

혈압계의 이해

전 계 록

부산대학교 의과대학 의공학교실

1. 서론

현대과학의 급속한 발전으로 과거에는 거의 불가능하다고 판단하였던 여러 가지 기술들이 개발되어 점차 생활에 적용되고 있는 추세이다. 이로 인해 삶의 질은 더욱 개선되고 윤택해졌지만 고도의 물질적인 성장 이면에는 고령인구의 증가, 과도한 업무로 인한 스트레스와 육체적 피로, 불규칙한 식생활, 환경오염 등으로 각종 질환에 노출되고 있는 실정이다. 특히 국내에서 고혈압, 동맥경화 등 심혈관계 질환에 의한 사망률이 전체 질환에 의한 사망률의 약 47%에 육박할 정도로 심혈관계 질환은 이미 우리 사회에 널리 퍼져 있으므로 이에 대한 해결 방안이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 과거에는 이러한 심혈관계 질환을 진단하는 대부분의 의료기들이 중량이면서 병원 내의 진료실에서 주로 사용되었지만, 최근에는 전자회로의 집적화 기술과 신호처리 및 무선통신 기술의 발달, 의공학의 발전, 건강에 대한 관심의 증대 등의 요인으로 시스템이 소형화 및 집적화되어 휴대형 의료기기의 사용이 증가되고 있는 추세이다. 또한 비침습적이면서 검사 방법이 간편하고 접근성이 용이한 의료기들이 각광을 받고 있으며, 휴대용 의료기기와 유무선 네트워크를 연계한 원격 및 재택진료용 시스템에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.^[1]

2.1 연구 배경

영국의 교회 목사인 Stephen Hales(1677-1761)는 나무즙이 나무줄기를 타고 올라가는 힘을 측정하는 방법을 알아내고 그 다음의 연구단계로서 이 원리를 응용하여 사람의 혈압을 측정하는 방법에 관한 실험을 시작하였다. 그는 먼저 동맥의 혈압을 측정하여 보기 위해서 살아 있는 말의 동맥에 유리관을 삽입한 결과 유리관 속으로 말의 피가 차오르는 것을 확인하고 그 높이를 말의 동맥혈압으로 간주하였는데 이 유리관이야말로 역사상 최초의 혈압계라고 볼 수 있다.

당시 Hales는 11회에 걸쳐서 시행한 동물실험 결과를 1733년에 발간한 그의 저서에 자세히 기술하였는데 첫 번째 실험은 14살 된 암말을 등쪽으로 누인 다음에 사지를 고정

하고 대퇴동맥을 노출시켰으며, 노출된 동맥을 일시적으로 결찰 한 후 못쇠로 만든 파이프를 삽관하고 여기에 270 cm 길이의 수직 유리관을 연결한 뒤 동맥의 결찰을 제거한 결과 피가 유리관 속으로 차오르면서 마침내 247.6 cm까지 올라가다가 멈추는 것을 확인하였다.

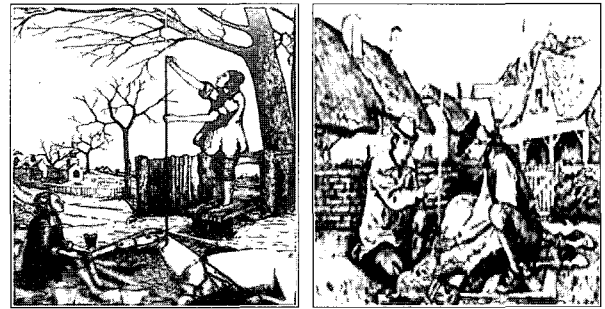


그림 1. The experiment is that the Hales measures the blood pressure from a horse.

이 혈압은 예상하였던 것보다 더 높게 나타났었다. 이에 대해 Hales는 평상시 말의 맥박수가 분당 36회인데 비해서 실험 중에 분당 60-100회로 현저하게 상승한 현상을 실험의 수행으로 인하여 말이 몹시 놀라거나 또는 심한 통증을 느끼기 때문이며, 또한 이런 현상이 혈압을 상승시키는 한 원인일 것이라고 추정하였다.

Hales가 혈압을 측정하기 위해서 사용하였던 유리관은 너무 길고 또한 다루기가 몹시 불편하였기 때문에 1828년 프랑스의 생리학자인 포와세이유 (Jean Leonard Marie Poiseulle; 1799-1869)는 이런 단점을 개선하기 위해서 U-자관을 수은으로 채워 측정관의 길이를 훨씬 짧게 만들었다. 이 수은관의 사용은 혈압이 오늘날과 같이 "수은밀리미터(millimeter of mercury, mmHg)"라는 단위로 측정하게 된 최초의 계기가 되었다.

Hales는 실험에서 경동맥의 혈압과는 달리 경정맥의 혈압이 훨씬 낮다는 것을 관찰하고 동맥이 심장을 떠나 정맥을 향해 가면서 점점 작아짐에 따라서 동맥압도 점차적으로 낮아진다고 잘못된 결론을 내렸었다. 이러한 잘못된 믿음은 그 후 1세기 동안이나 계속되었는데 실험을 통해서 동

맥압은 부위에 관계없이 일정하다는 것을 처음으로 증명한 사람도 바로 포와세이유 이었다.

1887년에 오스트리아 비엔나대학의 내과교수였던 바쉬(Von Basch)는 손목에서 동맥을 압박할 수 있는 용수철 고무컵(spring plunger)을 장착하는 방법을 제시하였다. 이 방법에 의해 아네로이드 게이지(aneroid gauge)로 수은밀리미터(millimeters of mercury, mmHg) 단위로 혈압을 측정할 수 있는 혈압계가 제작되었다.^[2]

2.2 기초 지식

혈압계에 대해 논의하기 전에 심혈관계에 대해서 고찰할 필요성이 있다. 일반적으로 심혈관계는 크게 심장(heart), 혈액(blood), 혈관계(vessels)로 구성되며, 심장은 혈액을 신체 각 부위로 박출하는 펌프 역할을 수행하며, 혈액은 심장에서부터 박출되어 혈관을 통하여 신체의 모든 부위로 관류하는 용역을 의미하고, 혈관계는 혈액이 흐르는 모든 관으로 구성되어 있다. 혈관계에는 동맥계(arterial system): 신체의 각종 장기로 혈액의 흐름을 조절하는 분배계(distribution), 모세혈관계(capillary system): 세포와 혈액간의 물질교환을 담당하는 교환계(exchange), 정맥계(venous system): 조직을 관류한 혈액을 모아서 다시 심장으로 회귀시키는 수집계(collection)등으로 구성된다.

순환계는 크게 대순환계인 체순환계(systemic circulation)와 소순환계인 폐순환계(pulmonary circulation)로 구분된다. 이 중 체순환계는 좌심대동맥→신체 각 부위(소동맥→모세혈관)을 관류하며 혈액 내의 산소와 조직에서 생성된 이산화탄소가 교환되어 정맥혈로 되며→소정맥→대정맥→우심방으로 회귀하게 된다. 그리고 폐순환계는 우심실→폐동맥→폐→폐정맥→좌심방으로 구성되며, 혈액내의 이산화탄소와 폐포 내의 산소는 교환되어 동맥혈로 변한다.

표1. Normality & abnormality of the blood pressure

구 분	고혈압		저혈압
	수축기혈압	이완기혈압	
정 상	120이하	80이상	혈압이 정상이었던 사람이 Mean arterial pressure가 60mmHg 이하가 될 때 Shock이 발생한다.
전단계 고혈압	120-139	80-89	
고혈압 1기	140-159	90-99	
고혈압 2기	160이상	100이상	

혈압이란(blood pressure) 혈관의 벽에 미치는 혈액의 압력(the pressure of blood against the walls of any blood vessel)을 의미하며 동맥(혈)압(arterial blood pressure)은 동맥의 벽에 미치는 혈액의 압력으로, 심장의 움직임에 따른 에너지, 동

맥벽의 탄성, 혈액의 양과 점성 등에 영향을 받는다. 혈압은 항상 끊임없이 변화하며, 일중변동(diurnal variation), 정신적 긴장(mental stress), 체위의 변화(orthostatic stress), 운동(exercise), 노화(effects of age) 등이 주요 요인으로 작용한다. 이러한 요인들에 의해 발생하는 혈압의 정상치와 이상치를 나타내면 표 1과 같다.

3.1 혈압 측정 부위 및 측정 주기

일반적으로 혈압을 측정할 수 있는 부위들을 나열하면 그림 2와 같다.

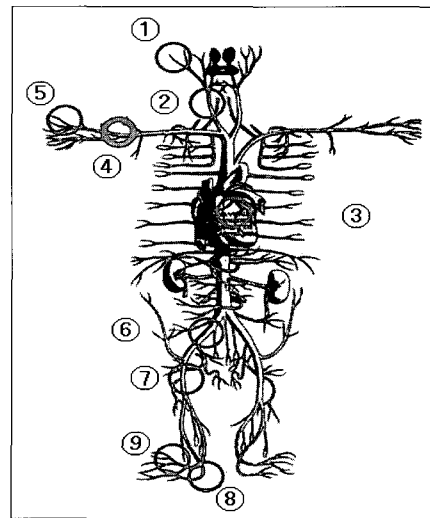


그림 2. The heart at the center of the circulation, as drawn by Vesalius (1514-1564) in his Tabulae Anatomicae. ① 측두동맥(temporal artery), ② 경동맥(common carotid artery) ③ 심첨맥박(apical pulse) ④ 상완동맥(brachial artery) ⑤ 요골동맥(radial artery) ⑥ 대퇴동맥(femoral artery) ⑦ 슬와동맥(popliteal artery) ⑧ 후경골동맥(posterior tibial artery) ⑨ 족배동맥(dorsalis pedis artery)

3.2 혈압 측정 주기

정상인의 경우 혈압을 주기적으로 측정할 필요성을 느끼지 못하나 건강진단을 위해서는 년 1~2회 정도가 적당하다. 그러나 고혈압 환자의 경우에는 병원에 갈 때 마다 혹은 매일 일정한 시간에 혈압의 측정을 요한다. 보통 자고 일어나서 혈압을 측정하며, 병원에 입원한 환자일 경우 하루 3~4번 또는 증상이 나타나거나 중요한 검사 전·후에 혈압을 측정하나, 수술 중 또는 응급실 위급환자일 경우 5분, 10분, 15분 또는 상대가 급변하는 전·후로 자주 혈압을 측정하고, 큰 수술(major operation)일 경우 지속적으로 혈압을 측정하여야 한다.

3.3 혈압 측정의 생리학적 의미

혈압 측정의 생리학적 의미로는 혈압 단독으로는 의미를 가질 수 없다. 심박동수(heart rate), 산소포화도(Sp O₂)등 과 같이 측정이 필요하며 고혈압 진단 시 안정된 상태에서 혈압을 측정해야 하며 Circulatory shock 일 경우 혈압을 계속하여 Monitoring 하는 것이 중요하다.

3.4 고혈압

고혈압의 의학적 특성으로는 순환기 질환 중 가장 중요한 위험인자이며, 환자현황으로는 미발견, 미치료, 부적절 치료 상태 등이 있다. 임상적인 측면에서는 가장 흔하나 증상이 없고, 쉽게 발견되고 잘 치료되나 치료하지 않으면 치명적인 단계가 고혈압이다.

고혈압의 정의 및 분류는 다음과 같다. 고혈압은 주간(daytime) 기록의 대부분이 임의적 기준치인 140/90 mmHg를 초과하면서 혈압이 지속적으로 높은 상태이다. 고혈압의 원인인자로는 다음과 같은 요인들이 있으나 아직까지 정확하게 밝혀진 것은 없다 수면무호흡증(sleep apnea), 약물(drug induced or related), 만성신장 질환(CKD), 일차성 알도스테론 증(primary aldosteronism), 신혈관적 고혈압(renal HTN), 쿠싱 증후군(Cushing's syndrome), 또는 스테로이드(steroid) 치료, 황색종(pheochromocytoma), 대동맥축착증(CoA), 갑상선/부갑상선 질환 등이 있다. 고혈압의 진단과정으로는 혈압 측정이 가장 널리 쓰이는 방법이며 이외에 위험인자와 동반 질환(comorbidities)을 확인하거나 말초기관손상(target organ damage)이 있는지 확인 또는 혈액검사를 통하여 혈액의 혈당(blood glucose), 헤마토크릿(hematocrit), 지질(lipid), 혈장 포타슘(serum K⁺), 크레아티닌(creatinine), 칼슘(Ca⁺⁺) 등을 확인하거나 심전도를 통해서 진단을 내리고 있다.

고혈압의 치료에서는 치료원칙은 혈압을 140/90 mmHg 이하로 맞추는 것을 목표로 하나 만약 당뇨병이나 만성 신장질환 환자는 130/80 mmHg가 기준이 되며 대부분의 환자들은 2가지 이상의 약물의 투여가 필요하다.

3.5 저혈압(shock)

Shock은 혈액의 조직 관류가 불충분하여 발현하는 임상 증후군(syndrome)이다. 순환계의 장애로 조직관류가 되지 않아 세포 생존에 필요한 산소 및 영양소를 공급해주지 못하는 상태이다. 주요 증상으로 저혈압, 차가운 피부, 빈맥(맥박이 빠름), 불안(anxiety) 등이 있다.

Shock의 진행단계는 다음과 같이 구분한다. 1단계 compensated shock, 저혈압 발생, 보상기전(compensatory mechanism)으로 주요기관의 관류가 유지되며, 2 단계에는

decompensated shock, 보상기전이 불충분하여 organ dysfunction의 발생, 3 단계는 irreversible shock, 세손상 초래, 다기관 부전(MODS), DIC(disseminated intravascular coagulation), Acidosis 등이 있다.

저혈량성 shock(hypovolemic shock)은 혈관내의 부피(혈액)의 감소(reduced intravascular volume) 되어 조직으로 산소공급이 불충분해짐으로 인해 발생(insufficient delivery of oxygen to tissues), 출혈이 가장 흔한 원인으로 알려져 있다. 저혈량성 Shock는 3가지 상태로 구분, 즉 보상되는 상태(compensated), 보상되지 않는 상태(uncompensated), 치명적인 실혈상태(lethal exsanguination)이다. 보상되는 상태는 출혈량(hemorrhage)이 전체 혈액량 중 20%이하인 경우이며, 전체 혈관저항(systemic vascular resistance)이 적응 상태, 평균 체성압력(mean systemic pressure)이 유지되는 상태, 뇌와 심장의 관류는 거의 정상 상태(brain and heart perfusions remain near normal), 기관계는 치명적이지 않으나 허혈인 상태 등인 경우이다.

보상이 되지 않는 상태는 혈관 내의 혈액량의 부족(intravascular volume deficit)이 vasoconstrictive 기전을 초과할 때 혈압이 저하되며 사망할 가능성이 높아질 수 있다. 왜냐하면 중요 장기로 산소가 공급되는 양이 불충분하여 지면 미토콘드리아에서 산화성 에너지 생산이 부족하게 되므로 이때 세포의 관류량은 비가역적 손상을 일으키기 전까지는 어느 정도 유지되어야 한다.

치명적인 실혈상태는 전체 혈액량의 40% 이상의 출혈이 발생하여 뇌로 혈액의 공급량이 부족하게 되어 실신(syncope) 또는 몇 분 이내에 심폐 정지, 심한탈수(severe dehydration), 고혈당 상태가 오랫동안 지속된 당뇨병환자, 넓은 범위의 화상, 소장 폐색(small bowel obstruction, 체액이 장관 내부로 빠져나오는 것) 등이 저혈당성 shock의 원인 중 출혈 외의 다른 요인들로 작용한다.

그 외 심인성 shock의 심근경색(myocardial infarction)이 있으며, 심장의부 폐색성 shock으로 심장압전(pericardial tamponade)이 있다. Shock의 임상성(clinical manifestation)은 저혈압, 빈맥, 서맥, 과 호흡, 정신변화, 핏노, 차고 축축한 사지, 저산소증, 대사성 산증 등이 있다. Shock의 치료에는 수혈과 수액공급 있으며 강심제를 투여하거나 산소의 지속적인 공급 및 실시간 모니터링 후 적절한 산소(동맥혈의 산소분압을 유지)의 공급 등이 대표적인 치료방법이다.^[3]

II. 본 론

1. 혈압 측정 장치

동맥혈압은 직접 또는 침습적(invasive) 방법과 간접 또는 비침습적(noninvasive) 방법으로 각각 측정할 수가 있다. 침습적인 방법은 polyethylene 재질로 만들어진 카테터를 동맥 내로 삽입하여 혈액이 카테터 내의 변환기(transducer)를 통하여 흐를 때 변환기에 의해 측정된 압력의 변화가 감시장치(monitor) 또는 압력계(manometer)로 전달되어 동맥혈관 내의 압력을 직접 측정하는 방법이다. 이 방법은 쇼크나 출혈 등에 의해서 간접적인 방법으로는 동맥혈압을 측정하기가 어려운 경우, 즉 심혈관계가 매우 불안정하여 지속적으로 동맥혈압의 감시가 필요한 경우와 혈액가스분석 및 기타 혈액검사를 시행하기 위해서 동맥혈액을 자주 채취할 필요성이 있는 경우에 많이 이용하고 있다. 직접적인 방법에 의해 동맥혈압을 측정하기 위해서 카테터를 삽입할 수 있는 동맥으로는 요골(radial), 상완(brachial), 액와(axillary), 족배(dorsalis pedis), 대퇴(femoral) 동맥 등이 있으나, 이 중에서 요골동맥과 족배동맥을 가장 많이 선택하고 있다. 특히 요골동맥 내로 카테터를 삽입할 경우에는 요골동맥이 폐쇄되더라도 수부(hand)의 괴사성 손상이 발생하는 것을 방지하기 위해서 변형화된 Allen 검사를 시행하여 척골동맥의 측부순환이 적절하게 이루어지고 있는가를 평가하여야 한다.

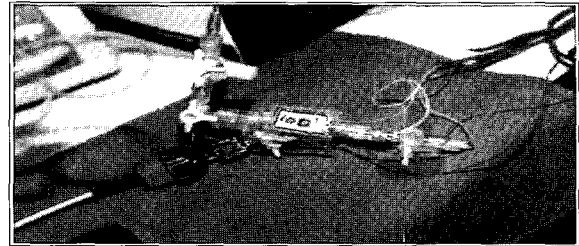
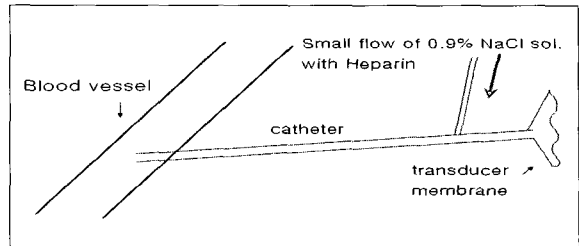


그림 3. Extravascular sensor.

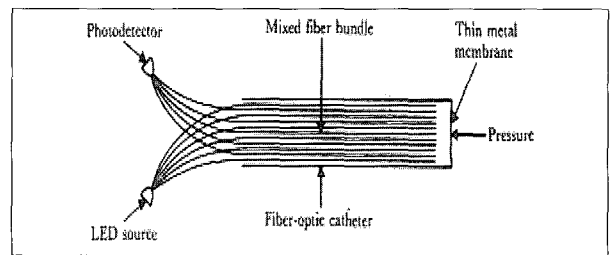
침습적인 혈압 측정법은 주로 중환자 감시나, 수술 등 특별한 상황에서 사용 즉, 아주 정확한 혈압을 측정하기 위해서 사용되며 환자로 하여금 통증 및 출혈을 유발하기 때문에 단순히 혈압을 측정하는 용도로는 사용하지 않는다.

Intravascular sensor의 구성도 및 외형을 들 예시하면 그림 4와 같다. 이 센서는 transducer를 tip에 설치함에 의해 파형의 왜곡 및 측정시간의 지연 현상이 현저히 줄어드는 장점을 지니나, 고가의 장비이며 부서지기 쉬운 점이 단점으로 지적된다. 주로 흉부외과에서 심장수술을 할 때 사용하고 있다.

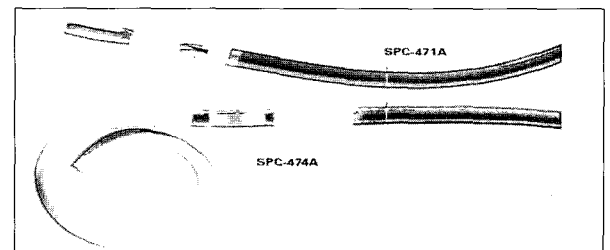
2. 침습적 방법과 비침습적 방법 비교

침습적 방법에는 Catheter-Manometer system과 Catheter-tip transducer가 있다. Catheter-manometer method는 정확하게 혈압을 측정할 수 있으며 지속적으로 측정 가능하고 그리고 arterial sampling 가능하다는 장점이 있으나, 시술이 어렵고 통증을 유발시키며 세균 등에 감염될 수 있으며 출혈 등의 부작용이 수반된다.

비침습적인 방법에는 cuff를 사용하는 경우와 Cuff를 사용하지 않는 경우로 구분할 수 있다. Rovarocci method를 예로 들면 침습적인 방법에 비하여 비침습적인 방법이 안전하다는 것이 가장 큰 특징이다. 통증, 감염, 출혈 등이 없으며 측정이 비교적 용이하나 단점으로는 측정데이터가 비교적 부정확하다는 문제점을 지니고 있다.



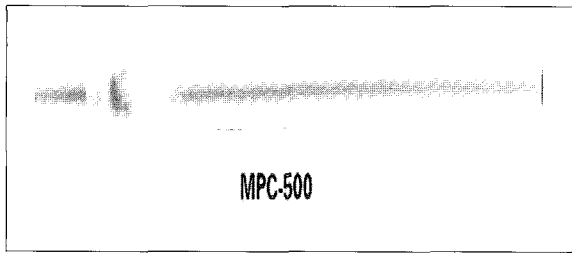
(a)



(b)

3. 침습적 방법

혈압을 측정하고자 하는 부위의 혈관에 카테터를 삽입하고 카테터 내의 압력 센서를 통하여 혈압을 측정하거나 바늘을 찔러 넣고 관을 통해 연결된 압력 센서를 사용하여 혈압을 측정하는 방법을 침습적 혈압 측정이라고 하며, 일례를 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.



(c)

그림 4. Intravascular sensor (a) schematic diagram of sensor, (b) with lumen, and (c) without lumen.

4. 비침습적 방법

혈압계의 발전 과정을 간략하게 기술하면 다음과 같다. 오늘날 흔히 볼 수 있는 혈압계와 비슷한 형태의 혈압계는 1896년 이태리의 의사였던 리바로찌(Scipione Riva-Rocci; 1863-1937)에 의해서 개발된 혈압계이며, 이를 그림으로 도시하면 그림 5와 같다. 이 방법은 환자의 상박부에 밴드를 감은 뒤 손목의 맥박이 소실될 때까지 공기로 밴드를 팽창시킨 후 밴드 내의 공기의 압력을 점차 감압하면서 손목의 맥박이 다시 나타날 때의 압력을 기록하였다. 이때의 압력은 심실이 수축상태에 있을 때의 동맥 혈압, 즉 수축기혈압을 나타낸다.

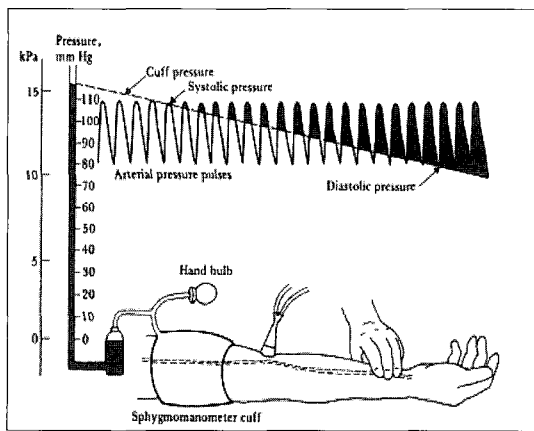


그림 5. Riva-Rocci method.

수축기 혈압과 함께 이완기 혈압을 측정하는 방법은 1905년 러시아 의사인 코로트코프(Nicholai Korotkov)에 의해서 제시되었다. Korotkov는 당시 31세의 나이로 러시아의 성 피터스버거병원 외과에서 수련중이었는데 그는 혈압을 측정할 때 손목에서 맥박을 만지는 대신 커프 아래쪽의 상완동맥(brachial artery) 위에 청진기를 대고 혈압을 측정하다가 우연히 새로운 소리를 청진하게 되었다. 당시 그는 커프를 팔에 감고 상완동맥의 맥박이 청진기로 들리지 않을 때까지 공기로 팽창시킨 후 서서히 공기를 줄여나갔으며

커프의 부피를 어느 정도 줄이면 약하게 두드리는 소리와 같은 상완동맥의 맥박소리가 들리는 현상을 관측하고 이를 수축기혈압이라고 정의하였다. 그리고 나서 커프의 공기를 더 줄여감에 따라서 맥박소리가 더욱 더 커지다가 갑자기 사라지는 순간이 발생하는 현상을 관측하고 이때의 혈압을 이완기혈압이라고 정의하였다. Korotkov의 연구로 혈압계의 용도가 완전히 정립되었으며 이후 혈압계는 심혈관계 질환의 진단 및 치료뿐만 아니라 중요한 연구 도구로도 없어서는 안 될 필수적인 기구로 자리 잡게 되었다.

Korotkoff sound 측정법에 의한 혈압계는 탄력성이 없는 천(cuff)으로 둘러싸인 부풀릴 수 있는 공기주머니(bladder), 별브(inflating bulb), 펌프(pump), 압력을 인가하는 장치, 인가된 압력을 눈금으로 표시하는 압력계(manometer), 그리고 공기의 배출을 조절하면서 수축(deflate) 할 수 있는 장치들로 구성되어 있다. 청진기 또한 혈압의 간접 측정 때 필요한 기구 중의 하나로 사용된다.

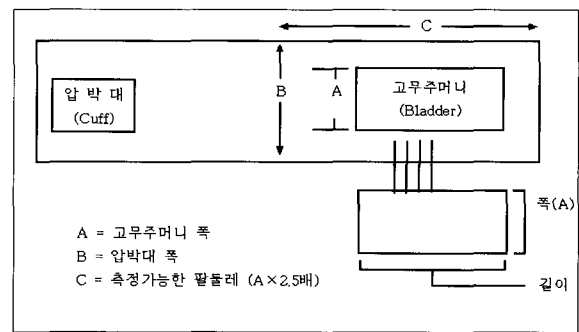


그림 6. The structure and size of blood pressure measurement tourniquet.

커프의 착용에 대해 살펴보면 우선 커프 크기의 결정해야 하며 혈압이 과장 또는 과소 측정되지 않도록 적절한 크기의 커프를 사용하여야 한다. 커프의 구성도를 도시하면 그림 6과 같다. 그림 6에서 Bladder는 환자의 팔 둘레에 적합한 폭을 가지고 있어야 하며, 팔 중간점에서 쥘 둘레의 40% 또는 직경보다 20% 정도 더 넓어야 하고, 일반적으로 성인의 팔에는 12 내지 14 cm 넓이의 bladder가 가장 적합하다. 팔이 가는 사람(소아 등)에게는 좁은 폭의 커프를 사용하며, 비만한 사람에게는 폭이 넓은 커프를 사용한다. Bladder의 길이도 측정의 정확도에 영향을 미치는데, 일반적으로 길이는 적절한 폭의 두 배가 되어야 하며, 따라서 bladder 길이는 팔 둘레 길이의 80% 정도가 된다. 이러한 길이일 때 팔을 거의 다 감쌀 수 있으며 부정확성의 위험을 최소화 할 수 있다. 연구에 의하면 커프 bladder 길이가 35-40 cm일 때 일반 성인의 동맥 내의 확장기 혈압과 가장 유사하며, 임의의 오

차를 줄일 수 있다고 하였다. 커프의 크기가 결정되었으면 바람을 뺀 커프의 아래 가장자리를 antecubital space 위 2.5 cm 되는 곳에 댄다. Bladder의 중심부가 팔의 내측면에 직접 닿는지 주의 깊게 확인하면서 바람주머니의 가운데 부분이 상완동맥 위에 놓이도록 한다. 커프의 중간 높이가 심장 높이와 일치하도록 한다. 혈압측정을 하기 위해서 혈압계는 검사자의 눈높이에 있어야 한다. 먼저 혈압을 측정할 때 가해야 하는 최대팽창압력(maximal inflation level)을 알기 위해 예비적으로 확장기 혈압을 측정하여 측정한다. 최대팽창 압력이란 처음 커프를 팽창시키는 압력을 말하는데 이것이 수축기 혈압 보다 높아야 첫 번째 Korotkoff sound를 들어 수축기 혈압을 측정할 수 있다. 최대팽창압력을 결정하는 단계는 그림 7과 같이 5 단계로 구분하며, 각 단계의 의미는 다음과 같다. 먼저 1 단계(phase I)는 희미(faint)하나 청명한(clear) tapping sound가 처음 나타나는 단계이며, 2 단계(phase II)는 낮고 불분명(murmur)한 음 또는 swish한 음이 들리는 단계, 3 단계(phase III)는 소리가 더 crisp하고 강도가 증가하는 단계, 4 단계(phase IV)는: 소리가 뚜렷하게 갑자기 줄어드는 단계, 그리고 마지막 5 단계(phase V)는 소리가 사라지는 단계로 구분할 수 있다. 그리고 소리가 부드러워지는 것과 사라지는 것을 종종 4 단계와 5 단계의 "points"라 하기도 한다.

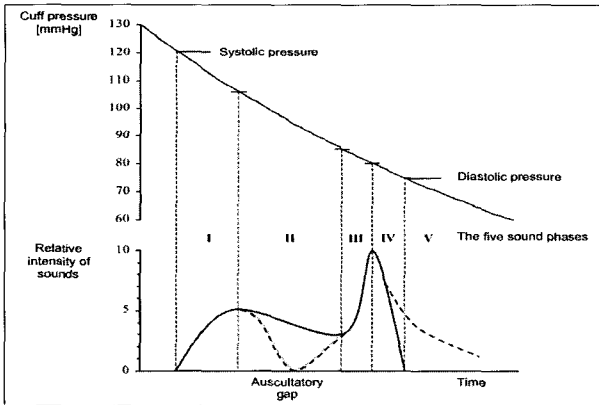


그림 7. 5 phases of the Korotkoff sound.

고혈압 환자의 경우 커프 압력이 높을 때 상완동맥을 따라 들리는 소리가 커프 압력이 감소함에 따라 사라졌다가 낮은 압력에서 다시 나타날 때가 있는데, 1 단계와 2 단계의 후반부에 소리가 일시적으로 사라지는 현상으로 auscultatory gap 이라고 하며, 40 mmHg 정도까지 차이가 날 수 있다. 따라서 수축기 혈압을 지나치게 낮게 판단하거나 확장기 혈압을 지나치게 높게 평가할 수 있으므로 커프 압력을 올릴 때 우선 요골동맥을 촉진하여 박동이 사라지는 순간을 확인하면서

혈압을 측정하도록 한다. 모든 소리가 사라지면 커프 공기를 신속하게 완전히 빼고, 계속해서 혈압을 측정하려면 정맥에 정류되었던 혈액이 빠져나가도록 1 - 2분 정도 경과한 후에 실시하도록 한다.

혈압의 결정은 수축기 혈압은 최초의 tapping sound가 들리는 시점의 압력으로 외부에서 들리는 소리가 아니라는 것을 확인하기 위해서는 커프 압력이 줄어드는 동안 최소한 두 개의 연속된 박동을 들어야 한다. 만약 이보다 촉진 수축기 혈압이 더 높다면 수축기 혈압까지 수축기 혈압으로 정하고 기록해야 한다. 수축기 혈압이나 확장기 혈압이나 모두 혈압계 눈금의 가장 가까운 2 mmHg 간격의 눈금에 맞추어 짝수로 읽어야 한다. 성인의 확장기 혈압은 소리가 사라지는 5 단계에서 결정한다. 5 단계는 커프 압력과 동맥 내 확장기 혈압과 거의 비슷한 상태로 소아와 영아에서는 커프 압력이 동맥 내 압력보다 훨씬 낮을 때 나타나고, 성인에서는 갑상선 기능항진증, aortic insufficiency, 운동 직후 등과 같은 상태에서는 낮게 나타난다. 따라서 이러한 상황에서는 확장기 혈압을 판단하는데 4 단계를 이용하여야 한다. 또한 5 단계는 청진기의 효율과 검사자의 청력에 따라 정확성이 차이가 있다.

상기와 같은 방법에 의해 혈압을 측정할 때 다음과 같은 주의 사항들을 숙지하여야 한다. 검사자 및 측정 대상자는 혈압 측정의 훈련을 받아야 하며, 희미한 소리를 잘 들을 수 있어야 하고 manometer의 눈금을 잘 읽을 수 있어야 한다. 압력을 관찰할 때는 눈을 수은기등의 meniscus의 높이에 맞추고 눈금(gauge)의 앞에서 중앙에 위치하여야 한다. 측정자는 혈압을 기록하는 동안 부자연스러운 자세를 피하여야 한다. 그리고 측정 대상자의 혈압을 측정하기 전에 혈압에 영향을 미칠 수 있는 생물학적 요인인 불안, 정서적 혼란, 식사, 담배, 방광 팽만, 주위 온도의 심한 변화, 운동, 그리고 통증 등을 확인하여야 한다. 그리고 혈압 측정은 쾌적한 온도의 조용한 방에서 이루어 져야 하며, 대상자의 팔이 옷이나 다른 물체에 의해 눌러지지 않는 상태로 측정되어야 한다. 또한 혈압 측정 전에는 가급적 신체운동과 추위를 피하고, 측정 30분전부터는 음식을 먹거나 담배를 피워서는 안되며 기록하기 전 5분 동안에는 자세를 변경해서는 안된다. 혈압 측정은 채혈, 진찰, 운동측정, 설문 조사 등 기타 검진 과정을 수행하기에 앞서 조용한 방에서 5분간 누운 자세에서 휴식을 취하게 한 뒤 가장 먼저 시행한다. 동일 검사자를 3회 반복 측정하며 측정 간 휴식 시간은 30초를 준다. 30초 동안 환자가 움직이거나, 혈압에 영향을 미칠 수 있는 행동을 주의시킨다.

일반적으로 혈압을 측정하기 위하여 사용하는 비침습적인 방법은 표 2와 같다.

표 2. The characteristic of the various noninvasive methods for measuring the blood pressure

Methods	Intermittent/ Continuous	Cuff/Cuffless
Auscultation	Intermittent	Occlusive cuff
Oscillometric	Intermittent	Occlusive cuff
Palpation	Intermittent	Occlusive cuff
Ultrasound	Intermittent	Occlusive cuff
Pulse wave velocity	Continuous	Cuffless
Vascular unloading	Continuous	Partially inflated cuff
Arterial tonometry	Continuous	Cuffless although the artery is partially occluded

표 2에서 언급한 여러 가지 방법 중에서 먼저 오실로메트릭 방법은 커프의 압력 진동을 이용하여 수축기 혈압과 이완기 혈압을 측정하는 방법이다. 즉 동맥에 흐르는 혈류량의 맥동성분이 커프에 전달되고, 이 맥동성분을 변환기를 사용하여 측정하여 맥동성분의 진폭의 변화를 감지하여 수축기 혈압과 이완기 혈압을 추정하는 기법을 적용한다. 오실로메트릭 방법에서 평균 동맥압을 검출하기 위하여 사용하는 알고리즘은 여러 가지가 있으나, 오실레이션의 크기가 최고점일 때의 커프 압력을 평균 동맥압으로 추정하는 최대진폭알고리즘(MAA, maximum amplitude algorithm)을 가장 많이 사용한다. 왜냐 하면 커프의 압력이 동맥압의 평균 동맥압과 같을 때가 동맥의 혈관 벽이 최적으로 확장되어서 최대의 유순도를 가지게 되므로 동맥압의 변화에 대한 동맥혈관의 용적 변화가 최대가 되기 때문이다. 일반적으로 최대 오실레이션 크기의 약 50%에 해당하는 커프 오실레이션을 수축기 혈압으로 추정하고, 최대 오실레이션 크기의 75~80%에 해당하는 커프의 오실레이션을 이완기 혈압으로 추정한다. 오실레이션 방법을 이용하여 혈압을 측정할 경우 오실레이션 파형, 즉 동맥혈관의 맥동성분의 파형은 그림 8과 같이 관측된다

MAA 기법을 사용하여 수축기 및 이완기 혈압을 구하는 방법은 커프의 압력에 의해 발생하는 진동을 측정하여 진폭이 가장 큰 지점을 평균 동맥압으로 결정한다. 수축기 혈압과 이완기 혈압을 구할 수 있는 일정한 진폭의 변화를 측정하기는 어렵기 때문에 평균 동맥압에 대해서 미리 정해진 비율의 커프 압력을 선택한다. 이 때의 비율을 특성비율(CR, characteristic ratio)이라 하며, 커프의 압력에 대해 CR을 환산하여 수축기 혈압과 이완기 혈압을 결정하게 된다. 이러한 관계를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

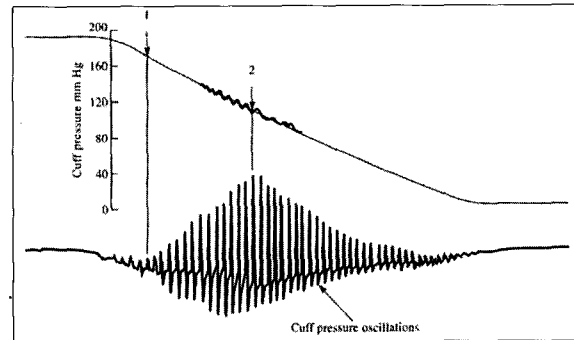


그림 8. Oscillometric method.

$$As = Am \times CRs$$

$$Ad = Am \times CRd$$

여기서, AS는 수축기에서의 커프의 압력, Ad는 이완기에서의 커프의 압력, Am은 평균 동맥압에서의 커프의 압력, CRS는 수축기에서의 CR, 그리고 CRd는 이완기에서의 CR을 나타낸다. 이 때 평균 동맥압은 수축기 혈압과 이완기 혈압의 산술적인 평균값이 아니며, 수축기 혈압에 머무는 시간이 짧기 때문에 평균 동맥압은 산술 평균치 보다 조금 낮게 나타난다. 따라서 말초 동맥에서의 평균 동맥압은 다음 수식으로 계산할 수 있다.

$$MAP = Pd + 1/3(Ps - Pd)$$

$$MAP = (Ps + 2 \times Pd)$$

여기서, MAP는 평균 동맥압, Pd는 이완기 혈압, Ps는 수축기 혈압을 나타낸다.

다음으로 초음파법은 초음파 도플러 기법을 이용하여 혈압을 측정하는 방법으로서 이를 그림으로 나타내면 그림 9와 같다.

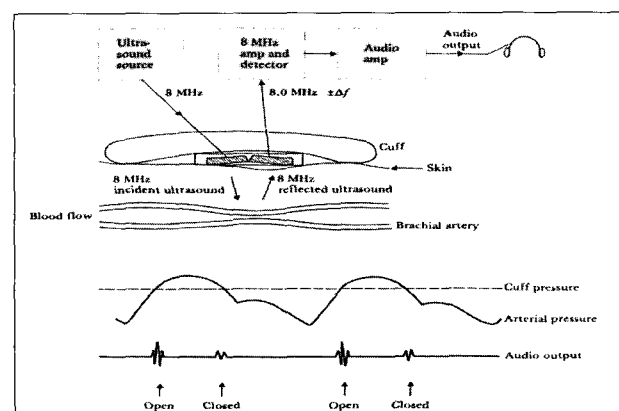


그림 9. Ultrasound method.

즉 청진기로 Korotkoff 음을 듣는 대신에 초음파감지기를 사용하여 동맥벽의 운동을 탐지하는 방법이며 현재 활발한 연구가 진행 중에 있다.

그리고 촉지법은 청진기로 Korotkoff 음을 듣는 대신에 커프의 아래부위에서 맥박을 촉진하는 방법이며 수축기 혈압만 측정할 수 있으며 이완기 혈압은 측정할 수가 없는 단점을 지니고 있다.

Tonometry법은 동맥혈관의 경직성을 측정하는 방법으로 피부나 뼈 조직보다 더 단단한 평평하고 요골동맥보다 작은 압력센서를 부착하여 경동맥이나 요골동맥에서 맥파(pulsewave)를 기록하여 간접적으로 상행대동맥의 맥파를 측정함으로써 Augment Pressure와 Augment Pressure Index를 측정하는 방법으로 이를 그림으로 나타내면 그림 10과 같다.

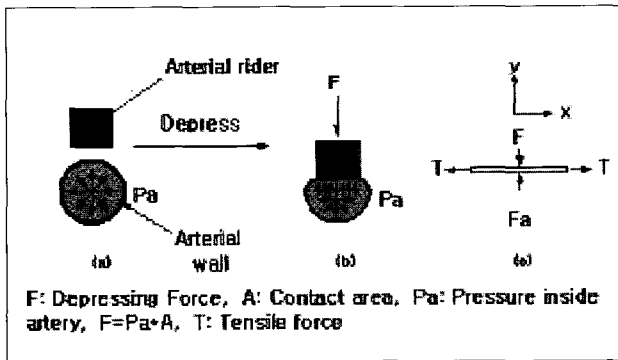


그림 10. Tonometry method.

추가적으로 설명을 하면 혈관의 접촉점에서 평평한 면을 가진 arterial rider와 만나게 되면 평평하게 눌린 면에서는 혈관의 장력(T)은 수직방향의 힘 평형 방정식에는 영향을 미치지 않게 된다. 따라서 arterial rider의 접촉면적을 일정하게 유지하면 혈관 내의 압력은 전달되는 힘 Fa를 면적 A로 나눈 값이 된다.

Continuous non-invasive method은 현재 진행되고 있는 연구방법으로서 팽창 가능한 커프를 손가락에 대고 광적용적 맥파(PPG, photo plethmo gram) 센서를 설치하여 커프에 압력을 인가하면서 PPG의 시간차를 이용하여 혈압을 구하는 방법으로서 이를 그림으로 나타내면 그림 11과 같다. 이 방법은 기존의 장비들에 비해 작고 간편하여 유비쿼터스 개념을 적용할 수 있는 새로운 방법이나 아직 개발과정에 있다.

생체신호처리 기술 분야의 대표적인 연구기관으로 미국 MIT의 Alex d'Arbeloff 연구소를 소개하면 다음과 같다.

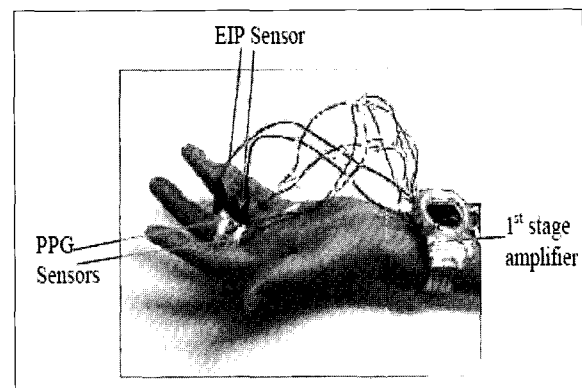
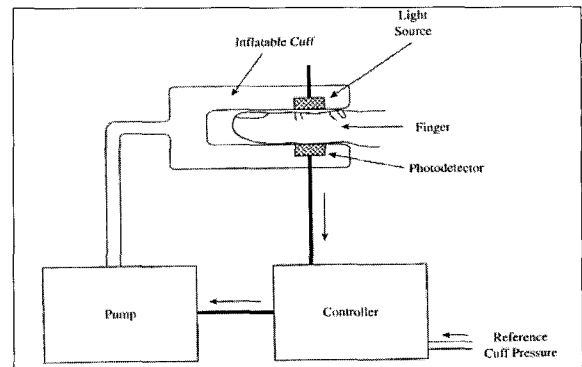


그림 11. Continuous non-invasive method and its implementation.

. 이 연구소에서는 home automation과 healthcare project를 수행하고 있다. 즉 home healthcare 분야에 사용 가능한 센서, mobility assistance, healthcare monitoring system, home automation system 등의 개발을 목표로 하고 있다. 이 연구 과제에서는 맥박, 혈중산소농도, 혈류, 혈압 등을 측정할 수 있는 반지 형태의 센서를 MEMS 기술을 이용하여 개발하고, 이를 초소형화 하는 작업과 집적화하는 하우징 시스템에 대한 연구를 진행하고 있으며, 이를 그림으로 나타내면 그림 12와 같다.^[4]

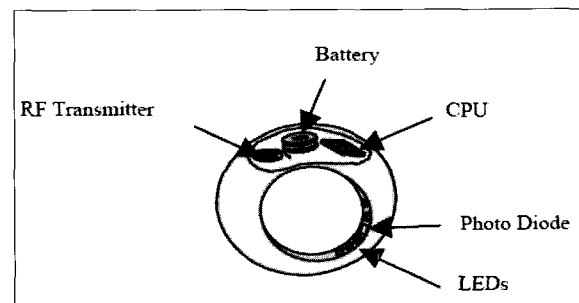


그림 12. A ring type sphygmomanometer.

5. 기타 혈압계에 관한 연구동향

손가락 끝(fingertip)으로 심장병을 진단하는 연구로써 손가락 끝의 혈관 상태를 점검하여 심장병 여부를 효과적으로 진단할 수 있다는 흥미로운 연구 결과가 발표되었다. 미국의 과학자들이 수행한 이번 연구의 결과는 "미국심장병학회지(J. of American College of Cardiology)", 12월 7일자(44권, 11호, 2137-2141)에 게재되었으며, 연구내용은 다음과 같다. 죽상경화증(atherosclerosis)이 발현되면 심장의 관상동맥뿐만 아니라 신체의 거의 모든 혈관에 그 영향이 미치는 현상을 이용하여 손가락 끝의 혈관 상태를 점검해 비용이 저렴하면서 침습적인 검사 방법이 지닌 불편함을 해소할 수 있는 새로운 심장병 진단 방법을 마련하고자 하였다. 이 과정에서 연구진은 손가락 끝의 검사 방법이 초기 발견 단계의 심장병을 찾아내는데 큰 도움일 된다는 것을 확인할 수 있었다. 즉 혈관의 내부를 형성하고 있는 내피(endothelium)라는 세포층의 이상을 찾아내기 위해 침습적인 검사 방법과 비침습적인 손가락 시험법을 시도한 후 두 방법을 서로 비교하고 분석하였다. 혈관의 내피는 혈관 손상을 방지하고 적절한 혈압 조건 아래에서 혈류량이 조절될 수 있도록 수축과 이완을 조정하기도 한다. 따라서 만약에 이러한 기능을 담당하는 내피에 이상이 발생되면 혈관 기능의 이상이 발생할 징조를 의미한다. 그리고 관상동맥의 내피가 제 기능을 못하게 되면 죽상경화증이나 심장병이 발현되고 있다는 것을 암시한다. 따라서 손가락 끝의 혈관에서 이와 같은 이상을 감지하기 위해 연구진이 동원한 방법은 반응성충혈 말초동맥내압측정법(RH-PAT, reactive hyperemia peripheral arterial tonometry)을 활용하여 손가락 끝의 혈관 이상과 심장의 혈관 이상의 관계에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 연구진은 도관 삽입(catheterization)을 통해 관상동맥의 내피 기능 이상이 확인된 55명을 대상으로 손가락 끝을 검사할 경우 어느 정도의 비율로 혈관 이상이 감지되는지 조사한 결과 초기 심장병 환자 대부분에서 이상이 감지되는 것을 확인할 수 있었다. 연구진은 후속 보강 연구를 통해 더 많은 수의 사람들을 대상으로 동일한 연구를 반복해 그 유용성을 다시 검증할 계획이라고 밝혔다.

유비쿼터스 환경에서 사용할 수 있는 휴대형 혈압계에 대한 연구도 지속적으로 수행되고 있다. 일례로 일상생활 중 24시간 혈압을 측정할 수 있는 휴대형 혈압계는 그림 13과 같은 형태로 제공되고 있다.^[5]

그리고 가정에서 쉽게 사용할 수 있는 손목 부착형 혈압계는 그림 14와 같은 형태로 제공되고, 병원 및 의원급에서 간편하게 혈압을 측정하기 위하여 사용되고 있는 오실로메트리법을 이용한 혈압 측정기는 그림 15와 같은 제품들이 제공되고 있다.

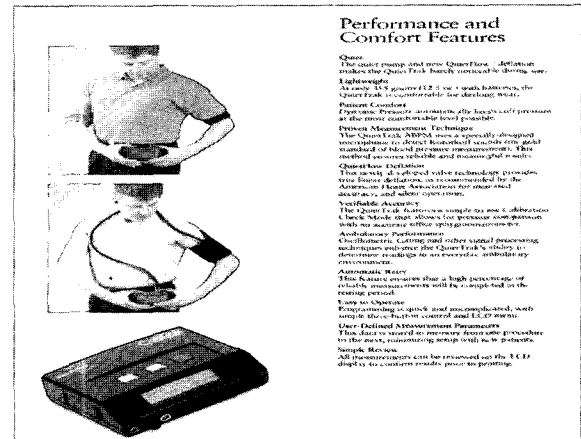


그림 13. The ambulatory blood pressure monitoring system for 24 hours .

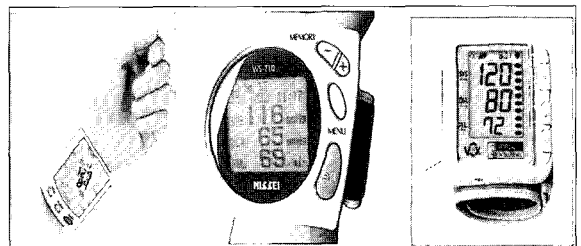


그림 14. The blood pressure measuring system attaching on wrist.

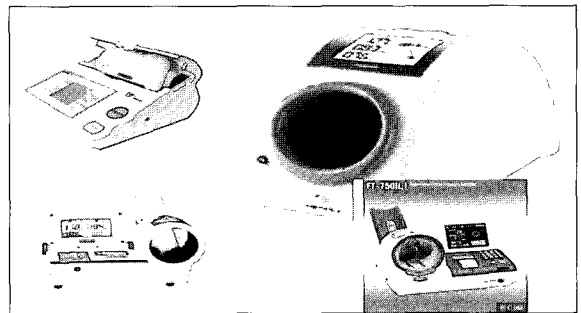


그림 15. The blood pressure measuring system used in the hospital by means of oscillometric method.

또한 서울대학교 생체계측신기술센터에서 과학기술부의 지원을 받아서 수행하고 있는 무구속무자극 생체계측시스템 프로젝트에서는 인체활동을 제한하지 않고 가능한 정상적인 생활을 유지하면서 실시간에 지속적으로 인체기능을 진단할 수 있는 생체신호계측 기술을 개발(혈압포함)하고 있다. 그리고 연세대학교 이동형 응급의료용 정보시스템 센터에서는 보건복지부 지원 하에 응급환자 상태를 모니터링 하기 위한 무선 심전계와 이동형 응급환자 통합 계

측 시스템을 개발하고 있다. 또한 재택건강관리시스템연구 센터는 보건복지부 지원 하에 재택진료를 위한 다차원 생체신호 검출 시스템, 다차원 생체신호 정보처리 단말기, 재택 건강관리 증진 전문가 시스템, 통신/DB/진단서버 그리고 의료기 의료전문가용 워크스테이션들 사이의 원활한 데이터의 교환을 가능하게 하고 데이터의 재사용, 분석, 검색, 통계정보 등을 보다 효율적으로 처리하고 관리하기 위한 표준화 방법과 인터페이스 규격을 연구하고 있다.

산업자원부가 초고속망 사용자 수의 증가에 따라 수년 전부터 추진하고 있는 유비쿼터스 어플라이언스 솔루션 개발 및 프로젝트에는 유비쿼터스 지원 무선 네트워크 칩 세트, 스마트-네트워크 부가 모듈, 유비쿼터스 지원 네트워크 미들웨어 및 의료/건강 솔루션 기술을 포함한 유비쿼터스 응용 솔루션 개발 등이 포함되어 있다.

산업계에서도 U-healthcare 관련 기술을 개발하고 제품을 출시하고 있다. 한국정보통신대학교(ICU)에 설립된 삼성-ICU 산학공동연구센터의 U-healthcare 연구팀에서는 휴대폰을 매개로 한 U-healthcare 서비스 플랫폼에 관한 연구와 ECG, 스트레스, 비만 혈당, 혈압 등의 U-healthcare 응용 프로그램 개발을 수행하고 있다. 그리고 LG에서는 최근 헬스 피아와 공동으로 스트레스 및 혈당 센서를 휴대폰에 내장시켜 국내 시장에 출시하기도 하였다.

휴대용 생체신호계측분야로 생체 변화를 진단하는 심전도계, 뇌전도계, 환자감시장치, 근전도계, 혈압계, 청력계, 분만감시기와 같은 일부 계측장비는 국내 벤처기업에서도 개발되고 있다. 하지만 정밀전자 분야의 첨단 기술 부족으로 생체계측기기의 첨단화가 부진한 상황이며, 단순 기기 위주의 계측기기, 정보기기 및 분석기기의 생산에 주력하고 있다. 또한 병원에서는 다양한 의료기기가 필요한데 반해 국내에서 개발하거나 생산되는 제품 종류가 한정되고 있어 여타 외국 제품에 비해 품질과 기술력이 많이 저하되어 있어 주로 수입에 의존하고 있는 실정이다. 최근에는 국가기관 연구소와 학계 그리고 산업체 연구소에서 다양한 형태의 고급 생체신호측정 장비를 개발하고 있지만 선진국에 비해서는 아직까지 많이 뒤쳐져 있는 실정이다.

일본의 생체정보 감지 분야 연구의 특징은 대기업을 중심으로 하여 개량 연구 등 응용연구에 치중하며, 기초과학 분야의 취약부분은 미국의 대학, 기업체 등과 전략적인 제휴 관계를 맺음으로써 극복하고 있다는 점이다. 그러나 점점 이 분야 기술 장벽이 두터워짐에 따라 실용연구에서 기초 연구 쪽으로 전향하고 있는 추세이며 R&D 투자의 대부분이 기업에 의해 이루어진다는 점에서 구분된다. 사실 일본은 생체 센서의 상용화에 있어 매우 큰 잠재력을 가지고 있으며 30개 이상의 기업들과 정부 출연 연구소, 대학교들이

이 분야에서 연구를 수행하고 있으며, 대기업들과 연구 기관들의 전략적 제휴로 말미암아 장차 의료와 생체센서 시장을 일본이 주도하게 될 것으로 예측된다. 일본의 전기전자 업체의 경우, 생체 센서에 상당한 관심을 보이고 있으며 압전소자, 광소자, 반도체 소자 등 생체 센서를 이용한 혈압 측정 부분에 플랫폼이 되는 기술을 보유 및 상품 실용화 및 관련 연구에 장점을 지니고 있다.^[6]

III. 결 론

이상으로 혈압에 관한 전반적인 내용을 살펴보고 국내외 동향도 알아보았다. 예전에는 혈압부분만 별도의 장치로 측정하고 하였으나, U-healthcare 연구가 활발하고 진행됨에 의해 이제는 혈압뿐만 아니라 각종 생체신호를 언제 어디서나 측정 가능한 상황으로 점점 발전하고 있는 실정이다.

향후 본격적인 U-healthcare 시대를 맞이하기 전에 극복해야 할 기술적 장벽이 많이 남아 있는 것도 사실이다. 이러한 상황이 선진국에 비해 기술적으로 다소 뒤떨어져있는 국내 업체들이 외국 업체들을 따라 잡을 수 있는 기회를 제공한다는 측면에서는 오히려 고무적인 일이다. 아울러 한국은 U-healthcare 서비스에 있어서 핵심 요소인 초고속 통신망을 갖추고 있으며 휴대폰을 포함한 무선 통신 기술에서도 경쟁력이 있어 다가올 U-healthcare 서비스에 있어서도 유리한 위치에 선점하고 있다. 장차 한국이 세계적으로 관련 기술 분야를 선도하는 위치에 우뚝 설 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(과제번호: A040032).

참고문헌

- [1]. 김기련, "압력맥파와 광전용적맥파를 이용한 혈압과 혈관특성지수 검출 시스템의 구현 및 평가, 부산대학교 대학원, 2005년 8월.
- [2] 동아대 서덕준 교수님 강의자료
- [3] 생리학, 개정 5판, 강두희 저
- [4] 심장학 강의록, 동아대학교 의과대학
- [5] J. Conor O'Shea, MD, and Robert M. Califf, MD Durham, NC, " 24-Hour ambulatory blood pressure

monitoring", American Heart Journal, May 2006.

[6] 한동수, U-Healthcare 국내외 연구 동향 및 서비스 플랫폼

..... 저자약력



<전 계 록>

- 1978년 2월 부산대학교 전기기계공학(학사).
- 1978년 3월~1981년 2월 부산대학교 전자공학(석사).
- 1993년 2월 동아대학교 전자공학 (박사).

- 1983년 3월 ~ 1985년 2월 (주)삼보컴퓨터 기술연구소(선임 연구원).
- 1985년 5월 ~ 현재 부산대학교병원 의공학과 의공학과장.
- 1985년10월 ~ 현재 부산대학교 의과대학 교수.
- 1998년 2월 ~ 1999년 9월 대한의용생체공학회 재무이사.
- 1999년10월 ~ 2001년 4월 대한의용생체공학회 무임 소이사.
- 2003년 3월 ~ 2006년 2월 대한의용생체공학회 산학협력이사.
- 2006년 3월 ~ 현재 대한의용생체공학회 감사.
- 2005년 7월 ~ 현재 RIS, U-Home Healthcare 사업단장.
- 2005년12월 ~ 현재 고령친화용품화 지원센터 센터장.