하여 측정하였다.

ii) 심박수의 측정: 테니스 경기를 하는 동안에 운동량에 따라 수시로 변동하는 심박수를 측정하기 위하여 자동원격심박수기록계(heart checker 108 system, Senoh Co., Japan)를 사용하였고, 전극을 피검자의 좌측 흉부에 부착하여 매 5초 간격으로 원격 자동기록하였다.

iii) 산소섭취량의 측정: 테니스 경기를 하는 동안의 산소섭취량을 측정하기 위하여 face mask를 착용하고 Douglas bag을 등에 매게 하였으며, 운동시에 흔들리지 않게 고정하여 호기를 채기하였다. 호기량은 테니스 경기가 시작하는 순간부터 2분 동안 채기하였으며, 한 경기가 2분 내에 끝나는 경우에는 경기가 끝나는 순간까지 채기하였다.

Douglas bag에 채기된 호기는 wet test gas meter (Precision Scientific, U.S.A.)를 통과시켜 계량하고 표준상태(STPD: standard temperature, pressure dry)로 환산하였다.

Gas meter를 통해 나오는 호기의 일부를 Orsat gas 분석기(Fischer, U.S.A.)에 채기하고 호기중의 산소량을 분석하였고, 단위시간 당 ml수, 단위체중당 단위시간당 ml수로 표시하였다. 산소흡수액으로 40% KOH는 포화용액에 녹인 10% pyrogalllic acid를 사용하였다(Cotes, 1968).

(다) 심박수에 의한 산소섭취량의 추정

심박수에 의한 산소섭취량의 추정은 Kim and Chung(1983)이 제시한 심박수에 관한 산소섭취량의 회귀적

선방정식에 의하여 산출하였다. 즉, 단위시간당 산소 섭취량 (ml/min)은 $y = -1513 + 23.5x$ (y : ml/min : x : beat/min)을, 그리고 단위체중당 단위시간당 산소 섭취량(ml/kg/min)은 $y = -24.00 + 0.3634x$ 를 이용하여 추정하였다.

(라) 열량계 산법 :

산소소비량 1 liter당 에너지소비량은 안정시나 근육 운동시를 구분하고 평균 5.9 kcal/l of O₂ (4.6~5.1 kcal/l of O₂) (Kim and Chung, 1983)였으므로, 이를 이용하여 단위시간당 열량 (kcal/min), 단위시간당 단위체중당 열량(kcal/kg/min)을 계산하였다.

III. 연구 결과

1. 테니스 경기시의 심박수, 산소섭취량 및 에너지소비량

테니스 경기의 공격시와 수비시의 심박수, 산소섭취량 및 에너지소비량의 평균치는 table 2와 같다. 즉, 공격시의 평균심박수는 140.0±14.6 beat/min, 단위시간당 평균산소섭취량은 1463±293.3ml/min, 단위시간당 단위체중당 평균에너지소비량은 22.3±4.20ml/kg/min, 단위시간 평균에너지소비량은 7.3±1.4kcal/min, 단위체중당 평균에너지소비량은 6.7±1.3kcal/kg/hr였으며, 수비시의 평균심박수는 140.0±14.8 beat/min, 평균산소섭취량은 1395±270.9ml/min, 또

는 20.8±3.6ml/kg/min. 평균에너지소비량은 7.0±1.4kcal/min 또는 6.2±1.1kcal/kg/hr였다. 이들 평균치들의 변이계수를 보면 심박수의 변이계수는 공격시에 10.4%, 수비시에 10.6%였으며, 산소섭취량의 변이계수는 17.2~20.1%, 에너지소비량은 17.7~20.6%의 변이성을 보였다.

2. 심박수에 의한 산소섭취량 및 에너지소비량의 추정치

테니스 경기의 공격시와 수비시의 산소섭취량과 에너지소비량을 심박수에 의하여 추정한 값의 평균치는 table 3과 같다. 즉 공격시의 평균산소섭취량의 추정치는 1862±353.0ml/min와 28.1±5.39ml/kg/min였고, 평균에너지소비량의 추정치는 9.3±1.8kcal/min와 8.4±1.6kcal/kg/hr였다. 수비시의 평균산소섭취량의 추정치는 1849±366.3ml/min와 28.4±5.75ml/kg/min였고, 평균에너지소비량의 추정치는 9.2±1.8kcal/min와 8.5±1.7kcal/kg/hr였다. 이들 평균치들의 변이계수를 보면 산소섭취량의 추정치는 18.8~20.3%, 에너지소비량의 추정치는 19.0~20.0%의 변이성을 보였다.

3. 산소섭취량 및 에너지소비량의 추정치의 비교

심박수로부터 추정한 산소섭취량과 에너지소비량을 Douglas bag방법으로 측정된 산소섭취량 및 에너지소비량의 실측치와 비교하기 위하여 t-검정한 결과는 table 4에서 보는 바와 같이 추정치가 실측치 보다 컸다($p < 0.01$).

Table 2. Mean values of measured heart rate, oxygen uptake and energy cost during tennis games. (N=29)

	Service					Receive				
	Heart rate	VO ₂		Energy cost		Heart rate	VO ₂		Energy cost	
	beat/min	ml/min	ml/kg/min	kcal/min	kcal/kg/hr	beat/min	ml/min	ml/kg/min	kcal/min	kcal/kg/hr
Mean	140.3	1463	22.3	7.3	6.7	139.7	1395	20.8	7.0	6.2
+S.D.	14.6	293.3	5.39	1.5	1.3	14.8	270.9	3.58	1.4	1.1
C.V.(%)	10.4	20.1	18.8	25.6	19.4	10.6	19.4	17.2	20.0	17.7

Table 3. Mean values of predicted oxygen uptake and energy cost from heart rate during tennis games. (N=29)

	Service					Receive				
	Heart rate	VO ₂		Energy cost		Heart rate	VO ₂		Energy cost	
	beat/min	ml/min	ml/kg/min	kcal/min	kcal/kg/hr	beat/min	ml/min	ml/kg/min	kcal/min	kcal/kg/hr
Mean	140.3	1862	28.1	9.3	8.4	139.7	1849	28.4	9.2	8.5
+S.D.	14.6	353.0	5.39	1.8	1.6	14.8	366.3	5.75	1.8	1.7
C.V.(%)	10.4	19.0	18.8	19.4	19.1	10.6	19.8	20.3	19.6	20.0

Table 4. T-values for the comparison of the predicted oxygen uptake and energy cost with the measured values during tennis games.

	VO ₂		kcal/min	
	ml/min	ml/kg/min	kcal/min	kcal/kg/hr
Service Difference	398.5	5.8	2.0	1.7
T-value	4.68	4.62	4.55	4.47
Receive Difference	454.2	7.6	2.2	2.3
T-value	5.37	6.01	5.24	6.05

+ Difference = Predicted - Measured (P < 0.01)

공격시의 산소섭취량, 에너지소비량은 실측치에 비하여 각각 396.5ml/min 또는 5.8ml/kg/min와 2.0 kcal/min 또는 1.7kcal/kg/hr 컸으며, 수비시에는 산소섭취량의 추정치는 454.2ml/min 또는 7.6 ml/kg/min, 에너지소비량의 추정치는 2.2kcal/min 또는 2.3 kcal/kg/hr가 실측치보다 컸다.

예측치에 관한 실측치의 회귀관계를 분석한 결과는 Fig. 1 및 2와 같다. 즉, 단위시간당 산소섭취량으로 나타낼 때에는 추정치에 관한 실측치의 회귀방정식은 $y=503.3+0.499x$ 였으며, 단위체중당 단위시간당 산소섭취량으로 나타냈을 때는 $y=8.88+0.448x$ 였다.

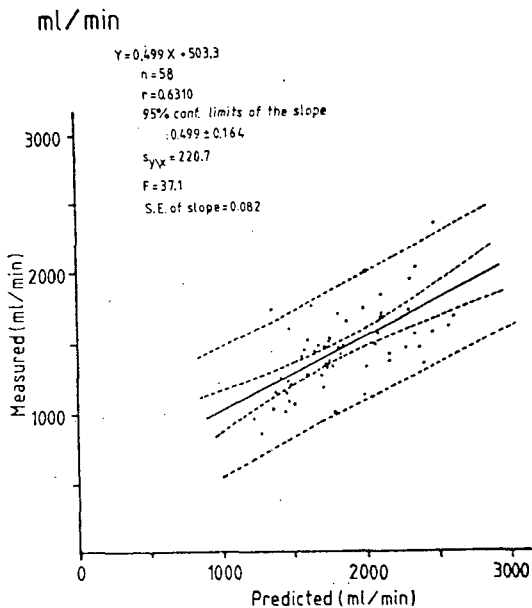


Fig. 1. Regression equation of the measured oxygen uptake in terms of ml/min on the predicted oxygen uptake by heart rate and 95% confidence limits of measured values for a given predicted value.

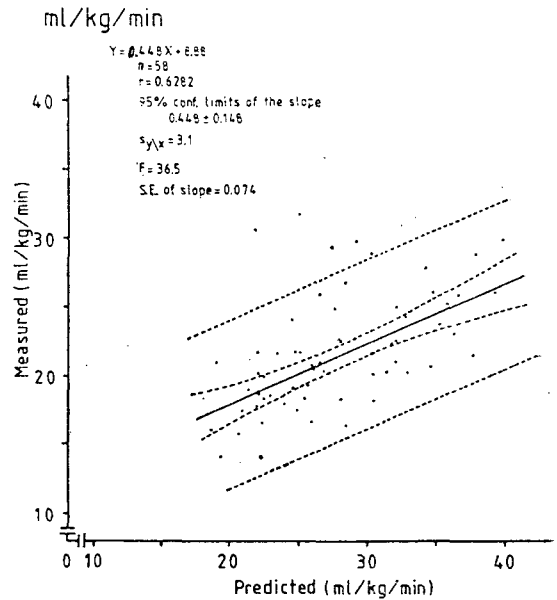


Fig. 2. Regression equation of the measured oxygen uptake in terms of ml/kg-min on the predicted oxygen uptake in terms of ml/kg/min on the predicted oxygen uptake by heart rate and 95% confidence limits of the measured values and means of measured values for a given predicted value.

실측치에 관한 추정치의 상관은 모두 유의하였으며 ($p < 0.05$), F-값으로 보면 양자간에 매우 유의한 단순회귀관계가 있음을 알 수 있었다 ($p < 0.01$). 추정치에 관한 실측치의 표준오차는 단위시간당 산소섭취량의 경우는 220.7ml/min 단위시간당 단위체중당 산소섭취량의 경우는 3.1ml/kg/min 였다. 주어진 심박수에 대한 산소섭취량의 추정치에 관한 산소섭취량의 실측치의 평균치와 회귀계수의 95% 신뢰구간은 단위시간당 산소섭취량에서는 1855.3 ± 57.96 ml/min와 0.499 ± 0.164 였고, 단위시간당 산소섭취량에서는 28.25 ± 0.81 ml/kg/min와 0.448 ± 0.148 였다.

IV. 고찰

신체활동이 증가함에 따라 신체의 산소섭취량은 증가한다. 즉, 신체적 활동량이 증가하게 되면 심박출량(cardiac output)이 증가하여 조직에서의 산소섭취량이 증가한다. 심박출량은 일회심박동량(stroke volume)과 심박수와의 적(product)으로 표시되나, 실제로 심박출량이 증가하는 것은 심박동량은 크게 증가하지 않고 심박수가 증가하기 때문인 것으로 알려져 있다(Astrand &

et al., 1963; Braunwald et al., 1967). 따라서 운동할 때의 산소섭취량을 알고자 할 때에는 비교적 측정하기가 간편한 심박수를 측정함으로써 이를 추정하는 방법이 이용되고 있다(Astrand and Rodahl, 1970).

근육활동을 하는 동안에는 심박수와 산소섭취량 사이에 밀접한 일차 회귀관계가 있음이 여러 학자들에 의하여 밝혀졌다(Astrand and Rodahl, 1970; Yoon and Chung, 1983; Kim and Chung, 1983), 그러나 이들에 예측식은 treadmill에서 보행하거나 erogometer bicycle을 타는 것과 같은 비교적 규칙적인 운동을 할 때에 적용되는 것이며, 각종 운동경기에서와 같이 운동량이 불규칙적인 때에도 적용될 수 있을 것인지에 대하여는 아직까지 증명된 바 없다. 그리하여 저자는 테니스 경기를 하는 동안의 산소섭취량을 측정하고, Kim and Chung(1983)이 제시한 심박수에 의한 산소섭취량의 예측식을 이용하여 테니스 경기를 할 때에 소요되는 산소섭취량을 추정하였다.

이 연구에서 얻은 성적을 보건데, 테니스 경기의 공격시와 수비시의 산소섭취량에는 차이가 없었으며($p < 0.05$). 공격시와 수비의 산소섭취량의 평균치는 $1429.0 \pm 282.0 \text{ ml/min}$ 또는 $21.6 \pm 3.97 \text{ ml/kg/min}$ 였다. 산소섭취량 1 liter당 에너지소비량을 약 5 kcal/1 of O_2 (Kim and Chung, 1983)로 보고 환산한 에너지소비량의 평균치는 $7.15 \pm 1.46 \text{ kcal/min}$ 또는 $6.45 \pm 1.23 \text{ kcal/kg/hr}$ 로써 Passmore and Durnin(1955)의 체중 70kg 되는 19세 남자에서 측정한 7.1 kcal/min (6.1 kcal/kg/hr)와 비슷하였다. 이것은 안정시의 대사량인 1.1 kcal/kg/hr (Kim and Chung, 1983)의 약 5.5met(metabolic equivalent)에 해당하였다.

그런데, 산소섭취량의 실측치를 심박수에 의한 추정치와 비교하여 볼 때 추정치가 실측치 보다 약 25% 가량 크게 추정되었다. 그 이유로서는 여러가지 원인이 복합적으로 작용하였으리라고 생각되지만 그 중에서 가장 크게 영향을 미친 요인으로서 테니스 경기와 같이 운동량이 다른 신체적 동작이 순간적으로 연속되는 경우에는 심박수의 변동이 그때 그때 뒤따르지 못하고 시간적인 차이가 있기 때문이라고 생각된다. 즉, 운동을 시작한 후의 심박수는 운동량에 따라 다르기는 하지만 중등도 작업이하에서는 대략 5분 이내에 항정상태(steady state)에 이르지만 작업이 끝난 후의 심박수의 회복은 5분 후에도 항정상태로 회복되지 못하며, 운동량이 클수록, 또한 신체적인 훈련이 되지 않은 사람일수록 현저한 것으로 알려져 있다(Kim and Chung, 1972). 한편, 호기를 채기할 때 방독면형의 mask를 사용하지 않았기 때문에 호기의 일부가 누

출되었을 가능성을 전혀 배제할 수는 없으나, 앞서 말한바와 같이 Passmore and Durnin(1955)의 성과와 비슷한 점에 비추어 호기가스가 채기도중에 누출되었을 가능성은 무시할 수 있으리라고 생각한다.

또한, 심박수에 관한 산소섭취량의 회귀방정식 자체에 오차가 있을 가능성도 있다.

심박수에 의한 산소섭취량 추정치에 관한 실측치의 상관계수는 단위시간당 산소섭취량으로 나타낸 경우에는 $r=0.6310$, 단위시간당 단위체중당 산소섭취량으로 나타냈을 때에는 $r=0.6282$ 로써 매우 유의하여($p < 0.01$) 심박수에 관한 산소섭취량의 단순회귀방정식으로 추정하여도 무방하며, 다만 실측치보다 크게 추정될 것이다. 그러나, 운동선수들의 영양관리면에서 볼 때에는 실측치보다 적게 추정되는 것 보다는 나올 것으로 생각한다.

이번 연구에서 추정치의 표준오차가 비교적 큰 것은 훈련되지 않은 사람을 대상으로 하였기 때문이며, 훈련된 운동선수를 대상으로 하는 경우에는 추정치의 표준오차가 적어질 뿐 아니라 실측치와의 차이도 적어질 것으로 추측된다.

V. 맺 음 말

테니스 경기를 할 때의 산소섭취량을 심박수로 부터 추정할 수 있을 것인지를 알아보기 위하여 건강한 남자 대학생 8명을 대상으로하여 테니스 경기중의 심박수와 산소섭취량을 측정하여, 심박수에 의한 산소섭취량 추정치와 산소섭취량의 실측치를 비교하여 심박수에 의한 산소섭취량 추정의 타당성 여부를 검토하였다.

심박수는 테니스 경기를 하는 동안 매 5초 마다 자동원격심박수 기록계로 측정하였고, 산소섭취량은 Douglas bag 방법에 의하여 호기를 채기하여 Orzat 가스분석기로 산소섭취량을 측정하였다. 에너지소비량은 산소소비량 1 liter당 약 5.0kcal의 에너지를 소비하는 것으로 간주하고 산출하였다. 운동량의 부하는 가벼운 테니스복장으로 2인 1조가 되어 테니스 경기를 하게 하였다.

1. 테니스 경기를 할 때의 평균심박수, 평균산소섭취량 또는 평균에너지소비량은 공격할 때나 수비할 때나 차이가 없었다.

2. 테니스 경기를 할 때의 산소섭취량은 $1429 \pm 282.0 \text{ ml/min}$ 또는 $21.6 \pm 3.97 \text{ ml/kg/min}$ 였고, 에너지소비량으로 환산하면 $7.15 \pm 1.46 \text{ kcal/min}$ 또는 $6.45 \pm 1.23 \text{ kcal/kg/hr}$ 로써 약 5.5met에 해당하였다.

3. 산소소비량의 실측치와 심박수에 의한 추정치 사

이에는 유의한 상관관계가 있었으며, 일차 회귀관계가 성립하였다.

4. 심박수에 의한 산소소비량의 추정치는 실측치 보다 약 25% 크게 추정되었다.

참 고 문 헌

- Astrand, P.-O. and Rodahl, K. (1970). *Textbook of Work Physiology*, pp.613-614, New York, McGraw-Hill.
- Astrand, I., Cuddy, T.E., Landegren, J., Malmberg, R.O. and Saltin, B. (1963). *Hemodynamic response to exercise during atrial flutter and sinus rhythm. Acta Med. Scand.* 173, 121.
- Braunwald, E., Sonnenblick, E. H., Rose, J. Jr., Glick, G. and Epstein, S.E. (1967). *An analysis of the cardiac response to exercise, Circul. Res.* 20 & 21, 44-45.
- Choi, W.R. (1996). *Body surface area of the Koreans, J. Kor. Aviat. Med.* 4, 1-21.
- Cotes, J.E. (1968). *Lung Function: Assessment and Application in Medicine*, pp.23-28, 2nd ed., Oxford & Edinburgh. Blackwell Scien. Pub 1.
- Givoni, B. and Goldman, R.F. (1971). *Predicting metabolic energy cost. J. Appl. Physiol.* 30, 429-433.
- Hong, Y.P. and Chung, K.C. (1982). *Heart rate and energy metabolism according to walking speeds on a level treadmill. Chung-Ang J. Med.* 7, 291-269.
- Kim, Y. S. and Chung, K.C. (1983). *Evaluation of aerobic work capacity in terms of oxygen uptake and energy cost by measuring heart rate. Chung-Ang J. Med.* 8, 357-372.
- Passmore, R. and Durnin, J. V. G. A. (1955). *Human energy expenditure. Physiol. Rev.* 35, 801-840.
- Van der Wald, W.H. and Wyndham, C.H. (1973). *An equation for prediction of energy expenditure of walking and running, J. Appl. Physiol.* 34, 559-563.
- Yoon, C.S. and Chung, K.C. (1983). *Assessment of maximal aerobic work capacity of male college students, Chung-Ang J. Med.* 8, 167-178.