

医用生体工学

(2)

洪 勝 弘

(仁荷大學校 工科大学 電子工學科)

1. 医用센서(Sensor)

醫療의 高度化를 위해서는 各種 生體現象의 計測 技術이 重要시된다. 그림 1과 같은 生體現象의 計測과 監視를 위한 계통도에서와 같이 生體에서 얻어지는 情報를 바르게 計測하여 評價하기 위해서는 앞에서 記述한 生體의 物性에 관한 知識이 필요하다. 다음에 電極, 變換器 등의 各種 새로운 센서의 開發이 重要하며, 그리고서 얻어지는 데이터를 增幅하여 傳送하는 技術과 데이터를 處理하여 表示하

거나 記錄하는 方式도 重要하다.

지금까지는 測定이 不可能하다고 생각되어진 것들을 可能하게 하기 위한 새로운 센서의 開發과 定性的으로만 測定되었던 것들까지도 定量的으로 測定되는 새로운 計測시스템이 高안되어 非觀血計測의 경향으로 연구되고 있다. 이들 센서들 중에는 生體의 活動電位를 檢出하는 電極과, 活動電位 이외의 一般生體現象을 變換器(transducer)를 이용하여 電氣信號로 變換하여 檢出하는 센서가 있다.

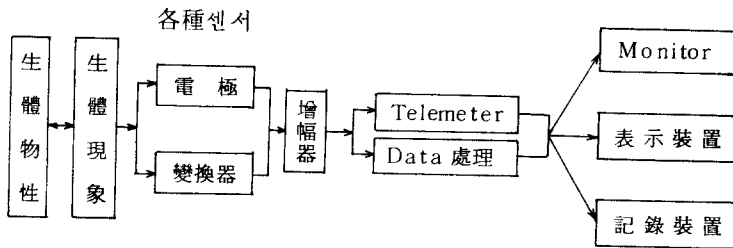


그림 1. 生體現象의 計測과 監視시스템의 블럭圖

生體用 電極은 生體와 機械의 接合點이 되는 것으로, ①生體電氣現象을 誘導하는 電極(誘導電極), ②刺戟用 電極, ③生體임피던스 測定用 電極, ④化學센서로서의 電極등으로 用途에 따라 大別된다.

일반적으로 生體用 電極이라고 하면 誘導電極을 말하는데 心電圖나 腦波 등의 誘導에 使用되는 비교적 큰 面積의 表面電極과 小型의 皮下電極이나 微小電極이 있다. 電極이라고 하면 일반적으로 濕式狀態에서 電子의 流出入을 행하는 電導性物質을 말

한다. 이들을 檢出素子로서 使用할때 測定物質에 따라 電極界面에서 일어나는 電流變化 혹은 電位變化를 檢出한다.

臨床用으로 널리 使用되고 있는 것은 表面電極으로 Ag-AgCl 과 같은 不分極電極이 대표적인 것이다. 最近에 와서 高入力抵抗의 임피던스 變換回路와 電極을 一體化한 새로운 能動電極이 연구되어지고 있다. 刺戟用 電極은 心臟 Pace maker 用, 最近에 聽覺神經刺戟用으로 화제가 되고 있는 多重

微小電極 등이 있는데 이들은 半導體 IC 技術을 利用하여 제작되고 있다. 化學센서는 體液中의 이온

測定센서, 酵素센서, 絶緣物電極, 微小電極, 半導體多重電極 등 高機能化와 生體適合性을 중요시하여 개발되고 있다.

表 1. 医用센터의 例

測定할 物理量 / 化學量	測定對象	센서의 例
壓力	靜脈血壓, 動脈血壓, 膀胱內壓	Piezo 抵抗素子, 스트레인 게이지
溫度	體表面溫度, 體深部溫度	Thermistor, 赤外線檢出器
速度, 加速度, 流量	血管速度, 呼/吸氣速度, 流量, 血流量	電磁血流計, 超音波 壓電素子
振動	脈波, 心音	壓電素子, 發光다이오우드, 光트랜지스터
電位 磁氣	心電, 筋電, 腦波 心臟	Ag-AgCl 電極 Coil, Josephson 素子
gas分壓	血液中 O ₂ 나 CO ₂ 등	클라크형 電極
이온濃度	血液이나 尿中の Na ⁺ 등	유리膜등을 사용한 이온選擇性 電極
pH	血液이나 培養液의 pH	유리電極
生化學成分의濃度	血液中の 글리코스 나 尿酸 등	酵素電極
放射線量	人體를 透過한 X線	Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂

이나 溶存氣體나 홀몬등의 生體關連物질을 檢出하는 것으로 역시 半導體를 利用하여 制作되는 경향이 많아졌다.

生體用變換器는 生體情報의 檢知機構로 計測하려고 하는 生體情報의 종류에 따라 다르다. 心血管系의 內壓, 頭蓋內壓등의 計測用 變換器, 血流 및 呼吸氣流등의 流速과 流量計測用 變換器, 體表의 變位, 振動, 骨格運動, 姿勢 등의 變位, 應力計測用 變換器, 體溫 및 生體의 熱的 計測用 變換器 등 醫療센서의 例를 표 1에 나타냈다. 最近 研究되어지고 있는 醫用센서는 ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor), 血液 gas의 血管內

醫用센서들은 工業計測用的 센서를 醫用に 適合하도록 改良한 것과, 처음부터 生體情報計測을 목적으로 개발한 것이 있지만 실제로 사용되고 있는 것의 대부분이 前者에 속한다. 처음부터 生體物性を 基礎로 하여 새로운 센서가 개발되고 있지만 실용으로써의 성공율은 많지 않다. 이것은 生體의 不均質性, 非線形性, 異方性, 時變性, 周波數依存性 등 복잡한 성질이 있기 때문이다. 물론 生體物性を 충분히 이해하여 電子工學등의 새로운 技術을 活用한 센서를 開發하거나 多種多樣的 센서를 어떻게 有效하게 利用하여 바라는 精度나 高速性, 혹은 再現性을 얻도록 生體物性의 知識을 이용해야겠다. 각종 센서를 그림 2에 표시했다.

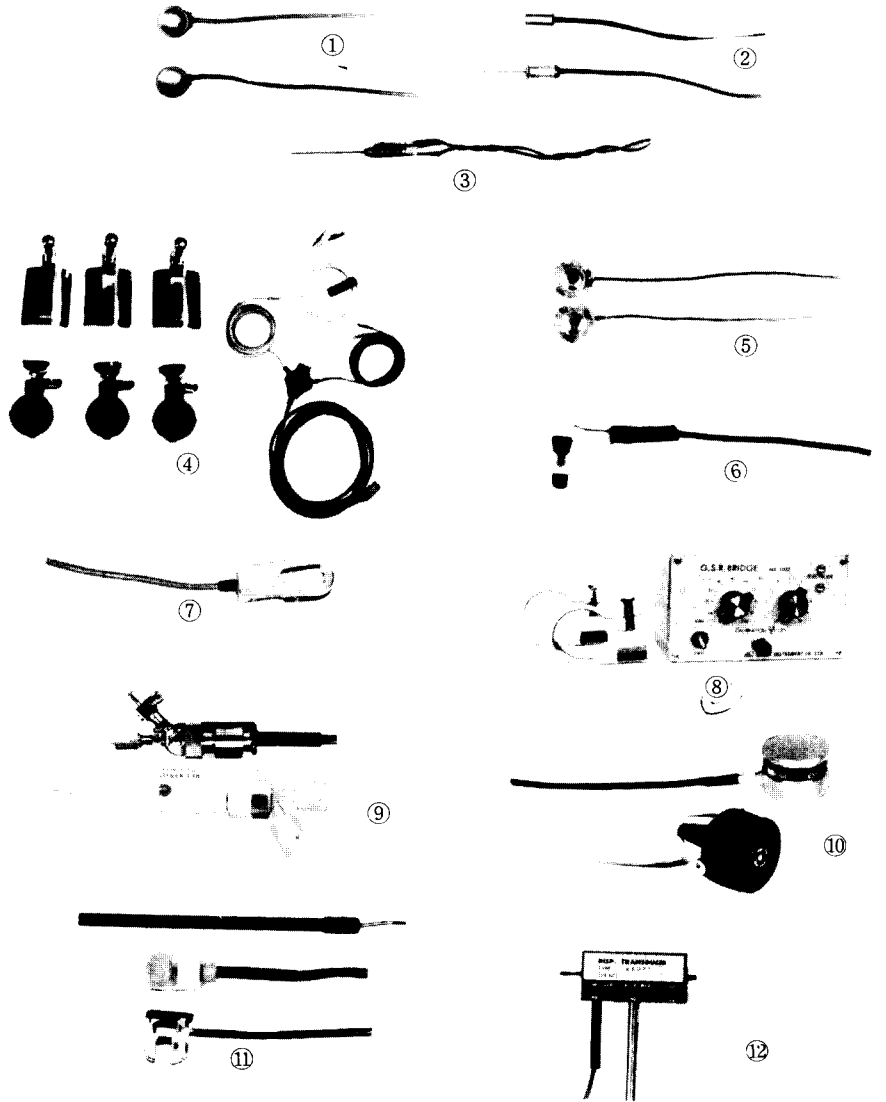
2. 生體計測技術

醫療의 高度化와 함께 生體의 여러가지량의 計測이 매우 중요하게 되었다. 지금까지 測定이 不可能하던 것도 計測可能하게 되었고, 또한 定性的으로만 測定되었던 것을 定量的으로 計測하려는 많은 노력이 있어서, 高精度, 無痛, 非觀血 (non-invasive) 計測技術들이 개발되어 實用되고 있다.

生體計測을 그 目的에 따라 分類하면 表 2와 같다. 表 3은 測定對象別로 表示한 것이다. 生體에 어느정도 接近하는가에 따라 遠方計測, 體表計測, 探針計測, 體內計測, 檢體計測 등으로 分類되기도 한다. 여기서는 일반적인 生體現象計測器에 대해 간단히 論하기로 한다.

表 2. 生體計測의 目的에 의한 分類

分野	生體計測의 種類
診斷	臨床檢査 患者監視
治療	生體制御를 위한 情報取得
豫防	集團檢診의 screening
保健	作業運動의 Monitor



- | | | |
|-----------|-----------------|-----------|
| ①腦波用電極 | ⑤접시형전극 | ⑨血壓用 센서 |
| ②腦波用針電極 | ⑥呼吸用電極 | ⑩心音用 센서 |
| ③筋電用針電極 | ⑦脈波用電極 | ⑪血流計測用 센서 |
| ④ECG 電極各種 | ⑧GSR用 센서 및 입력상자 | ⑫張力用 센서 |

그림 2. 각종 医用 센서

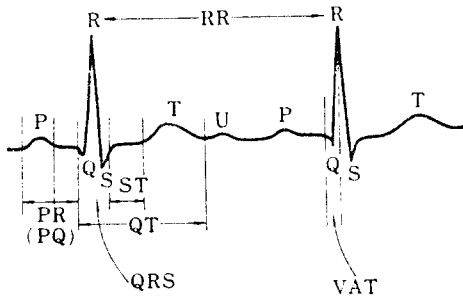
1) 心電計

많은 心筋細胞의 集合인 心臟의 흥분에 수반하는 電位變化를 體表面에 特定한 2點의 電極에 의해 誘導하여 記錄한 것이 心電圖(ECG, Electrocardiogram)이다. 이 心電圖의 誘導法은 電極의 位置에 의해 第Ⅰ誘導, 第Ⅱ誘導, 第Ⅲ誘導法이 있고, 胸部上에 直接電極을 장치하여 유도하는 胸部誘導法도 있다. 그림 3은 心電圖波形을 圖示한 것으로 一心拍사이에는 P, Q, R, S, T, U의 各波形이 있다.

P波는 心房의 수축, QRS는 心室의 수축, T波는 心室의 확장에 해당되는 것으로 心臟의 活動, 心筋의 神經支配, 산소의 상황이 나타나므로 臨床에 매우 중요한 정보가 된다. 그림 4는 臨床心電計의 實物을 표시한 것이다. 임상심전계는 표준 감도로써 1 mV를 가해 記錄計 눈금표시폭이 10 mm가 되어야 하고 時定數 1.5秒, 上限周波數特性 60% 以上, 入力抵抗 1 MΩ 以上の 生體現象測定用增幅器를 사용해야 한다. 記錄計는 보통 熱電式으로 2.5

表 3. 測定對象에 의한 生體計測

1. 生體에서 發生하는 情報의 計測
 - 1) 生體電氣의 計測
 - (a) 個個의 細胞의 活動電位
 - (b) 細胞集合의 活動電位
 - (c) 活動電位와 體表에 나타나는 起電力의 關係
 - 2) 生體振動의 計測
 - 3) 體溫의 計測
 - 4) 代謝産物에 의한 測定
2. 生體를 媒體로 하는 計測
 - 1) X線, 放射性同位元素에 의한 計測
 - 2) 超音波에 의한 計測
 - 3) 電氣에 의한 計測
 - 4) 力·振動에 의한 計測
 - 5) 光에 의한 計測
3. 生體의 物理化學量의 測定
 - 1) 血流測定
 - 2) 血壓測定
 - 3) 化學測定
4. 標本의 計測



正常成人
 平均傳導時間
 P : 0.1"
 PQ : 0.12" ~ 0.2"
 QRS : 0.05" ~ 0.08"

그림 3. 心電圖 波形

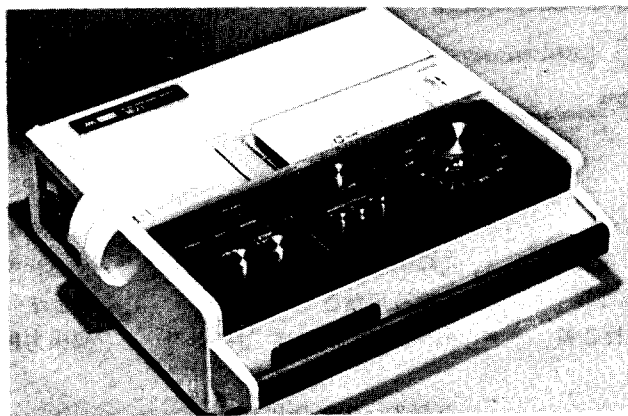


그림 4. 臨床用 心電計

cm/초의 기록지의 속도를 채용한다. 이들 心電圖는 電極의 位置에 따라 波形이 다르나 실제로는 生體內的 電位變化는 유일한 것이므로 이들을 여러 방향으로 유도하여 3 차원 벡터량으로 기록하는 Vector 心電計도 사용한다.

2) 腦波計

腦波 (EEG, Electroencephalogram) 는 腦波質表面이나 頭皮上에 電極을 두어 檢出되는 腦細胞의 흥분에 의해서 0.5 Hz ~ 40 Hz 정도의 周波數를 가진 自發性, 律動性的 電氣現象이다. 腦波의 誘導에는 直徑 8 mm의 접시형 電極 (Ni 88%, Cr 11%, Fe, Al, Si 등의 니켈合金)을 사용하거나 針電極에 의해 誘導되기도 한다. 誘導法은 19개의 電極을 大腦兩半球에 等間隔으로 붙이고 다시 양 쪽귀에 2個 電極을 부착하는 國際腦波學會가 공인한 標準法이 基本이 된다. 얻어지는 波形은 불규칙한 과형으로 腦腫瘍이나 腦炎, 腦血行障害, CO 중독, 발작증 등의 진단에 이용한다. 약물투여, 빛 자극, 의식레벨등의 변화에도 波形變化가 달라서 腦機能의 研究에도 이용된다. 表4는 腦波波形을 分類하여 표시한 것인데 周波數와 振幅에 따라 α 波, β 波, δ 波, θ 波 등으로 命名하고 있다. 그림 5는 腦腫瘍이 있을 경우의 腦波記錄波形이다.

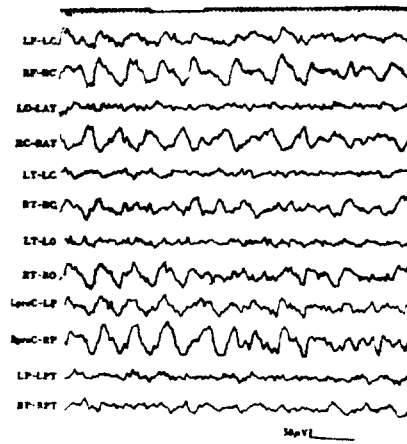


그림 5. 腦腫瘍의 腦波例

表4. 腦波波形과 그 分類

分類	周波數	振幅	特 徵
α 波 (基本波)	8 ~ 13 Hz	10 ~ 50 μ V	사인파형의 波, 안정 상태에서 눈을 감았을 때 後頭部로부터 기록된다. 눈을 뜨면 없어진다.
β 波 (速波)	10 ~ 60 Hz	10 μ V 이하	안정 상태에서 눈을 감았을 때 前頭部로부터 기록된다.
δ 波 (徐波)	0.5 ~ 3.5 Hz	數 10 ~ 300 μ V	高振幅의 불규칙한 波로 깊은 수면시에 나타난다.
θ 波 (徐波)	4 ~ 7 Hz	δ 波보다 낮은 振幅	어린이 腦波의 基本要素

3) 筋電計

平滑筋이나 骨格筋이 수축할 때 活動電位가 나타나는데, 筋肉에 針電極을 찔러 넣어 이를 記錄한 것이 筋電圖 (EMG, Electromyogram)이다. 筋電計는 入力임피던스 2 M Ω - 2 M Ω 이상의 평형 입력방식의 增幅器로 구성되는데 周波數帶域 10 ~ 1,500 Hz, 時定數 0.03 초 정도이고 波形은 오실로스코프나 연속촬영장치에 의해 기록한다.

4) 電氣眼振計

前庭器管을 어떤 방법으로 자극하면 眼求의 진동이 일어나는데 이를 記錄하는 것이 眼振計 (ENG, Electronystagmograph)이다. 人間の 眼球運動을 記錄하는 方法은 眼球에 光點을 주어 이의 반사를 측정하는 방법과 赤外線 TV를 이용하는 방법, 電氣眼振計로 眼球의 静止電位の 角膜網電位를 利用하는 方法 등이 있다.

5) 皮膚電氣反財

被檢者가 자극을 받던지, 心理的인 동요를 일으키게 되면 皮膚의 電位나 電氣抵抗이 變化하는데 이것을 GSR (Galvanic Skin Reflex) 또는 皮膚電氣反射라고 한다. 이는 땀샘의 활동에 의한 것이라고 하는데 電極을 손바닥과 발목부분에 부착하여 測定한다. 이 GSR과 호흡량, 心拍量, 血壓 등을 동시에 기록하여 거짓말 탐지에 이용한다.

6) 電氣血壓計

電氣血壓計는 끝부분에 壓力變換器를 부착한 catheter를 血管內에 삽입하여 血管이나 心臟의 內壓을 직접 측정하는 觀血的인 方法과, 단지 大動脈의 최고, 최저혈압을 측정하기 위해 水銀壓力計와 청진기를 이용하는 非觀血的인 Riva-Rocci 방법이 있고 이외에도 여러가지 센서를 이용한 디지털 표시방법이 최근에 시판되고 있다.

7) 血流計

心拍動에 수반하는 血壓, 血流의 同時測定은 心, 血管內에 대한 心拍出 能力, 血管抵抗, 彈性 등의 순환기능의 計測上 가장 기본적인 요소이다.

血流測定은 非觀血的인 方法으로 하는가, 또 血管을 절단하여 측정하는 觀血的인 方法으로 測定하는가는 장치에 의해 결정되는데 보통 電磁, 超音波, 熱등을 이용하여 測定하는 방식이 채용된다.

電磁血流計는 電氣傳導性이 있는 流體가 流速V로 흐르고 있을때 直角方向으로 起電力이 發生하는 Faraday의 電磁誘導法則을 이용하여 血管을 노출시켜 測定한다. 血液이 V의 속도로 흐르고 있을때 磁界 B를 直角方向으로 가하면 血流와 磁界의 方向과 直角方向으로 起電力 $e = BDV \times 10^8$ (V)가 얻어진다. 여기서 D는 전극간 거리이고 磁束은 전극의 분극을 피하기 위해, 또 增幅을 쉽게 하기 위해 數 10 Hz ~ 數 100 Hz의 사인파나 短形波의 交流磁界를 이용한다.

體表面에서 非觀血的으로 測定하는 MRG (Magnetorheograph)도 개발되고 있다. 超音波血流計는 超音波의 연속파를 이용하여 送信側과 受信側의 振動子의 位相差를 측정하는 方法과, 펄스를 송신하여 수신진동자에 도달하는 시간간격을 조사하는 것과 doppler法(그림 6)으로 血流로부터의 反射波가 血流速度에 의해 周波數偏移를 받는 것을 이용한 것 등이 있으며, 이 외에도 熱血流量計, P_t 電極血流量計도 이용된다.

8) 網膜電位計

光刺戟을 網膜에 주면 網膜細胞에 活動電位가 생기는데 이것을 外部로부터 검출해서 기록하는 장치를 網膜電位計 (ERG, Electro-retinograph)라고 한다. ERG가 神經科의 기기인데 대해 ERG는 網膜의 기능을 진단하는 眼科用이다. ERG는 눈의 順應狀態, 光刺戟의 성질에 의해 크게 다르지만 보통 광자극으로 회중전등을 눈 바로 앞에 발광시키면 $100 \mu V$ 정도의 電位가 검출된다. 周波數特性은 500 Hz정도로, 기록은 브라운관 오실로스코우프로 한다.

9) 脈波計

生體의 어느 부분의 血液의 流入, 流出에 의한 體積變化를 測하는 장치를 Plethysmograph라고 하는데, 이 體積變化를 光이나 임피던스로 변환하여 間接적인 方法으로 測定하는데, 현재 이용되는 것은 光電脈波計와 임피던스 脈波計가 추가 된다. 光電脈波計는(그림 7) 生體內에서 亂反射되는 光

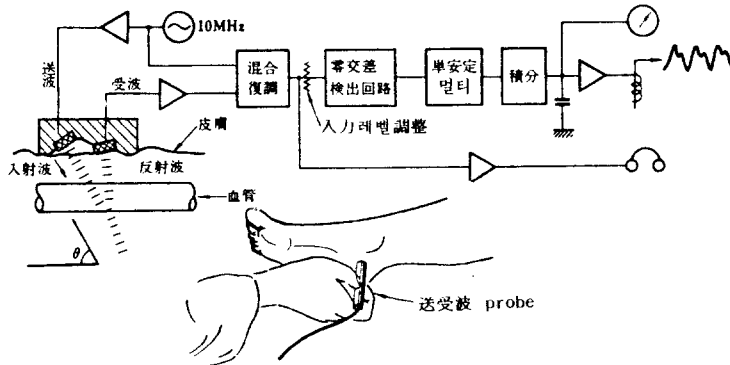


그림 6. 超音波 doppler에 의한 血流測定시스템의 블럭圖

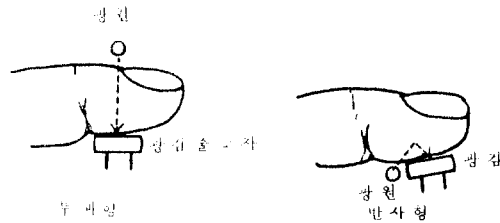


그림 7. 光電脈波計의 脈波檢出原理

량이 그 부분의 혈액량의 변화에 기인하므로 이를 백열전구와 CdSe 受光部에 의해 검출하여 증폭 기록하는 것으로 측정이 간단하여 가장 많이 사용한다. 임피던스 脈波計는 生體의 임피던스가 그 부분의 혈액량의 변화에 의한 것이므로 電流를 흘리게 하는 전극과 검출전극에 의해 측정할 수 있다. 이 방법은 아직까지 개발중에 있으므로 앞으로 기대되는 脈波計이다. 또 VHF 발진기를 용벽위에 장치하여 心臟의 運動에 수반되는 誘電率의 變化를 직접 周波數變調하여 telemetering 방식으로 측정하는 CCG(Capacito-Cardiograph)도 기대되는 脈波計이다.

10) 心音計

心音を 마이크로·폰으로 검출, 증폭, 記錄한 心音圖는 弁膜症, 선천적인 심장병의 진단에 유용하다. 사용하는 마이크로·폰은 스피커의 원리를 이용한 空氣傳導形과 壓電素子나 可動코일을 사용하는 直接傳導形이 있다. 心音計의 增幅器는 미약한音を 기록하기 위하여 감도가 높아야 하며 내부잡음이 적어야 하고 心音, 心雜音強度의 개인차에 적응하는 넓은 범위의 강도를 가져야 하고 특정 주파수대역을 선택하는 필터가 구비되어야 하며 記錄의 再現性이 좋아야 한다.

11) 電子體溫計

많이 이용되는 것은 水銀體溫計인데, 이는 간편성, 경제성의 점에서 유리하다. 그러나 電子工學의 發達에 의해 숫자표시를 이용한 電子體溫計가 개발되어 溫度變化에 대한 應答性, 連續記錄의 가능성 등 장점이 많아 역시 장래의 상품으로써는 기대되는 것중의 하나이다.

感溫素子は 더어미스터가 많이 사용되고 있다. 특히 患者監視나 數個所의 溫度를 동시에 측정하여 기록하거나, 血壓이나 血流量도 겸한 디지털 방식이 개발되어 실용화되고 있다.

12) 呼吸機能檢査

換氣力學의 ME 機器에는 氣流計, 差壓計, 壓力計 등의 變換器를 포함한 Pneumotachograph 장치와 體 Plethysmograph 장치가 있으며, 또 전자공학의 수법에 의한 氣體交換 測定裝置와 肺氣量, 換氣量, 換氣能力, 肺活量, 殘氣量, 全肺氣量, 肺胸換氣量뿐만 아니라 肺內的 O₂, CO₂의 확산, 血液內的 개스, pH 測定, 肺內吸氣量分布등을 測定하는 機器들이 呼吸機能檢査에 이용되고 있다.

13) 기타 生體計測裝置

오줌이나 위액등의 一般檢査, 臨床化學檢査, 血液檢査, 血清檢査, 細菌檢査, 病理檢査用的 測定機器가 自動化되어 짧은 시간에 많은 양의 檢査項目을 처리하도록 설계되어 실용되고 있는데 이를 Autoanalyzer 라고 한다. 1~10 MHz 帶의 超音波를 應用한 頭蓋內血腫, 頭部外傷心臟弁膜 등의 진단과 관찰에 이용되고 있으며, X線이나 放射線同位元素를 이용한 診斷 및 計測이 超音波와 함께 畫像의 計測手段으로써 많은 발전을 보이고 있으며 最近의 斷層像表示方法의 CT(computed tomograph)는 뒤편에서 상세히 논하겠지만 ME의 최고 수준의 診斷計測裝置이며, 광섬유등의 光電子工學의 응용도 앞으로 주목할 만한 것이고 生體表面의 온도분포를 적외선 카메라로 검출하여 표시하는 thermography 기술, 軟部組織의 관찰에 이용되는 超音波 Hologram의 응용도 실용단계에 있다.

앞으로는 情報處理手法를 응용한 生體信號處理시스템화 되고 마이크로·컴퓨터를 내장한 生體計測시스템이 활발히 연구되어 진단에 큰 역할을 함은 물론 自動診斷시스템으로 변화되어가고 있다.

3. 結 言

이상에서 醫用센서와 計測技術 및 裝置들에 관해 지면관계로 간단히 설명했다. 醫用센서들은 工業計測用센서들을 그대로 활용하는 경우가 많아져 가고 있으며, 일반용 센서들이 최근에 와서 많이 개발되어지고 있어서 生體計測에도 새로운 局面이 전개될 것이라고 기대된다. 특히 生體計測에 관한 연구를 수행할 경우에는 다음 사항들에 중점을 두어야 한다.

- 1) 生物의 物性(前號掲載)의 기초연구를 하여 전극이나 센서들을 오랜시간 사용해도 生體에 장애를 주지 않고, 미소한 변화량을 검출할 수 있도록 합리적인 설계가 되어져야 하며
- 2) 적은 변화량을 검출하는 高感度檢出 시스템의 구성과
- 3) 생체의 미래상태를 예측하는 測定方法과
- 4) 高度의 모델을 이용한 計測
- 5) 非觀血의 計測이 되도록 해야 한다.

앞으로 集積回路技術, optoelectronics, Microcomputer 등 尖端技術을 導入한 計測시스템의 연구개발이 기대된다.

參 考 文 獻

1. 洪勝弘: "Mini-Microcomputer의 醫用生體工學的應用", 大韓電子工學會誌, 第3卷 第1號(1976).
2. 大島正光: "醫學 Electronics의 知識", 日本南江堂(1976).
3. 洪勝弘: "센서(Sensor)技術", 大韓電子工學會雜誌, 第10卷 第1號(1983).
4. 阪本接房: "醫用電子·生體工學概論", 日本Corona社(1969).
5. 樓井靖久: "醫用工學 ME의 基礎と應用", 日本共立出版社(1980).
6. C. D. Ferris: "Introduction to Bioelectrodes", Plenum Press(1974).
7. C. D. Ray: "Medical Engineering" Year Book Medical Publishers Inc.(1974).