

## 전신마취 동안 Solar 8000M<sup>®</sup>의 Tram 800SL 모듈로 측정된 비침습적 진동식 혈압과 AutoTransducer<sup>®</sup>의 AMK 250으로 측정된 침습적 동맥혈압의 일치도 평가

아주대학교 의과대학 마취통증의학교실

박관식 · 민상기 · 이숙영 · 김진수 · 김종엽 · 박성용 · 손영표

### Agreement Evaluation between Noninvasive Oscillometric Blood Pressure Measured by the Tram 800SL Module of Solar 8000M<sup>®</sup> with Invasive Arterial Blood Pressure Measured by the AMK 250 AutoTransducer<sup>®</sup> during General Anesthesia

Kwan Sik Park, M.D., Sang Kee Min, M.D., Sook Young Lee, M.D., Jin Soo Kim, M.D., Jong Yeop Kim, M.D., Sung Yong Park, M.D., and Young Pyo Son, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

**Background:** Blood pressure (BP) varies considerably during general anesthesia. Accurate BP measurement is critical for appropriate treatment, especially during hypotension and hypertension. Here we evaluated whether the noninvasive oscillometric BP measurement technique accurately reflects BP measured by the direct intraarterial technique.

**Methods:** A total of 256 samples were extracted from 10 patients operated on under general anesthesia. Systolic, diastolic and mean BP were analyzed according to the level of BP; hypotension, normotension, and hypertension. Repeatability of the noninvasive BP measurement were analyzed with repeatability coefficients and percent errors. Agreement between the two BP measurements were analyzed with a Bland-Altman and Modified Bland-Altman analysis.

**Results:** The repeatability coefficient for mean BP of the noninvasive oscillometric BP measurement was 6.34. Percent errors of mean BP were smaller than those of systolic and diastolic BP. All biases were less than 5 mmHg at all BP levels. Most BP agreements were larger than 8 mmHg except all-range mean BP (7.7), hypotensive diastolic BP (6.7), and mean BP (6.2). During hypotension, only mean BP was within the 95% of confidence interval (CI) of bias and limit of agreement. During hypertension, only systolic BP could meet the criteria.

**Conclusions:** Only mean BP during hypotension and systolic BP during hypertension accurately reflect the direct intraarterial BP. But, diastolic BP does not reflect the direct intraarterial BP over all BPs. (Korean J Anesthesiol 2008; 54: 493~500)

**Key Words:** accuracy, agreement, bias, measurement, precision, repeatability.

## 서 론

수술을 위한 마취의 전 과정 동안 환자의 혈액학은 빠르게 변한다. 수술 동안 또는 많은 임상 상황에서 환자 치료의 주요 목표점은 주요 장기로의 정상적인 관류이다. 그러나 모든 수술환자에서 각 장기로의 관류를 측정하는 것은

어렵다. 일반적으로 혈류의 압력 즉, 혈압을 정상적으로 유지하는 것을 치료의 목표로 정하게 된다. 따라서 정확한 혈압의 측정은 적절한 치료의 필수적인 전제조건이 된다.

혈압의 측정방법에는 크게 간접법과 직접법이 있다. 비침습적 간접 혈압(noninvasive indirect blood pressure, NBP) 측정법에는 청진식(auscultatory method), 진동식(oscillometric method) 및 동맥벽 압력측정식(tonometric method) 등이 있으며 이외에 여러가지 변형된 방법들이 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 침습적 직접 혈압(invasive direct blood pressure, IBP) 측정법은 직접 동맥혈관에 도관을 삽입하여 혈관내 압력을 측정하는 방법으로서 가장 정확하게 실제 혈압을 반영하는 것으로 알려져 있다. 그러나 동맥을 직접 천자함에 따르는 혈중,

논문접수일 : 2007년 10월 15일  
책임저자 : 민상기, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5  
아주대학교 의과대학 마취통증의학교실  
우편번호: 443-721  
Tel: 031-219-5689, Fax: 031-219-5579  
E-mail: anesmin@nate.com

출혈, 혈관경련, 동맥색전증, 감염 및 신경손상 등 여러가지 합병증이<sup>2,4)</sup> 동반되기 때문에 특별한 적응이 되지 않으면 일상적인 사용에 제한이 있다. 따라서 이상적인 혈압 측정 방법은 가능한 비침습적이며 사용하기 쉬우면서도 실제 동맥혈압을 정확히 반영할 수 있는 방법이다.

진동식 NBP 측정은 잘 조절된 임상상황에서 사용하면 IBP와 거의 일치하며 자동화된 측정장비의 개발 때문에 현재 가장 많이 사용되는 혈압 측정방법이다. 또한 소아, 비만 및 중환자와 같은 특수한 상황에서<sup>5-10)</sup> 동맥혈압을 정확히 반영하는가를 분석한 여러 연구들이 그 정확성을 뒷받침한다. 그러나 이들 연구의 대부분은 정상혈압이 유지되는 동안에 NBP와 IBP의 관계를 분석하는 것들이었다.

수술의 모든 과정 동안 혈압은 급격히 변할 수 있기 때문에 정상 혈압 범위를 벗어나도 정확한 혈압의 측정이 보장되어야 한다. 환자가 갑자기 저혈압을 보이는 경우 보상적 반응에 의한 말초혈관의 수축은 IBP 측정을 위한 도관의 삽입을 더욱 어렵게 만든다. 이런 경우 NBP의 정확성은 더욱 중요해진다.

따라서 본 연구는 전신마취하에 수술을 받는 환자를 대상으로 하여 NBP와 IBP를 동시에 측정 및 저장한 후 분석하여 저혈압이나 고혈압 같은 비정상 혈압 범위에서 NBP가 IBP를 얼마나 정확하게 반영하는가를 평가하기 위해 계획되었다.

**대상 및 방법**

본 연구는 병원 윤리위원회의 심의를 받았고 참여한 환자나 보호자의 서면 동의를 얻었다. 18세 이상에서 65세 이하의 성인으로서 미국마취과학회 신체분류 등급 1 또는 2에 해당되며 전신마취 하에 수술을 받는 환자로서 외과적 치료를 위해 중심정맥삽관을 실시한 환자 10명을 대상으로 하였다.

체질량지수(body mass index, BMI)가 30 kg/cm<sup>2</sup> 이상인 경우, 상완둘레가 23 cm 이하이거나 34 cm 이상인 경우, 그리고 양쪽 상완에서 측정한 NBP 차이가 10 mmHg 이상인 경우에는 대상에서 제외하였다.

수술시작 30분전에 전투약으로 midazolam 3.0 mg과 glycopyrrolate 0.004 mg/kg을 투여하였고 환자가 수술실에 들어오면 이중 중심정맥관의 14 게이지(gauge, G)관에는 정질액을 연결하고 18G관에는 중심정맥 측정을 위한 관을 연결하였다. 상기도 검사를 한 후 심전도, 맥박산소 측정기를 거치하였다.

NBP 측정을 위해 정맥도관이 없는 우세팔 상완 중간에서 상완둘레를 측정하였다. 환자 감시용 모니터(Solar 8000M<sup>®</sup>, GE Medical System, USA)의 NBP 측정용 모듈(Tram 800SL

Module, GE Medical System, USA)과 연결된 성인용 커프(DURA-CUF<sup>®</sup>, CRITIKON, GE Medical System, USA)를 상완동맥이 커프의 중심에 오도록 하여 상완 중간에 거치하였다. 혈압 측정을 위한 커프의 최초 최고 압력은 160 mmHg로 설정하였다. 이 모듈은 동맥의 완전한 압박 후에 커프의 압력감소와 함께 동반된 동맥의 진동과형이 최고가 되는 때를 평균 혈압(mean blood pressure, MBP)으로 정하며 수축기 혈압(systolic blood pressure, SBP)과 이완기 혈압(diastolic blood pressure, DBP)은 미리 정해진 계산방식에 의해서 자동으로 계산되어 모니터에 보여지도록 설정되었다.

IBP 측정을 위해 비우세팔에서 척골동맥의 관류에 이상이 없음을 확인한 후 국소마취하에 길이 32 mm의 20G 도관(Introcan<sup>®</sup>, B-Brown, Brazil)을 요골동맥에 거치하고 삽입방향과 고정방향이 일치하도록 고정하였다. IBP 측정용 장치(AutoTransducer<sup>®</sup>, AMK 250, Acemedical, Korea)를 요골동맥에 거치한 도관과 모니터 사이에 연결하였다. 이때 도관과 압전변환기 사이는 제조사에서 제공한 160 cm 길이 관에서 30 cm를 제거한 130 cm 길이 관으로 연결하였다. 압력전달 장치내 혈전의 형성을 예방하기 위해서 1 unit/ml의 heparin이 포함된 생리식염수를 자동압력펌프기(Automatic AutoPC<sup>®</sup>, Acemedical, Korea)로 250 mmHg 압력으로 주입하며 시간당 2 ml가 지속적으로 주입되도록 하였다. 양와위 자세에서 압전변환기의 열린 세방향 조절관(3 way stopcock) 위치를 중앙액와위 부위에 맞추어 영점조정(zeroing)과 위치조정(leveling)을 하였다.

혈관내 압력과형에 대한 직접 혈압측정장치의 동적 반응 적합성을 알아보기 위해 고유주파수(natural frequency, fn) 및 압력감쇠계수(damping coefficient,  $\gamma$ )를 Gardner 등이 제안한 fast flushing test를 실시하여 측정하였다.<sup>11,12)</sup> Fast flushing test를 위해 flushing 밸브를 두번 개폐하여 사각파형 두개를 만든 후 모니터와 연결된 프린터로 50 mm/sec 속도로 파형을 기록하였다. 기록된 사각파형 직후에 연속적으로 나타난 두 진동파형의 최대진폭간의 시간간격과 두 진폭의 높이를 측정하여 이동식 컴퓨터에서 사전에 만들어 입력해둔 Excel (version 2003, Microsoft, USA) 함수를 사용하여 fn과  $\gamma$ 를 자동으로 계산하였고 두개 값의 평균을 측정값으로 하였다.

아무런 자극을 주지 않고 5분 동안 안정된 상태 후 2.5분 간격으로 두 차례 NBP와 IBP를 측정하여 마취 유도 전 기저치 평균을 구하였다. 환자의 의식을 확인하고 100% 산소로 전산소화를 수행하였다. Thiopental sodium 4-5 mg/kg으로 의식소실을 유도하였고 rocuronium bromide 0.6 mg/kg를 투여하여 근이완을 만든 후에 기관내삽관을 하였다. 호기말 이산화탄소분압이 35-40 mmHg가 되도록 인공호흡기를 조절하고 호흡역학변수들의 기저치를 기록하였다. 산소를 40%로 투여하며 sevoflurane 0.8-2.0 vol%로 마취를 유지하였다.

직접 동맥혈압 측정장치의 fn이 20 Hz 이상이고 r이 0.2 - 0.3 사이에 해당되면 연구에 포함시켰고 이 기준을 벗어나는 경우와 측정시점의 기도압력이나 폐 순응도가 기저치보다 20% 이상 증가하거나 감소하는 경우에는 자료에서 제외시켰다. 또한 심박수가 분당 120회 이상인 경우나 부정맥이 존재하는 경우에도 분석자료에서 제외하였다.

진료담당의는 IBP의 MBP를 기준으로 정하여 70-100 mmHg 사이로 혈압 유지를 위한 치료를 하였다. 본 연구 및 진료과정에 관여하지 않는 기록원이 모든 기간 동안 각 변수들을 5분 간격으로 각 환자당 20번씩 기록하였다. IBP의 기록시점은 양와위 자세에서 NBP 측정 직전 호흡주기의 호기말 시점으로서 0.43 Hz 속도로 모니터에 표시되는 연속된 두 측정값의 평균을 측정값으로 정했다. 모든 혈압 측정시점과 동시에 호흡역학 변수들을 기록하였다. 또한 IBP의 MBP가 70 mmHg 이하가 되거나 100 mmHg 이상이 되면 그 시점마다 각 변수들을 추가로 기록하였다. 수술이 끝난 후 환자가 완전히 각성되면 기관내 튜브를 발관한 후 회복실에서 신경학적 이상 유무를 확인하고 이상이 없는 경우 일반병실로 보냈다.

자료의 정리 및 통계적 검증은 Excel (version 2003, Microsoft, USA)과 SPSS (version 12.0, SPSS Inc., USA)으로 시행하였고 모든 결과는 평균 ± 표준편차로 표시하였다. 사용된 NBP 측정의 신뢰성(precision)을 반복성 계수(repeatability coefficient)와 각 혈압측정값들 평균혈압에서의 10% 오차율(percent error)로 확인하였다. 이때 반복성 계수는 20% 표준오차를 허용하여 사전에 48명의 환자에서 2번씩 측정하여 산출하였다. 혈압 수준에 따라 NBP가 IBP를 정확하게 잘 반영하는가에 대한 정확성(accuracy), 즉 일치도(agreement)를 Bland와 Altman이<sup>13)</sup> 제시한 분석방법으로 평가하였다. 평가된 치우침(bias)의 95% CI가 5 mmHg 이하이거나 일치도 한계(limit of agreement, LOA)의 상한 및 하한값에 대한 95% CI가 정상혈압의 25% 범위 이내이며 LOA 상하한값이 정상혈압의 20% 이내에 존재하는 경우에 NBP와 IBP가 정확하게 일치한다고 판정하였다. NBP와 IBP 차이의 치우침과 변이성(variability)이 NBP와 IBP의 평균값의 크

기 즉, 혈압수준이 10 mmHg 단위 증가에 따라서 차이가 있는지를 알기 위해 Rothwell이<sup>14)</sup> 제안한 Modified Bland-Altman 분석을 적용하여 평가하였다. 모두 10명에게서 전체 256개의 자료를 수집하여 최종 분석에 포함하였으며 인구학적 자료는 Table 1과 같다.

**Table 2.** Clinical Data

Operation duration (min)	205 ± 44
Operation name	
Hemicolectomy	4
SSRO	4
LAR	2
Dynamic response index	
Natural frequency (Hz)	21.46 ± 0.86
Damping coefficient (r)	0.23 ± 0.02
Baseline value	
Hemodynamic variables (IBP)	
SBP (mmHg)	117.8 ± 21.6
DBP (mmHg)	61.8 ± 11.4
MBP (mmHg)	81.9 ± 15.7
HR (bpm)	80.4 ± 16.2
CVP (mmHg)	7.5 ± 2.9
Respiratory mechanics	
Peak pressure (mmHg)	18.9 ± 3.8
Plateau pressure (mmHg)	13.2 ± 1.8
PEEP (mmHg)	2.3 ± 1.5
Dynamic compliance (L/cm H <sub>2</sub> O)	53.5 ± 9.9
MV (L/min)	6.0 ± 1.1
TV (L/min)	0.56 ± 0.07
RR (bpm)	10.8 ± 1.2

Values are mean ± SD. SSRO: sagittal split ramus osteotomy, LAR: lower anterior resection, IBP: invasive blood pressure, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MBP: mean blood pressure, HR: heart rate, CVP: central venous pressure, PEEP: positive end expiratory pressure, MV: minute volume, TV: tidal volume, RR: respiratory rate.

**Table 1.** Demographic Data

Sex (M : F)	6 : 4
Age (yrs)	36.1 ± 14.8
Height (cm)	170.2 ± 6.9
Weight (kg)	66.4 ± 7.8
ASA PS class (1 : 2)	3 : 7
BMI (kg/cm <sup>2</sup> )	22.8 ± 1.8
UAC (cm)	30.7 ± 1.3

Values are mean ± SD. ASA: American Society of Anesthesiology, PS: physical status, BMI: body mass index, UAC: upper arm circumference.

**Table 3.** Repeatability Coefficient and Percent Error

Repeatability coefficient	6.34		
Percent error (%)	SBP	DBP	MBP
< 10	175 (68.4)	150 (58.6)	207 (80.9)
10-20	64 (25.0)	98 (38.3)	47 (18.4)
20 <	17 (6.6)	8 (3.1)	2 (0.8)

Values are repeatability coefficient and number of samples of non-invasive oscillometric blood pressure (NBP). The value in the brackets is a percentage. Percent errors are percentage difference less than 10, 10-20, and more than 20 from the average value of each blood pressure (BP). SBP: systolic BP, DBP: diastolic BP, MBP: mean BP.

**Table 4.** Agreement Evaluation

	Bias	Variability	LOA		No	SE		Df	t	95% CI					
			Lower	Upper		Bias	LOA			Bias	LOA-lower	LOA-upper			
<b>Total</b>															
SBP	-0.16	10.91*	-21.98	21.66	256	0.68	1.18	255	1.96	-1.50	1.18	-24.30	-19.67	19.35	23.98
DBP	-3.84	10.11*	-24.06*	16.38	256	0.63	1.09	255	1.96	-5.08*	-2.60	-26.21*	-21.92*	14.24	18.53
MBP	-3.04	7.66	-18.36	12.28	256	0.48	0.83	255	1.96	-3.98	-2.10	-19.99	-16.74	10.66	13.91
<b>Level of BP</b>															
<b>SBP (mmHg)</b>															
< 90	-0.58	10.78*	-22.13	20.98	19	2.47	4.29	18	2.10	-5.77*	4.62	-31.13*	-13.14	11.98	29.97
90-140	-0.07	10.98*	-22.03	21.90	200	0.78	1.35	199	1.96	-1.59	1.46	-24.67	-19.40	19.27	24.54
140 <	-0.43	10.91*	-22.24	21.38	37	1.79	3.11	36	2.03	-4.07	3.20	-28.54	-15.95	15.08	27.68
<b>DBP (mmHg)</b>															
< 50	-4.48	6.68	-17.84	8.88	23	1.39	2.41	22	2.07	-7.37*	-1.59	-22.84*	-12.83	3.88	13.89
50-90	-4.01	10.33*	-24.66*	16.65	224	0.69	1.20	223	1.96	-5.36*	-2.65	-27.00*	-22.32*	14.31	18.99
90 <	1.78	11.29*	-20.80*	24.36*	9	3.76	6.52	8	2.31	-6.90*	10.46*	-35.83*	-5.77	9.33	39.39*
<b>MBP (mmHg)</b>															
< 70	-2.40	6.24	-14.87	10.07	45	0.93	1.61	44	2.02	-4.28	-0.52	-18.12	-11.62	6.82	13.32
70-100	-4.20	7.49	-19.18	10.78	172	0.57	0.99	171	1.96	-5.31*	-3.08	-21.12	-17.24	8.84	12.72
100 <	1.31	8.36*	-15.42	18.04	39	1.34	2.32	38	2.02	-1.40	4.02	-20.12	-10.73	13.34	22.73*

SBP: systolic blood pressure (BP), DBP: diastolic BP, MBP: mean BP, Bias: mean (m) of difference (d) between noninvasive oscillometric and invasive direct arterial BP, variability: SD of d, LOA: limit of agreement, No: number of sample, SE: standard error of m, Df: degree of freedom, t: t-score of t-distribution, CI: confidence interval. Accuracy criteria is determined by 95% CI of bias and LOA whether they are within 25% of normal each BP; 30 (SBP), 20 (DBP), and 22.5 (MBP), respectively. \*indicate out of criteria.

**결 과**

IBP 측정 장비의 동적 반응 지수의 평균은 fn가 21.46 ± 0.86, r가 0.23 ± 0.02이었다(Table 2). NBP의 반복성 계수는 6.34이었다. 두 측정 혈압의 평균값에서 10% 이내의 오차율을 보인 표본수는 MBP, SBP, DBP 순서로 많았다. 20% 이내 오차율을 보인 표본수 비율은 MBP가 99.2%, SBP가 93.4%, DBP가 96.9%이었다(Table 3).

전체혈압 범위에서 IBP에 대한 NBP의 치우침은 각각 -0.16(SBP), -3.84(DBP), 그리고 -3.04 (MBP)였다. 또한 정상 혈압뿐만 아니라 저혈압 및 고혈압 범위에서도 NBP의 치우침은 모두 5 mmHg 이하였다(Fig. 1, Table 4). 그러나 변이성은 전체혈압 범위에서 MBP가 7.66이었고 SBP와 DBP는 8 mmHg 이상이였다. 저혈압 범위에서는 DBP 및 MBP가 각각 6.68 및 6.24이었고 정상혈압 범위에서는 MBP만이 7.49로 8 mmHg 이하였다. 고혈압 범위에서는 모두가 8 mmHg 이상이였다(Table 4).

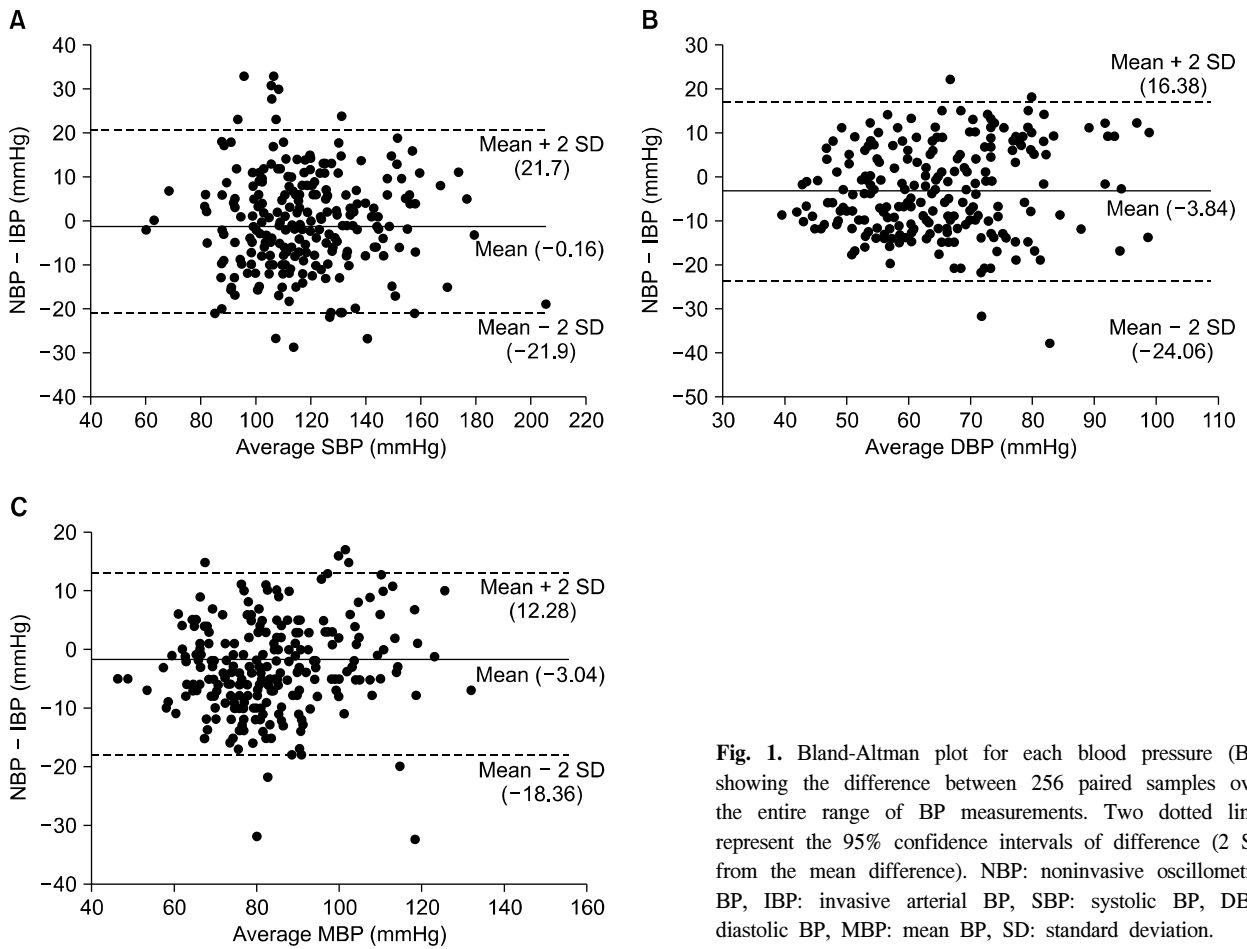
전체혈압 범위에서 SBP와 MBP의 치우침과 상하한 LOA의 95% CI가 모두 권장범위 내에 존재하였다. 그러나 DBP는 치우침 및 상하한 LOA의 95% CI이 모두 기준을 벗어났다. 저혈압 범위에서 MBP만 치우침과 상하한 LOA의 95% CI가 모두 기준 이내의 값을 보였다. 정상혈압 범위에서는 DBP만 기준을 벗어났고 고혈압 범위에서는 SBP만 기준 이

내의 값을 보였다(Table 4).

10 mmHg 단위 증가에 따른 혈압별 치우침과 변이성을 분석하였을 때 DBP와 MBP는 혈압이 높아질수록 음성치우침이 작아지다가 고혈압 범위에서는 양의 값으로 변화였다. 그러나 SBP는 계속 음의 값에 머무는 경향을 보였다. 변이성도 DBP와 MBP는 혈압이 높아질수록 커지며 기준을 벗어나는 경향을 보였으나 SBP는 기준을 벗어난 채로 크게 변하지 않는 경향을 보였다(Fig. 2).

**고 찰**

본 연구는 전신마취하에 수술을 받는 환자를 대상으로 비정상 혈압범위에서 진동식 NBP가 IBP를 얼마나 정확하게 반영하는가를 평가하기 위해 Solar 8000M<sup>®</sup>의 Tram 800SL 모듈로 측정된 진동식 NBP와 AutoTransducer<sup>®</sup>의 AMK 250으로 측정된 IBP의 일치도를 평가한 연구이다. 혈압의 수준에 상관없이 전체적으로는 MBP가 IBP와 가장 잘 일치하였으며 DBP가 가장 불일치하였다. 저혈압에서는 MBP가 가장 잘 일치하였고 정상혈압에서는 MBP와 SBP 모두 잘 일치하였으며 고혈압 범위에서는 SBP가 잘 일치하였다. SBP의 경우 치우침과 95% CI 값이 모두 기준 이내에 존재하였으나 변이성이 10.9로 세 혈압 중 가장 심하였다. DBP와 MBP도 혈압 수준이 높아질수록 변이성이 커져 고



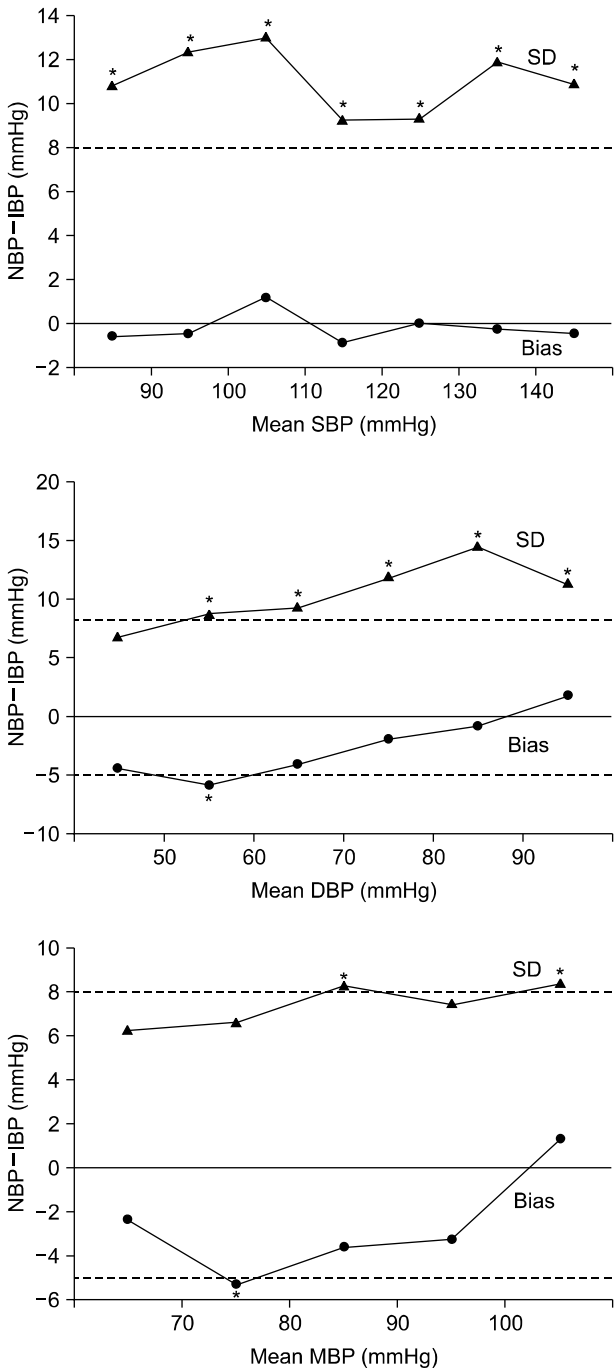
**Fig. 1.** Bland-Altman plot for each blood pressure (BP) showing the difference between 256 paired samples over the entire range of BP measurements. Two dotted lines represent the 95% confidence intervals of difference (2 SD from the mean difference). NBP: noninvasive oscillometric BP, IBP: invasive arterial BP, SBP: systolic BP, DBP: diastolic BP, MBP: mean BP, SD: standard deviation.

혈압 범위에서는 모두 권장 기준 범위를 벗어났다. 치우침은 세가지 혈압에서 모두 권장 기준 이내를 보였다.

현재 임상에서 혈압 측정방식으로 진동식 NBP가 가장 많이 사용되고 있고 있으나 비정상 혈압범위에서 NBP의 정확성과 신뢰성에 대한 의문이 있다.<sup>7)</sup> Derrick과 Bassin은<sup>15)</sup> 수술 중 대량 출혈 동안 5분 간격으로 기록된 혈압은 실제 저혈압의 정도 및 빈도를 제대로 반영하지 못하며 적어도 36초 이내의 간격으로 측정해야 한다고 하였다. 부정확성에 대한 가능한 요인으로는 사용된 알고리즘의 제한 및 부적절한 사용 때문이라는 것이 제시되었다.<sup>5,10)</sup> 이는 진동식 측정방식의 표준화가 아직 되어있지 않고 제조사마다 또는 기계마다 측정 알고리즘이 다르기 때문에 발생하는 변이성 때문이라고 생각된다. 또한 NBP는 동맥벽에 대한 측면 압력을 측정하는 반면에 IBP는 압전변환기의 압력감지막에 혈류의 운동에너지가 바로 전달되기 때문이다.<sup>16)</sup> 더구나 NBP 측정은 빠른 처치가 필요한 상황에서 측정에 시간이 소요되며 특히 저혈압의 경우 잦은 압박에 의한 측정에 의해 IBP 측정을 위한 도관의 삽입을 더욱 어렵게 만든다.

진동식 NBP는 MBP를 먼저 측정한 후 제조사별로 사전에 설정된 알고리즘에 따라 SBP와 DBP를 산출한다. 따라서 직접 측정된 값인 MBP가 실제 동맥 혈압과 가장 정확하게 일치한다는 것은 당연하다고 할 수 있으며 SBP와 DBP의 일치도는 산출 알고리즘의 정확성에 좌우된다. 진동식 NBP는 제조회사마다 각자의 알고리즘을 공개하고 있지 않기 때문에 각각의 정확성을 비교하기는 어렵다.<sup>17)</sup> 하지만 알고리즘의 개선을 위한 연구가<sup>5)</sup> 진행되어 왔으며 알고리즘의 개선에도 불구하고 기본적인 측정 방식 때문에 MBP가 직접 측정된 동맥내 혈압을 가장 정확하게 반영한다는 것은 변하지 않았으며 치우침이 어느정도 감소하였지만 저평가 양상은 지속적이었다.<sup>5,10)</sup> 이런 저평가 즉, 음성 치우침은 본 연구결과와도 일치하는 것이다.

그러나 이런 연구들은 정상 혈압 범위 내에서 이루어져서 고혈압이나 저혈압 같은 비정상 혈압에서의 정확성에 대한 연구는 부족하다. 물론 IBP같이 직접 동맥내 혈압을 측정하는 방식이 가장 정확한 혈압 감시 방법이지만<sup>18,19)</sup> 특히, 저혈압의 경우 모든 환자에서 성공적인 IBP 측정이 이



**Fig. 2.** Modified Bland-Altman plot for each blood pressure (BP) according to the level of BP. \*means out of criteria (dotted line) recommended by The Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) bias should be  $\pm 5$  mmHg or less with a SD of 8 mmHg or less. NBP: noninvasive oscillometric BP, IBP: invasive arterial BP, SBP: systolic BP, DBP: diastolic BP, MBP: mean BP, SD: standard deviation.

루어지는 것이 아니고 설치에 소요되는 시간의 지연을 고려한다면 간접적으로 측정된 NBP 값으로 실제 동맥내 혈압을 어느 정도 유추할 수 있어야 한다. 이러한 정보는 고혈압이나 저혈압 상황에서 항고혈압제나 혈압상승제의 불필요한 사용이나 적절한 치료의 지연을 줄일 수 있다.

의료기기에 의한 측정의 정확성을 평가하기 위해서 전제되어야 하는 것은 측정의 신뢰성을 확보하는 것과 적절한 기준의 선택이다.<sup>20)</sup> 본 연구에서는 NBP 측정의 신뢰성을 확인하기 위해 반복성 계수와 오차백분율을 산출하였다. Bland와 Altman에<sup>21)</sup> 의하면 측정값 평균의 20% 표준오차를 허용하여 2번씩 반복 측정하는 경우 반복성 계수 산출에 필요한 대상수는 48명이며 MBP를 사용해 확인한 반복성 계수는 6.34이었다. Bur 등은<sup>5)</sup> Percent Error 즉, 오차백분율로 점검한 결과 모든 측정치들의 30% 이상은 환자의 혈압 수준과는 무관하게 임상적으로 수용가능한 범위를 벗어났다고 하였다. 본 연구에서도 측정 혈압 평균에서의 오차율로 확인하였을 때 10% 이상 벗어나는 비율이 DBP (41.4%)가 가장 높았으며 SBP (31.6%), MBP (19.1%) 순서로 낮았다. 즉, MBP의 측정값이 가장 신뢰성이 있었으며 반복 측정된 값의 95%가 6.34 차이 이내에 존재한다고 할 수 있다.

주술기에 IBP가 사용되는 경우에는 임상적으로 흔히 IBP를 기준혈압으로 사용한다. Yazigi 등은<sup>18)</sup> 요골동맥에서 측정된 IBP는 조절된 저혈압 동안 중심동맥 혈압을 정확히 반영한다고 하였다. 또한 Penny 등은<sup>19)</sup> NPB로 혈압을 측정하는 팔과 반대편 팔에서 측정된 혈압은 비슷한 결과를 보인다고 하였다. 따라서 요골동맥에서의 IBP 측정은 정확한 중심동맥 혈압을 반영한다는 가정하에 기준혈압으로 정하였다. 그러나 현재 임상적으로 사용되고 있는 여러 IBP 측정체계가 각각 고유의 fn과  $\tau$ 를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 IBP 측정 장비가 정상 혈압범위뿐만 아니라 비정상 혈압범위에서도 실제 환자의 혈압을 항상 정확하게 반영한다고 할 수는 없다. 이런 점이 본 연구의 한계라고 할 수 있으며 따라서 본 연구에서는 두 측정 혈압의 일치도를 평가하였다.

일치도의 기준은 치우침과 변이성, LOA의 상하한값, 그리고 치우침과 상하한 LOA의 95% CI 값이 권장기준 이내에 존재하는지 여부로 평가하였다. 여기서 권장기준은 치우침과 변이성은  $5 \pm 8$  mmHg 이내, 상하한 LOA 값은 각 혈압의 20%이내, 그리고 치우침과 상하한 LOA의 95% CI 값이 각 혈압의 25% 범위 이내 존재여부로 정하였다. 치우침과 변이성에 대해서 AAMI (The American National Standards of the Association for the Advancement of Medical Instrumentation)는<sup>22)</sup> 기준 NBP 방법으로부터  $5 \pm 8$  mmHg 이내를 권장기준으로 제시하였으나 BHS (British Hypertension Society)는<sup>23)</sup> 기준 NBP에서 5 mmHg 이하, 10 mmHg 이하, 15 mmHg 이하의

차이를 보이는 측정값들의 백분율에 따라서 차이의 정도를 구분하였다. 상기 두 가지 기준 모두 외래환자에 사용되는 혈압 측정장비를 평가하기 위해 만든 기준이기 때문에 주술기 상황에 적용하기에는 부족하지만 현재 AAMI 기준이 가장 널리 수용되고 있다.

저혈압에서 NBP의 치우침은 세 혈압 모두 IBP보다 작아 음성 치우침을 보였으며 SBP가 -0.58로 가장 적은 음성 치우침을 보였다. 그러나 변이성은 SBP가 10.8로 가장 컸고 MBP가 6.2로 가장 작았다. MBP의 치우침은 -2.4이었고 또한 치우침과 상하한 LOA의 95% CI 값이 모두 기준 이내에 속하였기 때문에 저혈압에서 변이성이 심한 SBP보다는 MBP로 동맥혈압을 유추하는 것이 더 정확하다고 할 수 있다. 고혈압 범위에서 변이성은 모든 종류의 혈압에서 8 mmHg를 초과하였으며 DBP가 SBP보다 더 심하였다. Araghi 등은<sup>10)</sup> SBP 140 mmHg 이상의 고혈압에서 IBP에 대한 NBP의 음성 치우침이 증가하였다고 하였으나 본 연구에서는 음성 치우침의 정도가 커지지 않았다. 또한 이 범위에서 치우침의 95% CI는 SBP와 MBP에서 기준을 약간 벗어난 정도였고 DBP는 기준을 많이 벗어났다. 따라서 고혈압에서 DBP 값은 정확성이 떨어진다고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 고혈압 범위의 DBP의 표본수가 9개 밖에 되지 않아서 더 정확한 결론을 내리기 위한 추가 연구가 필요하리라 사료된다.

정확한 NBP 측정에 영향을 주는 요인으로 제시된 것들에 는 나이, BMI, 상완둘레, 커프크기, 부정맥의 존재, 혈압의 크기 및 호흡양상 등이 있다. van Montfrans는<sup>24)</sup> 고령일수록 동맥 탄력이 감소하여 실제 혈압을 저평가한다고 하였으나 Pytte 등은<sup>8)</sup> NBP와 IBP의 차이는 나이의 영향을 받지 않는다고 하였다. 그러나 연령대별 NBP와 IBP의 차이에 대해 진행된 연구가 아직 없기 때문에 이에 대한 추가 연구가 필요한 부분이다. BMI는 30 kg/cm<sup>2</sup> 이상인 경우에도 전반적인 치우침에는 영향을 미치지 않았다는 연구가 있다.<sup>10)</sup> 또한 상완둘레에 따른 적절한 크기의 커프 선택이 현재까지 알려진 가장 큰 영향을 주는 요인이라고 알려져 있으므로 BMI보다는 상완 둘레에 따른 적절한 크기의 커프 선정이 NBP와 IBP 차이를 줄이는 더 나은 방법이라고 할 수 있다.<sup>6)</sup> Bur 등은<sup>5)</sup> 현재의 권장 커프 크기보다 작은 것을 사용하는 것이 더 작은 치우침을 초래한다고 주장하였다. 부정맥 특히 빠른 심박수에서는 진동파형의 최대 진폭 신호를 적절히 획득하기 어려워 NBP 측정에 부정확성을 초래할 수 있다. NBP의 정확성은 환자의 동반 질환에 의해 영향받지 않으며 이는 혈관 변화에 민감한 IBP에 비해 NBP가 상대적으로 기저 질환과 무관하기 때문이다.<sup>5)</sup> 그러나 Pytte 등은<sup>8)</sup> 중환자를 대상으로 시행한 연구에서 NBP와 IBP의 차이는 질환의 정도와 관련이 있으며 이는 패혈증 상태에서 확장된 말초혈관

으로의 혈류의 증가와 같은 혈관의 변화가 그 원인이라고 하였다. 인공환기에 의한 호흡역학의 변화가 혈압측정치에 영향을 주리라 예상되어 IBP의 측정시점을 호기말 시점으로 정하였고 호흡변수들이 기저치와 20% 이상 차이가 나는 경우에는 자료에서 제외하였다.

실제로 임상에 적용하여 사용하는 기구나 기계들에 의한 측정의 정확성을 확인하는 작업은 정확한 해석과 이에 따른 적절한 치료를 위해 마취과의사들에게 항상 필요한 것이지만 매번 이를 확인하는 것은 번거롭고 소모적일 수 있다. 그러나 우리가 사용하는 도구들의 측정오차 가능성에 대한 인식과 오차 경향에 대한 이해를 고려한 판단은 발생 가능한 오류나 적절한 치료의 지연을 최소화 시킬 수 있다.

결론적으로 전신마취 동안 AutoTransducer<sup>®</sup>의 AMK 250으로 측정된 IBP와 비교한 Solar 8000M<sup>®</sup>의 Tram 800SL 모듈로 측정된 NBP는 전체적으로는 MBP가 가장 잘 일치하였으나 고혈압 동안은 SBP가 가장 잘 일치하였고 저혈압 동안은 MBP가 가장 잘 일치하였으며 DBP는 모든 혈압 범위에서 가장 부정확한 일치도를 보였다.

## 참 고 문 헌

1. Miller RD: Miller's Anesthesia, 6th Online ed. San Francisco, Elsevier. 2007, pp 1268-86.
2. Slogoff S, Keats AS, Arlund C: On the safety of radial artery cannulation. *Anesthesiology* 1983; 59: 42-7.
3. Cockings JG, Webb RK, Klepper ID, Currie M, Morgan C: The Australian incident monitoring study. Blood pressure monitoring --applications and limitations: an analysis of 2000 incident reports. *Anaesth Intensive Care* 1993; 21: 565-9.
4. Singleton RJ, Webb RK, Ludbrook GL, Fox MA: The Australian incident monitoring study. Problems associated with vascular access: an analysis of 2000 incident reports. *Anaesth Intensive Care* 1993; 21: 664-9.
5. Bur A, Herkner H, Vlcek M, Woisetschlager C, Derhaschnig U, Delle Karth G, et al: Factors influencing the accuracy of blood pressure measurement in critically ill patients. *Crit Care Med* 2003; 31: 793-9.
6. Clark JA, Lieh-Lai MW, Sarnaik A, Mattoo TK: Discrepancies between direct and indirect blood pressure measurements using various recommendations for arm cuff selection. *Pediatrics* 2002; 110: 920-3.
7. Bur A, Hirschl MM, Herkner H, Oschatz E, Kofler J, Woisetschlager C, et al: Accuracy of oscillometric blood pressure measurement according to the relation between cuff size and upper-arm circumference in critically ill patients. *Crit Care Med* 2000; 28: 371-6.
8. Pytte M, Dybwik K, Sexton J, Straume B, Nielsen EW: Oscillometric brachial mean artery pressures are higher than intra-radial mean artery pressures in intensive care unit patients

- receiving norepinephrine. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006; 50: 718-21.
9. Wankum PC, Thurman TL, Holt SJ, Hall RA, Simpson PM, Heulitt MJ: Validation of a noninvasive blood pressure monitoring device in normotensive and hypertensive pediatric intensive care patients. *J Clin Monit Comput* 2004; 18: 253-63.
  10. Araghi A, Bander JJ, Guzman JA: Arterial blood pressure monitoring in overweight critically ill patients: invasive or noninvasive? *Crit Care* 2006; 10: R 64.
  11. Gardner RM: Direct blood pressure measurement-dynamic response requirements. *Anesthesiology* 1981; 54: 227-36.
  12. McGhee BH, Bridges EJ: Monitoring arterial blood pressure: what you may not know. *Crit Care Nurse* 2002; 22: 60-79.
  13. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307-10.
  14. Rothwell PM: Analysis of agreement between measurements of continuous variables: general principles and lessons from studies of imaging of carotid stenosis. *J Neurol* 2000; 247: 825-34.
  15. Derrick JD, Bassin DJ: Sampling intervals to record severe hypotensive and hypoxic episodes in anesthetised patients. *J Clin Monit* 1998; 14: 347-51.
  16. Van Bergen FH, Weatherhead DS, Treloar AE, Dobkin AB, Buckley JJ: Comparison of indirect and direct methods of measuring arterial blood pressure. *Circulation* 1954; 10: 481-90.
  17. Kaufmann MA, Pargger H, Drop LJ: Oscillometric blood pressure measurements by different devices are not interchangeable. *Anesth Analg* 1996; 82: 377-81.
  18. Yazigi A, Madi-Jebara S, Haddad F, Hayek G, Jawish D: Accuracy of radial arterial pressure measurement during surgery under controlled hypotension. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002; 46: 173-5.
  19. Penny JA, Shennan AH, Halligan AW, Taylor DJ, de Swiet M, Anthony J: The relative accuracy of sequential same-arm and simultaneous opposite-arm measurements for the intra-arterial validation of blood pressure monitors. *Blood Press Monit* 1999; 4: 91-5.
  20. Mantha S, Roizen MF, Fleisher LA, Thisted R, Foss J: Comparing methods of clinical measurement: reporting standards for bland and altman analysis. *Anesth Analg* 2000; 90: 593-602.
  21. Bland JM, Altman DG: Measurement error. *BMJ* 1996; 313: 744.
  22. American National Standard ANSI/AAMI SP10:2002. Manual, electronic, or automated sphygmomanometers. Arlington, Virginia, Association for the Advancement of Medical Instrumentation. 2003, pp 30-57.
  23. O'Brien E, Pickering T, Asmar R, Myers M, Parati G, Staessen J, et al: Working group on blood pressure monitoring of the european society of hypertension international protocol for validation of blood pressure measuring devices in adults. *Blood Press Monit* 2002; 7: 3-17.
  24. van Montfrans GA: Oscillometric blood pressure measurement: progress and problems. *Blood Press Monit* 2001; 6: 287-90.