

# 유산소운동이 척수손상 흰쥐의 전해질 농도에 미치는 영향

하미숙 · 박래준<sup>1</sup>

마산대학 물리치료과, 대구대학교 재활과학대학 물리치료학과<sup>1</sup>

## The Effects of Aerobic Exercise on Electrolytes Concentration after Spinal Cord Injured Rats

Mi-sook Ha, PT, PhD, Rae-joon Park, PT, PhD.<sup>1</sup>

*Department of Physical Therapy, Masan University*

<sup>1</sup>*Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University*

### <Abstract>

**Purpose** : This study was to analyze the electrolyte such as blood Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> of aerobic exercise on spinal cord injured rats.

**Methods** : SCI model rats were damaged in L1-L2 injected with 6-hydroxydopamine(6-OHDA). For this study went on classifying the control group without aerobic exercise, experimental group with aerobic exercise. Experimental groups were applied as swimming for 15minutes.

**Results** : The results of this study were follows. 1) The body weight of the experimental group increased significantly after aerobic exercise(p<.05). 2) In the case of sodium(has been decreased significantly after 2 weeks(p<.05). 3) In the case of potassium has been increased significantly after 2 weeks(p<.05). 4) In the case of calcium has been increased significantly after 2 weeks(p<.05).

**Conclusion** : Aerobic exercise were positive effect in body weight and electrolyte of the spinal cord injury. Continued swimming exercise can be recommended as an effective intervention for the spinal cord injury.

---

**Key Words** : Aerobic exercise, Spinal cord injury, Electrolyte

### I. 서 론

신체활동은 건강을 증진시키고 노화를 방지하며 질병의 예방 및 치료에 효과가 있음이 밝혀졌다(홍

성찬, 1995). 그 중 적당한 운동은 대사적 측면에서 유산소 운동과 무산소 운동으로 구분되는데, 특히 걷기운동, 조깅, 수영 및 에어로빅 운동과 같이 지속적으로 많은 산소량을 요구하는 유산소성 운동이

---

교신저자 : 하미숙, E-mail: harpt@hanmail.net

논문접수일 : 2009년 10월 14일 / 수정접수일 : 2009년 11월 3일 / 게재승인일 : 2009년 11월 6일

인체의 생리 및 생화학적 변인에 미치는 효과에 대한 연구가 진행되고 있다(Ryschon, 1994). 운동으로 인해 나타나는 생리적인 변화들은 수분이 감소된 저수화 상태로 체온과 심박수를 증가시킬 뿐만 아니라 근육의 온도 증가, 땀의 배출 및 내성력의 감소, 증가된 혈장 삼투작용과 세포의 전해질 불균형 등이 일어난다고 보고하고 있다(Lyons 등, 1990).

이러한 유산소 운동은 척수손상 후 신경의 회복과 재생을 향상시키기 위해 치료에 사용되어지고 있다(Reid 등, 2001). 척수손상은 물리적인 요소에 의한 일차적 손상과 이에 따르는 이차적 손상으로 혈류변화와 산소분압 및 자가조절의 기능장애를 보이는 혈액학적 변화, 생화학적 변화, 부종, 에너지의 대사장애, 신경원과 신경교의 괴사 그리고 전해질의 변화 등이 복합적으로 작용한다고 알려졌다(Zhang, 2000). 특히 신경세포의 손상과정에서 일련의 생화학적 반응들이 일어나 세포손상으로 이어지는데 세포막의 펌프작용의 이상, 글루타메이트의 세포외 농도증가, 과도한 칼슘이온의 세포내 유입, 젖산의 축적 등 복잡하게 얽혀진 반응이 일어나며 세포막의 기능이 파괴된다(Zweifler, 2003).

즉 정상활동시 전해질은 몸의 내부환경을 조절하는 중요한 요소로서 체액에 용해되어 플러스 혹은 마이너스 전하를 띤 이온을 말하며, 인체 내에서 전해질은 산성도의 변화에 견디는 완충계의 부분으로 작용하는데 소량의 과다 또는 과소와 불균형 상태는 심한 기능장애를 나타내어 제대로 정상적인 기능을 발휘할 수 없게 한다고 하였다. 특히 전해질은 체액변화의 조절 및 세포막 투과성 유지 등의 작용을 하고, 신경과 근육의 흥분성을 조절하는 것으로 알려져 있으며, 체액 중 전해질은 주로  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  등이 일정한 비율로 포함되어 있다(이승범, 2008).

운동을 하는 동안 적당량의 전해질 농도는 최대 능력을 발휘하게 하며 운동과 훈련을 통해 전해질의 농도에 영향을 미치게 되는데, 유산소성 운동을 한 후 수분이 부족하게 되면 저혈량증이나 저나트륨혈증으로 운동수행에 부정적인 영향을 준다고 하였고(Glance 등, 2002), 운동으로 인해 전해질의 소실이 3~4시간 지속이 된다면 전해질의 항상성에 위

협요인이 될 수 있다고 하였다(Hew 등, 2003). 또한 Bouchard(1995)는 운동을 실시한 후  $\text{K}^+$ 수치가 증가하였다고 보고했으며, 현송자 등(2001)은 유산소 운동 후  $\text{Mg}^{2+}$ 의 농도가 저하되었다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 척수손상 후 세포막의 손상으로 나타나는 생화학적 변화와 유산소 운동에 따른 체중과 전해질의 변화를 살펴보고 운동에 따른 생리적 자료를 마련하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 대상

실험동물은 평균 체중이  $200 \pm 10\text{g}$  되는 SD계 수컷을 사용했으며, 실험동물의 사육은 온도  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도 50~60%, 명암은 12시간/12시간으로 조절하고, 식이와 물은 자유롭게 급식하도록 하였다. 척수손상은 실험동물을 Ketamine을 복강 내 주입하여 마취를 시행하여 등쪽의 털을 제거하고, 열 셋째 가슴 척추는 갈비뼈가 부착되어 있는 마지막 척추에 해당한다는 점을 기준으로 정확한 허리척추 L1-L2 부위를 확인한 후 드릴로 천공하고 6-OHDA를  $100\mu\text{l}$  주입한 후 10마리씩 실험군과 대조군으로 분류하였다.

### 2. 운동 방법

유산소 운동으로 수영을 하기 위해 자동수온 조절장치를 부착한 수조에 흰쥐 꼬리가 닿지 않도록 물을 충분히 채운 다음 척수손상 72시간 후부터 운동을 시행하여, 하루에 1회 15분씩 자발적으로 수영을 하도록 하였다. 수영 후에는 즉시 물기를 닦아주어 체온을 유지할 수 있도록 해주었다.

### 3. 전해질 분석

혈액의 채취는 실험동물들을 수영을 적용한 다음 12시간 동안 절식 후 ethyl ether로 마취하여 심장에서 직접 혈액을 채취하였다. 채혈된 혈액은 즉시 Heparin-tube에 넣고 흔들어 섞은 후 혈액을 3,000rpm에서 15분간 원심분리하여  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  등은

ISE(ion selective electrodes)의 검사방식으로 Ecolyte (Germany)로 분석하였다.

#### 4. 분석 방법

본 연구의 실험결과는 윈도우용 SPSS Version 12.0 을 사용하여 평균±표준편차로 표시하였다. 통계처리는 실험군과 대조군의 체중의 차이를 검정하기 위하여 일원변량분석(one-way ANOVA)을 실시하고, 사후분석은 Scheffe를 이용하였으며, 전해질의 농도 차이를 검정하기 위해 독립표본 t-검정(independent t-test)을 사용하였다. 통계학적 유의수준은 p<.05로 하였다.

### III. 결 과

#### 1. 체중의 변화

본 실험에서 수영을 통한 유산소 운동 후 대조군과 실험군의 체중변화를 검증한 결과는 대조군은 1일째 192.85±12.19에서 14일째 216.85±27.38로, 실험군은 1일째 192.85±22.88에서 14일째 247.14±21.18로 나타났으며, 실험군과 대조군간에 7일째부터 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 1).

Table 1. Body weight of the spinal cord injured rats.

	C.G	E.G
1day	192.85±12.19a	192.85±22.88a
4day	204.28±6.07b	203.42±13.56b
7day	206.42±9.88b	214.28±13.04c
10day	209.28±16.18b	229.28±20.49d
14day	216.85±27.38c	247.14±21.18e

Values within a column with different superscripts letters are significantly different each groups at p<.05  
C.G : control group  
E.G : experimental group

#### 2. Na+농도의 변화

유산소 운동이 Na+농도에 미치는 영향을 알아보기

위해 운동 2주 후에 측정된 결과는 Table 2와 같다. Na+농도의 경우 대조군에서는 129.71±3.40mEq/l로 나타났으며 실험군에서는 121.28±2.13mEq/l 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05).

Table 2. Sodium response to treatment following swimming (mEq/l)

Group	Mean±SD	t	p
C.G	129.71±3.40	115.340	.000*
E.G	121.28±2.13		

\*p<.05

#### 3. K+농도의 변화

유산소 운동이 K+농도에 미치는 영향을 알아본 결과에서 K+농도의 경우 대조군에서는 4.05±0.19mEq/l로 나타났으며 실험군에서는 4.90±0.12mEq/l로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 3).

Table 3. Potassium response to treatment following swimming (mEq/l)

Group	Mean±SD	t	p
C.G	4.05±0.19	51.146	.000*
E.G	4.90±0.12		

\*p<.05

#### 4. Ca2+농도의 변화

수영운동이 Ca2+농도에 미치는 영향을 알아보기 위해 운동 2주 후에 측정된 결과에서 Ca2+농도의 경우 대조군에서는 3.16±0.01mEq/l로 나타났으며 실험군에서는 3.46±0.533mEq/l 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 4).

Table 4. Calcium response to treatment following swimmin (mEq/l)

Group	Mean±SD	t	p
C.G	3.16±0.01	42.162	.002*
E.G	3.46±0.53		

\*p<.05

#### IV. 고 찰

체액의 구성 성분을 이루고 있는 전해질은  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 으로 일정한 비율로 포함되어 있으며 신장, 간, 소화기관 및 내분비기관을 통해 조절받고 있다(Garong, 1983). 정상활동시 이 전해질들은 고유의 기능을 가지고 있는데, 세포수준에서 근본적인 역할을 하고 있으며 소량의 과다 또는 과소와 불균형 상태는 심한 기능 장애를 나타내어 제대로의 신체적인 기능을 발휘할 수 없다고 하였다(Vander, 1985).

뇌와 척수의 중추신경계 손상도 신경세포 내외에 존재하는 전해질의 배출로 신경세포막의 투과성의 변화를 나타내게 된다(Faden과 Simon, 1988). 즉 척수손상 시 흥분성 신경전달 물질에 의해 이차손상이 나타나는데 NMDH 수용체가 활성화 되면 신경세포막이 탈분극되고 이로 인해 세포외부로부터 과도한  $\text{Na}^+$ 이온과  $\text{Cl}^-$ 이온이 세포내로 유입되고 과도한  $\text{K}^+$ 이온이 세포외로 배출되는데 이와 같은 일련의 과정은 급격한 신경세포의 부종과 사망을 초래한다(Mattson 등, 2000).

중추신경계의 손상은 다양한 운동기능의 상실을 야기한다. 이는 감각 및 운동기능의 결손에 기인하며, 마비환자들에 있어 유산소운동은 체력의 개선뿐만 아니라 신체의 기능적 가동성 증진에 효과적인 방법으로 특히 수영은 신체에 대한 압력을 경감시키면서 상대적으로 낮은 스트레스와 모든 동작에 대한 저항을 제공하여 치료에 광범위하게 사용되고 있다(Yang과 Wang, 2003).

운동에 대한 신체의 생리적 반응은 운동부하의 정도에 따라 차이가 있지만 대부분 체온상승이나 젖산농도의 변화, 세포막을 통한 전해질의 변화 또는 혈장 호르몬의 변동 등 생화학적 물질의 변화로 나타나며 이러한 반응은 대사활동과 밀접한 관계를 갖는다(Fagard 등, 1985). 또한 체중이 감소하더라도 체액성분 중 혈액의 변화가 크며 체중의 감소가 혈장용적을 감소하게 되어 체내 전해질 농도에도 영향을 준다고 보고하였다(김중훈, 1991).

본 연구에서는 선택적으로 카테콜아민 신경세포를 파괴시키는 물질로 알려진 6-OHDA로 대사물질

의 산화성 스트레스를 일으켜 세포손상을 초래하여 척수에 불완전 척수손상을 유도하고, 3일간 휴식 후에 수영을 실시하고 5회에 걸쳐 체중의 변화를 측정하였다. 유산소 운동 후 체중의 변화는 실험군에서 대조군에 비해 7일째부터 유의하게 증가폭이 크게 나타나 수영이 척수손상의 이차적인 손상을 일으키는 유리기를 감소시키는 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 생각된다.

혈장중의  $\text{Na}^+$ 이온은 세포외액에 많이 존재하는 전해질로 혈장량을 유지하고 세포외액과 세포내액 사이에 삼투압 평형을 유지하는 기능을 한다. 농도의 변화는 혈장삼투압, 세포의 전기적 활동의 유지, 혈장 및 세포간액량 유지, 산-염기 평형의 반응에 직접적으로 중요한 역할을 주는 것으로 점증적인 부하운동에서  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 이온이 현저하게 증가한다고 하였고(Bohmer, 1986), 이상행(1991)은 운동 후  $\text{Na}^+$ 농도는 평상시보다 감소하였다고 보고했다.

본 연구결과 유산소 운동 후  $\text{Na}^+$ 농도는 실험군에서 유의하게 감소하였는데, 이는 유산소 운동을 통해 체액을 보존하고자하는 능력이 탁월하다고 할 수 있으며, 김형근(2000)의 연구와 일치하고 있다.

혈장중의  $\text{K}^+$ 이온은 세포내액의 알카리성 이온의 주역으로  $\text{Na}^+$ 과 함께 수분, 삼투압, 산-염기 평형에 관여것 외에 근육의 수축, 신경자극의 전달에 중요한 작용을 한다(Anderson과 Guttman, 1988).  $\text{K}^+$ 이온은 근섬유 내에 다량으로 함유되어 근 수축시 근세포에서 혈중으로 배출되며 일부분은 다시 세포내로 돌아오는데 이러한 작용은 운동으로 인해 발생하는 체액손실에 대해 몸을 보호해 주는 역할을 한다. 운동 후 혈장내  $\text{K}^+$ 농도의 상승은 혈액농축의 영향으로 근육세포내 펌프가 활발히 작용하는 것으로 운동 후  $\text{K}^+$ 농도는 증가한다고 보고하였고(오이택, 1986), Vollestd 등(1994)도  $\text{K}^+$ 농도는 증가하였다고 했다.

본 연구결과에서도 실험군은 대조군과 비교하여  $\text{K}^+$ 농도는 증가하였는데 이러한 결과는  $\text{K}^+$ 이온이 근육으로부터 유출되기 때문에 운동시 증가하는 것으로 세포내외의 체액균형을 유지하기 위한 것으로 생각된다.

혈장 중  $\text{Ca}^{2+}$ 이온 농도는 전체 체중의 약 0.01% 차지하고 있으며 좁은 범위에서 조절되어야 한다(현

송자 등, 2001). Ca<sup>2+</sup>이온은 체내에서 중요한 2가지 큰 기능을 가지고 있는데 첫째로 혈액속에서 혈액응고 촉진, 근육과 신경의 흥분을 억제하는 작용을 한다. 둘째로는 세포내 조절인자 또는 전령으로서 세포막의 전위를 유지하며 모든 세포에서 중요한 역할을 한다(Milledg 등, 1982). 유산소 운동 후 Dale 등 (1992)은 Ca<sup>2+</sup>의 농도가 증가한다고 보고하였고, 이재식(1995)은 Ca<sup>2+</sup>의 농도에 변화가 없다고 하였다.

본 연구에서도 유산소 운동 후 Ca<sup>2+</sup>이온은 실험군에서 2주 후에 유의하게 증가하였는데, 이는 현송자(1991)의 연구와 일치된 것으로 Ca<sup>2+</sup>이온이 혈액의 산-염기 평형유지에 중요한 역할을 하고 있으며 운동에 의한 젖산과 CO<sub>2</sub> 등의 과잉으로 산성으로 기울어지는 것을 방지하는 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구는 척수손상 흰쥐를 대상으로 2주 동안 유산소 운동을 실시하여 체중과 전해질에 미치는 영향을 알아보았으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 체중의 변화는 유산소 운동 후 실험군에서 손상 7일째부터 유의하게 증가를 보였다(p<.05).
2. Na<sup>+</sup>이온의 변화는 유산소 운동 후 실험군에서 유의하게 감소를 보였다(p<.05).
3. K<sup>+</sup>이온의 변화는 유산소 운동 후 실험군에서 유의하게 증가를 보였다(p<.05).
4. Ca<sup>2+</sup>이온의 변화는 유산소 운동 후 실험군에서 유의하게 증가를 보였다(p<.05).

이상의 연구 결과로 척수손상과 같은 중추신경계 손상시 유산소 운동을 2주간 시행하였을 때 체중과 전해질 농도의 변화에 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 따라서 척수손상시 지속적인 유산소 운동이 세포내외의 체액균형을 유지하므로 효과적인 치료방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

김중훈. 체중감량에 관한 실험적 연구. 한국체육학

회지. 1991;30(1):289-301.

김형곤. 유산소성 운동이 전해질 농도에 미치는 영향. 체력과학연구지. 2000;23(1):99-107.

오이택. 싸이클 선수의 장거리 주행시 신장 기능 및 당대사의 변화에 관한 연구. 전북대학교 석사학위논문. 1986.

이상행. 체중감량에 따른 수분, 전해질 및 호르몬의 변화에 관한 연구. 전북대학교 석사학위논문. 1991.

이승범. 수분 및 Glycerol의 섭취가 운동시 renin activity, 직장온도, 혈중 전해질 농도에 미치는 영향. Journal of Life Science. 2008;18(2):187-92.

이재식. 외부환경온도에 따른 운동이 전해질 대사에 미치는 영향. 동아대학교 석사논문. 1995.

현송자, 석혜경, 김귀백. 8주간 유산소운동이 혈중 전해질 농도와 혈중 pH에 미치는 영향. 동아대학교 스포츠과학 연구소 논문집. 2001;19(12):81-94.

현송자. 스포츠영양학, 21세기 교육사. 1991.

홍성찬. 유산소 운동이 골격근 미토콘드리아의 크기에 미치는 영향. 원광대학교 체력과학연구지. 1995; 17(1):46-47.

Anderson RA, Guttman HN. Trace minerals and exercise. In exercise, nutrition, and energy metabolism. New York:Macmillan. 1988.

Bohmer D. Loss of electrolytes by sweat on sport. Human Kinetics Publishers. Champaign Illinois. 1986: 67-74.

Bouchard C. Changes in plasma electrolytes and muscle substrates during short-term maximal exercise in humans. Can J Appl Physiol Mar. 1995;20(1): 89-101.

Cale L, Mark B, Lars MN, and A. Hematological and biochemical changes during a short triathlon competition in novice triathletes. E J Appl Physiol. 1992;65:441-5.

Garong WF. Review of medical physiology. 10th ed, California, Lange Med Pub. 1983.

Glance BM, Murphy C, Mchugh MP. Food intake and electrolyte status of ultra marathoners competing in extreme heat. J Am Coll Nutr. 2002;21:553-9.

Faden AI, Simon RP. A potential role for excitotoxins

- in the pathophysiology of spinal cord injury. *Ann Neurol.* 1988;23:623-6.
- Hew TD, Chorley JN, Cianca JC, Divine. The incidence risk factors and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runner. *Clin J Sport Med.* 2003;12:41-7.
- Lyons TR, Riedesel ML, Meuli LE, et al. Effects of glycerol induced hyperhydration prior to exercise in the heat on sweating and core temperature. *Med. Cdi. Sports Exerc.* 1990;22: 477-83.
- Mattson MP. Neuroprotective signaling and the aging brain: take away my food and let me run. *Brain Res.* 2000;886: 47-53.
- Milledg JS, Bryson EI, and Larson D. Sodium balance fluid homeostatis and the renin-aldosterone system during the prolonged exercise of hill walking. *Clin Sci* 1982;62:595-604.
- Reid MR, Drummond PD, Mackinnon LT. The effects of moderate aerobic exercise and relaxation on secretory immunoglobulin A. *International Journal Sports Medicine.* 2001;22(2): 132-7.
- Ryschon TW. Physiological aspects of bicycling. *Clinics in Medicine.* 1994;13(1):15-38.
- Vagard R, Claybaugh JR, Dice MS, et al. Plasma levels of renin, angiotensin II, and 6-ketoprostaglandin-F1 a in endurance athletes. *J Appl Physiol.* 1985;59:947-52.
- Vander AJ. *Human Physiology.* the de, McGraw-Hill book Company. 1985;636-40.
- Vollestd NK, Hallen J, Sefersted OM. Effect of exercise intensity on potassium balance in muscle and blood of man. *J Physiol.* 1994;475:359-68.
- Yang YR, Wang PS. Early and late treadmill training after focal brain ischemia in rats. *Neurosci Lett,* 2003;339(2):91-4.
- Zhang HY. Alteration of apoptosis in acute spinal cord injured rat with methylprednisolone treatment. *Yonsei Graduate Univ.* 2000; 1: 72.
- Zweifler RM. Management of acute stroke. *South Med J.* 2003;96(4):380-5.