성인에서 하지의 지혈대가 대사에 미치는 영향

경희대학교 의과대학 마취과학교실

문 순 홍 · 이 승 환 · 강 화 자
이 두 익 · 신 광 일

= Abstract =

The metabolic Effects of Tourniquet in the Adult Lower Extremity

Soon Hong Moon, M.D., Seung Hwan Lee, M.D., Hwa Ja Kang, M.D.

Doo Ik Lee, M.D. and Kwang Il Shin, M.D.

Department of Anesthesiology, Kyung Hee University, School of Medicine, Seoul Korea

The use of a pneumatic tourniquet to obtain a blood less field in the extremities is essential in the precise operations of present-day plastic and orthopedic surgery.

There have been studies conducted regarding systemic and metabolic change in response to tourniquet ischemia and complication, associated with tourniquets have been reported such as injuries to nerves, muscles and blood vessel.

The purpose of this investigation was to examine changes in the systemic circulation, blood gases serum potassium and base status on release of tourniquet ischemia in adult.

The results were as follows:

- 1) The mean blood pressure and heart rate did not change significantly after tourniquet release.
- 2) The pH decreased significantly after the tourniquet release.
- 3) The PaO_2 and PaCO_2 did not change significantly after tourniquet release.
- 4) The HCO_3 and BE decreased significantly after tourniquet release ($P < 0.05$).
- 5) The serum potassium levels tended to increase after tourniquet release but the changes was not significant.

There-fore to minimize the predictable complications, the ventilatory control and rapid volume replacement are needed during the time immediately preceeding and following tourniquet release.

Key Words: Pneumatic tourniquet, Blood gases, Metabolic change

서 론

1904년 Harvey Cushing에 의해 공기압지혈대가 사용된 이래 지혈대는 수술부위와 시야를 좋게 하며 출혈을 막아 실혈량을 줄일 수 있어 정형외과나 성형외과 등에서 사지 수술시 필수적으로 사용되는 기구가 되었다^{6,13,15}. 그러나 지혈대는 사용시 신경, 혈관이나 근육 등에 직접적으로 여러가지 손상을 줄 수 있으며^{1,2} 전신적인 대사에 미치는 영향으로 지혈대를 한 부위에 혈류

가 차단되어 허혈 상태가 계속되므로 산소공급의 차단에 의한 혐기성 대사가⁴⁾ 일어나므로 경한 대사성 산혈증이 일어나고 지혈대 제거시에는 동맥의 폐색이 없어지고 결찰이 안된 혈관에서 출혈이 되고 허혈후 충혈에 의하여 말초저항이 감소되므로 혈압이 감소되고 맥박이 증가한다^{7,10,12}.

또한 허혈 상태에 있던 사지의 저산소 및 과탄산의 정맥혈이 전신순환으로 들어가 mixed venous blood의 PO_2 가 감소되고 PCO_2 가 증가되며 이런 변화는 동맥혈에도 영향을 미쳐 PaO_2 의 감소와 PaCO_2 의 증가가 나

타난다¹⁰⁻¹²). 혈청 K⁺도 허혈부분의 산소공급의 감소에 의해 근육세포막의 기능이 감소되거나 직접적인 근육의 손상에 의해 증가된다고 한다^{10,12,16}).

이에 저자들은 하지에 지혈대를 사용한 정형외과 환자에서 지혈대 사용 후후에 심혈관계의 변화와 동맥혈 가스와 혈청 K⁺의 변화를 비교 관찰하여 문헌적 고찰과 함께 보고하는 바이다.

대상 및 방법

1988년 1월부터 3월까지 경희대학교 부속병원에서 전신 마취 하에서 지혈대를 사용하여 하지 수술을 받은 환자로 전해질, 심혈관계, 산 염기 대사성에 이상이 없는 ASA 분류 physical status I~II의 30~60세까지의 정형외과 환자 40예를 대상으로 하였다.

전처치로 마취 1시간전에 glycopyrrolate 0.04 mg/kg, lorazepam 0.04 mg/kg를 근육하였고 마취 유도는 thiopental 5 mg/kg를 정주한 후 succinyl choline 1 mg/kg를 정주하여 기관내 삽관하였다.

마취 유지는 halothane, N₂O, O₂로 하였다. 환자의 환기량은 1회 호흡량을 10 ml/kg, 호흡수는 10회 정도로 Ohio 마취용 양호흡기를 사용하여 일정하게 하였으며, 동맥혈 채취를 위하여 요골 동맥 삽관을 하여 지혈대 사용전, 지혈대 제거후 15분과 120분에 동맥혈 가스와 혈청 K⁺치, 혈압, 맥박수의 변화를 관찰하였다.

관찰치의 통계학적 검정을 student-t-test를 이용하였다.

결 과

지혈대를 사용한 환자에서 혈압의 변화는 지혈대 사용 전 88.2±4.6 mmHg에서 지혈대 사용후 5분에 93.4±5.

1 mmHg, 지혈대 제거전 5분에 91.7±5.6 mmHg, 지혈대 제거후 5분에 84.6±4.9 mmHg, 15분에 90.2±5.1

Fig. 1. Heart rate before occlusion and after release of tourniquet.

Fig. 2. Mean arterial pressure before occlusion and after release of tourniquet.

Table 1. Hemodynamic Changes Associated with Tourniquet Release

	Before occlusion	5 minutes after occlusion	5 minutes before release of occlusion	After release of occlusion		
				5 min.	15 min.	60 min.
Heart rate	87.1 ± 5.2	91.2 ± 5.3	89.3 ± 4.4	94.2 ± 3.8	91.6 ± 3.7	86.2 ± 4.1
Mean arterial pressure (mmHg)	88.2 ± 4.6	93.4 ± 5.1	91.7 ± 5.6	84.6 ± 4.9	90.2 ± 5.1	89.4 ± 4.8

Values are mean ± S. D.

Table 2. Metabolic Changes Associated Tourniquet Release

	pH	PaCO ₂ (mmHg)	PaO ₂ (mmHg)	HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	BE (mmol/L)	Serum K ⁺ (mEq/L)
Before occlusion	7.43 ± 0.04	35.5 ± 4.2	221.4 ± 19.6	22.1 ± 2.1	-1.9 ± 1.0	3.8 ± 0.4
15 minutes after release of occlusion	7.35 ± 0.03	38.2 ± 4.5	213.6 ± 14.2	20.2 ± 1.5*	-4.1 ± 1.5*	4.0 ± 0.3
60 minutes after release of occlusion	7.37 ± 0.03	35.9 ± 4.5	128.4 ± 19.3*	21.0 ± 1.2*	-3.5 ± 2.1	4.0 ± 0.3

Values are mean ± S.D.

* P < 0.05 as compared with before occlusion

Fig. 3. pH in arterial blood before occlusion and after release of tourniquet.

Fig. 4. PaO₂ before occlusion and after release of tourniquet.

mmHg 및 지혈대 제거후 120분에 89.4±4.8 mmHg로 지혈대 사용전에 비하여 의미있는 변화가 없으며 지혈대 제거후 5분의 혈압이 지혈대 제거된 5분의 혈압에 비해 감소되었으나 의미있는 변화는 없었다.

맥박수의 변화는 지혈대 사용전 87.1±5.2회에서 지혈대 사용후 5분에 91.2±5.3회, 지혈대 제거전 5분에 89.3±4.4회, 지혈대 제거후 5분에 94.2±3.8회, 15분에 91.6±3.7회 및 120분에 86.2±4.1회로 지혈대 사용전에 비하여 의미있는 변화가 없었으며 지혈대 제거후 5분의 맥박수가 지혈대 제거전 5분의 맥박수에 비해 증가되었으나 의미있는 변화는 없었다(Table 1, Fig. 1, 2).

동맥혈 가스의 변화중 pH 변화는 지혈대 사용전 7.43±0.04에서 지혈대 제거후 15분에 7.35±0.03 및 120분에 7.37±0.03으로 지혈대 사용전에 비해 제거후에 의미있는 감소를 나타내었고(P<0.05) PaCO₂의 변화는 지혈대 사

Fig. 5. PaCO₂ before occlusion and after release of tourniquet.

용전 35.46±4.23 mmHg에서 지혈대 제거후 15분에 39.2±4.48 mmHg 및 120분에 34.91±4.49 mmHg로 지혈

Fig. 6. HCO₃⁻ in arterial blood before occlusion and after release of tourniquet.

Fig. 8. Serum potassium concentrations in arterial blood before occlusion and after release of tourniquet.

Fig. 7. Base excess in arterial blood before occlusion and after release of tourniquet.

대 제거후 15분에 증가되게 나타났으나 의미있는 변화는 없었다.

PaO₂의 변화는 지혈대 사용된 221.4±13.6 mmHg에서 지혈대 제거후 15분에 213.6±14.2 mmHg 및 120분에 128.4±19.3 mmHg로 지혈대 제거후 120분에 의미있게 감소했으나 이는 회복실에서 FiO₂의 변화에 의한 것으로 의의가 없었다.

HCO₃⁻의 변화는 지혈대 사용전 22.11±2.05 mmol/L에서 지혈대 제거후 15분에 20.20±1.48 mmol/L 및 120분에 20.81±1.18 mmol/L로 지혈대 사용전에 비해 제거후에 의미있게 감소하였고 (P<0.05) Base excess의 변화는 지혈대 사용전에 -1.9±1.04 mmol/L에서 지혈대 제

거후 15분에 -4.05±1.46 mmol/L 및 120분이 3.53±2.10 mmol/L로 지혈대 사용전에 비해 의미있게 감소하였다 (P<0.05).

혈청 K⁺의 농도 변화는 지혈대 사용전 3.83±0.35 mEq/L에서 지혈대 제거후 15분에 3.98±0.32 mEq/L 및 120분에 4.02±0.53 mEq/L로 지혈대 사용전에 비해 증가하였으나 의미있는 변화는 없었다 (Table 2, Fig. 3~8).

고 찰

정형외과나 성형외과의 사지 수술시 사용되는 지혈대는 사지의 혈류를 완전히 차단시키므로 출혈을 줄여서 수술시야를 좋게하므로^{6,9)} 많이 사용되나 지혈대 사용시 합병증으로 신경이나 혈관 근육 등에 직접 손상을 주며 허혈 상태가 계속 되면서 산소 공급의 차단으로 혐기성 대사가 일어나고 지혈대를 제거시 말초 저항이 감소되므로 허혈이 된 사지에 일시적인 반응적 출혈에 의해 많은 혈류가 흐르고 결찰안 된 혈관에서 출혈이 되므로^{8,9,13)} 혈압이 감소되고 맥박이 증가한다.

Shaw-wilgis 등¹⁰⁾은 지혈대 사용시 허혈 상태의 사지의 정맥혈의 PO₂와 PCO₂는 산소 공급이 차단되어 있어서 산소의 확산이 모세혈관에서 일어나지 않으므로 동맥혈과 같다고 하며 지혈대 제거후 1분에 동맥혈 PaO₂와 PaCO₂가 변화하는데 이는 별안간 mixed venous에서 저산소 고탄산의 정맥혈이 유출 되므로 PaO₂가 감소

되고 PaCO_2 가 증가 된다고 한다^{7,9,10}). 또한 지혈대 제거시 허혈된 사지로 부터 대사물이 전신 순환내로 들어 오므로 대사성 산혈증이 동반된다고 한다.

Modigk 등³⁾은 지혈대 제거시 지혈대 제거후 3분에 혈압이 $135 \pm 32 \text{ mmHg}$ 에서 $65 \pm \text{mmHg}$ 까지 가장 많이 감소되고 맥박도 74 ± 11 에서 $80 \pm 10 \text{ rate}$ 로 동시에 증가하며 지혈대 제거후 25분에 지혈대 제거전 수준으로 돌아 온다고 한다^{8,10}).

또 Hober J.H. 등은 어린애에서는 지혈대 제거후 1분에 평균 동맥압이 지혈대 제거전 $90 \pm 6 \text{ mmHg}$ 에서 $76 \pm 11 \text{ mmHg}$ 로 감소되었으며 맥박은 $106 \pm 13 \text{ rate/min}$ 에서 $118 \pm 11 \text{ rate/min}$ 로 증가되었다고 하며 이런 변화는 제거 5분후에도 증가됐으나 의미는 없었다고 한다.

본 관찰에서도 맥박과 혈압의 변화가 지혈대 제거후에 지혈대 제거전에 비해 혈압이 많이 감소 됐으나 의미있게 감소되지 않았으며 맥박도 지혈대 제거전에 비해 증가 되었으나 의미있게 변화되지는 않았으며 지혈대 제거후 15분에 지혈대 제거전 수준에 비슷하게 되었다.

Mullicks 등⁹⁾은 지혈대 제거후 동맥혈 가스의 변화는 허혈 상태에 있던 사지의 저산소 및 과탄산의 정맥혈이 전신순환으로 들어 오므로 PaO_2 가 감소 PaCO_2 가 증가 하며 pH와 HCO_3 가 감소되어서 경한 산혈증을 유발한다고 한다^{5,7,11,16}).

J. Modig 등⁷⁾은 지혈대 제거후 1분에 지혈대 제거전에 비해 PaO_2 는 10 mmHg 가 감소되고 PaCO_2 는 1.6 mmHg 가 증가 되었으며 의미있는 변화는 지혈대 제거후 3분까지 지속되고 그 이후에는 변화는 있었으나 의미있는 변화는 없었다고 한다⁵). 또 Robert. M 등¹⁰⁾은 지혈대 사용시 일정한 호흡량을 유지시키기 위해 기계적 호흡을 시킨 경우에서 PaO_2 는 변화가 없었으나 PaCO_2 는 지혈대 제거후 15분에 지혈대 제거전 $37 \pm 3 \text{ mmHg}$ 에서 $45 \pm 8 \text{ mmHg}$ 로 가장 많이 증가되었다고 한다.

본 관찰에서 PaO_2 는 FiO (흡입산소 농도)의 변화에 의해 비교 할 수 없었으나 PaCO_2 는 지혈대 제거후 15분에 지혈대 제거전 $35.46 \pm 4.23 \text{ mmHg}$ 에 비해 $39.2 \pm 4.48 \text{ mmHg}$ 로 증가하였으나 의미있는 변화는 없었다.

동맥혈 pH의 변화는 J. Modig 등⁷⁾은 지혈대 제거후 1분과 3분에 지혈대 제거전 7.38에서 7.35로 감소 되었으며 Robert. M¹⁰⁾은 지혈대 제거후 15분에 pH가 지혈대 제거전 7.38 ± 0.04 에서 7.29 ± 0.05 로 가장 많이 감소 되었다고 한다. 본 관찰에서도 동맥혈 pH가 지혈대

제거후 15분에 지혈대 제거전 7.43 ± 0.04 에서 7.35 ± 0.03 으로 감소 되어서 나타났다. Dery, R 등^{10,12)}은 동맥혈 HCO_3 와 Base excess의 변화는 지혈대 제거후 3분에 의미있게 감소 되어서 경한 대사성 산혈증을 보였으나 지혈대 제거후 60분에 지혈대 제거전 수준으로 돌아 왔다고 한다. J. Modig 등⁷⁾은 지혈대 제거후 동맥혈 HCO_3 와 Base excess의 변화는 지혈대 제거후 3분에 의미있게 감소 하였으나 그후에는 의미있는 감소는 없었다.

본 관찰에서도 HCO_3^- 와 Base excess는 지혈대 제거전에 비해서 제거후 15분에 가장 많이 감소하였으며 지혈대 제거후 120분에는 약간 증가되는 경향을 보였다. 동맥혈 K^+ 농도 변화는 저 산소증에 의해 근육조직의 대사 장애와 세포막의 손상에 의해 증가되며 또한 대사성 산혈증이 동반되어서 증가된다고 한다^{10,11,16}).

Wigren 등⁷⁾은 혈청 K^+ 농도를 지혈대 제거후 3분에 지혈대 제거전 농도에 비해 0.32 mmol/l 가 증가되게 나타낸다고 하며 Robert. M¹⁰⁾은 지혈대 제거후 1분에 지혈대 제거전 $3.5 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$ 에서 $3.9 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$ 로 약간 증가 되었으나 큰 의미는 없었다고 한다. 본 관찰에서도 지혈대 제거후 15분과 120분에서 지혈대 제거전 $3.83 \pm 0.35 \text{ mmol/l}$ 에 비해 $3.98 \pm 0.32 \text{ mmol/l}$, $4.02 \pm 0.53 \text{ mmol/l}$ 로 증가되게 나타났으나 의미는 없었다. Willgis EF⁹⁾, Adam JP^{6,7)} 등은 지혈대 제거후에 일시적으로 나타나는 동맥혈 가스상의 대사성 산혈증이 지혈대 제거전의 수준으로 돌아오는 시간은 지혈대 사용 기간에 따라 차이는 있으나³⁾ 의미는 없었다. 지혈대 제거후 혈청 K^+ 농도가 지혈대 제거전 수준으로 되돌아오는 시간은 지혈대 제거후 30분 이후로 이는 세포외액에 K^+ 농도가 회석되는데 걸리는 시간이라고 한다.

지혈대를 2시간 이내 사용한 경우는 지혈대 제거후 30분 이후가 되어야 된다고 한다^{8,9)}. 본 관찰에서도 지혈대 제거후 120분에 비해 15분에서 약간 심한 산혈증을 나타내었으므로 지혈대 제거후 120분에서 산혈증이 회복되어 가는 것 같다. 그러므로 Adam JP 등⁵⁾은 2시간동안 지혈대를 사용시는 최소한 15분이상 지혈대의 사용을 중지한 후 허혈된 부위로 충분한 산소 공급이 되게 해야 한다고 한다. 이를 종합하여 보면 성인에서 지혈대를 사용하여 하지 수술시 되도록 지혈대 사용기간을 감소시키며 지혈대를 다시 사용시는 지혈대 사용을 중지한 후 충분한 시간이 지난 후에 사용하여 산 염기 상태가 정상화 될 수 있는 시간을 유지시키며 또한 혈압 감소를 방지하여

수액 공급이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

결 론

전신 마취 하에서 지혈대를 사용하여 하지 수술을 받은 성인 환자 40명을 대상으로 지혈대 사용이 혈압, 맥박 및 동맥혈 가스, 혈청 K^+ 농도에 미치는 영향을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 혈압과 맥박의 변화는 지혈대 사용전과 비교시 지혈대 제거 5분전, 제거후 5분, 15분, 120분에서 의미있는 변화는 보이지 않았다.

2) 동맥혈의 pH 변화는 지혈대 사용전에 비해 제거후 15분, 120분에서 의미있는 감소를 나타내었다($P < 0.05$).

3) PaO_2 와 $PaCO_2$ 의 변화는 지혈대 사용전에 비해 제거후 15분, 120분에서 의미있는 변화는 없었다.

4) 동맥혈의 HCO_3 의 변화는 지혈대 사용전에 비해 제거후 15분, 120분에서 의미있는 감소를 나타내었다($P < 0.05$).

5) 동맥혈의 Base excess의 변화는 지혈대 사용전에 비해 제거후 15분, 120분에서 의미있게 감소하였다($P < 0.05$).

6) 혈청 K^+ 의 농도 변화는 지혈대 사용전이 비해 제거후 15분, 120분에서 증가하였으나 통계학적 의의는 없었다.

따라서 지혈대를 사용한 환자에서 지혈대를 제거시 일시적 혈압 감소와 맥박 증가가 나타났으나 의미있는 변화는 없었으며 지혈대를 제거시 동맥혈 가스에서 경한 대사성 산혈증이 일시적으로 나타났고 또한 혈청 K^+ 치도 증가하였으나 의미있게 증가하지는 않았다.

그러나 지혈대를 사용하여 하지 수술을 받는 환자중 산-염기 대사에 이상이나 심폐기능에 장애가 있는 전신상태가 좋지 않은 환자에서는 지혈대 사용시 대사상에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 지혈대를 제거시에는 충분한 수액 공급과 호흡 조절 및 허혈된 부분에 충분한 산소 공급이 되어서 산염기 상태가 정상화 될 수 있는 시간을 유지시킨 후 다시 지혈대를 사용하는 것이 좋은 것으로 사료된다.

- 1) Romanus: Microcirculatory reactions to local pressure induced ischemia. *Acta Chir Scand (Suppl)* 479, 1977
- 2) Solonen, Hjelt: Morphological changes in striated muscle during ischemia. *Acta Onho Scand* 39:13, 1968
- 3) Bruner: Time pressure and temperature factor in the safe use of the tourniquet. *Hand* 3:39, 1970
- 4) Haljamae, Enger: Human skeletal muscle energy metabolism during and after complete tourniquet ischemia. *Ann SUG* 182, 9 1975
- 5) Adam JP, Wiligis EFS: Observation on the effects of tourniquet ischemia. *J Bone Joint Surg Am* 53:1343 (No:5)
- 6) Editorial: The tourniquet; instrument or weapon *Can Med Asso J* 109:827, 1973
- 7) Modig J Kolstad K, Wigren A: Systemic reactions to tourniquet ischemia. *Acta Anesthesiol Scand* 22:606, 1978
- 8) Haber JH: The use of tourniquet in pediatric surgery -A review. *J Foot Surg* 17:109, 1973
- 9) Mullick S: The tourniquet in operations upon the extremities. *Surg Gynecol Obstet* 1546:821-826, 1978
- 10) Robert M, Brustowicz, et al: Metabolic responses to tourniquet release in children. *Anesth* 67:792, 1987
- 11) Solomen KA, Tarkkanen L, Narvanen S: metabolic changes in the upper limb during tourniquet ischemia. *Acta Orthop Scand* 39:20, 1968
- 12) Dery RM, Pelletier J, et al: Metabolic changes induced in the limb during tourniquet ischemia. *Canc Anesth Soc J* 12:367, 1965
- 13) Klennerman L: The tourniquet in surgery. *J Bone Joint Surg Br* 44:937, 1962
- 14) Mullick S: 100 leg tourniquet *West Ind. Med J* 26: 182, 1977
- 15) Wheeler DK, Lips Comb PR: A safety device for a pneumatic tourniquet. *J Bone Joint Surg Am* 46:870, 1963
- 16) Larsson J, Beigstrom J: Electrolyte changes in muscle tissue and plasma in tourniquet-ischemia
- 17) Coonrae RW, Knight WE: Use of the tourniquet in the lower and upper extremities with-out general anesthesia. *J Bone Joint Surg Am* 39:463, 1957