

[원저]

## 12주간의 배드민턴 훈련이 나타내는 적혈구 용혈의 형태학적 변화와 근 손상지표의 변화

박계순<sup>1</sup>, 전태원<sup>2</sup>, 소위영<sup>2</sup>울산대학교 자연과학대학 체육학부<sup>1</sup>, 서울대학교 건강운동과학<sup>2</sup>

## Effects of 12 Weeks of Badminton Training on Muscle Damage and the Morphological Changes in Hemolysis

Kae Soon Park<sup>1</sup>, Tae Won Jun<sup>2</sup>, Wi Young So<sup>2</sup>Ulsan University<sup>1</sup> Health and Exercise Science Laboratory, Seoul National University<sup>2</sup>

<b>Background</b>	Red blood cell plays an important role in the function of transporting, providing oxygen to tissues, releasing CO <sub>2</sub> from the body, and protecting cells from hydrogen ions. However, hemolysis caused by exercise may effect anemia, the reduction of hemoglobin, and VO <sub>2</sub> max. Furthermore, this hemolysis disrupts homeostasis. Previous studies on hemolysis have concentrated mainly on elite athletes and subjects having taken part in high intensity exercise and little is known about the effect of hemolysis from long term exercise. The purpose of this study was to investigate changes to hemolysis when subjected to long term exercise, badminton.
<b>Methods</b>	Thirty-five healthy, middle-aged women volunteered for this study and agreed to play badminton for one hour a day at 60~70% intensity of their Heart Rate Reserve four times per week for 12 weeks. Blood samples were collected pre-exercise, immediately post-exercise, and recovery one hour from the antecubital vein before-training and after-training.
<b>Results</b>	Red blood cells, white blood cells, creatine phosphokinase (CPK), and lactate dehydrogenase (LDH) increased significantly; and these changes continued after the 12-week training period. Hemoglobin and hematocrit did not change with each exercise session nor after the 12-week training period. Erythrocyte sedimentation rate (ESR), peripheral blood smear (PBS) morphology, and ammonia increased significantly after a single exercise session. However, these changes were not detected after the 12-week training period.
<b>Conclusions</b>	CPK and LDH did not decrease but PBS morphology, ESR, and ammonia did. An increase in the latter three tests are considered to be direct indicators of hemolysis. These results demonstrate that the magnitude of hemolysis was reduced by the 12-weeks of exercise training. (Korean J Health Promot Dis Prev 2009; 9(1):41-49)
<b>Key words</b>	badminton exercise, erythrocyte, hemolysis, anemia

### 서 론

규칙적인 운동은 심혈관 질환 위험요인 감소와 대사증후군

으로 인한 성인병 예방 및 치료에 긍정적인 효과를 나타낸다. 하지만, 운동은 이러한 긍정적인 효과뿐만 아니라 부정적인 효과도 가지고 있다. 특히 고강도의 운동은 상기도 감염을 유발시키고, 면역체계 기능을 억제시키며, 지질과산화의 증가와 항산화 효소의 감소로 인한 근육 손상 및 인체조직의 손상을 유발한다.<sup>1)</sup> 또한, 운동 중 땀을 통한 철분의 손실, 위장관 출혈에 의한 철분의 손실, 장에서의 철분 흡수의 감소 등으로 운동성 빈혈이 나타나게 되는데, 이명천 등(1999)<sup>2)</sup>은 운

• 교신저자 : 소 위 영  
 • 주 소 : 서울대학교 71동 125호 건강운동과학 실험실  
 • 전 화 : 02-880-7804  
 • E-mail : wowso@snu.ac.kr  
 • 접수일 : 2008년 10월 3일 • 채택일 : 2008년 12월 10일

동성 빈혈에 관한 총설에서 적혈구의 파괴가 운동성 빈혈을 유발하는 근본적인 원인이라 밝히고 있다.

적혈구의 기능은 신체 조직에 충분한 산소를 공급하고, 조직으로부터 이산화탄소를 추출하여 신체 외부로 배출하는 기능을 하며, 수소이온농도의 변화를 감지하여 인체를 방어하는 화학적 완충제로서의 역할을 담당한다. 그러므로 운동으로 인한 적혈구의 파괴는 운동성 빈혈과 더불어 헤모글로빈의 감소로 인한 최대산소섭취량 감소에 영향을 미칠 수 있으며, 인체의 항상성을 교란시킬 수도 있다.<sup>3)</sup>

운동으로 인한 적혈구의 파괴는 운동 중 적혈구의 삼투압 증가, 혈중산소의 감소로 인한 신장손상 및 허혈, 그리고 적혈구 과산화로 인한 적혈구 막의 손상, 산화적 스트레스, 염증, 방광, 탈수, 근육 수축, 체온 상승, 특정 호르몬의 분비 등과 같이 매우 다양한 원인에 의해 발생한다.<sup>4)</sup> 최근 연구<sup>5)</sup>에 의하면 지속적으로 노출되는 발바닥 충격(foot strike)이 적혈구를 파괴하는 또 하나의 주요한 원인임이 밝혀졌는데, 스포츠 현장에서의 의학적 관리와 예방이 중요함을 새롭게 시사하는 결과이다.

적혈구의 파괴현상을 적혈구 용혈 현상(erythrocyte hemolysis)이라 한다. 라틴어의 'Hemo'는 그리스어로'Blood'를 의미하고, 'lysis'는 'Break open'을 의미한다. 즉, 적혈구가 어떠한 원인에 의하여 파괴되어 적혈구의 기능이 상실되는 것을 적혈구 용혈 현상이라 한다. 이러한 적혈구 용혈 현상은 달리기<sup>6)</sup>, 복싱<sup>7)</sup>, 축구<sup>8)</sup>, 배드민턴<sup>9)</sup> 등과 같은 여러 스포츠 종목에서 일어나며 이들 분야에 관해 연구가 이루어지고 있다.

적혈구 용혈 현상은 일반적으로 신체의 일부가 지속적인 외부 충격에 노출 되었을 때 발생한다고 보고하고 있으며<sup>9)</sup>, 이러한 현상은 고강도의 달리기뿐만 아니라 저강도의 달리기<sup>10)</sup>에서도 발견된다. 심지어는 딱딱한 쿠션의 신발<sup>11)</sup>이 원인이 될 수도 있다고 보고하였다. 또한, Kachadorian and Johnson(1970)<sup>12)</sup>은 운동속도가 증가할 때 신체가 충격을 더 크게 받게 되어 용혈 현상이 증가한다고 보고하였으며, Eichner(1990)<sup>13)</sup>는 총 운동량 증가가 용혈 현상에 직접적으로 비례하여 증가한다고 보고하였다. 또한, Newhouse and McInnis(1993)<sup>14)</sup>는 운동강도가 용혈 현상을 증가시키는 가장 중요한 원인이라고 보고하였다. 하지만, 모든 연구가 일회성 운동에 한정되어 있으며, 운동에 대한 부정적인 결과<sup>6-14)</sup>만을 나타내고 있다. 이러한 결과는 운동이 가져다주는 많은 긍정적인 생리적·심리적·환경적인 효과와 반대되는 결과이며, 운동이 인체에 미치는 다양한 측면에서의 검토를 제한한 결과이다. 또한, 이러한 결과는 자칫 일반인들에게 운동에 대한 부정적인 인식을 심어줄 수 있는 가능성이 있다.

일반적으로 생활체육 현장에서의 운동은 일회성으로 끝나지 않는다. 체계적인 프로그램에 의하여 장기적인 훈련이 대부분을 이룬다고 보았을 때, 적혈구 용혈 현상을 규명하는 연구 또

한 일회성 연구뿐만 아니라 장기적인 훈련에 의한 연구도 중요시 되어야 할 것이다. 하지만, 국내외적으로 장기적인 훈련에 의한 적혈구 용혈 현상에 관한 연구가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 장기간의 훈련이 적혈구 용혈 현상에 미치는 영향이 어떠한지를 규명하고자 하는 데에 그 목적이 있다. 이를 위하여 본 연구는 박계순 등(2007)<sup>9)</sup>의 연구에서 일반인을 대상으로 한 일회성 배드민턴 운동이 적혈구 용혈 현상에 미치는 영향을 참고하여, 12주간의 장기간 배드민턴 훈련이 적혈구 용혈에 어떠한 변화를 나타내는지 알아보았다.

## 방 법

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 U광역시 U대학교에서 지역주민의 복지 증진을 위하여 모집된 운동경력 6개월 미만의 초보 배드민턴 동호회 회원들이었다. 대상자들은 의학적으로 특별한 질환이 없는 건강한 중년여성 52명으로 시작하였으나, 12주간의 운동 후 성공적으로 연구의 참여와 측정을 완료한 35명만이 최종적인 연구대상자가 되었다. 실험전 배드민턴 훈련의 내용과 절차에 관하여 충분한 설명을 듣고 운동 참여 동의서를 작성하였으며, 피검자의 신체적 특성은 (Table 1)과 같았다.

**Table 1.** Physical characteristics of subjects (mean±SD)

Variable	Badminton Exercise (n=35)
Age (yrs)	38.54±2.92
Height (cm)	157.79±4.83
Weight (kg)	60.98±5.07

### 2. 연구방법

12주간의 배드민턴 훈련은 배드민턴 기술의 습득을 위한 운동 프로그램이 아니라 최대여유심박수(HRR: heart rate reserve)의 60~70%, 주4회, 60분으로 구성된 배드민턴 단식 게임 프로그램으로 진행하였다.

운동이 진행되는 동안 땀 배출에 의한 혈장액 감소가 헤모글로빈, 헤마토크리트치의 상승을 초래하므로 운동전과 운동중에 피검자 모두 충분한 수분을 섭취하도록 권장하였으며, 신발 쿠션의 충격으로 적혈구 용혈<sup>11)</sup>을 일으킬 수 있으므로, Y사에 출시되는 배드민턴 전용화를 착용하도록 지원하였다.

1주차(1차시)와 12주차(48차시) 때, 피검자들은 게임 시작 30

**Table 2.** HR and HRR (% exercise intensity) before and after training

Variable	Before training (n=35)	After training (n=35)
Resting HR (BPM)	67.97±4.53	68.86±4.87
Average HR (BPM)	143.40±14.68	139.80±12.44
Average HRR (%)	66.32±0.14	63.17±0.11

HR: Heart Rate

HRR: Heart Rate Reserve

BPM: Beat Per Minute

본전에 체육관에 도착하여 5분 동안 측정에 대한 설명과 유의사항을 듣고, 15분간의 안정을 취하면서 심박수 측정기(Polar s810, Finland)를 착용하도록 하였다. 심박수 측정기를 통하여 안정시 심박수와 운동 동안 지속적으로 변화되는 심박수를 실시간으로 저장하였다. 연구자들은 운동직후 평균 심박수 산출 프로그램(Polar Precision Performance SW V4.03, Finland)을 이용하여 운동중 산출된 피검자들의 평균 심박수 값을 카보넨공식<sup>15)</sup>에 대입하여 개인별 최대여유심박수(HRR)의 평균 운동강도를 산출하였다. 산출된 평균 운동강도는 피검자가 평소 훈련하는 배드민턴 게임과 동일한 환경 조건하에서 측정된 평균 심박수를 카보넨공식에 대입한 1시간 동안의 평균적인 운동강도이며, 연구자가 인위적으로 운동강도를 조절하지 않았다. 개인별 평균적인 운동강도는 1주차(1차시)와 12주차(48차시) 때 모두 최대여유심박수(HRR)의 60~70% 범위로 나타났다(Table 2).

### 3. 생화학적 분석

장기간의 훈련에 따른 적혈구 용혈 현상의 변화를 살펴보기 위한 실험측정은 배드민턴 훈련 프로그램이 시작되는 1주차(1차시)와 훈련 프로그램이 종료되는 12주차(48차시) 때 운동전, 운동후, 회복기 1시간 후에 상완정맥에서 약 10mL의 혈액을 채혈하였으며, 측정변인으로 적혈구 용혈의 혈중지표인 적혈구(RBC), 백혈구(WBC), 헤모글로빈(Hb), 헤마토크리트(Hct)와 적혈구 용혈 현상의 직접적인 지표인 적혈구 침강속도(erythrocyte sedimentation rate; ESR), 적혈구 형태학적 변화(peripheral blood smear morphology; PBS morphology), 그리고 적혈구 용혈 현상의 간접적인 지표이며 근육 손상의 지표인 암모니아(ammonia), 크레아틴 인산효소(creatine phosphokinase; CPK), 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase; LDH)를 측정하였다.

적혈구 용혈을 살펴보기 위한 혈액의 채혈은 1주차(1차시)와 12주차(48차시) 때 모두 운동을 시작하기 10분전에 1차 채혈, 운동 직후에 2차 채혈, 회복기 1시간 후에 3차 채혈을 하였다. 채혈된 혈액은 EDTA 처리된 용기에 냉장 보관하여 24시간 이내 분석하였고, 적혈구(RBC), 백혈구(WBC), 헤모글로빈(Hb), 헤마토크리트

치(Hct)의 분석은 LH750 측정기(COULTER, USA)와 COULTER 전용시약(COULTER, USA)를 이용하여 전기전도성 용액내의 혈액이 전류가 흐르는 세공을 통과할 때 생기는 전기저항의 변화를 통하여 측정하였다. 적혈구 침강속도 분석(ESR)은 항응고제가 포함된 전혈을 수직으로 세우면 적혈구의 연전이 형성되어 그 응집의 크기가 최고에 달했을 때 밑으로 가라앉은 것을 착안하여, 최고에 달한 후 한 시간 후에 시험관 맨 위 눈금에서 적혈구가 침강한 곳까지의 길이를 mm로 표시하여 수정된 Westergren법으로 판독하였다. 적혈구의 형태적 변화(PBS morphology) 분석은 말초혈액 도말표본을 염색하여 현미경하에서 혈액세포 감별을 하였는데, 말초혈액의 형태 관찰은 적혈구, 백혈구, 혈소판을 포함한 전혈구 숫자의 증감 및 형태를 관찰할 수 있으며, 변형된 적혈구를 관찰하여 비율화 하였다. 암모니아(ammonia) 분석은 Cobax Integra 측정기(Roche-BM, Switzerland)와 NHBL 시약(Roche-BM, Switzerland)을 사용하여 암모니아에 암모니아 표시자(Bromphenol Blue)가 형성된 Blue dye를 5분 이내에 605nm에서 측정하여 비색법으로 정량하였으며, 크레아틴 인산효소(CPK)의 분석은 ADVIA 1650 측정기(Bayer, USA)와 CPK 시약(Roche-BM, Switzerland)을 이용하여 NADH에 의한 자외부의 흡광도 변화량을 측정함으로써 크레아틴 인산효소의 활성도를 구하였으며, 젖산탈수소효소(LDH) 분석은 ADVIA 1650 측정기(Bayer, USA)와 Pureauto S LD 시약(Daiichi, Japan)을 이용하여 혈청 중 젖산탈수소효소가 디에탄올아민 완충액 중 유산을 피루빅산으로 변화하여 반응을 촉매 함에, NAD는 NADH가 되고 340nm의 흡광도가 상승하게 될 때, NADH의 생성속도를 측정하는 것에 의해 젖산탈수소효소 활성도를 구하였다.

### 4. 통계처리

측정된 모든 자료는 평균과 표준편차를 산출하였다. 통계적 유의성 검증은 SPSS Ver 12.0 통계 프로그램을 이용하여 1주차(1차시)와 12주차(48차시)때에 각 측정요소의 변화된 결과를 반복측정에 의한 이원분산분석(two-way ANOVA by repeated measure) 방법으로 대비검증(contrast test)하였다. 대비검증 결과 Mauchly 구형성 검정의 유의수준이  $\beta < 0.05$ 일 때 다변량검정의 Wilks의 람다 결과를 표시하였고, Mauchly 구형성 검정의 유의수준이  $\alpha > 0.05$ 일 때 개체내 효과 검정의 Greenhouse-Geisser 결과를 표시하였다. 가설의 수락수준은  $\beta < 0.05$  수준에서 유의도를 검증하였다.

## 결 과

운동시점별(운동전, 운동후, 회복기 1시간후) 적혈구 수

( $p=0.011$ )와 백혈구 수( $p<0.001$ )는 유의한 증가를 나타내었으나, 훈련전과 12주간의 훈련후에는 적혈구 수( $p=0.594$ )와 백혈구 수( $p=0.477$ )에 유의한 차이를 나타내지 못하였다. 이는 12주간의 훈련전에 적혈구와 백혈구가 운동으로 인하여 유의한 증가를 나타내었으며, 12주간의 훈련후에도 1주차 때와 같이 운동으로 인한 유의한 증가가 지속되었음을 의미한다. 운동시점별(운동전, 운동후, 회복기 1시간후) 헤모글로빈( $p=0.109$ )과 헤

마토크리트치( $p=0.186$ )는 유의한 증가를 나타내지 못하였으며, 훈련전과 12주간의 훈련후에도 헤모글로빈( $p=0.841$ )과 헤마토크리트치( $p=0.616$ )는 유의한 차이를 나타내지 못하였다. 이는 12주간의 훈련전에 헤모글로빈과 헤마토크리트치가 운동으로 인한 유의한 증가를 나타내지 못하였으며, 12주간의 훈련후에도 1주차 때와 같이 운동으로 인한 유의한 증가를 나타내지 못하였음을 의미한다(Table 3, Fig 1).

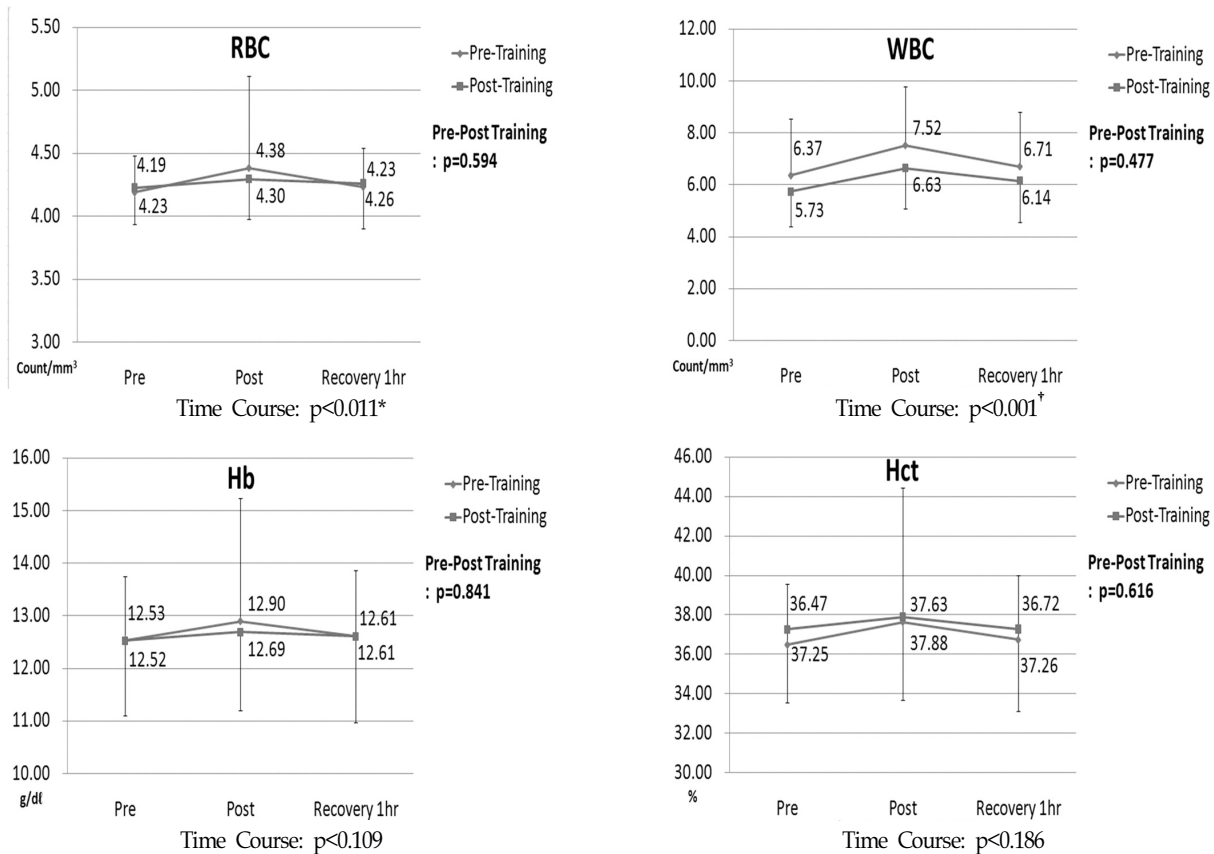
**Table 3.** Changes in hematological indices by pre-exercise, post-exercise, and recovery 1hr of before-after training (12 weeks)

Variable	Training	Pre-exercise	Post-exercise	Recovery 1hr	Time (Pre-Post-Recovery 1hr)		Time X Group (Before-After Training)	
					F	p	F	p
Red blood cell (count/mm <sup>3</sup> )	BT	4.19±0.29	4.38±0.73	4.23±0.31	4.805	0.011*	0.525	0.594
	12AT	4.23±0.29	4.30±0.32	4.26±0.36				
White blood cell (count/mm <sup>3</sup> )	BT	6.37±2.18	7.52±2.27	6.71±2.10	16.814	<0.001*	0.748	0.477
	12AT	5.73±1.33	6.63±1.55	6.14±1.58				
Hemoglobin (g/dl)	BT	12.53±1.21	12.90±2.34	12.61±1.25	2.296	0.109	0.174	0.841
	12AT	12.52±1.42	12.69±1.48	12.61±1.64				
Hematocrit (%)	BT	36.47±3.11	37.63±6.80	36.72±3.29	1.727	0.186	0.488	0.616
	12AT	37.25±3.72	37.88±4.22	37.26±4.16				

\* $p<0.05$  † $p<0.001$

BT: Before Training,

12AT: 12 weeks After Training



**Fig 1.** Changes in hematological indices by pre-exercise, post-exercise, and recovery 1hr of before-after training (12 weeks)

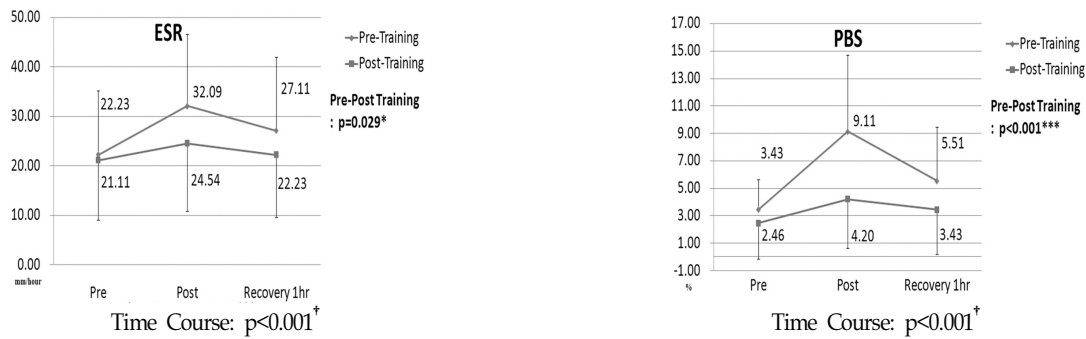
**Table 4.** Changes in ESR and PBS morphology at pre-exercise, post-exercise, and recovery 1hr of before-after training (12 weeks)

Variable	Training	Pre-exercise	Post-exercise	Recovery 1hr	Time (Pre Post Recovery 1hr)		Time X Group (Before-After Training)	
					F	p	F	p
Erythrocyte Sedimentation Rate (mm/hour)	BT	22.23±13.01	32.09±14.51	27.11±14.89	16.668	<0.001 <sup>†</sup>	3.744	0.029*
	12AT	21.11±12.07	24.54±13.74	22.23±12.63				
Peripheral Blood Smear morphology(%)	BT	3.43±2.20	9.11±5.61	5.51±3.96	32.080	<0.001 <sup>†</sup>	10.725	<0.001 <sup>†</sup>
	12AT	2.46±2.62	4.20±3.57	3.43±3.22				

\*p<0.05 <sup>†</sup>p<0.001

BT: Before Training,

12AT: 12 weeks After Training



**Fig 2.** Changes in ESR and PBS morphology by pre-exercise, post-exercise, and recovery 1hr of before-after training (12 weeks)

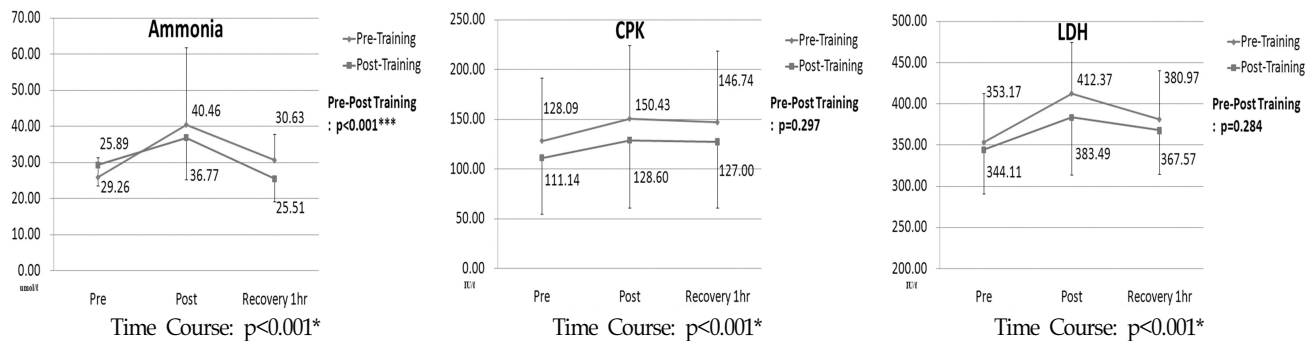
**Table 5.** Changes in ammonia, CPK, and LDH by pre-exercise, post-exercise, and recovery 1hr of before-after training (12 weeks)

Variable	Training	Pre-exercise	Post-exercise	Recovery 1hr	Time (Pre-Post-Recovery 1hr)		Time X Group (Before-After Training)	
					F	p	F	p
Ammonia ( $\mu\text{mol}/\ell$ )	BT	25.89±5.48	40.46±21.44	30.63±7.27	16.554	<0.001*	15.268	<0.001*
	12AT	29.26±5.74	36.77±11.58	25.51±6.43				
Creatine Phosphokinase (IU/ $\ell$ )	BT	128.09±63.28	150.43±73.84	146.74±72.12	67.407	<0.001*	1.236	0.297
	12AT	111.14±56.56	128.60±67.50	127.00±66.31				
Lactate Dehydrogenase (IU/ $\ell$ )	BT	353.17±59.72	412.37±62.33	380.97±59.75	35.011	<0.001*	1.283	0.284
	12AT	344.11±53.13	383.49±69.75	367.57±52.92				

\*p<0.001

BT: Before Training,

12AT: 12 weeks After Training



**Fig 3.** Changes in ammonia, CPK, and LDH pre-exercise, post-exercise, and recovery 1hr of before-after training (12 weeks)

운동시점별(운동전, 운동후, 회복기 1시간후) 적혈구 침강속도( $p<0.001$ )와 적혈구 형태학적 변화( $p<0.001$ )는 유의한 증가를 나타내었으며, 훈련전과 12주간의 훈련후에도 적혈구 침강속도( $p=0.029$ )와 적혈구 형태학적 변화( $p<0.001$ )에 유의한 차이를 나타내었다. 이는 12주간의 훈련전에 적혈구 침강속도와 적혈구 형태학적 변화가 운동으로 인하여 유의한 증가를 나타내었으나, 12주간의 훈련후에는 1주차 때와 다르게 운동으로 인한 유의한 증가현상이 사라졌음을 의미한다(Table 4, Fig 2).

운동시점별(운동전, 운동후, 회복기 1시간후) 암모니아( $p<0.001$ )는 유의한 증가를 나타내었으며, 훈련전과 12주간의 훈련후에도 암모니아( $p<0.001$ )에 유의한 차이를 나타내었다. 이는 12주간의 훈련전에 암모니아가 운동으로 인하여 유의한 증가를 나타내었으나, 12주간의 훈련후에는 1주차 때와 다르게 운동으로 인한 유의한 증가현상이 사라졌음을 의미한다. 운동시점별(운동전, 운동후, 회복기 1시간후) 크레아틴 인산효소( $p<0.001$ )와 젖산탈수소효소( $p<0.001$ )는 유의한 증가를 나타내었으나, 훈련전과 12주간의 훈련후에 크레아틴 인산효소( $p=0.297$ )와 젖산탈수소효소( $p=0.284$ )에 유의한 차이를 나타내지 못하였다. 이는 12주간의 훈련전에 크레아틴 인산효소와 젖산탈수소효소가 운동으로 인하여 유의한 증가를 나타내었으며, 12주간의 훈련후에도 1주차 때와 같이 운동으로 인한 유의한 증가가 지속되었음을 의미한다(Table 5, Fig 3).

## 고 찰

Gilligan 등(1943)<sup>16)</sup>이 운동으로 인한 적혈구 용혈 현상을 최초로 발견한 이후로 적혈구 용혈 현상에 관한 거의 모든 연구는 우수 엘리트선수를 대상으로 한 일회성 운동이 대부분이었다. 그러나 스포츠 현장은 일반인들에게 적용될 수 있는 연구뿐만 아니라 장기간의 훈련에 관한 연구도 요구되어지고 있다. 따라서 본 연구는 일반인을 대상으로 하여 장기간의 훈련이 적혈구 용혈 현상에 어떠한 변화를 나타내는지를 살펴보고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

운동으로 인한 적혈구, 백혈구의 증가 현상은 1주차 때 나타났으며, 12주간의 훈련후에도 동일하게 나타났다. 적혈구는 신체에 충분한 운동강도가 주어지 운동으로 인한 산소 소비량이 증가할 때, 적혈구 저장 기관인 비장을 수축하여 적혈구 증가현상을 나타낸다.<sup>17)</sup> 적혈구 증가현상은 1주차, 12주차 측정 모두 적혈구 용혈 현상을 관찰 할 수 있는 충분한 운동강도가 주어졌음을 의미한다. 백혈구는 염증반응의 지표로서 근육 손상의 간접적인 지표로 이용되어지고 있다. Macntyre 등(1995)<sup>18)</sup>은 비록 근육 손상과 염증반응에 관한 명확한 기전이 밝혀져 있지 않을지라도

백혈구와 같은 염증지표가 근육 손상시 나타나는 간접적인 지표로 이용될 수 있다고 하였다. 본 연구에서 나타난 백혈구의 증가는 근육 수축 기전에 무리가 초래되어 나타난 근육 손상<sup>19)</sup>으로 1주차, 12주차 측정 모두 적혈구 용혈 현상이 나타나고 있음을 간접적으로 추측해 볼 수 있다.

운동으로 인한 헤모글로빈, 헤마토크리치의 증가 현상은 1주차 때 나타나지 않았으며, 12주간의 훈련후에도 나타나지 않았다. 헤모글로빈이 증가 하지 않았다는 것은 적혈구 내에 존재하는 헤모글로빈이 적혈구 파괴와 같은 원인으로 인하여 혈장으로 유출되지 않았음을 의미한다. 헤마토크리치가 증가하지 않았다는 것은 적혈구 수의 증가에 비례하여 혈장의 양이 비율적으로 순응되어 증가하였기 때문에 적혈구 용혈 현상을 관찰할 수 있는 충분한 운동강도가 주어지지 않았음을 의미한다. 이는 적혈구, 백혈구의 증가와 반대되는 결과로써 1주차, 12주차 측정 때 모두 적혈구 용혈 현상이 나타나지 않음을 의미한다. 이러한 결과는 적혈구 용혈 현상을 나타내는 선행연구<sup>6,9)</sup>의 운동강도가 최대여유심박수(HRR)의 70~80% 이상으로 연구된 것에 비하여 본 연구에서 측정된 운동강도가 10% 정도 다소 낮은 60~70%로 연구되어졌기 때문이라 사료된다. 이러한 제한점은 현장에서 실제로 수행하는 배드민턴 게임과 동일한 환경을 조성하기 위하여 연구자가 인위적으로 운동강도를 조절하지 않았기 때문에 발생한 것이다. 이러한 결과를 통하여 최대여유심박수(HRR)의 60~70% 또는 그 이하의 운동강도에서 적혈구 용혈 현상이 나타나지 않을 수 있음을 암시한다. 본 연구의 제한점을 바탕으로 추후 적혈구 용혈 현상이 나타나는 역치 강도에 관한 연구를 통하여 스포츠 현장에서 일반인의 건강을 위한 추천적인 운동강도를 처방하여 줄 때, 하나의 참고적인 지침을 제시할 수 있는 연구가 진행 될 수 있기를 기대한다.

적혈구 침강속도는 질병의 유무, 질병의 진행과 치료반응 정도 등에 대한 비특이적인 지표로 널리 이용되고 있다. 감염, 종양, 갑상선 및 교원-혈관 질환, 심근 경색, 맥관성 혈전, 빈혈의 경우에 침강속도가 증가 할 수 있는데, 적혈구 형태나 상태변화에 따른 적혈구 자체요인에 의하여도 침강속도가 증가할 수 있다. 일반적으로 염증에 대한 급성기 반응 여부(acute phase response)를 분석하는데 유용한 지표로 평가되어 지고 있다.<sup>20)</sup> 운동으로 인한 적혈구 침강속도의 증가 현상은 1주차 때 나타났으나, 12주간의 훈련후에는 증가 현상이 나타나지 않았다. 이는 훈련으로 인하여 염증에 대한 급성기 반응이 낮아짐으로써 적혈구의 형태나 상태변화가 완화된 적혈구 용혈 현상이 완화되고 있음을 추측해 볼 수 있다. 또한 운동으로 인한 적혈구의 형태학적 변화의 증가 현상이 1주차 때 나타났으나, 12주간의 훈련후에는 증가 현상이 나타나지 않았다. 이는 적혈구 용혈 현상을 직접적으로 관찰한 결과 적혈구의 형태학적 용혈

현상이 완화되는 것을 의미하며 외부적인 충격으로 인한 적혈구 세포막의 단백질 변성 및 손상<sup>21)</sup>이 12주간의 훈련으로 인하여 개선되었음을 의미한다.

암모니아, 크레아틴 인산효소, 젖산탈수소효소, 알도라제(aldehyde, ALD), 글루타민옥살로 아세테이트 아미노기전이효소(glutamic-oxaloacetic transaminase; GOT), 마이오글로빈(myoglobin), 무기인산 등은 근육 손상 정도를 나타내는 지표로 이용된다. 이중 암모니아는 운동시 혈중젖산 및 수소이온을 증가시키고 암모니아에 대한 완충체제로 작용하는 글루탐산염(glutamate)의 고갈을 초래하게 되어, 신경전달 물질 등의 농도 변화를 가져오며, 당신생과정과 크렙스 사이클을 억제함으로써 미토콘드리아에서의 산화양을 감소시켜 에너지원의 고갈과 함께 피로를 가져와 운동 수행능력을 저하시킨다.<sup>22)</sup> 또한, 에너지 대사 과정을 바탕으로 생리적인 운동능력, 피로양상 분석의 지표와 에너지 대사 과정 중 ATP-PC 시스템의 동원 능력을 나타내주는 지표로서 선수들의 경기력 향상, 트레이닝 효과 분석, 과도한 트레이닝 정도 등을 유추할 수 있으며 운동중의 근 피로를 판단할 수 있는 중요한 피로유발물질로 이용된다. 운동으로 인한 암모니아의 증가 현상은 1주차 때 나타났으나, 12주간의 훈련후에는 증가 현상이 나타나지 않았다. 이는 훈련으로 인한 골격계, 심폐계 등의 기능 향상이 과도한 근육 손상에 대한 피로 물질을 낮아지게 함으로써 근육 손상이 감소되었음을 의미하며 이를 통하여 적혈구 용혈 현상이 완화되고 있음을 추측해 볼 수 있다.

크레아틴 인산효소는 비혈장성 특이성 효소이며 ATP-PC계 대사를 조절하는 주 효소로서 크레아틴 인산화 과정과 ATP 합성에 촉매 역할을 가속화 시켜 운동시 ATP의 고갈을 방지하고, ATP의 분해로부터 형성된 ADP를 가인산 반응을 통해 근육 수축 중 충분한 ATP 수준을 유지할 수 있도록 조절하는 효소이다. 골격근에 많이 존재하고 있으며 운동에 의한 변동이 크고 운동의 강도나 시간, 훈련의 양과 밀접하게 관련하고 있기 때문에 혈청 효소 중에서 운동강도를 측정시 제일 많이 사용되며, 골격근 손상의 질적 지표로서 가장 널리 이용되고 있다. 운동으로 인한 크레아틴 인산효소의 증가 현상은 1주차 때 나타났으며, 12주간의 훈련후에도 동일하게 나타났다. 이는 크레아틴 인산효소의 증가를 통하여 근육 수축 기전에 무리가 초래되었음을 추측할 수 있고, 그로 인한 산화적 스트레스<sup>23)</sup>가 원인이 되어 1주차, 12주차 측정 모두 적혈구 용혈 현상이 나타나고 있음을 추측해 볼 수 있다.

Evans 등(1986)<sup>24)</sup>은 훈련된 집단(trained)과 비훈련된 집단(untrained)을 나누어 고강도의 운동을 실시한 후 근육 손상으로 인한 크레아틴 인산효소의 변화추이를 14일간 추적해 보았다. 그 결과, 훈련된 집단과 비훈련된 집단 모두 운동후 24시간까지 크레아틴 인산효소가 상승하다가, 훈련된 집단은 24시간을 넘어서면서부터 감소를 나타내었고, 비훈련된 집단은 120시

간까지 상승하다가 감소를 나타내었다. 이는 곧 크레아틴 인산효소의 측정을 통한 집단간의 근육 손상의 차이를 보다 정확하게 살펴보기 위하여서는 최소 훈련 후 24시간 이상을 추적해 보아야 함을 의미하는데, 본 연구는 운동후 1시간 후 밖에 추적하지 못한 연구의 제한점이 있다. 크레아틴 인산효소를 통한 적혈구 용혈 현상을 관찰하기 위한 추후 연구에서는 24시간 이상을 추적하여 보다 정확한 근육 손상의 정도를 측정해보아야 하리라 사료된다.

젖산탈수소효소는 근 활동 중 무산소 해당계에 의해 ATP를 생산하는 필수 효소로서 무산소 해당의 최종단계에서 피루브산을 젖산으로 전환시키는 역할을 촉매하고, 가역적 반응으로 젖산을 피루브산으로 전환되는 과정도 촉매 하는 역할을 한다. 글리코겐의 추가적인 분해를 방해하고, 근섬유의 칼슘결합 능력을 감소시켜 근육수축을 방해하는 역할을 함으로써 최근에는 근육 손상을 나타내는 좋은 지표로 제안되고 있다. 운동으로 인한 젖산탈수소효소의 증가 현상은 1주차 때 나타났으며, 12주간의 훈련후에도 동일하게 나타났다. 이는 젖산탈수소효소의 증가를 통하여 근육 수축 기전에 무리가 초래되었음을 추측할 수 있고, 그로 인한 근육 손상<sup>19)</sup>으로 1주차, 12주차 측정 모두 적혈구 용혈 현상이 나타나고 있음을 추측해 볼 수 있다.

최대여유심박수(HRR)의 60~70% 강도로 진행된 배드민턴 운동은 선행연구<sup>6,9)</sup>와 같이 적혈구 용혈 현상이 나타났으나, 12주간의 훈련으로 적혈구 용혈 현상의 간접적인 지표인 혈중지표와 크레아틴 인산효소, 젖산탈수소효소의 감소를 관찰할 수 없었지만, 적혈구 용혈 현상의 직접적인 지표인 적혈구 형태학적인 변화와 적혈구 침강속도, 암모니아의 감소를 관찰할 수 있었다. 이는 12주간의 훈련으로 적혈구 용혈 현상이 감소되고 있음을 유추할 수 있다.

본 연구는 부분적인 실험적 연구로서 12주간의 배드민턴 훈련이 적혈구 용혈 현상을 어떻게 변화시키는지를 채혈된 혈액변인을 통하여 관찰하였기 때문에 훈련이 적혈구 용혈 현상에 미치는 효과에 대하여서는 다양한 측면에서 많은 검토가 이루어져야 할 것이지만, 장기간의 규칙적인 운동에 따라 적혈구 용혈 현상이 개선될 수 있다는 본 연구결과는 선행연구가 밝힌 일회성 운동의 부정적인 측면보다는 규칙적인 운동이 가져다주는 긍정적인 측면을 좀 더 부각시킬 수 있을 것이다.

## 요 약

### 연구배경

적혈구의 기능은 신체 조직에 충분한 산소를 공급하고, 조

직으로부터 이산화탄소를 추출하여 신체의 외부로 배출하는 기능을 하며, 수소이온농도의 변화를 감지하여 인체를 방어하는 화학적 완충제로서의 역할을 담당한다. 그렇기 때문에, 운동으로 인한 적혈구의 용혈은 운동성 빈혈뿐만 아니라 헤모글로빈의 감소와 함께 최대산소섭취량과 운동 중 유산소 능력에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 인체의 항상성을 위협할 수도 있다. 적혈구 용혈에 관한 지금까지의 선행연구들은 운동선수들이나 비교적 고강도의 운동에 참가한 사람들을 대상으로 일회성 운동에 국한되어 관찰하였다. 따라서 본 연구는 종전 연구에 한걸음 정진하여 장기간의 훈련이 적혈구 용혈 현상에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하고자 하는데 그 목적이 있다.

## 방 법

본 연구의 피험자들은 35명으로 구성되었으며, 12주간 최대여유심박수(HRR: Heart Rate Reserve)의 60~70%, 주4회, 60분으로 구성된 배드민턴 단식 게임을 진행하였다. 장기간의 훈련에 따른 적혈구 용혈 현상의 변화를 살펴보기 위한 혈액채취는 배드민턴 훈련 프로그램이 시작되는 1주차와 훈련 프로그램이 종료되는 12주차 때 운동전, 운동후, 회복기 1시간 후에 상완정맥에서 채혈하였다.

## 결 과

적혈구, 백혈구, 크레아틴 인산효소, 젖산탈수소효소는 훈련 1주차 때 증가현상을 나타내었으며, 훈련 12주차 때에도 증가현상을 나타내었다. 헤모글로빈, 헤마토크리트치는 훈련 1주차, 12주차 때 모두 증가현상을 나타내지 않았다. 적혈구 침강속도, 적혈구 형태학적 변화, 암모니아는 훈련 1주차 때 증가현상을 나타내었으나, 훈련 12주차 때에는 감소현상이 나타났다.

## 결 론

본 연구결과를 통하여 12주간의 배드민턴 훈련은 적혈구 용혈 현상의 직접적인 지표인 적혈구 침강속도, 적혈구 형태학적 변화, 암모니아의 감소를 관찰할 수 있었기에, 장기간의 규칙적인 훈련은 적혈구 용혈 현상을 완화시킬 수 있음을 나타내었다.

## 중심단어

배드민턴 운동, 적혈구, 용혈, 빈혈증

## 참고문헌

1. Pedersen BK, Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system regulation, integration, and adaptation. *Physiological reviews*, 2000;80(3):1055-1081.
2. Lee MC, Kang HS, Baek SH. A review on the Sports Anemia. *The Korean Journal of Physical Education*, 1999;38(1):315-329.
3. Hunding A, Jordal R, Paulev PE. Runner's anemia and iron deficiency. *Acta Medica Scandinavica. Supplementum*, 1981;209(4):315-318.
4. Gareth RJ, Ian N. Sport-related hematuria: a review. *Clinical Journal of Sport Medicine* 1997;7:119-125.
5. Telford RD, Sly GI, Hahn AG, Cunningham RB, Bryant C, Smith JA. Footstrike is the major cause of hemolysis during running. *Journal of Applied Physiology*, 2003;94(1):38-42.
6. Fallon KE, Bishop G. Changes in erythropoiesis assessed by reticulocyte parameters during untralong distance running. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2002;12(3):172-178.
7. Kim JO, Kim YP, Yoon JH, Jeong IG, Chung KH, Kim CJ. Effects of boxing competition on hematological indices and morphological change of erythrocyte. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 2003;21(2):41-50.
8. Gardner D. Athletic pseudonephritis; alteration of urine sediment by athletic competition. *Journal of the American Medical Association*, 1956;161(17):1613-1617.
9. Park KS, Jun TW, Baek SS, Kim KJ, Seo DI, Bea JH, Kang SH, So WY, Song W. Effect of badminton exercise on hematological indicators, morphological change of erythrocytes, and muscle damages. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 2007;25(2):223-229.
10. Deitrick RW. Intravascular haemolysis in the recreational runner. *British Journal of Sports Medicine*, 1991;25(4):183-187.
11. Dressendorfer RH, Wade CE, Frederick EC. Effect of shoe cushioning on the development of reticulocytosis in distance runners. *The American journal of sports medicine*, 1992;20:212-216.
12. Kachadorian WA, Johnson RE. Renal responses to various rates of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1970;28:748-753.
13. Eichner ER. Hematuria a diagnostic challenge. *Physician Sports Medicine*, 1990;18:53-63.
14. Newhouse I, McInnis M. Mechanisms of exercise hematuria. *Thunder Bay. ON: Department of Kinesiology, Lakohoad University*, 1993.
15. Karvonen J, Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities: Practical application. *Sports Medicine*, 1988;5:303-312.
16. Gilligan DR, Altschule MD, Katersky EM. Physiological intra-



- vascular hemolysis of exercise: hemoglobinemia and hemoglobinuria following cross-country runs. *Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 1943;22:859-869.
17. Han HJ. The effects of 12 weeks endurance exercise training on carriers in blood. *Exercise Science*, 2004;13(1):15-24.
18. MacIntyre DL, Reid WD, McKenzie DC. Delayed muscle soreness. The inflammatory response to muscle injury and its clinical implications. *Sports Medicine*, 1995;20(1):24-40.
19. Kuiper H. Exercise induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, 1994;15(3):132-135.
20. Kim DK, Kim YH, Yu CJ. The effect of Westergren tube angle, temperature and osmolarity with the different percent of NaCl solution on erythrocyte sedimentation rate. *Korean J Vet Res*, 1996;36(1): 75-82.
21. Haklar G, Demirel M, Peker O, Eskitürk A, Işgor A, Soyletir G, Yalcin AS. The functional assessment of autotransplanted splenic tissue by its capacity to remove oxidatively modified erythrocytes. *Clinica Chimica Acta*, 1997;258(2):201-208.
22. Guezennec CY, Abdelmalki A, Serrurier B, Merino D, Bigard X, Berthelot M, Pierard C, Peres M. Effect of prolonged exercise on brain ammonia and aminoacid. *International Journal of Sports Medicine*, 1998;19:323-327.
23. Smith JA. Exercise, training and red blood cell turnover. *Sports Medicine*, 1995;19:9-31.
24. Evans WJ, Meredith CN, Cannon JG, Dinarello CA, Frontera WR, Hughes VA, Jones BH, Knuttgen HG. Metabolic changes following eccentric exercise in trained and untrained men, *Journal of Applied Physiology*, 1986;61:1864-1868.