

Effects of performing the competitive Kumdo tournament games on the concentration of indice in blood gas components, ions, and by-products of fatigue in elite Kumdo competitors

JaeWoon Ha¹, SungHoon Hur^{1*}, KyungJun An¹, YoungWoo Kwon², & JongSam Lee^{1*}

¹Research Center for Exercise Sciences & ²YOUNG NAM UNIVERSITY

This study aimed to examine the change of the indices in blood gas, ions, and by-products of fatigue substances and components in collegiate elite Kumdo competitors, who carry out a number of competitive games during one day tournament event. Subjects were carried out total 6 simulated, but followed same conditions and rules of actual competition, with providing similar inter-game break time. Eight well trained male competitors, who had awarded from national wide competitions, voluntarily participated in this study and revealed 51.5(±8.8) mL·kg⁻¹·min⁻¹ of maximal oxygen consumption and 12.4(±5.1) % body fat. TWOWAY ANOVA (tournament round vs. pre & post each game) was adopted to test whether the mean differences were existed, and the interaction between individual factors and main effect within each factors were analyzed. Statistical significance was set at Alpha (α) = .05.

While there were no significant changes in blood hydrogen ion concentration (i.e., pH) and partial pressure of oxygen (PO₂), partial pressure of carbon dioxide (PCO₂) significantly decreased as the tournament games were repeated. The level of hemoglobin and hematocrit were significantly elevated only during the 1st round of tournament. Na⁺ was significantly increased but K⁺ was decreased. Ca²⁺ concentration however, was not significantly altered. Although the changes of blood glucose level did not show any consistent patterns, free fatty acid (FFA) concentration was increased after completed each game compared to prior to initiate the each game. Blood NH₃, lactic acid, and uric acid concentration increased at immediately after each game, and the pattern was maintained throughout the tournament round continued. These results reflected that the repeated participation of the tournament may cause the accumulation of the by-products of fatigue substances in blood and alteration of various ion components and energy substrates. Accordingly, the ways of reducing the physical fatigue and providing adequate energy source inter-tournament games needs to be necessarily considered for successful Kumdo competition. Data obtained from this study could valuable for searching the effective training and management methods to improve the performance and reduce the fatigue of the professional elite Kumdo competitors.

Key words: Kumdo competition, Heart rate, Blood ions, Blood fatigue substance 

서론

논문 투고일 : 2016. 07. 19.

논문 수정일 : 2016. 10. 02.

게재 확정일 : 2016. 11. 17.

* 저자 연락처 : 이종삼(jlee@daegu.ac.kr).

* 이 논문은 2016학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

검도(劍道)는 단순히 검술을 습득하는 운동이 아닌 신체 단련을 통해 정신 수양을 함께 도모하는 무도이다. 2명의 선수가 정해진 규칙에 따라 9~11미터의 정방형 경기장에서 규정된 검도 용구를 사용해 머리, 손목, 및 허리 부위를 타격하거나 목 부위의 찌름 공격을 통해 득

짐을 획득함으로써 승패를 결정짓는 경기 종목이다. 검도는 고강도의 운동을 간헐적 혹은 연속적으로 수행한다는 점에서 무산소성 에너지 공급 역량이 경기력에 지대한 영향을 미치며 부상 방지를 위해 경기 중 5~6kg의 호구를 착용하게 되므로 발한과 함께 Na^+ , K^+ , Cl^- 와 같은 주요 전해질의 소실이 동반된다(Cho & Han, 2002; Son et al., 2016).

심박수는 운동선수들의 운동수행능력을 평가하고 훈련 강도를 결정하는데 중요한 지표로 사용되고 있다. 장기간 훈련을 수행한 운동선수는 비훈련자와 비교해 안정 시 서맥을 나타내 분당 30~40회의 심박수를 보이기도 하며(Bahrainy et al., 2016; Smith et al., 1989; Sutton et al., 1967), 수면 중에는 심지어 이 보다도 더 낮은 수치를 나타내기도 한다(Baldesberger et al., 2008; O'Keefe et al., 2012; Scheuer & Tipton, 1977; Scheuer et al., 1976). 훈련자들의 경우, 비훈련자들과 비교해 동일 강도의 운동 중 심박수의 증가 폭이 적게 나타나며 회복 시간도 빠른 것으로 알려져 있다(Frick et al., 1967; Tipton, 1965; Tipton et al., 1969; Sigvardsson et al., 1977; Winder et al., 1978).

운동 중 피로 및 에너지 대사 물질의 변화 정도를 평가하기 위해 흔히 혈중 생리적 변인들의 관찰을 시도한다. 이 중 혈중 젖산은 운동에 따른 신체변화를 평가할 수 있는 중요한 대사 변인 중의 하나로 간주되고 있다. 젖산(정확히는 수소이온(H^+))의 축적은 조직의 산성화와 맞물려 조직의 pH를 떨어뜨려 효소의 활성화, 미토콘드리아의 산화, 및 근육의 이완과 수축 활동 등을 억제하고, 마이오신 ATP 효소(myosin ATPase)의 활성도를 떨어뜨린다(Fitts et al., 1975).

젖산은 무산소성 대사산물로 산소부족량과 밀접한 관련을 나타내지만 운동 지속 시간만으로 축적량의 증가를 예측하기는 힘들며 유산소적 중요한 에너지원으로도 작용한다(Hur, 2011; Fahey et al., 1991; Peronnet et al., 1997; Swensen et al., 1994). 고강도의 운동 시 조직과 혈액 내 젖산 농도는 급격하게 증가하는 반면, 저강도의 운동 시에는 두드러진 농도의 증가가 나타나지 않는다. 성인의 혈중 젖산 농도는 휴식 시 대략 $1.5\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하(Carola et al., 1992)를 나타내며 신체 활동과 함께 그 농도는 증가해 극심한 운동 시에는 $10\sim 25\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 상승하고(Lee et al., 2011; Hur, 2015), 간헐적 최대 운동의 수행 시에는 운동 직

후 3분에서 $7\sim 9\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 나타내는 것으로 보고되고 있다(Hong & Kang, 1992). Åstrand(1970)는 운동 중 젖산의 생성이 무산소적 대사 과정을 통해 일어나므로 산소결핍이 증가하는 고강도의 운동 중 젖산 농도의 상승은 수소이온 농도(pH)의 증가를 야기해 활동근의 고유 기능의 발휘를 저해함으로써 운동 지속을 어렵게 한다고 보고하였다. 유산소성 운동 시에는 포도당이 해당과정에 의해 피루빅산으로 전환되어 크랩스 사이클을 통해 많은 양의 에너지를 생성하는 반면, 무산소성 운동 시에는 산소 공급의 부족이 나타나 피루빅산의 젖산으로의 전환이 주로 일어나 젖산 축적을 야기해낸다(Lehninger et al., 1993). 젖산 축적과 이로 인해 발생하는 세포의 산성화는 세포 내 해당 과정과 그와 연관된 대사적 효소의 작용을 억제시켜, ATP 합성을 저해하며, 결과적으로 피로 발생의 기전으로도 작용하게 된다(Metzger, 1992). 운동 중 혈중 젖산 농도는 운동 강도에 비례해 증가하며(Lee & Paik, 1996) 조정경기와 같이 근 수축을 빠르고 반복적으로 요구하는 유, 무산소성의 운동 시에도 생성량과 축적량이 급격히 증가한다(Cho, 1999; Lee et al., 2011).

피로에 대한 또 다른 대사적 변수로 혈중 암모니아농도의 변화를 고려할 수 있다(Lee & Paik, 1996). 암모니아는 국부적인 피로 발생과 관련된 뿐 아니라, 운동 시 근육으로부터 방출되어 순환계를 통해 직접 뇌 조직에 전달될 수 있어, 중추신경계에 독성의 효과를 발휘할 수 있다(Mutch & Banister, 1983). 암모니아의 생성이 피로 유발과 밀접한 관련이 있음은 Tashiro(1922)가 최초로 언급한 이후 운동 시 혈중 암모니아 농도가 증가된다는 사실을 통해 많은 연구들에서 입증된 바 있다(Kim, 1995; Lee & Paik, 1996).

이와 함께 검도 경기 중 5~6kg 무게의 호구를 착용함으로써 발한율의 저하(Rossi et al., 2011)와 함께 Na^+ 농도의 증가 및 K^+ 농도의 감소(Son et al., 2016)를 나타내는 등 다양한 전해질 균형의 저하(Montain et al., 2001)가 유발되므로 검도 훈련 및 경기 중 이들 지표들의 변화를 최소화시킬 수 있는 과학적 관리 방법의 강구가 요구되고 있다.

검도 경기 중 발생하는 피로가 경기력에 악영향을 미친다는 사실은 매우 잘 알려진 사실로, 운동으로 야기되는 피로를 지연시키거나 피로에 대한 내성을 기를 수 있는 다양한 훈련 방법들이 개발되고 있다. 운동에 의한

피로 발생은 수행하는 운동의 강도, 시간 및 기간, 체내 근육량과 에너지 기질의 저장량, 이들 기질의 운동 시 동원 및 이용 역량과 함께 수행하는 운동의 특성이나 외부 환경 등에 의해서도 지대한 영향을 받는다(Sahlin, 2006). 운동 중 발생하는 근 장력의 감소는 근육 내 수소이온과 암모니아 등 대사 관련 여러 부산물의 축적과도 밀접한 관련성을 나타낸다(Kim, 2001).

검도 운동 시 나타나는 생리적 변화를 스포츠 과학적인 접근 방법을 통해 체계적으로 연구한 사례는 매우 제한되어 있어 머리치기와 후리기 동작 시 심박수 및 혈중 피로물질의 변화(Hwang, 2003)를 살핀 것과 검도 기술 동작에 따른 근전도와 혈액성분의 변화(Yoon, 2005)를 살핀 것, 최근 Son et al.(2016)이 살핀 검도 운동 시 호구 착용 유무에 따른 다양한 생리지표의 변화를 연구한 결과 등이 보고된 바 있으나, 이들 연구에서는 검도의 기술 동작에 따른 변화와 장비 착용에 따른 생리적 변화만을 살폈을 뿐 실제 검도 경기 시 나타나는 생리지표의 변화에 대해 관찰한 연구 결과는 보고된 바 없다. 실제 경기 수행 시 나타나는 혈중 다양한 피로 지표와 에너지 기질의 변화 양상을 살펴 엘리트 검도선수들의 경기력 향상 및 시합 상황에서 피로도를 감소시킬 수 있는 방안 마련에 활용할 수 있는 연구의 수행이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 엘리트 검도선수들을 대상으로 전국 규모 대회에 참가 시 일반적으로 치르게 되는 64강전 경기로부터 결승전 경기까지 총 6개임을 치를 수 있도록 토너먼트 방식의 실험 조건을 설정한 가상 검도 개인전 경기 수행 시 나타나는 생리지표의 변화와 함께 혈중 이온과 가스를 포함하는 다양한 혈액 구성 성분의 변화를 살펴보고자 하였다. 연구를 통해 검도 토너먼트 라운드가 반복됨에 따라 혈중 피로 지표의 변화 정도가 크게 나타날 것이며 혈중 가스 성분의 항상성 저해 현상이 심화될 것이라는 가설을 검증하고자 하였다.

연구방법

연구대상

이 연구는 K도에 소개하는 D대학 재학 중인 엘리트

현역 남자 검도 선수 8명을 대상으로 수행되었다. 모든 피험자는 최근 2년 이내 전국대회에서 입상한 경험과 함께 평균 10년 이상의 검도 운동 경력을 지니고 있었다. 개별 피험자의 최대산소섭취량을 PAR O medics gas analyzer(Sandy, Utah, U.S.A)를 이용해 측정하였다. 측정을 위해 Bruce protocol을 이용하였으며 운동 강도의 증가에도 불구하고 산소소비량과 심박수에 변화가 없거나 호흡교환비율이 1.10 이상을 나타내는 경우 최대산소섭취량에 도달한 것으로 간주하였다(McMiken & Daniels, 1976; Williams et al., 1990). 최대산소섭취량의 테스트 시 실험실 내 대기 조건은 실내온도 24.0(±1.2)℃, 상대습도 59.9(±4.6)%, 대기 압력 755.4(±2.0)mmHg를 나타냈다. 피험자의 평균 최대산소섭취량은 51.1mL·kg⁻¹·min⁻¹으로 나타났으며 여타의 신체적 특성은 <Table 1>에 나타내었다. 실험 중 부상으로 1명이 중도 탈락해 총 7명으로부터의 자료를 통계 분석에 사용하였다. 실험 전 개별 피험자들로부터 실험에의 자발적 참여와 중단을 보장하는 내용이 포함된 실험 참가에 대한 동의를 받았다.

Table 1. The Characteristics of Subject

Age (yr)	Height (cm)	Body mass (kg)	BMI (kg·m ²)	VO ₂ max (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
22.2±0.7	177.0±8.1	78.8±8.6	12.4±5.1	51.1±8.8

Mean±Standard deviation, BMI: body mass index.

실험절차

오전 8시와 오후 12시 30분 영양사에 의해 운동 선수들을 위해 계획된 식단을 통해 준비된 조식과 중식을 섭취 후 휴식을 취하도록 하였으며 오전 9시와 오후 3시부터 각 2명씩 연구 기관 내에 마련된 검도 전용 체육관에서 실험을 진행하였다. 계획된 식단을 통해 식사를 제공함으로써 열량 및 영양소별 섭취 차이로 발생할 수 있는 생리-생화학적 대사적 차이를 최소화 하고자 하였다. 총 2일간의 실험을 진행했으며 실제 경기에서의 토너먼트 경기를 진행하는 방식을 택하였다. 모든 피험자에 대해 개인전 토너먼트 시합에 참가해 결승까지 진출하는 상황을 설정해 지도자에게 실제 시합을 수행하듯 최선

을 다해 경기에 임할 수 있도록 사전에 지도해 줄 것을 요청하였으며 개별 선수들에게도 반복적으로 당부하였다. 시험 시간은 대한 검도회 경기규칙을 적용하여 5분으로 설정하였으며 경기 도중 승패의 결정 없이 5분 경기를 모두 마치도록 하였다. 실제 시험과 동일하게 64강부터 결승까지 총 6경기에 참여하도록 하였으며 휴식시간도 실제 토너먼트 시 각 토너먼트 라운드 경기 후부터 다음 경기 시작까지의 공백 시간을 고려해 부여하였다. 토너먼트 경기 중 총 6회(64강, 8강 및 결승 경기의 시작 전과 후)에 걸쳐 전완정맥에서 진공채혈관을 이용해 채혈을 실시하였다(Fig. 1).

모든 피험자는 실험에 참가 전 최소 48시간동안 짜여진 훈련 일정 이외의 어떠한 개인 운동도 실시하지 않았으며 실험에 영향을 미칠 수 있는 음주 및 과다한 카페인 섭취를 제한하였다.

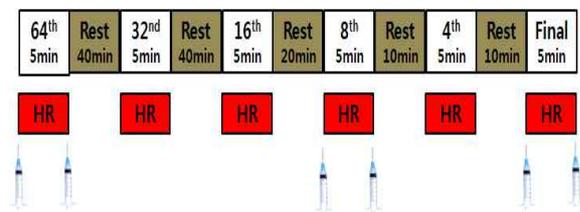


Fig. 1. Schematic of experimental protocol

All subjects performed total six games (division game of 64th, 32nd, 16th, quarter-final, semi-final, and final). Venous blood samples were collected before and after division games of 64th, quarter-final and final. Heart rate was continuously monitored during each games.

혈액 지표의 측정 및 테스트 절차

심박수 측정

모든 피험자로부터의 심박수 측정을 위해 무선 심박수 측정 장치(Polar S610; Polar Electro Oy, Finland)를 사용하였다. 실험당일 피험자가 체육관에 도착하면 심박수 측정 장치를 착용케 한 후 약 30분간 개인적으로 준비운동 및 스트레칭을 실시하도록 하였다. 오전 9시부터 64강부터 결승전까지의 개인전 검도 시험을 치를 때까지 매 10초 마다 지속적으로 심박수를 측정하여 매 경기마다 평균을 산출해 경기간 심박수의 변화 양상을 비교·관찰하였다.

채혈 및 분석

64강(제1라운드), 8강(제4라운드), 그리고 결승(제6라운드) 경기의 전과 후, 피험자가 의자에 편안하게 앉은 상태로 혈관의 근위부에 tourniquet을 적절하게 압을 가해 조인 후 알코올 솜을 사용해 천자 주변을 소독하였다. 전완정맥(antecubital vein) 중 주정중피정맥(median cubital veins), 요측피정맥(cephalic veins), 혹은 척측피정맥(basilic veins)으로부터 무처리된 진공채혈관(12mL)과 헤파린(heparin) 처리된 진공채혈관(5mL)을 이용해 1회당 총 17mL의 혈액을 채집하였다. 무처리된 진공채혈관에 채집된 혈액은 상온에서 30분간 응고시켰으며, 헤파린이 처리된 진공채혈관에 채집된 혈액은 충분히 잘 섞은 후 약 1mL의 혈액을 Nova biomedical사의 혈액 가스분석기를 이용해 혈액 내 가스(헤모글로빈, 헤마토크리트, 산소포화도, 산소분압, 이산화탄소분압, pH), 이온(Na^+ , K^+ , 및 Ca^{2+}), 및 에너지 기질(포도당, 젖산)에 대한 분석을 수행하였다. 항응고 처리된 여분의 혈액과 무처리된 진공채혈관에 채집된 혈액을 원심분리(15분@3,000rpm)한 후 혈장과 혈청을 분리해 냉동 보관하였으며 이후 혈장 표본을 이용해 요산(uric acid)과 암모니아(NH_3)를, 혈청 표본을 이용해 유리지방산 농도를 분석하였다.

자료 분석

본 연구를 통해 수집된 모든 자료는 Windows SPSS 통계 프로그램(VER. 20.0)을 이용해 평균과 표준편차를 산출하였다. 혈중 가스 및 이온 성분의 변화에 대해 64강부터 결승까지의 각 토너먼트 경기 시와 경기 전 후 시간 요인 간 상호작용 효과를 검증하기 위해 이원변량 분산분석(TWOWAY ANOVA)을 실시하였으며 유의한 상호작용의 효과를 보이지 않을 시 각 요인에 대한 주효과 검증과 함께 Tukey의 사후검증을 실시하였다. 또 경기 간 동일 시간(경기 전 혹은 경기 후)에서의 평균차 검증을 위해 반복측정 일원분산분석을 실시하였으며 각 경기에 따른 경기 전과 후의 평균차 검증을 위해 대응 t-검증을 실시하였다. 경기 라운드별 심박수의 변화를 관찰하기 위해 반복측정 일원변량분석을 적용했으며 유의한 차에 대해 Tukey의 사후검증을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구 결과

토너먼트 수행 시 라운드별 심박수의 변화

토너먼트 경기의 진행 시 분당 심박수의 변화를 살펴본 결과 평균 122.0~127.7회(Fig. 2와 Table 2)를 나타냈으며 각 토너먼트 라운드 별 유의한 평균차를 나타내지 않았다.

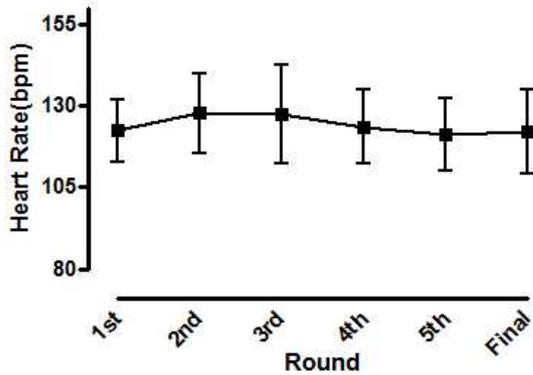


Fig. 2. Changes of mean heart rate during Kumdo tournament Mean±standard deviation. HR, heart rate; bpm, beat per minute. 1st, Sixty four round; 2nd, Thirty four round; 3rd, Sixteen round; 4th, Quarter-final round; 5th, Semi-final round; 6th, Final round.

Table 2. Changes of heart rate during Kumdo tournament

Round	1 st (64강)	2 nd (32강)	3 rd (16강)	4 th (8강)	5 th (4강)	6 th (결승)
HR (bpm)	122.3 ±9.4	127.7± 12.3	127.5± 15.2	123.6± 11.4	121.1± 11.1	122.0± 12.9

Mean±standard deviation. HR, heart rate; bpm, beat per minute

토너먼트 경기 전후 혈중 가스 농도의 변화

pH의 변화

토너먼트 경기에 따른 pH의 변화를 분석한 결과, 64강부터 결승까지의 각 토너먼트 라운드와 매 경기 전 후 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으며 개별 요인에 대한 주효과도 유의하게 나타나지 않았다.

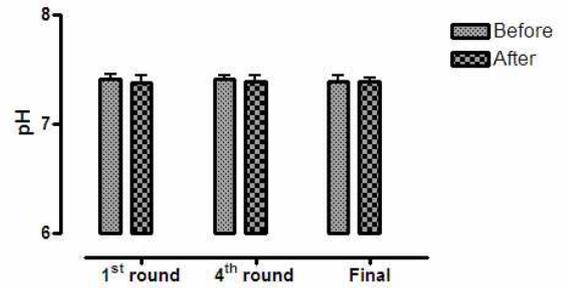


Fig. 3. Changes of pH before and after Kumdo tournament 1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round.

이산화탄소 분압(PCO₂)의 변화

토너먼트 경기에 따른 PCO₂의 변화를 분석한 결과, 64강부터 결승까지의 각 토너먼트 라운드와 매 경기 전 후 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 각각의 요인에 대한 주효과 검증 결과에서는 제1라운드(64강 경기)와 비교해 제4라운드(8강, p<.05) 경기 시 유의한 감소를 나타냈다(Fig. 4). 개별 경기 전 후 시간에 대한 주효과는 유의하게 나타나지 않았다. 경기 전과 후의 결과에 대해 별도로 반복측정분산분석을 실시한 결과, 개인전 토너먼트 64강 경기 전과 비교해 8강 경기 전(p<.05), 8강 경기 후(p<.01), 결승 경기 전(p<.05)에서 모두 유의한 감소를 나타냈으며 64강 경기 후와 비교해 8강 경기 후(p<.05), 8강 경기 전과 비교해 8강 경기 후(p<.05)에서 통계적으로 유의한 감소를 나타냈다.

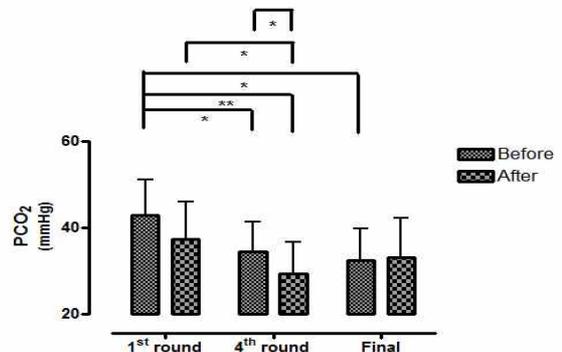


Fig. 4. Changes of PCO₂ before and after Kumdo tournament. 1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, p<.05; **, p<.01.

산소 분압(PO₂)의 변화

토너먼트 경기에 따른 PO₂의 변화를 분석한 결과, 결승까지의 각 토너먼트 라운드와 매 경기 전 후 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으며 각각의 요인에 대한 주효과 검증 결과에서도 통계적인 차이를 나타내지 않았다(Fig. 5).

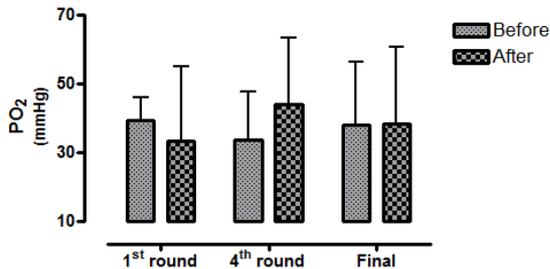


Fig. 5. Changes of PO₂ before and after Kumdo tournament. 1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round.

헤마토크리트의 변화

토너먼트 경기에 따른 Hct의 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 경기 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았으며, 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서도 유의한 차이를 나타내지 않았다. 시간대별 대응 t-검정을 실시한 결과에서는 개인전 토너먼트 64강 경기 전과 비교해 경기 후 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다(p<.05). 하지만 4라운드 경기(8강전 경기) 전과 후 및 결승 경기 전과 후 사이에는 유의한 변화를 나타내지 않았다(p>.05; Fig. 6).

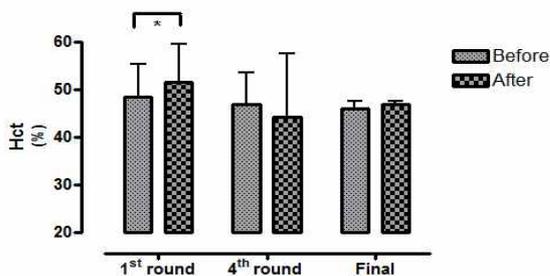


Fig. 6. Changes of Hematocrit before and after Kumdo tournament. 1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, p<.05

헤모글로빈(Hb) 수치의 변화

개인전 토너먼트 경기에 따른 Hb의 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 시간 사이의 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았으며, 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서도 유의한 차이를 나타내지 않았다. 경기 전과 후의 결과에 대해 반복측정분산분석을 실시한 결과, 토너먼트 64강 경기 전과 비교해 64강 경기 후에서만 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다(p<.05; Fig. 7).

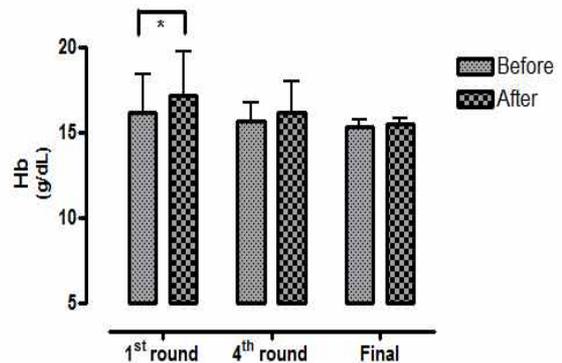


Fig. 7. Changes of hemoglobin before and after Kumdo tournament. 1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, p<.05

토너먼트 경기 전후 혈중 이온 농도의 변화

소듐 이온(Na⁺) 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 Na⁺ 농도의 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다(Fig. 7). 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과, 토너먼트에서는 유의한 주효과를 나타내지 않은 반면, 경기 전후에 대한 시간의 주효과 검증에서는 유의한 변화를 나타냈다(p<.05). 경기 전과 후의 결과에 대해 별도로 반복측정분산분석을 실시한 결과에서는 개인전 토너먼트 64강 경기 전과 비교해 경기 후(p<.01), 8강 경기 전(p<.01), 및 결승 경기 후(p<.05)에서 유의한 증가를 나타냈으며 8강 경기 전과 비교해 경기 후(p<.01) 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다. 토너먼트 라운드가 증가함에 따라 경기 전과 비교해 경기 후 Na⁺ 농도 상승 경향이 나타났다(Fig. 8).

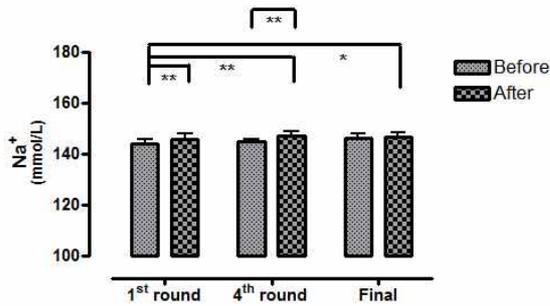


Fig. 8. Changes of Na⁺ concentration before and after Kumdo tournament
1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, p<.05; **, p<.01.

칼륨 이온(K⁺) 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 K⁺ 농도의 변화를 분석한 결과, 결승까지의 각 토너먼트 라운드와 매 경기 전 후 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으나(p>.05), 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과의 토너먼트 경기 사이에는 유의한 주효과를 나타내, 64강 경기 시와 비교해 8강(p<.01)과 결승(p<.001) 경기 시 유의한 감소를 나타냈다(Fig. 8). 경기 전과 후의 결과에 대해 별도로 반복측정분산분석을 실시한 결과, 개인 전 토너먼트 64강 경기 전과 비교해 모든 경기에서 통계적으로 유의한 감소를 나타냈다.

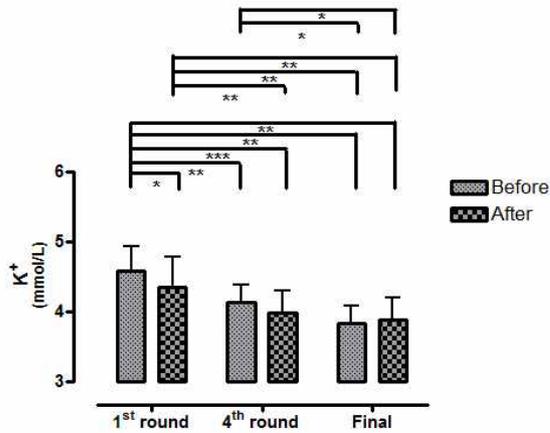


Fig. 9. Changes of K⁺ concentration before and after Kumdo tournament
1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, p<.05; **, p<.01., ***, p<.001.

칼슘 이온(Ca²⁺) 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 Ca²⁺ 농도의 변화를 분석한 결과, 64강부터 결승까지 토너먼트 및 경기 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 개별 요인에 대한 주효과를 검증한 결과에서도 토너먼트 라운드와 경기 전과 후 시간 요인 사이에 통계적인 차이를 나타내지 않았다(Fig. 10).

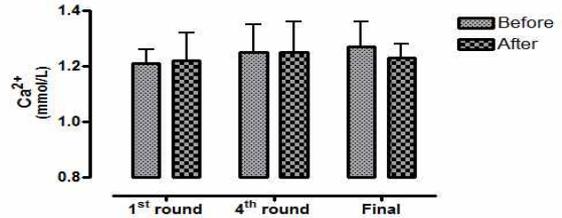


Fig. 10. Changes of Ca²⁺ concentration before and after Kumdo tournament
1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round.

토너먼트 경기 전후 혈중 피로 물질 농도의 변화

혈중 포도당(glucose) 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 포도당의 농도 변화를 살핀 결과, 64강 경기부터 결승까지의 각 토너먼트 라운드와 매 경기 전 후 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과를 나타내지 않았으며(p>.05), 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서도 유의한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 10). 경기 전과 후의 결과에 대해 반복측정분산분석을 실시한 결과, 토너먼트 8강 경기 후의 결과와 비교해 결승 경기 전(p<.05)에서만 통계적으로 유의한 감소를 나타냈을 뿐 여타의 경우에는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

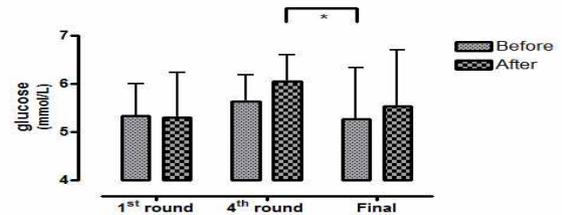


Fig. 11. Changes of glucose concentration before and after Kumdo tournament
1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, p<.05

혈중 젖산(lactate) 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 lactate 농도의 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과를 나타내지 않았다. 하지만 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서 경기 진행과 관련해서는 유의한 변화를 나타내지 않은 반면, 경기 전후의 시간 요인에 대해서는 유의한 주효과($p < .001$)를 나타내 경기 전과 비교해 경기 후 유의하게 증가함을 나타냈다(Fig. 12). 경기 전과 후의 결과에 대해 반복측정분산분석을 실시한 결과, 토너먼트 경기 전과 후에서 유의한 변화를 나타냈으며, 경기 후의 젖산 수치는 토너먼트 라운드에 상관없이 비슷하게 나타났으나($p > .05$), 경기 전 수치에서는 토너먼트가 진행됨에 따라 유의하게 높게 유지되어 회복이 이루어지지 않았음을 나타냈다($p < .01$).

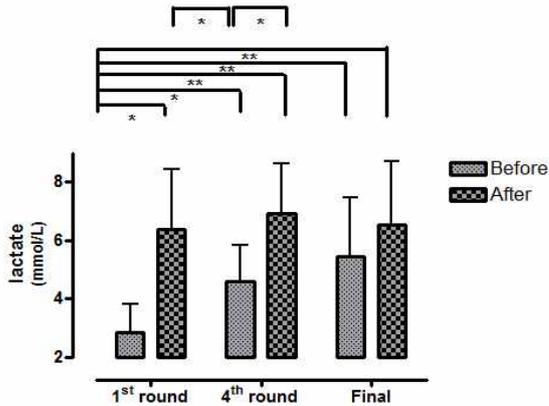


Fig. 12. Changes of lactate concentration before and after Kumdo tournament

1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, $p < .05$; **, $p < .01$.

암모니아(NH₃) 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 혈중 NH₃ 농도 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서는 토너먼트($p < .05$)와 시간($p < .01$) 요인 모두에서 유의한 차이를 나타냈다. 토너먼트가 계속되면서 64강시와 비교해 8강 경기 시 유의한 감소를 나타냈으며 경기 전 후 시간에 대한 주효과에서는 경기 전과 비교해 경기 후 유의한 증가를 나타냈다($p < .05$; Fig. 12). 경기 전과 후의 결과에 대해 반복측정분산분석을

실시한 결과, 경기 전과 비교해 경기 후 유의한 증가를 나타내었다($p < .05$).

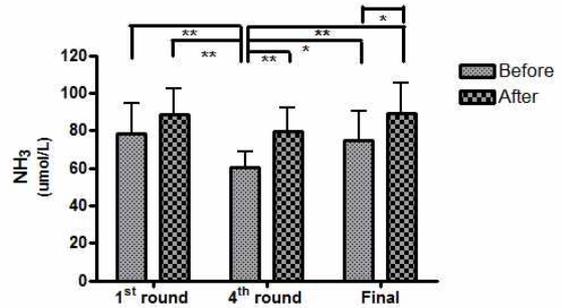


Fig. 13. Changes of NH₃ concentration before and after Kumdo tournament

1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, $p < .05$; **, $p < .01$.

요산 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 uric acid의 농도 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았으며, 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서도 유의한 차이를 나타내지 않았다. 하지만 경기 전과 후의 결과에 대해 반복측정분산분석을 실시한 결과에서는 토너먼트 64강 경기 전과 비교해 모든 시기에서 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다. 토너먼트 라운드가 진행됨에 따라 경기 전과 비교해 경기 후에 통계적인 증가를 나타냈다($p < .05$; Fig. 14).

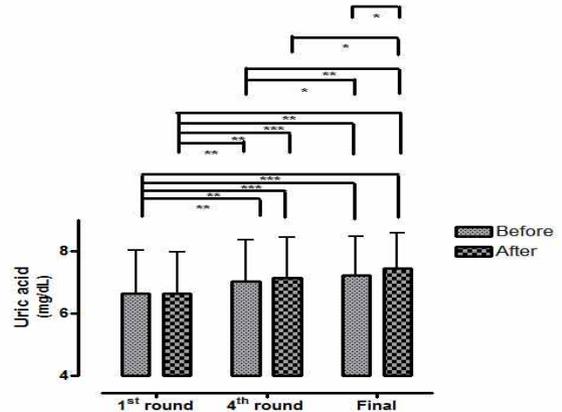


Fig. 14. Changes of uric acid concentration before and after Kumdo tournament

1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, $p < .05$; **, $p < .01$., $p < .001$.

토너먼트 경기 전후 유리지방산 농도의 변화

토너먼트 경기에 따른 FFA의 변화를 분석한 결과, 토너먼트 및 시간 요인 사이에 유의한 상호작용 효과를 나타내지 않았다. 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과에서 토너먼트가 진행됨에 따라 64강 경기 시와 비교해 결승 경기 시 유의한 증가($p < .05$)를 나타낸 반면, 경기 전후의 유의한 차는 나타나지 않았다. 경기 전과 후의 결과에 대해 반복측정분산분석을 실시한 결과, 개인전 토너먼트 64강 경기 전과 결승 경기 후 까지 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다(Fig. 15).

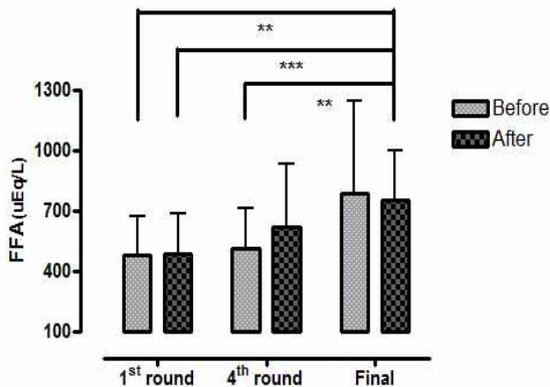


Fig. 15. Changes of FFA concentration before and after Kumdo tournament

1st round, Sixty four round; 4th round, Quarter-final round; Final round. *, $p < .05$; **, $p < .01$; ***, $p < .001$.

논 의

검도가 스포츠로서 널리 보급됨에 따라 검도와 관련된 많은 연구 결과들이 보고되고 있다. 하지만, 대부분이 검도의 기술적인 면이나 심리적인 면을 다루고 있을 뿐 검도 경기 시 일어나는 검도 동작의 역학적 분석이나 검도 운동 시 일어나는 생리적 변화에 대해 체계적으로 살핀 연구 결과가 보고된 것은 부족한 실정이며 실제 검도 경기 시 나타나는 생리적 변화를 다룬 연구는 찾아 볼 수 없는 현실이다. 따라서 이 연구에서는 엘리트 대학 검도 선수를 대상으로 반복적인 검도 개인전 경기 수행 시 나타나는 혈중 피로 물질과 혈중 구성 성분의 변화를 실제적으로 규명하고자 하였다.

최대산소섭취량 및 심박수의 변화

최대산소섭취량 및 심박수의 변화

이와 함께 엘리트 검도 선수들은 일반인에 비하여 최대산소소비가 높게 나타난다(Lee, 2000). 본 연구에 참여한 선수들의 최대산소섭취량은 $51.1 \text{ mL} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ 를 나타내 동일 연령대의 남성이 일반적으로 나타내는 수치($40 \sim 45 \text{ mL} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$)와 비교해 높게 나타났다(Astrand & Rodahl, 1970; Powers & Howley, 2012). Lee(2000)은 엘리트 검도 선수들의 최대산소섭취량이 일반인들 보다 높다고 보고한 바 있어 본 연구에서 살핀 결과와 일치하고 있으며, Son et al.(2016)이 비슷한 수준의 검도 선수들을 대상으로 측정 한 수치와도 비슷한 수치를 나타냈다. 이와 같은 현상을 보이는 것은 장기간 힘든 훈련과 실전 경험으로 심폐기능이 향상되었음을 반영하는 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 검도 토너먼트 경기에 따른 심박수를 관찰하였다. 6차례의 경기를 하루에 마쳐야 한다는 점과 토너먼트 라운드를 계속할수록 경기와 경기 사이의 휴식이 시간이 짧아진다는 종목상의 특성상 연구자들은 라운드 거듭될수록 지속적으로 운동의 강도가 높아지고 피로도의 상승이 나타날 것이라 예상하였다. 하지만 심박수를 살핀 결과 라운드별 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다. 대략 분당 120~130회 사이의 심박수를 나타내며 경기를 수행하는 것으로 나타나 예측 최대심박수의 60~70% 사이의 운동강도를 보이는 것으로 나타났다. 최근 검도 선수의 훈련 시 나타나는 심박수를 살핀 결과에서 분당 평균 110~120회를 나타내 본 연구에서의 결과보다 낮은 수치를 나타낸 바 있으며(Son et al., 2016), Maeda et al.(1996)의 연구에서는 섭씨 30°C의 대기 환경에서 5분의 휴식 시간과 함께 15분씩 2회의 검도 경기를 치룬 후 살핀 심박수가 최대 심박수의 약 75%를 나타낸 것으로 보고한 바 있다. Maeda et al.(1996)의 연구에서 나타난 심박수가 본 연구에서 관찰한 심박수 보다 5~10% 높게 나타난 것은 본 연구에서의 경기 시 체육관 온도가 22~24°C로 유지되었음과 현재의 경기 규정을 따라 5분의 경기를 치렀음과 비교해 그들의 연구에서는 30°C의 대기 환경에서 15분의 경기

를 2회에 걸쳐 치렀던 것에서 비롯된 것으로 보여 진다. Otsuki et al.(2012)의 연구에서는 엘리트 여자 선수의 120분간의 힘든 검도 훈련 중 Borg의 운동자각도(rating of perceived exertion)를 살핀 결과 평균 13.6을 나타낸다고 보고했는데, 이에 대한 분당 심박수를 추정할 경우 136회를 나타내 대체적으로 본 연구 결과와 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 연구 결과들을 종합적으로 평가해 볼 때 엘리트 검도 선수들의 경기 시 및 경기와 같은 조건에서의 훈련 시 운동 강도가 중-고강도의 범위를 나타내고 있음을 알 수 있다.

토너먼트 경기 수행이 혈중 pH, PO₂, PCO₂ 변화에 미치는 영향

개인전 토너먼트 경기 수행 시 64강부터 결승까지 pH의 변화를 살핀 결과, 경기 전 안정 시 수치와 유의한 차이를 보이지 않았다. 지속적으로 고강도의 운동을 수행한 것이 아닌 단시간의 간헐적으로 반복되는 운동의 특성이 혈중 pH의 변화를 억제시킨 것으로 분석된다. 즉, 매 경기 종료 후 pH 수치의 저하가 적게 나타난 것은 검도 동작의 수행이 득점을 위해 단시간동안 전개된다는 특징이 반영된 것으로 이는 젖산에 대한 내성 능력이 탁월하다거나 운동수행 시 전반적인 운동의 강도가 낮았다기보다 각 선수들마다 경기 운영에 따른 동작의 수행시간과 경기 중 휴식시간의 차이를 나타내 운동 수행 시 나타나는 젖산과 H⁺의 축적에 의한 pH의 저하를 적게 이끌어낸 것으로 해석된다. 하지만 모든 토너먼트 경기에서 경기 전과 비교해 경기 후 뚜렷한 pH의 저하 경향을 나타내고 있어 피험자 수의 증가를 통해 통계적 의미도 명확하게 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 나타낸 이산화탄소 및 산소 분압의 수치 변화를 이해하고자 할 때 사용된 표본이 (동맥혈이 아닌) 정맥혈이었음을 기억할 필요가 있다. 이산화탄소 분압은 토너먼트 라운드가 거듭되면서 전반적으로 뚜렷한 감소를 나타냈으며 산소 분압은 이와 반대로 약간의 증가 경향을 나타냈다. 이는 힘든 운동 시 동맥혈 내 산소 분압은 대략 100mmHg으로 유지하는 반면, 이산화탄소 분압은 젖산 역치 이하의 최대 운동 시작 후 약 30분까지는 감소된 상태를 유지하다가 이 후 점차 상승한

다는 선행 연구(Dempsey, 1986; Powers et al., 1982) 결과와 깊은 관련성을 갖는 것이라 할 수 있다. 이는 운동 초기 발생하는 흡기와 호기의 불균형으로 초래되는 과환기의 결과로 호흡을 통한 이산화탄소의 배출이 증가한 결과로 해석될 수 있을 것이며, 이와 같이 정맥혈에서의 이산화탄소 분압이 감소하는 것은 경기가 지속되면서 체내 대사가 촉진되어 혈류량의 증가를 통한 조직으로의 혈액 공급이 원활해짐에 따라 나타나는 결과로도 볼 수 있다(Son, 2016). 64강 경기부터 결승 경기까지 PO₂ 와 PCO₂ 의 변화를 살핀 결과는 일반적으로 운동과 함께 분당 호흡수와 1회 환기량의 증가를 나타내는데 이는 운동 강도의 증가에 따라 선형적으로 증가하다가 운동 강도가 최대산소섭취량의 70%에 도달 시 분당호흡수의 증가는 선형적 증가를 계속하는 반면, 1회 호흡량은 일정한 상태를 유지한다는 사실과 일치하는 것이라 하겠다(Son, 2016).

토너먼트 경기 수행이 혈중 헤모글로빈과 헤마토크리트에 미치는 영향

혈중 헤모글로빈의 변화에서는 요인 간 상호작용 효과 뿐 아니라 개별 요인에 대해서도 유의한 차이를 나타내지 않았으나 개별 요인 내 반복측정분산분석의 결과에서는 모든 경기 전과 후에 수치의 증가 경향을 나타냈으며 1라운드(64강) 경기 전(16.1±2.3g·dL⁻¹)와 후(17.2±2.6g·dL⁻¹) 결과에서는 통계적으로 유의한 증가를 나타냈다. 이는 제1라운드 경기에서의 수분 소실이 이 후의 다른 경기들과 비교해 더 많았음을 반영하는 것으로 해석된다. 64강 경기 후 실제 시합 상황에서와 유사하게 약 40분간의 휴식을 취하면서 충분한 수분 보충이 이루어진 것으로 보이며 8강 경기와 결승 경기에서 역시 수분 소실의 징후는 보였으나 경기 전과 비교해 유의한 차는 발견할 수 없었다.

헤마토크리트는 총 혈중 적혈구가 나타내는 용적(Kim, 2003)으로 수분 소실의 양에 비례해 증가한다. 64강 경기 전(48.4±6.7%)과 비교해 64강 경기 후(51.6±7.8%)에서 유의한 증가를 나타냈는데 이 헤모글로빈 수치의 변화를 반영해 64강 경기에서 많은 수분 소실이 있었음을 나타내는 것이라 하겠다. 2라운드부터 결승 라운드까지의 결과에서 헤모글로빈과 헤마토크리

트의 변화가 유의하게 나타나지 않은 것은 경기 시간이 5분임을 고려할 때 고강도의 운동이 지속적으로 수행되는 것이 아니므로 경기 중 수분 손실을 유발시키기에는 부족했던 것으로 사료된다. 하지만 경기 후 다음 경기 시까지의 휴식시간이 제한된 조건에서는 수분 소실이 지속적으로 발생하게 되어 헤모글로빈과 헤마토크리트 수치의 일시적 증가가 나타날 수 있으므로 실제 경기 시 회복시간(휴식시간) 중에는 수분 섭취를 충분히 하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. Kim et al.(1998)은 운동 선수와 비운동선수의 안정 시 헤마토크리트를 비교한 결과 운동선수의 수치가 유의하게 높음을 보고한 바 있다.

토너먼트 경기 수행이 혈중 Na^+ , K^+ , 및 Ca^{2+} 농도에 미치는 영향

운동수행 시 과도한 수분 소실은 체내 전해질의 불균형을 초래해 근육활동을 포함한 전반적인 대사기능에 부정적인 영향을 미쳐 운동수행 능력을 저하시킨다. 또한 전해질의 섭취장애로 전해질의 흡수가 감소한 경우, 혹은 신장의 재흡수 장애로 인한 전해질의 체외 배출이 증가한 경우 이들 전해질의 농도가 감소하는 것으로 보고되었다(Lee, 2007).

본 연구에서는 토너먼트 경기 수행 시 64강부터 결승까지의 토너먼트와 시간 사이에 유의한 상호작용은 나타나지 않았으며, 개별 요인에 대한 주효과도 나타나지 않았다. 개개의 요인을 분석하기 위해 반복측정분산분석을 실시한 결과에서는 64강 경기 전($143.9 \pm 1.6 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)와 비교해 64강 경기 후($145.6 \pm 2.1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 8강 경기 전($144.6 \pm 1.1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 결승 경기 후($146.4 \pm 2.1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)에서 유의하게 증가하였으며, 8강 경기 전과 비교해 8강 경기 후($147.0 \pm 1.6 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) Na^+ 농도가 유의한 상승을 나타냈다. 이러한 현상은 운동과 함께 수분의 소실이 많았음을 반영하는 것으로 혈액 내 수분과 함께 배출되는 Na^+ 양에 비해 소실되는 수분의 양이 상대적으로 더 크게 나타났음을 알 수 있게 하는 결과라 하겠다(Son, 2016). 수분 소실의 양이 많았음을 추론함에 있어 앞서 살핀 헤모글로빈과 헤마토크리트의 변화가 제한적으로만 나타났던 결과와 일치하지 않고 있으나 이는 실제 경기 직 후 섭취한 수분이 장에서 흡수되지 못한

상태에서 측정이 이루어졌다는 점에서 유도된 것일 수 있음을 고려해야 할 것이다.

토너먼트 경기 수행 시 혈중 K^+ 의 변화는 Son(2016)의 연구에서 밝힌 바와 같이 운동 실시와 함께 세포내로의 K^+ 유입이 증가했음을 의미하는 것으로 세포외액내 Na^+ 의 증가와 맞물려 혈액과 근육조직 사이에 Na^+-K^+ pump의 작용을 활발히 하기 위해 Na^+-K^+ ATPase의 작용이 활발했었음을 추론할 수 있겠다. 이와 같은 현상은 조직세포의 에너지 대사가 증가함에 따라 세포내액과 세포외액 사이 이온 농도의 불균형 초래에 따른 항상성 파괴를 억제하기 위한 기전으로 피로발생에 저항하는 세포 내 전기적 전위차 조절작용의 결과로 생각된다.

신체에서 가장 풍부한 무기질인 Ca^{2+} 은 총 체중의 약 2%가 저장되어 있어, 99% 이상이 골격을 구성하고 나머지는 혈액과 다른 기관에 존재해 근육 수축, 신경 전달, 혈액 응고, 세포 내 정보 전달 등 생명유지에 매우 중요한 역할을 담당한다(McArdle et al., 2005; Williams, 2002). 본 연구에서 혈중 Ca^{2+} 농도의 변화를 살핀 결과, 토너먼트 진행 및 개별 경기 전후에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 세포내액의 K^+ 와 세포외액의 Na^+ 이온 농도의 변화를 야기할 만큼은 운동 강도 및 운동량이 충분했으나 세포외액에 Na^+ 과 비교해 낮은 농도를 보이는 Ca^{2+} 의 변화를 야기해낼 만큼의 운동부하로는 충분하지 못했음을 반영하는 결과라 하겠다.

토너먼트 경기 수행이 혈중 포도당과 유리 지방산 농도에 미치는 영향

에너지원으로써 포도당은 인체의 근 수축 및 대사 과정에 지대한 영향을 미치며 체내 에너지 공급을 위해 필수적인 역할을 하는 물질이다. 포도당의 섭취는 체내 에너지원의 고갈로 유발되는 열 스트레스의 위험을 감소시켜 줄 뿐만 아니라 운동 수행 능력의 저하를 예방하기 위해서도 매우 중요하다(Chae, 1988). Kim et al.(2007)은 운동선수 집단에서 장기간의 훈련 후 에너지 사용에 있어 근 글리코겐과 혈중지질, 혈당의 사용 역량이 향상된다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 토너먼트 경기 수행 시 8강 경기 후($6.0 \pm 0.6 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)와 결승 경기 전($5.3 \pm 1.1 \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)에서 포도당 농도의 유의한 증가를

확인 할 수 있었는데, 이는 8강 경기부터 결승 경기까지의 운동 강도가 간헐적으로 매우 높게 지속되는 경기 형태를 보였음을 반영한 것이라 하겠다. 토너먼트 경기에 따른 유리지방산의 변화를 분석한 결과 토너먼트가 진행됨에 따라서는 유의한 증가($p=.035$)를 나타낸 반면, 경기 전후의 농도 변화에서는 유의한 차를 나타내지 않았는데($p>.05$) 이는 경기 자체가 간헐적 고강도의 운동 형태를 띄고 있어 중성지방의 분해를 자극하는 데는 한계를 나타내며 경기에 따른 체온의 상승과 산소소비량의 증가 등과 같은 대사량의 증가와 맞물려 지방분해 효소(lipase)의 활성을 자극함으로써 이를 통해 중성지방으로부터 분해된 유리지방산이 혈중으로 방출된 결과라 할 수 있다. 이는 반복적인 고강도의 운동으로 혈중 포도당 및 근육과 간에 저장된 글리코젠 저장량 감소와 함께 체내 저장된 지방산의 동원 및 산화 증가가 일어났음을 반영하는 것으로 장시간 운동 시 나타나는 지방산에 의한 에너지 공급 증가가 일어났음을 짐작케 하는 현상이라 볼 수 있다.

토너먼트 경기 수행이 혈중 젖산, 암모니아, 요산 농도에 미치는 영향

본 연구에서 혈중 젖산 농도의 변화를 살핀 결과, 토너먼트 경기 수행 시 모든 경기에서 상승하는 것을 관찰할 수 있었다. 64강 경기 전($2.9\pm 0.9\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)와 비교해 경기 후($6.4\pm 2.1\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), 8강 경기 전($4.6\pm 1.3\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)와 후($6.9\pm 1.7\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), 결승 경기 전($5.4\pm 2.0\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)와 후($6.5\pm 2.2\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) 등 모든 경기의 시작과 끝에서 혈중 젖산 농도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 단시간의 운동이지만 간헐적 형태의 고강도 운동이 행해졌음을 반영해주는 것이라 하겠다.

혈중 암모니아는 운동 강도와 관련하여 근 피로를 유발하는 물질로 알려져 있다. 본 연구의 토너먼트 경기 수행 시 혈중 암모니아를 살핀 결과, 개별 요인에 대한 주효과 검증 결과, 토너먼트($p=.033$)와 시간($p=.002$) 모두에서 유의한 차이를 나타냈다. 64강 경기 전($78.1\pm 16.5\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)와 비교해 8강 경기 전($60.4\pm 8.4\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)에서 유의한 감소를 나타냈고 64강 경기 후($88.9\pm 13.7\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)에는 유의한 증가를 나타냈다.

8강 경기 전과 비교해 8강 경기 후($79.9\pm 12.3\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 결승 경기 전($74.7\pm 15.5\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 결승 경기 후($89.0\pm 16.1\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)에서도 유의하게 높은 결과를 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 장시간 지칠 때까지의 운동 수행에 의한 혈중 암모니아의 농도 증가를 보고한 선행연구 결과들(Kim, 1995; Lee & Paik, 1996)과 일치하는 것으로 수행한 운동의 형태가 간헐적인 고강도의 운동이었음을 반영하고 있음을 나타내는 것으로 보인다.

요산은 퓨린 뉴클레오타이드(purine nucleotides)의 분해 산물로 항산화 작용을 수행하며(Fisher-Wellman & Bloomer, 2009; Urso & Clarkson, 2003), 많은 에너지 소모가 요구되는 운동 시 adenylate kinase 및 adenosine monophosphate 신호전달 경로의 활성을 통해 생성이 촉진되어 세포의 에너지 항상성 유지를 위해 생성이 촉진된다(Dzeja & Terzic, 2009). 이와 함께, 비록 실제 기여도가 높지 않은 것으로 평가되고 있지만, 혈장의 요산 농도 증가가 간의 아데노신삼인산(ATP)과 무기 인산염(inorganic phosphate)의 일시적 고갈에 의해 유도되는 과당(fructose)의 신진대사에 의해 파생되었을 수 있다는 가능성을 배제하기 어려운데 이 경우에는 퓨린 뉴클레오타이드를 요산염(urate)으로 분해하는데 작용하는 효소들의 촉매 작용을 자극하는 것으로도 알려져 있다(Lotito & Frei, 2006).

결론 및 제언

이 연구는 대학생 전문 검도선수들의 전국대회를 가정한 개인전 토너먼트 경기 수행 시 나타나는 혈중 가스 및 이온 성분, 에너지 기질을 포함한 피로물질의 변화 양상을 알아내기 위해 수행되었으며 연구를 통해 수집된 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 혈중 수소이온농도(pH) 및 산소 분압의 변화는 일어나지 않았다.
2. 혈중 이산화탄소 분압은 경기가 반복됨에 따라 감소하였다.
3. 혈중 헤모글로빈과 헤마토크리트의 변화는 토너먼트 초반 경기에서 나타났다.
4. 혈중 소듐 이온은 증가하고 칼륨 이온은 감소하

며 칼슘이온의 변화는 나타나지 않았다.

5. 혈중 포도당 농도는 경기 후 증가하는 경향을 보이며 젓산 농도는 경기 후 및 토너먼트 진행과 함께 지속적으로 상승하였다.
6. 경기 후 혈중 암모니아 및 요산의 농도는 상승하였다.

이와 같은 결과는 토너먼트 형태로 진행되는 검도 경기에의 참여가 피로 상태를 반영하는 체내 부산물의 축적을 야기하고 있음을 나타내주는 것이라 볼 수 있다. 검도 경기력의 향상을 위해 경기 직후 수분 보충을 통해 혈중 이온 농도의 변화를 최소화시킬 수 있어야 할 것이며, 과학적인 기법 및 방법을 통해 경기 사이 휴식 중 피로 부산 물질(젓산, 암모니아, 요산 등)의 제거를 촉진시킬 수 있는 과학적인 방법이 강구되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- Astrand, P. O., & Rodahl, K. (1970). *Textbook of exercise physiology*. 166, McGraw-Hill.
- Bahrainy S., Levy WC., Busey JM., Caldwell JH., & Stratton JR. (2016). Exercise training bradycardia is largely explained by reduced intrinsic heart rate. *International Journal of Cardiology*, 222, 213-216.
- Baldesberger S., Bauersfeld U., Candinas R., Seifert B., Zuber M., Ritter M., Jenni R., Oechslin E., Luthi P., Scharf C., Marti B., & Attenhofer Jost CH. (2008). Sinus node disease and arrhythmias in the long-term follow-up of former professional cyclists. *European Heart Journal*, 29, 71-78.
- Carola, R., Harley, J. P., & Noback, C. R. (1992). *Human Anatomy & Physiology* (2nd Edition). McGraw-Hill, Inc.
- Chae, J. R. (1988). A study on the changes of serum levels enzymes after scuba diving. *Kunsan National University Studies*, (15), 333-340.
- Cho, H. C & Han, J. H. (2002). The study of anaerobic exercise ability and segment body water of combative athletes. *The Korean Journal of Growth and Development*, 10(1), 109-120.
- Cho, S. H. (1999). Effect of Creatine and Carbohydrate Supplementation on 2.00M Rowing Performance and Blood Fatigue Factors Changes. Ms.D. *dissertation*, Yonsei University.
- Dempsey, J. (1986). Is the lung built for exercise? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 143-155.
- Dzeja, P., & Terzic, A. (2009). Adenylate kinase and AMP signaling networks: Metabolic monitoring, signal communication and body energy sensing. *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 1729-1772.
- Fahey, T. D., Larsen, J. D., Brooks, G. A., Colvin, W., Henderson, S., & Lary, D. (1991). The effects of ingesting polylactate or glucose polymer drinks during prolonged exercise. *International Journal of Sport Nutrition*, 1, 249-256.
- Fisher-Wellman, K., & Bloomer, R. J. (2009). Acute exercise and oxidative stress: a 30 year history. *Dynamic Medicine*, 8, 1.
- Fitts, R. H., Booth, F. W., Winder, W. W., & Holloszy, J. O. (1975). Skeletal muscle respiratory capacity, endurance, and glycogen utilization. *American Journal of Physiology*, 228, 1029-1033.
- Frick, M., Elovainio, R., & Somer, T. (1967). The mechanism of bradycardia evoked by physical training. *Cardiologia*, 51, 46-54.
- Hong, K. Y & Kang, I. S. (1992). The change of anaerobic power, blood lactate concentration and pH during the maximal intermittent exercise. *Research Bulletin of Research Institute for Physical Education & Sports science*. Kangwon National University, (17), 181-191.
- Hur, S. H. (2011). *The Effect of Polylactate Ingestion On Intense Endurance Running Performance In Elite Distance Runners*. Ms.D Dissertation, Daegu University.
- Hur, S. H. (2015). *The effects of BCAAs supplementation after repetitive and exhaustive exercise on 500M rowing ergometer time trial record and changes of blood biochemical and inflammatory indices*. Ph.D Dissertation, Daegu University.
- Hwang, D. S. (2003). *The effect of Pparun Dongjak Meori chigi and Hoo rigi in gumdo on heart rate and fatigue material in blood*. Ms.D Dissertation, Yong in University.
- Kim, D. Y. (2003). *The Change of blood compositions and plasma volume depending on VO₂max after various exercise loads*. Ms.D Dissertation, Inha University.
- Kim, H. M. (2001). *The study of anaerobic exercise ability and variation of blood fatigue material of combative athletes*. Ms.D Dissertation, Yonsei University.
- Kim, J. K. (1995). *The Study of Blood ammonia and lactate concentration following exercise intensity*. Ms.D Dissertation, Yonsei University.

- Kim, S. C., Kim, D. H., & Lee, H. Y. (1998). The Effect of Regular Soccer Exercise on Blood Components and Physical Fitness in Middle Aged Men. *The Korean Society of Sports Medicine*, 16(1), 191-199.
- Kim, W. J & Lee, J. H. (2007). Effect of 85%VO₂ R exercise on immunoglobulin, blood Lipids, blood glucose and insulin in Long-distance athletes and healthy individuals. *Korean Journal of Physical Education*, 46(4), 399-405.
- Lee, E. B. (2000). *A study on the change of cardiopulmonary functions and blood lactate maximal exercise*. Ms.D Dissertation. Daegu University.
- Lee, J. S., & Paik, I. Y. (1996). The blood lactate and ammonia changes following different intensity exercise and carbohydrate supplement. *Journal of P.E., Sport & Leisure Studies*. 3(1). 63-78.
- Lee, J. S., Im, S.Y., Ryu, J. H., & Kim, J. H. (2011). Effect of carbohydrate and creatine supplementation on 2000M rowing performance in collegiate elite rowers. *Korean Journal of Sport Science*. 22(2). 1825-1840.
- Lee, K. J. (2007). *Effect of Water Metabolism the Deep Sea Water of Ingestion During Prolonged Exercise*. Ms.D Dissertation. Dankook University.
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (1993). *Principles of Biochemistry*. New York, NY: Worth Publishers.
- Lotito, S. B., & Frei, B. (2006). Consumption of flavonoid rich foods and increased plasma antioxidant capacity in humans: Cause, consequence or epiphenomenon? *Free Radical Biology & Medicine*, 41, 1727-1746.
- Maeda S., Miyauchi T., Waku T., Koda Y., Kono I., Goto K., & Matsuda M. (1996). Plasma endothelin-1 level in athletes after exercise in a hot environment exercise-induced dehydration contributes to increases in plasma endothelin-1. *Life Sciences*, 58, 1259-1268.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2005). *Sports & Exercise Nutrition*(2nd ed). Lippincott Williams & Wilkins.
- McMiken, D. F., & Daniels, J. T. (1976). Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running. *Medicine and Science in Sports*, 8(1), 14-27.
- Metzger, J. M. (1992). Mechanism of chemomechanical coupling in skeletal muscle during work. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 5(1), 1-52.
- Montain SJ., Sawaka MN., & Wenger CB. (2001). Hyponatremia associated with exercise: risk factors and pathogenesis. *Exercise Sport Science Review*, 29(3), 113-117.
- Mutch, B. J. C., & Banister, E. W. (1983). Ammonia Metabolism in Exercise and Fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(1), 41-50.
- O'Keefe JH., Patil HR., Lavie CJ., Magalski A., Vogel RA., & McCullough PA. (2012). Potential adverse cardiovascular effects from excessive endurance exercise. *Mayo Clinic Proceedings*, 87, 587-587.
- Otsuki T., Shimizu K., Iemitsu M., & Kono I. (2012). Chlorella intake attenuates reduced salivary SIgA secretion in kendo training camp participants. *Nutrition Journal*, 11, 103-110.
- Peronnet, F., Burelle, Y., Massicotte, D., Lavoie, C., & Hillaire-Marcel. (1997). Respective oxidation of ¹³C-labeled lactate and glucose ingested simultaneously during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 82(2), 440-446.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2012). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. New York. McGraw-Hill. p. 284.
- Powers, S., Howley, E., & Cox, R. (1982). Ventilatory and metabolic reactions to heat stress during prolonged exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 22, 32-36.
- Rossi L., Schaefer Cardoso M., Torres H., Ragasso Gasalenovo V. (2011). Heat stress and dehydration in kendo. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51, 603-608.
- Sahlin, K. (2006). *Metabolic factors in fatigue*. In: *Exercise metabolism*(2nd ed). Edited by Hargreaves, M., & Spriet, L. Human kinetics.
- Scheuer J., Bhan AK., Penpargkul S., & Malhotra A. (1976). Effects of physical training and detraining on intrinsic cardiac control mechanisms. *Advances in Cardiology*, 18(0), 15-25.
- Scheuer J., & Tipton CM. (1977). Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology*, 39, 221-251.
- Sigvardsson, K., Svanfeldt, E., & Kilbom, A. (1977). Role of the adrenergic nervous system development of training-induced bradycardia. *Acta Physiologica Scandinavica*, 101, 481-488.
- Smith ML., Hudson DL., Graitzer HM., & Raven PB. (1989). Exercise training bradycardia: the role of autonomic balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 40-44.
- Son, Y. H., Hur, S. H., Park Y. B., Kim, Y. M., & Lee, J. S.

- (2016). The effect of safeguard devices wearing on blood physiological parameters and energy substrates during Kumdo training. *Korean Journal of Sport Science*, 27(3), 496-506.
- Sutton JR., Cole A., Gunning J., Hickie JB., & Seldon WA. (1967). Control of heart-rate in healthy young men. *Lancet*, 2, 1398-1400.
- Swensen, T., Carter, G., Bassett, R., & Howley, E. T. (1994). Adding polylactate to a glucose polymer solution does not improve endurance. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 430-434.
- Tashiro, S. (1922). Ammonia production in the nerve fibre during excitation. *American Journal of Physiology*, 60, 519-543.
- Tipton, C. (1965). Training and bradycardia in rats. *American Journal of Physiology*, 44(1), 85-89.
- Tipton, C., Barnard, R. J., & Tcheng, K. T. (1969). Resting heart rate investigations with trained and nontrained hypophysectomized rats. *Journal of Applied Physiology*, 26(5), 585-588.
- Urso, M. L., & Clarkson, P. M. (2003). Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. *Toxicology*, 189, 41-54.
- Williams, C., Nute, M. G., & Broadbank, L. (1990). Influence of fluid intake on endurance running performance. A comparison between water, glucose and fructose solutions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(2), 112-119.
- Williams, M. H. (2002). *Nutrition for Health, Fitness & Sport* (6th ed). McGraw Hill.
- Winder, W. W., Harberg, J. M., Hickson, R. C., Ehsani, A. A., & McLane, J. A. (1978). Time course of sympathoadrenal adaptation to endurance exercise training in man. *Journal of Applied Physiology*, 45(3), 370-374.
- Yoon, D. S. (2005). *Analysis of blood components and electromyogram according to technical motions of Kumdo*. Ms.D Dissertation, Suwon University.

반복적 검도 토너먼트 경기 수행이 엘리트 검도 선수의 혈중 가스, 이온, 및 피로 부산물 농도에 미치는 영향

하재운 · 허성훈 · 안경준 · 이종삼(대구대학교 체육과학연구소), 권영우(영남대학교)

이 연구는 엘리트(elite) 학생 검도선수들의 가상 검도 개인전 토너먼트 경기 수행 시 나타나는 혈중 구성 성분과 피로물질의 변화 양상을 조사해 엘리트 검도선수들의 경기력 향상을 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다. 연구를 위해 경상북도 소재의 D대학 학생 검도 선수 중 개인전 입상 경험이 있는 8명(최대산소섭취량, $51.5 \pm 8.8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 체지방율, $12.4 \pm 8.8 \%$)의 선수를 선발하였으며 실제 경기 상황을 가정해 전국 규모의 시합에서와 같이 64강부터 결승까지 총 6번의 경기를 치르도록 실험 설계를 하여 혈액 내 가스, 이온, 에너지 기질, 및 피로 부산 물질들에 대한 분석을 수행하였다. 이원변량분석(TWOWAY ANOVA)을 통해 두 요인 간(, 토너먼트 라운드 x 경기 전과 후) 상호작용과 주효과를 검증하였으며 통계적 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다. 혈중 수소 이온 농도와 산소 분압은 유의한 영향을 받지 않은 반면, 이산화탄소 분압은 시합이 반복됨에 따라 뚜렷한 감소 경향을 나타냈다. 헤마토크리트와 헤모글로빈은 토너먼트 초반부에서만 유의한 증가를 나타냈다. 혈중 Na^+ 농도는 토너먼트가 진행될수록 증가하는 결과를 나타낸 반면, K^+ 농도는 감소하는 양상을 나타냈으며 Ca^{2+} 의 농도는 변화를 나타내지 않았다. 혈중 포도당은 변화의 양상이 일정하게 나타나지 않았으나 경기 전과 비교해 경기 종료 후 증가하는 경향이 두드러졌으며 젖산과 암모니아, 요산의 농도는 경기 후 그리고 토너먼트의 진행에 따라 축적되는 결과를 나타냈다. 이와 함께, 유리지방산은 토너먼트의 진행에 따라 농도의 상승을 나타냈으며 심박수의 변화는 토너먼트가 진행됨에 따라 유의한 변화를 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 반복적으로 토너먼트 경기에의 참여가 혈중 피로 부산 물질의 축적을 유발하고 다양한 이온 성분과 에너지 기질에 유의한 변화를 야기함을 확인하는 것이었다. 따라서 제한된 시간 내에 반복적으로 경기를 치루는 검도 토너먼트 경기에의 참가 시 피로 관리 및 에너지 기질의 적절한 공급을 이루어낼 수 있는 대책 마련이 요구된다 하겠다.

주요어: 검도 경기, 엘리트(elite) 검도 선수, 혈중 피로 물질, 혈중 구성 성분