

Analysis of Relations Between Physiologic Parameters and Pulse Transit Time on the Ultrasound Therapy

金性民[†] · 崔相赫^{*} · 李萬杓^{**} · 崔炳哲^{***} · 鄭會昇[§] · 朴聖允^{§§}
 (Sung-Min Kim · Sang-Hyuk Choi · Man-Pyo Lee · Byeong-Cheol Choi · Whoi-Seong Jung · Sung-Yoon Park)

Abstract - Currently, the signal of the human body is measured with various methods, and a noninvasive investigation of various methods is useful diagnosis method. PTT(Pulse Transit Time) which is noninvasive investigation make use of to estimate the physiological phenomena. PTT has a latent information of cardiovascular system. So we have the experiments for analysis of the relations between PTT and physiological parameters. We examine to correlate to the physiological parameters, an age and degree of paralysis on the ultrasound therapy. The 40 patients who has a such paralysis join our experiment, and we obtain the PTT data that normal condition and states after ultrasound therapy. We study that PTT after the ultrasound therapy for patients who have a paralysis was related to an age and degree of paralysis.

Key Words : Ultrasound Therapy, PPT(Pulse Transit Time), PPG(Photoplethysmography), Physiological Parameters

1. 서 론

인체의 신호는 매우 여러 가지 방법으로 측정되며, PTT(Pulse Transit Time)의 측정은 맥파전달에 있어서 생리적 현상을 측정하기 위한 방법으로 많이 사용되고 있다. 이에 따라 최근 PTT를 통해 인체의 정보를 획득하는 연구로 소형화 되고 안정된 신호를 얻을 수 있는 기기들이 많이 개발되고 있다.

말초혈관에서의 맥파측정은 때때로 건강이나 질병을 판단할 수 있는 중요한 지표로 사용되며, 비침습적인 간단한 진단으로 심혈관계의 질병을 예측할 수 있는 유용한 기술이다. 비침습적인 연구 기술 개발은 임상평가에 있어서 매우 중요한 연구방법으로, 특히 말초혈류의 광학적인 평가방법은 심혈관계의 질병이나 혈관에 대한 잠재적인 정보를 담고 있기 때문에 그에 대한 연구는 매우 가치 있는 것으로 평가되고 있다.[1][2]

동맥혈관의 유순도(Arterial Compliance)와 그에 따라서 변화하는 맥파속도(Pulse Wave Velocity), PTT 등 비침습적인 측정으로 인체에서 획득할 수 있는 정보들은 나이와 심혈관계의 요소들과 깊은 관련이 있다는 연구들이 많이 보고되고 있

다. [3][4]

이러한 연구는 간단한 진단을 통해 여러 생리변수들의 상관관계를 분석함으로써 질병을 조기에 발견하고, 건강을 유지할 수 있는 지표를 마련하는 기반으로 사용할 수 있을 것이다.

초음파의 온열효과는 국소조직의 온도를 증가시키며, [5] 기계적 자극에 의한 히스타민 물질의 분비로 인해 동맥벽(Arterial Wall)과 내장에 있는 평활근(Smooth Muscle)을 수축시키고 동맥(Artery) 및 모세혈관(Blood Capillary)을 확장시켜 세포의 수분 양을 증가시키는 작용을 한다.

재활치료용으로 사용되는 초음파는 관절구축 및 유착, 급성 및 만성염증성 질환, 통증 완화 등의 목적으로 이미 널리 사용되고 있으며, 치료 초음파(Therapeutic Ultrasound) 위주의 통증의 경감과 치유를 목적으로 의료기기 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

1958년 Lehmann 등은 1MHz의 초음파로 조직의 손상 없이 조직의 온도를 상승시킴으로 혈류량이 증가함을 발견하였다. [6] 혈류량의 증가는 말초조직의 산소운반 속도를 증가시키며, 영양분 공급 등 신진대사를 활발하게 해 주는 기능을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 40명의 마비환자에게 초음파 투사 시 변화되는 PTT와 마비정도 및 나이의 상관관계를 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구방법

초음파를 투사하였을 때 혈관의 유순도가 변화한다는 것을 확인하기 위하여 PTT를 측정하였다. 실험을 위하여 초음파 발생 간이스주와 초음파 발생장치, PTT를 측정 할 수 있는

† 교신저자, 正 會 員 : 建國大學校 醫療生命大學 醫學工學部
 E-mail : smkim@kku.ac.kr
 * 正 會 員 : 建國大學校 醫療生命大學 醫學工學部
 ** 正 會 員 : 建國大學校 新技術融合科
 *** 正 會 員 : 春海大學 醫療工學科
 § 正 會 員 : 舟城大學 醫用電子機器研究所
 §§ 正 會 員 : 食品醫藥品安全廳
 接受日字 : 2007년 5월 31일
 最終完了 : 2007년 7월 3일

H/W, S/W를 이용하여 초음파 실험을 통하여 얻은 데이터를 연령과 마비 정도에 따라 상관관계를 분석하였다.

2.1.1 PTT(Pulse Transit Time)

PTT는 심장의 대동맥판(Aortic Valve)에서 말초동맥까지 맥파가 전달되는 시간을 말한다. 즉, 심장의 대동맥판(Aortic Valve)에서 말초까지 혈류가 흐르는 시간을 말한다. 이 동맥 압력파가 이동하는 속도는 직접적으로 혈압에 비례한다. 혈압의 급격한 상승은 동맥벽의 경직으로 PTT가 감소하는 원인이 되며, 혈압의 하강은 PTT가 증가하는 원인이 된다.[7] (그림 1)

PTT는 동맥혈관의 유순도를 판단할 수 있는 방법으로 사용되고 있으며, [8] 연속적인 측정을 이용하여 심혈관계의 질병을 알아낼 수 있다.

ECG(Electrocardiogram)의 R-peak와 PPG Pulse(Photo-plethysmography Pulse)의 최대값과 최소값의 중간값(50%)을 이용하여 PTT를 측정 할 수 있다.

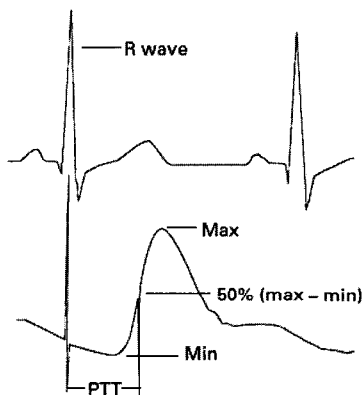


그림 1 ECG와 PPG를 이용한 PTT 측정
Fig. 1 PTT Measurement by ECG and PPG

2. 1. 2 PPG(Photoplethysmography)

PPG는 조직의 모세혈관을 통하여 심장에서 일어나는 혈류량(Blood Volume)의 변화를 빛 흡수도의 차이로 측정한다.1) 광학적 맥파 기록 방법으로 가시광선 또는 적외선을 이용하여 손가락 또는 귓볼 등에서 기록한다.

광선을 조직에 입사시킨 후 반사 또는 투과되는 광도를 측정하여 조직의 혈액량의 변화를 검출하는 방법이다. 이때 Lambert-Beer의 법칙(식 1)을 사용한다.

PPG의 측정은 귓볼, 손가락, 발가락 등에서 측정할 수 있으며,[9] 본 연구에서는 손가락에서 PPG를 측정하였다.

$$I_t = I_o \times 10^{-adc} \quad (1)$$

I_t : 투과 또는 반사되는 빛의 강도

I_o : 입사되는 빛의 강도

a : 조직의 광학적 흡수계수

d : 광학적 경로

c : 조직의 농도

2. 2 실험방법

2. 2. 1 PTT 측정시스템

본 연구에서 사용한 PTT시스템의 하드웨어 부는 심전도 측정을 위한 전극, PPG 측정을 위한 투과형 PPG 센서부, 심전도 및 맥파신호의 검출 및 필터링을 위한 신호처리부, 신호를 PC로 보내기 위한 직렬통신부 등으로 구분 할 수 있다. (그림 2) 소프트웨어는 Visual C++(Microsoft Ver.6.0)을 사용하여 개발하였다.

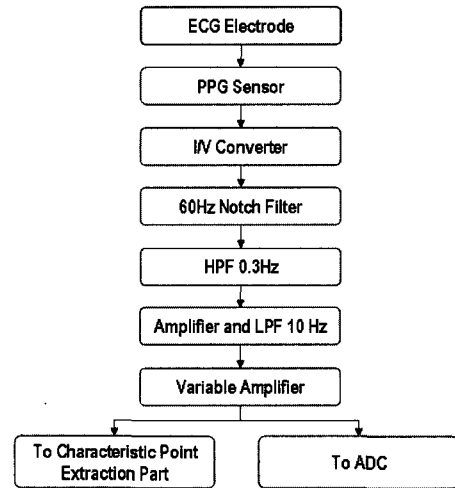


그림 2. PTT 측정 시스템 모식도
Fig. 2. Diagram of PTT Measurement System

소프트웨어의 구현은 ECG 신호의 특징점을 R파의 정점으로 검출하여 미분 알고리즘으로 ECG 파형의 기저선을 제거함으로써 Peak Pulse를 검출하였다. 기저선이 제거된 ECG파형과 비교파형을 발생시킴으로써 Peak Pulse를 구형파 형태로 검출하였다.(그림 3)

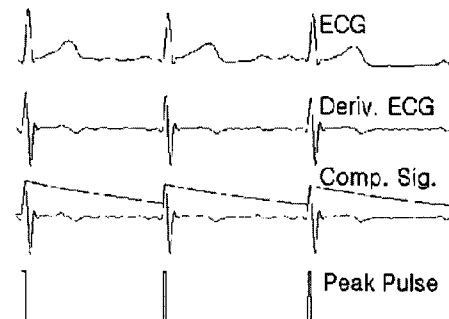


그림 3 ECG 특징점 검출
Fig. 3. A Characteristic Point Extraction from ECG Signal

전체적인 측정 시스템 블록도를 나타내었다. (그림 4)

2. 2. 2 초음파 간이수조 및 발생장치

PTT를 측정하기 위하여 피실험자의 공간을 다음과 같이

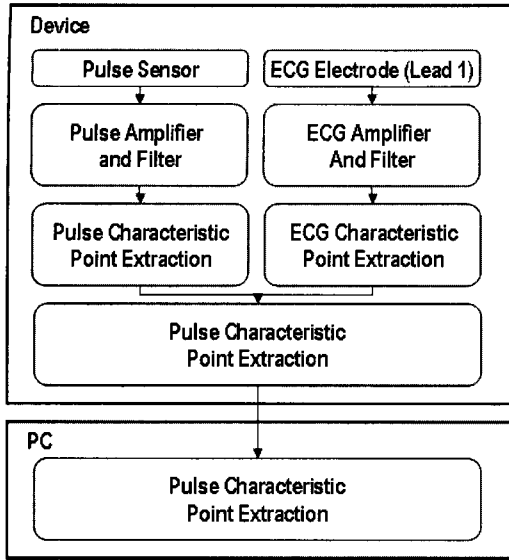


그림 4 PTT 시스템 개략도(장비, PC)
 Fig. 4 Schematic of PTT System(Device and PC)

구성하였다.(그림 5) 피실험자는 의자에 앉은 상태에서 실험을 진행하게 된다.

초음파 간이수조와 초음파 발생기는 구동회로 외장형으로 서로 분리되어 있으며, 초음파가 발생하는 초음파 간이수조와 초음파의 세기를 조절 할 수 있는 초음파 발생기로 구성되어 있다.

초음파 간이수조는 초음파 진동자가 수조 내부에 일정한 간격으로 3개가 설치되어 있으며, 수온을 조절할 수 있는 Hot Pump가 장착되어 있다. 초음파 발생기는 수온의 설정(25℃ ~ 40℃) 및 초음파의 세기를 설정(1.0 W/cm² ~ 2.0 W/cm²)할 수 있도록 제작되었다. (그림 6)

2.3 실험대상

본 연구에 참여한 환자들은 노인성 질환 및 척추 손상으로 인한 마비 환자와 근육이상 환자들 이며, 총 40명의 성인

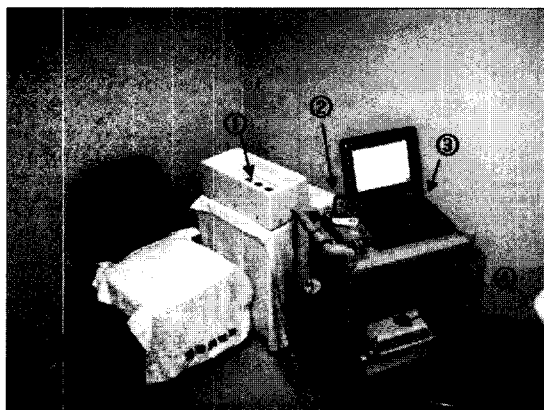


그림 5 실험장비 구성
 ① : 초음파발생 간이수조, ② : PTT 측정장치,
 ③ : PTT Software, ④ : 초음파 발생장치

Fig. 5 Experimental Equipment

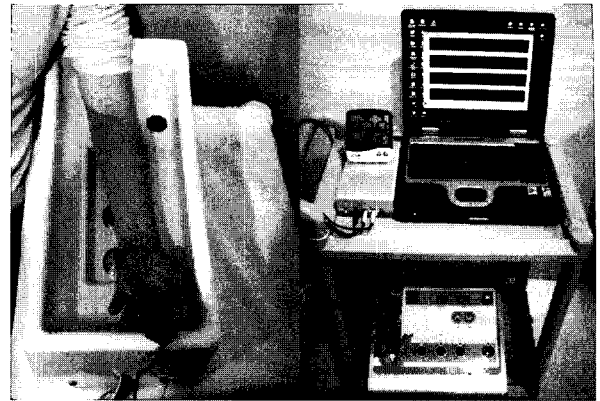


그림 6 초음파 간이수조 및 측정장치
 Fig. 6 Ultrasound Generator and System

남녀를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험기간은 약 3 개월이 소요되었으며, 1회의 실험 시 약 3 ~ 5명의 환자를 대상으로, 실험 전 주의사항 등을 설명 후 실행하였다.(표 1)

피실험자의 연령대는 평균 56.08세이며, 60 ~ 70대 45%, 50대 35%, 20 ~ 40대 20%이었다. 피실험자인 40명의 평균 심박수는 79.45 bit/min, 평균 신장은 164.88 cm 그리고 체중은 60.93 kg이었다.

피실험자 중 남자는 21명 , 여자는 19명 이었다.

여자의 평균 연령은 61.47세, 평균 심박수는 79.05 bit/min, 평균 신장은 159.16 cm 그리고 평균 체중은 54.94 kg이었다.

남자의 평균 연령은 51.19세, 평균 심박수는 79.81 bit/min, 평균 신장은 170.05 cm 그리고 평균 체중은 66.33 kg이었다.

전체 환자 중 70.0%는 뇌경색, 뇌졸중 및 뇌출혈로 인한 마비 환자이었고, 근육 이상 환자들은 17.5%, 그 외 12.5%는 운동기능에 불편함을 느끼는 환자들이었다.

실험을 위하여 휴식을 취하면서 심박수로 안정상태를 확인 하였으며, 안정상태가 확인 된 후 평상시 PTT를 측정하였다. 물이 없는 상태에서 평상시 PTT를 측정 한 후 27℃의 수온에서 3분간 팔을 담근 후 PTT를 측정하였다. 그 후 5분간의 휴식을 간격으로 3분간 초음파 세기를 변화시키면서 PTT를 측정 하였다. (표 2)

2.3.1 마비정도 별 Group

전체 환자를 3개의 Paralysis Group으로 나누었다. 호흡곤란 등 운동기능에 불편함을 느끼는 환자들을 Paralysis Group 1으로 나누었고, 근육염, 운동근육의 기능이 저하된 환자들, 근육의 부상으로 인해 근육에 이상이 있는 환자들을 Paralysis Group 2로 나누었다. 마비정도가 가장 심한 환자들(뇌출혈 및 뇌경색, 뇌졸중, 경추손상 및 척수염 등으로 인해 하지 및 좌, 우측의 마비를 가지고 있는 환자)을 Paralysis Group 3으로 분류하였다.

Paralysis Group 1은 1 Grade, Paralysis Group 2는 2 Grade, Paralysis Group 3은 3 Grade로 임의적인 가중치를 부여했다.

Group 1의 평균 연령은 64.20세, Group 2의 평균 연령은 39.83세, Group 3의 평균 연령은 58.00세였다.

표 1 실험대상 40인 평균값(나이, 심박수, 신장, 체중)

Table 1 Mean Value(Age, Heart Rate, Height, Weight) in 40 Subjects

	Persons	Average Value			
		Age (years)	Heart Rate (bit/min)	Height (cm)	Weight (kg)
Total	40	56.08	79.45	164.88	60.93
Female	19	61.47	79.05	159.16	54.95
Male	21	51.19	79.81	170.05	66.33

표 2 측정 조건(수온, 초음파 세기 변화)

Table 2 Measurement Condition(Water Temperature, Change of Ultrasound Intensity)

Experiment	Normal State	In Water	1	2	3
Measurement / Rest	3 min / 5 min	3 min / 5 min	3 min / 5 min	3 min / 5 min	3 min / 5 min
Water Temperature	No Water	27°C	27°C	27°C	27°C
Intensity of Ultrasound	-	-	1.0 W/cm ²	1.5 W/cm ²	2.0 W/cm ²

각 Group별 평균 Heart Rate는 Group 1은 82.40 bit/min, Group 2는 79.83 bit/min, Group 3은 78.10 bit/min이었다.

2. 3. 2 연령별 Group

전체 환자를 3개의 Age Group으로 나누었다. 20 ~ 40대 연령의 환자를 Age Group 1으로 나누었고, 50대 환자를 Age Group 2로, 60 ~ 70대 환자를 Age Group 3으로 나누었다.

각 Age Group별 평균 연령은 Age Group 1은 32.57세, Age Group 2는 55.27세 Age Group 3는 67.29세였다.

각 Age Group별 평균 Heart Rate는 Age Group 1은 80.71 bit/min이었고, Age Group 2는 77.82 bit/min, Age Group 3는 79.29 bit/min이었다.

마비정도별 Paralysis Group으로 나눌 때 정의했던 임의적인 마비등급을 토대로 각 Age Group별 평균 마비등급을 나타내었다. Age Group 1은 2.43, Age Group 2는 2.73, Age Group 3은 2.36으로 나타났다.

표 3 마비정도에 따른 PTT분석

Table 3 PTT Analysis by Degree of Paralysis

Paralysis Group	Average Value				
	Age (years)	Heart Rate (bit/min)	Normal PTT (msec)	Ultrasound Therapy PTT (msec)	PTT Valuation (msec)
1	64.20	82.40	231.87	247.14	15.27
2	39.83	79.83	229.08	237.88	8.80
3	58.00	78.10	213.93	227.82	13.89

표 4 연령에 따른 PTT 분석

Table 4 PTT Analysis by Age Group

Age Group	Average Value					
	Age (years)	Heart Rate (bit/min)	Normal PTT (msec)	Ultrasound Therapy PTT (msec)	PTT Valuation (msec)	Paralysis Grade
1	32.57	80.71	235.08	243.24	8.15	2.43
2	55.27	77.82	220.31	235.63	15.32	2.73
3	67.29	79.29	211.24	225.20	13.95	2.36

3. 결 과

3.1 마비환자별 결과

환자 Paralysis Group별로 평상시 PTT를 측정한 결과 마비 정도에 대하여 마비 정도가 심할수록 PTT가 짧은 경향을 보였다.(표 3) Paralysis Group 1의 평상시 PTT는 231.87 msec로 가장 높았으며, Paralysis Group 3의 평상시 PTT는 213.93 msec로 가장 낮았다.

초음파 치료를 통한 PTT 변화량은 운동기능에 큰 장애 없이 불편함을 느끼는 환자들로 구성된 Paralysis Group 1이 15.27 msec로 가장 많은 변화량을 보였으며, 마비 정도가 가장 심한 Paralysis Group 3은 13.89 msec, 운동기능이 저하된 환자들은 8.80 msec로 가장 적은 변화량을 보였다.

초음파 치료를 통한 PTT와 마비정도의 상관관계는 Paralysis Group 2와 Paralysis Group 3를 비교 했을 때 마비 정도가 심할수록 PTT의 증가량이 큰 것을 알 수 있다.

3.2 연령별 결과

연령별로 전체 환자를 3개의 Age Group으로 나누었으며, 각 Age Group별로 PTT를 측정한 결과, 평균 나이가 많을수록 PTT가 짧은 것을 알 수 있었다.(표 4) Age Group 1의 평균 연령은 32.571이였으며, 평상시 PTT는 235.08 msec로 높았다. 하지만 평균연령이 67.29 세인 Age Group 3의 PTT는 211.24 msec로 가장 낮았다.

연령별로 본 평상시 PTT는 연령이 낮을수록 PTT가 감소하는 것을 볼 수 있었다.

초음파를 투사했을 때 PTT와 연령의 관계를 살펴보면 평균 연령이 50대인 Age Group 2의 변화량은 15.32 msec로 가장 높았으며, 20 ~ 40세의 Age Group 1의 변화량이 8.15 msec로 가장 낮았다.

4. 결 론

마비 환자별 PTT를 측정한 결과 마비 정도가 심할수록 PTT가 짧아지는 경향을 보였다. Paralysis Group 2의 PTT의 변화량은 8.80 msec로 가장 낮았으며, 이는 평균 연령이 39.83세로 초음파로 인한 혈관의 유순도의 증가가 가장 적은 것으로 나타났다. 이는 연령이 낮을수록 PTT의 변화가 감소한다는 결론을 얻을 수 있었다.

이를 확인하기 위하여 전체 환자를 연령별로 분류하여 분석한 결과 연령이 가장 낮은 Age Group 1이 가장 낮은 PTT변화량을 보였다. 하지만 연령별 분석에서 60세 이상인 Age Group 3보다 50대 환자인 Age Group 2가 높은 PTT 변화량을 나타냈다. 이는 연령이 높아질수록 혈관의 탄성이 감소하여 초음파 투사 시 50대 환자보다 혈관의 유순도의 증가율이 적기 때문인 것으로 판단된다.

또한 마비정도에 따른 결과로 판단하여 보면, 임의적으로 등급을 나눈 마비정도를 보았을 때 Age Group 2의 등급이

2.73으로 가장 높았다. 이는 마비 정도가 심할수록 PTT의 증가량이 높은 결과를 보인 것과 관계가 있는 것으로 판단된다.

초음파 투사 시 마비정도와 연령은 PTT의 변화량과 밀접한 관련이 있으며, 혈관의 탄성 감소가 적은 20~40대의 연령대보다 혈관의 탄성이 다소 떨어진 50대에서 가장 큰 효과가 있었다고 판단할 수 있다. 하지만 혈관의 탄성이 가장 적은 60대 이후에서는 초음파의 효과가 줄어드는 경향을 볼 수 있었다.

마비정도에 따라 달라지는 PTT의 변화량은 혈관의 유순도와도 관련이 깊으며, 마비정도가 심할수록 초음파의 임상적 효능이 잘 나타난다고 판단 할 수 있다.

5. 고 찰

초음파 치료 시 PTT와 환자의 마비 및 연령의 관계를 분석하였다. 환자의 마비 정도를 임의적으로 등급을 부여하여 측정하였지만, 전문적으로 등급을 나눌 수 있는 프로토콜을 가지고 정상인과 비교 할 수 있는 연구가 필요할 것이다.

마비환자의 재활치료에 있어서 초음파 치료는 효과가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지역중점기술개발사업의 지원으로 이루어짐.

참 고 문 헌

- [1] J. Y. A. Foo, S. J. Wilson, G. R. Williams, M. Harris and D. M. Copper, "Motion artefact reduction of the photoplethysmographic signal in pulse transit time measurement", Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine, Vol. 27, pp. 165-173, 2004
- [2] J. Y. A. Foo, S. J. Wilson, G. R. Williams, M. Harris, D. M. Cooper, "Pulse Transit time differences between the finger and toe in children", Internal Medicine Journal, Vol. 34, pp. A27, 2004
- [3] J. Y. A. Foo, S. J. Wilson, G. R. Williams, M. Harris, D. M. Cooper, "Age-related factors that confound peripheral pulse timing characteristics in Caucasian children", journal of Human Hypertension, Vol. 19, pp.463-466, 2005
- [4] J. Y. A. Foo, S. J. Wilson, G. R. Williams, M. Harris, D. M. Cooper, " Relations between physiologic parameters and pulse transit time during Loaded Breathing", Proceeding of the 2005 IEEE, pp. 7521-7524, 2005
- [5] Chan, A. K., Myrer, J. W., Measom, G, Draper, D. O.,

- "Temperature changes in Human Patellar Tendon in Response to Therapeutic Ultrasound", *Journal of Athletic Training*, Vol.33, No.2, pp130-135, 1998
- [6] Lehmann, E. D., Hopkins, K. D., Gosling, R.G., "Aortic compliance measurements using doppler ultrasound: In vivo biochemical correlates", *Ultrasound in Medicine & Biology*, Vol.19, No.9, pp683-710, 2003
- [7] Robon P Smith, Jerome Argod, Jean-Louis Pepin, Patrick A Levy, "Pulst transit time : an appraisal of potential clinical applications", *Thorax*, Vol. 54, pp.452-457, 1999
- [8] M Nitzan, B Khanokh, Y Slovik, "The Difference in pulse transit time to the toe and finger measured by photoplethysmography", *Physiol. Meas.*, 23(2002), pp. 85-93
- [9] J. Allen, A. Murray, "Age-related changes in peripheral pulse timing characteristics at the ears, fingers and toes", *Journal of Human Hypertension*, Vol. 16, pp. 711-717, 2002

저 자 소 개



김 성 민(金 性 珉)

1962년 9월 25일생. 1985년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1991년 미국 아이오와 대학교 의용공학과 졸업(석사). 1995년 미국 아이오와대학교 의용공학과 졸업(박사). 2002~건국대학교 의료생명대학 의학공학부 부교수.

Tel : 043-840-3761
Fax : 043-851-7205
E-mail : smkim@kku.ac.kr



최 병 철(崔 炳 哲)

1968년 12월 21일생. 1995년 인제대학교 의용공학과 졸업. 1998년 부산대학교 의공학협동과정(석사). 2004년 부산대학교 의공학협동과정(박사). 2000년 춘해대학교 의료공학과 부교수

Tel : 052-270-0282
Fax : 053-270-0280
E-mail : bcchoi@choonhae.ac.kr



최 상 혁(崔 相 赫)

1983년 9월 12일생. 2003년 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 재학 중.

Tel : 043-851-7205
Fax : 043-851-7205
E-mail : schoih@empal.com



정 회 승(鄭 會 昇)

1963년도 7월 20일생. 1986년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1988년 연세대학교 전자재료전공(석사). 1999년 연세대학교 전자재료전공(박사). 1998~(주)울쏘하이텍 기술이사. 1997~주성대학 부교수.

Tel : 043-210-8209
Fax : 043-214-7800
E-mail : hsjeong@jsc.ac.kr



이 만 표(李 萬 杓)

1982년 1월 14일생. 2007년 건국대학교 의과대학 의학공학부 졸업.

Tel : 043-851-7205
Fax : 043-851-7205
E-mail : leemp@konkuk.ac.kr



박 성 윤(朴 城 允)

1979년 4월 20일생. 2005년 건국대학교 의과대학 의학공학부 졸업. 2007년 건국대학교 의학공학부 졸업(석사).

Tel : 02-453-7204
Fax : 02-453-7204
E-mail : sypark79@gmail.com