

적혈구 용적이 요골 동맥의 맥파에 미치는 영향

유현희 · 전영주 · 김재욱 · 이혜정 · 우영재 · 이유정 · 김종열*

한국한의학연구원

Effect of Hematocrit Level on the Radial Pulse Wave

Hyunhee Ryu, Young Ju Jeon, Jae Uk Kim, Hae Jung Lee, Young Jae Woo, Yu Jung Lee, Jong yeol Kim*

Korea Institute of Oriental Medicine

In this work, we investigate the effect of blood hematocrit level on the radial pulse wave to study the clinical application of the pulse analyzer. For this purpose, we measured the radial pulse wave at the left Gwan for 15 males with abnormal high hematocrit level and 47 males with normal hematocrit level at the age of thirties and forties. Various variables of the radial pulse wave between two groups were analyzed by Student's T test. We found significant differences in several characteristic variables in the amplitude, time-span and the integrated area of the amplitude and time of the pulse wave. The systolic peak in the amplitude of the radial pulse wave was higher in abnormal high hematocrit group. In contrast, the third peak from the second incisure was higher and longer in normal hematocrit group. Our study suggests that the radial pulse wave can be useful in distinguishing the patient group with high hematocrit level and thus with high blood viscosity. Our finding may motivate research activities towards diverse clinical applications of the pulse wave.

Key words : radial pulse wave, blood viscosity, hematocrit

서 론

한의학의 중요한 진단 방법 가운데 하나인 맥진의 객관화 및 정량화를 위해 다양한 맥진기가 개발되었는데¹⁾ 이러한 맥진기는 입력 센서나 광전 센서를 이용하여 비침습적으로 맥파를 획득하는 방식을 사용하고 있다²⁾. 압력 센서를 통해 얻어지는 동맥의 압력 맥파는 심장의 주기적인 수축에 따라 형성되어 혈관을 따라 전달되며 상행 대동맥, 경동맥, 요골동맥, 대퇴동맥 등 그 측정 부위에 따라 다양한 모양을 나타내게 된다. 또한 맥파는 심장 기능과 혈관 경직도 등에 영향을 받게 되어 연령에 따라서도 그 모양이 차이를 보인다³⁾.

한의학계에서는 맥파의 획득 및 분석 방법에 대한 다양한 접근과 함께 중풍⁴⁾, 비만⁵⁾, 사상 체질⁶⁾ 등에 대해 임상적 연구를 시도하였다. 현대 의학에서도 맥파에 대해 혈관 경직도의 측면에서 다양한 연구가 이루어지고 있는데 혈관이 경직될수록 맥파의 전달 속도가 빨라지는 원리를 바탕으로³⁾ 심전도와 동시에 측정

하여 계산한 Pulse Transit Time(PTT)이나 맥파의 모양에 포함된 반사파의 중첩 정도를 이용하여 혈관 경직도를 제시하고 있다^{7,8)}. 한의학계에서 사용하는 맥진기의 임상적 의미와 적용을 위해서는 맥진기에서 얻어지는 맥파에 대해 보다 다양한 연구가 필요하다. 맥동에 대한 한의사의 감각과 그에 대한 맥파의 특성을 비교하는 방법과 함께 다양한 신체 상태에 따른 맥파 특성을 분석하는 것도 한 가지 방법이 될 것이다. 인체의 다양한 생·병리적 상태와 맥파의 관련성이 밝혀진다면 한의학의 맥진의 과학화와 원리 규명에도 많은 도움이 될 것이다.

일반적으로 혈액과 같은 유체의 흐름은 유체가 흐르는 관의 특성과 함께 유체의 점도에도 영향을 받는다⁹⁾. 따라서 혈액이란 유체가 채워져 있는 혈관을 따라 전달되는 압력 맥파도 혈액의 점도에 영향을 받을 것으로 생각해 볼 수 있다. 혈액의 점도는 적혈구 용적, 피브리노겐이나 그 밖의 혈장 단백질, 혈중 지질 농도 등에 의해 결정된다. 이러한 혈액 점도와 관련된 여러 요소들은 다양한 신체 상태와 관계가 있으며 특히 적혈구 용적은 혈액 순환 장애를 야기하는 다혈증의 진단 기준으로도 활용되어 혈액의 점도와 밀접한 관련이 있는 것으로 인정되고 있다¹⁰⁾.

본 연구는 맥진기 임상 활용을 위해 맥파에 대한 기초적인

* 교신저자 : 김종열, 대전시 유성구 전민동 461-24, 한국한의학연구원

· E-mail : smed@kiom.re.kr, · Tel : 042-868-9589

· 접수 : 2009/07/21 · 수정 : 2009/09/08 · 채택 : 2009/09/29

고 시범적인 탐색을 하고자 인체의 생·병리적 요소 중 혈액의 흐름과 관련이 있는 적혈구 용적 수치가 가 맥파에 영향을 주는 지 알아본 것이다. 이를 위해 건강 검진을 받은 사람을 대상으로 후향적 연구를 하였으며 유의한 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 건강 검진을 받은 대상자 중 사전 동의서를 작성한 사람들의 검사 결과를 분석한 후향적인 방법으로 이루어졌다. 비교하려는 적혈구 용적 변수 외에 다른 요소들이 주는 영향을 최소화하기 위해 총 539명의 30~40대의 남자들만 대상으로 하였으며 실험군과 정상 대조군은 건강 검진의 혈액 검사 결과 적혈구 용적을 제외한 다른 혈액 수치들, 즉 WBC수, 혈소판수, 백혈구 감별계산, 혈당검사, 간기능검사(ALT, AST, Protein, Albumin, Total Bilirubin, Direct Bilirubin, ALP), 신기능검사(BUN, Creatinine), 혈청지질검사(Total Cholesterol, LDL, HDL, Triglyceride)는 모두 정상 범위에 있고 심전도, 흉부 X-ray 검사에도 이상이 없는 사람들로서 적혈구 용적이 비정상적으로 높은 적혈구 용적 상승군 15명과 적혈구 용적이 정상 범위에 있는 정상 대조군 47명이 연구에 포함되었다.

적혈구 용적은 자동혈구측정기(LAT750, Beckman Coulter, USA)를 사용하여 측정하였는데 적혈구 수 및 그 개개의 적혈구 체적의 평균치(MCV)를 측정하여 아래와 같은 환산 식으로 적혈구 용적을 산출한다. 이 방법은 일반적으로 원심법과 달리 적혈구 사이에 혈장량이 포함되지 않으므로 종래의 용수법보다 적혈구 용적 수치가 낮아져서 사용된 자동혈구측정기에서는 36% 이상 및 49% 이하인 경우가 정상 참고치로 제시되며 따라서 본 연구에서는 49% 이상인 대상자를 비정상 상승군으로 분류하였다.

적혈구 용적 환산식은 다음과 같다.

$$MCV(\mu m^3) = \frac{Ht(\%) \times 10}{100만 단위로 표현되는 적혈구수/\mu L}$$

2. 맥파 측정 장치 및 방법

맥파 측정은 3D-MAC((주) 대요메디, 안산, 한국)을 사용하였는데 이 맥진기는 5개의 압력 센서가 십자 형태로 배열되어 있고 가장 높은 압력 맥파를 획득하기 위해 자동으로 가압력을 변화하여 현재까지 개발된 맥진기 중에는 측정시간 신뢰도나 재현성이 좋은 것으로 보고되었다¹¹⁾. 맥파는 일반적으로 좌측이 우측보다 더 뚜렷하며 요골 경상 돌기 움기처가 기준점이 되는 관(關) 부위는 그 위치가 달라질 오차가 적기 때문에 한의학 맥진의 좌측 관(關) 부위에서 맥파가 측정되었다. 동일한 조건과 환경에서 맥파가 측정 되도록 대상자는 맥파 측정 전으로 30분간 음식 섭취, 운동, 흡연, 정신적 자극 등이 금지되었으며 10분 동안 앉아서 안정을 취한 후에 같은 맥진기와 측정자에 의해 맥파가 1회 측정되었다. 또한 측정 전날 과음이나 과로 등 평소 신체 상태와 다를 수 있는 사람도 연구에서 제외하도록 하였다.

3. 분석 항목

요골 동맥 맥파는 보통 3개의 봉우리(peak)와 2개의 골(valley)을 가지지만 두 번째 봉우리(h3)가 불분명한 경우도 많아 2개의 봉우리만 보이기도 한다(Fig. 1). 세 개의 봉우리는 심장 수축에 의해 혈액이 압력을 받으며 발생하는 전진파와 이 압력파가 동맥의 분지점 등에서 반사되어 돌아오는 반사파가 중첩되어 발생하며 여기에 확장된 동맥의 수축과 대동맥 판막의 폐쇄로 인한 진동 등도 포함되게 된다^{3,12)}(Fig. 2). 첫 번째 봉우리는 심장 수축으로 인한 혈액 박출로 형성되며 두 번째 봉우리는 반사파의 시작과 확장된 대동맥의 수축을 반영한다. 세 번째 봉우리는 반사파의 지속적인 상승과 판막 폐쇄로 인한 진동이 영향을 주는데 이 세 번째 봉우리의 시작점인 절흔점(incisura)을 전후로 수축기와 이완기로 구분하게 된다¹³⁾.

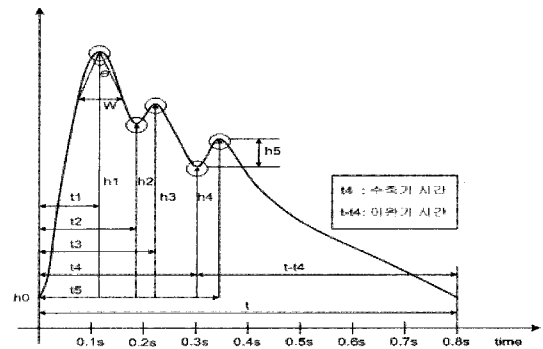


Fig. 1. The Radial Pulse Wave

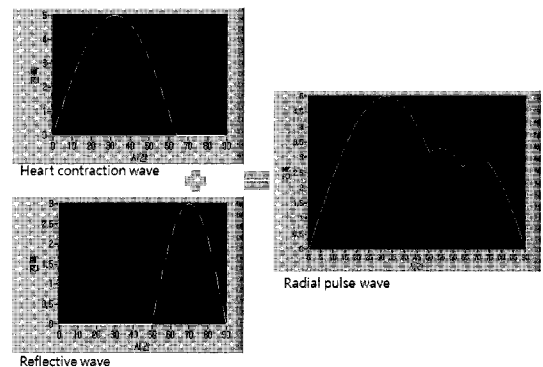


Fig. 2. Formation of The Radial Pulse Wave

이러한 맥파는 세로축의 진폭, 가로축의 시간과 관계된 여러 변수를 추출하여 그 모양을 파악할 수 있는데 본 연구에서는 측정된 맥파에서 자동으로 추출된 진폭, 시간 및 면적과 관련된 변수들을 분석하였다. 맥파의 진폭과 관련된 기본적인 변수는 h1, h2, h3, h4, h5가 있으며 최대 진폭에 대한 두 번째, 세 번째 봉우리의 상대적인 크기인 h3/h1, h5/h1을 추가적으로 분석하였는데 h3/h1은 특히 혈관벽의 순응성을 반영한다고 알려져 있어 혈관 탄성 계수로 불리기도 한다¹³⁾. 그러나 두 번째 봉우리는 첫 번째 봉우리에 겹쳐지거나 뚜렷하게 나타나지 않는 경우가 많아 그 값을 추출할 수 없는 경우가 있어 이와 관련된 h3 변수는 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군에서 각각 9명과 29명이 분석에서 제외되었다. 맥파의 가로축에 해당하는 시간과 관련된 변수는

t1, t2, t3, t4, t5, T, t-t4이 있으며 각각의 골에서 봉우리 최고점이 나타나는데 걸리는 시간인 t3-t2와 t5-t4를 추가로 분석하였다. 맥파의 면적 변수는 수축기 면적, 이완기 면적 그리고 맥파 전체 면적과 수축기와 이완기 면적의 비율을 분석하였다. 본 연구에 사용된 맥진기는 한의학적 맥상에 대해서는 측정된 맥파를 이용하여 장단, 대세, 지삭, 허실, 부침 정도를 제시하고는 있으나 기존에 측정된 데이터에 대한 상대적 위치 정보로서 한의사의 판단과 해석이 필요하고 각 맥상 도출 알고리즘에 대한 검증은 또 다른 문제이므로 본 연구에서는 이에 대한 미가공 데이터인 맥파만을 분석하였다.

4. 통계 분석 방법

모든 자료의 통계분석을 위해 SPSS 14.0 for windows를 사용하였다. 적혈구 용적이 비정상적으로 높은 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군 간에 일반적인 특성과 혈압, 맥파에서 얻어진 다양한 변수의 평균 차이를 알아보기 위하여 Student's t-test를 시행하였다. 모든 분석결과는 p-value<0.05를 기준으로 유의성을 검정하였다.

결 과

1. 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의 혈압과 맥압 및 일반적인 특성

적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의 나이, 신장, 체중과 수축기 혈압과 이완기 혈압의 차이인 맥압은 유의한 차이를 보이지 않았다. 수축기 혈압과 이완기 혈압은 유의한 차이를 보였는데 모두 적혈구 상승군에서 높게 관찰되었다(Table 1).

Table 1. Descriptive Statistics of General Characters

	High hematocrit	Normal hematocrit	p-value
Number	15	47	
Age	39.9±6.0	40.1±5.3	0.883
Height (cm)	172.2±4.5	173.4±5.5	0.418
Weight (Kg)	74.3±16.0	70.6±11.3	0.325
BMI	26.1±4.7	23.4±3.5	0.126
Hematocrit (%)	49.6±0.8	43.0±2.4	<0.001**
Systolic pressure	132.5±16.4	120.2±12.0	0.003**
Diastolic pressure	83.0±10.8	73.8±8.3	0.001**
Pulse pressure	49.5±8.5	46.4±6.6	0.141

2. 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의 맥파 높이 변수 비교

맥파의 높이와 관련된 변수에서는 h2, h4, h5/h1에서 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군이 통계적으로 유의한 차이를 보였다. h2와 h4는 그 평균값에서 적혈구 용적 상승군이 정상 대조군에 비해 높은 결과를 보였으나 h5/h1은 오히려 정상 대조군이 적혈구 용적 상승군에 비해 높은 결과를 보여 맥파의 이완기 시작 시점 전후로 반대되는 양상을 나타내었다. 혈관의 순응성과 관련된 변수인 h3/h1은 적혈구 용적 상승군이 더 높기는 하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 2).

3. 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의 맥파 시간 변수 비교

맥파의 시간과 관련된 변수에서는 t4지점에서 t5까지 이르는 시간인 t5-t4에서 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군이 통계적으로 유의한 차이를 보였는데 정상 대조군에서 높은 결과를 보였다(Table 3).

Table 2. Comparisons of Height Variables of the Radial Pulse Wave between High Hematocrit and Normal Hematocrit Group

Variables	Groups	N	Mean	SD	p-value
h1	High Hematocrit	15	175.200	47.577	0.244
	Normal Hematocrit	47	154.723	61.600	
h2	High Hematocrit	15	108.867	42.571	0.038*
	Normal Hematocrit	47	83.957	38.743	
h3	High Hematocrit	6	111.833	43.586	0.071
	Normal Hematocrit	18	77.278	37.004	
h4	High Hematocrit	15	46.873	16.656	0.019*
	Normal Hematocrit	47	34.389	17.628	
h5	High Hematocrit	15	9.026	6.533	0.051
	Normal Hematocrit	47	14.211	9.357	
h3/h1	High Hematocrit	6	0.675	0.115	0.094
	Normal Hematocrit	18	0.585	0.107	
h5/h1	High Hematocrit	15	0.054	0.036	0.005**
	Normal Hematocrit	47	0.094	0.050	

*p-value<0.05, **p-value<0.01, statistical significance was evaluated by Student's t-test

Table 3. Comparisons of Time Variables of the Radial Pulse Wave between High Hematocrit and Normal Hematocrit Group

Variables	Groups	N	Mean	SD	p-value
t1	High Hematocrit	15	0.114	0.012	0.317
	Normal Hematocrit	47	0.111	0.012	
t2	High Hematocrit	15	0.186	0.014	0.648
	Normal Hematocrit	47	0.188	0.019	
t3	High Hematocrit	6	0.218	0.007	0.648
	Normal Hematocrit	18	0.215	0.013	
t4	High Hematocrit	15	0.325	0.025	0.183
	Normal Hematocrit	47	0.315	0.023	
t5	High Hematocrit	15	0.372	0.020	0.356
	Normal Hematocrit	47	0.378	0.021	
t-t4	High Hematocrit	15	0.513	0.095	0.633
	Normal Hematocrit	47	0.530	0.131	
t	High Hematocrit	15	0.838	0.112	0.839
	Normal Hematocrit	47	0.846	0.147	
t3-t2	High Hematocrit	6	0.041	0.009	0.309
	Normal Hematocrit	18	0.035	0.011	
t5-t4	High Hematocrit	15	0.047	0.018	0.002**
	Normal Hematocrit	47	0.062	0.015	

*p-value<0.05, **p-value<0.01, statistical significance was evaluated by Student's t-test

Table 4. Comparisons of Area Variables of the Radial Pulse Wave between High Hematocrit and Normal Hematocrit Group

Variables	Groups	N	Mean	SD	p-value
Total Area	High Hematocrit	15	10271.733	3158.272	0.092
	Normal Hematocrit	47	8585.957	3370.877	
Systolic Area	High Hematocrit	15	8048.864	2589.247	0.056
	Normal Hematocrit	47	6499.117	2704.379	
Diastolic Area	High Hematocrit	15	2222.869	729.819	0.587
	Normal Hematocrit	47	2086.841	869.905	
Systolic Area/Diastolic Area	High Hematocrit	15	3.723	0.973	0.260
	Normal Hematocrit	47	3.344	1.165	

statistical significance was evaluated by Student's t-test

4. 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의 맥파 면적 변수 비교

수축기 면적이 적혈구 용적 상승군에서 높게 나타나기는 하였지만 P-value 0.056으로 통계적으로 유의하지는 않았으며 그 밖의 면적 변수도 통계적으로 유의하지 않았다(Table 4).

고찰

맥진기에서 주로 측정되는 생체 신호인 요골 동맥의 압력 맥파에 대해 혈액의 점도와 관련이 있는 적혈구 용적 수치가 미치는 영향을 알아보려고 건강 검진을 받은 30~40대 남성들을 대상으로 얻어진 혈액검사 결과와 맥진 검사 결과를 후향적으로 분석하였다. 그 결과 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군은 맥파의 진폭, 시간과 관련된 몇 개의 변수에서 유의한 차이를 보였는데 h2, h4는 적혈구 용적 상승군이 높았으나 h5/h1와 t5-t4는 오히려 정상 대조군이 더 높았다. 즉 그림과 같이 수축기 동안 적혈구 용적 상승군에서 상승되었던 맥파의 높이 차이는 후반부의 세 번째 봉우리에서는 그 진폭 차이가 감소하여 절흔점인 h4의 높이를 시작점으로 하는 세 번째 봉우리의 크기는 오히려 정상 대조군에서 더 상승된 것으로 나타났다(Fig. 3).

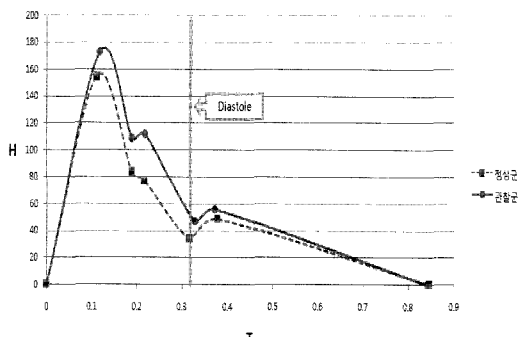


Fig. 3. The Mean Radial Pulse Wave of Two Groups

적혈구 용적은 혈액의 점도를 상승시키는 주요한 요소 중 하나로서 수축기 혈압, 이완기 혈압 및 평균 혈압과 유의한 양의 상관관계가 보고되었으며^{14,15)} 이는 본 연구 결과에서도 확인되었다. 또한 적혈구 용적은 아니지만 혈액의 점도와 혈압을 비교한 다른 연구에서는 수축기 혈압이 전혈 점도와 유의한 관련을 보였으며¹⁶⁾ 혈장의 점도는 맥압과 유의한 관련이 보고되기도 하였는데¹⁷⁾ 혈액의 점도가 더 높을 것으로 여겨지는 본 연구의 적혈구 용적 상승군에서도 수축기 혈압은 유의하게 상승되어 있었고 맥압은 통계적으로 유의하지는 않았지만 3.1 mmHg 정도 상승되어 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 이렇듯 적혈구 용적 및 혈액 점도는 일반적으로 혈압의 변화를 야기하므로 적혈구 용적이 다른 두 군은 그 혈압 또한 달라질 수밖에 없어 본 연구에서 실험군과 대조군의 혈압까지 통제할 수는 없었다. 맥파의 진폭 변수들은 또한 수축기 혈압과 이완기 혈압의 차이인 맥압과도 관련이 있는데¹⁸⁾ 본 연구에서 맥압의 차이가 3.1 mmHg 정도로 크지 않고 통계적으로도 유의하지 않으며 혈액의 점도와 맥압과 역상관계가 있다는 보고도 있어^{19,20)} 본 연구의 맥파 차이가 전적으로 맥압에서 기인했다고 단정할 수는 없지만 맥압의 상승과

수축기 맥파의 상승은 관련이 있을 것으로 여겨진다. 결국 적혈구 용적은 혈압과 맥파 모두에 영향을 미치고 혈압 또한 맥파에 영향을 주게 되므로 본 연구에서 나타난 맥파 차이는 적혈구 용적의 차이와 혈압 모두에게서 영향을 받은 것으로 생각된다.

그러나 혈압과 맥압이 상승한 적혈구 용적 상승군에서 오히려 3번째 피크의 크기가 낮게 나온 결과는 압력의 상승이 맥파의 크기를 증가시키는 예상과 상반되는데 이것은 혈액의 점도 상승과 관련이 있을 것으로 생각해 볼 수 있다. 일반적으로 유체의 점도는 그 흐름이 일정할 때 두 지점의 압력 차이를 유발하게 된다⁹⁾. 유체가 정상상태를 유지하면서 흐를 때 Poiseuille 방정식에 따르면 유체의 용적흐름은 두 지점의 압력차에 비례하고, 유체의 점도에 반비례 한다⁹⁾. 사인곡선형의 주기적 압력이 있을 때 유체의 흐름을 잘 기술하는 Womersley 이론²¹⁾에서도 공통적으로 유체의 용적흐름이 두 지점사이의 압력차에 비례하고 점도에는 반비례하는 관계를 도출한다. 혈관 내부의 혈액 흐름은 정상상태나 사인곡선형의 패턴을 따르지는 않지만, 심장의 주기적인 박동에 의해 그 흐름이 일정한 주기적인 특성을 따른다. 따라서 위 두 이론에서 보이는 바와 같이 동맥 내부의 혈액 흐름이 일정하면 혈액의 점도가 커질수록 심장에서 시작되는 수축기 입력과 이를 받아들이는 말초 혈관의 압력 차이가 커지게 됨을 유추할 수 있다. 즉 혈액의 점도가 커지면 전달 길이에 따른 압력의 소실이 커지게 되어 압력의 급격한 하강이 발생하게 되는 것이다. 이러한 현상은 반사를 일으키는 말초 혈관에서 압력파의 감쇄와 그에 따른 반사파의 크기 감소를 일으킬 것으로도 생각된다. 적혈구 용적 상승군이 정상 대조군에 비해 세 번째 봉우리의 상승 정도와 지속 시간이 오히려 더 감소한 본 연구 결과는 이러한 압력 감쇄에 따른 반사파의 크기 감소를 이유로 생각해 볼 수 있다. 혈액 점도 상승에 따른 큰 폭의 압력과 감쇄가 세 번째 봉우리의 반사파에 반영되어 상승된 맥파 높이 차이를 감소시키는 것이다.

Poiseuille의 방정식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{\Delta P}{L} \frac{\pi r^4}{\mu} \frac{1}{8}$$

Womersley's theory의 방정식은 다음과 같으며 식에 포함된 변수들의 의미는 Table 5와 같다.

$$Q = P_m \frac{\pi r^4}{\mu} \frac{M_{10}'}{\alpha^2} \sin(\omega t - \epsilon_{10}')$$

본 연구는 혈액의 점도가 맥파에 미치는 영향을 알아보려고 혈액 점도와 관련된 적혈구 용적이 비정상적으로 높은 사람들의 맥파 특성을 살펴보았으나 실험군과 대조군의 혈압도 차이가 있고 혈압이 맥파에 영향을 줄 것이므로 적혈구 용적에서 기인하는 맥파의 특성을 보다 분명하게 알기 위해서는 혈압이 맥파에 주는 영향에 대한 보다 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구는 다음과 같은 부분에서도 몇 가지 부족한 점이 있다. 첫 째, 본 연구의 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의

실제 혈액 점도 차이가 크지 않을 수 있다는 점이다. 두 집단의 적혈구 용적 평균값이 49.6%와 43%이긴 하나 이 차이가 실제 혈액에서도 몇 어느 정도의 차이를 주는지 알 수 없으며 적혈구 용적 이외 몇 혈장의 특성도 혈액 점도와 밀접한 관련이 있으므로 "capillary viscometer" 등 실제 혈액 점도 자체를 실험적으로 측정하거나 혈장 점도 요소까지 고려한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다. 둘째, 혈관의 길이와 반경은 탄력성 및 혈장의 리라력 등이 본 연구 결과에 영향을 줄 수 있다는 점이다. 이러한 여러 요소들을 완벽하게 통제하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 같은 연령대의 남자만을 대상으로 하였고 혈관 탄성 계수인 h3/h1도 통계적인 차이는 보이지 않아 혈관의 탄력성에 큰 차이가 있지는 않을 것으로 생각되지만 그 평균값이 같지는 않으므로 이러한 요소들이 주는 영향을 완전히 배제할 수는 없다. 체적이 나 동맥 경화도 등을 통제한 추가적인 연구가 도움이 될 것이다.

Table 5. The Variables in Womersley's Theory

ΔP	=	pressure difference between two points (A and B) in the tube
L	=	length between A and B
Pm	=	amplitude of pressure gradient sinusoid
Q	=	instantaneous volume flow
r	=	radius of tube
μ	=	viscosity of fluid
ω	=	angular frequency (radians/sec)
$\epsilon'10$	=	phase angle in Womersley's theory
M'10	=	modulus in Womersley's theory
α	=	dimensionless frequency parameter

이러한 부족한 점이 있지만 본 연구는 기존에 연구가 많이 이루어진 혈관 경직도에 따른 맥파 특성이 아닌 혈액 상태에 따른 맥파 특성을 살펴본다는 점에서 의의가 있다. 향후 추가적인 연구를 통해 한의학의 맥진 원리 중 하나인 27 맥상에서 어혈(瘀血)과 관계가 있는 삼맥(澹脈)이나 색맥(滯脈) 등을 대표하는 맥진기의 진단 파라미터나 맥상 도출 알고리즘에 본 연구 결과를 응용하는 것도 생각해 볼 수 있을 것이다. 또한 맥파를 통한 혈액학적 진단의 가능성을 통해 한의학의 맥진에 대한 과학적 근거와 원리를 규명할 수도 있을 것이다. 이를 위해 향후 보다 통제된 시험을 계획하여 많은 대상자를 바탕으로 혈액의 특성이 맥파에 미치는 영향을 좀 더 면밀하게 파악할 필요가 있다. 아울러 적혈구 용적뿐만 아니라 혈장 점도, 전혈 점도, 지질 수치 등 여러 요소들을 대상으로 맥파를 분석하여 혈액의 다양한 특성이 맥파에 주는 영향도 살펴볼 수 있을 것이며 맥파를 이용한 다양한 혈액학적 진단도 시도해 볼 수 있을 것이다. 본 연구가 맥파의 새로운 임상 진단 영역을 확대하는데 기여할 수 있기를 기대한다.

결 론

30~40대 남성들을 대상으로 적혈구 용적 상승군과 정상 대조군의 맥파 특성을 비교한 결과 적혈구 용적 상승군은 맥파의 진폭 변수 중 h2, h4이 정상 대조군에 비하여 유의성 있게 증가하였으며 h5/h1의 진폭과 t5-t4의 시간은 오히려 유의성 있게 감소한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 차세대기술개발사업 중 지능형 한방 콘텐츠 개발(10028438)과 2009년도 한국한의학연구원 기관고유사업(K09012)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고논문

1. 박영배. 맥진기의 현황과 전망. 대한한의진단학회지 1(1):86-94, 1997.
2. 김경철, 신순식, 강희정, 차철용. 맥진의 현대적인 객관화 연구를 위한 기반조사 - I. 기계적 측정법에 대한 비교 연구. 동의생리병리학회지 17(5):1147-1150, 2003.
3. Nichols, W.W., O'Rourke, M.F. McDonald's blood flow in arteries. London, Hodder Arnold. pp 54-293, 2005.
4. 신병철, 이시형. 맥진기를 이용한 중풍 환자의 임상적 고찰. Korean J. oriental Medical Pathology 13(2):123-127, 1999.
5. 박영배, 최용태. 비만증 환자의 맥파형 관찰. 대한한의학회지 6(1):112-116, 1985.
6. 이시우, 주중천, 김경요, 김종열. 어레이 압저항 센서를 활용한 체질맥 임상연구. 사상체질의학회지 18(1):118-131, 2006.
7. Carmel, M., McEniery Sharon, Wallace Isla, S. Mackenzie, Barry McDonnell, Yasmin David, E. Newby, John, R., Cockcroft Ian, B. Wilkinson. Endothelial function is associated with pulse pressure, pulse wave velocity, and augmentation Index in healthy humans. Hypertension. 48: 602-608, 2006.
8. Wikinson, I.B., Hall, I.R., Mackenzie, I.S., McEniery, C.M., vander Arend, B.J., Shu, Y.E., MacKay, L.S., Webb, D.J., Cockcroft, J.R. Pulse-Wave analysis: Clinical evaluation of a noninvasive, widely applicable method for assessing endothelial function. Arterioscler Thromb Vascular Biology. 22: 147-152, 2002.
9. Poiseuille, J.L.M. Recherches experimentales surle mouvement des liquids dans les tubes de tres petits diameters. memoires Savant des Etrangers. 9: 433-544, 1846.
10. G. Richard, L. Thomas, C. Bithell, Foerster, J., John, W.. Athens John, N. Lukens. Wintrobe's clinical hematology. London: Lea & Febiger. pp 2208-2209, 1993.
11. Lee, Y.J., Lee, H.J., Lee, S.W., Kim, J.Y. The process of clinical test in pulse analyzer. The International Conference on Oriental Medicine. pp 62-65, 2005.
12. Walsh, S., King, E. Pulse Diagnosis. A Clinical Guide. Sydney: Elsevier. pp 5-17, 2008.
13. 김경철, 강희정. 맥 의공학 연구방법론. 안산, 대요메디, pp 66-89, 2008.
14. Cirillo, M., Laurenzi, M., Trevisan, M., Stamler, J. Hematocrit blood pressure, and hypertension. The Gubbio

- Population Study. *Hypertension*. 20(3):319-326, 1992.
15. Göbel, B.O., Schulte Göbel, A., Weisser, B., Glänzer, K., Vetter, H., Düsing, R. Arterial blood pressure. Correlation with erythrocyte count, hematocrit, and hemoglobin concentration. *Am J Hypertens*. 4: 14-19, 1991.
 16. Fossum, E., Høiegggen, A., Moan, A., Nordby, G., Velund, T.L., Kjeldsen, S.E. Whole blood viscosity, blood pressure and cardiovascular risk factors in healthy blood donors. *Blood Press*. 6(3):161-165, 1997.
 17. Ciuffetti, G., Schillaci, G., Lombardini, R., Pirro, M., Vaudo, G., Mannarino, E. Plasma viscosity in isolated systolic hypertension: the role of pulse pressure. *Am J Hypertens*. 18(7):1005-1008, 2005.
 18. Yang, P.L., Li, Y.C. Pulse pressure index (pulse pressure/systolic pressure) may be better than pulse pressure for assessment of cardiovascular outcomes. *Medical Hypotheses*. 72: 729-731, 2009.
 19. González Quijada, S., Luque Otero, M., Fernández Cruz, A., Almería Valera, C. The association of hematocrit with blood pressure and left ventricular mass in subjects over 55. *Rev Clin*, 199(4):202-207, 1999.
 20. De Simone, G., Devereux, R.B., Chinali, M., Best, L.G., Lee, E.T., Welty, T.K. Association of blood pressure with blood viscosity in american indians: the Strong Heart Study. *Hypertension*. 45(4):625-630, 2005.
 21. Albert, L., Kunz Norman, A., Coulter, J.R. Non-Newtonian behavior of blood in oscillatory flow. *Biophysical Journal*. 7: 25-36, 1967.