

心筋構造와 力學 및 心機能評價指標

Myocardial Structure and dynamics and Indices of Cardiac function

高麗大學校 醫科大學 內科

徐 舜 圭

心臓機能은 端的으로 表現하면 臟器組織에 生体が 必要한 血液의 供給이다. 心不全(heart failure)은 心臓의 機能不全이 原因이 되어 鬱血이나 血流障害等の 循環障害症狀이 併發한 一種의 症狀群이며 根本的原因인 心臓機能障害와 併發되는 後方 및 前方障害에 因한 aldosterone, ADH, ACTH, Corticosteroid 등의 体液性因子에 依한 水分, 電解質의 異常이 綜合된 病態로 解釋되고 있다.¹⁾ 心拍出量測定이 心導子法, 色素稀釋曲線法으로 可能하게되자 心不全은 低拍出量性心不全과 高拍出量性心不全으로 區分되고 1950 年代에 低拍出量鬱血性心不全의 血行力學的 發生機序로서 機械因性(mechanogenic)과 筋因性(myogenic)으로 區分하여 考察하는 傾向이 活發해졌다.¹⁾

心臓機能狀態의 正確한 評價는 心臓疾患의 診療에는 勿論이며 運動生理의 應用과 藥物效果의 判定等에도 大端히 重要하며 心筋力學的機能評價가 根本이 되어 最近에 心力學(cardiac mechanics)과 心機能評價의 指標에 關한 研究가 急速히 進展되고 있으며 心力學에 關한 많은 知見과 心機能評價의 指標가 考案되었고²⁻¹⁸⁾ 이런 指標의 測定法도 Ventriculogram, echocardiogram, radionuclide angiogram 등에 依하여 容易해지고 臨床적으로 널리 使用되게 되었다.^{19, 20, 21, 24, 25)}

Cardiac performance(心臓의 作業)는 pump performance(Pump 作業)와 Contraction Performance (心筋收縮作業)로 區分되고 近來에 鬱血性心不全의 根本機序로서 Contraction performance의 障害 即 心筋收縮性的 低下에 注目하여 心筋收縮機序와 心筋의 收縮力學의 特性을 重要視하고 많은 研究가 進展되었으며 筋收縮의 機序와 그 異常을 Sarcomere(筋節)의 分子水準 即 myosin filament 와 actin filament 와 그 結合(binding)等과 筋節短縮(Shortening of sarcomere)의 ultrastructural basis 와 Calcium에 依한 收縮過程活性化

에 關與하는 心筋細胞膜과 各筋節의 筋小胞体(Sarcoplasmic reticulum)와 側囊(lateral sac or terminal cisternae) 橫行小管系(T-system)等 所謂 三連構造(triad)가 究明되고 또 心筋의 擴張能도 研究되고 있다.^{22, 23)}

臨床적으로 心機能을 判定할 때는 心筋收縮性을 心臓에 對한 他負荷條件(preload, afterload)과 分離하여 心筋自体에 關하여서만 表示하는 것이 重要하며 이에 對하여 많이 檢討되고 있다. 그러나 이런 指標들은 心筋力學의 生理學的根據, 臨床的應用方法과 그 結果 評價의 條件이 充分히 잘 規定 或은 除去되어 滿足할만한 理想的인 것은 아직 없다.²⁶⁾ 近來에 韓國의 循環器學界에서도 心筋力學 乃至 心機能評價의 指標에 關한 臨床的研究業績이 많이 發表되고 있어 心力學의 基本的知見과 여러가지가 考案發表되고 있는 心機能評價의 指標에 關하여 綜合해 보고 이에 關한 韓國學界業績을 要約 review 하고자 한다.

I. 心筋의 構造와 收縮·弛緩의 機序小考 : ^{1, 2, 22, 23, 27, 28)}

心筋은 4層의 筋層으로 構成되어 있고 心室에서 血液驅出은 deep sinospiral muscle가 deep bulbospiral muscle 이 主役割을 한다. 機械的收縮에 關與하는 心筋構造는 다음과 같다.

1. 收縮心筋의 微細構造 :

心筋細胞는 直徑이 10~20 μ , 길이가 約 50~100 μ 이며 細胞膜인 筋鞘(Sarcolemma)가 變形한 境界膜(intercalated disc)에 依하여 隣接心筋細胞와 連結되고 있다. 이 境界膜은 電氣低抗이 大端히 적고 따라서 機能적으로는 긴 한個의 細胞라고 取扱할 수 있다. 即 境界膜에 電氣刺激을 주면 一連의 心筋細胞가 同時間에 그 電氣刺激을 받게 된다. 또 境界膜은 筋原線維(myofibril)을 固定하고 隣接心筋細胞와도 단단히 結合하고

있어 心筋細胞收縮으로 發生하는 張力を 直列로 連結되고 있는 隣接心筋細胞에 傳達하는 役割을 한다. 心筋細胞中에는 多數의 mitochondria가 있으며 그 容積이 心筋細胞의 約 1/3 이고 多量의 energy를 使用하는 心臟의 energy를 供給하고 있다. 心筋細胞에는 複雑한 管狀構造(sarcotubular system)가 있으며 筋小胞體(sarcoplasmic reticulum)와 T-system으로 構成되고 있다. 筋小胞體는 主로 心筋細胞內에 管이 있고 筋原線維를 網狀으로 둘러싸고 있으며 Ca ion의 貯藏, 放出, 取

得에 重要な 役割을 하고 T-system은 筋節의 Z膜附近에 橫管으로서 存在하며 細胞表面에서 長軸에 對하여 直角으로 陷入한 後에 分枝하여 心筋細胞面에 깊게 進入하여 結局 筋小胞體와 結合하고 T-system의 兩端은 膨大되어 側囊을 形成하며 T-system은 細胞內外의 物質交換에 重要な 役割을 하고 細胞膜의 電氣興奮을 筋小胞體에 傳達하는 役割도 한다.(圖1參照) 筋線維內에는 1 μ 程度의 多數의 筋原線維(myofibril)가 長軸方向으로 平行으로 配列되어 있고 筋原線維間은 筋形質

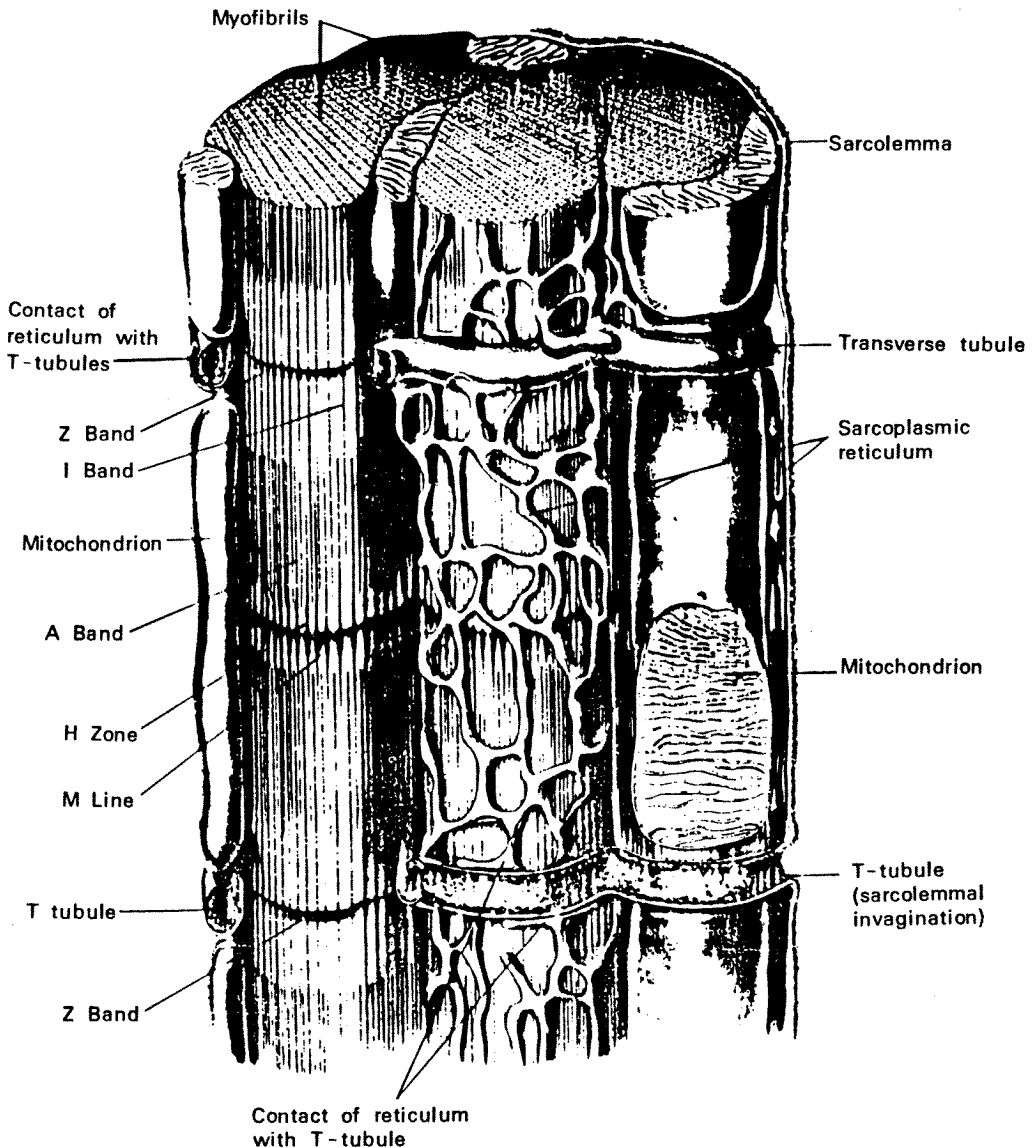


圖 1. 心筋線維의 微細構造.

(sarcoplasm)이 차 있다. 筋原線維는 收縮心筋細胞의 形態的, 機能的 基本單位이며 規則的인 明暗의 무늬가 보인다. 이 무늬는 밝게 보이는 明帶 或은 等方帶(isotropic band) (I帶), 어둡게 보이는 暗帶 或은 不等方帶(anisotropic band) (A帶)가 規則的으로 配列되어 있는데 基因된다. A帶의 中央에는 Hensen 板(H-band)라는 多少 밝은 部分이 있고 그 中央에는 密度가 높은 M膜(M-band)이 있다. I帶의 中央에는 縱線으로 보이는 隔壁(intercalated disc) 卽 Z 膜(Z-membrane)이 있으며 Z膜과 다음 Z膜까지를 筋節(sarcomere)라 하고 이것이 한個의 收縮單位이며 길이가 $1.5 \sim 2.2 \mu\text{m}$ 範圍로 變動한다. 電子顯微鏡으로 觀察하여 筋原線維에는 thick filament인 myosin(約 110\AA)과 thin filament인 actin(約 50\AA)의 2種類의 筋 filament로 構成되고 myosin은 A帶에 있고 actin은 Z膜에서 H板의 始作部位까지에 있으며 筋線維의 橫斷切片을 보면 1個의 myosin 周圍에 6個의 actin이 整然하게 配列되고 있고 I帶와 A帶는 actin과 myosin의 配列關係로 構成되고 있다.

Myosin, actin은 筋收縮에 直接關與하는 蛋白質이며 收縮蛋白에는 此外에 tropomyosin, troponin 등이 있고 이들을 調節蛋白質이라고도 한다. Myosin은 分子量은 約 50萬의 蛋白質이며 heavy(H) meromyosin과 light(L)meromyosin이 結合하여 길이 1500\AA , 굵기 20-40 \AA 이며 myosin의 頭部分은 ATPase 作用을 가지고 있고 actin과 結合하는 性質이 있다. Actin은 分子量 約 42,000 直徑 50\AA 의 球形蛋白質(G-actin)이고 G-act-

in이 重合하여 線維狀이 되고 있으며 이것을 F-actin (fibrous actin)라 하며 두줄의 F-actin이 結合하여 actin filament를 形成하고 여기에 troponin과 tropomyosin이 構成成分으로 配合되어 있다. Troponin은 Ca와 結合能力이 強하고 tropomyosin은 actin filament의 物理化學的性質을 變化시키는 作用이 있다.

2. 心筋興奮收縮連關(myocardial excitation-Contraction Coupling): 心筋이 刺激을 받아 興奮하고 그 結果 收縮이 發生하는 過程은 다음과 같다.

心筋에 收縮을 발생시킬 刺激이 加해지면 心筋細胞 表面膜의 脫分極이 發生하며 Na, Ca, K等 ion의 流入・流出이 發生하고 活動電位가 發生한다.(圖2 參照) 이 表面膜의 脫分極은 Z膜部에 一致하여 存在하는 T-system에 依하여 內部에 傳達된다고 生覺되고 있고 筋線維內에 Ca ion 濃度가 上昇하면 收縮이 發生되고 低下하면 弛緩된다. Actin의 myosin과 結合하는 活性基는 actin에 있는 troponin-tropomyosin complex로 덮여있어서 myosin과 結合을 못하며 弛緩이 되고 있는데 troponin이 Ca와 結合을 하면 troponin-tropomyosin complex의 myosin과 action 結合을 抑制하는 收縮 抑制作用이 除去되며 이 結果 actin과 myosin이 結合하고 收縮이 發生한다. 卽 Ca ion이 troponin과 結合하면 그 分子構造가 變化하여 actin의 活性基가 露出되어 myosin과 結合하고 收縮이 發生되며 Ca와 troponin의 結合은 Ca ion 濃度에 依存되고 있다. 또 筋小胞體는 Ca와 結合하는 性質이 強하며 筋原形質內 Ca ion 濃度를 低下시키고 있는데 筋形質膜이 脫分極하면 橫行小管系를 通하여

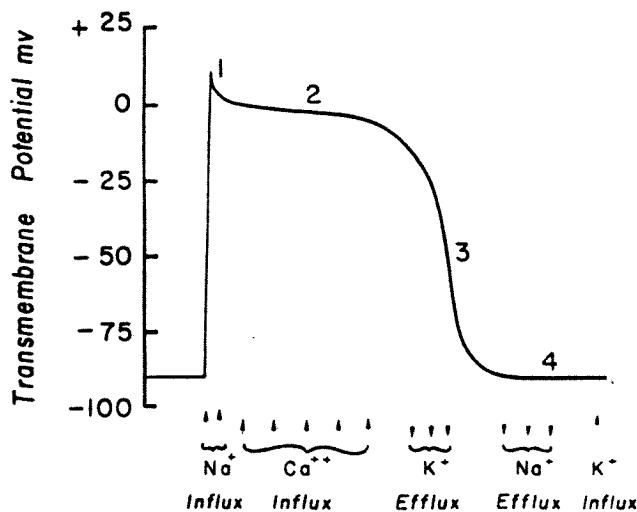


圖2. 心筋活動電位와 電解質移動.

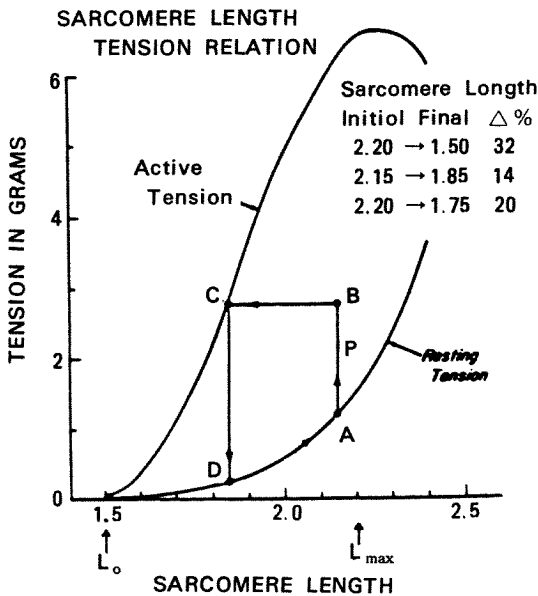


圖 3. 筋節의 長과 張力關係.

電位變化를 發生시켜 Ca ion을 遊離하고 Ca ion 濃度を 上昇시키며 表面膜의 再分極으로 筋小胞體는 다시 Ca 을 結合하여 Ca ion 濃度を 低下시킨다. 筋原形質의 Ca ion濃度は 靜止時에 $10^{-7}M$ 이고 收縮時는 $10^{-5}M$ 程度로 上昇한다. 以上の 現象은 橫行小管系와 筋小胞體의 發達이 좋은 骨格筋에서 活發하나 心筋이나 平滑筋에서는 側囊(cisternae)의 發達이 骨格筋같이 좋지는 않으며 T-tubule 直徑은 骨格筋보다 커서 余分の Ca 를 T-tubule에 多量保管하여 補充하고 있다.

3. 滑走說(sliding theory)^{1, 22, 23, 27, 28, 29}: 筋收縮機序의 綜合的인 理論으로서 滑走說(sliding theory)이 提唱되어 널리 認定되고 있다. 이 說에 依하면 筋收縮時 筋節은 短縮이 되나 actin과 myosin filament의 各各길이는 變化가 없고 各 filament의 位置가 相對的인 交互滑走로 變化하여 兩 filament가 重疊되는 部分이 增減함으로서 Z膜間의 距離가 增減하여 筋收縮과 弛緩이 發生되는데 actin과 myosin filament가 一定方向으로 交互滑走가 發生하기 爲하여 兩 filament를 結合하는 架橋(cross bridge)가 있으며 이 架橋를 通하여 兩 filament가 交互滑走(slide)가 發生되며 兩 filament가 重疊되는 部分이 길수록 架橋에 依한 結合場所가 增加하여 강한 "힘"(force)의 發生이 期待된다.(圖 3 參照)

Huxley 等에 依하면 actin filament의 길이는 $1.0\mu m$, myosin filament의 길이는 $1.5\mu m$ 이며 sarcomere le-

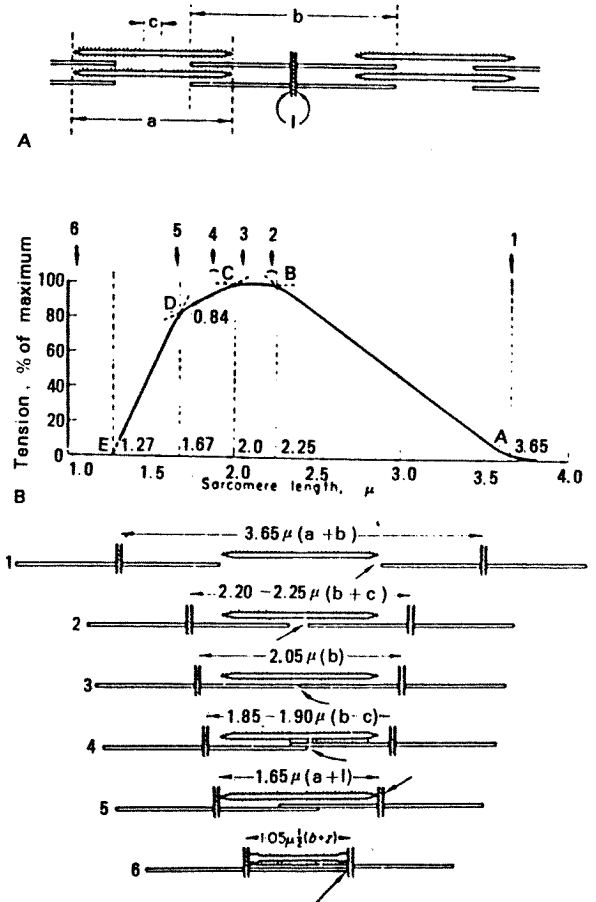


圖 4. 筋節內 actin과 myosin 位置와 張力發生相關關係.

ngth가 $2.0 \sim 2.2\mu m$ 일때가 "힘"이 發生하는 架橋數가 가장 많고 "힘" 發生이 一定한 最適의 重疊길이 가 形成된다. 그러나 sarcomere length가 $2.0\mu m$ 以下로 短縮되면 actin이 myosin의 架橋없는 中央部에 達하고 filament의 double overlap도 發生되어 "힘" 發生이 減少된다. 또 $2.2\mu m$ 以上될때도 filament 重疊이 減小하여 架橋數가 減小함으로 "힘" 發生이 減少되며 sarcomere length가 $3.65\mu m$ 에서는 兩 filament의 重疊이 없어져 "힘" 發生이 中止된다.(圖 4 參照) 이와같이 sarcomere의 力學은 心筋力學究明에 重要하며 最近 Tsujoka等²⁹은 Laser diffraction method를 使用하여 sarcomere의 길이를 直接 測定하고 cardiac sarcomere dynamics, cardiac crossbridge cycle等을 究明하고 있다.

II. 心筋의 力學(mechnics of cardiac muscle):

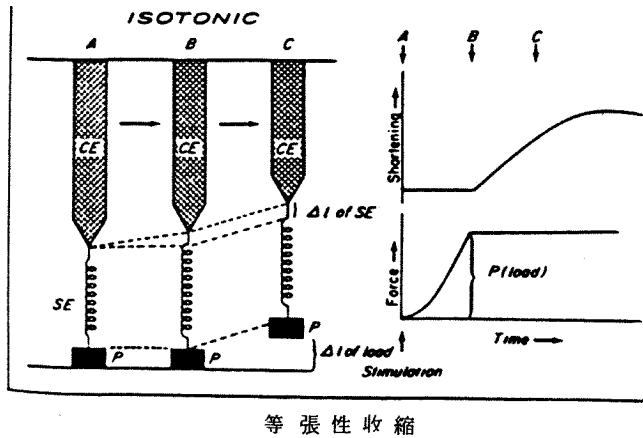
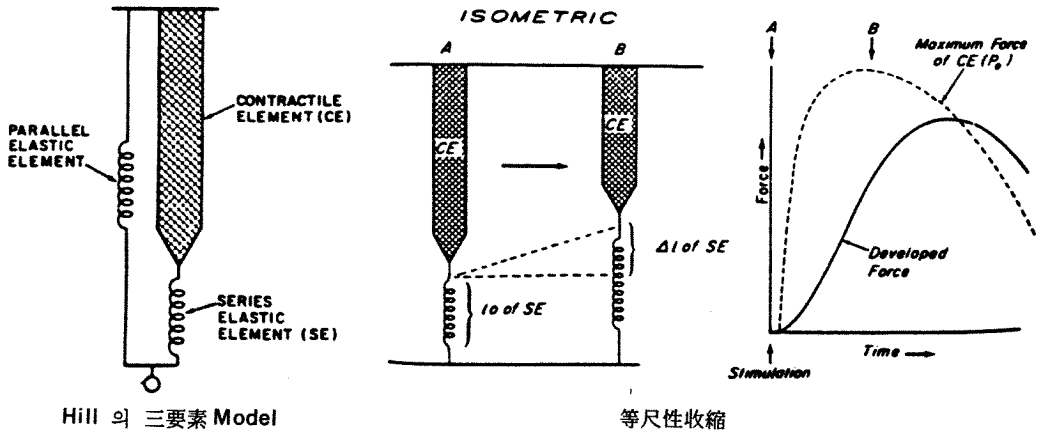


圖 5. Hill의 筋三要素 Model과 等尺性 및 等張性收縮의 圖示.

1. 心筋收縮性(mechanics of cardiac contraction)

6, 7, 22, 23, 3, 4, 27, 28, 29, 8, 9, 10, 47, 48, 49) : 心臟全体的 收縮

은 個個의 心筋線維收縮의 總和이므로 心臟收縮評價는 心筋線維의 收縮性評價가 基本이 된다.

心臟線維의 力學의 特性을 說明하기 爲하여 Hill이 考案한 實驗 model이 잘 利用된다. Hill의 三要素 model(圖 5 參照)은 實際解剖의 構造部位는 明確하지 않는 假想的인 것이나 大體로 收縮要素(contractile element: CE) (이는 "힘"과 短縮이 發生하는 部分이며 actin과 myosin임) 直列彈性要素(series elastic element: SE) (이는 短縮에 따라서 被動的으로 伸展되는 部分이며 actin, myosin의 反應部位 卽 架橋), 並列彈性要素(parallel elastic element: PE) (이는 心筋의 reacting tension을 維持하는 部分이며 細胞膜과 細胞間의 膠原線維 等を 表示)로 構成되고 있다. 心筋의 收縮

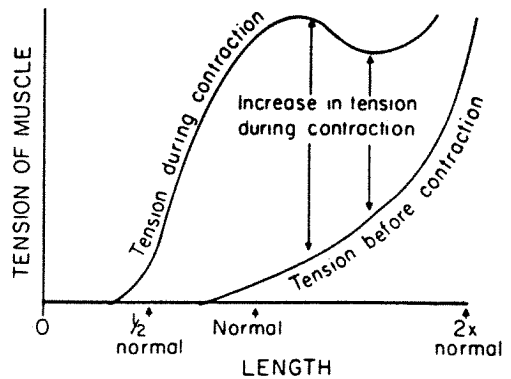


圖 6. 筋長과 收縮力相關關係.

樣式은 2種으로 區分된다.

a) 等尺性收縮(isometric contraction) : 心臟의 길이

는 변하지 않고 張力을 發生하는 收縮樣式이며 左心室에서 僧帽弁閉鎖後에서 大動脈弁開放時까지의 收縮이 그 예이다. 卽 먼저 收縮要素가 短縮하고 그만큼 直列彈性要素는 伸長되어 거기에 張力이 發生하나 心筋全長이는 不變이다.

b) 等張性收縮(isotonic contraction): model에서 心筋의 他端에 錘가 달려있고 먼저 等尺收縮을 하고 收縮要素의 短縮이 더 進行되어 心筋他端의 錘(後負荷)를 引上시키면서 心筋의 全長이가 短縮되는 收縮이며 心筋의 後負荷가 一定하게 걸여있는데 心筋全 長이가 短縮되는 樣式의 收縮이고 大動脈壓이 一定하게 있는데(後負荷) 大動脈內로 血液을 驅出하는 左心室의 收縮이 이 예이다.(圖 6 參照)

心筋收縮의 基本力學은 다음 4 個要因으로 調節되며
1. 前負荷(preload) 2. 後負荷(afterload) 3. 收縮性(contractility) 或은 變力狀態(inotropic state) 4. 心拍數(heart rate)이다.

c) 前負荷(preload): 筋收縮前의 靜止時 被動의 心筋線維의 "길이"를 뜻하며 이는 心室 擴張期末壁의 stress 나 tension과 같고 結局 sarcomere의 resting length를 表示하고 收縮 energy發生의 面積을 意味한다.

d) 後負荷(afterload): 心筋短縮始作할 때 短縮에 抵抗하는 負荷에 依하여 收縮하는 心室壁에 作用하는 張力(tension) [힘(force)] 或은 應力(stress) 등을 發生시키는것을 意味하며 左心室이 收縮하여 血液을 驅出할 때의 大動脈壓이나 末梢血管抵抗等이 그 예이다.

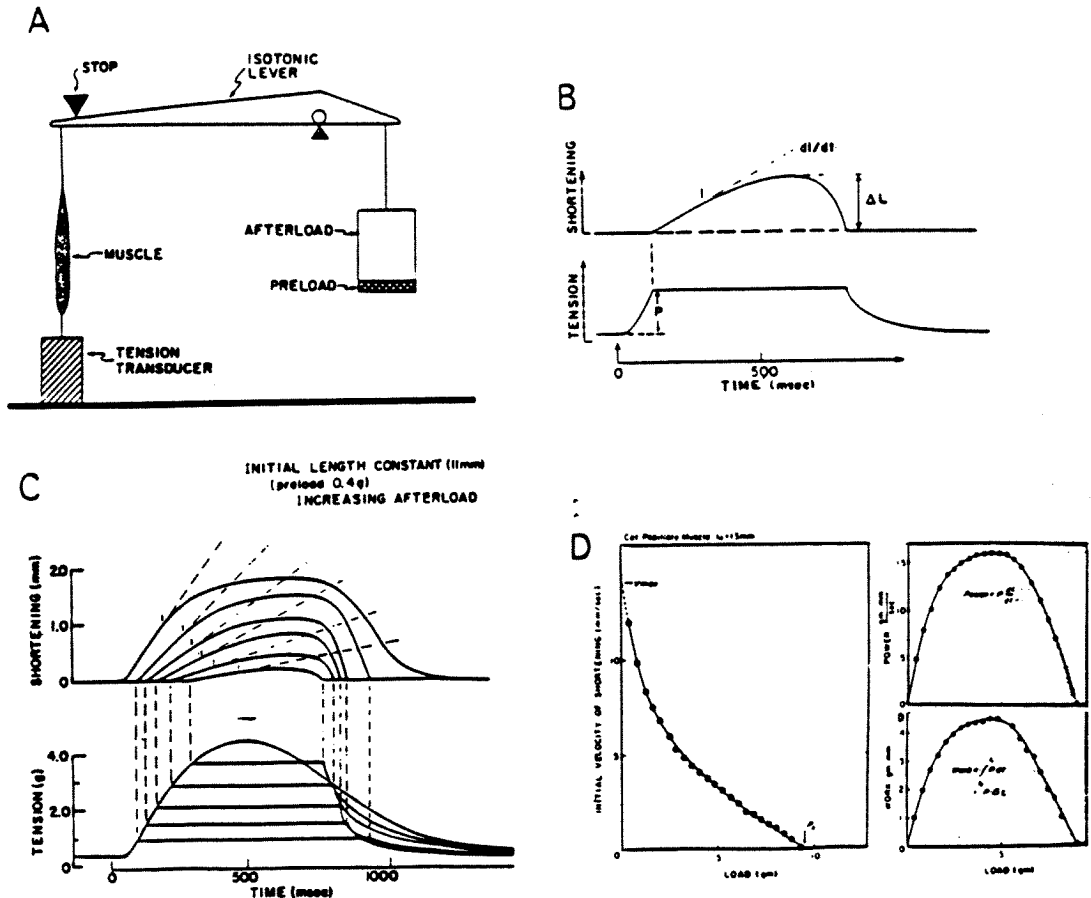


圖 7. 後負荷된 等張收縮때의 張力-短縮速度關係.
A. isotonic lever system 圖示. B. 後負荷된 等張收縮記錄. C. 後負荷增加에 따른 張力-筋短縮速度變化(切線은 速度) D. 後負荷와 短縮速度關係曲線.

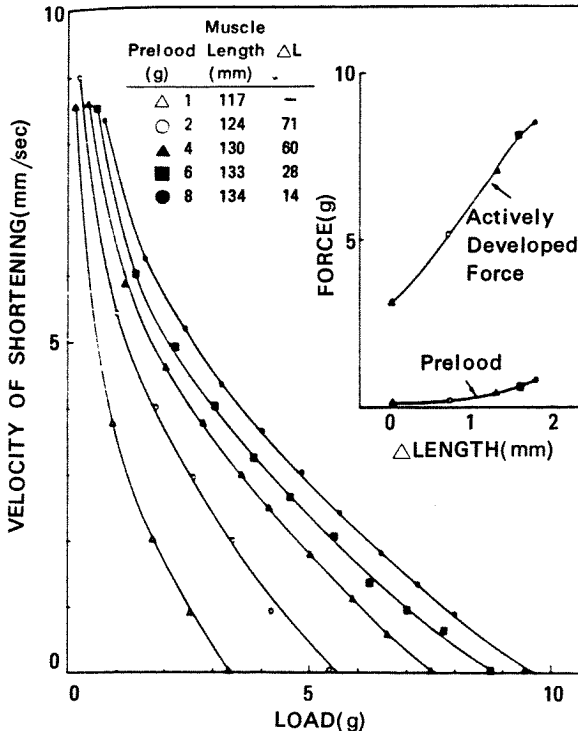


圖 8. 前負荷別 後負荷量과 筋短縮速度關係, 後負荷量이 0 일 때의 短縮速度가 V_{max} 이다.

e) 心筋의 張力과 筋長의 關係: 心筋이 그 靜止期에 荷重을 받으면(前荷重, preload) 徐徐히 剛度(stiffness)를 增加하면서 伸展하며 前負荷量에 따라서 規定되는 心筋長(length of myocardial fiber)을 初期長(initial length) 或은 靜止期筋長(resting length)라 한다. 이때 筋에는 前負荷와 均衡이 된 張力이 發生되고 있다. 이 關係를 靜止張力-筋長關係라 한다. 筋의 兩端이 固定되어 短縮할 수 없는 狀態에서 刺激을 받으면 筋은 等尺收縮(isometric contraction)이 發生되며 이때 筋에 張力이 增加된다. 이 增加發生한 張力을 活動張力(active tension)이라 한다. 心筋의 活動張力發生은 靜止期筋長 卽 前負荷(preload)에 關係되며(圖 6 參照) 이것은 筋節의 length에 따라서 筋節內的 actin과 myosin filament의 重疊程度에 支配된다(圖 3 參照) 筋節의 length가 $2.2\mu m$ 때 活動張力이 最大值로 되며 이때의 靜止期筋長을 L_{max} 라 한다. 이 筋長과 筋張力關係가 心室全體에서 觀察되는 現象은 心筋의 力學的特性인 Frank-Starling law of the heart이다.

f) 心筋의 短縮速度와 張力關係(force-velocity relation): 骨格筋에서 發見된 force-velocity 關係가 心筋

에도 適用할 수 있다는 報告에 따라 異論은 있었지만 臨床的心機能評價에 利用되는 理論의 根據로 되고있다.

心筋의 force-velocity relation이란 後負荷(afterload)와 心筋의 短縮速度간의 關係이며 後負荷가 輕해지면 心筋短縮의 最大速度가 增加하고 後負荷가 增加에 따라서 最大短縮速度는 減少된다. 卽 後負荷量과 最大心筋短縮速度가 反比例하며 兩者間에는 雙曲線의 關係를 볼 수 있다(圖 7 參照)

g) V_{max} : force-velocity relation에 依하면 後負荷가 0 일때 心筋의 最大短縮速度가 最高가 된다. 이때의 心筋短縮速度를 V_{max} 라 하고 이것은 心筋前負荷量(preload)과는 關係가 없고 心筋의 變力效果에만 依存함으로 心筋自體의 收縮性을 表示하는 指標로서 有用視되고 있다(圖 8 參照)

h) 心筋의 張力-短縮速度-筋長의 關係(force-velocity-length diagram): Brutsaert와 Sonnenblick에 依하여 提示된 心筋力學의 綜合的關係表示이며 圖 9와 같다. 左面이 Load(force)-velocity, 右面이 length-velocity, 底面이 length-load(force)를 表示한다. A에서 I는 前負荷만 있는 等張性收縮에 依한 筋의 短縮을, A에서 F는 等尺性收縮에 依한 張力을 表示한다. A에서 C는 後負荷의 最大張力의 50%의 等張性收縮의 經過이며 2要素模型에 依한 解析이다. 右面의 破線은 無負荷收縮에 依한 短縮速度-筋長關係를 表示한다. SE 伸展에 依한 CE短縮의 關係는 B 圖와 같이 CE는 A에서 C_{ce} 의 經過를 取한다. 負荷가 0으로 接近하면 短縮의 速度는 無負荷最大短縮速度(V_{max})에 接近하는 것을 表示한다. C圖는 陽性變力作用의 force-velocity-length relation에 對한 效果를 表示하고 있다. 그러나 이 diagram에 對하여 異論도 있고 또 force-velocity-length relation을 完全히 表示하지도 못하고 있다.

i) 左心室“일”量(left ventricular work index; LVWI)과 1回心“일”量(stroke work index: SWI): “일”量(Work: W)는 “힘”(力: force) × 距離(distance)로 表示되며 心臟이 하는 “일”量(Work)는 血壓을 發生시키는 “일”(pressure work)과 血液을 驅出하는 “일”(volume work)이다. 血流가 一定하다고 假定하면 左心室“일”量(LVW)은 瞬間的 左室內壓(血壓)과 그것으로 驅出되는 血液量의 積分 $\int p dv$ 으로 表示된다. 이것은 心周期에 따라서 時時刻刻으로 變하는 心室內壓과 心室容量曲線(pressure-Volume curve)으로 表示되고 收縮期일량과 擴張期일량의 差異로 心室일량을 測定할 수 있고(圖 10 參照) 各疾患의 所見은 圖 11과 같다.

1回心“일”量(stroke work index: SWI) = stroke

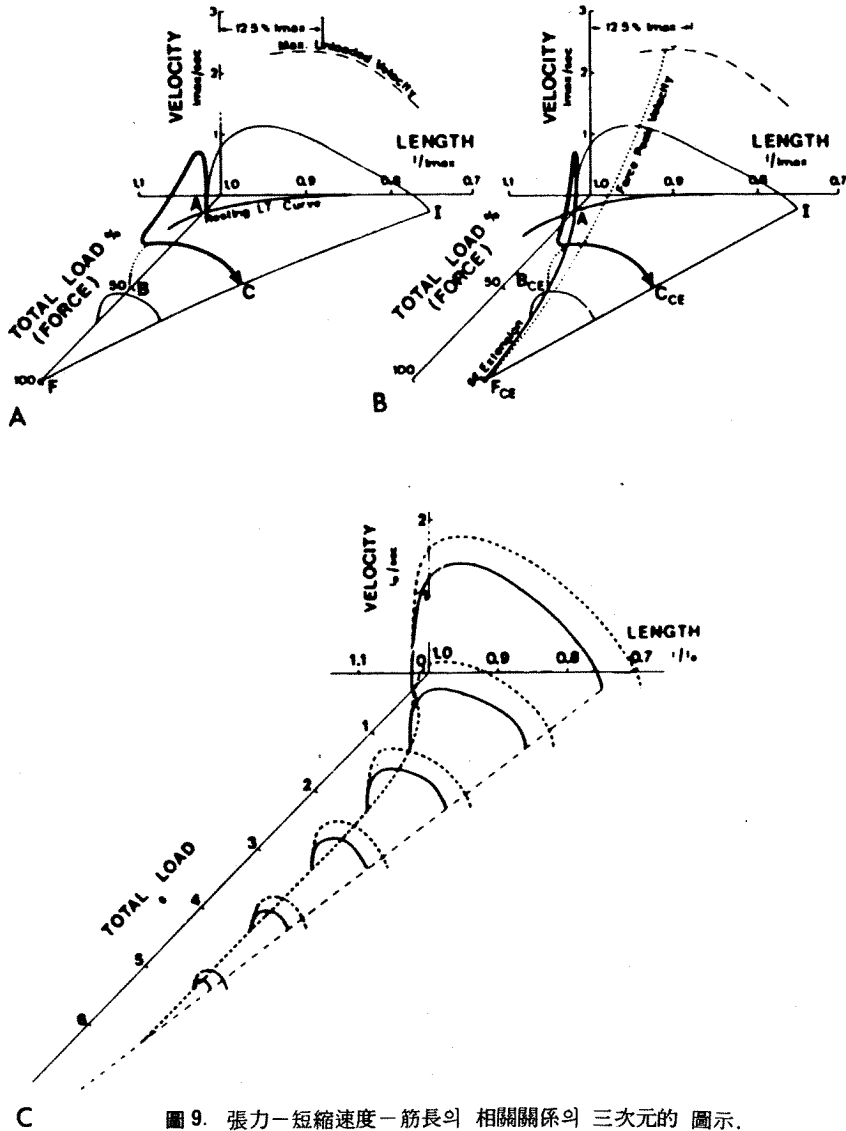


圖 9. 張力-短縮速度-筋長の 相關關係의 三次元的 圖示.

volume (SI) \times 左室平均壓 $\times 0.0136$, (stroke volume index는 stroke volume/ M^2 (体表面積)).

左室 "일" 量 (left ventricular work index: LVWI) = $SWI \times \text{心拍數} / 1000$ (1000은 g \cdot m를 kg \cdot m로 變換係數)

以上の SWI와 LVWI는 心機能評價의 有用한 指標로 使用되고 있다.²⁶⁾

j) Contractility index: (收縮係數) Stroke volume 은 前負荷 卽 左室擴張末期容量에 左右됨으로 stroke work index도 前負荷의 影響을 받게 된다. 따라서 이 index는 SWI를 EDV로 나누어서 前負荷影響을 除去한 指標이며 心筋의 收縮性을 表示한다.

Contractility index: SWI/EDV (EDV는 左室 end-diastolic volume임)

k) 收縮末期壓-容量關係 (Ventricular end-systolic pressure-volume relations)^{17, 18)}: 心筋의 收縮力이 一定하면 前負荷 卽 擴張末期容量의 增減의 關係없이 收縮末期壓 (end-systolic pressure)은 一定하다. 卽 擴張末期容量에 差異가 있어도 收縮末期壓은 같다. 그러나 後負荷 卽 動脈壓을 上昇 或은 下降시키면 같은 前負荷 卽 擴張末期容量이 同一하여도 收縮末期壓은 上昇 或은 下降하며 이 收縮末期壓의 動脈壓變動에 依한 變動은 一定한 傾向을 가진다. (圖 12 參照) 이 現象은 收縮末期壓

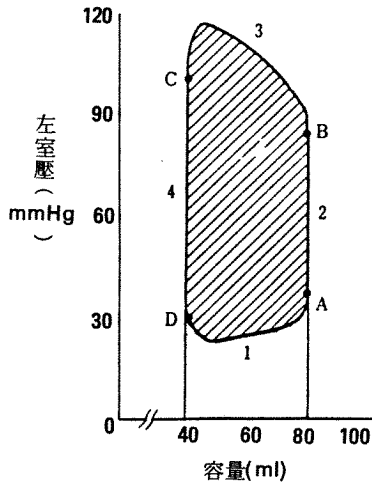


圖 10. 正常人的 左室壓—容量圖.

—容量關係는 前負荷, 後負荷와 收縮樣式에 影響을 받지 않고 그반 直線을 表示하고 이 直線의 左室容量軸과의 勾配를 E_{es} 라하며 이 數値는 心筋收縮性을 表示하고 高數値는 急한 勾配 卽 低收縮末期容量—더 완전한 血液驅出을 意味한다.

左室收縮期の 壓—容量關係에서 收縮期の 經過中 어느 瞬間에서의 壓容量比를 瞬時壓容量比($E(t)$) 라하고 收縮이 進行하는데 따라서 $E(t)$ 値가 增加하며 收縮末期때 最大로 되며 이 最大 $E(t)$ 를 E_{max} 라 한다. 따라서 收縮末期의 壓—容量關係를 表示하는 勾配($E(t)$)는 E_{max} 와 같으며 心筋收縮性을 表示하는 指標이다.^{22, 26)}

2. 心筋擴張性(Compliance, Stiffness, Distensibility)^{19, 20, 22, 26)}: 心室이 充分히 "일"을 하는데는 心筋의 收縮性은 勿論이지만 充分한 心室의 擴張性이 있어야 한다. 心室의 擴張性은 伸展性(distensibility)或은 Compliance 卽 心室內壓變化에 對한 心室容積變化程度이며

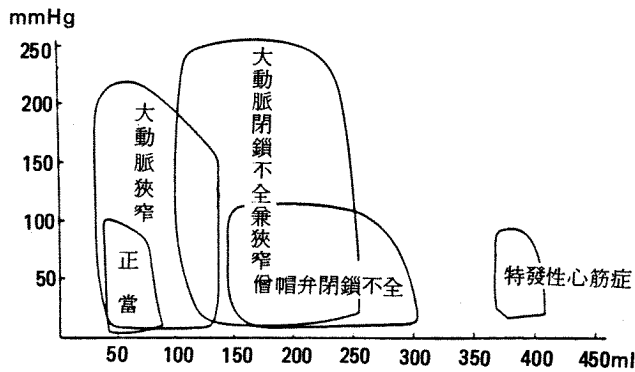


圖 11. 各種心疾患의 左室壓—容量圖.

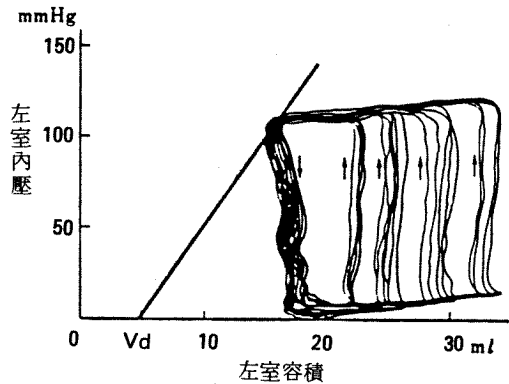
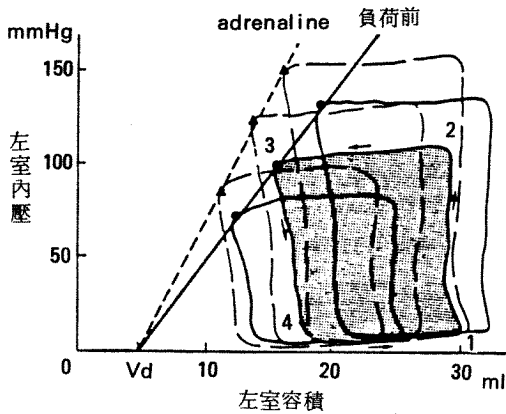


圖 12. 左室壓—容積曲線과 E_{max} 및 adrenaline 效果.

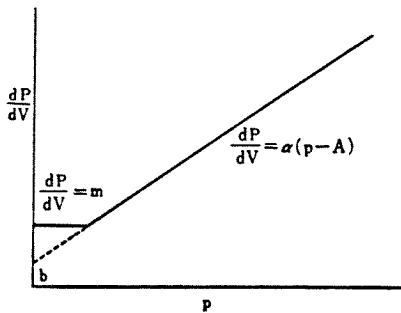


圖 13. 左室內壓(P)와 dp/dv 의 關係.

$\frac{dv}{dp}$ 로表示되고 또 剛度(stiffness)即 心室容積變化에對한 心室內壓의 變化程度이며 $\frac{dp}{dv}$ 로表示된다. 一般的으로 心室內壓과 $\frac{dp}{dv}$ 는 直線으로表現된다고한다(圖13參照)

Ⅲ. 心臟機能評價^{1, 12, 13, 15, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 32, 35, 39, 40~}

⁵⁰⁾:心臟의 機能이 正常的의 血液供給과 血壓維持라고簡單히 할 수 있으나 stroke volume은 前負荷, 後負荷, 心筋收縮能, 心拍數等의 影響을 받으므로 諸種의 代償機能이 作用하여 臨床狀態로서 心臟機能狀態를 評價하기 困難할때가 있어 心筋 그 自体機能(收縮能, 擴張能)을表示하는 心臟能評價의 指標가 要望되며 여기에 關한 研究가 많다. 그러나 發表된 指標 어느 한가지도 滿足할만한 것이 없고 結局 몇가지의 指標로 綜合的으로 評價하는 것이 現狀이다. 左室의 收縮性機能評價는 pump 機能, 等容收縮期의 指標와 驅出期의 指標로 三大分되고 現在 使用되고 있는 評價方法을 綜合整理하면 다음과 같다.

左室收縮性의 評價方法 :

A. Pump 機能 :

1. 安靜時의 指標

a) 心拍出量(Cardiac output), 心係數(Cardiac index) b) 1回拍出量(stroke volume), 1回拍出係數(stroke index) c) 左室擴張末期壓(LVEDP) d) 左室擴張末期容積(LV end-diastolic volume), 左室收縮末期容積(LV end-systolic volume) e) 左室 "일" 量(left ventricular work) f) 左室收縮係數(LV contractility index) g) 心機能曲線(Left ventricular function curve), (Frank-Starling principle)

2. 負荷試驗

a. 動的負荷(dynamic exercise) b. 等尺性負荷(isometric exercise) c. 心房 pacing(atrial pacing)

B. 等容收縮期의 收縮性指數(Isovolumetric phase indices) :

a. dp/dt , peak dp/dt :

i) peak dp/dt , ii) time to peak dp/dt , iii) peak dp/dt /LVEDC, iv) peak dp/dt /LVEDV, v) peak dp/dt /LVEDP, vi) peak dp/dt /IIP, vii) peak dp/dt /IP, viii) Peak dp/dt /MIP $\times 2\pi r$, ix) developed pressure 40mmHg에서의 dp/dt .

b. Vmax c. Vpm(peak dp/dt /RP, peak V_{CF})

C. 驅出期의 收縮性指標(Ejection phase indices) :

i) 左室驅出率(ejection fraction) ii) 平均收縮期驅出率(mean systolic ejection rate) iii) 左室驅出力係數(stroke power index) iv) 內周短縮速度(V_{CF}) :

가) peak V_{CF} 나) mean V_{CF} 다) 左室最大張力時의 V_{CF} 라) 驅出期前 1/3에서 EF, MNSE, V_{CF} v) Emax

以上の 各評價指標에 關하여 臨床의 問題를 中心으로 要約 論한다.

1. pump 機能

安靜時의 指標 : 心拍出量(cardiac output), 心係數(Cardiac index), 1回拍出量(stroke volume), 1回拍出係數(stroke index)는 pump 機能評價指數로서 routine 으로 使用되고 있다. 近來는 放射線同位元素 (^{99m}Tc) 心室造影術로 gated pool scan을 하여 放射狀區劃分割方式으로 局所心拍出係數를 測定하고 있다.⁵⁶⁾ 그러나 心拍出量은 前負荷와 後負荷에 依하여 規定, 調節되고 있어 心筋自体의 收縮性만 表示하지 않는點을 留意하여야 한다. 前負荷인 左室擴張末期壓과 容積도 左室機能評價에 널리 使用되며 이 數値가 높으면 左室機能이 不良하다. 左室擴張末期壓은 左心室心導子法에 依하여 心電圖 R波 peak 때의 壓測定値가 널리 使用되고 있다. 또 心超音波圖에서 PR-AC值로 推算도 하나 異論이 있다.⁴³⁾ 正常人値는 5~12mmHg이며 Yang等의 成績은 LVEDP = 8.3 ± 2.6 (4~12)mmHg, RVEDP = 5.3 ± 1.8 (3~8)mmHg이다. 心室容量測定은 心血管造影法에 依하며 Dodge의 area-length 方法에 依한 測定이 널리 使用되고 있다. 또 心超音波圖(D³)로도 算出되고 있다.²⁴⁾ 正常左心擴張末期容積은 平均 70 ± 20 (SD)ml/M²이며 108ml/M² 或은 正常보다 2SD 以上이면 LVEDV의 增加로 診斷된다.²⁶⁾

Left ventricular forces : 心室壁에 作用하는 force는 心室腔의 dimension, 壁厚, 心室內壓所見으로 算出된다.

張力(tension) (force/cm) : Laplace法則에 따라서 心室內壓 \times 心室半徑으로 算出되며 心室壁上의 線의(假想的) 兩端을 相互反對方向으로 잡아당기는 힘을 表示한

다.

壁應力(Wall stress): 左室中心을 通하는 斷面에서는 이 斷面을 左室壁方向으로 張力이 作用하여 心室壁의 橫斷面積當의 force 或은 tension이 wall stress이고 dynes/cm 或은 g/cm로 表現된다. Wall stress中 臨床의 으로 많이 使用되는 것은 Circumferential wall stress (CWS)이며 이는 心室壁의 赤道部位에서 發生되고 있는 最大의 單位面積當 force이다.

Ventricular wall의 tension과 stress는 二方向心血管造影法에 依하여 算出되며 또 Gehrke等의 方法, Schiller等의 方法에 依한 超音波心斷層法(2-D echo) 으로 算出하는 方法도 使用된다. 左心室內壓과 左室 M-mode echocardiogram의 同時記錄으로 左心室의 瞬時 force-velocity-length關係도 分析할 수 있다.^{19, 20, 24, 25} end-diastolic wall stress는 心室의 前負荷表示로 peak or mean systolic wall stress는 後負荷表示로 使用된다. 心室의 驅血期中에는 左心室腔減少, 心室壁厚增加, systolic wall stress and tension이 減少된다.

左室 "일" 量(left ventricular work): 左室壓容積曲線이 그반 長方形임으로 다음 式에 依하여 日量(work)이 概算된다.

$$LVSWI = SI \cdot (LVSM - LVEDP) \times 0.0136$$

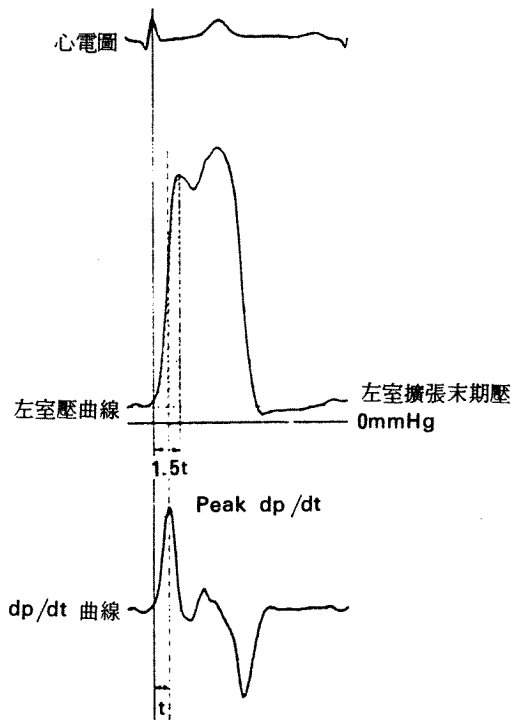


圖 14. 左室壓曲線과 그 一次時間 微分波.

(LVSWI: left ventricular stroke work index: g·m/M²/拍, SI: stroke index, cm/M²/拍, LVSM: left ventricular mean systolic pressure, LVEDP: left ventricular end-diastolic pressure)

Parmley가 正常男性 10例의 LVSWI 測定한 成績은 心拍數 75 일때 $59 \pm 5(32 \sim 75) \text{g} \cdot \text{m}/\text{M}^2/\text{拍}$ 이다.²⁶⁾

1分間の 左室 "일" 量은

$$LVWI = LVSWI \times HR/1000 = CI \cdot (LVSM - LVEDP) \cdot 0.0136$$

(LVWI: left ventricular work index per minute, HR: heart rate, CI: cardiac index), Snell이 11 例의 正常男性 LVWI 測定成績은 $5.1 \pm 0.5(4.3 \sim 5.9) \text{Kg} \cdot \text{m}/\text{M}^2/\text{分}$ 이다.²⁶⁾

收縮係數 Contractility index: 橫軸에 前負荷表示하는 左室擴張末期壓과 容積을 縱軸에 左室 "일" 量을 表示하고 心機能曲線을 그리면 左室의 收縮性이 低下하는데 比例하여 右下方으로, 收縮性이 增加하면 左上方으로 移動되며(圖 11 參照) 正常人의 Contractility index는 $0.5 \text{g} \cdot \text{m}/\text{cm}/\text{拍}$ 以上이다.²⁶⁾ 趙等⁵¹⁾은 36 名의 後天性瓣膜疾患患者에 左心室擴張末期壓測定과 心超音波圖檢査를 하고 B hump의 存在與否는 左心室擴張末期壓上昇의 가장 敏感한 指標이고 僧帽弁의 早期閉鎖 및 PR-AC 間隔의 短縮은 左心室擴張末期壓이 20mmHg 以上으로 上昇된 경우에 有意意味하였으며 PR-AC 間隔이 0.06秒以上인 경우는 左心室擴張末期壓은 20mmHg 未滿인 點이 特徵이고 心超音波圖에서 B hump 存在與否가 左心室擴張末期壓上昇의 敏感한 指標라고 報告하였다. 李等⁵²⁾은 11 例의 弁膜疾患患者를 對象으로하고 左心室心導子法, 左心室 및 大動脈壓測定後 左心室造影術을 實施, 3日以內에 心超音波圖와 放射能同位元素心血管造影術(gated radionuclide angiography)을 實施하고 SV: $48 \sim 384 \text{cm}$ E.F.: $36 \sim 73 \%$, peak ejection rate (PER): $452 \sim 1,441 \text{cm}/\text{sec}$, Peak filling rate (PFR): $284 \sim 1,343 \text{cm}/\text{sec}$, Time to peak filling rate (TTP-ER): $0.067 \sim 0.134 \text{sec}$, Time to peak ejection rate (TTPER): $0.066 \sim 0.301 \text{sec}$ 韓國人患者에 關한 報告를 하였다.

2. 負荷試驗^{26, 35, 40, 65, 66)}: 安靜時의 心機能指標의 成績만으로는 心機能不全의 潛在性이나 心機能의 余備力等 充分히 評價할 수 없으며 負荷에 反應하는 心機能指標所見이 必要하다.

a) 動的負荷: 負荷試驗에는 動的負荷 dynamic exercise, 等尺性負荷 isometric exercise test, atrial pacing 등이 있다. 動的負荷는 骨格筋을 收縮-伸展을 反復하는 律動運動에 依한 負荷이며 日常生活의 運動에

가장 類似하며 따라서 가장 生理的인 負荷이나 呼吸機能, 心臟pump機能, 末梢循環과 血液의 性狀, 代謝機能等 諸要因과 心臟自体에도 前負荷, 後負荷, 心拍數, 收縮性等 많은 因子가 複雜하게 關與한다. 그러나 Rushmer에 依하면 心拍出量의 增加는 中等度以下の 運動에서는 交感神經의 興奮에 依한 心筋의 收縮性的 增加와 心拍數의 增加가 主이며 Stroke Volume은 別로 變化가 없다고 한다. 그러나 極端의으로 運動量을 增加하면 心室擴大에 依한 stroke volume 增加가 發生한다고 한다.

運動을 開始하면 呼吸數와 心拍數가 急激히 增加하고 酸素消費量과 心拍出量이 增大한다. 酸素攝取量은 運動開始와 함께 急速히 增大하고 2~3分後에 plateau에 達하며 이 水準에서 酸素攝取量과 酸素消費量의 均衡狀態가 되며 酸素消費量과 CI關係를 Donald index로 表示된다.

Donald index : Cardiac index = $3.708 + 0.00534 \times X$
(X: 酸素消費量, ml/min/M²)

Exercise factor (ExF): 運動으로 酸素消費量 100 ml/分の 增加에 對한 心拍出量의 比率이며
$$ExF = \frac{\text{心拍出量增加分}(ml/\text{分})}{\text{酸素消費量增加分}(ml/\text{分})} \times 100$$
이다.

正常人에서 酸素消費量 100 ml/分の 增加때 心拍出量의 增加는 600 ml/分이고 ExF는 正常人에서 600이며 心不全에서는 ExF가 600 以下로 低下된다.

虛血性 心疾患에서는 重症度에 따라서 反應이 틀리다. 即 輕症에선 輕한 負荷로는 正常인과 같고 Cardiac output, stroke volume, heart rate가 增加하고 驅出期의 收縮性表示의 各指標도 增加한다. 그러나 負荷增加를 더하면 heart rate는 顯著히 增加하고 stroke volume은 減少한다. 重症에서는 heart rate增加와 stroke index의 低下가 顯著하다.^{36, 39)} 正常心에서 end-diastolic pressure 下降하고 LV work가 增加하며 中等度障害서는 LV end-diastolic pressure 上昇, LV work 增加하고 重症에서는 LV end-diastolic pressure 上昇하고 LV work가 低下된다. 狹窄性弁膜疾患에서도 運動으로 弁兩便의 pressure gradient가 增加하고 mitral stenosis에서는 中等度까지에서는 運動으로 Cardiac output 增加하면서 左房壓도 顯著히 上昇한다.³⁷⁾

b) 等尺性負荷 isometric exercise test: 持續的筋收縮을 하는 運動이며 不動物체를 미는 動作等이다. 이때 靜脈의 緊張性을 上昇시키고 副交感神經의 刺激을 減少하게 作用한다. Handgrip exercise 法으로 正常人에서 heart rate, B.P cardiac output가 增加하며, 末梢血管抵抗은 不變이고 stroke volume에도 變化없으며 Cardiac output 增加는 heart rate 增加에 依한다. 靜脈還流量은 增加하나 LV end-diastolic pressure는 輕微하게 增加

할뿐이다.

3. 等容收縮의 收縮性指數(Isovolumetric phase indices): 많은 指標는 前·後負荷로 變함으로 이것과 獨立된 純粹한 心筋收縮性表現의 指標가 必要하며 後負荷(afterload)의 影響이 적은 等容收縮期가 注目되었고 이 收縮期間의 單位時間壓變化量 dp/dt가 使用되며 大概是 peak dp/dt가 使用되고 前負荷 prelooad의 影響을 除去하기 爲한 補正式이 提案되었다. 그러나 아직 完全한 指標는 없고 現在는 Vmax가 前·後負荷의 影響을 가장 적게 받는다고 生覺되고 있다.

Peak dp/dt: 壓記錄計에 微分回路를 挿入하여 壓과 同時に 記錄한다(圖 14參照) peak dp/dt는 大動脈弁의 開放前 等容收縮期에 生기며 이로서 後負荷의 影響이 적다. 左室에 MR, VSD等이 있으면 測定이 困難하다. Peak dp/dt는 前負荷의 影響은 받으나 크지는 않다. Grossman 成績에 依하면 正常人에서 peak dp/dt는 930~2340 mmHg/sec 이다.²⁶⁾ 이 指標는 正常 range가 넓어서 正常과 病的의 鑑別에는 難點이 많으나 1個人에서 運動前後나 藥物投與前後等 心筋收縮性的 短時間內變化에는 敏感한 指標이다.

前負荷에 對한 補正式: 前負荷의 表現方法에 따라서 3가지 式이 提案되고 있다.

i) peak dp/dt/LVEDC: LVEDC는 左室擴張末期의 短軸에서의 圓圍이며 cm로 表現하고 左室造影法이나 心 Echo를 使用하여 短軸을 計算한다. Quinones에 依하면 正常人에서 120 ± 5.3 mmHg/秒/cm 이며²⁶⁾ 前負荷, 後負荷의 變化의 影響을 안받는다고 한다. 그러나 左室肥大가 있을때는 問題라고 한다.

ii) peak dp/dt/LVEDV: LVEDV는 左室擴張末期 容積이며 本指標의 單位는 mmHg/秒/cm 이고 i)과 類似하다.

iii) peak dp/dt/LVEDP: EVEDP는 左室擴張末期 壓임

收縮期壓을 使用하는 補正式:

i) peak dp/dt/IIP: IIP는 integrated isovolumic pressure (mmHg·sec)의 略語이다. IIP는 developed pressure를 使用하고 이것은 左室收縮으로 上昇한 壓을 말하며 左室收縮期壓에서 擴張末期壓을 뺀 壓值이다. IIP를 使用하는 것은 Sonnenblick에 依하여 IIP는 前負荷의 變化와 正比例의으로 變化한다는 成績에 根據을 둔것인데 Frank에 依하면 이 指標도 正常인과 不全心의 鑑別이 잘 안된다고 한다.

ii) peak dp/dt/IP: Vergaut (1965)가 提案하였으며 IP는 instantaneous pressure의 略語이며 peak dp/dt時點에서의 左室壓이며 peak dp/dt의 時點의 develo-

ped pressure (等容收縮期壓)와 peak dp/dt 와의 比는 前負荷의 影響을 받지않고 一定하다는 研究에 따라서 IIP 使用보다 正確하고 簡單하다고 主張되고 있다. Patterson에 依하면 犬의 正常價는 28 ± 0.4 /秒이다.²⁶⁾

iii) peak $dp/dt/MIP \times 2\pi$: MIP는 等容性收縮의 左室壓最大値이며 mmHg로 表現된다. r는 左室擴張末期容積V에서 $r = 3\sqrt{\frac{3V}{4r}}$ 의 式에 依하여 求한다.

이 指標는 Frank (1968)이 提案하였으며 左室의 size 影響을 除去하기 爲한 式이며 正常價는 1.33 ± 0.21 /秒/cm이다. 心不全例과 over lap는 적으나 後負荷影響을 無視할 수 없다고 한다.

iv) Developed pressure 40mmHg 때의 dp/dt : developed pressure가 꼭 40mmHg가 되어야 되는 必要性은 없으나 40mmHg가 널리 使用되고 있으며 前負荷影響은 받으나 後負荷影響은 그반 받지않고 同一症例에서 收縮性을 比較하는데는 適合한 指標라한다. 正常値는 32.5 ± 2.1 /秒이다.

Time to peak dp/dt (t-peak dp/dt : 左室收縮開始부터 peak dp/dt 에 達하는 時間이며 收縮性이 높으면 速이 peak dp/dt 에 達한다. Mason (1965)의 提案이며 正常犬値는 5.3 ± 1.4 msec이다.²⁶⁾ 收縮性이 增加되면 t-peak dp/dt 가 短縮된다.

Vmax : Sonnenblick가 提案한 有名한 指標이다.

筋肉의 길이를 一定하게 하고 後負荷를 漸次 增加시키면 發生張力은 增加하지만 筋肉短縮이 減少하고 筋肉短縮速度 ($V = dl/dt$)도 低下된다. 反對로 後負荷를 漸次 減少시키면 筋肉短縮速度는 漸次 增加되고 後負荷가 0이 되면 筋肉短縮速度는 最高値에 達한다. 後負荷를 여러가지로 틀이는 狀況에서 各各 始作과 後負荷를 減少시켰을때 筋肉短縮速度變化의 曲線位置는 左方으로 移動되나 後負荷가 0일 때의 筋肉短縮速度는 같은 値이며 各前負荷가 틀리는 때의 後負荷가 筋肉短縮이 發生되지 않는 即 筋肉短縮速度가 0인 時點에서 後負荷減少에 對應하는 筋肉短縮速度增加의 經過曲線의 位値는 틀리지만 後負荷가 0일 때의 最大筋肉短縮速度는 同一筋肉에는 같으며 各 經過曲線의 時點이 一點으로 集結된다. 따라서 이 數値인 Vmax은 前負荷에 關係있고 關係가 있는 後負荷도 負荷가 0임으로 關係가 없어져 結果前・後負荷에 關係되지 않는 收縮性의 指標이다.(圖 8參照) 그리고 Vmax은 digitalis, Calcium, Catecholamin等陽性變力作用이 있는 物質投與로 上昇 되어 더욱 注目을 끈 指標이다. 그러나 生体内에서 後負荷가 0이 되는 狀態는 없으므로 後負荷와 筋肉短縮速度關係曲線을 記錄하고 이 曲線을 後負荷 0까지 外插하여 그 數値를 얻게 된다.

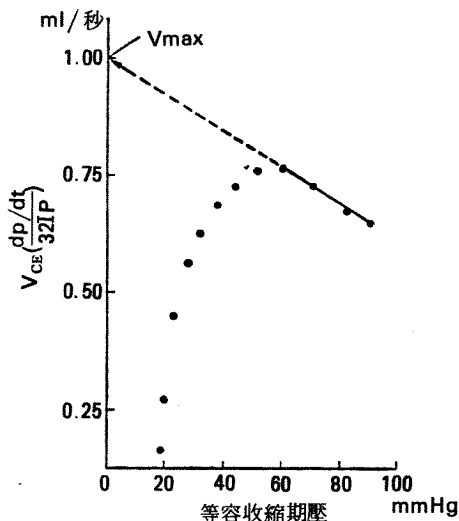


圖 15. Mason方法에 依하여 心室內壓에서 Vmax 求法.

Mason (1970)은 $V_{ce} = \frac{dp/dt}{KP}$ 와 左室壓曲線을 使用하여 Vmax를 求하였으며²⁶⁾ k는 32라는 一定値를 使用하고 各等容收縮期壓(IP)때의 $\frac{dp/dt}{32IP}$ 를 plot하고 그 直線을 外插하여 短縮速度를 表示하는 縱軸과의 交叉點을 Vmax로서 그 値를 求하였다.(圖 15 參照) 그러나 Vmax 値를 구하는데 k의 數値, 壓에 左室內壓과 developed pressure, 外插에 直線 或은 指數曲線을 使用하느냐에 따라서 差異가 發生하며 Vmax는 理論적으로 좋은 指標이나 實測에 問題點이 많고 正常과 異常値와 overlap가 많으며 Pollack는 Vmax가 前負荷에 對하여 完全히 獨立의도 아니라 한다.

Vpm (physiologic maximum) : Mirsky (1971)가 提案하였으며 等容收縮期中の $\frac{dp/dt}{kp}$ 의 最高値를 Vpm라 하여 收縮性을 잘 表示하는 指標라 하였고 k를 28로 하여 1.6circ/sec 以上을 正常으로 하고 있다.²⁶⁾ 그러나 이 指標도 前負荷의 影響을 받는다고 한다.

4. 驅出期の 收縮性指標(Ejection phase indices)

: 心臟 pump 機能指標는 全身의 循環器系에 對한 心臟의 pump 作用을 評價하는 것이며 臨床症狀과의 比較는 잘되나 臨床症狀이 心不全때 體液性因子의 加味等複雜하여 純粹한 心筋收縮性評價에는 不明確한 點이 많다. 等容收縮期의 指標는 大動脈弁이 開放되기 前이며 따라서 全身의 循環影響을 적게 받고 있어 心筋收縮性을 더 純粹하게 評價할 수 있다는 長點은 있으나 臨床症狀의 反影이 잘 되지 않는 點이 있다. 驅出期の 指標는 兩者의 中間에 位置하며 大動脈弁膜이 開放되고 있는 左室

의 수축성을 검사하는 것이며 좌실이 長期間 어떤 範圍內的 後負荷, 前負荷에 依하여 만들어진 環境에 適應하고 있는 좌실의 機能을 檢査하고 있어 相當히 많은 因子가 介入된 指標임으로 좌실이 環境變化에 順應된 時期의 驅出期 機能指標을 檢査하면 臨床적으로 有用한 指標이다.

驅出率 (ejection fraction): $\frac{\text{Stroke Volume}}{\text{End-diastolic Volume}}$ 의 비이며 여러가지 方法으로 測定되나 心 Echo로 非觀血的으로 容易하고 比較的 正確히 測定되며 正常左室驅出率は 0.58~0.70 이고 臨床에서 널리 使用된다.

平均收縮期驅出率 mean systolic ejection rate(MSER): $\frac{\text{CI}}{\text{SEP}} = \frac{\text{SI}}{\text{sep}} (\text{ml/驅出時間(秒)}/\text{M}^2)$ (CI: Cardiac index $\text{ml/分}/\text{M}^2$, SEP: 1分間中の 收縮時間(秒/分), SI: stroke index $\text{ml/拍}/\text{M}^2$, SEP: 1心拍에서의 收縮時間(秒/拍))

正常値는 $159 \pm 39 \text{ ml/秒}/\text{M}^2$ 이며 이 指標는 前·後負荷의 影響을 받는다. 一般的으로 前負荷影響을 除去하기 爲하여 mean normalized Systolic ejection rate (MNSER) = $\frac{\text{MSER}}{\text{LVEDV}}$ 을 使用하며 LVEDV는 左室造影法으로 測定하며 本指標正常値는 $2.29 \pm 0.05/\text{秒}/\text{M}^2$ 이다.²⁶⁾

左室後壁平均收縮速度 (mean left ventricular posterior wall velocity: mean PWV): 心 echo 圖서 心室後壁의 上昇脚에 直線을 긋고 1秒間後 增加한 mm를 求하며 正常値는 38mm/sec 이다.

Peak V_{CF} (最大圓周短縮速度): V_{CF} 는 左室圓周의 收縮率이며 收縮期中 各時點에서의 圓周收縮率中 最大의 變化率이며 $\text{peak } V_{CF} = \text{peak} \left(\frac{dc}{dt} \right)$ 이다.

(C: 그 時點의 圓圍, dc/dt : 左室圓周短縮速度)

이 指標의 正常値는 2.64~3.04/sec이며 前負荷의 影響은 別로 안받으나 後負荷影響은 많이 받으므로 心拍數와 血壓은 記錄하고 判定한다.

V_{CF} at peak stress (最大應力時의 圓圍短縮速度): 最大張力發生時의 筋肉短縮速度는 心筋의 收縮要素의 短縮速度이며 心室에는 壁厚가 있어 應力(stress)을 使用하여 測定한다. 正常値는 1.73~2.03/sec이며 本指標는 前負荷影響은 別로 안받으나 後負荷의 影響은 받으므로 收縮性的 完全한 表現으로 안되고 別로 使用안된다.

Mean V_{CF} (平均 圓圍短縮速度): $\text{Mean } V_{CF} = \frac{C_{ED} - C_{ES}}{C_{ED} \cdot ET}$ (C_{ED} , C_{ES} : 擴張末期와 收縮末期의 左室短軸에서 求한 圓圍, ET: 驅出時間) 圓圍는 左室을 回轉橢圓體로서 容積과 長軸에서 計算하여 求한다. 正常値는 1.09~1.63/sec이며²⁶⁾ 前負荷影響은 받지

않고 後負荷影響을 받으며 臨床적으로는 V_{CF} at peak stress 보다 簡便한 mean V_{CF} 가 使用된다.

E_{max} : 菅, 佐川等이 研究한 것이며 橫軸에 左室容積, 縱軸에 左室內壓을 表示하고 心筋收縮弛緩의 四角 loop를 記錄하며 諸條件下의 收縮末期點을 連結하는 直線의 橫軸에 對한 勾配가 E_{max} 이며 正常人의 E_{max} 는 6.9(5.2~8.4)mmHg/cm이고²⁶⁾ epinephrine을 投與한 成績은 E_{max} 가 6.6±1.2에서 12.2±4.5mmHg/cm로 增加한다.(圖 12 參照)

心筋酸素消費量을 表示하는 指標:

心筋酸素消費量을 規定하는 因子를 檢討하여 그것을 表示하는 몇가지의 指標가 報告되고 있다.²⁶⁾

Index of cardiac effort(double product): LV Systolic pressure×Heart rate이며 Katz(1958)가 提案하였고 LV systolic pressure代로 動脈의 收縮期血壓을 使用한다.

Tension time index(TTI): (Pressure time per minute)(PTM)(triple product): $\text{TTI(PTM)} = \text{LV em (or AOsm)} \times \text{SEP}$.

Sarnoff(1958)가 提案한 것이며 LVem: 驅出期の 平均左室壓, AOsm: 收縮期の 平均大動壓, SEP: 1分間에서 收縮時間(秒/分)임.

Pressure time per beat(TBA) = LVem(or AOsm) × sep.

Neill(1963)이 提案하였고 TTI에서 SEP代로 1心拍의 收縮時間(秒/拍)을 使用한 것이다.

Force time per beat(FTB):

$\text{FTB} = \text{MSF} \times \text{sep}$, $\text{MSF}(\text{dyne}) = 1,333 \times 4\pi r_1^2$, Gorlin(1965)이 提案한 것이며 mean systolic force(MSF)는 平均收縮期左室壓(LVsm), r_1 은 收縮期平均左室內腔半徑이며 左室은 球形으로 前提하고 計算한다. 1,333은 mmHg를 “힘”으로 變換하는 係數이다.

이 指標는 左室壓과 容積과 1心拍中の 收縮時間 sep(秒/拍)로 算出한다.

Contractile element work index per beat(CEW per beat): Britman(1964)이 提案하였으며 筋內收縮 model의 收縮要素(CE)의 收縮과 直列彈性要素(SE)의 伸展으로 하는 “일”量을 測定한다.

$\text{CEW(per beat)} = \text{LVsm} \times 1,333 \times \left(\text{SI} + \frac{\text{MSV}}{9.6} \right)$

(LVsm: 左室平均收縮期壓, SI: stroke index, MSV: 平均收縮期容積/體表面積 = $\text{EDV} + \text{ESV}/2\text{BSA}$)

Contractile element work index per minute(CEW

per minute): $CEW(\text{per minute}) = CEW(\text{per beat}) \times HR$

心室擴張機能의 臨床의 指標 :

擴張機能일 心室全體로서의 指標値와 心筋에還元시킨 値도 區分한다. 心室全體의 値는 心室擴張의 壓과 容積關係에서 誘導되고 心筋의 値는 心室構成的 心筋의 應力·歪曲(stress·strain relation) 關係에서 誘導된다.

心室全體로서의 指標: $dp/dv(\text{wall stiffness})$: Diamond(1972)는 導子尖端 manometer로 ΔP 를, 色素希釋法으로 ΔV 를 求하고 $\Delta P/\Delta V$ 를 計算하여 正常人에서 0.045mmHg/ml , 虛血性疾患에서는 上昇되고 0.5mmHg/ml 以上이면 豫後가 不良하다고 하였다.

manometer로 ΔP 를, 色素希釋法으로 ΔV 를 求하고 $\Delta P/\Delta V$ 를 計算하여 正常人에서 0.045mmHg/ml , 虛血性疾患에서는 上昇되고 0.5mmHg/ml 以上이면 豫後가 不良하다고 하였다.

$dv/dp(\text{distensibility, Compliance})$: Garsch(1972)²⁶⁾는 左室造影法으로 求한 正常人的 擴張末期值 $[dv/dp]_{ED} = 3.0 \pm 0.2\text{ml/mmHg} \cdot M^2$

心筋으로서의 擴張機能: 心筋의 應力(stress)·歪曲(strain) 關係는 Mirsky(1974)가 提案하였다.²⁶⁾

$E = d\sigma/d\varepsilon = k\sigma + C$, E : elastic modulus (彈性率)

左室을 回轉橢圓體로 取扱하고 非 Hook 物質의 應力(σ), 歪曲(ε), 間의 相關關係式을 使用하였으며 이 式의 計算은 複雜하여 電算機가 必要하다. Mirsky의 正常人 $E = 526 \pm 95\text{g/cm}^2$, $k = 15.8 \pm 2.3$ (k = 心筋彈性特性指數)이다.

左室壁平均擴張速度(mean diastolic posterior wall velocity: mDPWV): 心 echo에서 左室後壁 echo의 降下傾斜에 直線을 긋고 1秒後에 減少된 mm로 表示한다.

Systolic time interval(STI)⁷¹⁻⁷⁵⁾

心拍出量이 增加하면 ejection phase가 延長되고 isovolumetric period가 短縮되는 등 心臟周期分割의 分析測定으로 心血流力學的變化를 究明할 수 있는 研究가 많으며 Weissler 등은 ECG, 心音圖, 頸動脈波, 心尖拍動圖의 同時記錄을 分析하여 非觀血的 左心室機能評價方法으로 確立하였으며 近來는 心超音波圖도 併用하며 $Q-I_M$ interval, pre-ejection period(PEP), isovolumetric contraction time, ejection time(ET), PEP/ET, isovolumetric

relaxation time, rapid filling time, slow filling time,等 이 區分測定 或은 算出되며 心機能狀態를 表示한다.⁶⁷⁾ Systolic time interval에 關하여서는 李等⁶⁸⁾, 徐等⁶⁷⁾, 權昌⁷⁰⁾, 等 權寧等⁷²⁾ 車等⁷⁴⁾ 김等⁷¹⁾, 朴泰等⁷⁵⁾ 朴暎等⁷³⁾의 많은 業績이 報告되고 있으며 이中 PEP/ET 比는 心不全診斷에 有用하다.

心機能의 分類(程度)

NYHA의 分類:

1度: 心臟疾患은 있으나 身體活動에 制限이 없는 것

2度: 身體活動에 輕度の 制約이 있고 安靜時에 無症狀이고 甚한 勞作에 心愁訴가 發生한다.

3度: 身體活動에 高度의 制約이 있고 安靜時에 無症狀이나 普通以下の 勞作에서도 心愁訴가 發生한다.

4度: 모든 身體活動에 苦痛이 있고 安靜時에도 心愁訴가 있다.

Killip의 分類:

1度: 心不全이 없는것

2度: 心不全이 있고 肺 rale 聽取, gallop sound, 靜脈壓上昇

3度: 重症心不全으로 肺水腫發生

4度: Cardiogenic shock.

Forrester의 分類: Cardiac index (CI): $2.2\text{ l/min}/M^2$, pulmonary wedge pressure (PWP): 18mmHg 를 標準으로 區分한 것이며

Subset 1: CI $2.2\text{ l}/M^2$ 以上, PWP 18mmHg 以下

Subset 2: CI $2.2\text{ l}/M^2$ 以上, PWP 18mmHg 以上

Subset 3: CI $2.2\text{ l}/M^2$ 以下, PWP 18mmHg 以下

Subset 4: CI $2.2\text{ l}/M^2$ 以下, PWP 18mmHg 以上の

4 subset로 區分한다.

心係數 $l/\text{min}/M^2$		
	Subset 1	Subset 2
2.2	Subset 3	Subset 4
	18 肺動症楔入部 壓 mmHg	

IV. 韓國人에 關한 心機能評價業績概觀:

徐等⁷⁶⁾은 韓國人心超音波圖를 使用하여 左心室容積과 機能을 報告하였다.

朴(成)等⁵³⁾은 正常人과 VSD나 MS가 있으나 心機能이

臨床적으로 正常이었던 16例를 對象으로 左室導子法, 心血管造影術 및 心 echo 圖와 左室壓曲線의 一次微分으로 dp/dt 를 얻고 Computer를 使用하여 左室擴張末期壓 $3 \sim 12\text{mmHg}$, Cardiac index $4.9 \pm 1.32 \text{ l/min/M}^2$, Ejection fraction $71.2 \pm 8.04 \%$, $V_{\text{max}} : 48.1 \pm 9.41/\text{sec}$, $V_{\text{pm}} : 39.3 \pm 8.13/\text{sec}$ 를 正常人의 數値로 報告하였다. 朴(鍾)等⁵⁴⁾은 正常人 10例와 慢性弁膜症 37例에 對하여 心 echo 圖와 心室造影法으로 壓-容積曲線, Stress-容積曲線を 記錄하여 Eiso와 Ees를 求하고 Cardiac index와 높은 相關關係가 있는것을 報告하고있다. 全等⁵⁵⁾은 $^{99\text{m}}\text{Tc}-\text{HSA}$ 使用 放射線同位元素心室造影術과 放射狀區劃分割方式으로 局所心拍出係數(regional ejection fraction)을 正常人 13例와 心筋梗塞症 19例에서 測定報告하고 있다. 鄭等⁵⁶⁾은 心 echo 圖를 使用하여 心不全患者의 左心室 dimension, stroke volume, cardiac output, ejection fraction, mean V_{CF} 等 血力學的動態의 prazosin 效果를 報告하였다. 朴等⁵⁷⁾은 高血壓性左心肥大的 心機能變化, 金等⁵⁸⁾은 心 echo 圖와 radionuclide ventriculography에 依한 ejection fraction 測定值을 59例에 比較하였고, 南等⁵⁹⁾은 心 echo 圖와 心電圖로 心室期外收縮前後의 心臟機能을 比較하였으며 李等⁶⁰⁾은 systolic time interval, 心 echo 圖, radionuclide angiography 등을 使用하여 心臟毒性이 있는 doxorubicin 投與에 依한 左心室擴張機能을 觀察하였다. 金等⁶¹⁾은 心 echo 圖로 各種弁膜症 60例에 關하여 大動脈後壁 motion을 觀察하였고 柳等⁶²⁾은 心 echo 圖와 radionuclide angiogram으로 ASD의 手術前後의 左心室機能을 比較하여 左心室過容積의 左心室에 미치는 影響을 觀察하였고 朴等⁶³⁾은 正常人과 弁膜症疾患患者에서 心 echo 圖와 左心室壓曲線을 digitize하여 電算機에 入力하고 擴張初期의 左心室彈性率變化(delta-elastance)를 觀察하였고 朴⁶⁴⁾은 高血壓心臟病에서 心室擴張期大動脈根後壁의 運動을 心 echo 圖로 究明하였다. 洪等⁶⁵⁾은 正常人과 各種弁膜症患者에 運動負荷 心 echo 圖檢査를 實施하고 ejection fraction, shortening을 比較觀察하였으며 朴等⁶⁶⁾은 慢性大動脈弁膜閉鎖不全症患者에 運動負荷 心 echo 圖檢査를 16個月에 再檢査하여 繼續的觀察을 하고 있다.

以上같이 韓國內에서도 心室의 力學 및 心機能에 關하여 業績이 적지않으며 特히 서울醫大循環器內科와 全南醫大 및 漢陽醫大循環器內科의 心機能의 臨床的研究業績들은 높이 評價하는 바이다.

REFERENCES

- 1) Mason DT: *Congestive heart failure*, yorke Medical Books, Dun-Donnelley publishing Co. Newyork, 1976
- 2) Sponiz Sonnonblick, EH and Spiro D: *Relation of ultrastructure to function in the intact heart : Sarcomere structure relative to pressure volume curves of intact left ventricles of dog and cat*, *Circulation Res* 18: 49, 1966
- 3) Sonnenblick EH: *Force-Velocity relations in mammalian heart muscle*, *Am J physiol*, 202: 931, 1962
- 4) Parmley WP, Yeatman, LA and Sonnenblick EH: *Differences between isotonic and isometric force-velocity relations in cardiac and skeletal muscle*, *Am J Physiol* 219: 546, 1970
- 5) Parmley WW, Chuck L and Sonnenblick EH: *Relation of V_{max} to different models of cardiac muscle*, *Circulation Res* 30: 34, 1972
- 6) Noble MIM and Else W: *Reexamination of the applicability of the Hill Model of muscle to cat myocardium*, *Circulation Res* 31: 580, 1972
- 7) Pollack GH, Huntsman LL and Verdugo P: *Cardiac muscle models, an overextension of series elasticity?* *Circulation Res* 31: 569, 1972
- 8) Pollack GH: *Maximum velocity as an index of contractility in cardiac muscle a Critical evaluation*, *Circulation Res*. 26: 111, 1970
- 9) Quinones MA, Gaasch WH and Glexander JK: *Influence of acute changes in preload, afterload, contractile state and heart rate on ejection and isovolumic indices of myocardial contractility in man*, *Circulation* 53: 293, 1976
- 10) Kreulen TH, Bove AA, McDonough MT, Sands MJ and Spann JF: *The evaluation of left ventricular function in man, a comparison of methods*, *Circulation* 51: 677, 1975
- 11) Wallace AG, Skinner Jr, NS and Mitchell JH: *Hemodynamic determinants of the maximal rate of left ventricular pressure*, *Am J physiol*, 205: 30, 1963

- 12) Mason DT: *Usefulness and limitations of the rate of rise of intra ventricular pressure(dp/dt) in the evaluation of myocardial contractility in man*, *Am J Cardiol* 23:516, 1969
- 13) Borow KW, Green LH, Grassman W and Braunwald E: *Left ventricular end-systolic stress-shortening and stress-length relations in humans; normal values and sensitivity to inotropic State*, *Am J Cardiol* 50:1301, 1982
- 14) Mahler F, Ross Jr J, O'Rourke RA and Covell JW: *Effects of changes in preload, afterload and inotropic State on ejection and isovolumic phase measures of contractility in the conscious dog*, *Am J Cardiol* 35:626, 1975
- 15) Hammermeister KE, Brooks RC and Warbasse JR: *The rate of change of left ventricular volume in man; I validation and peak systolic ejection rate in health*, *Circulation* 45:729, 1974
- 16) Sagawa K, Suga H, Shaukas AA and Bakalar KM: *End-systolic pressure/ volume ratio: A new index of ventricular contractility*, *Am J Cardiol*, 40:748, 1977
- 17) Sagawa K: *The end-systolic pressure-volume relation of the ventricle: Definition, modifications and clinical use*, *Circulation* 63:1223, 1981
- 18) Covell JW and Ross Jr J: *Nature and significance of alternations in myocardial compliance*, *Am J Cardiol*, 32:449, 1973
- 19) Grossman W: *Cardiac catheterization and angiography*, 2nd Ed, Lea & Febiger, Philadelphia 1980
- 20) Feigenbaum H: *Echocardiography* 4th Ed. Lea & Febiger Philadelphia 1986
- 21) Berman DS and Mason DT: *Clinical nuclear cardiology*, Grune & Stratton, New York 1981
- 22) Braunwald W: *Heart Disease, a textbook of Cardiovascular medicine*, WB Saunders Co 1984
- 23) Hurst JW: *The Heart*, 6th Ed, McGraw-Hill Book Co 1985
- 24) Callen IR: *Symposium on noninvasive cardiac diagnosis I* *Med Clin N Am* 64:1, 1980
- 25) Callen IR: *Symposium on noninvasive cardiac diagnosis II*. *Med Clin N Am* 64:2, 1980
- 26) 木本正一, 中澤誠: *心臓機能の臨床* 中外醫學社 1983
- 27) Guyson AC: *Text book of medical physiology*, WB Saunders Co 1981
- 28) 後藤昌義外共著: *生理學*, 理工學社 東京 1980
- 29) Kitamura K, Abe H and Sagawa K: *New approaches in Cardiac Mechanics*, Japan Scientific Societies press, 1986
- 30) 久田澄夫, 官城裕, 野村雅則, 菱田仁, 水野康: *心筋の力學と心室の收縮性*, *最新醫學* 30:1162, 1975
- 31) 菅弘之: *心拍出量との關係からみた心臓のポンプ機能*, *最新醫學* 30:1176, 1975
- 32) 楠川禮造, 星野恒雄: *心力學指標に關する檢査法*, *内科* 37:1066, 1976
- 33) 安田壽一: *Vmax の臨床的評價*, *最新醫學* 30:1155, 1975
- 34) 久田澄夫, 野村雅則, 菱田仁, 水野康: *心不全の機序と治療 I. 心筋收縮機能との關連* *内科* 33:589, 1974
- 35) 紅露恒男: *負荷と心收縮能*, *最新醫學* 30:1168, 1975
- 36) Cohn PF, Gorlin R, Herman MV, Sonnenblick EH, Cohn LH and Collins Jr, JJ: *Relation between contractile reserve and prognosis in patients with coronary artery disease and a depressed ejection fraction*, *Circulation* 51:414, 1975
- 37) Hawey RM, Ferrer MI, Samet P, Bader RA, Bader ME, Coninand A and Richards DW: *Mechanical and myocardial factors in rheumatic heart disease with mitral stenosis*, *Circulation* 11:531, 1955
- 38) Kitamura S, Echevarria M, Kay JH, Krohn BG, Redington JV, Mendez A, Znoiate P and Dunne EF: *Left ventricular performance before and after removal of the noncontractile area of the left ventricle and revascularization of the myocardium*, *Circulation* 45:1005, 1972
- 39) Hamilton GW, Murray JA and Kennedy JW: *Quantitative angiocardiology in ischemic heart disease, the spectrum of abnormal left ventricular function and the rate of abnormally contracting segments*, *Circulation* 45:1065, 1972
- 40) Quinones MA, Grash WH, Waisser E, Thiel HG and Cilexander JK: *An analysis of the left ventricular response to isometric exercise*, *Am Heart J* 88:29, 1974

- 41) Massie BM, Schiller NB, Ratshin RA and Parmley WW: *Mitral-septal seperation: New echocardiographic index of left ventricular function*, Am J Cardiol 39:1008, 1977
- 42) Lew W, Henning H, Schelbert H and Karliner TS: *Assessment of mitral valve E point-septal seperation as an index of left Ventricular performance in patients with acute and previous myocardial infarction*, Am J Cardiol 41:836, 1978
- 43) Lewis JR, Parku JO and Burggraf GW: *Mitral valve motion and changes in left ventricular end-diastolic pressure: a Correlative study of the PR-AC interval*, Am J Cardiol 42:383, 1978
- 44) Spooner EW, perry BL, Sterss AM and Sigma-nn JM: *Estimation of pulmanary/ systemic resistance from echocardiographic systolic time intervals in young patients with congenital or acquired heart disease*, Am J Cardiol 42:810, 1978
- 45) Renganathan N, Sivaciyan V and chishalim R: *Effects of post extra Systolic potentiation on systolic time intervals*, Am J Cardiol 41:14, 1978
- 46) McDonald IG and Hobson ER: *a comparison of the relative value of noninvasive techniques-echocardiography, systolic time interralls, and apexcardiagraphy-in the diagnosis of primary myocardial disease*, Am Heart J 88:454, 1974
- 47) Ross Jr J and yoran C: *Distirution of sarcomere lengths during acute and chronic variations in left uerrtricular volume (abstract) Supple, II to Circulation 45 d 46, 1972*
- 48) Skloven D, Peterson K, Uther J and Ross Jr J: *Comparison of isovolumic and ejection phase indices of contractility in man (abstract), Supple II to Circulation, 45 d 46, 1972*
- 49) Baon J, Kahl FR, Flint JF and Szidon JP: *Peak acceralation of aortic flow as an index of myocardial contractility, (abstract). Supple II to Circulation 45 d 46, 1972*
- 50) 篠山重威, 菅弘之: シンポジウムⅢ: 心筋の収縮と弛緩の病態(抄録) abstracts of the 50th annual Scientific Meeting of the Japanese Circulation Society, 1986
- 51) 趙相均·方英柱·朴性勲·朴鍾勲·朴永培·徐正燮·李迎雨: 左心室擴張期末期壓上昇의 心超音波圖所見, 대한내과학회잡지, 26:176, 1983
- 52) 李命默·李迎雨: 左心室容積曲線에 관한 研究—非觀血의 方法에 의한 容積曲線의 信憑度判定 및 分析—순환기; 13:287, 1983
- 53) 朴成昱·韓東宣·金正鉉·朴鍾勲·李命默·朴永培·崔允植·徐正燮·李迎雨: 正常韓國人의 心臟收縮機能에 관한 研究, 순환기, 14:1, 1984
- 54) 朴鍾勲·李迎雨: 慢性弁膜疾患에서 左心室收縮力에 관한 研究(收縮期壓力容積 및 stress-容積關係를 中心으로), 순환기 14:215, 1984
- 55) 金永大·吳東眞·曹明燦·李命默·李明哲·徐正燮·李迎雨: 急性心筋梗塞症에서 局所心搏出係數 및 局所心室壁運動에 관한 臨床的觀察, 순환기 15:27 1985
- 56) 鄭鎮元·權現·梁東熙·鄭敏英·李相明·姜貞採·朴玉圭: Prazosin이 鬱血性心不全의 血力學的動態에 미치는 影響, 순환기 12:181, 1982
- 57) 朴良圭·朴玉圭: 高血壓性心臟病에서 左心室肥大가 心機能에 미치는 影響, 순환기 13:135, 1983
- 58) 이성희·서세웅·김성구·권영주·방사성 동위원소 심혈관조영술 및 심초음파도에 의한 심박출계수의 비교에 관한 연구, 순환기 15:393, 1985
- 59) 南相鶴·李邦憲·李禎均: 心室性期外收縮時 左心室機能의 心超音波圖의 研究, 순환기 12:99, 1982
- 60) 李邦憲·南相鶴·林憲吉·李禎均: Doxorubicin이 左心室擴張機能에 미치는 影響에 관한 研究, 순환기 15:573, 1985
- 61) 金承覺·朴祥珍·南光祐·丁明鎬·尹永鉞·姜貞採·朴玉圭: 各種 心臟弁膜疾患 患者의 大動脈後壁심에 코圖에 關하여, 순환기 15:587, 1985
- 62) 柳奎亨·金永大·金寧中·李命默·李明哲·崔允植·徐正燮·李迎雨: 右心室過容積이 左心室 機能에 미치는 血力學的變化에 관한 研究, 순환기 14:201, 1984
- 63) 朴鍾勲·이영우: 판막폐쇄부전증에서 확장기초기의 좌심실 Elastance 변화율($d-E$)에 관한 연구, 순환기 14:7, 1984
- 64) 朴良圭: 高血壓性心臟症에 있어서 心室擴張期 大動脈根後壁의 運動速度에 관한 研究, 순환기 14:301, 1984
- 65) 洪慶杓·金裕祐·李命默·朴永培·崔允植·徐正燮·李迎雨: 心臟弁膜疾患에 있어서 心에 코圖를 이용한 運動負荷檢査, 대한내과학회잡지 25:1214, 1982

- 66) 朴成昱・金致政・金哲鎬・李命默・朴永培・崔允植
徐正燮・李迎雨: 慢性大動線弁閉鎖不全壓患者에서
의 心超音波圖를 利用한 運動負荷檢査— 運動負荷
檢査에서 얻어진 指標를 中心으로한 臨床經過 및
豫後관찰에 대하여—순환기 15:61, 1985
- 67) 徐舜圭・崔致浩・俞興善・李種仁・盧英茂・宋熙昇
: 非觀血的方法에 依한 正常韓國人 左心室周期에
關한 研究, 대한내과학회잡지 20:670, 1977
- 68) 李命默・朴永培・李迎雨: 心에코圖에 依한 左心室
收縮期時間間隔에 關한 研究, 순환기 13:313, 1983
- 69) 崔昌弼・權昌運・金重玖・全在殷・朴義顯・朴熙明
: Nitroglycein 이 收縮期時間間隔에 미치는 영향,
순환기 12:89, 1982
- 70) 權昌運・朴周星・李秉基・全在殷・朴義顯・朴熙明
: 心超音波圖를 이용한 收縮期 및 擴張期時間間隔
의 計測, 대한내과학회잡지 26:717, 1983
- 71) 김자천・양석원・임중윤・고영박・이영・김교명:
심근경색증의 합병증 예측지수로서 수축기시간간격
과 QT-QS₂ 값의 임상적 유용성, 순환기 14:259,
1984
- 72) 權寧韓・李吉良・金一奉・金大煥・崔龍煥・朴熙明
: 心臟弁膜症의 收縮期時間間隔, 순환기 10:9, 1980
- 73) 朴英奎・林憲吉・李邦憲・李禎均: 心超音波圖에 依
한 左心室收縮時間間隔과 肺動脈高壓症과의 相關關
係에 關한 研究, 순환기 15:595, 1985
- 74) 車光洙・李相庸・柳彥浩: 韓國人 高血壓患者의 收
縮期時間間隔에 關한 研究, 순환기 13:165, 1983
- 75) 朴泰顯・鄭先根・黃興坤・林憲吉・李邦憲・李禎均
: 擴張性心筋壓에 있어서 心超音波圖에 依한 左心
室機能의 評價, 순환기 14:81, 1984
- 76) 徐舜圭・崔致浩・宋熙昇: 正常韓國人の Echocar-
diogram(心超音波圖)에 關한 研究, 대한내과학회
잡지, 20:381, 1977