

운동 강도와 에너지소비량에 따른 단기간의 유산소운동이 면역세포에 미치는 영향

The Effects on Immune Cell of Short-Term Aerobic Exercise by Exercise Intensity and Expenditures Calorie

이정자, 조중연*
배재대학교, 한양대학교*

Lee jung-ja, Cho jung-yeon*
Paichai Univ., Hanyang Univ.*

요약

본 연구는 남자학생 8명을 대상으로 GXT로 사전검사를 실시하여 최대운동검사를 통하여 측정된 피험자 개개인의 $\dot{V}O_2\max$ 를 기준으로 각각 50%, 70%에 해당되는 산소섭취량과 경사도 및 속도를 산출하고, 산소섭취량(ml/min/kg)의 METs 및 칼로리 소비량을 대입, 전체 300kcal와 600kcal가 소모되는 운동시간을 산출하였다. 유산소운동에 따른 T, B, NK cell의 변화는 림프구 전체에서 T, B, NK 림프구가 차지하는 상대적 비율이 운동 강도에서는 유의한 차이가 없었고, T cell에서 에너지소비량($p < .01$), 상호작용($p < .05$)효과에서, B cell은 에너지소비량($p < .01$)에서, NK cell은 에너지소비량($p < .001$), 상호작용($p < .05$)효과에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Abstract

The study of subjects were 8 persons. The study measured $\dot{V}O_2\max$ of each person and substituted METs at exercise intensity of both $\dot{V}O_2\max$ 50% and $\dot{V}O_2\max$ 70% in accordance with energy consumption formula to set exercise time at energy consumption of both 300kcal and 600kcal. And, the study substituted inclination and rate at exercise intensity that was measured at preliminary test. T, B, NK cell varied depending upon aerobic exercise to have no significant difference of exercise intensity at relative ratio of T, B, NK lymphocyte of all of lymphocytes and to have significant difference of Expenditures Calorie ($p < .01$) and interaction ($p < .05$) by T cell and Expenditures Calorie ($p < .01$) by B cell and Expenditures Calorie ($p < .001$) and interaction ($p < .05$) by NK cell.

I. 서론

인간의 일생, 즉 탄생과 성장, 노화, 죽음에 이르기까지 일련의 과정 속에서 누구나 거스를 수 없는 자연의 섭리를 부정할 수 없지만, 인간은 모두 무병장수하기를 원하고, 건강에 관한 이전의 수동적인 자세에서 벗어나 능동적으로 자신의 건강을 향상시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

건강한 생활을 영위하기 위해서는 면역력을 구축하는 것이 중요한데 반하여, 일반적으로 연령이 증가함에 따라서 면역력이 감소하는 것으로 보고되고 있어, 건강한 시기에서부터 면역력의 관리가 더욱 중요하게 여겨진다[1]. 이러한 면역력에 영향을 주는 요인들로는 질병[2], 다양한 종류의 스트레스[3], 연령의 증가[4], 영양결핍[5], 비만[6], 고지혈증[7], 선천성 혹은 후천성 장애[8] 및 운동[9] 등이 있다. 이 중 대부분의 요인들이 면역력을 감소시키는 요인인 반면, 운동은 수행하는 운동의 형태, 강도, 빈도, 시간, 운동경험 및 운동 후 관리법 등에 따라서 면역력에 긍정적 혹은 부정적 영향을 주게 된다.

운동과 면역력과의 선행연구들 중 운동에 따른 림프구 증식 반응에 관한 연구에서는, 운동 중, 운동 후의 T 림프구 증식 반응이 대체로 감소하는 것으로 알려져 있으나, 반응의 크기나 기간은 다양하게 나타났다. T 림프구 증식 반응이 반복적인 $\dot{V}O_2\max$ 100% 전후의 운동 강도로 60초 동안 스프린트 달리기 운동을 실시한 결과 운동 직후 30~60% 유의한 감소를 보였다는 연구[10], [11], [12]가 있었고, 45분 동안 $\dot{V}O_2\max$ 75~80% 달리기 운동을 한 결과, 운동 직후와 회복기 150분까지 유의한 감소를 보였다는 연구[13] 등이 있다.

그러나 한편에서는 고강도 운동이 면역기능에 긍정적인 영향을 미칠 수도 있다는 연구결과들을 제시했다. 16명의 훈련된 수감자들을 통하여 세 종류의 운동 프로토콜을 시행한 결과 고강도 운동에서 상대적으로 큰 면역증진 반응이 나타났음을 보고[14]하였고, 평균 32세의 건강한 남자 20명을 대상으로 최대 트레드밀 운동을 실시한 결과, 혈액내의 B 세포의 비율은 감소되었고 T 세포의 수는 약간 증가되었다고 보고[15]하였다. 또한 자전거 에르고미터를 이용하여 유산소성 능력이 우수한 집

단($\dot{V}O_2\max$ 60% ml/kg/min)과 저조한 집단($\dot{V}O_2\max$ 50% ml/kg/min 이하)간의 면역세포를 비교한 결과 체력상태가 우수한 집단에서는 운동 수행 후 T 세포와 T helper 세포수가 증가하였다고 보고[16]하였고, $\dot{V}O_2\max$ 의 25%, 50%, 75%의 세 가지 운동 강도에서 1시간 동안 자전거 타기 운동을 실시한 결과 50%와 75%에서 림프구 아형이 운동 직후에 유의한 증가와 회복기 중에 감소하는 것을 관찰하였지만, 25%의 운동 강도에서는 의미 있는 변화가 나타나지 않았으며, 50%에 비해 75%의 운동 강도에서 더 큰 변화 양상을 보고[17] 하였다.

이처럼, 면역기능에 대한 운동 효과를 규명하려는 시도들이 사용되어진 실험 프로토콜에 따라 다소 혼란스러운 결과를 내기도 했는데, 이것은 운동 강도, 기간, 형태를 다양한 수준의 체력과 트레이닝 경험을 가진 피험자들을 대상으로 적용하였기 때문이다. 따라서 인체 면역세포의 긍정적 변화를 유도하기 위한 운동의 적절한 강도 설정이 무엇보다 중요하다.

기존의 연구는 운동시간, 강도, 에너지소비량을 상이하게 두고 면역세포의 변화를 알아보았다. 즉, 실험설계에서 $\dot{V}O_2\max$ 50%, 60%, 70% 또는 HRmax 60%, 70%, 80%로 강도를 점증적으로 올리거나 $\dot{V}O_2\max$ 를 HRmax로 전환하여 각각의 목표 심박수를 설정 후 운동 강도를 제시하였고, 에너지소비량을 300kcal 또는 400kcal로 고정하여 동일한 에너지소비량에 의한 연구가 대부분이었다.

따라서 본 연구의 목적은 다양한 강도, 특히 ACSM Guideline(2000)에서 제시한 적정 운동 강도 중 $\dot{V}O_2\max$ 50%와 $\dot{V}O_2\max$ 70%의 운동 강도로 운동을 실시할 때, 각각 300kcal, 600kcal를 소비하는 시점에서 유발되는 면역세포의 변화를 분석함으로써 건강 증진과 운동이 효과를 극대화할 수 있는 적정 운동 강도와 에너지소비량을 제시하고자 한다.

또한, 부족한 또는 과도한 운동이 건강을 해치는 주요한 원인 중의 하나로써 본인의 운동능력에 따른 적정 운동을 제시하고, 면역세포에 영향을 주지 못하는 저강도 운동을 제외한 중·고강도의 운동이 에너지소비량에 따라 면역세포에 어떠한 상이한 영향을 미치는지를 밝힘으로써 인체 면역 세포의 긍정적 변화와 면역력 강화를 위한 적정 운동방법을 규명하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 건강하고 의학적으로 특별한 질환이 없는 S시 소재 H대학교 남자학생 8명으로 선정, 피험자들은 연구목적 및 취지를 충분히 이해할 수 있으며 트레드밀 운동에 익숙하고, 본 실험에서 제시되는 운동을 끝까지 수행할 수 있는 신

체능력을 갖춘 자로 운동 강도와 에너지소비량에 따른 측정 변인들에 영향을 주는 기타 약품을 실시 3개월 전부터 복용한 경험이 없는 자로 실험 동의서에 서명을 받고 선정하였으며, 이들의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

[Table 1] Physical characteristic of the subjects

Subject	Mean \pm SD
Age(yr)	19.25 \pm .89
Weight(kg)	71.25 \pm 7.25
Height(cm)	179.63 \pm 4.44
Body fat(%)	15.33 \pm 3.56
$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min)	49.72 \pm 6.25

2. 연구 설계

피험자 8명을 대상으로 사전검사는 최대운동부하검사로 피험자의 공복상태와 검사일정 및 하루 분석 가능한 최대 sample 을 고려하여 1주차에 3~4명씩 측정하였다.

운동 강도는 ACSM(2000)에서 제시한 유산소성 운동프로그램을 기준으로 중강도 수준인 $\dot{V}O_2\max$ 50%와 고강도 수준인 $\dot{V}O_2\max$ 70%로 운동 강도를 설정하였다.

또한 300kcal와 600kcal에 해당하는 운동시간을 개인별로 산출한 후, 운동 강도(속도, 경사도, $\dot{V}O_2\max$)에 따라 300kcal와 이후 600kcal를 소모할 때까지 트레드밀에서 유산소성 운동을 실시, 운동 전 안정 시와 운동 중 300kcal를 소모되는 시점, 운동 직후 인 600kcal를 소모되는 시점에서 전완주정맥에서 채혈하였으며, 각 실험은 2주일의 간격을 두어 이전 실험의 효과를 배제토록 하였다.

따라서 운동 강도와 에너지소비량에 따른 면역세포(T cell, B cell, NK cell)의 변화를 보기위해 반복측정설계(repeated measure design)로 실험을 설계하고, 운동간 생리적 반응에 미치는 영향을 고려하여 검사기간 중에 모든 피험자들의 규칙적인 식생활과 일상생활이 되도록 독려하였다.

3. 실험절차 및 방법

3.1 사전검사

피험자들은 실험 12시간 전에 식사를 한 후 계획된 순서에 따라 실험 1시간 전에 검사 동의서 작성 및 신장과 체구성 성분을 측정하였다. 피험자는 20여 분간 충분한 스트레칭과 최대운동부하검사 전 3분간 Warm-up과 Cool-down을 트레드밀에서 1.5mph의 속도와 0%의 경사도의 걷기 운동을 실시하였으며, 피험자가 최대로 운동을 할 수 있도록 격려한 후, Bruce Protocol을 이용하여 최대운동부하검사를 실시하였다.

운동시작과 동시에 운동검사 중 피험자의 상태를 주관적 자료인 운동자각도(PRE scale)와 객관적인 자료인 심박수, 산소섭취량, 호흡교환율 등을 이용하여 계속 관찰하였다.

최대운동 상태의 도달 여부 결정은 수의적 피로에 도달하여 운동 강도가 증가하였음에도 불구하고 더 이상 심박수의 증가가 발견되지 않거나 산소섭취량이 일정 상태를 유지하는 경우(혹은, 150ml/min 만큼 산소섭취량이 증가되지 않는 경우), 호흡교환율이 1.15 이상, 운동자각도 17(6~20 척도)인 경우로 하였으며, 이 수준에 도달했을 때 운동을 중단하도록 하였다. 이러한 기준은 지속적인 점증운동검사중에 고원(plateau)상태가 일관성 없게 나타나고, 여러 가지 정의와 운동 중 데이터를 얻는 방법에 의해 혼동되기 때문이다[18].

3.2 운동 강도와 운동시간 설정

사전검사에서 측정된 $\dot{V}O_{2max}$ 를 토대로 각각 50%, 70%에 해당되는 산소섭취량(ml/min/kg)과 경사도 및 속도를 산출하고, 산소섭취량은 순간 호흡의 불균형 값을 배제하기 위해 20 초 단위로 필터링하여 평균을 산출하여 적용하였으며, 필터링 내 산소섭취량(ml/min/kg)의 METs 및 칼로리 소비량을 대입하여, 전체 300kcal와 600kcal가 소모되는 운동시간을 산출하였다. ACSM(2000)의 metabolic equation은 <Table 2>와 같고, 운동 강도별 피험자들의 운동 요소는 <Table 3>과 같다.

[Table 2] Metabolic equation

$$\{METs \times 3.5 \times \text{체중(kg)}\} \div 200 = \text{kcal/min}$$

[Table 3] The components related to exercise intensity

Components	50% Intensity		70% Intensity	
	300kcal	600kcal	300kcal	600kcal
$\dot{V}O_2^2$ (ml/min/kg)	26.05±2.79		36.45±4.34	
METs	7.44±.80		10.42±1.24	
Speed(mph)	2.73±.42		3.60±.37	
Grade(%)	6.25±.46		7.25±.46	
Time(min)	32.91±3.72	65.82±7.44	23.53±2.40	47.05±4.79

Note) N=8, Values are expressed as Means±SD

3.3 본 실험

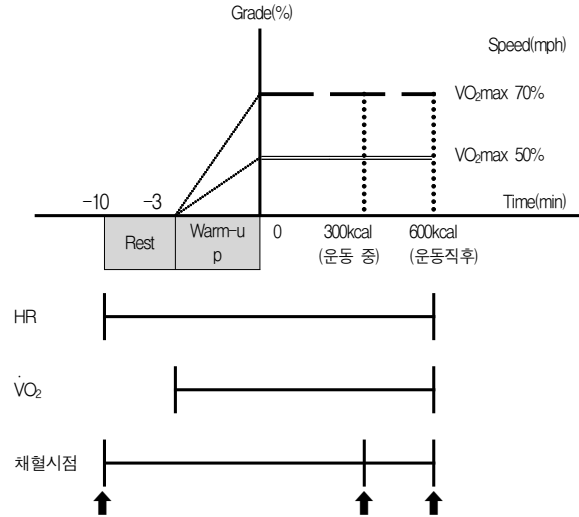
피험자는 본 실험 전 12시간 동안 공복상태로 유지하였으며, 각 운동 강도별 실험은 2주간의 간격을 두도록 하였다. 각 운동 강도별 실험 순서를 결정하기 위해 피험자 8명을 임의의 조(A, B)로 나누고 2가지의 에너지소비량 별 실험에 무선향당 배정하고 2차례의 운동 강도별 실험을 실시하였다.

실험 1시간 전에 실험실에 도착하여 안정 시 혈액을 채취하고, 트레드밀에서 3분간 준비운동 후, 주어진 운동 강도에 해당하는 경사도와 속도로 맞추어 본 운동을 실시하였다.

운동 강도는 사전검사의 $\dot{V}O_{2max}$ 를 토대로 1차 실험은 $\dot{V}O_{2max}$ 50%, 2차 실험은 $\dot{V}O_{2max}$ 70%로 개인별 각각 다르게 설정하였고, METs값을 적용하여 300kcal와 600kcal를 소

비되는 시점까지 실험을 실시하였다. 실험 중 산소섭취량(ml/min/kg)이 ±3.0(ml/min/kg)의 범위를 설정하여 피험자가 운동 중 이 범위를 벗어나면 경사도는 일정하게 고정된 상태에서 속도만 조정하여 운동 강도가 유지되도록 하였으며, 이후 회복기까지 편안한 자세로 휴식을 취하였다.

각 운동 강도별 에너지소비량에 따른 실험 절차는 <Fig. 1>과 같다.



▶▶ Fig. 1. Main-Test protocol & procedure

3.4 혈액 분석 방법

피험자들은 검사 48시간 전부터 음주, 격심한 운동을 제한하였고, 실험 전 12시간은 공복인 상태로 운동 전·중(300kcal)·직후(600kcal)에 전원주정맥에서 1회에 약 15ml씩 채취하여 EDTA(ethylenediaminetetraacetic acid)가 처리된 vacutainer에 담았고, 채혈 직후 원심 분리하여, 얼음으로 채워진 용기에 보관·운반하여 각 키트별 T cell(CD3), B cell(CD19), NK cell(CD16+CD56)로 flow cytometry를 통해 즉시 분석, 각 세포의 분석 값은 백분율(%)로 표시하였다.

4. 자료처리방법

본 연구의 자료 분석은 SPSS Ver. 12.0 프로그램을 이용, 모든 자료는 평균(M)과 표준편차(MD)를 산출하였으며, 각 측정 변인간의 차이 검증은 two-way ANOVA with repeated measure를 적용하였다. 유의한 차에 대한 사후검증은 Turkey HSD(honestly significant difference) 방법을 사용하였다. 모든 통계치의 유의수준은 p<.05 수준으로 설정하였다.

III. 연구결과

1. T cell(CD 3)

유산소운동이 T cell의 변화에 미치는 영향을 규명하기 위하여 운동 강도와 에너지소비량을 요인으로 기술통계를 실시한 결과는 <Table 4>와 같고, two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 결과는 <Table 5>와 같다.

[Table 4] The result of descriptive statistics by T cell

Expenditures Calorie	Exercise Intensity	
	VO ₂ max 50%	VO ₂ max 70%
pre	59.66±8.89	68.59±8.21
300kcal	56.03±8.05	60.04±8.64
600kcal	59.41±7.30	58.19±5.69

Note) N=8, Values are expressed as Means±SD (unit: %)

<Table 4>은 운동 강도가 에너지소비량에 따른 T 림프구의 변화를 평균 및 표준편차를 분석한 결과로 운동 강도 VO₂max 50%는 에너지소비량에 따라 운동 전보다 300kcal에서 다소 감소하였고, 600kcal에서는 300kcal보다 다소 증가하였으며, VO₂max 70%에서는 운동 전보다 에너지소비량이 많을수록 감소하였다.

[Table 5] The result of two-way ANOVA by T cell

Variable	Source	df	F
T cell	Exercise Intensity	1	1.458
	Expenditures Calorie	2	5.839**
	Interaction	2	3.415*

Note) Significant at *p<.05, **p<.01, ***p<.001 (unit: %)

Interaction: Expenditures Calorie × Exercise Intensity

<Table 5>에서 보는 바와 같이 two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 결과는 운동에 의한 T 림프구의 변화는 림프구 전체에서 T 림프구가 차지하는 상대적 비율이 운동 강도에서는 유의한 차이가 없었고, 에너지소비량(p<.01), 상호작용(p<.05)효과에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

한편, 사후검증 결과 에너지소비량에서 VO₂max 70%의 운동 강도가 안정 시 보다 600kcal에서 더 낮게 나타났다.

2. B cell(CD19)

유산소운동이 B cell의 변화에 미치는 영향을 규명하기 위하여 운동 강도와 에너지소비량을 요인으로 기술통계를 실시한 결과는 <Table 6>과 같고, two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 결과는 <Table 7>과 같다.

[Table 6] The result of descriptive statistics by B cell

Expenditures Calorie	Exercise Intensity	
	VO ₂ max 50%	VO ₂ max 70%
pre	10.33±4.09	9.70±3.14
300kcal	8.94±4.01	8.45±3.22
600kcal	8.71±3.87	7.04±2.65

Note) N=8, Values are expressed as Means±SD (unit: %)

<Table 6>은 운동 강도가 에너지소비량에 따른 B 림프구의 변화를 평균 및 표준편차를 분석한 결과로 운동 강도 VO₂max 50%는 에너지소비량에 따라 운동 전보다 에너지소비량이 많을수록 감소하였고, VO₂max 70%에서 역시 운동 전보다 에너지소비량이 많을수록 감소하였다.

[Table 7] The result of two-way ANOVA by B cell

Variable	Source	df	F
B cell	Exercise Intensity	1	.334
	Expenditures Calorie	2	5.763**
	Interaction	2	.523

Note) Significant at *p<.05, **p<.01, ***p<.001 (unit: %)

Interaction: Expenditures Calorie × Exercise Intensity

<Table 7>에서 보는 바와 같이 two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 결과는 운동에 의한 B 림프구의 변화는 림프구 전체에서 B 림프구가 차지하는 상대적 비율이 운동 강도와 상호작용에서는 유의한 차이가 없었고, 에너지소비량(p<.01)에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

한편, 사후검증 결과 에너지소비량에서 VO₂max 70%의 운동 강도가 안정 시 보다 600kcal에서 더 낮게 나타났다.

3. NK cell(CD16+CD56)

유산소운동이 NK cell의 변화에 미치는 영향을 규명하기 위하여 운동 강도와 에너지소비량을 요인으로 기술통계를 실시한 결과는 <Table 8>과 같고, two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 결과는 <Table 9>와 같다.

[Table 8] The result of descriptive statistics by NK cell

Expenditures Calorie	Exercise Intensity	
	VO ₂ max 50%	VO ₂ max 70%
pre	24.63±6.64	19.54±4.54
300kcal	29.80±6.59	28.89±8.28
600kcal	29.24±8.24	34.30±9.43

Note) N=8, Values are expressed as Means±SD (unit: %)

<Table 8>은 운동 강도가 에너지소비량에 따른 NK cell의 변화를 평균 및 표준편차를 분석한 결과로 운동 강도 VO₂max 50%는 에너지소비량에 따라 운동 전보다 300kcal에서 증가하였고, 600kcal에서는 300kcal보다 다소 감소하였으며, VO₂max 70%에서는 운동 전보다 에너지소비량이 많을수록 증가하였다.

[Table 9] The result of two-way ANOVA by NK cell

Variable	Source	df	F
NK cell	Exercise Intensity	1	.011
	Expenditures Calorie	2	14.315***
	Interaction	2	3.665*

Note) Significant at *p<.05, **p<.01, ***p<.001 (unit: %)
Interaction: Expenditures Calorie × Exercise Intensity

<Table 9>에서 보는 바와 같이 two-way ANOVA with repeated measure를 실시한 결과는 운동에 의한 NK cell의 변화는 림프구 전체에서 NK cell이 차지하는 상대적 비율이 운동 강도에서는 유의한 차이가 없었고, 에너지소비량(p<.001), 상호작용(p<.05)효과에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 한편, 사후검증 결과 에너지소비량에서 VO₂max 70%의 운동 강도가 안정 시 보다 600kcal에서 더 높게 나타났다.

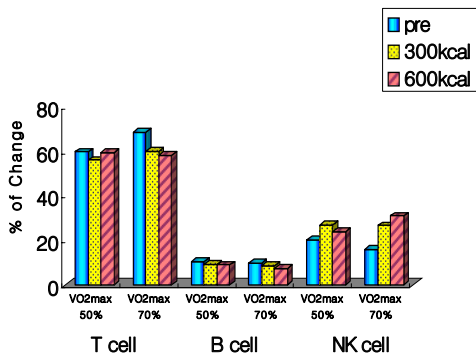
IV. 논의

1. 운동과 면역세포의 변화

1.1 T cell

T cell은 전체 림프구의 60~75%를 차지하고, 두 가지 특징적인 아형이 있다. 표면 항원 CD4 분자를 가지는 보조 T cell(helper T cell)은 다른 면역세포들의 기능을 활성화하는 역할을 하며, CD8 분자를 가지는 독성 T cell(cytotoxic T cell) 혹은 억제 T cell(suppressor T cell)은 바이러스에 감염된 세포와 종양 세포들을 인지하여 죽이거나 더 이상의 감염을 제어하는 역할을 한다.

선행연구 중 T cell 아형에 대한 지구성 운동의 효과에 관한 연구에서는 VO₂max 65% 강도로 2시간 지속한 운동에서 운동 30분 후에 T cell이 증가했다고 보고[19]하였고, AT 수준에서 60분 동안 사이클 운동을 할 때 10분 후에 T cell 수가 30% 증가하였다고 보고[20]하였으며, T cell의 수가 3시간 마라톤 운동에서 1시간째에 30% 가량 증가한 후 운동 끝날 때 까지 같은 수준을 유지하였다고 보고[21]하였다.



▶▶ Fig. 2. Change of T, B, NK cell % after Exercise

본 연구의 결과에 의하면 운동 시작 후 에너지소비량 600kcal 에너지를 소모할 때까지 T cell이 감소를 보인 것은 운동 후 면역 억제의 가능성을 제기할 수 있으며, 특히 <Fig. 2>에서 볼 수 있듯이 운동 강도에 따라 VO₂max 70%의 고강도 운동에서 비율의 감소폭이 더 큰 것은 운동 강도와 에너지소비량이 클수록 면역성이 떨어지고, 이에 따른 면역 억제 유발 및 방지할 수 있는 운동 강도가 존재함을 시사한다.

1.2 B cell

B cell은 림프구의 5~15%를 차지하며, CD19라는 항원분자를 표면에 가지고 있다. helper T cell의 자극을 받아 활성화되어 혈장세포로 분화되어 항체를 생성한다.

B cell에 대한 연구들에서는 운동 강도, 운동 시간에 의존하여 운동 중 변화가 없거나 약간 증가한다는 보고 등이 있고 또한 B cell의 변화는 T cell이나 NK cell에 비해 상대적으로 더 적고 덜 지속된다고 하였다[15], [22], [23]. 또한 14명의 좌업 생활 남성을 대상으로 유산소 트레이닝이 림프구 아형에 미치는 영향에 관한 연구[24]에서 B cell의 변화는 크게 없다고 보고하였다.

본 연구의 결과에 의하면 운동 시작 후 에너지소비량 600kcal 에너지를 소모할 때까지 B cell이 감소를 보인 것은 앞서 T cell에서 언급했듯이, 운동 후 면역 억제의 가능성을 제기할 수 있으며, 특히 <Fig. 2>에서 볼 수 있듯이 운동 강도에 따라 VO₂max 70%의 고강도 운동에서 이 비율의 감소폭이 더 큰 것은 운동 강도와 에너지소비량이 클수록 면역성이 떨어지지만, 감소 비율의 폭이 크지 않기 때문에 사료된다.

1.3 NK cell

NK cell은 림프구의 약 10~20%를 차지하며, 세포 표면에 CD16과 CD56 분자를 가지고 있다. NK cell은 특정 종양 세포와 바이러스 감염 세포들을 인지하여 죽이는 역할을 하는데, 자연 면역에서 중요한 역할을 가지며, 일부 종양 성장과 바이러스성 감염에 대한 첫 번째 방어 기능을 수행한다. 또한 NK cell은 cytotoxic T cell에 의해 방출되는 것과 비슷한 독성 물질을 방출하여 목표 세포를 죽이고 T cell 자극에 반응하여 일부 사이토카인을 분비하기도 한다.

NK cell에 관한 이전 연구들은 운동에 의해 수와 비율의 뚜렷한 변화를 보고 하였다. 총 림프구에 대한 NK cell의 상대적 비율은 지속적 운동뿐만 아니라 단시간 최대 또는 최대하 운동 후 50~300% 가량 증가하였다[19], [20], [22], [25]. NK cell 수 변화의 폭은 운동 시간보다 운동 강도에 의존한다고 보고[17], [22]하였는데, VO₂max 25%, 50%, 75%에서 60분간으로 비례하였다. 또한 고강도(VO₂max 80%) 운동과 저강도(VO₂max

40%) 운동을 비교한 연구에서 고강도 운동집단에서만 운동적 후 NK cell수의 증가를 보고하였고, Nieman 등(1993)은 $\dot{V}O_2\max$ 80%에서 트레드밀 달리기 운동이 $\dot{V}O_2\max$ 50%에서 운동한 것보다 더 큰 NK cell 수 증가를 보고[25]하였다.

이상의 결과들은 본 연구의 결과와 일치하는 것으로서, 본 연구의 $\dot{V}O_2\max$ 70%의 그룹에서 운동전, 300kcal 보다 600kcal($p<.05$)에서 유의하게 증가를 보였다. 이는 본 연구의 채택한 운동 강도와 다양한 에너지소비량의 차이를 검증하였기 때문에 사료된다. 따라서 일반인의 경우 적정 운동 강도와 에너지소비량을 설정하기 위해서는 중강도의 운동을 1시간 이내로 하거나 운동 강도가 높은 수준이더라도 에너지소비량, 즉 개인별로 산출된 운동시간을 30분 내외로 제한해야 할 것으로 사료된다.

물론, 각각의 면역세포 증감이 여러 환경적 요인과 연구대상의 차이에 제한을 받을 수 있지만 이를 일반화하기 위해 향후 연구에서 면역기능의 기전을 명확히 규명하기 위해 분자생물학적 분석기법의 도입과 함께 좀 더 다양한 운동 강도 및 에너지소비량의 설정을 통해 운동 방법론적 연구 및 다각적으로 접근 가능한 중·장기적인 연구와 건강분야의 임상적 지식을 넓힐 필요가 있다고 사료된다.

V. 결론 및 제언

1. 결론

일상 속에서 규칙적인 운동은 인체 여러 측면에서 건강 증진에 특이 되는 것은 잘 알려진 사실이지만, 고강도의 탈진적인 운동은 인체 면역 억제뿐만 아니라 산화적 손상을 유발하는 것으로 알려져 있다.

따라서 개인에게 맞는 운동 강도와 에너지소비량의 설정은 무엇보다 중요하다. 본 연구의 목적은 부족한 또는 과도한 운동이 건강을 해치는 주요한 원인 중의 하나로써 본인의 운동능력에 따른 적정 운동을 제시하고, 면역세포에 영향을 주지 못하는 저강도 운동을 제외한 중·고강도의 운동이 에너지소비량에 따라 면역세포에 어떤 상이한 영향을 미치는지를 밝힘으로써 인체 면역 세포의 긍정적 변화와 면역력 강화를 위한 적정 운동방법을 규명하는데 있다.

- 1.1 유산소운동에 따른 T cell의 변화는 림프구 전체에서 T 림프구가 차지하는 상대적 비율이 운동 강도에서는 유의한 차이가 없었고, 에너지소비량($p<.01$), 상호작용($p<.05$)효과에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

한편, 사후검증 결과 에너지소비량에서 $\dot{V}O_2\max$ 70%의 운

동 강도가 안정 시 보다 600kcal에서 더 낮게 나타났다.

- 1.2 유산소운동에 따른 B cell의 변화는 림프구 전체에서 B 림프구가 차지하는 상대적 비율이 운동 강도와 상호작용에서는 유의한 차이가 없었고, 에너지소비량($p<.01$)에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

한편, 사후검증 결과 에너지소비량에서 $\dot{V}O_2\max$ 70%의 운동 강도가 안정 시 보다 600kcal에서 더 낮게 나타났다.

- 1.3 유산소운동에 따른 NK cell의 변화는 림프구 전체에서 NK cell이 차지하는 상대적 비율이 운동 강도에서는 유의한 차이가 없었고, 에너지소비량($p<.001$), 상호작용($p<.05$)효과에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

한편, 사후검증 결과 에너지소비량에서 $\dot{V}O_2\max$ 70%의 운동 강도가 안정 시 보다 600kcal에서 더 높게 나타났다.

2. 제언

운동과 관련하여 인체 면역세포 변화에 영향을 주는 요소에는 운동 형태, 강도, 시간, 피험자의 체력, 나이 등 다양한 인자들이 포함된다. 본 연구에서는 건강한 남자 대학생을 대상으로 엘리트 선수들뿐만 아니라 일반인들도 널리 이용하는 트레드밀 달리기 운동을 선택하였고, 운동 강도와 에너지소비량을 차별화 하여 피험자마다 다른 운동 강도와 에너지소비량을 설정하여 인체 면역기능의 활성화와 이에 따른 개인별 적정 운동 강도 및 에너지소비량의 역치점을 찾고자 하였다. 향후 연구에서는 면역세포에 영향을 미치는 다양한 인자들을 상호 통제하여 다양한 운동 형태 별로 최적의 운동 기준을 제시할 수 있는 연구와 본 연구에서 실험하지 못한 면역세포 및 기능(T helper cell, T suppressor cell, T cytotoxic cell 및 각 림프구 증식반응) 및 NK cell의 독성작용(NKCA)에 대한 다양하고 세분화된 효과 및 면역세포와 내분비계의 관련 변인들의 상호작용을 분자생물학적 접근을 통하여 그 기전을 검증할 지속적 실험 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Aihara, Y., "Food-dependent exercise-induced anaphylaxis", *Alerugi*. 56, pp. 451-456, 2007.
- [2] Backer, V., L. Pedersen and T. C. Lund, "Can asthma be induced by elite sports performance", *Ugeskr Laeger*. 168, pp. 4532, 2006.
- [3] Bauer, M. E., "Stress, glucocorticoids and ageing of the immune system", *Stress*. 8, pp. 69-83, 2005.

- [4] Bellanti, J. A., "Literature review: the best new articles in the specialty of allergy, asthma, and immunology", 2004-2005. *Allergy Asthma Proc.* 27, pp. 186-196, 2006.
- [5] Bhakdi, S., "Immunopathogenesis of atherosclerosis: the Mainz hypothesis", *Med. Monatsschr. Pharm.*, 29, pp. 356-359, 2006.
- [6] Boquete, M., F. Carballada, F., "Exposito and A. Gonzalez. Preventive immunotherapy", *Allergol. Immunopathol. (Madr)*. 28, pp. 89-93, 2000.
- [7] Borghesan, F. and M. Plebani, "Allergy diagnostics and allergist's loneliness", *Allergy Immunol. (Paris)* 39, pp. 114-115, 2007.
- [8] Calvani, M and S. M. Sopo, "Exercise-induced anaphylaxis caused by wheat during specific oral tolerance induction", *Ann. Allergy Asthma Immunol.* pp. 98-99, 2007.
- [9] Church, T. S., C. P. Earnest, J. S. Skinner and S. N. Blair, "Effect of different doses of physical activity on cardiorespiratory fitness among sedentary, overweight or obese postmenopausal women with elevated blood pressure: a randomized controlled trial", *JAMA.* 297, pp. 2081-2091, 2007.
- [10] Frisina, J., S. Gaudieri, T. Cable, D. Keast, & T. Palmer, "Effect of acute exercise on lymphocyte subsets and metabolic activity", *Int. J. Sports Med.* 15: pp. 36-41, 1994.
- [11] Fry, R., A., Morton G. Crawford, & D. Keast, "Cell numbers and in vitro responses of leukocyte and lymphocyte subpopulation following maximal exercise and interval training sessions of different intensities", *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 64: pp. 218-227, 1992.
- [12] Hinton, J., D. Rowbottom, D. Keast & A. Morton, "Acute intensive interval training and in vitro T-lymphocyte function", *Int. J. Sports Med.* 18: pp. 130-135, 1997.
- [13] Nieman, D. C., A. R. Miller, D. A. Henson, B. J. Warren, G. Gusewitch, R. L. Johnson, J. M. Davis, D. E. Butterworth, J. L. Herring, & S. L. Nehlsen-Cannarella, "Effects of high - versus moderate-intensity exercise on circulating lymphocyte subpopulations and proliferative response", *Int. J. Sports Med.* 15: pp. 199-206, 1994.
- [14] Gimenez, M., Mohan-Kumar, T., & Humbert, J. C., De Talance, N., & Buisine, J., "Leukocyte, lymphocyte and platelet response to dynamic exercise. Duration or intensity effect", *European Journal of Applied Physiology and Occupational physiology*, 55(5), pp. 465-470, 1986.
- [15] Deuster, P. A., A. M. Curiale, M. L. Cowan, & F. D. Finkelman, "Exercise-induced changes in populations of peripheral blood mononuclear cells", *Med. Sci. Sports Exerc.* 20: pp. 276-280, 1988.
- [16] Kendall, A., L. Hoffman-Goetz, M. Houston, B. MacNeil, & Y. Arumugam, "Exercise and blood lymphocyte subset responses: intensity, duration, and subject fitness effects", *J. Appl. Physiol.* 69: pp. 251-260, 1990.
- [17] Tvede, N., M. Kapple, J. Halkjaer-Kristensen, & B. Pedersen, "The effect of light, moderate and severe bicycle exercise on lymphocyte subsets, natural and lymphokine activated killer cells, lymphocyte proliferative response and interleukin 2 production", *Int. J. Sports Med.* 14: pp. 275-282, 1993.
- [18] ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription: 6th edition, pp. 147-148, 2003.
- [19] Shek, P. N., B. H. Sabiston, and D. Vidal, "Immunological change induced by exhaustive endurance exercise in conditioned athletes[abstract]", *proc. Int. Conger. Immunol.* 8: pp. 706, 1992.
- [20] Gabriel, H., L. Schwarz, P. Born, & Kinderman, "Differential mobilization of leukocyte and lymphocyte subpopulations into the circulation during endurance exercise", *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol* 65: pp. 529-534, 1992b.
- [21] Nieman, D. C., L. S. Berk, M. Simpson-Westerberg, K. Arabatzis, S. Youngberg, S. A. Tan, J. W. Lee, and W. C. Eby, "Effects of long-endurance running on immune system parameters a lymphocyte function in experienced marathoners", *Int. J. Sports Med.* 10: pp. 317-323, 1989.
- [22] Nielsen, H. B., N. H. Secher, M. Kappel, B. Hanel, and B. K. Pedersen, "Lymphocyte, NK and LAK cell reponses to maximal exercise", *Int. J. Sports Med.* 17(1): pp. 60-65, 1996.
- [23] Nieman, D. C., S. Simandle, D. A. Henson, B. J. Warren, H. Suttles, H. M. Davis. K. S. Buckley, J. C. Ahle, D. E. Butterworth, O. R. Fagoaga, and S. L. Niehlsen-Cannarella, "Lymphocyte proliferative response to 2.5hours of running", *Int. J. Sport Med.* 16: pp. 404-408, 1995.
- [24] Laperriere, A., M. H. Antoni, G. Ironson, A. Perry, P. Mecabe, N. Klimas, L. Helder, N. Schneiderman, and M. A. Fletcher, "Effect of aerobic exercise training on lymphocyte supopulations", *Int. J. Sports Med.* 12(Suppl. 1): S53-S57, 1994.
- [25] Nieman, D. C., D. A. Henson, & G. Gusewitch, B. J. Warren, R. C. Dotson, D. E. Butterworth, and S. L. Nehlsen-Cannarella, "Physical activity and immune function in elderly women", *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: pp. 823-831, 1993.