

정상 성인에서 구혈대에 의한 신경기능의 변화

울산대학교 의과대학 마취과학교실, ¹연세대학교 의과대학 생리학교실

전희정 · 최 윤 · 정현석 · 김태엽 · 정성량 · 임중우¹

= Abstract =

The Effect of Tourniquet Inflation on Neural Functions : A Volunteer Study

Hee Jeong Jun, M.D., Yoon Choi, M.D., Heon Seok Jung, M.D., Tae Yop Kim, M.D.
Seong Yang Jung, M.D. and Joong Woo Leem¹

Department of Anesthesiology, College of Medicine, University of Ulsan

¹Department of Physiology, College of Medicine, Yonsei University

Background: Tourniquet pain has important impacts on anesthesia. Tourniquet pain and accompanying cardiovascular changes are important factors that make patients in distress during anesthesia. As tourniquet pain may be modified by anesthesia, a study on the changes in the neural functions by tourniquet inflation in normal volunteers is important.

Methods: Time-dependent changes in tourniquet pain, heart rate, phantom limb sensation, motor function, pain to pressure on upper extremity of 10 healthy and unmedicated volunteers were measured. Each parameter were measured every 5 minutes starting from 10 minutes before inflation to 15 minutes after deflation of tourniquet. Tourniquet was deflated when the subject felt unbearable pain (score 100 with visual analog scale).

Results: Subjects manifested time-dependent pain responses to tourniquet inflation, characterized by increase in VAS, systolic and diastolic blood pressure. Mean duration of tourniquet inflation was 36.4 minutes, volunteers experienced motor paralysis at 27.6 minutes and sensory loss at 33.1 minutes. Pain to pressure decreased over time in both arms. The degree of decrease was greater in the arm on which tourniquet was applied than that in the non-applied arm. Phantom limb sensation occurred in 3 subjects.

Conclusions: This study demonstrated dynamic changes in the neural functions during tourniquet inflation period. Tourniquet-induced pain and resultant hypertension occurred in all subjects. Appropriate anesthetic management is needed for the surgery using tourniquet.

Key Words: Blood pressure. Equipment: tourniquet. Heart: pulse rate. Pain: tourniquet.

서 론

구혈대는 수술 중 출혈을 줄이고 수술시야를 깨끗

하게 유지하기 위하여 사지의 수술에 많이 사용되고 있다. 구혈대를 가압 후 시간이 지남에 따라 목격한 통증이 발생하며 이와 동반하여 혈압, 맥박, 감각, 운동의 변화가 생긴다.¹⁻⁸⁾ 이러한 구혈대에 의한 통증이 심할 경우 환자에게 고통을 주며 심혈관계에도 부담을 초래하게 되는데, 이에 대한 치료 또한 쉽지 않은 경우가 많아 임상적으로 중요한 의의를 가진다. 구혈대에 의한 통증을 연구하기 위해서는 그 성

책임저자 : 최 윤, 서울시 송파구 풍납동 388-1
울산대학교 의과대학 마취과학교실
우편번호: 138-736, Tel: 2224-3868, Fax: 470-1363

격을 우선 정확히 파악하는 것이 중요하나, 수술중의 구혈대 통증은 수술을 위해 시행된 진신 또는 부위마취에 의해 또한 수술 조작 등에 의해 그 성격이 변화되었을 가능성이 높으므로 정상 성인에서 구혈대 압박에 의해 생긴 통증 및 신경기능의 변화에 대한 연구는 매우 중요한 의의를 가진다. 정상 성인에서의 연구는 외국의 경우 연구 보고된 바는 있으나, 신경기능의 변화들이 체계적으로 연구되어 있지는 않으며, 한국인의 경우는 다른 양상을 보일 가능성도 없지 않다.

이 연구의 목적은 마취를 하지 않은 정상 성인 지원자에서 구혈대 압박 후 발생하는 통증과 그에 동반되는 혈액학적인 변화와 함께 신경기능의 변화를 알아보고자 하는 것이다.

대상 및 방법

이 실험은 27~35세의 미국 마취과학회 신체등급 1에 해당하는 성인 남자 10명을 대상으로 본인의 동의하에 실시하였다. 실험시 전투약은 하지 않았고, 실험 시작 전에 대상자의 오른쪽 팔에 숨을 감은 후 4 inch 넓이의 구혈대를 장착하였고, 왼쪽 팔에는 혈압계를 감고 심전도 감시장치를 설치한 후 10분간 환경에 적응하게 하였다. 그 후 수축기, 이완기, 평균혈압, 심박수, 호흡수, 구혈대 통증, 압통의 정도, 감각 및 운동 마비가 발생하는 시간, 환각지 현상유무와 발생 시간, 구혈대 압력에 견딜 수 있는 시간 등을 측정하였다. 구혈대 통증의 정도는 visual analog scale (VAS)로 측정하였는데, Astra에서 제공된 VAS 자를 이용하여 0에서 100까지 숫자 중에서 전혀 통증이 없는 상태를 0으로 통증이 심해 견딜 수 없는 상태를 100으로 정한 후 환자가 지적한 숫자를 기록하게 하였다. 압통은 환자의 양팔에 각각 일회용 주사기를 이용하여 전박의 중앙부위에 4기압의 압력을 30초간 가한 후 그때의 통증에 해당하는 임의의 숫자를 환자가 말하도록 하여 통증의 정도로 삼았다. 이를 위하여 10 ml 주사기에는 피스톤 끝에 지름 1.5 cm 정도의 모서리가 부드럽게 처리된 고무찰흙을 부착하였고, 4 ml의 공기를 주입한 후 고무찰흙이 부착된 부분을 압박부위에 댄 후 주사기 안의 공기가 1 ml의 용적이 되도록 압박을 가함으로써 4기압의 압력이 가해지도록 하였다. 실험 전 실험자

들은 실험에서와 같은 방법으로 압박을 가할 경우 빠르긴 통증이 느껴짐을 확인하였다. 구혈대를 가압하고 있는 동안 오른쪽 팔에서 환각지 현상유무를 알기 위해 환자에게 팔의 위치를 말하도록 하였고, 운동마비 여부를 알기 위해 지원자에게 손가락을 움직여 보도록 명령하고 이를 시행할 수 있는지를 관찰하였으며, 압통 자극 시 환자가 아무 감각도 못 느낄 경우 감각소실이 있는 것으로 판정하였다. 환각지 현상이나 감각 또는 운동마비가 나타나면, 그 시간은 언제인지를 측정하였다. 구혈대 가압 전 5분 간격으로 위의 측정값을 2회 측정한 후 두 번째 측정값을 이 실험의 대조치로 삼았으며, 이후 구혈대 압력을 250 mmHg까지 올리고 같은 파라미터를 5분 간격으로 측정하였다. 구혈대 가압은 60분이 경과하거나 환자가 너무 심한 통증을 느껴 실험을 계속할 수 없을 때까지 지속하였다. 구혈대를 감압한 이후 5분, 10분, 15분에 다시 각 파라미터를 측정하였다. 실험의 결과는 평균 표준편차로 표시하였고, 구혈대 착용 후 측정치의 변화는 분산분석 시행 후 Dunnett의 다중비교법을 이용하여 검사하였으며, p값이 0.05 미만일 경우 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

구혈대 통증은 가압 후 계속 증가하였으며 가압 5분 후부터 대조치에 비해 유의한 차이를 보였다. 이 통증은 감압 후 급격히 감소하여 감압 후 10분부터는 대조치와 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 1). 구혈대 가압시간은 36.4분이었다.

압통은 구혈대 가압 초반에는 미세하나마 구혈대를 감은 쪽에서 구혈대를 감지 않은 팔에 비해 잠시 더 빨리 증가하는 경향을 보였으나 곧 감소하기 시작하였으며, 구혈대를 감은 쪽 팔이 반대 쪽보다 훨씬 많이 감소하는 경향을 보였다. 구혈대를 감은 팔에서의 압통은 가압 후 30분 후부터 대조치에 비해 유의한 감소를 보였고, 감압 후 곧 원상태로 복귀되었다. 좌측 팔에서의 압통은 가압 15분 후부터 감소하는 경향을 보였으나, 각각의 측정치가 대조치에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 그러나, 가압 15분부터 40분까지의 측정치를 대상으로 선형회귀 분석을 시행한 결과 시간에 따라 유의하게 감소하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다(식: Score=

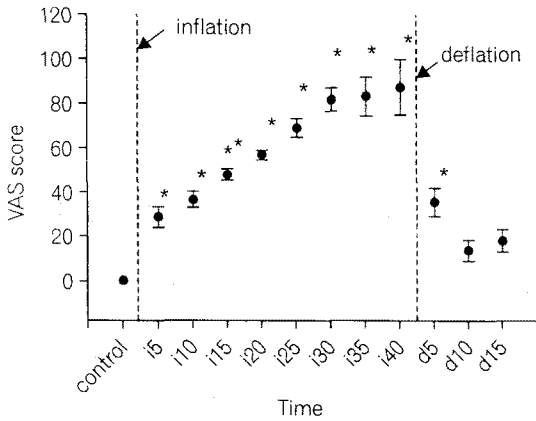


Fig. 1. Changes in tourniquet pain by tourniquet. Tourniquet pain is gradually increased after tourniquet inflation over time. After deflation VAS scores were not different from the baseline values at 10 minutes and after. *: significantly different from preinflation value ($p < 0.05$); i15-i40: 5~40 minutes after tourniquet inflation; d5-d15: 5~15 minutes after tourniquet deflation

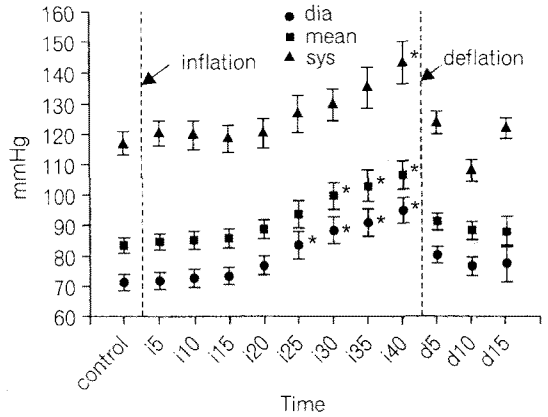


Fig. 3. Changes in blood pressure after tourniquet inflation and deflation. Blood pressure gradually increased after tourniquet inflation over time. After deflation blood pressure decreased rapidly so there were no differences from baseline values at 5 minutes and after. *: significantly different from preinflation value ($p < 0.05$); i15-i40: 5~40 minutes after tourniquet inflation; d5-d15: 5~15 minutes after tourniquet deflation.

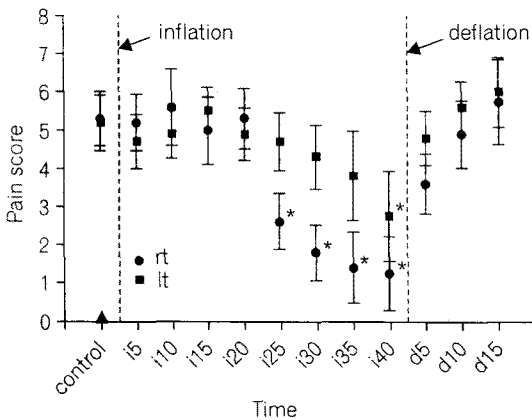


Fig. 2. Changes in evoked pain by tourniquet. Evoked pain scores decreased in both arms after tourniquet inflation. The degree of decrease was greater in the right arm on which tourniquet was applied; *: significantly different from preinflation value ($p < 0.05$); i15-i40: 5~40 minutes After tourniquet inflation; d5-d15: 5~15 minutes after tourniquet deflation.

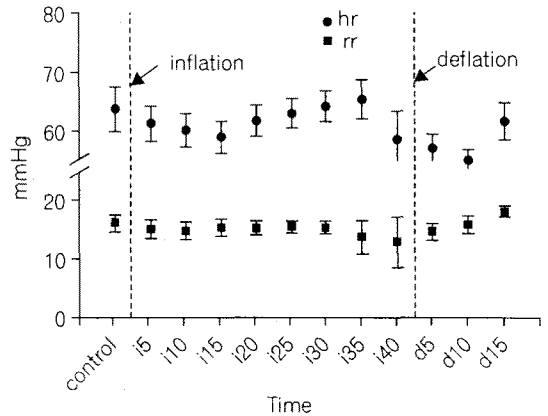


Fig. 4. Changes in HR and respiration by tourniquet. Heart rate and respiration rates were not significantly different from baseline value. i15-i40: 5~40 minutes after tourniquet inflation; d5-d15: 5~15 minutes after tourniquet deflation.

$6.93 - 0.0934 \times \text{Time}$, $p = 0.030$).

혈압(수축기, 이완기, 평균혈압)은 구혈대 가압시 간격이 지날수록 상승하였고, 감압 후에 즉시 감소하

였으며(Fig. 3), 심박수와 호흡수는 구혈대 가압 이후 각각 일정한 양상으로 변화하는 듯 하였으나, 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 4).

모든 대상에서 운동마비 및 감각 소실이 관찰되었으며, 구혈대 가압 후 운동마비는 27.6분, 감각소실

은 33.1분이었다. 환각지 현상은 3명에서 발생했고 발생시간은 23.4분이었다.

고 찰

본 실험을 통하여 정상 성인에서 구혈대 가압 후 발생하는 여러 가지 신경기능의 변화와 이에 동반되는 혈액학적 변화의 양상을 알아볼 수 있었다.

구혈대 통증은 시간에 따라 증가하여 평균 가압시간은 36.4분으로 통계적 의의는 확인할 수 없었으나, 외국논문에서 발표된 31분,¹⁾ 34분⁴⁾보다 다소 길었다. 구혈대 통증이 증가함에 따라 혈압도 같이 증가하였으며, 증가나 감소 양상은 수축기와 확장기 모두 비슷한 경향을 보였으나, 수축기 혈압보다 확장기 혈압이 먼저 유의하게 증가하였다. 이러한 구혈대 가압 후 발생하는 혈압상승은 구혈대 통증에 의한 것으로 보여지며,^{1,9)} 전신마취를 할 경우 척추마취나 경막외 마취를 할 경우보다 높은 빈도로 나타난다고 한다.^{2,8,10)} 본 실험에서는 구혈대 통증의 세기를 나타내는 VAS가 80/100 이상이 되는 구혈대 가압 30분 후부터 평균 동맥압이 유의하게 상승하였으며, 가압 후 즉시 감소하였다. 이는 전신 마취의 경우 평균혈압 상승이 구혈대 가압 30분 후부터 나타났으며, 가압 5분 후 정상으로 돌아왔다는 보고와 같은 혈압 변화 양상을 보인다.¹¹⁾ 이 결과는 구혈대 가압에 의한 통증의 발현이나 혈압상승이 전신마취에 의해 지연될 것이라는 실험전의 예측과는 달랐다. 구혈대 가압 후 운동기능은 20~35분(27.6분) 사이에 소실되고, 감각 기능은 25~50분(33.1분) 사이에 소실됨을 알 수 있었다. 즉, 감각 기능이 소실되는 시간과 운동기능이 소실되는 시간에 차이가 있다함은 이 시간대에서는 신경종류에 따른 신경의 차등차단이 생김을 의미한다. 이는 구혈대를 이용하여 차등차단을 일으킴으로써 말초통증이 어떤 종류의 신경을 통하여 전달되는지를 알아보는 데 유용하게 사용될 수도 있다.¹²⁾ 양쪽 팔에서 측정된 압력에 대한 통증은 시간이 지날수록 감소하였으며, 구혈대를 장착한 쪽 팔의 압통의 감소가 반대쪽 팔 보다 더 빨리 감소하였다. 구혈대 통증은 c-fiber에 의하여 매개된다고 생각되며,^{13,14)} 이러한 c-fiber활동의 증가는 척수내에서 wide dynamic range cell들을 감각시키는 wind-up현상을 일으키게 된다.⁴⁾ 이렇게 척수신경이 감각되면, 이

어 입력되는 말초 통증은 시간이 갈수록 증가하게 된다. 본 실험에서 행해진 압통의 측정 시 목직하고 빠른 통증을 느끼는 것으로 보아 주로 c-섬유에 의해 통증이 매개되었을 것으로 보인다. 이 경우 이론상 본 실험에서는 구혈대를 장착한 오른팔에서의 압통이 점차 증가하여야 한다. 그러나, 이와는 반대로 구혈대 가압 후 생기는 허혈에 의해 신경기능의 감소가 일어나므로 이에 의하여는 압통이 감소하게 된다. 그러므로 본 실험에서 압통이 증가하지 않고 오히려 감소하는 양상을 관찰한 것은 설명이 가능한 현상이라고 보겠다. 구혈대를 감지 않은 좌측 팔에서도 압통이 시간에 따라 감소하는 흥미로운 현상을 관찰할 수 있었는데, 이는 diffuse noxious inhibitory control (DNIC)로 설명될 수 있다. DNIC은 Le Bars 등에 의해 연구 발전된 개념으로 정상인에서 해부학적으로 멀리 떨어진 신체에 발생한 통증자극에 의하여 하지의 유해 수용성 골격 반사와 발목에서 비복 신경 자극에 의한 통증이 억제됨을 발표한 후^{16,17)} 이와 유사한 현상을 동물에서도 발견하고 이를 DNIC라 명명하였다. DNIC는 척수상부에 의해 매개되는 억제조절로서 통증자극에 의해 활성화된다.¹⁸⁾ DNIC에 의한 억제효과는 first PAIN 보다는 second pain에서 더 크게 나타나고, 무수신경 섬유, 가는 유수신경 섬유에 모두 효과적이거나 무수신경 섬유에 더 크게 나타남을 보인다고 하며, 원발통증이 제거된 후에는 곧 소실된다고 한다.¹⁹⁾

환각지 현상은 3명에서 발생했고 발생시간은 23.4분이었다. 이는 운동기능의 소실이 일어나는 시간과 비슷하며, 척추마취시 발생하는 빈도와도 유사하다.²⁰⁾ 그러므로, 환각지 현상은 말초입력의 억제에 의해서도 생길 수 있음을 확인할 수 있었다.

이상에서 구혈대를 감은 경우 여러 가지 복합적인 신경기능의 변화가 시간에 따라 나타남을 관찰할 수 있었다. 또한 구혈대 통증은 상황에 따라 나타날 수도 안 나타날 수도 있는 것이 아니라, 마취를 하지 않은 정상 성인에서 구혈대 가압 약 30~40분 이내에 최고조(VAS 100; 참을 수 없는 정도)에 달하는, 반드시 일어나는 현상이므로 적절한 마취유지가 있지 않을 경우 환자는 항상 구혈대 통증이 생길 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있었고 실제 수술에 구혈대를 사용 시에는 통증증가와 혈압상승에 대한 적절한 조치가 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Kaufman RD, Walts LF: Tourniquet-induced hypertension. *Br J Anesth* 1982; 54: 333-6.
- 2) Valli H, Rosenberg PH: Effects of three anesthesia methods on haemodynamic responses connected with the use of thigh tourniquet in orthopaedic patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 1985; 29: 142-7.
- 3) Hagenouw RRP, Bridenbaugh PO, Van Egmond J, Stuebing R: Tourniquet pain: a volunteer study. *Anesth Analg* 1986; 65: 1175-80.
- 4) James CC, Graf H, Brenda L, Donald DD, Phillip OB, Roger CS: Tourniquet pain: The response to the maintenance of tourniquet inflation on the upper extremity of volunteers. *Reg Anesth* 1991; 16: 314-7.
- 5) Gerosoff WK, Ruwe P, Jokl P, Panjabi M: The effect of tourniquet pressure on muscle function. *Am J Sports Med* 1989; 17: 123-7.
- 6) Rorabeck CH, Kennedy JC: Tourniquet-induced nerve ischemia complicating knee ligament surgery. *Am J Sports Med* 1980; 8: 98-102.
- 7) Pedowitz RA, Gershuni DH, Botte MJ, Kuiper S, Rydevik BL, Hargens AR: The use of lower tourniquet inflation pressures in extremity surgery facilitated by curved and wide tourniquets and an integrated cuff inflation system. *Clin Orthop Rel Res* 1993; 287: 237-44.
- 8) Valli H, Rosenberg PH, Kytta J, Nurminen M: Arterial hypertension associated with the use of a tourniquet with either general or regional anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 1987; 31: 279-83.
- 9) Mathieu JH, Gielen MJ: Tourniquet hypertension and its prevention: a review. *Reg Anesth* 1991; 16: 191-4.
- 10) Gissen AJ, Covino BG, Gregus J: Differential sensitivities of mammalian nerve fibers to local anesthetic agents. *Anesthesiology* 1980; 53: 467-74.
- 11) Strichartz G, Zimmerman M: An explanation for pain originating from tourniquets during regional anesthesia. *Reg Anesth* 1984; 9: 44-45.
- 12) Campbell JN, Raja SN, Meyer RA, Mackinnon SE: Myelinated afferents signal the hyperalgesia associated with nerve injury. *Pain* 1988; 32: 89-94.
- 13) de Jong RH: Tourniquet pain. *Anesthesiology* 1964; 25: 248.
- 14) Cullen, SC: Theoretical aspects of pain: Bizarre pain phenomena during low spinal anesthesia. *Anesthesiology* 1963; 24: 628-635.
- 15) Rocco AG, Concepcion MA, Murray E, Covino BG: Effects of general and regional anesthesia on tourniquet-induced hypertension. *Anesthesiology* 1984; 61: A197.
- 16) Willer JC, Roby A, Le Bars D: Psychophysical and electrophysiological approaches to the pain-relieving effects of heterotopic nociceptive stimuli. *Brain* 1984; 107: 1095-112.
- 17) Willer JC, De Broucker T, Le Bars D: Encoding of nociceptive thermal stimuli by diffuse noxious inhibitory controls in humans. *J Neurophysiol* 1989; 62: 1028-38.
- 18) Dider B, Luis V, Daniel LB: Effect of systemic morphine on diffuse noxious inhibitory controls: role of the periaqueductal gray. *Eur J Pharmacol* 1992; 216: 149-56.
- 19) Price DD, McHaffie JG: Effects of heterotopic conditioning stimuli on first and second pain: a psychophysical evaluation in humans. *Pain* 1988; 34: 245-53.
- 20) Prevoznik SJ, Eckenhoff JE: Phantom sensation during spinal anesthesia. *Anesthesiology* 1964; 25(6): 760-70.