

## 심혈관 노화가 脈象에 미치는 영향

신상훈\*, 임혜원\*\*, 박영재\*, 박영배\*

\*경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과학교실

\*\*KIST 생체과학연구부 의과학연구센터

### A Study of the Cardiovascular Aging Effect on the Pulse Shape

Sang-Hoon Shin\*, Hye-Whon Rhim\*\*, Young-Jae Park\*, Young-Bae Park\*

\*Dept. of Biofunctional Medicine and Diagnosis, College of Oriental Medicine, Kyung-Hee University

\*\*Biomedical Research Center, KIST

**Background and purpose:** Cardiovascular disease will undoubtedly rise along with the aging of the "baby-boom" generation. The purpose of this study is to find the new index of the cardiovascular aging.

**Methods:** The effects of aging on the heart and the arterial system are surveyed in the point of structure and function.

**Results:** Arterial stiffening is due to the fatiguing effects of periodic stress on the arterial wall and is the main reason for increasing pulse wave velocity. The systolic hypertension is caused by the early return of wave reflection. The increased after-load by the arterial change leads to the development of left ventricular hypertrophy. The reduction in left ventricular compliance cause the impairments of the diastolic function. In contrast to the lower limb, aging effect in the upper limb are almost due to the ascending aortic pressure wave and the reflected wave from the lower limb.

**Conclusion:** We have the following points. (1) The change of physiological pulse pattern by age can be explained by the early returning of reflected wave. (2) The atrial pulse in old age are generated by the left ventricular hypertrophy.

**Key Words:** Aging, Cardiovascular System, Wave Reflection, Pulse Wave Velocity, Arterial Stiffness

### I. 緒論

2001년 통계청의 『장래 인구추계』에 의하면 우리나라는 2000년 고령화 사회(Aging Society: 65세 이상 인구가 7% 이상)로 진입하였으며, 2019년 고령사회(Aged Society: 14% 이상)로 진입할 예정이다. 고령인

구 비율이 7%에서 14%로에 도달하는 고령화속도를 비교해볼 때 우리나라(19년)는 선진국(미국: 72년, 일본: 24년)에 비해 훨씬 빠른 속도로 고령사회로 도달할 예정이다. 특히 1000만이 넘는 베이비붐 세대('53~'65년)의 은퇴와 전 국민 연금급여 시대의 도래는 노인복지의 차원을 넘어 "고령친화산업"이라는 새로운

· 접수 : 2005년 6월 21일 · 심사 : 2005년 7월 11일 · 채택 : 2005년 7월 16일

· 교신저자 : 박 영 배, 경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과학교실

Tel. 02-958-9195 E-mail : bmppark@khu.ac.kr

장을 열 것으로 기대된다.

고령화 사회는 필연적으로 심혈관 질환 관리의 중요성을 높여준다. 2003년 통계청의 『사망원인』에 의하면, 60세 이상 남자의 사망원인 1위는 암(33%), 2위는 순환기 계통 질환(25%)이며, 여자의 경우 1위는 순환기 계통 질환(32%) 2위는 암(19%) 이었다. 노화에 따라 심혈관질환의 발병율은 더욱 더 증가한다. 관상동맥 질환의 경우 50세에 4.5%이던 것이 70세에서는 30%가 되며, 심부전(heart failure)의 경우 40세-50세에 1-2%이던 것이 80세에는 15%가 되며, 노령인구의 고혈압은 30% 이상이다<sup>1)</sup>.

한의학에서 심혈관계 특성을 종합적으로 반영하는 脈象은 氣와 血에 의해 형성되며, 심장과 혈관은 脈象을 형성하는 주요 기관으로 생각했다. 脈象 형성은 『瀕湖脈學』에서 “氣는 풀무와 같고 血은 파도와 같다. 血脈은 호흡으로 상하 순환한다(氣如囊輸, 血如波瀾, 血脈氣息, 上下循環)”고 하였다<sup>2)</sup>. 현대의학의 심혈관 생리학(cardiovascular physiology)에 의하면 맥박은 좌심실의 주기적인 혈액 박출로 인한 혈액과 혈관벽의 주기적인 진동이며, 심장에서 시작된 脈波는 대동맥을 따라 상지부와 하지부의 동맥들로 전달되고, 사지의 말단에서 되돌아오는 반사파(reflected wave)와의 중첩에 의하여 脈象이 형성된다.

인체의 노화는 脈象과 밀접한 관계가 있다. 費兆馥<sup>3)</sup>에 의하면, 12세 이하 아동의 脈象波는 細數하면서 弦脈 脈象波를 겸하고 있으며, 20세 전후의 청년은 다수가 滑脈 脈象波 및 平脈 脈象波이고, 40세 전후의 중년은 弦脈 脈象波의 특징을 겸한 滑脈 脈象波 및 平脈 脈象波가 많이 나타나고, 60세 이상의 노년은 절대다수가 弦脈 脈象波가 나타난다고 하였다.

비록 나이에 따른 脈象의 변화가 임상실험을 통해 검증되었다고 하나, 이는 경험적 사실을 객관적으로 확인하였을 뿐 그 정확한 기전에 대한 해석이 없었다. 본 연구는 노화에 관한 심혈관 생리학 분야의 연구결과들을 바탕으로 노화에 따른 脈象變化의 기전을 고찰하고자 한다.

## II. 本 論

脈象의 기초가 되는 혈압은 펌프기능을 하는 심장, 혈관계의 부하특성, 그리고 자율신경계의 조절작용으로 유지된다.

심혈관계에서 가장 중요한 제어변수(control parameter)는 동맥의 혈압이다. 가장 단순화된 심혈관계를 Figure 1에 도식화 하였다<sup>4)</sup>.

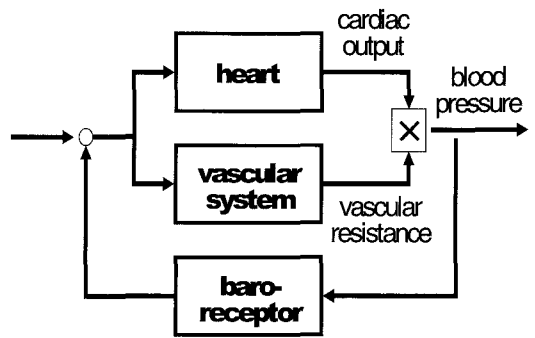


Figure 1. The cardiovascular system

심장은 일정한 심박출량(cardiac output)을 생성하며, 혈관계에 혈액을 공급하기 위해서는 혈류저항(vascular resistance)을 이겨내야 하는데, 이때 발생하는 혈압(blood pressure)은 심박출량과 혈류저항의 곱(multiplication)으로 결정된다. 혈관계의 압력은 압력수용기(baroreceptor)에 의해 감지되어, 정해진 압력(set point)을 유지하도록 자율신경계가 심장과 혈관계를 조절한다.

### 1. 심장의 노화

한의학에서 심장은 혈액순환을 주관하고 정신, 감정, 의지 등을 주관한다. 『素問·痿論』은 “심장은 몸의 혈액을 주관한다(心主一身之血脈)”이라고 말하는데, 이는 인체의 혈관에 관한 제어를 심장이 담당하고 있음을 가리킨다. 심장 생리활동의 기초는 心氣와 心血이고, 생리활동의 표현형식은 心陰과 心陽 두 가지 방면으로 나눌 수 있다. 心陽은 기능의 흥분상태 예를

들면 심장박동의 세기와 속도의 증가, 기혈운행 속도의 증가, 정서의 흥분 등을 대표하며, 心陰은 기능의 억제상태 즉, 심장박동의 세기와 속도의 감소, 정서의 평온과 억압 등을 대표한다<sup>2)</sup>.

노화에 따른 심장의 변화는 동맥계에 비하여 상대적으로 미미하다. 본 연구에서는 노화가 심장에 미치는 구조적/기능적 변화 및 기존의 심장질환과의 연관성에 대하여 살펴보고자 한다.

### (1) 구조적인 변화

노화에 따른 심장의 구조적인 변화의 특징은 심근세포의 감소와 심근의 비대(myocardial hypertrophy)이다<sup>3)</sup>. 30세와 70세 사이에 약 35%의 심근세포가 감소하며, 심근세포의 감소에 대한 원인은 알 수 없지만, 이러한 세포손실을 보상하기 위한 작용으로서 심근세포의 비대현상이 발생된다<sup>6)</sup>. 심근의 비대현상은 좌심실에서 두드러지게 나타나는데, 이는 노화에 따른 혈관저항의 증가로 인하여 동일한 혈류공급 능력을 유지하기 위한 좌심실의 수축력 증가의 요구에 따른 결과라고 하겠다. 좌심실의 비대는 관상동맥질환, 돌연사, 중풍, 그리고 심혈관 질환의 위험도를 증가시킨다<sup>7)</sup>.

### (2) 기능적인 변화

혈액을 공급하는 펌프로서 심장은 내부적인 제어기전과 함께 신경이나 호르몬과 같은 외부적인 제어기전을 가진다. 주요한 내부적인 제어기전으로 Frank-Starling 기전이 있는데, 이는 확장기 말의 혈액의 충전량(diastolic filling)이 좌심실의 수축력을 결정하는 전부하(preload)의 작용기전이다. 신경과 호르몬에 의한 외부적인 제어기전은 심박수(heart rate)와 심근의 수축성(contractibility)을 제한한다. 혈관계의 혈류저항 특성은 일정한 혈류량을 전신에 공급하기 위하여 좌심실이 이겨내어야 하는 후부하(after-load)를 결정한다.

안정 상태에서 건강한 사람의 심박수는 노화와 무

관하게 일정하게 유지된다. 운동 상태에서의 최대 심박수는 노화에 따라 감소하며, 20세와 85세 사이에서 최대 심박수는 30% 감소한다<sup>8)</sup>. 좌심실의 박출계수(ejection fraction)는 좌심실 수축능력의 가장 일반적인 임상지표이며, 노화와 무관하게 평균 65% 정도로 유지된다<sup>8)</sup>. 그러나 운동 상태에서의 최대 박출계수는 노화에 따라 감소한다.

전부하란 심장이 수축하기 전에 심근세포가 늘어난 정도를 뜻하며, 심장의 Frank-Starling 법칙에 의하면 심근의 수축력은 전부하에 비례한다. 전부하는 좌심실의 확장에 의한 혈액의 충전량에 비례한다. 수축기능과 달리 확장기능은 노화에 따라 많은 영향을 받는다. 노화에 따른 확장기의 변화는 좌심실 확장시 유연성의 감소<sup>9)</sup>와 심근 이완속도의 지연<sup>10)</sup>이다. 좌심실의 확장기 초기의 충전율은 20세 이후부터 점차적으로 감소하여 80세가 되면 약 50%정도 감소하게 된다. 확장기 초기의 좌심실의 충전감소를 보충하기 위하여 심방수축에 의한 추가적인 충전이 확장기 말기에 일어난다<sup>11)</sup>. 이러한 심방의 부과적인 수축은 심방의 비대와 좌심방의 압력을 증가시키며 심방세동(atrial fibrillation)을 유발시킨다. 60세 이상 노인의 3~4%에서 심방세동이 나타나는데 이는 일반성인의 10배에 해당하며, 심방세동이 중풍으로 될 확률은 일반의 4배이다<sup>12)</sup>. 확장기의 혈액 충전량 감소는 전부하를 감소시키고, 전부하의 감소에 따라 좌심실의 수축력이 감소되면 결국에는 심부전을 유발하게 된다<sup>5)</sup>.

심장의 후부하는 심장 자체에서 생성된 부하와 혈관계에 의해 생성된 부하로 나눌 수 있다. 심장자체의 부하는 노화에 따라 심장의 크기가 약간 증가하므로 이에 비례한다. 혈관계에 의해 생성된 부하는 혈관의 탄성도, 반사파, 혈관 고유저항 등으로 이루어져 있으며, 상행대동맥의 임피던스(vascular impedance) 곡선은 좌심실과 혈관계의 상호작용에 대한 정상적인 특성을 잘 나타내 준다. 혈류역학에서는 혈관내의 혈액의 흐름과 혈압의 관계를 규정하기 위하여 임피던스라는 개념을 정의하고 있다. 혈관의 임피던스는 혈류의 흐름을 방해하는 혈류저항의 크기를 나타내며, 일

반적으로 주파수 영역의 해석에 사용된다<sup>13)</sup>. Figure 2는 상행대동맥에서 측정된 20세와 80세의 임피던스 특성이<sup>14)</sup>. 노화가 진행됨에 따라 임피던스 곡선은 오른쪽(고주파 영역)과 위쪽(임피던스 증가)으로 이동함을 알 수 있다. 이러한 영향은 특히 임피던스의 크기에 결정적인 기여도를 가지는 저주파 영역에서 매우 두드러짐을 알 수 있다. 즉, 임피던스 곡선의 최저값이 2배로 증가한다면, 5Hz 이하의 임피던스는 4배로 증가함을 알 수 있다. 노화에 따른 상행대동맥의 임피던스(혈류저항)의 증가는 심장의 후부하의 증가를 나타내며, 후부하의 증가는 좌심실 두께의 증가를 유발한다.

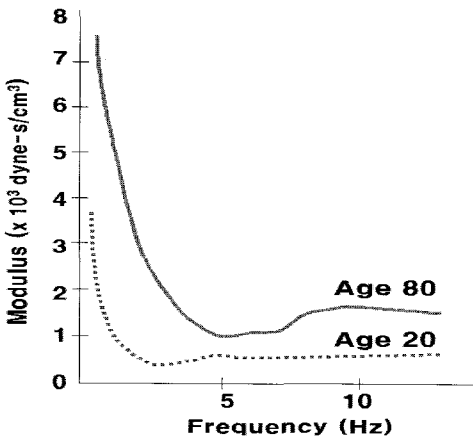


Figure 2. Estimated impedance modulus in a typical 20-year-old and a typical 80-year-old human subject

## 2. 혈관의 노화

한의학에서 혈관(脈)은 奇恒之腑에 속하며, 氣血運行的 통로이다. 혈액의 통로가 되기 위해서는 두 가지 필요한 조건을 반드시 구비해야 하는데, 첫째는 막힘이 없어야 한다. 그래야만 氣血이 순조롭게 순환한다. 둘째는 혈액이 순순히 脈道를 운행하고 맥 밖으로 흘러넘치지 않도록 단속하고 추진하는 기능을 구비하여야 한다는 것이다. 그래야만 정상적인 혈액순환을 유지하기 때문이다. 이러한 작용은 脈氣에서 주관하는 것으로, 脈氣의 추진과 조절 또한 脈象에 영향을 주는 중요 요소이다<sup>2)</sup>.

혈관계에 작용하는 노화의 영향은 일생에 걸쳐 점진적으로, 그리고 몸 전체에 걸쳐서 나타나므로 심혈관 기능의 전형적인 임상지표로는 과소평가되어 왔다. 그러나 60세 이후에 나타나는 “최고혈압의 증가/최저혈압의 감소” 현상을 이해하기 위해서는 노화가 혈관에 미치는 구조적/기능적인 변화를 잘 이해할 필요가 있다.

### (1) 구조적인 변화

노화에 따른 혈관의 구조적 변화의 특징은 대동맥(aorta)과 같은 심장근처의 탄성동맥(elastic artery)에서의 혈관두께의 증가와 혈관직경의 증가이다<sup>15)</sup>. 혈관의 노화에 대하여 논의할 때 이전의 임상가들은 노화에 따른 죽상경화증(atherosclerosis)의 증가를 예로 들곤 하였는데, 엄밀하게 말해 죽상경화증은 노화에 따른 변화가 아니다. 죽상경화증이 국부적(local)인 지역에 발생하는 혈관내막(tunica intima)의 이상인 반면에, 혈관의 노화현상은 인체의 전반에 걸쳐 발생하는 혈관내막과 혈관중막(tunica media)의 특성변화의 변화이다<sup>14)</sup>.

노화에 따른 혈관두께의 증가는 주로 혈관내막 두께의 증가로 나타나는데, 죽상경화증의 발생이 낮은 동양인의 노화에서도 유의하게 나타난다<sup>16)</sup>. 경동맥의 두께를 비침습적으로 측정된 결과에 의하면, 20세와 90세 사이에서 약 3배의 두께증가를 보였다<sup>17)</sup>.

노화에 따른 혈관직경의 증가는, 혈관중막의 퇴행성 변화에 기인한다. 심장의 박동으로 인한 혈압의 주기적인 변화는 혈관의 주기적인 변형을 유발시키며, 주기적인 혈관의 변형은 혈관중막에 존재하는 탄성섬유의 피로골절(fatigue fracture)을 유발시켜, 탄성섬유(elastin fiber)의 두께가 얇아져 혈관직경이 증가하게 된다<sup>14)</sup>.

### (2) 기능적인 변화

탄성섬유의 피로골절 현상은 혈관의 경화도(stiffness)를 증가시킨다<sup>18)</sup>. 이러한 혈관의 경화

(hardening)는 脈波 전달속도를 증가시켜 사지의 말단이나 혈관의 분지점에서 되돌아오는 반사파의 귀환시간(wave reflection time)을 단축시키므로, 중첩된 脈波의 효과가 확장기에서 수축기로 이동함으로 인하여 脈波의 형상변화와 함께 수축기 고혈압을 발생시키게 된다.

#### A. 혈관의 탄성도 변화

말초조직에 연속적으로 혈액을 공급하기 위해서는 동맥은 심장의 주기적인 맥동을 연속적인 흐름으로 바꾸어 주어야한다. 이러한 역할을 감당하기 위하여, 특히 심장주위의 탄성동맥의 유연성은 매우 중요하다. 혈관의 완충작용은 혈관 중막을 안밖으로 감싸고 있는 탄성막(elastic lamina)이 감당하고 있으며, 탄성막은 엘라스틴 섬유와 콜라겐 섬유로 구성되어 있다. 혈관의 탄성을 나타내는 지표로 탄성계수(modulus of elasticity)를 사용하는데 이는 물체의 변형에 필요한 힘의 세기를 나타낸다. 즉 탄성계수의 값이 클수록 딱딱해져 유연성은 떨어진다.

혈관의 탄성도를 측정하기 위해서는 혈관에 작용하는 힘과 이에 따른 혈관벽의 변형을 동시에 측정해야 하는데, 임상에서 이것을 적용하기는 매우 어렵다. 임상에서 혈관의 탄성도를 측정하는 가장 일반적인 방법은 脈波전달속도(PWV: Pulse Wave Velocity)이다. 이는 Bramwell과 Hill<sup>19)</sup>에 의하여 처음으로 제안되었으며, 혈관이 딱딱해질수록 脈波전달속도가 증가한다.

노화가 진행됨에 따라 脈波전달속도가 증가하게 되는데<sup>20)</sup>, 20대와 40대에서 약 1.5배의 증가를 보였으며 개와 인간의 수명은 다르지만 脈波증가의 속도는 매년 약 4%로 비슷하다<sup>14)</sup>. 노화에 따른 脈波속도의 증가는, 맥동에 의한 혈관벽의 주기적인 변형에 의한 피로현상(fatigue effect)으로 엘라스틴 섬유의 골절 및 콜라겐 섬유의 역할 증가에 따른 혈관의 경화도 증가에 기인한다.

노화에 따른 脈波속도의 증가는 말초의 근육성 동맥보다 심장근처의 탄성동맥에서 월등히 큰데, 피로이

론에 의하면 변형을 많이 받을수록 피로에 의한 영향을 많이 받는다. 흉부 대동맥을 포함한 중심성 대동맥의 맥동에 따른 직경변화는 약 10%인데 반하여 말초의 근육성 동맥의 직경변화는 5%미만 이다<sup>21)</sup>.

유소년기에 중심성 탄성동맥은 말초동맥에 비하여 유연성이 좋다. 이 시기에 인체의 동맥계는 혈관-좌심실 사이의 상호작용을 최적화하기에 적합한, 실험동물에서 볼 수 있는 것과 동일한 형태의, 탄성분포를 나타낸다. 그러나 노화에 의하여 대동맥이 점차적으로 딱딱해짐에 따라, 혈관의 탄성분포는 전체적으로 균일해지며 60세 이후에는 대동맥의 脈波 전달속도가 말초동맥보다 빨라진다<sup>14)</sup>.

#### B. 압력파형의 변화

좌심실의 수축에 의해 발생된 脈波는 상지부와 하지부의 동맥을 따라 전달되다가 말초동맥의 말단부에서 반사되어 돌아온다. 脈波의 전달속도는 매우 빠르므로 脈波를 생성한 심장의 주기가 끝나기 전에 반사된 脈波가 되 돌아온다. 그러므로 측정되는 모든 脈波에는 반사파의 영향이 포함되어 있다<sup>22)</sup>.

Figure 3은 노인과 청년의 대동맥에서의 脈波특성을 나타낸다<sup>23)</sup>. 청년의 경우 절흔 뒤에 명확한 확장기 파동이 생기는데, 이는 반사파의 최고지점이 확장기에 중첩되었기 때문이다. 노인의 경우는 반사파가 빠르게 되 돌아와서 수축기 파동과 합치게 되므로 수축기 말의 파형이 두드러지게 된다. 3세부터 94세까지 1005명의 정상인을 대상으로 파형을 조사한 바에 의하면 노화에 따라 맥압은 점차적으로 증가하고, 수축기 말 파형의 중첩현상이 생긴다. 이것은 좌심실과 근위부 대동맥에서 가장 현저히 나타나고, 경동맥에서는 조금 덜 나타나고, 요골동맥과 손가락 동맥에서는 가장 미미하게 나타난다<sup>24)</sup>.

Figure 4는 각 연령 별로 상완동맥에서 측정된 수축기/확장기 혈압이다<sup>2)</sup>. 수축기 혈압은 계속 증가하나 확장기 혈압은 60세 이후로 감소하게 되므로, 60세 이후의 맥압(수축기혈압-확장기혈압)은 급속하게 증가한

다. 이러한 맥압의 증가는 노화에 따른 혈관 경화와 반사파의 타이밍 변화에 따른 수축기 말 압력의 증가에 기인한다.

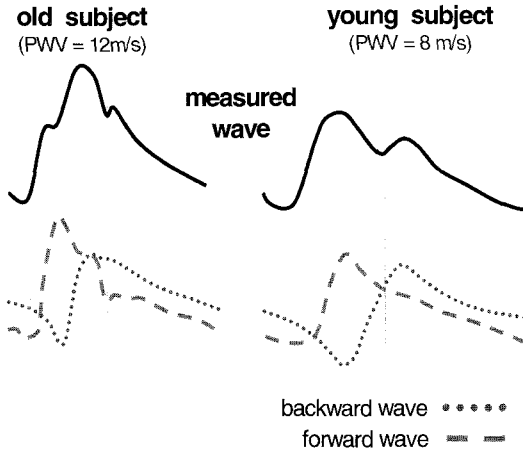


Figure 3. Central pressure contours and aging

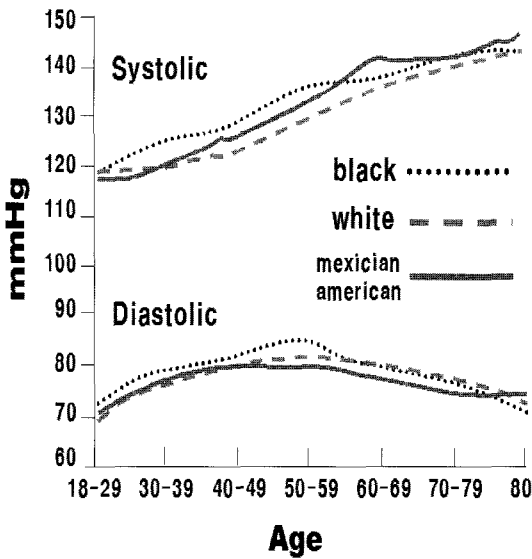


Figure 4. Blood pressure and age in men

### 3. 노화에 따른 脈象의 변화

의사가 손끝을 이용하여 전통적인 개념으로 脈診하여 얻은 결과를 脈象이라 하며, 擧按尋의 개념 없이 혈관의 압력 파형을 측정된 결과를 脈波라고 한다. 脈波에 擧按尋의 개념이 추가된 것을 脈象波라고 하며,

脈象波를 기록한 것을 脈象圖라고 한다. 본 논문에서는 특별한 언급이 없는 한 미분하지 않은 압력 脈象波임을 밝혀둔다.

#### (1) 脈象波의 변화

건강한 성인의 요골동맥에서 관측되는 脈象波의 전형적인 형태는 Figure 5와 같다.

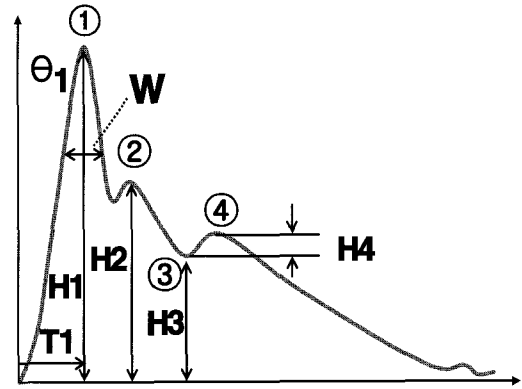


Figure 5. The normal pulse shape of radial artery

좌심실의 수축에 의하여 衝擊波(①)가 생성되며, 반사파의 중첩으로 인하여 潮浪波(②)가 생성되며, 切痕(③)은 심장의 수축기 끝부분에서 대동맥 밸브(aortic valve)가 닫히는 시점을 나타내며, 대동맥 밸브의 닫힘으로 인한 반사파의 영향으로 重複波(④)가 생성된다.<sup>26)</sup>

한의학에서는 전통적으로 나이에 따른 생리적인 脈象의 변화를 인정하고 있다. 청년과 노년의 좌우 關部 脈象波를 측정된 결과, 노년에서의 弦脈 脈象波 출현율은 88.9%이었으며, 청년의 경우는 平脈 脈象波가 22%, 弦脈 脈象波가 21%, 滑脈 脈象波의 출현율이

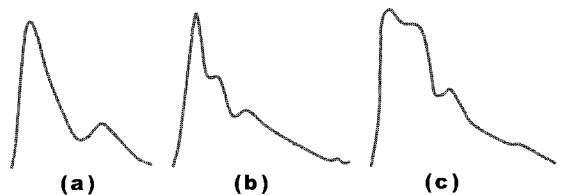


Figure 6. The pulse shapes (a) smooth pulse (滑脈 脈象波) (b) normal pulse (平脈 脈象波) (c) taut pulse (弦脈 脈象波)

26%였다<sup>27)</sup>. Figure 6은 위에서 언급한 세가지 脈象波에 대한 脈象圖이다<sup>3)</sup>.

平脈 脈象波를 기준으로 생각해볼 때, 滑脈 脈象波의 특성은 重複波(④)가 두드러져 보이며, 切痕의 압력(H3)이 작다. 한편 弦脈 脈象波는 潮浪波(②)가 衝擊波(①)에 접근 또는 융합되어 있으며, 切痕의 압력(H3)이 크다<sup>3,28,29)</sup>.

중국의 맥진연구에서는 弦脈 脈象波를 衝擊波(①)와 潮浪波(②)의 크기와 위치에 따라 Figure 7과 같이 4가지 형태로 나누고 있다<sup>2)</sup>. 제1형(type 1)은 潮浪波가 충격파에 근접한 형태이며, 제2형(type 2)은 충격파와 크기가 비슷한 潮浪波가 충격파와 융합되어 있는 형태이며, 제3형(type 3)은 潮浪波의 크기가 충격파보다 큰 경우이며, 제4형(type 4)은 충격파와 潮浪波가 완전한 하나로 융합되어 있는 형태이다. 弦脈 脈象波를 충격파와 潮浪波의 크기와 위치에 따라 4가지 형태로 나누어 생각한 점은 두드러지나, 각각의 脈象波형성 기전에 대한 설명을 어디에서도 찾을 수 없으므로, 단순한 弦脈 脈象波의 분류방법으로만 보인다.

陳德奎<sup>30)</sup>는 마취된 개에게 혈관 이완제와 혈관 수축제를 주사하여 상지동맥에서의 脈波의 특성과 심장의 심박출량을 관찰하였다. 혈관 확장제를 주사한 경우 심박출량이 증가하고 혈류저항이 감소하였으며, 脈波의 형태는 平脈 유형의 脈波에서 滑脈 유형의 脈波로 변화하였다. 반대로 혈관 이완제를 주사한 경우 심박출량이 감소하고 혈류저항이 증가 하였으며, 脈波의 형태는 平脈 유형의 脈波에서 제1형 弦脈 유형의 脈波로, 최종적으로는 제2형 弦脈 유형의 脈波로 변화됨을 보고하였다. 陳德奎<sup>30)</sup>의 연구에서는 혈관의 이완과 수축에 따른 맥상의 변화와, 혈관 수축의 경우 弦脈

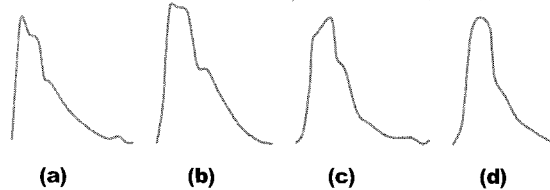


Figure 7. The four types of taut pulse (弦脈 脈象波)  
(a) Type 1 (b) Type 2 (c) Type 3 (d) Type 4

유형의 脈波가 제1형에서 제2형으로 변함을 알 수 있었다. 그러나 혈관의 수축/이완이 어떻게 脈象을 변화시키는가에 대한 기전을 알 수는 없다.

(2) 혈류역학적 기전연구

심혈관계 연구의 선각자들은 동맥이 점차적으로 경화된다는 사실과 이것이 심혈관 기능에 나쁜 영향을 미친다는 사실을 알았다. 그러나 말초저항으로 좌심실의 부하를 완전히 설명할 수 있고, 확장기의 혈압이 이를 대변한다는 사회 전반적인 유행에 의하여 1920년대에 임상적으로 혈압계를 받아들임으로서 이 분야의 연구는 일시적으로 퇴보하였다. 그러나 나이에 따라 수축기 압력이 증가한다는 역학적인 조사결과에 따라 이 분야의 연구가 새롭게 불붙기 시작하였다<sup>14)</sup>.

Murgo<sup>31)</sup>는 청년과 노인의 압력패턴의 차이에 주목하여 상행대동맥의 압력패턴을 Figure 8과 같이 3가지 형태로 구분하였는데, 되돌아오는 반사파와 중첩되는 타이밍으로 세가지 패턴을 설명하였다.

하지부로부터 돌아오는 반사파는 상지부의 脈波에 큰 영향을 미치는 반면, 상지부의 반사파가 하지부의 脈波에 미치는 영향은 미미하다<sup>32)</sup>. 그러므로 상행대동맥이나 상지부에서 측정된 脈波에 결정적인 영향을 미치는 반사파는 하지부로부터의 반사파이다. C-유형의 특징은 하지부로부터 반사되어 돌아온 脈波가 확장기(대동맥 밸브가 닫힌 이후)에 중첩된 경우이다. 일반적으로 청년의 상행대동맥에서 흔히 관찰되는 패턴이다. 노인에게서 전형적으로 나타나는 A-유형은, 脈波의 전달속도의 증가로 반사파가 빠르게 되돌아와서 수축기 말의 파동과 합쳐져서 생기게 된다. B-

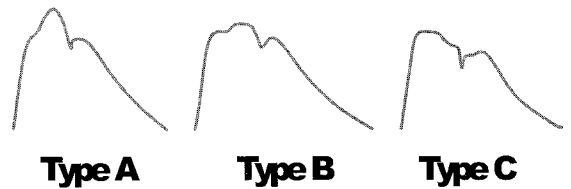


Figure 8. Comparison of types A, B, and C ascending aortic pressure waves

유형은 C-유형에서 A-유형으로 바뀌어 가는 과정이다.

하지부로부터 되돌아오는 반사파의 중첩 타이밍을 결정하는 요소는 혈관의 탄성도와 혈관길이이다. 심장에 의한 혈관의 주기적인 변형은 탄성막의 피로골절을 유발시켜 인체의 중심부에 주로 존재하는 탄성혈관의 경화도를 증가시킨다. 혈관이 딱딱해짐에 따라 脈波 전달속도가 증가하고, 사지의 말단에서 되돌아오는 반사파(reflected wave)의 귀환시간이 빨라짐에 따라 脈波 중첩의 효과가 확장기에서 수축기로 점점 이동하여 수축기 고혈압을 발생시킨다.

유아의 대동맥과 요골동맥의 압력파형은 노인의 압력파형과 매우 유사하며, 이런 역설적인 결과는 신체의 길이와 반사파의 타이밍으로 설명될 수 있다<sup>33)</sup>. 유아의 경우, 반사파가 빨리 돌아오는 이유는, 대동맥이 딱딱하고 脈波속도가 빨라서가 아니라 신체의 길이가 짧으므로 반사지점이 해부학적으로 짧아진 때문이다.

McVeigh<sup>34)</sup>는 압력계를 이용하여 건강한 피험자의 (n=212) 요골동맥 압력파형을 측정하여, 연령별 脈波의 특성을 Figure 9와 같이 정리하였다. Figure 9에 의하면, 노화에 따라 반사파의 중첩 타이밍이 이완기에서 점차적으로 수축기로 이동하고 있으며, 반사파의 중첩이 이완기에서 수축기로 이동함에 따라 절흔 이후에 발생하는 重復波가 점차 없어져가는 현상을 보이고 있다.

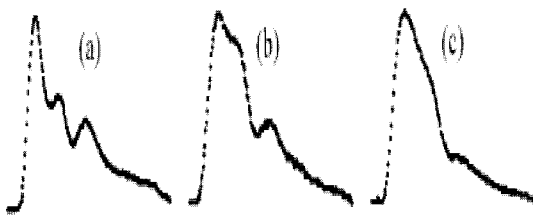


Figure 9. Representative radial arterial waveforms in different age groups (a) age 25 years (b) age 47 years (c) age 80 years

### III. 考 察

나이에 따른 脈象의 변화가 객관적인 脈象波 임상 연구를 통하여 증명되었다고는 하나, 지금까지 平脈에서 弦脈으로 변화하는 기전은 설명하지 못하였다. 본 연구는 노화가 脈象에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 기존의 심혈관 생리학 분야의 연구를 구조적인 변화와 기능적인 변화로 나누어 분석하였다. 이를 바탕으로 심혈관계의 노화에 따라 脈象이 변화하는 원인을 파악할 수 있었으며, 중요한 내용을 정리해 보면 다음과 같다.

1. 노화에 따른 수축기 혈압의 상승으로 후부하가 증가하면, 이에 대응하기 위하여 좌심실의 심근이 비대해진다. 심근비대는, 좌심실의 확장기능을 저하시켜, 좌심실 혈액 충전량의 감소로 이어진다. 좌심실 확장기의 충전혈액 감소는 좌심실의 수축력 저하를 유발하여 심부전을 발생시키며, 심박출량을 일정하게 유지하기 위하여 수축기 말에 발생하는 심방의 추가적인 수축은 심방비대(atrial hypertrophy) 및 심방세동의 원인이 되며, 노인의 脈診에서 心房波가 출현하는 원인이 된다.

2. 심장의 박동으로 인한 혈압의 주기적인 변화는 혈관의 주기적인 변형을 유발시키며, 혈관의 주기적인 변형은 혈관중막에 존재하는 탄성섬유에 피로골절을 유발시킨다. 탄성섬유의 골절은 콜라겐 섬유의 역할을 증대시키며, 결론적으로 혈관의 경화도를 증가시킨다. 노화에 따른 동맥의 경화도 증가는 말초의 근육성 동맥보다 심장근처의 탄성동맥에서 월등히 크다.

혈관이 딱딱해질수록 脈波의 전달속도가 증가하게 되는데, 20대와 40대에서 약 1.5배의 증가를 보였으며 매년 약 4% 정도씩 증가한다. 청소년기의 탄성동맥은 말초의 근육성 동맥보다 경화도가 작다. 그러나 노화에 의하여 대동맥이 점차적으로 딱딱해짐에 따라, 혈



관의 탄성분포는 전체적으로 균일해지며 60세 이후에는 대동맥의 脈波 전달속도가 말초동맥보다 빨라진다.

3. 나이에 따른 脈波의 형상에 결정적인 영향을 미치는 것은 생성되는 진행파(forward wave)와 하지부로부터 되돌아오는 반사파(reflected wave)의 중첩 타이밍이다. 청년의 경우는 하지부로부터 반사되어 돌아온 반사파가 확장기(대동맥 밸브가 닫힌 이후)에 중첩되며, 노인의 경우는 반사파가 수축기 말의 파동과 중첩된다.

하지부로부터 되돌아오는 반사파의 중첩 타이밍을 결정하는 요소는 혈관의 경화도와 혈관길이이다. 혈관이 경화되면 脈波 전달속도가 증가하고, 하지부로부터 되돌아오는 반사파의 귀환시간이 빨라짐에 따라 脈波의 중첩 타이밍이 확장기에서 수축기로 점점 이동하게 된다. 유아의 압력파형은 노인의 압력파형과 매우 유사한데, 이는 대동맥이 딱딱하고 脈波속도가 빨라서 아니라 신체의 길이가 짧으므로 반사지점이 해부학적으로 짧아진 때문이다.

4. 平脈 脈象波와 비교해볼 때, 弦脈 脈象波는 潮浪波가 衝擊波에 접근 또는 융합되어 있는 것이 특징이며, 滑脈 脈象波는 重複波가 두드러져 보이는 것이 특징이다. 이는 Murgó<sup>31)</sup>가 설명한 반사파의 중첩 타이밍으로 설명될 수 있다. 청년의 경우는 하지부로부터 되돌아온 반사파가 확장기의 진행파와 중첩되므로 潮浪波가 미미하며 확장기의 重複波가 두드러진다. 노인의 경우는 하지부로부터 되돌아오는 반사파 전달속도가 빠르므로, 수축기 말의 진행파와 중첩되어 잘 발달된 潮浪波가 衝擊波와 융합되어 있는 형태로 나타나게 되며, 확장기의 重複波는 거의 나타나지 않는다.

심혈관 생리학분야의 연구는 최저혈압/최고혈압의 국소적이고 定量的인 개념뿐만 아니라, 심혈관계 전반에 걸친 定性的인 연구도 많이 진행되고 있다. 오랜 세월동안 축적된 脈診의 경험적 지식들이 심혈관 생리학분야의 연구결과들과 체계적으로 결합된다면, 脈

診의 객관화에 큰 기여를 할 수 있으리라 생각된다.

## 参考文献

1. Kelly DT. Disease burden of cardiovascular disease in the elderly. *Cronery Artery Disease*. 1997; 8: 667-669.
2. 費兆馥. 中醫脈診研究. 上海, 上海中醫學院出版社, 1991.
3. 費兆馥, 張志楓. 中醫脈診의 圖象化和 定量化. *自然雜誌*. 1995; 17(1): 27-32.
4. Strackee J, Westerhof N. The physics of heart and circulation. Bristol, Institute of Physics Publishing, 1993.
5. Oxenham H, Sharpe N. Cardiovascular aging and heart failure. *The European Journal of Heart Failure*. 2003; 5: 427-434.
6. Anversa P, Palackal T, et al. Myocyte cell loss and myocyte cellular hyperplasia in the hypertrophied aging rat heart. *Circulation Research*. 1990; 67: 871-885.
7. Levy D, Garrison RJ, et al. Prognostic implications of echocardiographically determined left ventricular mass in the Framingham Heart Study. *New England Journal of Medicine*. 1990; 322: 1561-1566.
8. Fleg JL, O'Connor FC, et al. Impact of age on the cardiovascular response to dynamic upright exercise in healthy men and women. *Journal of Applied Physiology*. 1995; 78: 890-900.
9. Downes TR, Nomeir AM, et al. Mechanism of altered pattern of left ventricular filling with aging in subjects without cardiac disease. *American Journal of Cardiology*. 1989; 64: 523-527.
10. Sohn D, Chai I, et al. Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. *J AmColl Cardiol*. 1997; 30: 474-480.
11. Lakatta EG, Levy D. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises part 2: the aging heart in health: links to heart disease. *Circulation*. 2003; 107: 346-354.
12. Brand FN, Abbott RD, et al. Characteristics and prognosis of lone atrial fibrillation: 30-year follow-up in the Framingham Study. *JAMA*. 1985; 254: 3449-3453.
13. Shin SH, Park YB, et al. Multibody dynamics in arterial system. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2005; 19: 343-349.
14. Nichols WW, O'Rourke MF. McDonald's blood flow in arteries. 4th ed. London, Edward Arnold, 1998.
15. Lakatta EG, Levy D. Arterial and cardiac aging: major

- shareholders in cardiovascular disease enterprises part 1: aging arteries: a "set up" for vascular disease. *Circulation*. 2003; 107: 139-146.
16. Virmani R, Avolio AP, Mergner WJ, et al. Effect of aging on aortic morphology in populations with high and low prevalence of hypertension and atherosclerosis: comparison between occidental and Chinese communities. *American Journal of Pathology*. 1991; 139: 1119-1129.
  17. Nagai Y, Metter J, Earley CJ, et al. Increased carotid artery intimal-medial thickness in asymptomatic older subjects with exercise-induced myocardial ischemia. *Circulation*. 1998; 98: 1504-1509.
  18. O'Rourke MF. Pulsatile arterial haemodynamics in hypertension. *Australian and New Zealand Journal of Medicine*. 1976; 6: 40-48.
  19. Bramwell JC, Hill AV. Velocity of transmission of the pulse wave and elasticity of arteries. *Lancet*. 1922; 1: 891-892.
  20. Vaitkevicius PV, Fleg JL, et al. Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation*. 1993; 88: 1456-1462.
  21. Boutouyrie P, Laurent S, et al. Opposing effects of aging on distal and proximal large arteries in hypertensives. *Journal of Hypertension*. 1992; 10: 87-91.
  22. Yaginuma T, Avolio A, et al. Effect of glyceryl trinitrate on peripheral arteries alters left ventricular hydraulic load in man. *Cardiovascular Research*. 1986; 20: 153-60.
  23. Izzo JL, Shykoff, BE. Arterial stiffness: clinical relevance, measurement, and treatment. *Reviews in cardiovascular medicine*. 2001; winter: 29-40.
  24. Kelly R, Daley J, et al. Arterial dilation and reduced wave reflection: benefit of diltanin in hypertension. *Hypertension*. 1989; 14: 14-21.
  25. Burt VL, Whelton P, Roccella EJ, et al. Prevalence of hypertension in the US adult population: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1991. *Hypertension*. 1995; 25: 305-313.
  26. 신상훈, 박영배, 임혜원, 김기왕. 중국의 맥진 객관화 연구동향. *대한한의진단학회지*. 2004; 8(2): 45-56.
  27. 李杰. 高寒地區健康青年及老年弦脈圖分析. *高原醫學雜誌*. 1994; 4: 40-42.
  28. 徐元景, 牛欣. 中醫脈診位數形勢屬性的檢測方法探討. *中國中西醫結合雜誌*. 2003; 23(6): 467-470.
  29. 陸小左, 付娟, 邢淑麗, 趙松雪. 脈圖的簡單判別. *天津中醫學院學報*. 2003; 22(3): 4-5.
  30. 陳德奎. 弦滑脈的血液動力學分析. *中西醫結合雜誌*. 1983; 3(4): 232.
  31. Murgo JP, Westerhof N, Giolma JP, et al. Aortic input impedance in normal man: relationship to pressure wave shapes. *Circulation*. 1980; 62: 105-116.
  32. O'Rourke MF, Kelly R, Avolio A. *The arterial pulse*. London, Lea & Febiger, 1992.
  33. Hsieh KY, O'Rourke MF, Avolio A, et al. Pressure wave contour in the ascending aorta of children-paradoxical similarity to the elderly. *Australian and New Zealand Journal of Medicine*. 1989; 19( ): 555.
  34. McVeigh GE, Bratteli CW, et al. Age-related abnormalities in arterial compliance identified by pressure pulse contour analysis. *Hypertension*. 1999; 33: 1392-1398.