

폐동맥압의 저주파진동에 관한 연구*

경상대학교 의과대학 심혈관연구소 소아과학교실, 내과학교실,** 마취과학교실***

염명걸 · 최동주** · 도문홍** · 정영균*** · 김승환

= Abstract =

The Novel Low Frequency Oscillation in Pulmonary Artery Pressure

Mung Kul Yum M.D., Dong Ju Choi M.D.,** Moon Hong Doh M.D.,**
Young Geun Jung M.D.,*** Seung Hwan Kim M.D.

*Institute of Cardiovascular Research, Department of Pediatrics, Internal Medicine** and
Anesthesiology,*** Gyeongsang National University, College of Medicine, Chinju, Korea*

Background : It is well known that systemic blood pressure oscillates with low(0.04~0.1Hz), mid(0.1~0.15Hz), and high(respiratory) frequency range. But there has been no study about oscillation of pulmonary artery pressure(PAP).

Methods : We measured PAP for 5 minutes in 32 patients of ventricular septal defect and stored them to computer files. Power spectral density curve was obtained. Low, mid, respiratory frequency power were measured by integrating the area within each frequency range below the power density curve.

Results : The incidence of significant low frequency power(more than 5% of total power) were higher in patients of high PAP and high Rp/Rs than those of low PAP and Rp/Rs($p<0.01$ and $p<0.005$ respectively). The low frequency power positively correlates with PAP and Rp/Rs ($r=0.62$, $p<0.0005$ and $r=0.61$, $p=0.0005$ respectively).

Conclusions : It can be said conclusively that as PAP and pulmonary vascular resistance elevates, the PAP tends to definitively oscillate in low frequency range.

KEY WORDS : Pulmonary artery pressure oscillation · Power spectral analysis.

서 론

일반적으로 생체에서 발생하는 여러가지 신호는 일정한 주기를 가지고 진동한다고 알려져 있다¹⁾. 그리고 각 정상적인 장기에서도 여러 상태에 따라

다른 진동이 나타날 수도 있고 병적인 상태에서는 비정상적인 진동이 나타날 수 있다. 대표적인 예가 뇌파이다. 정상 성인이 깨어있을 때는 주로 8~12 Hz의 파가 깊은 잠을 잘 때는 0.5~3Hz의 파가 나타나며 간질 환자에서는 여러가지 형태의 비정상적인 간질파(epileptic form discharge)가 나올 수 있다. 마찬가지로 심혈관계통에서도 전신혈압 또는 심박수는 정상상태에서 생리적으로 일어나는 교란(perturbation)에 대한 반응으로 진동을 한다고 알

*이 논문의 일부는 1992년도 추계 소아과학회에서 발표되었음.

*이 논문은 1992년도 경상대학교병원 임상연구비 일부 보조로 이루어졌음.

려져있다. 일반적으로 3가지의 주기를 가진 진동이 있다고 알려져있다²⁾. 첫째는 저주파 진동(0.04~0.1 Hz)이며 둘째는 중주파진동(0.1~0.15Hz) 세째는 고주파진동(호흡주기범위)등이 알려져있다. 중주파, 고주파진동에 대해서는 그 생리적의미에 대해 비교적 잘 알려져있으나^{3,4,5)} 저주파진동에 관해서는 아직까지 정확한 해석이 되지 않은 상황이다. 그러나 이러한 진동들이 인체의 혈액학적 균형 또는 항상성을 유지하는데 중요한 역할을 할 것이라는 데는 이견이 없으며 역으로 이러한 진동을 잘 분석하면 인체에서 일어나는 혈액학적변화 및 자율신경계의 영향을 정량적으로 분석할 수 있으므로^{6,7,8,9)} 심장, 혈관등의 병적인 상태를 조기 진단 또는 병리기전에 대한 이해에 결정적인 도움을 줄 수있다^{10,11,12,13,14)}. 그러나 인체 혈류량의 절반을 차지하는 폐혈류 그리고 그것과 관계된 폐동맥압의 진동에 대해서는 정상과 병적인 상태에서 모두 연구된 바 없다¹⁵⁾.

따라서 저자들은 폐동맥압을 power spectral 분석하여 1) 폐동맥압이 정상에 해당하는 환자와 폐동맥고혈압이 있는 환자에서 전신혈압과 심박간격변화에서 보이는 저주파, 중주파의 진동이 폐동맥압에서도 존재하는지를 조사하고 2) 폐동맥 고혈압, 폐혈관저항, 폐혈류량과 이러한 진동의 크기에는 상관관계가 있는지를 연구하고자 한다.

대상 및 방법

대상은 본 경상대학교병원 심혈관연구소에 심실중격결손증으로 진단 받고 심도자술 및 심혈관조형술을 받기 위해 입원한 1세~15세까지 소아 환자를 대상으로 하였다. 모든 환자들은 심도자술 및 심혈관촬영에 대한 충분한 설명과 그에 따르는 부작용들에 대해 이해를 시키며 서면 동의를 받은 환자에 한하여 위의 연구를 진행하였다.

1. 아날로그 신호처리

모든 환자에서 정맥마취후(ketamine 1mg/kg) 심도자술을 시행하여 catheter(Cordis NIH 5, 6, 7)를 좌폐동맥에 위치하여 폐동맥압을 지속적으로 monitoring한다(Statham pressure transducer, Pressure amplifier VR 12/16, V2203). 환자의 심전도와 호

흡은 Kontron A6 EKG, respiration monitor를 이용한다. 환자가 움직이지 않는 것을 확인한 상태에 최소 5분이상 Monitoring 한다. 이중 폐동맥압과 호흡 신호를 Pulse code modulator(Sony PCM-501 ES digital audio processor)를 통하여 VCR(Samsung SV-899)에 있는 videotape에 입력시킨다.

2. 아날로그신호의 디지털 변환(Analog to digital conversion)

위의 폐동맥압 및 호흡신호를 PCL-718(Taiwan) AD converter로 Borland C++로 짜여진 프로그램으로 interrupt방식의 400Hz로 sampling하여 이를 binary file로 disk에 저장한다.

3. 평균 폐동맥압 측정

압력 amplifier에서 영점조정 시킬 때의 영점선과 100mmHg로 조정했을 때의 선을 역시 computer로 받아 그 평균값의 차이를 100mmHg로 환산하여 폐동맥압을 구하였다. 그리고 256초 이상의 폐동맥압을 평균하여 이를 평균 폐동맥압으로 정의하였다.

4. 저주파수대역통과 필터(Low pass filter) 및 4Hz subsampling

먼저 연구자가 관심있는 주파수대역은 호흡주파수영역(respiratory frequency range)까지 이므로 미리 Borland C++로 짠 프로그램으로 2Hz의 버터워스 저주파수대역통과필터를 거친후 aliasing이 생기지 않는 최소 주기인 4Hz로 subsampling하여 이를 다시 저장시킨다.

5. 파워스펙트럼분석

DADisp package를 이용하여 위의 2 filtered data에서 1024 point(256초)를 추출하고(extraction) 각 신호의 직류(DC)성분을 빼고 Hamming window시킨 후 파워스펙트럼밀도함수를 구한다. 먼저 호흡신호 밀도함수에서 호흡주파수범위를 결정한다. 그 다음 폐동맥압력의 filtered data에서 0.04~0.1Hz, 0.1~0.15Hz, 호흡주파수범위의 면적을 구하여 이를 각각 low frequency power(LFP), mid frequency power(MFP), respiratory frequency power(RFP), 그리고 이들의 전체합을 Total power(TP)로 정의하였으며 이들은 각각 저주파진동, 중주파진동, 호흡주파수진동 그리고 전체 진동을 정량적으로

나타내는 지표가 된다.

6. 자료 분석

LFP와 MFP가 TP의 5% 이상 되는 경우를 의미 있는 진동이 있는 것으로 평가하였다¹⁾. 또한 평균폐동맥압력이 20mmHg 이상인 경우와 이하인 경우, Fick 방법으로 구한 Qp/Qs 2.0 이상인 경우와 이하인 경우, Rp/Rs 0.25 이상인 경우와 이하인 경우로 각각 나누어 두군 사이의 LFP, MFP 빈도 차이를 조사하였고(Chi square test) 평균 폐동맥압, Qp/Qs, Rp/Rs의 크기와 LFP, MFP크기에 상관관계가 있는지를 조사하였다(Pearson's linear correlation). 통계처리는 statistical analysis system(SAS)을 이용하였고 $p < 0.05$ 인 경우에 의미 있는 것으로 간주하였다.

결 과

환자의 나이는 1~180개월(median age : 12개월)

Table 1. Hemodynamic and power spectral data profiles

Variable	N	Mean \pm 1 SD	Range
PAP(mmHg)	32	26.0 \pm 15.5	10 - 74
Rp/Rs	29	0.17 \pm 0.11	0.03 - 0.56
Qp/Qs	29	2.2 \pm 1.7	1.1 - 6.1
log(LFP)*	32	4.4 \pm 0.75	3.2 - 5.8
log(MFP)*	32	3.9 \pm 0.7	2.8 - 5.3
log(RFP)*	32	6.1 \pm 0.3	5.4 - 6.8
log(TP)*	32	6.2 \pm 0.3	5.7 - 6.9

PAP : mean pulmonary artery pressure(see text), LFP : low frequency power, MFP : mid frequency power, RFP : respiratory frequency power, TP : total power.

* : arbitrary unit.

이었고 남자 21명 여자 11명이었다. 환자의 혈액학적 자료 및 각주파수별 logarithmic power는 Table 1에 나타내었다. 평균 폐동맥압(mmHg)은 $26.0 \pm 15.5(10 \sim 74)$, Rp/Rs는 $0.17 \pm 0.11(0.03 \sim 0.56)$, Qp/Qs는 $2.2 \pm 1.7(1.1 \sim 6.1)$, logarithmic LFP(arbitrary unit)는 $4.4 \pm 0.75(3.2 \sim 5.8)$, logarithmic MFP는 $3.9 \pm 0.7(2.8 \sim 5.3)$, logarithmic RFP는 $6.1 \pm 0.3(5.4 \sim 6.8)$, logarithmic TP는 $6.2 \pm 0.3(5.7 \sim 6.9)$ 였다.

Table 2에서 보면 의미 있는 LFP(전체 파위의 5% 이상) 즉 의미있는 저주파진동은 전체 32명 중 9명에서 발견되었다. 이를 환자의 혈액학상태에 따라 분류해 보았다. 평균폐동맥압이 20mmHg이하의 정상인 경우는 14명중 1명만 의미있는 저주파진동이 있었고 평균폐동맥압이 20mmHg이상 높은 경우에는 9명중 8명에서 의미있는 저주파진동이 발견되어 폐동맥압이 높은 경우에 낮은 경우 경우보다 의미있는 저주파진동이 있을 가능성이 많았고($p < 0.01$) Rp/Rs가 0.25보다 작은 경우는 26명중 5명에서 의미있는 진동이 발견되었고 반면 0.25이상인 경우는 3명중 3명 모두에서 의미있는 저주파진동이 발견되어 Rp/Rs가 클수록 의미있는 진동이 있을 가능성이 많았다($p < 0.005$). Logarithmic LFP와 평균폐동맥압, Rp/Rs, Qp/Qs와의 상관관계는 Fig. 1, 2, 3, 4에 나타나 있다. LFP와 평균폐동맥압사이에 $r = 0.62$, $p < 0.0005$ 의 유효한 상관관계가 있었고, Rp/Rs과의 사이에도 $r = 0.61$, $p = 0.0005$ 로 유효한 상관관계가 있었으나 Qp/Qs와는 유효한 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 따라서 저주파진동은 폐동맥압과 폐동맥저항에 비례하여 진동의 크기가 증가하는 것을 알 수 있었다.

중주파진동(MFP)의 경우는 전체 32명중 3명에

Table 2. Frequency of significant low and mid frequency power

		Mean PAP			Rp/Rs			Qp/Qs		
		<20	≥ 20	Total	<0.25	≥ 0.25	Total	<2.0	≤ 2.0	Total
LFP	<5%	14	9	23	21	0	21	14	7	21
	$\geq 5\%$	1	8	9	5	3	8	6	2	8
	Total	15	17	32	26	3	29	20	9	29
		$p < 0.01$			$p < 0.005$			NS		
MFP	<5%	13	16	29	19	7	26	18	8	26
	$\geq 5\%$	2	1	3	2	1	3	2	1	3
	Total	15	17	32	21	8	29	20	9	29
		NS			NS			NS		

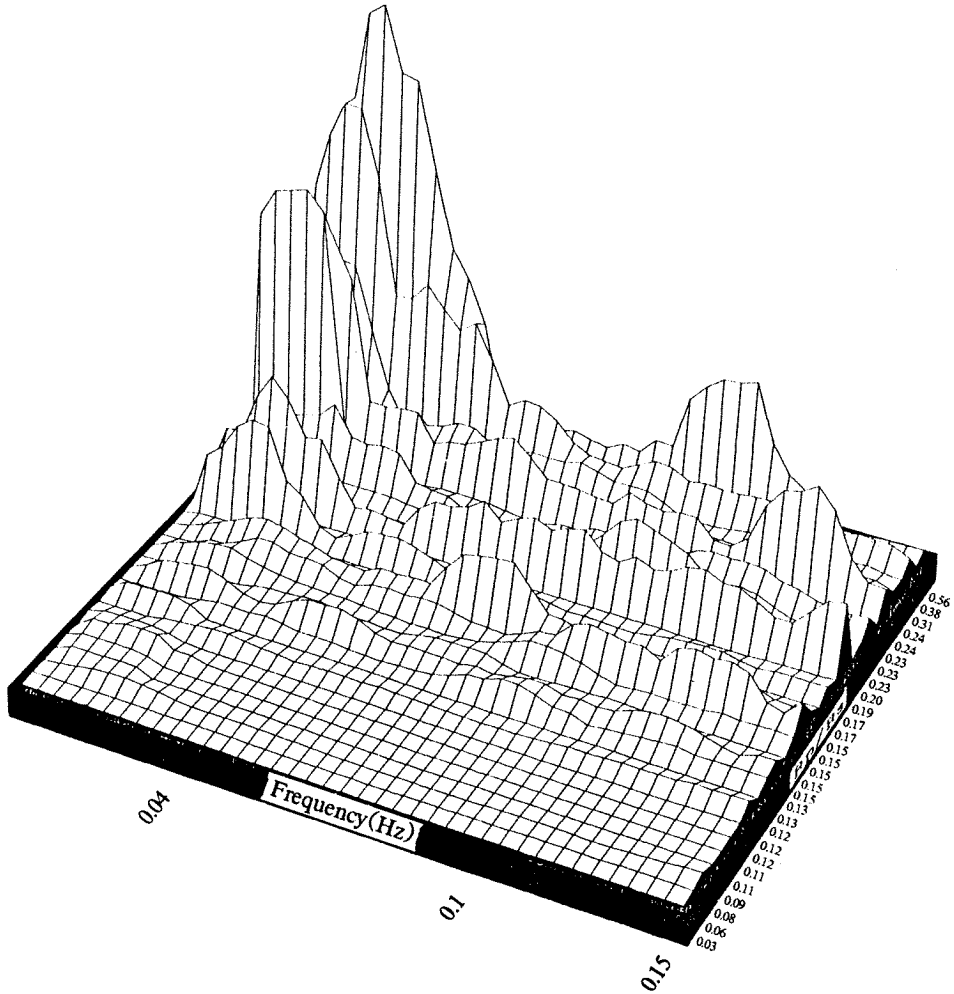


Fig. 1. 3 dimensional frequency-Rp/Rs distribution for power spectrum of pulmonary artery pressure. Note that power of mid and low frequency range(0.04~0.18Hz) increases as the Rp/Rs increases.

서만 5%이상의 의미있는 증가가 있었고 평균폐동맥압, Rp/Rs, Qp/Qs 크기에 따른 차이는 발견할 수 없었다(Table 2). 그러나 비록 의미있는 진동의 빈도는 작았지만 logarithmic MFP와 평균폐동맥압 사이에는 $r=0.39$, $p<0.05$, Rp/Rs사이에는 $r=0.47$, $p<0.01$ 로 유효한 상관관계가 있었고 Qp/Qs사이에는 유효한 상관관계가 없었다. 따라서 중주파수 진동도 폐동맥압과 폐동맥저항이 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있었다(Fig. 1, 2, 3, 4).

고 안

폐혈류에 있어서도 전신혈류에서와 마찬가지로

폐혈관저항과 탄성을 자율적으로 조절하는 3가지 기전이 알려져있다¹⁵⁾. 첫째 신경액성조절(neuro-humoral control), 둘째 압수용체반사, 화학수용체 반사를 포함한 반사조절, 셋째 시상하부 및 nuclues paragigantocellularis를 포함한 문측뇌간(rostral brain stem)등에 의한 대뇌의 직접 조절 등이 그것이다. 따라서 위와 같은 내부적 또는 자동적 폐혈류 조절 기구가 존재하므로 폐동맥압에도 전신혈압과 같은 진동이 존재할 것으로 저자들은 예측했었다. 본 연구에 의하면 전체 32명중 12명에서 의미 있는 저주파 또는 중주파진동이 발견되었다. 아직까지 폐동맥압에서의 이러한 진동이 보고된 바는 없었다. 또한 재미있는 사실은 위의 의미있는

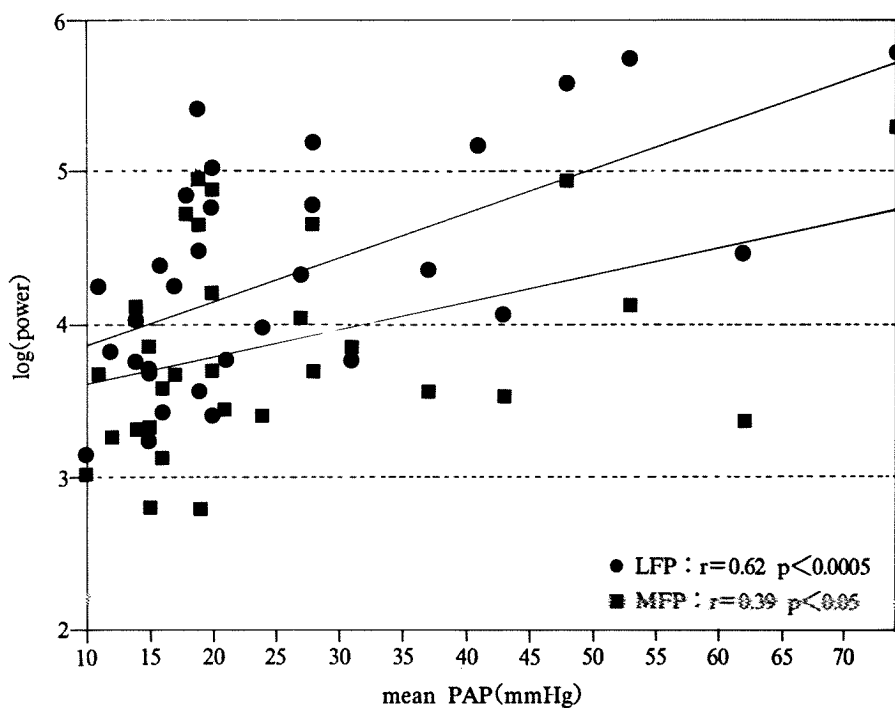


Fig. 2. Correlation between mid frequency power(MFP) and low frequency power(LFP) with mean pulmonary artery pressure(PAP). Inset shows correlation coefficient and it stastical significance.

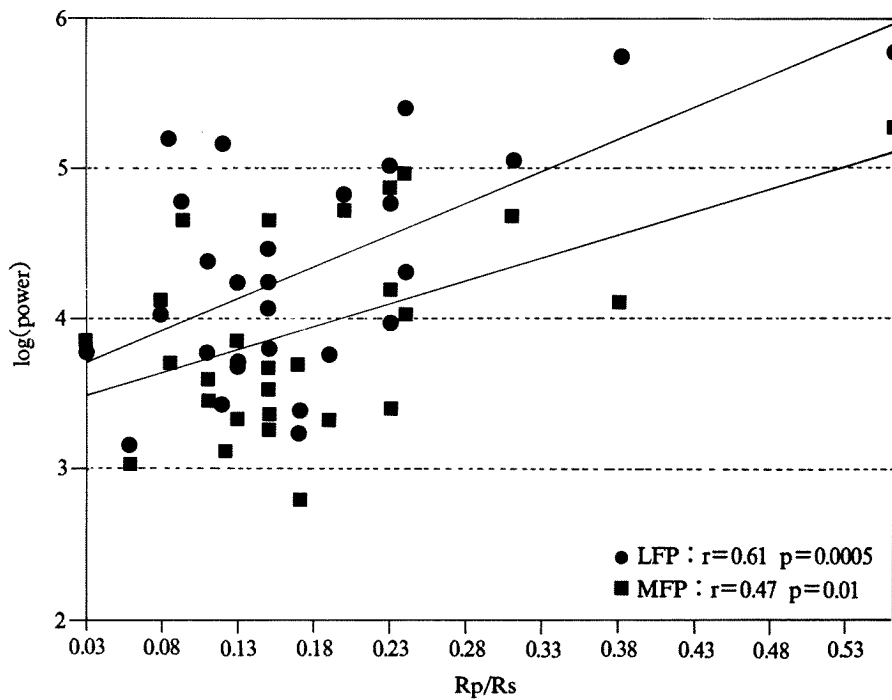


Fig. 3. Correlation between mid frequency power(MFP) and low frequency power(LFP) with R_p/R_s .

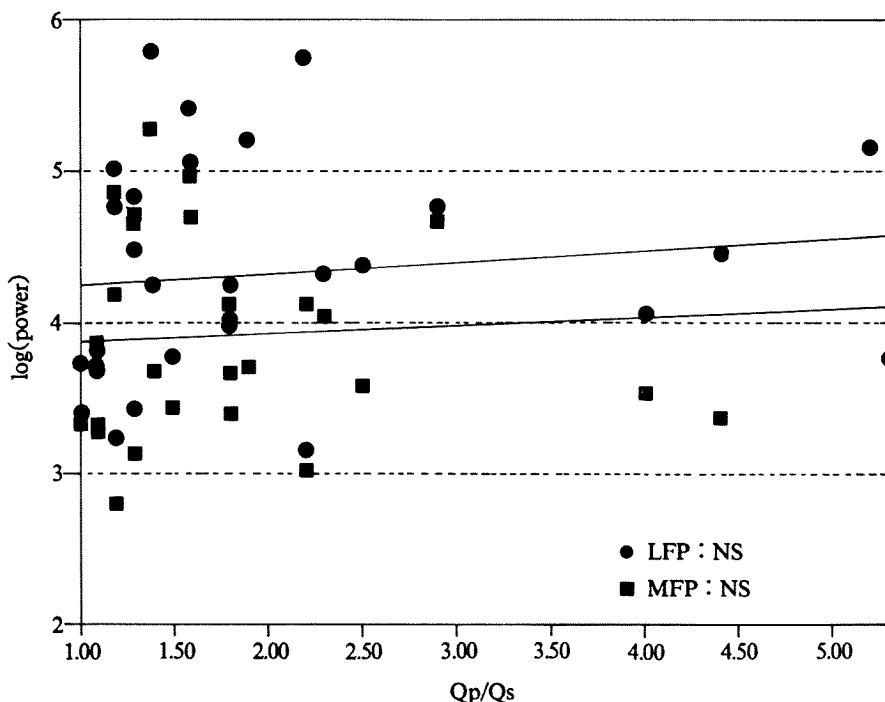


Fig. 4. Correlation between mid frequency power(MFP) and low frequency power(LFP) with Q_p/Q_s .

진동이 폐동맥압의 크기에 따라 발생 빈도에 차이가 난다는 사실이다. 즉 폐동맥압이 정상인 경우는 의미있는 저주파, 중주파진동의 빈도가 폐동맥압이 높은 경우에서 보다 낮았다. 원래 전신혈압에서의 중주파 진동은 Mayer wave에 의한 것으로 알려져 있고⁴⁾ 저주파진동은 말초혈류의 자동조절 기능을 나타내는 것으로 알려져 있다²⁾.

폐동맥압이 정상인 경우에 의미있는 중주파진동이 없음은 전신혈관에 작용하여 Mayer wave를 유발시키는 절전교감신경활성도(sympathetic preganglionic neuronal activity)⁴⁾가 폐혈관에는 영향을 미치지 않음을 시사한다. 그 가능한 이유로는 1) 중주파진동을 유발하는 교감신경이 폐혈관에는 분포되어있지 않을 가능성, 2) 분포는 되어있어도 폐혈관을 수축시키는 교감신경 수용체의 차이가 있을 수 있을 것 같다. 또한 저주파진동에서도 정상폐동맥압을 가진 경우는 마찬가지로 그 진동이 없거나 크기가 극히 작는데 그 이유는 아마도 폐조직의 주된 기능이 다른 전신 조직과는 달리 단순한 산소 및 이산화탄소의 교환이기 때문에 비교적 에너지 소비가 작고 국소의 대사작용도 전신의

말초조직에 비해 비교적 일정한 수준 즉 항상성을 유지할 수 있고¹⁵⁾ 따라서 국소혈류도 비교적 항정상태를 유지할 수있어 저주파진동이 나타나지 않았거나 있어도 아주 미비하게 나타난 것이 아닐까 하는 가능성을 제시할 수 있겠다.

폐동맥압이 높은 경우를 살펴보면 중주파진동은 폐동맥압이 정상이었던 경우와 마찬가지로 의미있는 진동을 볼 수 없었으나 저주파진동의 경우는 그 빈도가 증가되고 폐동맥압의 크기와 비례하여 저주파진동의 정도가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 과거에 폐동맥압 상승시 이러한 진동의 출현 및 그 기전에 대한 연구는 없었으나 전신혈압이 증가될 때 즉 고혈압환자 또는 실험동물에서 전신혈압의 저주파진동에 대한 보고는 있었다. Akselrod등은¹⁶⁾ spontaneous hypertensive rat(SHR)에서 전신혈압과 심박간격변이도를 스펙트럴 분석하였는데 심박간격변위도에는 별 차이가 없으나 전신혈압의 저주파진동(0.04~0.18Hz), 이중에서도 특히 0.04~0.1 Hz 사이의 진동이 같은 연령의 정상 쥐에서보다 감소하였음을 발견하였다. 또 1개월된 쥐에서는 (일반적으로 SHR에서는 출생후 1개월까지의 평균

혈압은 정상이다가 3개월이 지나야 비가역적인 고혈압이 발생함) urethan 마취제를 시키거나 척수화(spinalization)시키면 저주파진동의 감소가 없어지는 것을 관찰하였다. 이러한 사실은 고혈압이 임상적으로 뚜렷이 나타나기 이전에 이미 이러한 저주파 진동에 변화가 생기며 SHR에서이 진동은 대뇌에서 시작되며 이것이 본태성고혈압의 처음 시작과 관계될 것으로 생각하였다. 그러면 왜 저주파진동이 작아질까? 정상적인 쥐에서는 자발적대뇌교감신경출력(spontaneous central sympathetic neural output)이 지속적으로 진동하면서 안정된 정상 혈압을 유지하는 반면 고혈압 전후의 SHR에서는 자발적대뇌교감신경출력이 이미 최대점에 도달하여 말초혈관의 수용체가 이미 충만된 상태에서 설사 자발적대뇌교감신경출력이 진동한다해도 더 이상의 혈관수축이 일어나지 못해 결국 저주파진동이 감소한다고 설명하였다. Mancina등은¹⁷⁾ 정상 성인과 고혈압 환자를 대상으로 심박간격변위도와 전신혈압의 변위를 조사하였는데 혈압이 증가할수록 심박수변이도 및 혈압의 진동이 증가하는 것으로 보고하였다. 위의 2보고는 서로 다른 결과를 보였지만 고혈압환자 또는 동물에서는 정상인과는 다른 혈압의 진동을 나타내고 이것이 고혈압의 병리 기전을 밝히는데 도움이 될 수 있음을 시사하였다.

본 연구에서는 폐동맥압이 상승되어있는 경우에 폐동맥압의 저주파진동의 출현가능성이 높았는데 폐동맥압 저주파진동의 발생원인으로 가능성이 있는 것은 첫째 폐혈류량의 진동에 의한 것을 생각할 수 있겠다. 본 연구에서는 우심실압 또는 우심실혈류량의 진동을 측정하지 않았기 때문에 이를 배제할 수 없으나 의미있는 폐동맥압의 진동의 빈도가 이 폐혈류량의 지표인 Q_p/Q_s 와는 관계가 전혀없는 것으로 보아 폐혈류량이 증가와 관계된 진동이라 말할 수 없을 것 같다. 반면 폐동맥저항의 지표인 R_p/R_s 가 0.25 이상일수록 저주파진동의 발생이 빈발하고 또 저주파진동의 크기와 R_p/R_s 에 의미있는 상관관계가 있었는데 이는 폐혈관저항이 증가할수록 저주파진동의 크기가 증가하는 것을 의미한다. 따라서 이러한 폐동맥압의 저주파진동은 폐혈관 저항의 증가와 밀접하게 관계된다고 할 수 있겠다. Akselrod는 SHR의 전신혈관에서 이러한

저주파진동의 원인은 혈관자체의 기계적에서 진동보다는 자발적대뇌교감신경출력에 의한 진동으로 설명하였었다¹⁶⁾. 만약 그렇다면 한다면 폐동맥고혈압이 있는 환자에서 대뇌에서 폐동맥에 특이적으로 작용하는 어떠한 기전이 존재할 수도 있음을 시사한다.

위에서 말한 여러가지 가능성을 배제 또는 확인하기 위해서는 먼저 다음과 같은 몇 가지 기본적인 연구가 동반되어야 하겠다. 이점은 이 연구의 한계이기도 하며 앞으로 저자가 계속 연구할 과제이기도 하다. 첫째 폐동맥압, 우심실압, 그리고 전신혈압을 동시 연속 측정하여 우심실 및 전신혈압에서도 폐동맥압이 낮은 경우에는 저주파진동이 없고 높은 경우는 위와 같은 진동이 있는지를 확인해야한다. 또 진동의 존재 뿐만 아니라 폐동맥압, 우심실압, 그리고 전신혈압의 위상 차이를 계산하여 만약 진동이 존재한다면 어떠한 진동이 먼저인지를 알아야 위의 가정들을 확인할 수 있을 것 같다. 이러한 것들이 정확히 밝혀진다면 폐동맥고혈압의 병리기전을 이해하는데 특히 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 둘째 저자는 이미 저주파 및 중주파의 진동 주기를 과거에 전신혈압 및 심박수변위에서 일반적으로 알려진 대로 0.04~0.1Hz, 중주파 진동주기를 0.1~0.15Hz로 정하고 이 진동주기의 크기를 계산하였었다. 저주기, 중주기의 범위에 대해서는 아직까지 뚜렷히 의견일치를 보이고 있지 않다. 소아의 경우는 대사가 성인에 비해 왕성하므로 이러한 주기가 성인에 비해 조금더 고주파쪽으로 확장될 가능성도 많다. 더우기 폐동맥압의 진동에 대해서 아직까지 문헌에 보고된 바 없기 때문에 전신혈압의 진동주기를 그대로 응용한다는 것 자체도 문제가 있을 듯 싶다. 그러나 Fig. 1에서 보이듯이 저주파 중주파 진동의 파워가 전술한 부위에 집중되어 있는 것으로 보아 크게 차이는 없을 것 같기는 하다. 최근의 응용 통계학에서 주기를 예측하는 여러가지 방법들이 제시되어 이것이 물리적으로 많이 이용되고 있다. 예를 들면 자기회귀방법(autoregressive model), 자기회귀이동평균법(autoregressive moving average model) 등이 그것이다¹⁸⁾. 따라서 저자 등은 앞으로 이러한 방법으로 보다 정확한 폐동맥압의 진동을 연구할 계획이다.

배 경 :

전신혈압 및 심박수변위도는 일정한 주기를 가지고 진동하고 있으며 이는 혈액학적 항상성을 유지하는데 중요한 역할을 하고 병적인 상태에서 이러한 주기는 혈액학적 병태생리를 연구하는데 중요한 자료로 이용될 수 있다. 그러나 아직까지 전신혈류와 같은 양을 차지하는 폐혈류에 대해서는 이러한 진동이 연구된 바 없다.

방 법 :

경상대학병원 심혈관연구소에 입원하여 심실중격결손증으로 진단받고 심도자술을 시행하였던 환자 32명을 대상으로 폐동맥압을 5분간 연속적으로 컴퓨터에 기록하여 power spectral density를 구하여 저주파범위(0.04~0.1Hz), 중주파범위(0.1~0.15 Hz)의 power를 계산하여 폐동맥압에도 의미있는 진동(0Hz에서 부터 호흡주기 주파수까지의 전체 power의 5% 이상되는 중주파수, 저주파수 power)이 존재하는지를 조사하였고 저주파진동의 크기와 평균 폐동맥압, Rp/Rs, Qp/Qs와의 상관관계를 계산하였다.

결 과 :

폐동맥압이 정상범위에 있는 환자에서는 저주파 및 중주파진동이 나타나는 확률이 작았다. 반면 폐동맥압이 상승되어있는 환자(평균폐동맥압>20 mmHg)와 Rp/Rs가 증가되어있는 환자(Rp/Rs>0.25)에서는 저주파진동이 나타날 확률이 높았다. ($p<0.01$, $p<0.005$) 저주파진동의 logarithmic power는 평균 폐동맥압, Rp/Rs가 높을수록 커지는 경향을 보였다($r=0.62$, $p<0.0005$; $r=0.61$, $p=0.0005$).

결 론 :

폐동맥압이 상승되어있는 환자에서 의미있는 저주파진동이 빈번히 발견되고 이것은 평균폐동맥압, 폐동맥저항의 크기에 비례하여 그 크기가 증가하는 경향을 보인다. 이러한 진동의 임상적의의는 아직 알 수 없으나 폐동맥고혈압의 병리기전을 연구하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

- 1) Akselrod S, Gordon D, Madwed JM, Snidman NC, Shannon DC, and Cohen RJ : *Hemodynamic regulation : investigation by spectral analysis*. *Am J Physiol* 249(Heart Circ. Physiol. 18) : H867, 1985
- 2) Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Barger AC, Cohen RJ : *Power spectral analysis of heart rate fluctuation : A quantitative probe of beat to beat cardiovascular control*. *Science* 213 : 220, 1981
- 3) Pomeranz B, Macaulay RJB, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, Kilborn KM, Barger C, Shannon DC, Cohen RJ, and Benson H : *Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis*. *Am J Physiol* 248 : H151-H153, 1985
- 4) Preiss G, and Polosa C : *Patterns of sympathetic neuronal activity associated with Mayer waves*. *Am J Physiol* 226 : 724, 1974
- 5) Eckberg DL, Kifle YT, and Roberts VL : *Phase relationship between normal human respiration and baroreflex responsiveness*. *J Physiol* 304 : 489, 1980
- 6) Fouad FM, Tarazi RC, Ferrario CM, Fighaly S and Alicandri C : *Assessment of parasympathetic control of heart rate by a noninvasive method*. *Am J Physiol* 246(Heart Circ. Physiol. 15) : H838, 1984
- 7) Hellman JB, and Stacy RW : *Variation of respiratory sinus arrhythmia with age*. *J Appl Physiol* 41 : 734, 1976
- 8) Eckber DL : *Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow*. *J Appl Physiol : Respir Environ Exercise Physiol* 54 : 961, 1983
- 9) Hirsch JA, and Bishop B : *Respiratory sinus arrhythmia in humans : how breathing patterns modulates heart rate*. *Am J Physiol* 241(Heart Circ Physiol 10) : H620, 1981
- 10) Hrushesky WJM, Schmitt O, Gilbertsen V : *The respiratory sinus arrhythmia : A measure of cardiac age*. *Science* 224 : 1001, 1984
- 11) Gordon D, Herrera VL, McAlpine L, Cohen RJ, Akselrod S, Lang P, and Norwood WI : *Heart rate spectral analysis : A noninvasive probe of cardiovascular regulation in critically ill children with heart*

- disease. *Pediatr Cardiol* 9 : 69, 1988
- 12) Myers GA, Martin GJ, Magid NM, Barnett PS, Schaad JW, Weiss JS, Lesch M and Singer DH : *Power spectral analysis of heart rate variability in sudden cardiac death : comparison to other methods. IEEE Transactions on biomedical engineering BME-33 : 1149, 1986*
 - 13) Lombaredi F, Sandrone G, Pernpruner S, Sala R, Garimoldi M, Cerutti S, Basselli G, Pagani M, and Malliani A : *Heart rate variability as an index of sympathovagal interaction after acute myocardial infarction. Am J Cardiol* 60 : 1239, 1987
 - 14) Saul JP, Arai Y, Berger RD, Lilly LS, Colucci WS, Cohen RJ : *Assessment of autonomic regulation in chronic congestive heart failure by heart rate spectral analysis. Am J Cardiol* 61 : 1292, 1988
 - 15) Dantzker : *Cardiopulmonary Critical Care, 2nd ed., Saunders, Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo, p103-105, 1991*
 - 16) Akselrod S, Eliash S, Oz O, and Cohen S : *Hemodynamic regulation in SHR : investigation by spectral analysis. Am J Physiol* 253 : H176-H183, 1987
 - 17) Mancia G, Ferrari A, Gregorini L, Parati G, Pomidossi G, Bertinieri G, Grassi G, di Rienzo M, Pedotti A, and Zanchetti A : *Circ Res* 53 : 96-104, 1983
 - 18) Rahman MA, Yu KB : *Total least squares approach for frequency estimation using linear prediction. IEEE trans, acoustics, speech, and signal processing* 35 : 1440-1454, 1987