韓國産業應用學會論文誌 제3권 제2호 155.-166, 2000.5
J. of Korea Society of Industrial Application, Vol.3, No.2, 155-166, May. 2000

環境溫度에 따른 運動수행전후 電解質 및 호르몬의 成分變化
The element changes of Electrolytes and Hormones Pre & Post the Performance of Exercises Induces by Environment Temperature

이 재 식*
Jae-Sik Lee*

<Abstract>

In order to elucidate the interrelationship between electrolytes and exercise the investigation was undertaken to determine the electrolyte levels in young males took on varied environmental temperatures (13℃, 24 ℃ or 34℃). 10 healthy young males were used for the experiments. Our results showed the following significant changes;

1. The raising of the environmental temperature, the weight reduction were increased due to marked sweating.
2. In the electrolytes of serum, decreased the K^+ concentration at 13℃, but increased the Na^+ or Cl^- concentration at 24℃, and increased the Na^+ or Cl^-, or Mg^{++} concentrations at 34℃.
3. The raising of environmental temperature appear to be increased PRA,Ang I, Ang II and ALD levels, whereas no changed ADH level.
4. Serum levels of PRA, Ang I, Ang II and ALD were incresed after exercise, and their increments were incresed parallel to the increased environmental temperature. However, there no significant change in ADH, level.

In conclusion, exercise induced not only changes of serum electrolytes levels such as Na^+, Cl^-, K^+, Mg^{++}, but also serum hormonal changes such as PRA, Ang I, Ang II, ALD. However, ADH level was not changed significantly. These changes were more prominent in exercise at hot temperature than in lower temperature.

Key words : Electrolyte, Hormone, Aldosterone, Renin

* 정회원 : 영남이공대학 교양과 교수, 理博,
동아대학교 대학원 졸업
705-037 / 대구시 남구 대명동 1737
053-650-9398 / 011-506-9398

* Prof. Dept. of general course Yeungnam College of Science & Technology
1737 Taemyeung-dong, Nam-gu, Taegu,705-037, Korea

이 논문은 1999학년도 영남이공대학 연구조성비에 의한 것임

1. 서 론

1.1 연구의 필요성 및 목적

우리 몸의 성분 중 아주 적은 양으로 존재하지만 세포의 기능이 적절히 조절될 수 있는 환경을 유지하는데 필수적인 여러 가지 종류의 전해질이 있다.이들 전해질 중에서 가장 중요한 부분을 차지하는 것들로는 Na^+, K^+, CI^-, Ca^{++}, Mg^{++} 등이 있으며, 이들의 적절한 농도 유지에는 신장이나 소화 기관 및 골격계 등 여러 가지 조절 기전(mechanism)들이 관여한다. 특히 항이뇨호르몬 ADH(antidiuretic hormone),aldosterone, renin-angiotensin system 등의 호르몬은 전해질 대사의 조절 기전에 가장 중요한 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다(玄, 1990).

정상 생체에서는 이들 조절 기전에 인하여 생리학적인 범위 내에서 잘 유지되지만, 심한 운동으로 전해질이 많이 손실되거나 섭취 장애로 전해질의 흡수가 감소한 경우 및 신장의 재흡수 장애로 인하여 전해질의 농도는 감소하게 된다. 전해질의 농도가 감소하면 전해질의 손실을 줄이기 위하여 조절 기전이 작동되고 이들 조절 기전으로써 조절할 수 있는 범위를 넘어서는 경우에 여러 가지 임상 증상들이 나타나게 된다. 예를 들어 Na^+의 농도가 감소하면 나른함과 무력감이 나타나며, K^+의 농도가 감소하면 근무력증(muscle weakness)과 부정맥(arrhythmia)이 나타나고, Ca^{++}의 농도감소는 불안정감과 근육의 불수의적인 수축이 발생하게 된다.

운동을 하면 열이 발생하게 되며, 생체는 체온을 유지하기 위하여 필요 이상의 열을 외부로 발산하게 된다(Houdas & Ring, 1982 ; Houdas 등, 1978). 열을 외부로 발산하는 방법은 체온이 외부 온도보다 높은 경우에는 복사나 발한 그리고 전도기전에 의하여 피부나 호흡기를 통하여 열이 발산되지만, 반대로 외부 온도가 체온보다 높은 경우에는 발한기전으로써만 열손실이 가능하다 (Howell 등, 1989 ; Shapiro 등, 1982). 즉 땀이 증발되면서 열에너지를 방출할 수 있다.

특히 고온 다습한 환경에서 1시간 동안 지속적으로 운동을 수행했을 때 체중이 약 2.5kg 정도 감소한다고 하며 이 체중 감소는 땀의 손실에 의한다. 땀으로 인해 체중의 약 3%가 감소하면 운동수행능력의 현저한 감소가 초래되며, 5~10%의 체중이 감소한 경우에는 근육 경련이나 구토와 같은 증상이 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 소금을 섭취해야 하는데 과도한 섭취는 오히려 더 해롭다.

운동시 땀의 손실로 혈량이 감소하여 전해질의 변화가 초래되면 (Wilkerson 등, 1982; Nielsen 등, 1986; Armstrong 등, 1985), 이를 교정하기 위하여 체액 조절성 호르몬의 분비가 증가하게 된다고 한다(Gilli 등. 1984 ; Lijnen 등, 1985 ; Melin 등, 1980; Francis & MacGregor, 1978). 특히 혈장량의 감소는 ADH의 분비를 촉진시키며, 혈압과 Na^+의 변화는 renin-angiotensin계의 활성화를, Na^+과 K^+의 변화는 angiotensin II와 더불어 aldosterone의 분비를 자극하게 된다 (Poort- mans, 1984).

고온에서 운동을 수행할 때 전해질 대사와 이에 따른 호르몬의 변동에 관한 연구는 활발히 이루어져 왔다. Convertino 등 (1981)은 사람에서 운동 강도가 증가할수록 혈액량이 감소하고 Na^+의 농도가 증가하여 혈장 renin 활성도(PRA)와 ADH가 증가한다고 보고하였으며, Melin 등 (1980)은 훈련된 사람이 운동할 때 혈중 PRA, ALD 및 ADH의 변화가 대조군에 비하여 낮음을 보고하였다.

또한 Amstrong 등 (1985)은 고온 환경과 유사한 탈수 상황에서 달리기 운동 수행시 달리기 속도가 감소함을 보고하였으며,Francis 와 MacGregor (1978)은 고온환경에서 운동수행시 PRA와 ALD가 증가한다고 보고 등 고온환경에서의 연구는 많이 있으나 환경온도의 차이에 따른 운동수행전후 전해질 및 호르몬의 성분변화에 관한 보고는 거의 없는 실정이다.

운동수행력은 장소와 계절 등에 따라 온도, 습도, 기압, 풍속 등에 의하여 영향을 받을 수 있으며 선수와 지도자는 이러한 환경적인 요인을 고려하여 경기를 준비하고 훈련에 임해야 한다. 특히 체온 유지를 위한 발한량과 거기에 따른 전해질 손실에 대한 수분 및 전해질 공급이 절

실히 요구되기 때문에 이에 대한 대처가 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 환경온도가 다른 13℃, 24℃, 34℃에서의 운동수행전후 전해질 및 호르몬 대사 변화를 분석하여 온도변화에 효과적으로 적응하기 위한 운동지도의 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구의 대상은 대구에 소재하는 Y대학에 재학중인 남학생으로 규칙적으로 운동을 하는 10명을 대상으로 정하였으며 이들의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical Characteristics of Subjects

	exercise group
Age(year)	19.4±0.97
Height(cm)	173..0±5.40
Weight(kg)	64.0±7.80
Body surface area(m^2)	1.76±0.124

Values are mean±SD.

2.2 측정 방법

측정 시 온도의 설정은 마라톤 선수들이 경기하기에 가장 이상적인 온도인 13℃(1999년 3월 23일, 습도 40%, 풍속 3.3m/sec)와, 활동하기에 가장 쾌적한 온도인 24℃(1999년 5월 5일, 습도 53%, 풍속 0.7m/sec), 그리고 운동하기에 고온다습한 환경이라고 생각되는 온도 34℃(1999년 6월 14일, 습도 53%, 풍속 4.3m/sec)로 하였다. 단, 습도는 외부 운동장에서 실시해서 똑같은 조건을 취하지 못하였다. 운동 부하는 2.5km 달리기로 하였으며, 3회 모두 오후 1시에서 2시 30분 사이 Y대학 운동장에서 실시하였다.

측정항목은 혈중 전해질 (Na^+, K^+, Cl^-, Ca^{++}, Mg^{++})과 혈중 호르몬 (Plasma renin activity; PRA, AngiotensinI;AngI, Angiotensin II; Ang II, Aldosterone; ALD, Antidiuretic hormone;A DH)으로 하였다.

전해질과 호르몬 측정을 위한 실험 중 채혈은 2.5Km 트랙달리기 운동 시작 전과, 운동이 끝난 직후에 온열 주머니를 찬 손목의 정맥에서 20㎖씩 취하였다. 채혈한 혈액은 즉시 원심분리기로 혈장과 혈액 세포로 분리하여, 혈장은 분석하기 전까지 -196℃의 액체 질소 탱크에 보관하였다. 혈중 전해질 중 Na^+, K^+, Cl^-의 농도는 전극식 전해질 분석장치인 electrode법을 이용하여 분석하였고, Ca^{++}의 농도는 OCPC법으로 분석하였으며, 혈중 Mg^{++}은 크실렌 블루법을 이용하여 비색 정량하였다.

호르몬 분석(Renin, Ang I, AngII, ALD, ADH)은 γ-선을 이용한 방사면역 측정법(radioimmunoassay)으로 하였다.

실험 도구는 Table 2와 같다.

Table 2. Experimental Equipment

Experimental apparatus	Manufacture	Model No	Remark
Electrolyte Analyzer	Kone	Microlyte	SerumNa^{+},K^{+},Cl^{-}
OCPC법	아산제약	Hitachi 7150	Serum Ca^{++}
크실렌블루법	第一化學	Hitachi 7150	Serum Mg^{++}
RIA법	Pamasa	CL-750	Renin,ADH,ALD, Hormone
RIA법	Aroka	Renin1202-24	Angiotensin I, II

본 연구에서 측정된 결과에 대한 통계처리는 SPSS/PC+ 통계 package program을 이용하였으며, 각 측정항목에 대한 평균(mean) 및 표준편차(SD)를 구하였고, 운동 전·후 평균 차이에 대한 유의성 검증은 Student *t*-test로 실시하였다. 각 온도별 차이에 대한 유의성 검증은 일원변량분석 (one-way ANO VA)으로 하였으며, 5%($p<0.05$)이내를 통계적으로 유의하다고 보았다. 사후 검증은 Newman-Keuls법으로 실시하였다.

3. 연구결과

3.1 체중 및 체온의 변화

외부환경온도가 13℃, 24℃, 34℃일 때 2.5km 달리기 전·후의 체중과 체온의 변화결과는 Table 3과 같다.

체중의 변화는 13℃에서는 324±0.2964g, 24℃

에서는 340±0.1101g, 34℃에서는 600±0.2082g으로 외부환경온도가 올라갈수록 체온 조절을 위한 수분감소량(땀)이 증가하였다.

체온은 13℃에서 운동 전·후를 비교해 보면 운동 전에는 36.01±0.574에서 운동 후에는 35.30±0.680로($p<0.05$), 24℃에서는 36.57±0.401에서 35.75±0.652로 유의하게($p<0.01$) 각각 감소함을 볼 수 있으나, 34℃에서는 37.04±0.243에서 36.81±0.459로 유의차는 없지만 감소하는 경향으로 나타났다.

혈중 호르몬 중 PRA의 농도(ng/mℓ/hr)는 운동 전·후를 보면 1.55±0.949에서 5.49±3.784로($p<0.01$), Ang I 의 농도(pg/mℓ)는 541.0±459.62에서 1471.0±1287.43로($p<0.05$), AngII의 농도(pg/mℓ)는 21.7±19.67에서 51.5±46.04로($p<0.05$), ALD농도(pg/mℓ)는 102.1±65.21에서 161.8±100.15로 각각 유의하게($p<0.01$) 증가하였다. ADH는 운동전·후 거의 변화가 없었다.

Table 3. Changes in body weight and temperature after 2.5km running on the track at different temperature(n=10)

Temp.	Body Weight(kg)			Body temperature(℃)			Exer time (min)
	Pre-exercise	Post-exercise	Diff(pre-post)	Pre-exercise	Post-exercise	Diff(pre-post)	
13℃	64.59±7.559	64.27±7.591	-0.324±0.2964	36.01±0.574	35.30±0.680*	-0.705±0.6907	12.86±0.177
24℃	63.82±7.394	63.48±7.309	-0.340±0.1101	36.57±0.401	35.75±0.652**	-0.821±0.8954	12.86±0.498
34℃	63.40±7.430	62.80±7.432	-0.600±0.2082	37.04±0.243	36.81±0.459	-0.237±0.3857	13.06±0.429
F-ratio	0.1815	0.2231	3.7743	0.6788	10.3751	1.4559	
Pvalue	·	·	p<0.05	p<0.001	p<0.001	·	

values are mean±SD TEMP; temperature, Exer time; exercise time

* Significantly different from Pre-exercise ($p<0.05$).

** Significantly different from Pre-exercise ($p<0.01$).

3.2 외부환경온도가 13℃일 때 혈청의 전해질 및 호르몬 변화

13℃에서의 운동 전·후 혈중 전해질과 호르몬 변화의 결과는 Table 4와 Fig. 1, 2와 같다.

13℃에서 혈중 전해질에서는 Na^+의 농도(mEq/ℓ)는 운동 전 139.1±1.37에서 운동후 138.8±1.23으로 거의 변화가 없었다. K^+의 농도(mEq/ℓ)는 운동 전 5.21±0.484에서 운동후 4.66±0.504로 유의하게($p<0.05$) 감소하였다. Cl^-의 농도(mEq/ℓ)는 운동 전 105.9±1.45에서 운동후 107.2±1.81로 다소 증가하는 경향으로 나타났다. Ca^{++}농도(mg/dℓ)는 운동 전 9.02±0.305에서 운동후 9.10±0.320로 다소 증가하는 경향으로 나타났다. Mg^{++}농도(mg/dℓ)는 운동 전 2.04±0.171에서 운동후 1.97±0.279로 다소 감소하였다. 통계학 적으로 Na^{++}, Cl^-, Ca^{++}, Mg^{++}

3.3 외부환경온도가 24℃일 때 혈청의 전해질 및 호르몬 변화

24℃에서는 운동 전·후의 혈중 전해질과 호르몬의 변화는 Table5와 Fig. 1, 2와 같다.

Na^+의 농도(mEg/ℓ)는 운동 전·후를 보면 138.1±1.97에서 140.7±1.16로 증가하여 혈액이 농축되었음을 보여주었다. Na^+의 농도와 마찬가지로 Cl^-의 농도(mEg/ℓ)는 운동 전·후에는 111.9±3.38에서 116.6±2.63으로 운동 후 유의하게($p<0.01$, $p<0.05$) 증가하였다. K^+의 농도(mEq/ℓ)는 운동 전·후를 보면 4.12±0.343에서 4.21±0.26으로 다소 증가하였으며, Ca^{++}의 농도(mg/dℓ)도 운동 전·후를 보면 9.31±0.311에서 9.40±0.316으로, Mg^{++}의 농도(mg/dℓ)역시 운동 전·후를 보면 1.84±0.178에서 1.88±0.148으로 다소 증가를 보였다.

Table 4. Changes in concentration of serum electrolytes and hormones after 2.5km running on the track at 13℃.

	Pre-exercise	Post-exercise
Electrolytes		
Na^{+} (mEq/ℓ)	139.1±1.37	138.8±1.23
K^{+} (mEq/ℓ)	5.21±0.484	4.66±0.504*
Cl^{-} (mEq/ℓ)	105.9±1.45	107.2±1.81
Ca^{++} (mg/dℓ)	9.02±0.305	9.10±0.320
Mg^{++} (mg/dℓ)	2.04±0.171	1.97±0.279
Hormones		
PRA (ng/mℓ/hr)	1.55±0.94954	5.49±3.784**
Ang I (pg/mℓ)	1.0±459.62	1471.0±1287.43*
Ang II(pg/mℓ)	21.7±19.67	51.5±46.04*
ALD (pg/mℓ)	12.1±65.21	161.8±100.15**
ADH (pg/mℓ)	1.68±0.473	1.98±0.958

Values are mean±SD.
* Significantly different from Pre-exercise ($p<0.05$).
** Significantly different from Pre-exercise ($p<0.01$)

통계학적으로 K^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}의 농도(mg/dℓ)는 운동 전·후 거의 변화가 없었다.

혈중 호르몬 중 PRA농도(ng/mℓ/hr)는 운동 전·후를 보면 2.45±1.321에서 7.74±3.517로 ($p<0.001$), Ang I 농도(pg/mℓ)는 1060.0±777.65에서 3594.0±3591.33로($p<0.05$), AngII농도(pg/mℓ)는 14.9±15.31에서 72.4±76.59로($p<0.05$), ALD의 농도(pg/mℓ)는 100.7±47.20에서 183.9±65.19로 유의하게($p<0.01$) 증가하였으나, ADH의 농도는 거의 변화가 없었다.

3.4 외부환경온도가 34℃일 때 혈청의 전해질 및 호르몬 변화

34℃에서의 운동 전·후 혈중 전해질과 호르몬의 변화는 Table 6과 Fig.1,2에 나타내었다.

Na^{+}의 농도(mEg/ℓ)는 운동 전·후를 보면 137.0±0.94에서 138.6±1.78로 ($p<0.05$), Cl^{-}의 농도(mEq/ℓ)는 104.8±0.63에서 107.2±1.14로 ($p<0.001$), Mg^{++}의 농도(mg/dℓ)는 운동전 2.19±0.129에서 2.35±0.097로, 각각 유의하게($p<0.05$) 증가하였으나, K^{+}의 농도(mEq/ℓ)는 4.87±1.153에서 4.99±1.155로, Ca^{++}(mg/dℓ)의 농도는 9.44±0.272에서 9.66±0.196으로 운동 전·후에 거의 변화가 없었다.

Table 5. Changes in concentration serum electrolytes and hormones after 2.5km running on the track at 24℃.

	Pre-exercise	Post-exercise
Electrolytes		
Na^{+} (mEq/ℓ)	137.0±0.94	138.6±1.78*
K^{+} (mEq/ℓ)	4.87±1.153	4.99±1.155
Cl^{--} (mEq/ℓ)	104.8±0.63	107.2±1.14***
Ca^{++} (mg/dℓ)	9.44±0.272	9.66±0.196
Mg^{++} (mg/dℓ)	2.19±0.129	2.35±0.097*
Hormones		
PRA (ng/mℓ/hr)	3.78±2.441	12.75±4.487***
Ang I (pg/mℓ)	2882.0±2625.71	7070.0±4452.48*
Ang II(pg/mℓ)	146.5±87.35	438.8±404.31*
ALD (pg/mℓ)	86.7±41.40	241.4±140.58**
ADH (pg/mℓ)	1.52±0.319	1.69±0.247

Values are mean±SD.
* Significantly different from Pre-exercise ($p<0.05$).
** Significantly different from Pre-exercise ($p<0.01$).
*** Significantly different from Pre-exercise ($p<0.001$).

호르몬을 보면 운동 전·후에 PRA농도(ng/mℓ/hr)는 3.78±2.441에서 12.75±4.487로 ($p<0.001$), AngI농도(pg/mℓ)는 2882±2625.71에서 7070.0±4452.48로 ($p<0.05$), AngII농도(pg/mℓ)는 146.5±87.35 에서 438.8±404.31($p<0.05$), ALD의 농도(pg/mℓ)는 86.7±41.40에서 241.4±140.58로 유의하게($p<0.01$) 증가하였으나, ADH의 농도(pg/mℓ)는 1.52±0.319에서 1.69±0.247로 변화가 없었다.

Table 6. Changes in concentration of serum electrolytes and hormones after 2.5km running on the track at 34℃.

	Pre-exercise	Post-exercise
Electrolytes		
Na^{+} (mEq/ℓ)	138.1±1.97	140.7±1.16**
K^{+} (mEq/ℓ)	4.12±0.343	4.21±0.264
Cl^{-} (mEq/ℓ)	111.9±3.38	116.6±2.63*
Ca^{++} (mg/dℓ)	9.31±0.311	9.40±0.316
Mg^{++} (mg/dℓ)	1.84±0.178	1.88±0.148
Hormones		
PRA (ng/mℓ/hr)	2.45±1.321	7.74±3.517***
Ang I (pg/mℓ)	1060.0±777.65	3594.0±3591.33*
Ang II(pg/mℓ)	14.9±15.31	72.4±76.59*
ALD (pg/mℓ)	100.7±47.20	183.9±65.19**
ADH (pg/mℓ)	1.65±0.973	1.64±0.740

Values are mean±SD.
* Significantly different from Pre-exercise ($p<0.05$).
** Significantly different from Pre-exercise ($p<0.01$).
*** Significantly different from Pre-exercise ($p<0.001$).

3.5 13℃, 24℃, 34℃온도 간의 전해질 및 호르몬의 변화

외부환경온도 간의 전해질 및 호르몬 농도는 Fig.1, 2와 같다.

Na^{+}의 농도는 13℃와 24℃간에 13℃일 때보다 유의하게($p<0.01$) 증가하였으나, 13℃와 34℃, 24℃, 34℃사이에는 유의한 차이가 없었다.

K^{+}의 농도는 13℃와 24℃, 13℃와 34℃간에 유의하게($p<0.05$) 증가하였으나, 24℃와 34℃사이에 유의한 차이가 없었다.

Cl^{-}와 **Ca^{++}**의 농도는 13℃와24℃ 및 34℃간에 유의한 차이가 없었다.

Mg^{++}의 농도는 13℃와 34℃간에는 유의한 ($p<0.05$) 차이가 있었으나, 13℃와 24℃ 및 24℃와 34℃간에 유의하게($p<0.001$) 증가하였으나, 13℃와 24℃사이에는 유의한 차이가 없었다.

Ang I의 농도는 13℃와 24℃($p<0.05$), 13℃와 34℃($p<0.05$) 및 24℃와 34℃사이에 유의하게($p<0.05$) 차이가 있었다.

AngII의 농도는 13℃와 24℃, 및 34℃각 군간에 유의한 차이가 없었다.

ALD의 농도는 13℃와 34℃간에 유의한 ($p<0.05$) 차이가 있었으나, 13℃와 24℃, 24℃와 34℃사이에는 유의한 차이가 없었다..

ADH의 농도는 13℃와 24℃, 및 34℃ 각 군간에 유의한 차이가 없었다.

4. 고 찰

4.1 체중 및 체온의 변화

13℃일 때 체중감소는 324±0.2964, 24℃일때는 340±0.1101, 34℃일때는 600±0.2802로 온도가 상승할수록 높았다. 伊藤 朗(1990)에 의하면 달리기 종목의 발한량은 1100 mℓ/hr, 마라톤의 경우는 1300 ~ 1500 mℓ/hr이며, 이것은 본 실험에서 13℃ 발한량은 1510 mℓ/hr이고, 24℃는 1586 mℓ/hr로 이는 伊藤 朗(1990)의 달리기 종목의 경우와 유사한 결과였다. 34℃의 발한량은 2757 mℓ/hr는 伊藤 朗(1990)의 마라톤의 결과와 유사하였으며, 이것은 체온유지를 위한 발한량의 증가로 체중이 감소된 것으로 사료된다.

4.2 전해질 대사에 미치는 영향

(1) Na^{+}

Na^{+}은 세포 외액의 이온 중 가장 많은 부문(140mEq/ℓ)을 차지하며 삼투압 농도에 가장 큰 영향을 미친다. Na^{+}의 농도 변화로 혈액량의 변화를 짐작할 수 있으며 Na^{+}의 변화 자체가 renin-angiotensin system이나 ADH의 분비에 영향을 주게된다.

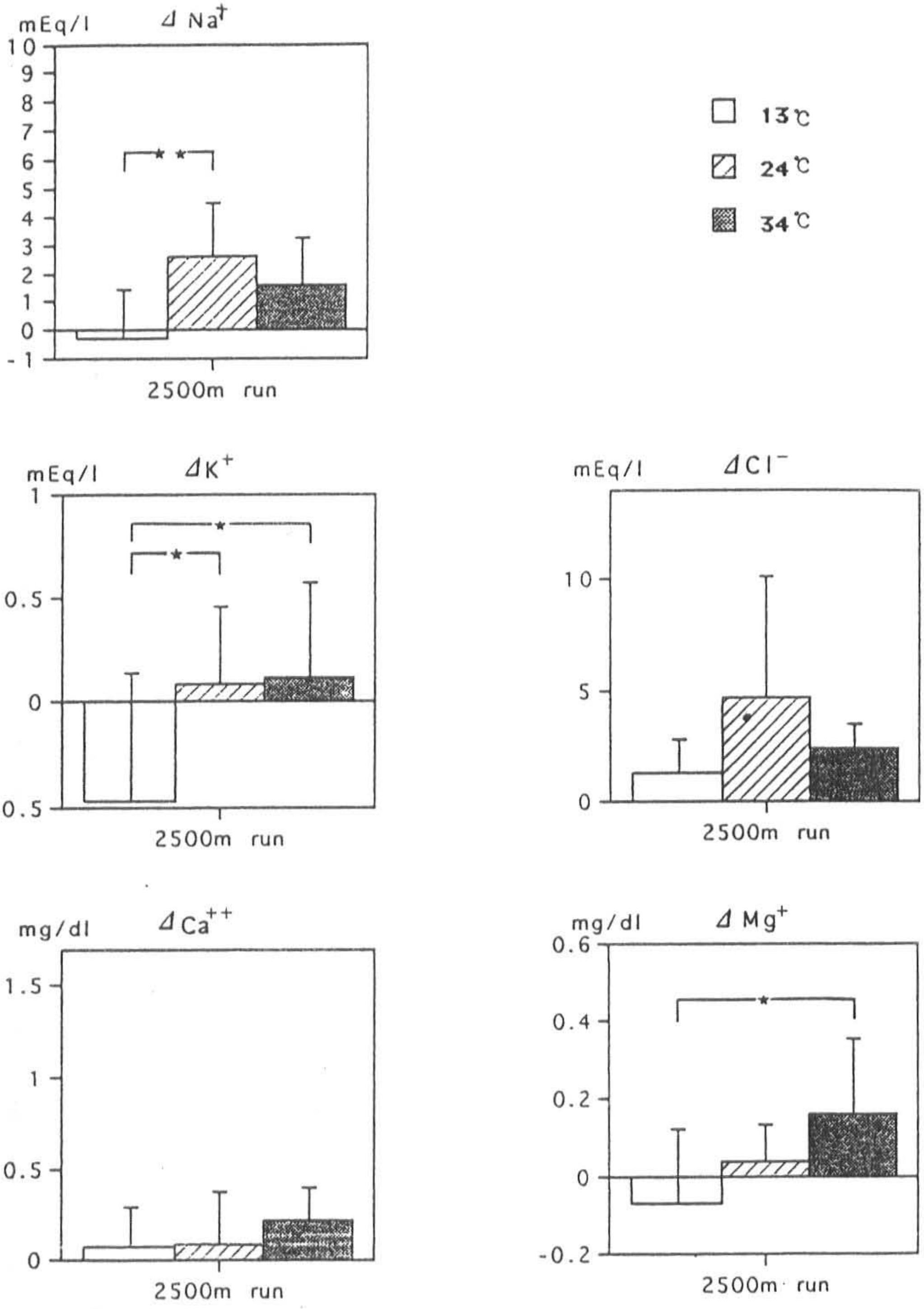

Fig.1. Incremental amounts of electrolyte after 2.5 km running at different temperture
★ $p<0.05$ ★★ $p<0.01$

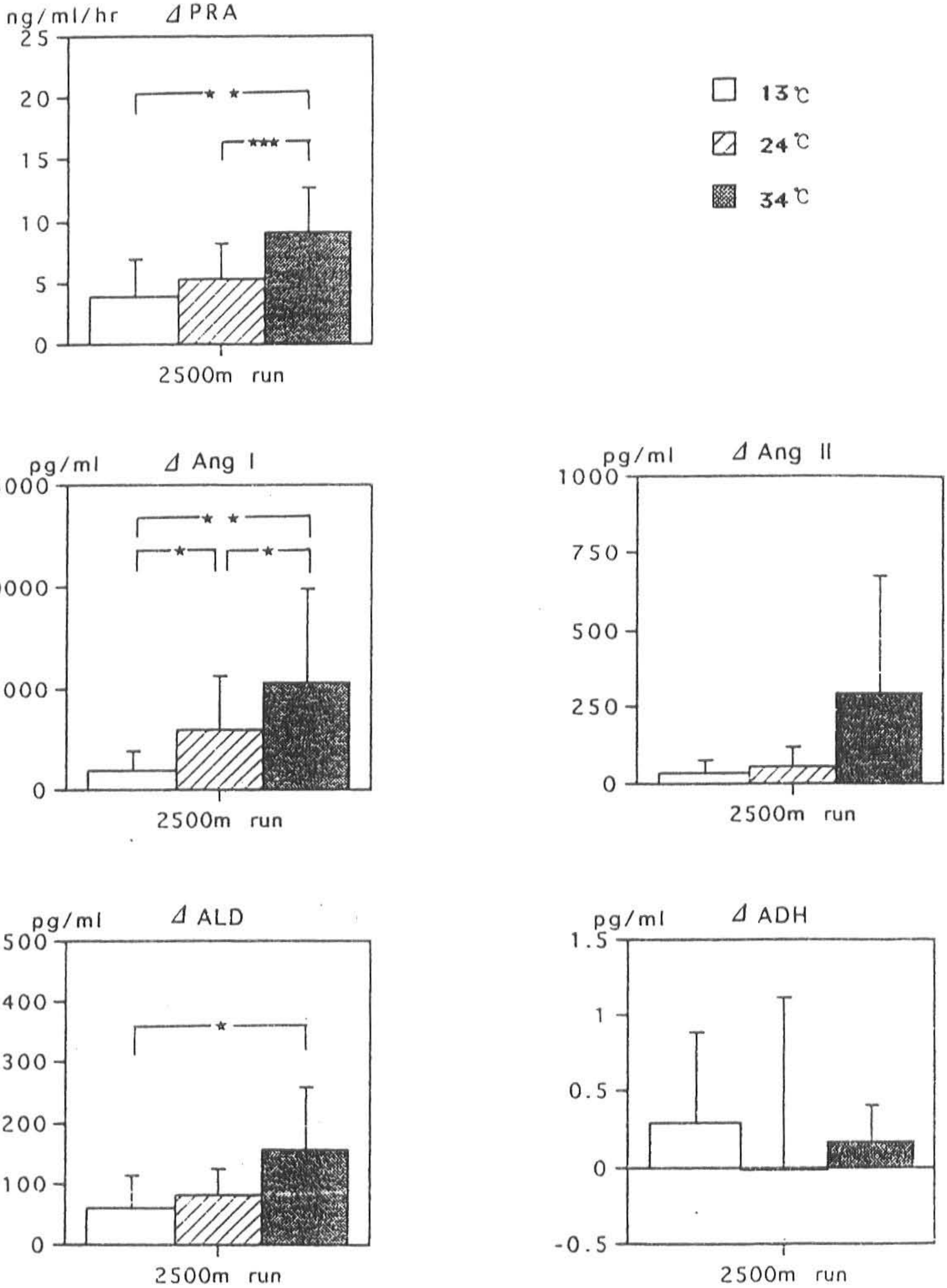

Fig.2. Incremental amounts of hormone after 2.5 km running at different temperture
★ $p<0.05$ ★★ $p<0.01$ ★★★ $p<0.001$

본 연구에서 13℃에서 달리기 운동의 Na^+농도 변화는 운동 전에 비하여 차이가 없었던 것은 Maron 등(1975) 및 Viru 등 (1971)의 결과와 일치하였다 (Table4). 이 결과는 13℃운동 전에 비하여 운동 후 체중 감소가 324g이었는데도 혈액의 농축이 없거나 땀의 Na^+성분이 체액과 비슷한 조성을 가지는 경우에 나타날 수 있음을 시사하며, 모세 혈관에서 혈장이 유출될 때 수분에 비해 Na^+의 유출이 느리고 임파계에서 혈장 Na^+농도 보다 낮은 저농도의 임파액이 혈관내로 유입되기 때문이라고 하였다.

24℃에서 달리기 운동 후의 Na^+농도는 운동 전에 비하여 유의하게($p<0.05$)증가하였으며 (Table 5), 이는 34℃의 경우도 마찬가지였다 (Table6). Na^+농도의 증가는 땀으로의 혈장 손실로 인한 혈액의 농축이 가장 큰 원인일 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서 운동 후 Na^+의 농도 증가 정도는 생리적인 범위를 벗어나는 수준은 아니었으며 Cl^-의 농도 역시 Na^+과 유사한 경향으로 변화하였다.

(2) K^+

K^+는 세포 내액에 가장 많은 양이온이며 세포 외액에는 상대적으로 적은 양(4~5m Eq / ℓ) 이 있으나 세포 외액의 K^+농도는 신경이나 근육과 같은 흥분성 조직의 반응에 밀접한 관련이 있으므로 매우 좁은 범위에서 잘 조절되어야 한다. K^+의 조절에 관여하는 인자로 인슐린과 같은 세포 내·외의 분포를 조절하여 농도를 유지하는 호르몬 외에 신장에 작용하는 ALD를 들 수 있는데 ALD는 체외로의 분비를 조절하여 농도를 유지하고자 한다.

운동시 K^+농도의 변화는 13℃에서 달리기 운동시 운동 전에 비하여 감소하

였으나 24℃, 34℃에서는 변화가 없었다. 본 실험의 결과와 같이 운동시 K^+의 변화에 관해서는 여러 보고에서도 차이가 있다. Rose 등 (1970), Greenleaf 등 (1977), Van Beau- mont (1974), Costill and Fink (1974), Criswell 등 (1992)은 운동시 증가한다고 보고하였고, 반대로 James 등 (1972), Costill (1984), 김 등 (1994) 및 Kunstlinger 등 (1987)은 오히려 감소한다고 보고하였다. 또, Armstrong 등 (1985)은 변화가 없다고 주장하여 논란이 있는 부분이다. 이러한 차이는 운동방법이나 시간, 온도의 차이에 기인하는 것으로 사료된다. 운동시 땀의 손실로 혈액이 농축되면 K^+의 농도는 일시 증가할 수 있으나 혈액의 농축으로 인하여 renin-angiotensin계에 이어 aldosterone이 증가하면 Na^+을 저장하기 위한 K^+의 체외유실로 K^+의 농도는 감소할 수도 있으며(James 등, 1972), 그 전환기에는 K^+의 농도가 안정시와 차이가 없을 수도 있다는 점 때문에 서로 다른 결과가 나왔을 것으로 사료된다.

그러나 본 실험에서는 K^+의 농도와 ALD와의 사이에 연관 관계가 성립하지 않았다(Table 4~6). 외부 온도가 증가할수록 운동 후 ALD농도의 증가폭은 커졌음에도 K^+의 농도가 감소하지 않는 점과 온도가 증가함에 따라 ALD농도의 증가없이 24시간 뇨의 K^+농도가 증가한 것은 K^+농도가 ALD이외의 요인에 의하여 크게 조절 받을 수 있다는 것을 시사한다(Table5, 6). 또한 ALD의 작용시간이 20~30분이 지나야 한다면 (Ganong, 1993), 본 실험에서 처럼 20분 이내의 운동으로는 ALD이 전해질 농도에 영향을 미치지 않을 수 있음으로 ALD와 K^+농도가 서로 연관성이 없는 결과가 나왔을 것으로 사료된다.

(3) Ca^{++}

다량 미네랄 중의 하나인 칼슘 이온의 농도는 전체 체중의 약 0.01%를 차지하고 있으며 좁은 범위 내에서 조절되어야 한다.

칼슘은 뼈의 형성, 효소의 활성 및 세포막 전위를 유지하는데 필수적인 요소이며 심장의 수축력이나 신경의 전도에 영향을 미치고 근수축시 중요한 기능을 담당하고 있다. Ca^{++}의 농도를 조절하는 인자로는 부갑상선 호르몬 (parathyroid hormone)과 칼시토닌(calcitonin)이 있다. 노 등 (1994)에 의하면 Ca^{++}의 농도는 운동선수와 비 운동선수들 간에는 유사한 수준을 유지하고있으며, 운동 부하 형태에 따른 차이도 없다고 하였다. 또한 적정수준 이하의 낮은 칼슘 섭취, 월경불순 및 낮은 뼈 밀도를 나타내는 운동 선수들은 골절 이상이 더욱 빈번하게 발생된다고 하였다. 본 연구 결과에 의하

면 혈중 Ca^{++}농도는 외부환경온도 13℃, 24℃, 34℃에서의 모든 온도에서 달리기 운동후 유의한 차이는 없었으나 증가하는 경향을 보여, 이는 Wilkerson (1982)의 결과와 일치한다.

이러한 증가는 Na^{+}농도와 같이 혈액 농축에 의한 것인지, 운동 수행에 필요한 심근 수축력의 증가와 같은 생체 기능의 조절을 위한 요구량의 증가에 기인한 것인지는, Ca^{++}조절 호르몬들의 변화와 연관지어 분석함으로써 규명할 수 있을 것이다.

(4) Mg^{++}

Mg^{++}은 세포내 양이온 중 K^{+} 다음으로 많은 양을 차지하고, 뼈의 형성과 근수축 및 신경 흥분을 억제하며 효소 활성을 촉진시키고 칼슘에 대한 길항적 작용을 한다. 또 다른 작용으로는 세포의 대사와 성장 조절, ATP-ADP 반응을 포함한 여러 반응의 효소 작용 및 신경근에서 칼슘과 균형을 유지한다. 김 등(1993)은 실험동물을 대상으로 탈진 상태까지 수영 운동을 실시하였을 때 혈장 마그네슘 농도는 안정 시 수준과 차이가 없었으며 이러한 경향은 훈련된 집단에서도 동일한 수준을 나타낸다고 하였다. 이와는 반대로 Rose 등 (1970)은 1969년 보스톤 마라톤 대회에 참여한 8명의 런너들에서 혈청 마그네슘 수준이 경기전에 비해 경기후에 유의하게 낮은 수준을 나타낸다고 보고하였으며, McDonald 등 (1988)은 이러한 운동후의 감소된 마그네슘 수준은 근조직 지방 조직 및 적혈구와 같은 세포로의 마그네슘 재분포 현상을 반영해 준다고 하였다.

이 같은 보고로 미루어 운동시 마그네슘의 변화가 흥미로울 것으로 예상하였지만, 34℃에서 달리기 운동 후에 유의하게($p<0.01$) 증가하였으나, 다른 외부환경온도는 변화가 없었다.

4.3 호르몬 대사에 미치는 영향

본 실험에서 측정한 혈액량의 조절 호르몬들의 특성을 살펴보면 다음과 같다. PRA은 신장으로의 혈류량과 Na^{+}의 농도가 감소하거나 교감 신경이 흥분할 때 방사구체세포 (juxtaglomerular cell)에서 분비되어 angiotensinoger을 angiotensin I (decapeptide)으로 변화시키고, 이것을 폐장의 전환효소 (angiotensin converting enzyme)에 의하여 활동형인 angiotensin II(octapeptide)로 바뀌어서 혈압을 상승시켜 신혈류량을 유지하게 되며, AngII는 대부분의 조직에 존재하는 angiotensinase 에 의하여 분해되어 불활성화된다

ALD는 부신피질에서 생성되며 체내의 Na^{+}, K^{+}의 균형을 맞추고 혈액량을 유지하는 역할을 하는 스테로이드 호르몬으로 소변, 땀, 침, 위장액에서 Na^{+}의 재흡수를 증가시키며 K^{+}를 배출하는 작용을 한다. ADH는 상시신경핵(supraoptic) 및 측뇌실핵(paraventricular)에서 생성되어 뇌하수체 후엽에 저장되었다가 삼투압이 증가하거나 혈액량의 감소 및 AngII에 의하여 혈중으로 유리되는 9개의 아미노산(nonapeptide)로서 신장의 Henle loop 상행부와 집합관에 작용하여 수분의 투과도를 증가시켜 삼투압을 낮추고 혈액량을 증가시키는 효과가 있다.

운동시에는 교감신경이 흥분하여 혈액의 재분포가 일어나서 신장으로의 혈류량이 감소하게 되며(Wade와 Claybaugh, 1980), 결과적으로 renin-angiotensin계가 작동되어 혈압을 증가시킴으로써 신혈류량을 유지하려는 반사로 나타나게 된다. 또한 증가된 AngII는 ALD와 ADH의 분비를 자극하며, Share와 Claybaugh(1972) Schrier 등(1979)은 전해질의 불균형과 삼투압의 증가로 인한 ALD와 ADH의 분비를 증폭시키는 효과가 있다고 하였다.

본 연구에서 안정 상태에서의 PRA, Ang I, AngII의 농도는 외부 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으나 ALD와 ADH는 유의한 차이가 없었다(Fig 2). 13℃에서의 2.5km 달리기 운동 후에는 Na^{+}농도의 감소없이 PRA, Ang I 및 AngII가 증가하였으며, 24℃와 34℃에서는 운동으로 인한 혈액 농축으로 Na^{+}의 농도는 오히려 증가하였는데도 PRA, Ang I, AngII 및 ALD이 증가하였다. 운동 후 Na^{+}농도의 변화는 외부 온도가 증가하는 것과 상관이 적었으나 PRA, Ang I, AngII 및 ALD의 분비는 외부 온도에 비례하여 증가하였는데, 이는 renin의 분비가 혈액 내 Na^{+}의 농도변화에 기

인하기보다는 운동 후 땀의 손실로 인한 혈액량의 감소와 교감 신경의 흥분으로 인하여 증가한 결과 Ang I, AngII, ALD의 증가가 연쇄적으로 초래된 것으로 생각된다. ALD는 24℃ 이상에서 달리기 운동시 증가하였으며 온도가 증가할수록 그 증가폭이 더 컸다. 그러나 ADH는 2.5km 달리기 운동 후 증가하지 않았다.

이는 Beardwell 등(1975)과 Wade Claybaugh (1980)의 결과에서 나타난 바와 같이 PRA는 운동 초기 급격히 증가하는데 비하여 ADH는 최대 심박수 70%의 운동강도로 최대하 운동에서는 서서히 증가하며 최대 운동시 급격히 증가하는 양상과 유사한 것으로 해석된다. 이는 ADH가 온열 스트레스보다 운동 강도에 더 영향을 받는다는 Wade와 Claybaugh (1980)의 결과와 일치하였다. 본 연구에서와 같이 각 온도에서의 2.5km 달리기 운동으로 인한 Na^+의 농도 증가가 심하지 않은 것도 ADH의 분비증가가 나타나지 않는 한 원인으로 사료된다.

운동 강도가 증가할수록 체중의 감소, 즉 발한량이 증가하고 이는 혈액량의 감소와 혈액 농축으로 이어진다(Wilkerson 등, 1977). 혈액량의 감소는 경동맥동(carotid sinus)과 대동맥궁(aortic arch)의 압력 감수기나 좌심방에 있는 압력감수기에 작용하여(Share와 Claybaugh, 1972) ADH의 분비를 자극하게 되고(Vera와 Croxatto 1954 ; Kozlowski 등 1967), 삼투수용체에서 삼투압 또는 Na^+의 농도 증가를 감지하여 ADH의 분비가 자극되며(Convertino 등 1981), 전해질의 불균형이 오면 ALD의 분비가 증가하게 된다고 한다. 그러나 본 연구 결과는 최대 운동시 혈압이 감소한다는 Rowell(1974)의 결과와는 달리 심박수는 증가하였으며 수축기 혈압이 증가하였는데도 이들 호르몬이 증가하였다는 것은 운동이 전해질 불균형뿐 아니라 혈액동력학적(hemodynamic)변화를 크게 초래했음을 의미한다. 또한 혈액의 재분포로 간과 신장으로의 혈류량이 감소되어 (Rowell, 1974), 이들 장기에서 대사되는 호르몬의 제거율이 감소하여 혈중 호르몬 농도가 증가할 수 있다는 점도 하나의 원인으로 사료된다. PRA을 제외한 이들 호르몬의 반감기가 수분에서 십수분 이내인 점으로 보아 제거율의 감소는 농도에 크게 영향을 줄 수도 있다.

이상의 운동시 전해질과 호르몬 변화로 보아 운동의 초기에는 renin-angiotensin계가 작동되고 뒤이어 ALD가 증가하며 ADH는 가장 늦게 반응하는 것으로 사료되었다. 또한 ADH를 제외한 이들 호르몬의 변화는 온열 스트레스가 클수록 그 증가의 폭이 컸으며 이로 미루어 온열 스트레스의 증가가 혈액동력학적 변화를 심하게 초래하는 것으로 사료된다.

5. 결 론

대구에 있는 Y대학 재학생으로 규칙적으로 운동을 실시한 남자 대학생 10명을 대상으로 환경온도가 13℃, 24℃, 34℃일 때 운동수행전후 혈청 전해질 및 호르몬의 성분변화에 관해 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 체중은 환경온도가 상승할수록 감소하는 경향으로 나타났다.
2. 혈청 전해질은 13℃일 때는 K^+가 감소하였고, 24℃일 때는 Na^+과 Cl^-이, 34℃ 일 때는 Na^+, Cl^+, 및 Mg^{++}가 증가하였다.
3. 혈청의 호르몬중 PRA, AngI, II와 ALD는 운동 후 모두 유의하게 증가 하였으나, ADH는 변화가 없었다.
4. 혈청호르몬의 운동 후 증가폭은 PRA, AngI,II와 ALD에서 외부환경 온도가 증가할수록 높았다.

이상과 같은 결과로서 13℃, 24℃, 34℃의 운동에서 운동 후 전해질의 변화는 13℃에서는 K^+이 감소하였고, 24℃, 34℃에서는 Na^+, Cl^- 및 Mg^{++}이 증가한 경향으로 나타나, 온도가 상승할수록 혈액의 Na^+, Cl^-가 증가하게 되어 고온환경에서 운동시 NaCl공급이 필요하다. 또한, 혈중 호르몬으로 PRA, AngI, II와 ALD는 운동 후 증가하였으며 그 증가폭은 고온 환경일수록 높았다.

참 고 문 헌

1) 노성규, 이진하, 홍복교: 운동 유형이 혈중

미네랄과 에너지 관련 호르몬 변화에 미치는 영향. 스포오츠 科學硏究論業, 文化體育部, p.182, 1994.
2) 현송자 : 운동 생화학. 서울, 보경문화사, p.233, 1990.
3) Armstrong L E, Hubbard R W, Szlyk P C, Mathew W T and Sils I V : Voluntray dehydration and electrolyte losses during prolonged exercise in the heat, Aviat Space Environ. Med, 56(8), pp.765-770, 1985
4) Beardwell C G, Geelen G, palmer H M, Roberts D and Salamonson L : Radioimmuno-assay of plasma vasopressin in physiolgical and pathological states in man. J Endocrinol. 67, pp. 189-202, 1975.
5) Convertino V A, Keil L C, Bernauer E M and Greenleaf J E: Plasma volume, osmolality, vasopressin, and PRA activity during graded exercise in man. J Appl physiol. : Resporat Environ exercise Physiol. 50(1), pp.123-128, 1981.
6) Gilli P, De Paoli Vitali E, Tataranni G and Farinelli A: Exercise-induced urinary abnormali-ties in long distance runners. Int J Sports Med. 5(5), pp.237-240, 1984.
7) Golf S W, Happel O, Graef V, Seim K E : Plasma aldosterone, cortisol and electrolyte concentration in physical exercise after magne-sium supple-mentation. J Clin Chem Biochem, pp.717-721, 1984.
8) GuytonWB:Textbook of Medical Physiology. Saunders Company, 8th edition, p.949, 1991.
9) Houdas Y, Lecroart J L, Ledru C, Carette G and Guieu J D:The thermoregulatory mechanisms considered as a follow-up system. In: Houdas Y and Guieu J D(eds) New trends in thermal physiology Masson, New York, pp.11-19, 1978.
10) Howell, Fulton, Ruch and Patton : Textbook of physiology. Saunders Company. 21st edition, pp.1586-1587, 1989.
11) Lijnen P, Hespel P, Vanden Eynde E and Amery A: Urinary excretion of Eur. J Appl Physiol. 53(4), pp.317-321, 1985.
12) McDonald R and Keen C L: Iron, zinc and magnesium nutrition and athlitic
13) Melin B, Eclache J P, Geelen G A, Allevard A M, Jarsaillon E, Zebidi A, Legros J J and Gharib C L: Plasma AVP, neurophysin, PRA activity, and aldosterone during submaximal exercise perfomed until exhaustion in trained and untrainde men. Eur J Appl Physiol. 44(2), pp.141-151, 1980.
14) Nielsen B, Sjogaard G, Vgelvig J, Knudsen B and Dohlmann B: Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucosee-lectrolyte drinks. Eur J Appl Physiol. 55(3), pp.318-325, 1986.
15) Rocker L, Kirsch K A, Heyduck B, and Altenkirch H U : Influence of prolonged physical exercise on serum volume, serum proteins, electrolytes, and fluid-regulating hormones. Int J Sports Med. 10(4), pp.270-274, 1989.
16) Rose L I, Carroll D R, Lowe S L, Peterson E W and Cooper K H: Serum electrolyte changes after marathon running. J Appl Physiol. 29(4), pp.449-451, 1970.
17) Shapiro Y, Pandolf K B and Goldman R F: Predicting Sweat Loss Response to Exercise, Environment and Clothing, Eur J Appl Physiology 48, pp.83-96, 1982
18) Tatton H D, Fuchs A F, Chille B, Scher A M and Steiner R : Textbook of Physiology. Saunders Company 21th edition 6~7, pp.190~193, 1989.
19) Wade C E and Claybaugh J R: Plasma renin activity (PRA) vasopressin concentration, and urinary excretory responses to exercise in men. J Appl Physiol. 49(6), pp.930-936, 1980.
20) Wilkerson J E, Horvath S M, Gutin B, Molnar S and Diaz F J : Plasma electrolyte content and concentration during treadmill exercise in humans. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol. 53(6), pp.1529-1539,1982.

(1999년 12월 5일 접수, 2000년 3월18일 채택)