구혈대의 감압후 분시 호흡량의 증가가 호기말 이산화탄소 분압, 혈액가스분석 및 vital sign에 미치는 영향

한림대학 의과대학 마취과학교실

위희욱 · 김태성 · 김호영 · 윤영준 · 진상호

= Abstract =

Clinical Study of the Changes in End tidal PCO_2 , Arterial Blood Gas and Vital Signs by Increased Minute Ventilation After Deflation of Tourniquet

Hee Wook Wie, M.D., Tai Sung Kim, M.D., Ho Yeong Kil, M.D.
Young Joon Yun, M.D. and Sang Ho Jin, M.D.

Department of Anesthesiology, College of medicine, Hallym University, Seoul, Korea

Tourniquets are often used for surgery on the extremities to provide a bloodless surgical field. However, tourniquets may cause nerve and other tissue injuries. While the tourniquet is inflated, metabolic changes occur in the ischemic limb, changes that include increased PaCO_2 , lactic acid and potassium, and decreased levels of PaO_2 and pH.

Deflation of the tourniquet results in the release of these products of ischemia into the general circulation. The resultant decreases in arterial pH and PaO_2 and increased in arterial lactic acid, potassium, PaCO_2 and P_{ETCO_2} are associated with significant decrease in mean arterial and central venous pressure and increase in heart rate.

Since PaCO_2 is one of the important factor to control the cerebral blood flow and intracranial pressure, a sudden increase in PaCO_2 immediately after tourniquet deflation may cause detrimental effects in head injured patients with elevated intracranial pressure.

The purpose of this study was investigate the effect of the degree of hyperventilation by means of increased minute ventilation by 25%, 50% and 75% respectively, after deflation of tourniquets to keep P_{ETCO_2} at former levels, for twenty minutes period, with arterial blood gas analysis, endtidal PaCO_2 and vital signs was monitored serially.

We compared normal minute ventilation group I with increased minute ventilation groups(II, III and IV) before and after deflation of tourniquet.

In summary, we calculated from our data that increasing minute ventilation by more than 50% for 5 minutes following tourniquet deflation could prevent P_{ETCO_2} from increasing more than 1.5-6.5 mmHg in all patients.

서 론

구혈대는 사지 수술시 bloodless surgical field를

제공하기 위해 종종 사용된다. 이런 목적을 위해 사용된 구혈대는 inflation시 신경¹⁻⁴⁾ 및 조직 손상⁵⁾, 혈압 상승⁶⁾ 등을 야기하고 deflation시 혈압 하강⁷⁾, 동맥혈 pH 감소, PaCO_2 증가 등을 일으킬 수 있다. 이

중 PaCO₂는 뇌혈류와 뇌압에 영향을 미치는 중요한 요소로서 특히 구혈대를 착용하고 사지 수술을 받아야 하는 뇌압이 상승되어 있는 환자의 경우 PaCO₂가 상승하여 심각한 뇌압상승의 결과를 초래할 수 있다. 구혈대 감압후 PaCO₂ 증가를 감소시킬 수 있는 방법으로는 분시 호흡량을 증가시키는 방법과 자발 호흡에 의한 방법등이 있다. 이중 본 교실에서는 구혈대를 푼 즉시 분시 호흡량을 증가시켜 혈액 가스 분석의 변화를 최소화하고 vital sign에 유의한 변화를 보이지 않는 분시 호흡량을 알고자 구혈대를 푼 후 분시 호흡량을 증가시키지 않는 경우와 구혈대를 푼 후 즉시 5분 동안 분시호흡량을 25%, 50%, 75% 증가시킨 경우의 혈액 가스 분석 및 vital sign을 구혈대 감압전과 후의 20분까지 관찰하였다.

연구 대상 및 연구 방법

1) 연구 대상

ASA class 1 내지 2에 속하는 하지 수술을 받는 건강한 성인 남녀 50명을 대상으로 하였다.

그중 구혈대를 푼 후 분시호흡량을 증가시키지 않은 20예를 1군으로 하여 대조군으로 삼았고(N=20), 구혈대를 푼 후 5분간 분시호흡량을 25%, 50%, 75%씩 증가시킨 군은 각각 2군, 3군, 4군(각군 N=10)으로 하여 대조군으로 삼았다.

2) 연구 방법

환자는 수술 1시간 전에 Pentobarbital 2mg/kg, atropine 0.01mg/kg로 전처치했으며 마취 유도는 thiopental sodium 5mg/kg와 succinylcholine chloride 1mg/kg 정주 후에 삽관하였다. 마취 유지는 enflurane 1-2%, O₂:N₂O는 50:50으로 했으며 근육이완제로는 vecuronium 0.1mg/kg를 초회량으로 투여한 후 근이완 상태를 점검하면서 0.05mg/kg씩 추가량을 투여하였다.

ventilator setting은 frequency 8-10회/분, tidal volume 7-10ml/kg으로 하여 capnography상 P_{ET}CO₂를 30-35mmHg로 유지하였다.

monitoring을 위해 arterial line, ECG, pulse oximeter, P_{ET}CO₂ 측정을 위한 SARA capnometer, Gem.

stat^R(동맥혈 가스 분석기)를 이용하였다. 구혈대는 855/A MK₂ tourniquet control unit인 공기구-혈대를 사용하여 수술 받을 하지의 구심 부위에 부착하고 450mmHg의 압력으로 압박하였으며 구혈대 시간은 제한이 없었다. 구혈대를 풀기 5분전에 P_{ET} CO₂, SaO₂, B.P., pulse를 측정하여 대조치로 하였으며 구혈대를 푼 후 30초, 1분, 2분, 3분, 4분, 5분, 6분, 7분, 8분, 9분, 10분, 12분, 14분, 16분, 18분, 20분간 측정하여 대조치와 비교 관찰했으며 동맥혈 가스 분석치는 구혈대를 풀기 5분전, 구혈대를 푼 후 1분, 5분, 10분, 20분 때의 값을 비교 관찰하였다. 이상에서 나타난 측정치의 통계학적 처리는 5% 유의수준으로 P<0.05인 것을 유의한 결과로 판정하였다.

연구 결과

1) 대상 환자의 성별, 연령, 체중 및 구혈대 시간(table 1)

(1) 성별: 남자는 38명 여자는 12명이었다.

(2) 연령 분포: 20세에서 56세로 1군은 평균 31.95±9.90세 2군은 31.12±12.91세 3군은 27.15±12.32세 4군은 28.41±11.96세로 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.(P>0.05)

(3) 체중: 1군은 평균 63.85±9.72kg 2군은 63.17±10.81kg 3군은 62.21±7.82kg 4군은 60.68±7.98kg로 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.(P>0.05)

(4) 구혈대 압박시간: 1군은 평균 78.21±22.25분 2군은 72.10±29.17분 3군은 74.20±28.26분 4군은 47.77±31.53분으로 4군에서만 통계학적으로 유의한 감소가 있었다.(P<0.001)

Table 1. Demographic data

Group	sex (M/F)	age	Wt(kg)	tourniquet time
1군	17/3	31.95± 9.90	63.85± 9.72	78.21±22.25
2군	8/2	31.12±12.91	63.17±10.81	72.10±29.17
3군	6/4	27.15±12.32	62.21± 7.82	74.20±28.26
4군	7/3	28.41±11.96	60.68± 7.98	47.77±31.53**

Values are Mean±S.D.

** P<0.001

2) 호기말 이산화탄소 분압 (P_{ET}CO₂, mmHg)

1군에서 구혈대를 풀기전 P_{ET}CO₂는 평균 31.97±1.90mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 의의 있게 상승하였으며(P<0.05) 3분대에서 38.48±5.62 mmHg(P<0.05)로 최고치를 나타냈다.

2군에서 구혈대를 풀기전 P_{ET}CO₂는 평균 32.67±2.00mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 P_{ET}CO₂의 의의있는 상승이 보였으며(P<0.05) 2분대에서 37.77±4.40mmHg(P<0.001)으로 최고치를 나타내었다.

3군에서 구혈대를 풀기전 P_{ET}CO₂는 평균 32.13±1.05mmHg이고 구혈대를 풀 후 2분, 3분에서만 33.69±1.91mmHg(P<0.01) 33.36±1.74mmHg(P<0.01)로 P_{ET}CO₂의 의의있는 상승을 나타냈다.

4군에서 구혈대를 풀기전 P_{ET}CO₂는 평균 32.61±2.07mmHg이고 구혈대를 풀 후 2분에서만 33.89±2.05mmHg(P<0.05)로 의의있는 상승을 보였고 5분, 6분, 7분, 8분, 9분, 10분, 12, 18분에서는 오히려 의의

있는 감소(P<0.05)를 보였으며 5분, 6분에서는 각각 30.23±2.89mmHg, 30.23±2.63mmHg로 가장 의의있는 감소(P<0.001)를 보였다.(Table 2)

3) 동맥혈 가스분압

(1) 이산화탄소분압 (PaCO₂, mmHg): 1군에서 구혈대를 풀기전 PaCO₂는 평균 35.74±2.77mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 모두 의의있는 상승을 보였고(P<0.001) 구혈대를 풀 후 5분에서 41.96±5.47mmHg로 최고치를 나타내었다.

2군에서 구혈대를 풀기전 PaCO₂는 평균 37.0±2.79mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 모두 의의있는 상승을 보였고(P<0.05) 구혈대를 풀 후 1분에서 41.70±4.90mmHg로 최고치를 나타냈다.

3군에서 구혈대를 풀기전 PaCO₂는 평균 34.33±4.77mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 의의 있는 상승을 보였고(P<0.05) 구혈대를 풀 후 1분에서 39.00±3.43mmHg로 최고치를 나타냈다.

4군에서 구혈대를 풀기전 PaCO₂는 평균 37.95±

Table 2. Changes of P_{ET}CO₂ After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	31.97±1.90	32.67±2.00	32.13±1.05	32.61±2.07
30초	33.30±2.43*	32.82±2.12*	32.28±1.14	33.11±1.92
1분	38.14±4.81**	35.39±2.73**	32.77±1.68	33.54±1.83
2분	38.1±5.33**	37.77±4.40**	33.69±1.91**	33.89±2.05*
3분	38.48±5.62**	37.70±4.64**	33.36±1.74**	33.12±2.09
4분	38.09±5.81**	37.50±4.99**	32.86±1.97	31.96±2.18
5분	37.13±5.11**	36.80±5.53**	32.13±1.92	30.23±2.89**
6분	36.74±4.66**	36.10±5.33**	31.35±1.78	30.23±2.64**
7분	36.34±4.26**	36.08±5.12**	31.99±1.63	30.90±2.44*
8분	35.53±4.11**	35.79±5.13**	31.99±1.40	31.29±2.46*
9분	35.31±3.9**	34.87±4.25**	32.07±1.23	31.32±2.62*
10분	35.13±3.84**	34.23±3.89**	31.85±1.31	31.45±2.61*
12분	34.28±3.48**	33.52±3.40**	31.91±1.14	31.30±2.38**
14분	33.90±3.53**	33.40±2.81**	31.81±1.03	31.84±2.33*
16분	33.67±3.25**	32.60±2.60**	31.6±1.27	31.90±2.35
18분	33.55±3.07**	32.55±2.14**	31.8±0.98	31.90±2.34*
20분	33.41±2.98**	32.60±2.40**	31.67±0.88	32.11±1.96

Values are Mean±S.D.

*P<0.05 compared with BTR

**P<0.001 compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

3.10mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 의의 있는 변화($P>0.05$)를 보이지 않았다.(Table 3)

(2) pH: 1군에서 구혈대를 풀기전 pH는 평균 7.42 ± 0.04 이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 모두 의의 있는 감소를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 5분에서 7.35 ± 0.06 으로 가장 의의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.

2군에서 구혈대를 풀기전 pH는 평균 7.40 ± 0.03 이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 모두 의의있는 감소를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 5분에서 7.32 ± 0.06 으로 가장 의의있는 감소($P<0.001$)를 보였다.

3군에서 구혈대를 풀기전 pH는 평균 7.41 ± 0.03 이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 모두 의의있는 감소를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 1분에서 7.34 ± 0.03 으로 가장 의의있는 감소($P<0.001$)를 보였다.

4군에서 구혈대를 풀기전 pH는 평균 7.41 ± 0.04 이

고 구혈대를 풀 후 1분에서만 7.38 ± 0.03 로 의의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.(Table 4)

(3) 산소분압 (PaO_2 , mmHg): 1군에서 구혈대를 풀기전 PaO_2 는 평균 258.83 ± 29.59 mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 의의있는 감소를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 20분에서 241.28 ± 36.68 mmHg로 가장 의의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.

2군에서 구혈대를 풀기전 PaO_2 는 평균 252.0 ± 26.02 mmHg이고 구혈대를 풀 후 1분, 10분, 20분에서 234.8 ± 28.22 mmHg, 241.40 ± 30.18 mmHg, 233.30 ± 28.26 mmHg으로 의의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.

3군에서 구혈대를 풀기전 PaO_2 는 평균 260.44 ± 44.22 mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 의의 있는 변화는 보이지 않았다.($P>0.05$)

4군에서 구혈대를 풀기전 PaO_2 는 평균 256.2 ± 36.56 mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 의의

Table 3. Changes of PCO_2 After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	35.74 ± 2.77	37 ± 2.79	34.33 ± 4.77	37.95 ± 3.10
1분	$41.48 \pm 4.80^{**}$	$41.70 \pm 4.90^{**}$	$39.00 \pm 3.43^{**}$	38.76 ± 3.20
5분	$41.96 \pm 5.47^{**}$	$40.80 \pm 4.96^{*}$	$38.7 \pm 2.8^{**}$	35.60 ± 3.95
10분	$40.02 \pm 4.50^{**}$	$39.60 \pm 3.27^{**}$	$38.56 \pm 3.28^{**}$	37.67 ± 2.83
20분	$37.81 \pm 3.44^{**}$	$38.50 \pm 2.92^{**}$	$37.67 \pm 2.83^{*}$	39.14 ± 2.91

Values are Mean $\pm$ S.D.

* $P<0.05$ compared with BTR

** $P<0.001$ compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

Table 4. Changes of pH After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	7.42 ± 0.04	7.40 ± 0.03	7.41 ± 0.03	7.41 ± 0.04
1분	$7.35 \pm 0.05^{*}$	$7.33 \pm 0.04^{**}$	$7.34 \pm 0.03^{**}$	$7.38 \pm 0.03^{*}$
5분	$7.35 \pm 0.06^{*}$	$7.32 \pm 0.06^{**}$	$7.35 \pm 0.04^{*}$	7.41 ± 0.05
10분	$7.36 \pm 0.05^{*}$	$7.34 \pm 0.05^{*}$	$7.35 \pm 0.03^{**}$	7.38 ± 0.05
20분	$7.37 \pm 0.05^{*}$	$7.36 \pm 0.03^{*}$	$7.35 \pm 0.03^{**}$	7.39 ± 0.04

Values are Mean $\pm$ S.D.

* $P<0.05$ compared with BTR

** $P<0.001$ compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

있는 변화($P>0.05$)는 보이지 않았다.(Table 5)

(4) HCO_3^- (mmol/L): 1군에서 구혈대를 풀기전 HCO_3^- 는 평균 21.87 ± 2.53 mmol/L이고 구혈대를 풀 후 전시간대에서 유의있는 증가를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 1분에서 22.69 ± 2.45 mmol/L로 가장 유의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.

2군에서 구혈대를 풀기전 HCO_3^- 는 평균 22.83 ± 1.99 mmol/L이고 구혈대를 풀 후 5분, 10분, 20분에서 20.89 ± 2.30 mmol/L, 21.23 ± 2.42 mmol/L, 21.75 ± 2.24 mmol/L로 유의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.

3군에서 구혈대를 풀기전 HCO_3^- 는 평균 21.53 ± 2.42 mmol/L이고 구혈대를 풀 후 5분에서만 20.19 ± 2.85 mmol/L로 유의있는 감소를 보였다($P<0.05$)

4군에서 구혈대를 풀기전 HCO_3^- 는 평균 24.01 ± 2.72 mmol/L이고 구혈대를 풀 후 1분, 5분, 10분에서 22.46 ± 2.24 mmol/L, 22.66 ± 2.05 mmol/L, 22.74 ± 2.42 mmol/L로

mol/L로 유의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.(Table 6)

(5) Base Excess (mmol/L): 1군에서 구혈대를 풀기전과 풀 후 전시간대에서 유의있는 변화는 보이지 않았다($P>0.05$). 2군에서 구혈대를 풀 후 전시간대에서 유의있는 감소를 보였고($P<0.001$) 구혈대를 풀 후 10분에서 -3.32 ± 2.64 mmol/L로 가장 유의있는 감소를 보였다($P<0.001$). 3군에서 구혈대를 풀 후 전시간대에서 유의있는 감소를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 5분에서 -3.31 ± 2.51 mmol/L로 가장 유의있는 감소를 보였다($P<0.001$). 4군에서 구혈대를 풀 후 전시간대에서 유의있는 변화($P>0.05$)는 보이지 않았다.(Table 7)

4) 수축기 혈압(mmHg)

1군에서 구혈대를 풀기전 수축기 혈압은 평균 127.63 ± 13.12 mmHg이고 구혈대를 풀 후 전시간대에

Table 5. Changes of PaO_2 After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	258.83 ± 29.59	252 ± 26.02	260.44 ± 44.22	256.2 ± 36.56
1분	$243.17 \pm 34.21^*$	$234.8 \pm 28.22^*$	251.44 ± 42.39	241.00 ± 32.39
5분	$245.72 \pm 27.19^*$	243.2 ± 22.41	261.56 ± 38.77	248.30 ± 36.72
10분	$245.22 \pm 31.58^*$	$241.40 \pm 30.18^*$	258.22 ± 36.59	243.80 ± 36.72
20분	$241.28 \pm 36.68^*$	$233.30 \pm 28.26^*$	254.67 ± 40.46	243.20 ± 43.56

Values are Mean $\pm$ S.D.

* $P<0.05$ compared with BTR

** $P<0.001$ compared with BTR

Table 6. Changes of HCO_3^- After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	21.87 ± 2.53	22.83 ± 1.99	21.53 ± 2.42	24.01 ± 2.72
1분	$22.69 \pm 2.45^*$	21.79 ± 2.61	21.00 ± 2.24	$22.46 \pm 2.24^*$
5분	$22.63 \pm 2.63^*$	$20.89 \pm 2.30^*$	$20.19 \pm 2.85^*$	$22.66 \pm 2.05^*$
10분	$22.29 \pm 2.48^*$	$21.23 \pm 2.42^*$	20.82 ± 2.77	$22.74 \pm 2.42^*$
20분	$21.96 \pm 2.52^*$	$21.75 \pm 2.24^*$	21.13 ± 1.82	22.98 ± 2.09

Values are Mean $\pm$ S.D.

* $P<0.05$ compared with BTR

** $P<0.001$ compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

서 의의있는 변화는 관찰되지 않았다.($P>0.05$)

2군에서 구혈대를 풀기전 수축기 혈압은 평균 $121.30 \pm 10.74 \text{ mmHg}$ 이고 구혈대를 풀 후 전시간대에 서 의의있는 감소를 보였고($P<0.05$) 구혈대를 풀 후 30초에서 $106.60 \pm 10.44 \text{ mmHg}$ 로 가장 의의있는 감소를 보였다($P<0.001$).

3군에서 구혈대를 풀기전 수축기 혈압은 평균 $117.44 \pm 13.93 \text{ mmHg}$ 이고 구혈대를 풀 후 30초, 1분에

서 $108.22 \pm 13.14 \text{ mmHg}$, $107.78 \pm 13.83 \text{ mmHg}$ 으로 의의있는 감소를 보였다($P<0.05$).

4군에서 구혈대를 풀기전 수축기 혈압은 평균 $121.20 \pm 17.73 \text{ mmHg}$ 이고 구혈대를 풀 후 전시간대에 서 의의있는 감소($P<0.05$)를 보였다.(Table 8)

5) 이완기 혈압 (mmHg)

1군과 3군에서 이완기 혈압의 의의있는 변화는

Table 7. Changes of Base Excess After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	-1.06 ± 1.54	-1.01 ± 2.02	-1.97 ± 2.39	0.01 ± 2.72
1분	-1.53 ± 2.01	$-2.99 \pm 2.41^{**}$	$-3.10 \pm 2.52^{**}$	-1.56 ± 2.24
5분	-1.35 ± 1.97	$-3.20 \pm 2.77^{**}$	$-3.31 \pm 2.51^{**}$	-1.34 ± 2.05
10분	-1.60 ± 1.86	$-3.32 \pm 2.64^{**}$	$-2.99 \pm 2.51^{*}$	-1.26 ± 2.42
20분	-2.14 ± 2.36	$-2.69 \pm 2.16^{**}$	$-2.83 \pm 1.87^{*}$	-1.02 ± 2.09

Values are Mean $\pm$ S.D.

* $P<0.05$ compared with BTR

** $P<0.001$ compared with BTR

Table 8. Changes of Systolic Blood Pressure After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	127.63 ± 13.12	121.30 ± 10.74	117.44 ± 13.93	121.20 ± 17.73
30초	116.26 ± 11.94	$106.60 \pm 10.44^{**}$	$108.22 \pm 13.14^{*}$	$111.60 \pm 13.73^{*}$
1분	115.94 ± 13.23	$106.30 \pm 10.17^{**}$	$107.78 \pm 13.83^{*}$	$107.70 \pm 13.84^{**}$
2분	115.42 ± 15.67	$108.60 \pm 12.02^{**}$	109.22 ± 16.68	$105.90 \pm 15.32^{**}$
3분	116.63 ± 17.37	$108.30 \pm 11.78^{**}$	111.67 ± 19.94	$107.10 \pm 11.94^{**}$
4분	116.68 ± 19.38	$108.80 \pm 11.24^{**}$	113.67 ± 19.49	$105.82 \pm 12.85^{**}$
5분	117.37 ± 16.78	$107.90 \pm 9.56^{**}$	111.33 ± 17.71	$105.40 \pm 12.69^{**}$
6분	117.89 ± 16.69	$107.70 \pm 8.43^{**}$	110.89 ± 16.89	$105.20 \pm 11.80^{**}$
7분	117.11 ± 15.61	$108.10 \pm 5.47^{**}$	111.56 ± 14.52	$105.50 \pm 9.69^{**}$
8분	117.79 ± 14.04	$108.80 \pm 6.82^{**}$	112.22 ± 14.99	$104.10 \pm 10.21^{**}$
9분	116.58 ± 14.66	$108.70 \pm 7.65^{**}$	112.22 ± 13.39	$104.50 \pm 10.79^{**}$
10분	115.84 ± 4.73	$109.70 \pm 8.17^{**}$	110.78 ± 12.76	$104.70 \pm 10.23^{**}$
12분	115.68 ± 14.27	$110.80 \pm 9.32^{*}$	110.00 ± 13.38	$104.90 \pm 8.99^{**}$
14분	114.89 ± 13.13	$111.0 \pm 10.70^{*}$	110.00 ± 14.04	$105.00 \pm 8.81^{**}$
16분	114.53 ± 12.69	$112.00 \pm 9.14^{*}$	110.78 ± 14.43	$106.00 \pm 9.14^{**}$
18분	116.16 ± 13.22	$113.30 \pm 8.77^{*}$	116.67 ± 13.04	$106.10 \pm 10.19^{**}$
20분	115.53 ± 12.54	$112.10 \pm 9.29^{*}$	112.44 ± 11.85	$107.00 \pm 9.33^{**}$

Values are Mean $\pm$ S.D.

* $P<0.05$ compared with BTR

** $P<0.001$ compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

Table 9. Changes of Diastolic Blood Pressure After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	82.86±11.37	80.50±13.99	75.89±15.89	74.80±17.63
30초	72.95± 8.26	66.70±12.18**	70.56± 9.00	64.20±12.80*
1분	72.94±11.28	63.60±12.37**	68.78±11.05	61.70±12.67**
2분	71 ±12.45	63.70± 9.50**	69.44±10.79	60.70±11.51**
3분	71.95±12.60	64.10±19.70**	69.78±13.82	61.50±11.45**
4분	71.63±13.52	64.30± 7.82**	71.11±14.78	60.90±11.45**
5분	72.79±13.50	63.90± 7.56**	70.11±14.61	61.70±11.16**
6분	73.68±13.41	63.10± 7.96**	69.78±13.91	62.30±10.32*
7분	74.74±14.43	63.90± 8.60**	70 08±12.37	62.00± 9.82*
8분	72.32±12.33	65.40± 7.15**	70.67±11.20	62.00± 9.82*
9분	72.84±11.61	66.30± 8.74**	71.89± 9.79	63.80±11.28*
10분	72.95±12.16	68.40±10.16**	70.67±10.89	63.30±10.47*
12분	72.68±11.71	69.10± 9.27**	70.00±11.45	63.60±10.47*
14분	72.47±11.74	70.10±10.03*	71.22±11.53	64.70±10.63*
16분	73.05±10.68	70.00±10.07**	72.11±10.93	65.70± 9.80
18분	73.58±11.05	71.00± 9.76**	72.44±10.43	65.20±11.18
20분	73.26±10.94	70.40±10.99**	73.44± 9.42	65.80±10.61

Values are Mean±S.D.

* P<0.05 compared with BTR

** P<0.001 compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

관찰되지 않았으나(P>0.05) 2군의 전시간대와 4군의 16분, 18분, 20분을 제외한 전시간대에서 유의있는 감소를 보였고(P<0.05) 2군의 6분에서 63.10±7.96 mmHg, 4군의 2분에서 60.70±11.51mmHg로 가장 유의있는 감소(P<0.001)를 보였다.(Table 9)

6) 동맥혈산소포화도(SaO2)

1군에서 14분, 16분, 18분, 20분에서는 유의있는 증가(P<0.05)를 보였고 나머지 전시간대에서는 유의있는 감소를 보였다(P<0.05).

2군의 3분, 4분, 5분에서 97.90±0.97, 97.90±0.32, 98.00±0.0으로 유의있는 감소(P<0.001)를 보였다. 3군에서는 전시간대에서 유의있는 변화는 보이지 않았다. 4군에서는 8분, 9분, 10분, 12분, 14분, 16분, 18분, 20분에서 유의있는 감소(P<0.05)를 보였다(Table 10).

7) 맥박 (beats/min)

1군에서는 전시간대에서 유의있는 감소를 보였고

(P<0.05) 구혈대를 풀 후 9분에서 82.29±10.65로 가장 유의있는 감소를 보였다.(P<0.05) 2군에서는 구혈대를 풀 후 1분, 2분, 3분에서만 90.50±12.54, 89.10±11.31, 88.00±10.85로 유의있는 증가를 보였다.(P<0.001) 3군에서는 구혈대를 풀 후 30초, 1분, 2분, 3분, 4분, 5분에서 유의있는 증가를 보였고(P<0.05) 2분에서 98.22±9.58로 가장 최고치를 나타냈다. 4군에서는 구혈대를 풀 후 30초, 1분에서 각각 88.10±14.13, 88.30±15.87로 유의있는 증가(P<0.05)를 보였다.(Table 11)

고 찰

pneumatic tourniquet이 1904년 Harvey Cushing⁸⁾에 의해 처음 도입된 이래 많은 저자들⁹⁻¹⁵⁾에 의해 연구되어 왔다. 구혈대의 사용은 bloodless surgical field를 제공하여 정확한 dissection에 도움을 준다. 그리하여 nerves, vessels, tendons의 손상을 감소시킨다. 이러한 목적을 위해 사용된 구혈대의 종류에는 pneumatic tourniquet, elastic tourniquet, 그리고 rubber bandage tourniquet 등이 있다. 현재에는

Table 10. Changes of SaO₂ After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	98.15±0.79	98.10±0.74	97.89±0.6	98.20±0.42
30초	98.05±0.97*	98.00±0.67	98.00±0.5	98.20±0.42
1분	98.1 ±0.83*	98.00±0.47	98.00±0.5	98.20±0.42
2분	98.1 ±0.83*	98.00±0.57	98.00±0.5	98.10±0.57
3분	98 ±0.95*	97.90±0.57**	98.00±0.5	98.00±0.47
4분	97.95±0.92*	97.90±0.32**	97.89±0.6	98.00±0.47
5분	98.05±0.92*	98.00±0**	97.89±0.6	98.00±0.47
6분	98.15±0.96*	98.00±0	97.78±0.67	98.00±0.47
7분	98 ±0.94*	98.10±0.32	97.89±0.6	97.90±0.57
8분	98.1 ±0.94*	98.20±0.42	98.00±0.91	97.80±6.63*
9분	98.05±0.92*	98.00±0.47	98.00±0.71	97.80±0.63*
10분	98.05±0.92*	98.00±0.47	98.11±0.6	97.80±0.63*
12분	98.1 ±0.94*	98.00±0.47	97.89±0.6	97.80±0.63*
14분	98.25±0.83*	98.40±0.74	98.11±0.6	97.80±0.63*
16분	98.3 ±0.71*	98.40±0.74	98.11±0.6	97.80±0.63*
18분	98.25±0.83*	98.40±0.74	98.11±0.6	97.80±0.63*
20분	98.25±0.83*	98.40±0.74	98.11±0.6	97.80±0.63*

Values are Mean±S.D.

* P<0.05 compared with BTR

** P<0.001 compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

Table 11. Changes of Pulse After Tourniquet Release

Group	1	2	3	4
BTR	87.69 ± 9.00	82.90±10.51	88.67±10.22	81.60±11.82
30초	85.72± 9.27*	87.90±16.26	97.22± 8.36*	88.10±14.13*
1분	85.37± 8.59*	90.50±12.54**	98.11± 9.57*	88.30±15.87*
2분	85.57± 8.16*	89.10±11.31**	98.22± 9.58*	85.40±14.52
3분	84.26± 8.26*	88.00±10.85**	97.11±10.78	85.20±14.55
4분	83.21± 8.31*	87.30±11.76	96.44± 9.93*	84.40±15.62
5분	83.52± 9.74*	85.10±10.71	96.67± 9.97*	83.30±15.52
6분	83.52±10.27*	84.50±10.73	92.00± 9.34	83.70±13.56
7분	82.73± 9.77*	84.10± 9.43	92.22± 9.82	82.60±13.88
8분	83.0 ± 9.79*	83.40± 9.89	92.11±11.53	81.70±15.38
9분	82.29±10.65*	83.60± 9.47	91.56± 3.59	83.50±14.62
10분	82.68±10.23*	82.30±10.13	89.89±10.26	81.00±16.12
12분	82.74± 9.88*	82.20± 8.87	88.33±10.36	80.90±14.46
14분	83.63±11.15*	81.70± 9.10	89.00±11.46	80.90±13.87
16분	83.58±10.57*	81.00± 7.64	89.11±12.09	80.30±13.95
18분	83.89±10.52*	80.40± 6.88	88.11±10.19	80.40±12.45
20분	83.0±10.10*	80.70± 6.40	86.78±10.02	81.70±12.54

Values are Mean±S.D.

* p<0.05 compared with BTR

** P<0.001 compared with BTR

BTR: Before Tourniquet Release

pneumatic tourniquet이 압력을 가장 잘 조절할 수 있고 가장 잘 monitor 할 수 있기 때문에 elastic 이나 rubber bandage tourniquet보다 더 빈번히 사용되고 있다.

구혈대를 사용할 때 압력은 systolic blood pressure 보다 100-125mmHg 높은 압력을 이용하여 상지 수술인 경우 성인에서는 300mmHg 이상 소아에서는 250mmHg 이상 초과해서는 안된다. 또한 하지 수술인 경우 성인에서 550mmHg 이상 초과해서도 안된다. 또한 가압시간은 paralysis의 위험성을 줄이기 위해 상지에서도 1시간에서 1.5시간, 하지에서는 2시간에서 3시간까지 제한을 두고 있으나 더 이상의 가압시간이 필요하다면 15분 동안 tourniquet을 release한 후 다시 가압하여 시간을 연장시킬 수 있다.

Neimkin과 Smith¹⁶⁾는 상박에서 double tourniquet을 사용하여 alternating site에서 1시간 간격으로 가압시켜 3.5시간까지 안전하게 사용하였다고 보고하였다. 가압시간에 대해서 많은 report가 있지만 특히 Wilgis⁷⁾ 등에 의하면 recovery time, 또는 revascularization time은 tourniquet inflation time과 동일했고 recovery time이 연장될수록 pH, PO₂는 감소하고 PCO₂는 증가하는 것을 보고하였다. Bruce, Heppensall 등은 개의 hind leg에 구혈대를 착용한 후 intramuscular PO₂, PCO₂, pH를 monitor한 결과 recovery time이 증가할수록 Hypoxia, Hypercemia, Acidosis가 나타났고 CPK와 lactic acid는 ischemia 2시간에 증가를 보였으며 tourniquet ischemia는 1시간만에 histologic section에 의해 나타나, 1.5시간이 지나면 intermittent tourniquet release가 필요하다고 주장하였다.

결과적으로 안전하게 사용할 수 있는 가압시간이 age, time, temperature와 local condition과 같은 여러 가지 요인에 의해 영향받는다 주장하였으며 tourniquet 1시간 이상의 사용은 금하고 tourniquet reinflation이 필요한 경우 10분 동안 release한 후 reinflation하는 것을 추천하였다.

또한 Heparin과 hypothermia를 사용한 경우 tourniquet 가압시간을 안전하게 연장시킬 수 있다고 보고하였다.

tourniquet ischemia에 대한 systemic reaction에

대하여 J.Modig¹⁷⁾ 등은 tourniquet release 후 B.P는 peripheral resistance의 감소로 인해 떨어지나 myocardial or pulmonary disturbance의 sign은 보이지 않았다고 하였고 serum potassium은 구혈대 감압후 3분에 peak에 달했으며 lactate production에 의해 metabolic acidosis가 발생하였다. 또한 Kauko¹⁸⁾ 등은 tourniquet ischemia 동안 upper limb에서 발생하는 대사성 변화로 ischemic period가 길어질수록 pH, Bicarbonate, Base excess, PO₂의 감소와 PCO₂, lactate, pyruvate, potassium이 증가됨을 관찰하였다.

tourniquet release후 PaCO₂ 증가의 기전은 구혈대 가압시 ischemic period동안 anaerobic metabolite인 lactic acid가 생성되고 감압후 extremity에 reperfusion되면 plasma bicarbonate에 의해 중화되어 그 결과 H₂O와 CO₂가 생성되어 CO₂가 증가된다고 한다.¹⁹⁾

Benzon²⁰⁾ 등은 구혈대 감압후 10분 동안 venous lactic acid가 지속적으로 증가되는 것을 보고하였고, Halzamae와 Enger²¹⁾는 skeletal muscle의 lactic acid가 구혈대를 사용하는 동안 225%-300% 증가했다가 구혈대 감압후 5분에 base line에 돌아오는 것을 보고하였으며 Goto²²⁾ 등은 구혈대를 착용한 개 실험에서 methyl prednisolone의 정맥주사로 인해 venous oxygen tension감소, pH감소, PCO₂증가, lactic acid증가, creatine kinase증가와 lactic dehydrogenase증가를 어느 정도 완화시킨다고 보고하였다.

PaCO₂는 cerebral blood flow와 ICP에 영향을 미치는 중요한 factor이다.

뇌압이 증가된 환자에서 구혈대를 사용하여 사지 수술을 받아야 하는 환자가 있는데 이들 환자에서 P_{ET}CO₂가 의의있게 증가된다는 실험 결과가 여러 논문에 의하여 보고되었다.

Roger P. Hinst²³⁾ 등은 human에서 구혈대 감압후 cerebral blood flow velocity의 변화를 transcranial Doppler study에 의해 비교 관찰한 결과 Middle cerebral artery blood flow velocity가 52±6에서 82±24cm/s로 tourniquet release직후 4분 이내에 증가했으며 7분까지 유의성 있는 증가를 나타내어 이때 cerebral blood flow의 증가는 tourniquet release로 인한 CO₂증가에 의한 것이라곤 것을 증명하였다.

Conaty²⁴⁾는 Pneumatic tourniquet의 Deflation후 intracranial pressur가 심하게 증가된 예를 report하였는데 그것은 deflation직후 15초 이내에 P_{ETCO_2} 가 7mmHg증가했으며 동시에 ICP가 58mmHg 증가하는 것을 관찰하여 poor intracranial compliance가 예상되는 환자에서 modality treatment로서 hyperventilation이 중요한 factor로 작용하는 것을 강조하였다.

구혈대 감압후 $PaCO_2$ 의 증가는 ICP가 증가된 환자의 경우 심각한 뇌압상승의 결과를 초래할 수 있으므로 많은 사람들은 이를 예방하기 위해 수술중 P_{ETCO_2} 의 monitoring을 추천하였고 deflation직후 분시 호흡량을 증가시키거나 자발 호흡에 의한 방법 등을 권고하고 있다.

특히 Denis²⁵⁾의 보고에 의하면 구혈대 감압후 5분간 분시호흡량을 50% 증가함으로써 P_{ETCO_2} 는 대부분의 환자에서 3-5mmHg 이상 증가하지 않는다는 실험 결과를 보고하였다.

결론적으로 구혈대 감압후 체순환의 $PaCO_2$ 가 상승하는데 자발 호흡이 있는 환자에서 $PaCO_2$ 가 호흡 중추를 자극하여 과폐환기를 일으켜 상승된 $PaCO_2$ 를 정상으로 낮추게 되나 마취중 조절 호흡을 받고 있는 환자에서는 이런 반작용이 일어나지 않기 때문에 $PaCO_2$ 는 더욱 높아진다. 그러나 정상인에서는 $PaCO_2$ 의 상승이 정맥혈 회석 효과와 혈액내 완충 작용으로 별문제 없으나 뇌내압이 상승한 환자가 사지 골절 수술을 받을 때 구혈대 감압은 $PaCO_2$ 를 상승시켜 뇌압을 더욱 악화시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 구혈대를 푼 후 분시호흡량을 증가시키지 않은 경우와 구혈대를 푼 후 즉시 5분동안 분시호흡량을 25%, 50%, 75% 증가시킨 경우의 혈액가스분석 및 vital sign을 구혈대감압 후의 20분까지 비교 관찰하였다. 그 결과 구혈대감압 직후 5분동안 분시호흡량을 50% 증가시킨 경우가 P_{ETCO_2} 및 vital sign에 가장 적은 변화를 보여 특히 뇌압이 증가된 전신마취를 받는 환자에게 술중 P_{ETCO_2} 를 가장 적절하게 조절할 수 있는 방법이라 사료되는 바이다.

결 론

호흡기 질환이 없고 구혈대를 이용하여 하지 수

술을 받는 20세에서 56세 사이의 ASA Class 1, 2의 건강한 성인 남녀 50명을 대상으로 하였다. 구혈대를 푼 즉시 분시호흡량을 증가시켜 혈액가스분석의 변화를 최소화하고 vital sign에 유의한 변화를 보이지 않는 분시호흡량을 알고자 구혈대를 푼 후 분시호흡량을 증가시키지 않은 경우와 구혈대를 푼 후 즉시 5분동안 분시호흡량을 25%, 50%, 75% 증가시킨 경우의 혈액가스분석 및 vital sign을 구혈대감압 전과 후의 20분까지 비교 관찰한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 호기말 이산화탄소 분압은 분시호흡량을 증가시키지 않은 1군과 분시 호흡량을 25%증가시킨 2군의 경우 구혈대감압후 전시간대에서 유의한 증가를 나타냈고 분시호흡량을 50%증가시킨 3군의 경우 감압후 2분, 3분에서만 유의한 증가를 나타내었으며 분시호흡량을 75%증가시킨 4군의 경우 감압후 전시간대에서 유의한 감소를 보였다.

(2) 동맥혈 가스분압에서 이산화탄소분압은 4군을 제외한 1군, 2군, 3군의 경우 구혈대감압후 전시간대에서 유의한 증가를 나타냈다. pH또한 4군을 제외한 1군, 2군, 3군의 경우 구혈대감압후 전시간대에서 유의한 감소를 나타냈고 4군에서는 감압후 1분에서만 유의한 감소를 보였다.

(3) 수축기혈압과 이완기 혈압은 1군과 3군에서는 대체로 유의한 변화는 관찰되지 않았으나 2군과 4군의 경우 감압후 거의 전시간대에서 유의한 감소를 보였다.

이상의 연구 결과를 종합하면 구혈대감압 직전 및 직후 5분 동안 분시호흡량을 50% 증가시킨 경우가 P_{ETCO_2} 및 vital sign에 가장 적은 변화를 보여 특히 뇌압이 증가된 전신마취가 예정된 환자에서 구혈대 사용시 가장 적절하게 술중 P_{ETCO_2} 를 조절할 수 있는 방법이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Bolton CF, McFarlane RM. Human pneumatic tourniquet paralysis. *Neurology* 1978; 28: 789.
- 2) Eckhoff NL. Tourniquet paralysis. *Lancet* 1931; 2: 343.

- 3) Moldaver J. Tourniquet paralysis syndrome. *Arch Surg* 1954; 68: 136.
- 4) Rudge P. Toruniquet paralysis with prolonged conduction block. *J Bone Joint Surg* 1974; 56B: 716.
- 5) Logel RJ. Rupture of the long tendon of the biceps brachii muscle. *Clinical Orthopedics and Related Research* 1976; 121: 217.
- 6) Kaufman RD, Walts LF. Tourniquet-induced hypertension. *Br J Anaesth* 1982; 54: 333.
- 7) Wilgis EFS. Observations on the effects of tourniquet ischemia. *J Bone Joint Surg* 1971; 53A: 1343.
- 8) Cushing H. Pneumatic tourniquets; With special reference to their use in craniotomies. *Med News* 1904; 84: 577-580.
- 9) Ishihara M. Clinical evaluation of tourniquet shock; With special reference to the circulation and biochemistry of the blood. *Nippon Ika Dagigak Zasshi* 1983; 50: 358.
- 10) Lynn AM, Fischer T, Brandford HG, et al. Syetemic responses to tourniquet release in children. *Anesth Analg* 1986; 65: 865.
- 11) Moncorge CV, Brzustowicz RM, Koka BV. Systemic and metabolic responses to tourniquet ischemia in children. *Anesthesiology* 1982; 57: A 420.
- 12) Patel AJ, Choi CS, Giuffrida JG. Changes in end tidal CO₂ and arterial blood gas levels after release of tourniquet. *South Med J* 1987; 80: 213.
- 13) Miller RD, Alfery DD, Andrews JJ, et al. *Anesthesia*. 3rd ed, U.S.A, Churchill Livingstone. 1990; 1962-1964.
- 14) 김성열, 김순임, 황정호 등: 근이완 상태를 평가하기 위한 isolated arm test. *대한마취과학회지* 1989; 22: 238.
- 15) 옥시영, 이장원, 김순임, 김성열: 구혈대가 호기말 이산화탄소분압과 동맥혈 가스분압에 미치는 영향. *대한마취과학회지* 1991; 24: 1.
- 16) Campbell WC, Beaty JH, Calandruccio JH, et al. *Campbell's operative orthopaedics*. 8th ed, U.S.A, Mosby-Year Book. 1992; 2607-2609, 2968-2969.
- 17) Modig J, Kolstad K, Wigren A. Systemic reaction to tourniquet ischemia. *Acta Anaesth Scand* 1978; 22: 609.
- 18) Kauko A. Solonen. Metabolic changes in the upper limb during tourniquet ischemia. *Acta orthop. Scandinav* 1968; 39: 20-32.
- 19) Dickson M, White H, Kinney W, et al. Extremity tourniquet deflation increase end tidal PCO₂. *Anesth Analg* 1990; 70: 457.
- 20) Benzon HT, To leikis JR. Tourniquet pain; Change in SEEP, Blood lactate and venous blood gas. *Anesth Analg* 1988; 67: S 13.
- 21) Haljamae H, Enger E. Human skeletal muscle energy metabolism during and after complete tourniquet ischemia. *Ann Surg* 1975; 182: 9.
- 22) Goto H, Benson KT, Katayama H, et al. Effect of high-dose of methylprednisolone on tourniquet ischemia. *Can J Anesth* 1988; 35: 484.
- 23) Roger P. Hirst. Change in cerebral blood flow velocity after release of intraoperative tourniquets in humans. *Anesth Analg* 1990; 71: 503-510.
- 24) LCDR Kelly R. Conaty. Severe increase of intracranial pressure after deflation of a pneumatic tourniquets. *Anesthesiology* 1989; 71: 294-295.
- 25) Denis L. Bourke, M.D. Respiratory responses associated with release of intraoperative tourniquet. *Anesth Analg* 1989; 69: 541-544.