

자기장 측정 흡소자 집게형 맥진기를 이용한 허맥과 실맥 예측 알고리즘 개발

이남규 · 김근호 · 이상석*

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

유지혜 · 유준상

상지대학교 부속한방병원 사상체질의학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

선승호

상지대학교 부속한방병원 한방내과, 강원 원주시 우산동, 220-702

장세진

연세대학교 원주의과대학 예방의학교실, 직업환경의학연구소, 강원 원주시 일산동, 220-701

홍유식

상지대학교 이공과대학 컴퓨터정보공학부, 강원 원주시 우산동, 220-702

(2013년 4월 6일 받음, 2013년 5월 8일 최종수정본 받음, 2013년 5월 8일 게재확정)

소형 영구자석이 부착된 상태에서 요골동맥의 미세한 움직임으로 자기장 변화를 측정하는 흡소자 집게형 맥진기를 개발하였다. 이 맥진기를 통해서 얻은 120명의 임상데이터를 통계적 로지스틱 회귀분석으로 처리하여 허맥과 실맥을 예측하는 알고리즘의 특성을 연구하였다. 요골동맥과의 반사파 시간값과 절흔점 시간값이 허맥과 실맥을 예측할 수 있는 주요인자이였으며, 판별율은 65%이었다. 이로써 한의학적 허맥과 실맥을 예측하고 판별하는 진단지표로 사용할 가능성을 제시하였다.

주제어 : 영구자석, 흡소자, 집게형 맥진기, 요골동맥과, 허맥, 실맥, 임상데이터, 로지스틱 회귀분석

I. 서 론

미세 자성 측정용 첨단소자들은 산업용, 군사용, 의료용, 과학측정용, 컴퓨터의 정보저장 매체용 등으로 다양하게 사용되고 있는 것으로 알 수 있듯이 이 기술의 산업적 파급효과는 점점 증가하고 있다. 특히 나노자성 소자는 나노기술과 생명공학기술의 발전과 생물학 및 의학적인 학제간 융합연구의 발전으로 DNA(deoxy nuclei acid) 분자 칩(chip)이나 고감도 생체센서로 활용하기에 이르렀다[1, 2]. 생체분자로부터 나오는 생체신호 검출을 위해 개발된 바이오센서(biosensor)는 생물학적 인지시스템과 물리화학적 신호변환기(transducer)를 조합하여 특이한 분자 중에 대한 선택적인 반응을 분석하는 핵심 소자들로 구성되어있다[3, 4]. 최근 고감도 나노자성 바이오센서를 이용해 생체분자들의 존재 및 운동과 자성특성 관찰이 활발히 시도되고 있다.

바이오센서에 대한 수요가 가장 많은 의료부문에 있어 조만간 큰 시장이 형성되어 고도의 치료 및 진단 기술을 요하는 기기의 핵심소자로서 각광을 받을 것으로 예상된다. 따라서 생체분자의 자성 특성과 생체 조직으로 이동할 수 있는 관내에서 결맞은 운동을 하는 실제 모습을 광학 현미경 사진으로 얻거나, 그 물성적 특징 중 하나인 자기적 특성 여부를 확인할 수 있을 것으로 보인다. 개발될 바이오센서는 특이 중 분자를 선택함에 있어서 자성신호를 이용한 생물학적 및 화학적 분자 단위의 입자의 운동을 관찰 하는데 용이할 것이다[5].

한편 인체내 혈관 순환계 기관이 주기적으로 운동을 하는 곳에 붙인 소형 영구자석으로 인한 자기장의 변화는 충분한 신호의 크기로 관찰할 수 있다. 우리나라 뿐 아니라 전세계적으로 고령인구의 증가로 만성질환에 대한 건강관리가 주요 관심사이다. 특히 해외 보완대체의학 시장의 경제파급효과와 국내 한방의료의 수요증가가 기대된다. 특히 혈관질환에 대해서는 심장혈관, 뇌혈관, 말초혈관 등의 병증에 대해서 적극적인 관리가 필요하다[6].

요골동맥의 “촌”, “관”, “척” 3개의 점에서 맥상 깊이와 길이의 공간 정보가 가장 잘 나타나는 부분은 “관”이다. 맥진 파형신호는 요골동맥 맥진기의 센서가 “관”에 위치해 있는지 아닌지와, 손목의 구부림 각도에 민감하게 영향을 받는다[7]. 요골동맥의 “관” 위치에 잘 맞게 장착한 영구자석은 맥동의 변위에 따라 위아래로 움직여 자기장의 변화를 주게 된다. 기존의 압력센서, 적외선센서, 임피던스센서처럼 홀센서가 맥진 신호를 전압 신호로 변환하는 변환기가 되어 요골동맥 맥진기를 구현할 수 있다[8].

재현성과 신뢰성이 갖기 위한 한방진단기기는 객관적인 임상자료가 요구된다. 맥진파형을 찾는 시간을 극소화 하고, 휴대용 맥진기가 진단 기구로써 널리 보급되기 위해 홀소자를 이용한 집게형 맥진기 개발이 필요하다[9]. 본 연구진에서는 손목의 요골동맥 위치에 안정되게 고정된 홀 소자로부터 얻은 맥진파형 분석으로 추정된 혈압, 맥박수, 혈류속도, 맥파 전달속도 등의 한방생체정보 신호들의 값을 보여주는 시제품을 이미 개발하여 발표하였다[7-9].

한의학적진단 및 변증의 가장 중요한 8가지를 팔강(八綱)이라고 하며, 이는 음양, 표리, 한열, 허실이다. 음양이란 인체나 병증을 음양의 속성중, 음 혹은 양으로 구분하여 진단치료 하는 것이며, 표리(表裏)나 병증의 소재 위치를 말하는 것으로 표는 겉, 리는 속을 말한다. 한열(寒熱)이란 병증의 성질을 말하는 것으로 한이란 몸이 차가운 상태, 열이란 몸이 뜨거운 상태를 말한다. 허실(虛實)이란 인체나 병증의 성쇠(盛衰)를 말하는데, 허증이란 인체나 병증이 부족하고 약한 상태이며, 실증이란 인체나 병증이 많고 강한 상태이다[10, 12].

전통적인 한의학 진단방법 중 하나인 맥진은 맥의 크기, 빠르기, 깊이, 폭 등을 관찰하여 진단에 활용하는 방법으로, 맥진은 한의사 개인의 기술 등에 의해서 주관적 판단이 개입할 수 있어서, 교육이나 전승에 많은 어려움이 있다. 또한 기타 한방산업으로 파급되기에 제한점이 있으며, 이를 극복하고자 많은 객관적 맥진기들이 개발되고 있다[7-9].

본 연구는 의료기기 3등급인 맥파분석계로써 집게형 맥진기가 한국식품의약품안전처의 품목허가를 위한 진행과정의 일부분이다. 맥파를 얻기 위하여 사용된 형명 SPULS-2011의 맥진기는 미세한 자성 측정용 홀소자를 이용한 집게형 맥진기로서[13], 기존의 단순 압력센서로서 측정하기 어려운 맥상을 넓은 면적에 적용하여 맥파형의 변화를 관찰할 수 있게 만든 맥진기이다. 본 연구는 자성홀소자를 이용한 집게형 맥진기의 유효성 평가를 탐색적으로 하고자 상지대학교 부속한방병원에서 수행한 연구용 임상시험의 결과이다. 특히 허맥과 실맥을 판별하는 표준화된 맥상에 대한 한방진단용 알고리즘을 얻고, 이 결과에 대한 시험적인 고찰을 하였다.

II. 실험방법

1. 영구자석과 홀소자를 이용한 맥파의 획득

Fig. 1(a)는 맥파의 획득 순서를 나타내었다. Fig. 1(b)에서 보여주듯이 요골동맥에서 생성된 맥을 얻기 위해 가까운 피부 표면면에 영구자석을 밀착시켜 요골동맥의 수직 변위에 따라 자석의 위치가 변하게 되며, 자석의 변위에 따라 일정거리에 있던 센서에 받아들여지는 자기장의 세기도 변하게 된다. 이렇게 변하는 자기장에 대해 센서는 전압신호로 변환하게 되는데 그때 섞여있는 노이즈 신호도 같이 변환하게 된다. 그래서 변환된 신호를 아날로그 필터를 통해 필터링하고, 필터링 된 신호를 증폭시켜 프로세서에 내장되어있는 A/D Converter로 보내고 A/D Converter에서 아날로그 신호를 디지털로 바꾸어 수치화된 신호를 축적하게 된다.

맥동은 요골동맥의 단위 파형 당 약 1.13 mm의 최대 수직 변위를 나타낸다. 그러므로 피부에 밀착된 자석의 최대변위도 약 1.13 mm 이내로 예상을 했다. 자석은 일단 구하기 쉽고 피부 면에 접촉하기 쉬우며 측정부에 부착하기 쉬운 3 mm 지름, 1 mm 두께의 넓적한 모양의 네오뉘(Nd) 자석을 선정하였다. 자석간의 자기장 세기의 편차를 알아보기 위해 거리 별로 홀소자로 자기장의 세기를 측정해본결과 Fig. 2와 같이 자석마다의 편차가 있음을 확인할 수 있었고 센서와의 거리가 가까울수록 편차가 커지며 거리가 멀수록 편차가 작아졌다. 차이가 100 Oe 이상으로 심한 부분은 2 mm 이하 부분에서 나타났으며 3 mm 이상에서는 최댓값과 최솟값의 차이가 45 Oe로 낮아서 자석과 센서의 거리선정 시에 Fig. 2에 점선으로 표시한 것처럼 3 mm 이상 거리를 유지시켜야 100 Oe 근방의 자기장 값으로 자석간 편차를 줄일 수 있다.

자기장센서는 자기장의 세기에 선형적인 특성을 갖고 있으면서 10 mV/Oe의 감도를 갖는 Allegro사의 A1395 Linear Type을 사용하였다. 그러므로 자석과 센서사이 거리는 자석의 자기장 세기가 100 Oe 근방 값을 갖는 거리로 선정을 하여야 한다.

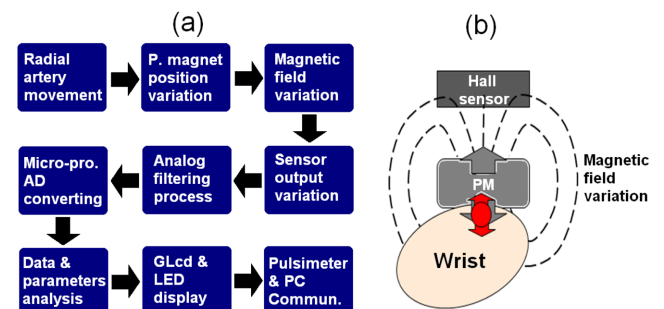


Fig. 1. (Color online) The operating process of a pulsimeter system. Here PM is an abbreviation of permanent magnet.

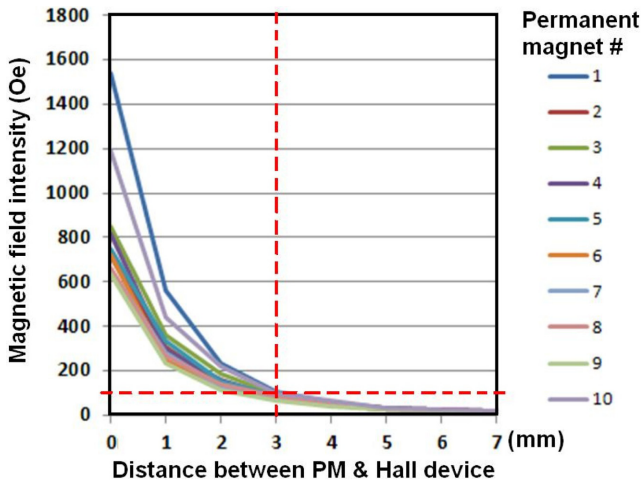


Fig. 2. (Color online) Magnetic field intensity of 3 mm Dia. × 1 mm T size for 10 magnets depending on distance between permanent and Hall device. Here solid lines notice operating position of permanent.

손목의 요골동맥 부분에 접촉되어 중심부에 영구자석을 감싸고 있는 실리콘 하우징의 두께는 영구자석과 센서의 거리를 결정하므로 앞에서 언급한 것과 같이 자석과 센서의 거리가 3 mm 이상이면 100 Oe 이하의 범위에서 움직일 수 있도록 설계했다. 그리고 맥동의 최대 변위는 1.13 mm이므로 측정을 시작하기 전에 4.34 mm 이상으로 초기화해야 한다.

2. 홀소자를 이용한 집게형 맥진기의 구성과 측정

홀소자를 이용한 맥진기는 손목에 탈부착이 쉽고 간편하고 측정 시에 일정한 압력을 유지시켜 줄 수 있는 집게형으로 디자인하였다. 집게의 안쪽에는 맥파신호를 수집할 수 있는 측정부가 부착되어 있는데 이곳은 자석과 센서, 그리고 자석과 센서의 고정과 일정한 간격을 유지시켜주는 실리콘 장치로 구성되어있다. 집게형 맥진기에 대한 영구자석, 홀소자, 측정 부분, LED, 디스플레이, USB port, 스위치 부분을

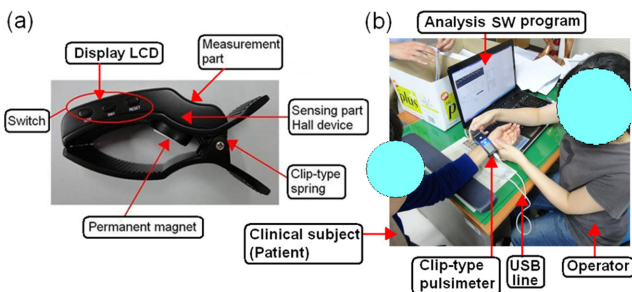


Fig. 3. (Color online) (a) The explanation of functional several parts of a typical clip-type pulsometer. Here is one form of the radial artery pulsometer's pulse-sensing part, skin-contacting part, and pulse-display part by using Hall device and permanent magnets. (b) The real feature of measuring process for display of pulse signals with clip-type pulsimeter and analysis SW program.

Fig. 3(a)에 나타내었다. 영구자석의 원판 중심이 요골동맥의 “관” 부분에 위치하고 고르게 늘어난 상태의 실리콘 고무는 손목 피부 접촉면을 둘러싸게 하였다. 실제 사람의 손목에 착용하여 맥파신호를 측정하는 한 예로써 집게형 맥진기 시제품의 실제 측정 모습을 Fig. 3(b)에 나타내었다. 요골동맥과 밀착시키기 위해 접촉부분은 곡선 형태로 안쪽으로 휘어져있다.

3. 임상시험 방법과 절차

본 연구용 임상시험에서는 일본 동양의학회지에 실린 ‘허실설문지’를 번역하여 자기 보고형으로 체크하도록 하고, 한 의사 5명이 임상시험 대상자에게 맥진을 시행해서 허, 중, 실증과 허맥, 중맥, 실맥이 일치한 경우 임상시험의 대상으로 포함시켰다. 2012년 9월24일 첫 대상자를 받아서 2012년 12월14일까지 대상자를 마지막으로 임상시험을 진행하였다.

본래 계획은 남녀별 90명씩, 허, 중, 실증에 각각 30명씩 해당되도록 하였으나, 총 대상자는 187명이었는데, 실제로 포함된 대상자는 허 60명, 중 64명, 실 63명이었다. 남자에서는 허 31명, 중 31명, 실 32명, 여자는 허 29명, 중 33명, 실 31명이었다. 여기서 중증군은 허증군과 실증군 사이에서 허맥과 실맥을 분리하는데 중복되어 나타남으로 인해 임상시험 데이터에서 중증군 데이터를 포함하지 않았다. 그러므로 최종 통계분석 처리에는 남자 허 31명, 실 32명, 여자는 허 29명, 실 31명으로 총 123명이었다.

임상시험의 방법과 절차로는 Fig. 4와 같은 과정을 거쳤다. 즉 ① 임상시험에 대한 홍보 → ② 임상실험지원자 내원 → ③ 임상실험에 대한 설명/ 동의서 작성 → ④ 허실설문지 작성 → ⑤ 한의사 5인의 맥진 → ⑥ 허실설문지의 허증/중증/실

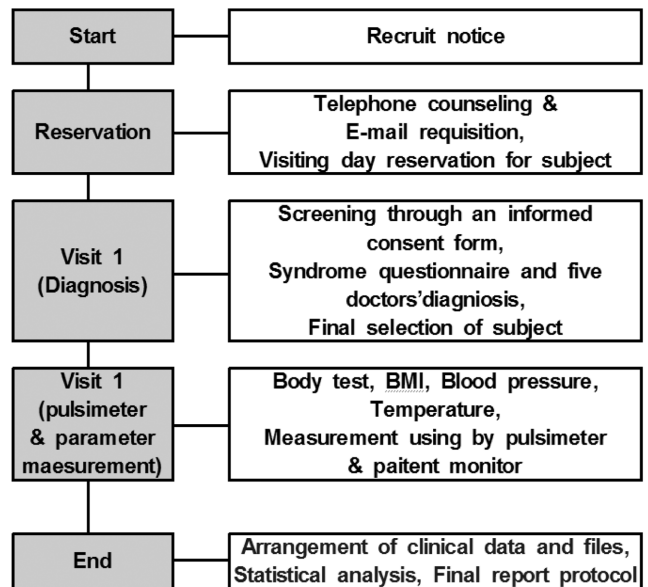


Fig. 4. The flow chart and contents for the clinical study sequence.

증과 한의사 5인의 맥진이 허맥, 중맥, 실맥이 일치할 경우, 임상실험 대상에 포함 → ⑦ 혈압, 맥박, 체온, CRF(Case Report Form) 기록, 사상체질설문 작성 → ⑧ 맥파분석기 측정 3분 → ⑨ 1분 휴식 → ⑩ 맥파분석기 측정 3분 → ⑪ 종료 → ⑫ 임상데이터 관리 및 통계분석의 순서로 진행하였다. 피험자의 임상시험이 종료되어 저장된 임상데이터는 자체 개발한 맥상분석 소프트웨어 프로그램(SPULSW-01)으로 분석하여 최종적으로 주요맥파 변수들을 얻어 통계처리를 하였다.

III. 실험결과 및 논의

1. 대표 맥파인자의 특성과 정의

맥파의 지표로써 기본 맥파파형 및 생성기전에 따르면 맥파의 시작점은 대동맥관이 개방되면서 좌심실의 혈액이 대동맥으로 구출되는 지점이다. 수축기 피크점은 수축기 피크점 이후 좌심실로부터 대동맥으로 혈액이 빠른 속도로 유입되어 혈관 내 압력과 용적이 최대에 이르는 맥파의 최고점으로 보여진다. 또한 반사파 피크점은 수축기 이후 혈액의 구출량이 감소하다가 말초 분지에서 반사되어 돌아와 맥파에 영향을 미치는 지점이다. 절흔점 피크점은 혈액이 구출하기 위한 압력보다 충분히 낮아져 대동맥 판막이 폐쇄되는 지점이다. 반사파 피크 이후 다시 형성되는 중복파 피크점은 대동맥판 폐쇄 이후 동맥내 압력이 상승하는 지점으로 표현된다[10].

맥파변수 이외의 측정변수로는 기본 신체지수인 나이, 키, 몸무게, 수축기혈압, 확장기혈압, 체온, 사상체질이였다. 위에서 언급한 맥파파형의 생성기전을 바탕으로 요골 동맥파형인 원 맥파에서 대표변수를 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 각각 수축기 정점(Systolic peak)까지의 크기인 S.amp, 반사파 정점(Reflective peak)까지의 크기인 R.amp, 절흔파의 지점(Notch point)까지의 크기인 N.amp, 수축기 정점까지 걸리는

시간 S.time, 반사파 정점까지 걸리는 시간 R.time, 절흔파 정점까지 걸리는 시간 N.time을 구하였고, 2차 미분파에서 b/a ratio를 변수로 삼았다.

2. 임상데이터의 회귀분석과 허맥과 실맥 판별용 예측 확률 회귀식 알고리즘 개발

남자 허중 31명, 실중 32명, 여자는 허중 29명, 실중 31명으로 총 123명에 대한 원맥파형에서 5개 연속구간을 택하여 Fig. 5에서 정의한 대표 맥파 변수들의 값을 평균을 낸 임상데이터를 빈도분석을 시행하였다. 통계처리에 필요한 모든 임상데이터는 자체 개발한 맥파분석 SW 프로그램을 사용하였다. 허중 집단과 실중 집단 간의 맥파 변수 및 성, 연령, 혈압, 체질량지수 등의 차이 검정을 위해 t 검정을 실시하였고, 맥파변수의 1차 2차 상관성의 정도를 파악하기 위해 상관분석을 시행하였다. 이 연구에서는 맥파변수들이 허 또는 실 집단의 분류에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하기 위해 허실 집단만을 대상으로 분석하였다.

먼저 단변량분석(독립표본 t 검정)을 실시하여 허실 두 집단 간의 맥파 변수의 차이가 있는지를 확인한 결과, 유의한 차이를 보인 맥파변수로는 Fig. 5에서 정의한 S.amp, R.amp, N.amp, R.time, N.time 총 5개의 변수임을 확인하였다.

다음은 성, 연령, 혈압, 체질량지수 등의 변수를 통제한 상태에서 맥파 변수와 허실 간의 관련성을 파악하기 위해 다변량 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 맥파변수들의 상관분석 결과에서 보듯이 변수들 간의 상관관계가 매우 높아 맥파변수를 함께 회귀모형에 투입할 경우 다중공선성의 문제가 발생하게 되어 성, 나이, 체질량지수, 수축기혈압, 이완기혈압을 보정한 후 각각의 맥파변수와 허실 간의 위험도를 추정하기 위한 이변량 로지스틱 회귀분석(logistic regression analysis)을 실시하였다[15, 16]. 통계 분석결과[15], 허실의 분류에 유

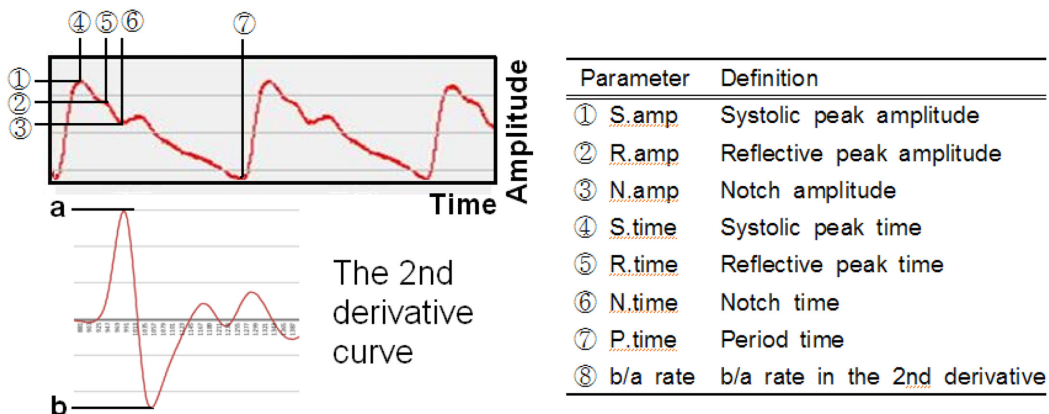


Fig. 5. (Color online) The typical pulse wave, the 2nd derivative curve, definitions of eight parameters such as; ① S.amp (Systolic peak amplitude), ② R.amp (Reflective peak amplitude), ③ N.amp (Notch amplitude), ④ S.time (Systolic peak time), ⑤ R.time (Reflective peak time), ⑥ N.time (Notch time), ⑦ P.time (Period time), and ⑧ b/a rate (b/a rate in the 2nd derivative).

Table I. Result of logistic regression analysis of R.time

Variables	B	p value
Sex	.060	.882
Age	-.012	.438
BMI	.129	.061
SBP	.031	.057
DBP	-.005	.848
R.time	.011	.040
Constant	-9.399	.000

Table II. Result of logistic regression analysis of N.time

Variables	B	p value
Sex	.057	.889
Age	-.014	.348
BMI	.132	.058
SBP	.030	.072
DBP	.000	.989
N.time	.012	.020
Constant	-10.425	.000

의한 관련성을 보인 맥과 자료는 S.amp, R.amp, N.amp, R.time, N.time 이였고, 이중 R.time와 N.time의 허맥과 실맥의 분류의 정확도는 각각 62.6 %와 66.7 %였다.

Table I과 Table II는 맥과의 크기와 반사파의 시간을 나타내는 대표적인 변수인 R.time과 N.time과 허실 간의 관련성을 추정한 로지스틱 회귀분석 결과이다. 각 변수에 대한 회귀계수 B는 log odds의 변화이고, 각 독립변수들의 exp(B)는 독립변수들이 한 단위 증가할 때 발생하는 실집단의 발생확률로 볼 수 있다. 즉, R.time이 한 단위 증가할수록 실집단으로 될 확률 exp(B)은 exp(0.011)로 1.011배 높고(p = 0.040), N.time은 한 단위 증가할 때 실집단으로 될 확률이 exp(0.012)로 1.012배 높다(p = 0.020)고 해석할 수 있다. 로지스틱 회귀모형을 적용하여 반사파 크기의 최고 피크값과 시간값인 R.time와 N.time의 보정변수로 만들어진 모형에서의 허맥과 실맥의 예측확률 알고리즘을 구하기 위한 로지스틱 회귀식은 식(1)과 식(2)으로 각각 표현할 수 있다.

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = -9.399 + 0.060 \times Sex - 0.012 \times Age + 0.129 \times BMI + 0.031 \times SBP - 0.005 \times DBP + 0.011 \times R.time \quad (1)$$

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = -10.425 + 0.057 \times Sex - 0.014 \times Age + 0.132 \times BMI + 0.030 \times SBP + 0.012 \times N.time \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 예측확률인 P 값은 0.0과 1.0 사이 값으로 존재한다. 예를 들어, 맥파에서 결정되는 변수 R.time와 N.time을 회귀식에 대입하여 P값이 0.2 이라면 실맥일 확률

이 20 %가 되며, P값이 0.8이라면 실맥일 확률이 80 %가 된다고 해석할 수 있다.

통상적으로 허실 맥진기 파형에서 보통 파형의 높이가 실증과 허증을 판단하는 근거로 많이 생각하는데, 본 연구결과에서 R.time과 N.time에서도 높은 유의성을 보여주고 있다. 기본적으로 허증과 실증을 임상적으로 판단하는 근거는 그 세기와 체적을 주로 보는 경향이 있으나, 본 연구에서 시간적 차이도 실증과 허증을 판단할 수 있는 가능성을 보여주었다. 이러한 결과에 대해 물리학적 또는 임상학적인 측면에서 규명해야할 향후 연구과제로 남아있다.

V. 결 론

소형 영구자석이 부착된 상태에서 요골동맥의 미세한 움직임으로 자기장의 변화를 측정하는 흡소자 집계형 맥진기의 유효성을 평가하기 위해 상지대학교 부속한방병원에서 한국식품의약품안전처에서 승인된 임상시험을 수행하였다. 집계형 맥진기를 통해서 얻은 120명의 임상데이터를 통계처리 로지스틱 회귀분석을 하여 허맥과 실맥을 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 요골동맥과의 수축과 피크와 반사파 피크와 시간과 절흔점 피크와 시간이 허맥과 실맥을 예측할 수 있는 주요인 사이였다. 반사파와 절흔점 시간값들인 R.time와 N.time의 보정변수로 만들어진 모형에서의 허맥과 실맥 판별을 65 %로 예측확률인 로지스틱 회귀식을 얻었다. 이로써 한의학적으로 허맥과 실맥을 판별하는 세기와 체적을 주로 보는 경향에서 시간적 차이도 실증과 허증을 판단할 수 있는 맥진 진단지표로 사용할 가능성을 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 보건복지부 2012년 한의약선도기술과제의 3차년도 한방의료기기 개발과제(B100030)에 의해 이루어진 연구 결과입니다.

참고문헌

- [1] D. A. Baker, Nature **405**, 39 (2000).
- [2] G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, and S. X. Wang, Sens. Acut. **A126**, 98 (2006).
- [3] D. L. Graham, H. A. Feliciano, P. P. Fretias, L. A. Clarke, and M. D. Amaral, Sens. Acut. **B107**, 936 (2005).
- [4] S. H. Park, K. S. Soh, M. C. Ahn, D. G. Hwang, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **16**, 157S (2006).
- [5] S. S. Lee, S. H. Park, and K. S. Soh, Sae Mulli **52**, 564 (2006).
- [6] C. C. Tyan, S. H. Liu, J. Y. Chen, J. J. Chen, and W. M. Liang, IEEE Trans. Biomed. Eng. **55**, 288 (2008).

- [7] S. S. Lee, D. H. Nam, Y. S. Hong, W. B. Lee, I. H. Son, K. H. Im, and J. G. Choi, *Sensors* **11**, 1784 (2011).
- [8] S. S. Lee, I. H. Son, J. G. Choi, D. H. Nam, Y. S. Hong, and W. B. Lee, *J. Kor. Phys. Soc.* **58**, 349 (2011).
- [9] S. S. Lee, M. C. Ahn, and S. H. Ahn, *J. Magnetics.* **14**, 132 (2009).
- [10] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, *The Arterial Pulse*, 1st Ed.; Lea & Febiger: Philadelphia, PA, USA (1992).
- [11] P. A. Shaltis, A. T. Reisner, and H. H. Asada, *IEEE Trans. Biomed Eng.* **55**, 1775 (2008).
- [12] L. Xu, K. Wang, D. Zhang, Y. Li, Z. Wan, and J. Wang, *Informatika Medica Slovenica* **8**, 56 (2003).
- [13] M. C. Ahn, J. G. Choi, I. H. Son, S. S. Lee, and K. H. Kim, *J. Kor. Mag. Soc.* **20**, 106 (2010).
- [14] Q. Yu, J. Zhou, and Y. C. Fung, *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **265**, 52 (1993).
- [15] J. L. Fleiss, *Statistical Methods for rates and Proportions*. John Wiley & Sons, NewYork (1981).
- [16] R. P. Cody and J. K. Smith, *Applied statistics and the SAS programming Language* 5th edition. Pearson Prentice Hall. USA (2006).

Development of Prediction Algorithm for Replete Pulse and Vacuous Pulse by using Clip-type Pulsimeter with Hall Device Measuring a Magnetic Field

Nam-Kyu Lee, Keun-Ho Kim, and Sang-Suk Lee*

Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

Ji-Hye Yu and Jun-Sang Yu

Department of Sasang Constitutional Medicine, Korean Medical Hospital, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

Seung-Ho Sun

Department of Internal Medicine, Korean Medical Hospital, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

Sei Jin Chang

Department of Preventive Medicine, Yonsei University, Wonju College of Medicine, Wonju 220-701, Korea

Yu-Sik Hong

Department of Computer Science Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 6 April 2013, Received in final form 8 May 2013, Accepted 8 May 2013)

Clip-type pulsometer equipped with Hall device and a minute permanent magnet as sensing the minute movement of a radial artery was developed. The clinical data of the 120 number of subject acquired through the clip-type pulsometer did treated with a typical statistical logistic regression analysis. The prediction algorithm for the replete pulse and vacuous pulse was studied. The reflective peak time and the notch peak time were major parameters to discern the replete pulse and vacuous pulse. The discrimination rate was 65 %. It suggests that the logistic regression equations are possible to use the diagnosis index to predict and discern the oriental pulse wave.

Keywords : permanent magnet, Hall device, clip-type pulsometer, radial artery pulse wave, replete pulse, vacuous pulse, clinical data, logistic regression analysis