人工的心筋梗塞に就いて

日本医科大学生理学教室, 研究生

臼 井 進

Susumu Usui

A. 緒 言

心筋梗塞は冠状動脈或いはその分枝の閉塞により血行の全く杜絶した場合で、虚血性壊死を生ずる。また、最近では冠状動脈の内膜下出血により冠状動脈を閉塞して心筋梗塞を惹起することが認められている¹⁾。心筋梗塞は心筋の或る部分の虚血状態が十分に長い間、強い形で持続する時に生ずるのであろう。心筋梗塞に関する研究は、古くは Eppinger 及び Rothberger²⁾ が実験的心筋梗塞に於いて、T の変化を見出してから、Kahn³⁾, Smith⁴⁾, Bayley⁵⁾, 桜沢, 谷島⁶⁾, 永村⁶⁾, 太田⁹⁾, 池田¹⁰⁾, 羽溪¹¹⁾, 松山¹²⁾, 新谷¹³⁾, 上田等¹⁴⁾ の実験的研究があり、今日其の文献は枚挙に遑ない程である。心筋梗塞の心電図は心電図学上最も特有な変化を示し、梗塞の診断上最も有力なものである事は今さらいうまでもない事である。即ち

- 1) 陰性 T (冠性 T) の出現,
- 2) ST の上昇が之に加わり,
- 3) 深い QS が之に加わる (Fig. 1)。

Fig. 1 心筋梗塞の心電図の変化

1928 年 Parkinson 及び Bedford¹⁵⁾ は心筋梗塞を T₁ 型と T₃ 型とに分けた。即ち T₁ 型は [I] 誘導にて RS-T 上昇し次いで T の逆転を示し、[III] 誘導にて RS-T 下降し次いで T は鋭く直立し、T₃ 型とは、[I] 誘導にて RS-T 下降し、T の直立を示し、[III] 誘導にて RS-T 上昇し、T の逆転を示すものである。Barnes, Whitten¹⁶⁾ は T₁ 型は屢々左室前壁及び心尖部即ち、左冠動脈前下降枝の領域に梗塞の生じた場合にして、T₃ 型は左室後壁基底即ち、左右冠動脈の廻旋枝に梗塞の発生した場合であるといっている。1933 年に至り Wilson, Macleod, Bacher, Johnstone & Klostermeyer¹⁷⁾ は 66 例の心筋梗塞患者の E.K.G. に就いて Q を詳細に観察し 2 つの型に分類した。即ち、

Q₁ 型は [I] 誘導で Q が深く、R が小さく、[II][III] 誘導で S が深い型であり、Q₃ 型は [III] 誘導で Q が深く、[I] 誘導の Q は欠けている型である。同氏等によれば、Q の斯る変化は一般に T の変化と並行しているもので、Q₁ 型のときは T₁ 型が、Q₃ 型のときは T₃ 型が存在すると言う。桜沢, 谷島⁶⁾ 等はこの T₁ 型、T₃ 型及び Q₁ 型、Q₃ 型にもとづいて動物実験をなし、前壁梗塞には T₁ 型、Q₁ 型が、後壁梗塞では T₃ 型、Q₃ 型が、側壁梗塞には定型的变化なく、心尖部梗塞は T₁ 型と T₃ 型の混合型があらわれるといっている。

心筋梗塞の心電図診断は胸部誘導法乃至単極誘導法の導入によつて画期的進歩をとげた。以後内外の研究により、心筋の障碍程度と心電図との関係に就いての報告が多数にあり、益々心筋梗塞の診断学上、心電図は重要なものとなつてきた。私は「ラムナリヤ」が水分を吸収して漸次膨脹することに注目して、これを冠状動脈に結び、その膨脹により血管が漸次絞扼されていく状態を時間を追つて心電図を採録し、これと直接冠状動脈を結紮して起る心電図との差異を比較研究したので、ここに発表する。その前に心筋梗塞の心電図に就いていささかふれてみたいと思う。

B. 心筋梗塞の心電図に就いて

梗塞に特有な変化は、その脱落した心筋興奮によつて生ずる unbalance によるが、リズムや伝導遅延の変化は特殊筋線維伝導系に障碍がない限り起らない。梗塞に特有な心電図所見としては、つぎの 3 つがあげられる。

- 1) S-T 上昇し、R は下行脚の途中から T に移行する。
- 2) 鋭く尖つた対称性 T の出現 (coronal T)。
- 3) 深い幅の広い異常 Q の出現。

虚血部では正常な QRS と、尖鋭な陰性 T (coronal T) が、傷害部では ST の上昇が、貫壁性の壊死巣では QS 棘、或いは単に Q 棘が得られる (Fig. 2)。

実際の胸部誘導では直接心外膜誘導よりもはるかに

Fig. 2 心筋変化と心電図所見との関係

広い心外膜の電位変化に影響されるので上記の各層からの直接誘導の組合せからなる曲線が得られる¹⁸⁾ (Fig. 3)。

Fig. 3 単極誘導による梗塞心電図模型

Bayley²³⁾の動物実験的考察によれば、冠状動脈結紮により、先ず T が逆転し、次いで ST が上昇し、結紮をとくと先ず ST 上昇が元に戻り、次いで T 逆転が回復する。この場合心筋に変化なく、したがって可逆的傷害によるもので、T 逆転は心筋の虚血により、ST 上昇は傷害によるとした。結紮を更に続けると、R が消失して Q を生じ、この場合心筋は組織学的に壊死を来す。この壊死を起して発生する Q について、

Wilson¹⁹⁾等によれば、この大きな R は impulse が心内膜下の梗塞部を通過する時期に心室腔の陰性電位が伝達されるので、Q に続く impulse が残存した心外膜下層に達し、該部の心筋を活動させることによって生じた陽性電位であるとしているのに対し、Prinzmetal²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾等は心筋内電位に Q が元来存在し、梗塞時にはこれが心外表に伝達されて Q を生ずる場合もあるといっている。犬における心外膜面を含まない実験的心内膜下梗塞の心外膜下誘導では異常 Q を得られないといっている。

梗塞の心電図の変化は、その貧血、壊死、瘢痕化した心筋の個所 (A) だけの興奮消失にもとづくものとされているが、戸塚²⁴⁾は心筋束は或る程度隔絶伝導をしているから、正常の心筋内の興奮伝導路は決定して、今侵襲を受けた局所のみならず、その部を通る興奮波の末梢部を含めて脱落する事 (B) になり、これには心筋束の走行方向、正常興奮の伝導方向が問題であるといっている (Fig. 4)。

Fig. 4

梗塞は左室の a. cor. dext. (後壁), a. cor. sin. の r. descend. ant. (前壁)の流域に最も頻発する。その部位により、前壁梗塞、後壁梗塞と分けられている。

C. 実験方法

体重 8 kg の健康な犬を用い、先ず正常時の心電図を人間と同様な部位よりの誘導にて I, II, III, V₁, V₂, V₃, V₄, V₅ と撮影した。次いで「オーロパンソード」により静脈麻酔を行う。注射の量は手術の疼痛に反応を示さない程度とした。そのため注射量は各犬により多少の差あるも、大体 Pro. kg. 0.03~0.04 g となった。注射後麻酔の影響を見るために第 2 回の心電図撮影を行う。その後気管切開を行い、気管内に「ガラス」管を挿入固定し、酸素による強制的人工呼吸を行いながら、左胸部に弓状切開を加え、第 5 又は第 6 肋骨を約 3 cm 切除し、肋膜を切開して心臓を露出する。次いで心嚢を一部開き、任意の部に結紮を行い、直ちに心嚢及び胸壁を閉鎖する。その間、開胸時、結紮直後、約 10 分後と心電図の撮影を行い、又一方「ブ

ラウン」管にて、その間の波形の変化を主として第Ⅱ誘導につき観察した。その後は適当な時間をおいて記録をとつた。犬は手術当日は立つことも出来ないが、翌日にはほとんど自分で歩行する様になつた。

D. 実験結果

桜沢、谷島⁹⁾は実験的に開胸、心嚢を開いても、心電図にはたいした変化はなかつたと報告しているが、私の場合も同様にあまり変化は認められなかつた。

1) 左冠状動脈前下降枝結紮例

20例について実験を行つた。術後数時間にて死亡せしもの10例、24時間生存せしもの6例、3日生存せしもの2例、4日生存せしもの2例であつた。心電図上の変化は、結紮後、直ちに(1分以内)[I]でTは上向きより下向きに変化した。STの変化は、直後に、[I]でRの中央位まで上昇し、[Ⅲ]で下降、[V₃]で上昇し、5分後では、[I]ST上昇は、直後より1/3位小となり、Tは消失し、[Ⅲ]でST下降度は大体同じなるも、Tは稍々直立となり、[V₁]でST下降、[V₃][V₄]でST上昇あり。漸次STの変動は減少し、翌日になり、[I]で深いQ出現し、冠性T(coronal T)の出現あり。[Ⅲ]でTは大きく直立になり、[V₁]でPの逆転、[V₂][V₃][V₄]でTの逆転あり、[V₃][V₄]にてRの出現、冠性T(coronal T)の出現あり、所謂梗塞型を呈す。2日目より[I]でQ、Rは減少す。他は大体同様の变化を示した。4日生存した例では、4日目に[Ⅲ]でTの逆転、[V₁]でTは減少し、[V₂]で冠性T(coronal T)があらわれた(写真1参照)。

2) 心尖部結紮例

心尖部を絹糸で以つて指頭大位結紮した。実験後数

時間で死亡したもの2例、24時間生存3例、2日間生存したもの2例、15日間生存したもの1例であつた(57号)(写真2参照)。

麻酔後Tの逆転せしものは、56号の1例であつた。心電図所見は、結紮後はSTが[I][Ⅲ][V₁~V₃]にて上昇、[Ⅲ][V₃]に最も著明、10分後も大体同様にして、24時間後は、STの変動もかなり見られるが同時に冠性Tが見られた。2日目になると冠性Tも小さくなつた。15日間生存した例では、3日目になり、[V₁]でTの逆転あり、5日目よりTは上向きのV字状を呈する様になり、特にV₃で著明、10日目頃より[I][V₃]は大体正常に近い形を呈するも、[V₁]でT逆転があつた。剖見所見では、肉眼的に心尖部は完全な壊死を呈していた。

3) 「ラムナリヤ」挿入例

a. 実験方法

「ラムナリヤ」が水分の吸収により膨脹する事を利用して、これを冠状動脈にしぼり、漸次「ラムナリヤ」の膨脹するにつれて血管が閉塞される過程を時間をおつて心電図を採録した。使用する「ラムナリヤ」は外径6~7mm、長さ0.5cmのものをを使用した。Fig. 5の如き[A]、[B]の2通りのものを使用した。[A]にては使用に際し、溝の中へ血管を挿入させるために、障碍がおきやすく、実験の困難な事多きため、[B]を使用してみた。[B]使用にあたり、絹糸にての強い圧迫をさけるため、「ゾンデ」、又は鑷子をあてその上より結紮し、結紮後これを除去し、血管と「ラムナリヤ」との空間をもたせる様にした。次に「ラムナリヤ」を生理的食塩水に入れ、その膨脹程度を表1で示す。

第1表「ラムナリヤ」の膨脹について

	A	B	C	D	E
外径	6 mm	7.5 mm	7 mm	7 mm	6.5 mm
時間					
5分	6.5	8.0	8.0	7.0	7.0
10	7.0	8.0	8.0	8.0	7.0
30	7.0	8.0	8.5	8.0	7.5
40	7.5	8.5	8.5	8.2	7.7
60	8.0	8.5	8.5	9.0	8.0
90	8.5	9.0	9.0	9.5	9.0
120	9.2	9.5	9.2	10.0	9.5
180	11.0	10.0	11.0	11.0	10.0
300	13.0	12.0	13.0	12.0	12.0

Fig. 5. 使用せる「ラムナリヤ」模型図

b) 実験結果

左冠状動脈前下降枝に「A」型を挿入せしもの5例(B)を使用したもの5例にして、(A)使用例で48時間生存したもの3例、(B)を使用したもので6日間生存せしもの1例(107号)あつた。両者とも強く結紮して数時間で死亡したもの各1例あつた(102号、106号)。

(A)を使用したもの(写真3参照)、及びBを使用したもの(写真4参照)の心電図上の変化は大体同じなるも、A使用例には実験直後「I」[V₁~V₆]に於いてSTの上昇あるもすぐにもともどもどることを「ブラウン」管により認めた。実験直後に於ては変化はあらわれないが、5分後位においてTは「I」でV字状に大きく下向きにあらわれ、「III」で上向きに直立し、「V₃」で下向きとなつた。STの変化は5分後位よりあらわれ、「I」で上昇、「III」で下降、「V₁」で下降、V₃~V₆で上昇した。漸次STの変動は高度となつた。107号では「I」で15分後、101号では70分後位より冠性Tの出現があつた。70分後位より「I」でQがあらわれ漸次深いQがあらわれた。12時間後位より「I」[V₃~V₆]に於いて所謂梗塞型の型を呈する様になつた。

E. 考 案

冠状動脈結紮後の心電図上の変化は、多くの研究者の発表により、大体一定した波形を呈することはよく知られている所である。私の実験においても、大体類似した結果が出ている。私は直接冠状動脈を糸で結紮する方法と、「ラムナリヤ」が水分吸収により膨脹することを利用して、「ラムナリヤ」を血管にしぼり、時間的に観察した2つの方法による実験を行い、両者の間に波形の時間的な相違について比較検討してみた。

1. ST に就いて

冠状動脈結紮に続く心電図上の早期変化はRS-Tの偏位であり、虚血後の間接誘導における5~7分以内のRS-T偏位である。私の実験において、結紮例では、結紮直後1分以内に、「I」[V₃]でRのほぼ中央位までST上昇あり、「III」でSTの著明な下降を示す。この偏位は漸次減少し、翌日頃より基線にもどつた。一方「ラムナリヤ」使用例では、実験後5分頃よりST偏位を示し、即ち、「I」[V₃][V₄][V₆]においてST上昇、「III」[V₁][V₂]においてST下降を示し、この偏位は漸次増大し、約6時間後に最大に達し、その後漸次減少した。上田¹⁴⁾の実験によれば、組織学的に「ミトコンドリア」の腫脹、心筋線維の破壊、細

胞間浮腫が実験直後よりあらわれ、時間的に心電図と組織学的な変化とを比較しST偏差との関係について、心筋腫脹が更に強く、患部の浮腫が進行するにつれて、ST偏差は大きくなり、凝固壊死が強くなるとST偏差は小さくなるといっている。私の実験による両者のST偏差の相違も、結紮例においては、冠状動脈を急に強く結紮したり、或いは手術的關係により心筋線維が急に強く破壊されるために、直後に於いてST偏差が強くあらわれ、漸次凝固壊死が強くなつてくるためST偏差が小さくなるのであり、一方「ラムナリヤ」使用例においては、表1にみるごとく約5分後になり約1mm位膨脹するため、漸次冠状動脈が圧迫され、心筋腫脹及び患部の浮腫が時間的に強くなるためにST偏差は5分後より漸次大きくなり、約6時間後にその最高に達し、ついで凝固壊死が起るにつれてST偏差が小さくなるものと思う。

2. T波に就いて

冠状動脈結紮後のTは極めて特徴的で、「鋭く尖つた対称性T」(coronal T)である。上田¹⁴⁾は冠状動脈結紮後、直ちにTは上向きから下向きに変化し、「II」[III]誘導で高い円蓋状のTがあらわれ、実験後6時間以内に冠性Tがあらわれるといっている。私の場合、直接冠状動脈結紮例では、直ちにTは上向きから下向きに変わるもこれは時間と共に一時消失し、冠性Tは、数時間後死亡したものには見られなかつたが、24時間以上生存したものに、24時間後に[V₃][V₄]で冠性Tの出現あり、48時間後になり「I」[V₃][V₄]にあらわれた。一方「ラムナリヤ」使用例では、実験直後には変化なく、5分後になりTが下向きにあらわれ、これが消失することなく、漸次冠性Tに移行し、冠性Tは1~2時間後に全例にあらわれた。

3. Q の変化に就いて

Qのあらわれ方については、結紮例においては、24時間後に壊死著明な例にのみQの出現あり、24~48時間後に最大になつた。一方「ラムナリヤ」使用例では

直接血管を結紮した時のST T,Qの変化

「ラムナリヤ」使用時のST T,Qの変化

Fig. 6. 直接血管結紮例と「ラムナリヤ」使用例との心電図の差異について

全例に 1~2 時間後に深い Q の出現あり, 12 時間後, 即ち, 梗塞完成期に最大に達した (Fig. 6)。

4. その他の変化に就いて

実験中心室粗動は, 「ラボナール」による麻酔後に時々見られ, 又開胸後酸素の供給不十分な時にも見られた。又死亡前に於て, 末期変化としても見られた。

期外収縮は実験中時々見られた。実験直後にあらわれたものと, 梗塞を起してからあらわれたものとの 2 通りあつた。上室性期外収縮 5 例, 心室性期外収縮 8 例をみた。

脚ブロックと心筋梗塞との合併はまれではないといわれているが, 私の実験ではそれを見なかつた。

F. 結 論

私は犬を使用して心筋梗塞の実験を行つた。冠状動脈前下降枝結紮例 20 例, 心尖部結紮例 8 例, 冠状動脈前下降枝に「ラムナリヤ」を使用した例 10 例についてその実験方法, 実験結果について述べ, 結紮例と「ラムナリヤ」使用例との間の心電図上の波型の差異についてのべた。

1) ST の変化について

結紮例においては実験直後に ST 上昇し, 漸次減少するが, 「ラムナリヤ」使用においては, 実験後 5 分より ST の変化あらわれ, 6 時間後に最高に達し, 漸次減少した。

2) T の変化に就いて

結紮例にては, 実験後一時 T の逆転あるも, 漸次基線にもどり, 24 時間後より冠性 T があらわれた。「ラムナリヤ」使用例では, 術後 5 分後に T の逆転あり, これが消失することなく漸次冠性 T に移行し, 冠性 T は 1~2 時間後にあらわれた。

3) Q に就いて

結紮例に於ては壊死著明な例においてのみ, 24 時間後より Q の出現があつた。「ラムナリヤ」使用例においては, 全例に 1~2 時間後に深い Q があらわれ, 12 時間後に最大に達した。

以上述べた事を総括してみるに, Fig. 6 に示す如く結紮例に就いては, 心筋障害時にみる ST 上昇が先きにあられ, ついで虚血性波型の冠性 T があらわれ, 壊死著明なものにのみ Q があらわれたのに対し, 「ラムナリヤ」使用例にては, 虚血性波型の T の変化が先きにあられ, ついで障害時にみる ST 偏差があらわれ, 比較的短時間で Q の出現をみた。即ち, 前者の場合は, 急に血管を結紮するために, まず心筋障害がおこり, ついでその部より末梢部に虚血がおこるのに対

し, 後者は虚血が除々にあらわれ, その後漸次心筋障害があらわれてくるために, かかる上述の如き心電図上における波型の差異が生じてくるものと思う。

稿を終るにのぞみ, 終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜つた恩師戸塚武彦教授に, 深甚な感謝の御意を表する。

文 献

- 1) 村上元孝: 狭心症と心筋梗塞, 医学叢書(1951)
- 2) Eppinger, H. & Rothberger, C.T. Wien. :Klin. Wochensr. **22**, 1091 (1909)
- 3) Kahn, R.H.: Pflüger's Arch. Ges. Physiol. **140**, 627 (1911)
- 4) Smith, F.M.: Arch. Int. Med. **22**, 8 (1918): ibid, **25**, 673 (1920)
- 5) Bayley, R.H.: Am. Heart J. **24**, 514. (1942): **26**, 769 (1943)
- 6) Bayley, R.H. and La Due, J.S.: Am. Heart J. **28**, 54. (1944)
- 7) 桜沢富士雄, 谷島辰男: クレンツゲビート, **382** 第 11 (昭 12 年)
- 8) 永村秀雄: 熊本医学誌, **17**, 717 (昭 16 年)
- 9) 太田政義: 熊本医学誌, **19**, 543 (1943)
- 10) 池田邦基: 日本循環器誌, **8**, 317 (昭 17 年)
- 11) 羽澤謙融: 日本循環器誌, **15**, 239 (昭 27 年): **16**, 14, 276, 278 (昭 27 年)
- 12) 松山敬次郎: 日本循環器誌, **16**, 319, 382, 386, 387 (昭 28 年)
- 13) 新谷博一: 日本循環器誌, **18**, 338 (1954), **18**, 351, 359, 375, 386, 422 (1955): **19**, 23 (1955)
- 14) 上田英雄, 伊藤 清: 呼吸と循環, **5**, 823 (1957)
- 15) Parkinson, J. & Bedford, D.E.: Heart **14**, 195 (1928)
- 16) Barnes, A.R. & Whitten, M.B.: Am. Heart J. **5**, 142 (1929~1930)
- 17) Wilson, F.N., Macleod, A.G., Bacher, P.S., Johnston, F.D. & Klostermeyer, L.L.: Heart **16** 155 (1933)
- 18) 上田英雄, 吉田 昭: 解説心電図, 74 頁
- 19) Wilson, F.N., Rosenbaum, F.F. & Johnston, F.D.: Advances in Int. Med. **II**, 1 (1947), Interscience Pub. New York.
- 20) Prinzmetal, M. et al.: Circulation **7**, 1 (1953)
- 21) Prinzmetal, M. et al.: Am. J. Med. **16** 469 (1954)
- 22) Shaw, C.M. Prinzmetal, M. et al.: Am. J. Med. **16** 490 (1954)
- 23) Prinzmetal, M., Kenamer, R. & Maxwell, M.: Am. J. Med. **17** 610, 614 (1954)
- 24) 戸塚武彦: 生理学講義 (フリント) **II**, 日本医科大学生理学教室 59 (1955)

写真 1 左冠狀動脈前下降枝結紮例

壞 死 著 明

写真 2. 心 尖 部 結 紮 例

写真 3. 冠狀動脈に「ラムナリヤ」A 型を使用した例 (No. 101)

写真 4. 「ラムナリヤ」 B 型を使用した例 (No. 107)