

総説

# 虚血性心疾患における心電図 U 波の臨床的意義

山本 誠一

純真学園大学 保健医療学部 検査科学科

The clinical significance of the U wave in ischemic heart disease

Seiichi YAMAMOTO

Department of Medical Science, Faculty of Health Sciences,  
JUNSHIN GAKUEN University

**要旨:** 心電図 U 波は、T 波に引き続く小さな波形で、成因もまだ解明されていない。従来、U 波が陰転する陰性 U 波は、虚血性心疾患の診断に有用であるとの報告があるが、詳細な検討がなされていなかった。そこで、虚血性心疾患における陰性 U 波および陽性 U 波（異常陽性 U 波）の臨床的意義について、①責任冠動脈狭窄枝の推定が可能か？②左前下行枝の近位部狭窄と遠位部狭窄の鑑別が可能か？③左室後壁の虚血を示す、右冠動脈狭窄と左回旋枝狭窄の鑑別が可能か？④経皮的冠動脈形成術（PCI）の治療効果判定に有用か？の4点について検討をした結果、陰性 U 波および陽性 U 波が臨床的に極めて有用であった。

**キーワード:** 陰性 U 波, 陽性 U 波, 虚血性心疾患

**Summary:** The U wave is a small wave of unknown origin which follows the T wave on the electrocardiogram (ECG). The negative U wave has been reported to be useful in diagnosis of ischemic heart disease but there has not been a detailed investigation thus far. We investigated the clinical significance of the negative U wave and the abnormal positive U wave in ischemic heart disease, specifically whether U waves can be used to: 1) estimate the location of stenosis of coronary artery branches, 2) discriminate between proximal and distal stenosis of the anterior interventricular artery, 3) discriminate between right coronary artery stenosis and left circumflex artery stenosis that indicate the presence of posterior wall ischemia of the left ventricle, and 4) determine the outcome of percutaneous coronary intervention (PCI). We found that both the negative U wave and the abnormal positive U wave were clinically extremely useful.

**Keyword:** negative U wave, positive U wave, ischemic heart disease

## I. はじめに

心電図 U 波は、T 波に引き続く小さな波形で、1903年に Einthoven（心電図の父と呼称されている）により命名された<sup>1~2)</sup>。U 波は T 波より小さく、その電位の大きさは、T 波の4~25%の範囲内にあり、V<sub>2</sub>~V<sub>4</sub>誘導で最も電位（波高、振幅）が大きい。

正常 U 波の極性は T 波の極性と同方向で、aVR 誘導以外のすべての誘導で陽性であり、加齢の影響受け、50歳代以降の出現率は減少し、U 波の電位は小さくなる。

U 波の電位は、徐脈あるいは運動時では増高

し、頻脈時には、U 波は次の P 波と融合するため、その波形が明らかに認められないことがある。

従来、U 波の臨床的意義としては、低カリウム血症における U 波の増高、虚血性心疾患における陰性 U 波の有用性についてのみ述べられていた。著者らは表1に示したように、各種の疾患で U 波の検討を行い、陰性 U 波、陽性 U 波（異常陽性 U 波）の臨床的意義の高さを示した<sup>3~5)</sup>。すべての疾患についての有用性を論ずるのは紙面に限りがあるので、今回は虚血性心疾患に絞って、今までの研究で得られた知見を述べる。

表 1. 各種疾患における U 波の有用性

|  |
|--|
| <p>1. U 波増高(異常陽性 U 波)</p> <p>1) 虚血性心疾患: 後壁の虚血(陰性 U 波の reciprocal change 鏡像変化)<br/>[運動負荷後, 肢誘導, 前壁胸部誘導(<math>V_1 \sim V_4</math>)で T 波の減高を伴う U 波の増高, 右冠動脈ないし左回旋枝の狭窄](図 6 を参照)</p> <p>2) 低カリウム血症</p> <p>3) 薬物(ジギタリス, キニジンなど)</p> <p>4) QT 延長症候群など</p> <p>2. 陰性 U 波</p> <p>1) 虚血性心疾患: 左室前壁の虚血<br/>[運動負荷後, 左室側誘導(<math>V_5 \sim V_6</math>)で陰性 U 波の出現, 左前下行枝の狭窄](図 6 を参照)</p> <p>2) 弁膜症</p> <p>①左室容量負荷: 大動脈弁逆流(閉鎖不全)(同じ容量負荷でも僧帽弁逆流では陰性 U 波がみられない)</p> <p>②左室圧負荷: 大動脈弁狭窄</p> <p>③右室圧負荷: 僧帽弁狭窄</p> <p>3) 高血圧(左室圧負荷)</p> <p>4) 先天性心疾患</p> <p>①右室圧負荷: 心房中隔欠損 + 肺高血圧, 肺動脈狭窄, ファロー四徴症など<br/>[右室側誘導(<math>V_1 \sim V_4</math>)で陰性 U 波が出現. 高度では, II, III, aVF にも陰性 U 波が出現する]</p> <p>②左室容量負荷: 動脈管開存など</p> <p>③左室圧負荷: 大動脈縮窄など</p> <p>5) 心筋症</p> <p>①心尖部肥大型心筋症, 閉塞性肥大型心筋症<br/>(非対称性心室中隔肥厚型 ASH の非閉塞性肥大型心筋症では, 陰性 U 波はみられない)</p> <p>②拡張型心筋症</p> <p>③たこつば型心筋症など</p> |
|--|

## II. U 波の基礎

### 1. 健常者成人の U 波

著者が健康成人の U 波を検討した結果, 以下のような成績を得た. この成績は他の報告者と同様であった<sup>6-9)</sup>.

- 1) 対象は健常者80例(男性:40例, 女性:40例)で平均年齢53.2歳)である.
- 2) 全例で1誘導以上の陽性 U 波を認めた(出現誘導数:1~8誘導で平均4.5誘導).  
aVR では, 男性のみで7例に陰性 U 波を認めた(17.5%).
- 3) U 波の出現誘導部位は男女とも  $V_3$ 誘導が最も高頻度であった(男性:100%, 女性:95%). 続いて  $V_2$ ,  $V_4$ 誘導の順であった(図1).
- 4) U 波( $V_2$ か  $V_3$ )の最高電位誘導の計測値
  - a) U 波の電位: 平均0.05mV (0.02~0.10mV)
  - b) U 波の幅(T-U junction から U 波終末まで): 平均0.15秒 (0.10~0.20秒)
  - c) U 波高と T 波高の比率: 平均10% (4~25%)
- 5) 性別差では, 男性が女性に比し, 次の項目で有意に大であった.
  - a) U 波の出現誘導数( $P<0.001$ ), b) U 波高( $P<0.05$ ),

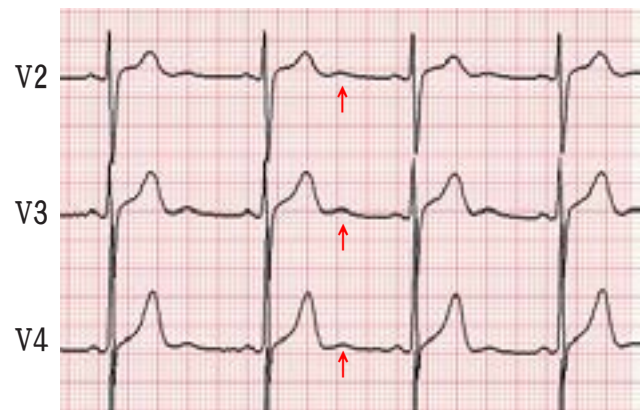


図1. 正常 U 波

- c) U 波の幅 ( $P<0.01$ ), d) T 波高 ( $P<0.01$ ).

### 2. U 波の成因

U 波の成因は, いまだ確定されておらず, 多くの議論がなされている. 現在, 注目されている主要学説は, 次の通りである.

- 1) 心室筋後電位説<sup>10~15)</sup>
- 2) 心室筋 M 細胞説<sup>14~20)</sup>
- 3) Purkinje 再分極説<sup>21~24)</sup>
- 4) 心室筋再分極遅延(乳頭筋や心室中隔など)説<sup>25~27)</sup>

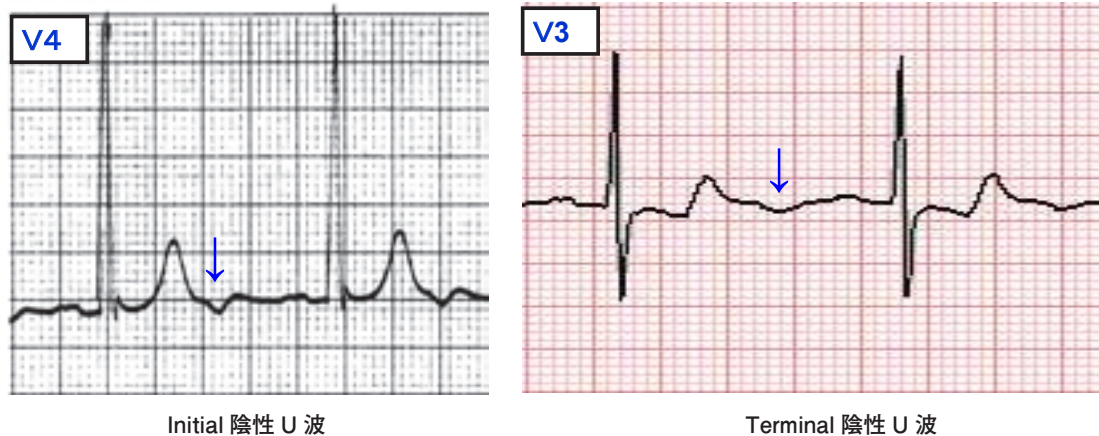


図2. 陰性 U 波の分類

## 5) 著者の考え方

U 波の成因については、著者も確証を得ていないが、次のように考えている。

- ①大動脈弁逆流、高血圧などの心筋ストレッチによる陰性 U 波の成因は心室筋後電位説で説明ができる。
  - a) 成犬で大動脈弁逆流を作成すると、陰性 U 波が出現し、それに一致して心室筋後電位が記録された。
  - b) 大動脈弁逆流、高血圧では、Initial 陰性 U 波が高頻度に出現し、三羽の仮説<sup>14)</sup>で説明ができる。三羽は Initial 陰性 U 波の成因として、高血圧でみられる陰性 U 波は拡張障害心室筋のストレッチによって誘発された後電位によって心内外膜側左室心筋間の活動電位勾配の逆転により生じるとしている<sup>14~15)</sup>。
- ②虚血性心疾患の陰性 U 波は Terminal 陰性 U 波であり、三羽の心室筋 M 細胞説で説明できる。三羽は Terminal 陰性 U 波の成因として、心筋虚血で M 細胞層内での活動電位持続時間短縮の貫壁性の不均一性とそれに基づく電位勾配の逆転が陰性 U 波の成因に関連していると考えている<sup>14~15)</sup>。
- ③心筋の肥厚による陰性 U 波の成因は長谷川らの臨床経験からも心室筋再分極遅延（乳頭筋や心室中隔など）説で説明ができる<sup>27)</sup>。

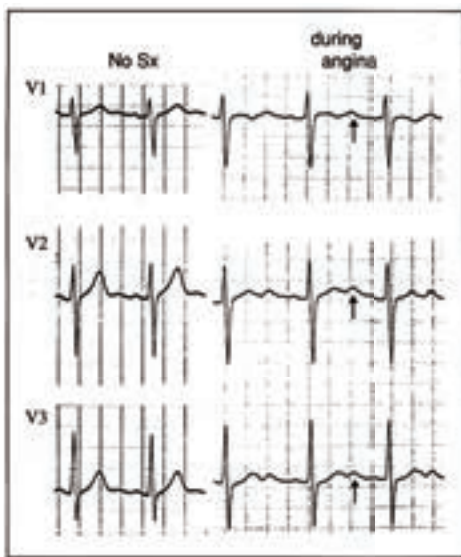
現在においても正常 U 波、異常 U 波の成因はいまだはっきり確定していない。陰性 U 波の成因は病態においても同一とはかぎらず、各々の病態により異なった機序の可能性もある。陰性 U 波の成因がどのような機序であっても、

臨床的には異常所見であり、陰性 U 波が出現する誘導部位が、異常部位であることが明らかであり、临床上、大変有用であると考えている。

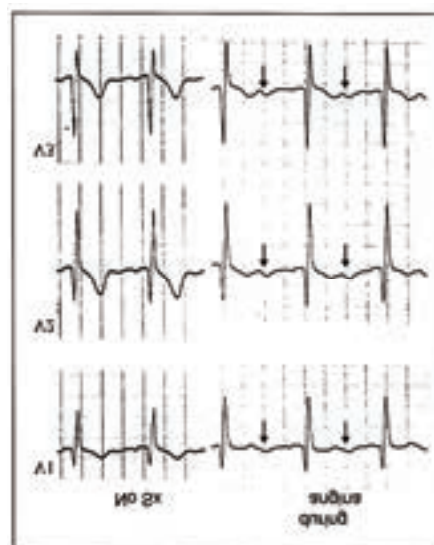
## 3. 異常 U 波

- 1) 異常 U 波には、陽性 U 波（異常陽性 U 波）と陰性 U 波がある。
  - 2) 陽性 U 波は以下の場合とする。
    - a) U 波の電位（波高、振幅）が T 波の電位より高電位の場合
    - b) T 波の減高を伴う前壁胸部誘導の U 波の増高
    - c) 胸部誘導で 0.2mV 以上の場合、肢誘導で 0.1mV 以上の場合
  - 3) 陰性 U 波では、T-P 線上で低電位でも明らかに陰性であれば、陰性 U 波とする。陰性 U 波の出現は aVR を除いて、すべて異常である。
  - 4) 陰性 U 波には、Initial 陰性 U 波および Terminal 陰性 U 波がある（図2）。
  - 5) 虚血性心疾患における陰性 U 波は、ST 上昇、陰性 T 波と同様に陰性 U 波の出現している誘導部位で虚血が生じている。
  - 6) 陰性 U 波が消失した場合には、心筋虚血が改善された場合と病態が高度に悪化し、心筋の壊死や線維化に進展した場合の二通りがある。
4. 「前壁胸部誘導の T 波減高を伴う陽性 U 波の増高」が、なぜ後壁の虚血をあらわすのか？
- 1) 陽性 U 波は後壁の虚血の心電図変化を reciprocal change として捉えている<sup>28)</sup>（図3）。
  - ①後壁の虚血の心電図変化を後壁で見ると、T 波





(A)



(B)

図3. 狭心症発作時の陽性U波 (A) と reciprocal change (B) との関係  
45歳, 男性 右冠動脈 seg. ②99%狭窄. (文献29から引用)

が増高し, 陰性U波が出現する.

- ②この変化を前壁胸部誘導で見ると, reciprocal change として捉えられ, T波の減高を伴う陽性U波増高が認められると考える.
- ③陽性U波が前壁胸部誘導で増大, 明瞭に出現する理由としては, もともと存在する陽性U波と後壁の虚血性陰性U波の Reciprocal change として反映している陽性U波が重複して出現するためと考えられる.

## 2) 食道誘導心電図による証明<sup>29)</sup> (図4)

狭心症発作(胸部圧迫感)時に前壁胸部誘導および食道誘導心電図が同時記録できた1例において, 陽性U波と同時相に食道誘導(E40, 45)で陰性U波が記録されたことより, 陽性U波は「後壁」虚血の表現と考えられた.

## 3) 冠動脈のバルーンによる拡張術(POBA)中の冠動脈内心電図による証明<sup>28)</sup> (図5)

- ①右冠動脈狭窄例(seg. ③)の同部位POBA直後の心電図である.
- ②冠動脈POBA中に冠動脈内心電図(ic ECG)を同記すると ballooning の終了直後, すなわち deflation 直後にST上昇の軽減と巨大陰性U波の出現とともにV<sub>2</sub>でT波減高を伴う陽性U波を認めた.
- ③ic ECGの巨大陰性U波の reciprocal change としてV<sub>2</sub>で陽性U波が出現しており, V<sub>2</sub>の陽性U波は『後壁』虚血の表現と考えられた.



図4. 狭心症発作時における右側胸部誘導心電図と食道誘導心電図との関係  
右側胸部誘導心電図の陽性U波(↑)と食道誘導心電図の陰性U波(↓)が一致している  
(文献30から改変引用)



図5. PTCA中における冠動脈内心電図(ic ECG)と右側胸部誘導心電図との関係  
冠動脈内心電図で陰性U波(↓)が認められ, V<sub>2</sub>誘導で陽性U波(↑)がみられる.  
(文献29から引用)

5. U波の臨床応用

U波の異常を大別すると、虚血性、肥大性、ストレッチ性、その他に分類される(表1)。

- 1) 虚血性: 虚血性心疾患, 拡張型心筋症, たこつぼ型心筋症, 肺血栓塞栓症など
- 2) 肥大性: 圧負荷をきたす大動脈弁狭窄, 高血圧, 心尖部肥大型心筋症, 肺動脈狭窄など
- 3) ストレッチ性: 大動脈弁逆流, 動脈管開存など
- 4) その他: 低カリウム, 薬物のジギタリス, QT延長症候群など

Ⅲ. 虚血性心疾患の冠動脈狭窄枝の推定における陰性U波, 陽性U波の有用性

1. はじめに

運動負荷心電図は、冠動脈疾患の診断に有用であり、その判定指標としてST下降が重視されてきた。しかし、その精度は必ずしも高くなく、虚血責任冠動脈枝の推定も困難とされている。一方、陰性U波および陽性U波「肢誘導および右側胸部誘導のT波減高を伴う陽性U波増高」は、心筋虚血判定において特異度が高く、虚血責任冠動脈枝を推定しうる指標として注目されてきている<sup>5), 30~32)</sup>。

運動負荷心電図においてST下降の有無にかかわらず、運動負荷後の陰性U波(negative U

wave;NU), 陽性U波(positive U wave;PU)により、冠動脈疾患の有無、虚血責任冠動脈枝を推定しうるか否かを、冠動脈造影所見をもとに検討した。

2. 対象と方法

2-1 対象

冠動脈造影を施行した冠動脈疾患152例を対象とし、冠動脈造影所見と運動負荷心電図(Masterの2階段試験)との関連を検討した。冠動脈造影所見の内訳(75%以上の冠動脈狭窄を有意とし、心筋梗塞例は除外した)。

- a) 左前下行枝(LAD)狭窄(1枝病変):55例  
(男性:35例, 女性:20例, 平均年齢63.5歳)
- b) 左回旋枝(LCX)狭窄(1枝病変):31例  
(男性:27例, 女性:4例, 平均年齢62.6歳)
- c) 右冠動脈(RCA)狭窄(1枝病変):40例  
(男性:29例, 女性:11例, 平均年齢60.2歳)
- d) 冠動脈正常例:26例(男性:14例, 女性:12例, 平均年齢58.7歳)

2-2 検討方法

運動負荷心電図では、運動前・後のST下降、NU、およびPU(PU:肢誘導および右側胸部誘導のT波減高を伴うPUの増高)の変化で評価した。なお、ST下降、NUおよびPUのいずれかが陽性的場合を「3基準」とした(図6)。

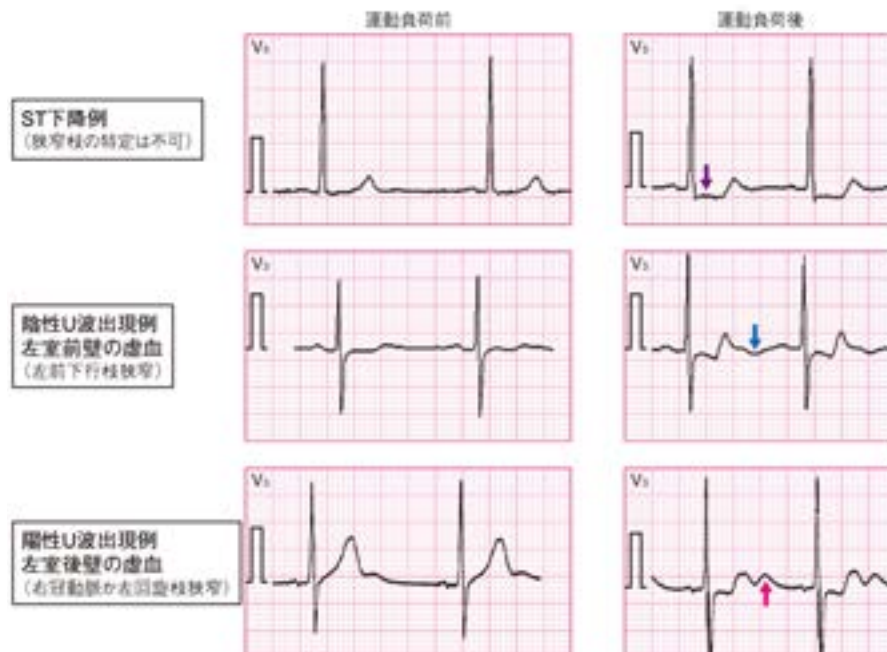


図6. 運動負荷心電図における各種陽性所見

- ①運動負荷心電図における ST 下降の判定基準
- 基線の Q-Q 線 (Q 波が無い場合は R 波の立ち上がり点) を用いて計測をした。
  - マスターの2階段試験では, 水平型または下向型の ST 下降が J 点より 60msec の点で基線より 0.05mV 以上を陽性とした。
  - 2心拍以上連続して認められた場合を有意所見とした。
- ②運動負荷心電図における NU の判定基準
- 等電位線の T-P 線を用いて計測をした。
  - 等電位線に対して, 下向きの「ふれ」を NU とした。
  - 多くの場合, T 波が増高し, NU が出現した (NU が出現した症例の中で, T 波の増高を伴っていたのが約 73% であった<sup>38)</sup>)
  - 2心拍以上連続して認められた場合を有意所見とした。
- ③運動負荷心電図における PU の判定基準
- 等電位線の U-P 線を用いて計測をした。
  - T 波減高を伴う PU の増高を陽性とした。
  - 胸部誘導では, U 波の波高を 0.05mV 以上としたが, 肢誘導では明らかに T 波の減高を伴う U 波の増高を認めた場合は 0.05mV 未満でも陽性とした。
  - 2心拍以上連続して認められた場合を有意所見とした。

## 2-3 検討項目

- 冠動脈狭窄枝別における運動負荷心電図の ST 下降, NU および PU 基準の比較
- 冠動脈狭窄枝別における運動負荷心電図の ST 下降, NU および PU の出現誘導部位
- 症例の供覧

## 3. 成績

### 3-1 LAD 狭窄例における運動負荷心電図の成績

#### 1) 各基準の陽性率 (感度), 特異度, 正診率

- NU は感度 (陽性率) 87.3%, 特異度 92.3%, 正診率 88.9% と共に良い結果を得た。
  - ST 下降は感度 52.7%, 特異度 69.2%, 正診率 58.0% と NU に比し, 低値を示した。
  - 3基準の感度は 92.7% と高率を示したが, 特異度は 69.2% であった。
  - PU の感度は 16.4% と低率であった。
  - LAD 狭窄の診断には, NU が極めて有用であった。
- 2) ST 下降, NU および PU の出現誘導部位 (図7)
- NU は胸部誘導の V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub> 誘導で高率に認められ, 続いて V<sub>3</sub>, V<sub>6</sub> であった。肢誘導では I, aVL 誘導で見られた。
  - ST 下降は胸部誘導の V<sub>4</sub>~V<sub>6</sub> 誘導で認められ, 肢誘導では II, III, aVF 誘導で見られた。
  - PU は胸部誘導で認められず, 肢誘導の II, III, aVF 誘導で認められた。これは I, aVL 誘導の NU の reciprocal change として見られたものと考えられる。

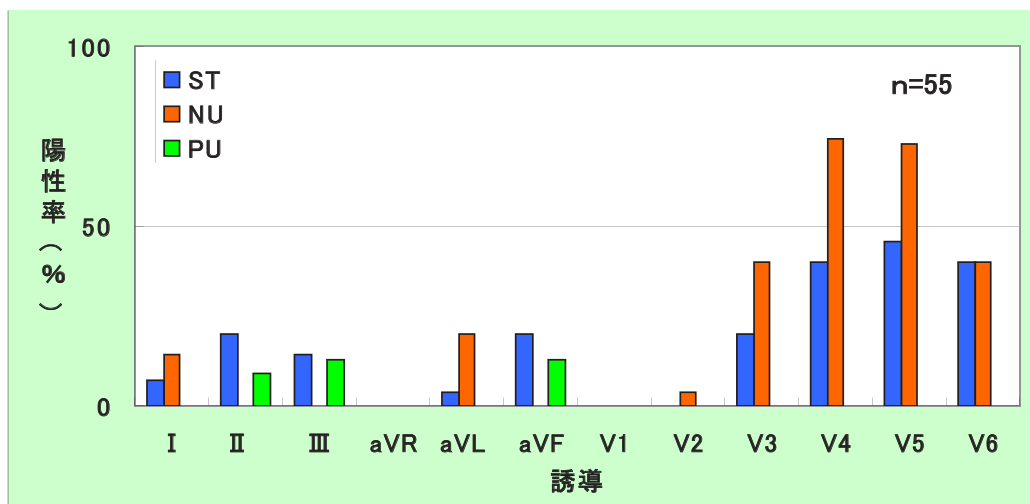


図7. 左前下行枝 (LAD) 狭窄例における運動負荷心電図陽性所見の出現誘導部位

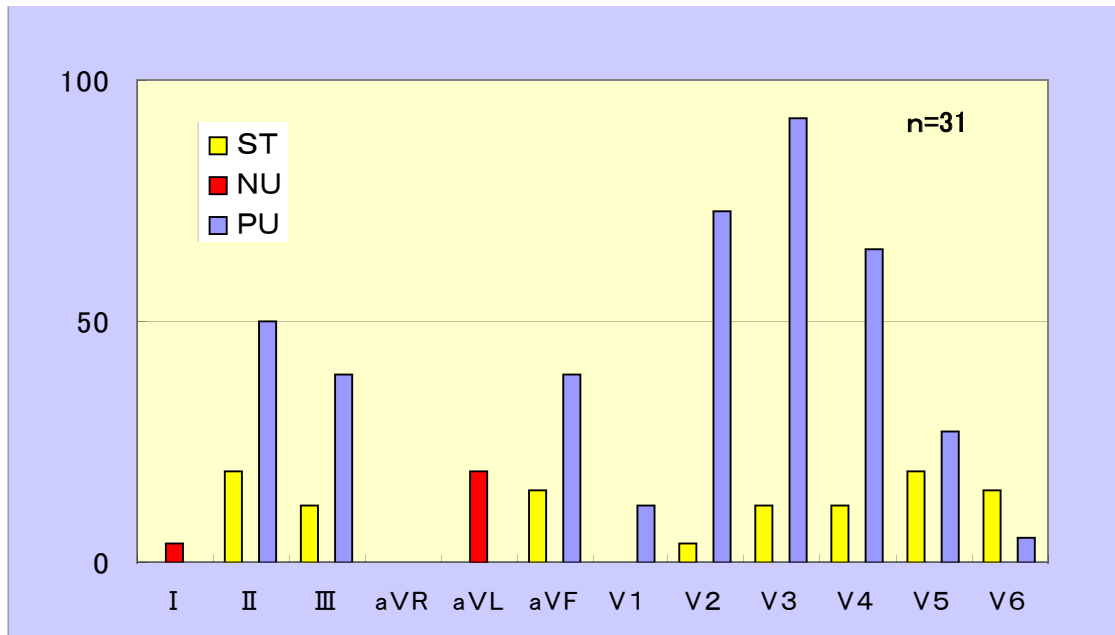


図8. 左回旋枝 (LCX) 狭窄例における運動負荷心電図陽性所見の出現誘導部位

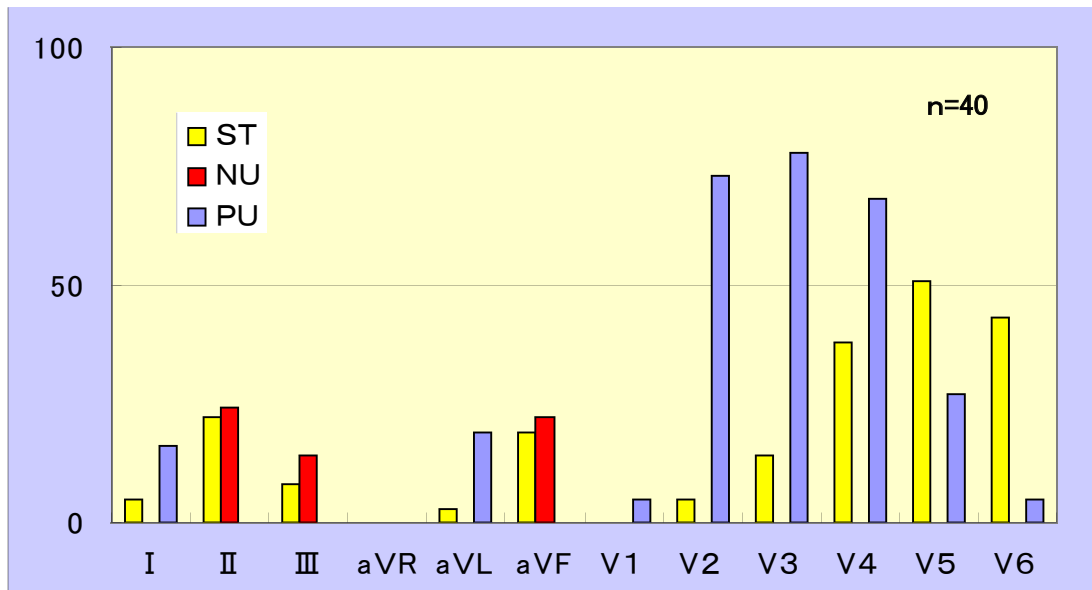


図9. 右冠動脈 (RCA) 狭窄例における運動負荷心電図陽性所見の出現誘導部位

3-2 LCX 狭窄例における運動負荷心電図の成績

1) 各基準の陽性率 (感度), 特異度, 正診率

- ① PU は感度91.2%, 特異度92.3%, 正診率91.2% と共に良い結果を得た.
- ② ST 下降は感度35.5%, 特異度69.2%, 正診率50.9%と陽性U波に比し, 低値を示した.
- ③3基準の感度は91.2%と高率を示したが, 特異度は65.4%であった.
- ④ NU の感度は16.1%と低率であった.
- ⑤ LCX 狭窄の診断には, PU が極めて有用であった.

2) ST 下降, NU および PU の出現誘導部位 (図8)

- ① PU は胸部誘導の V<sub>3</sub>誘導で高率に認められ, 続いて V<sub>2</sub>, V<sub>4</sub>であった. 肢誘導では II, III, aVF 誘導で見られた. これは I, aVL 誘導の NU の reciprocal change として見られたものと考えられる.
- ② ST 下降は胸部誘導の V<sub>4</sub>~ V<sub>6</sub>誘導で認められ, 肢誘導では II, III, aVF 誘導で見られた.
- ③ NU は胸部誘導で認められず, 肢誘導の I, aVL 誘導で認められた.



## 3-3 RCA 狭窄例における運動負荷心電図の成績

## 1) 各基準の陽性率 (感度), 特異度, 正診率

- ① PU は感度82.5%, 特異度92.3%, 正診率84.4% と共に良い結果を得た.
- ② ST 下降は感度55.0%, 特異度69.2%, 正診率60.6% と PU に比し, 低値を示した.
- ③ 3基準の感度は95.0% と高率を示したが, 特異

度は65.4%であった.

- ④ NU の感度は25.0% と低率であった.

- ⑤ RCA 狭窄の診断には, PU が極めて有用であった.

## 2) ST 下降, NU および PU の出現誘導部位 (図9)

- ① PU は胸部誘導 V<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>4</sub>誘導で高率に認められた. 肢誘導では I, aVL 誘導で見られた.

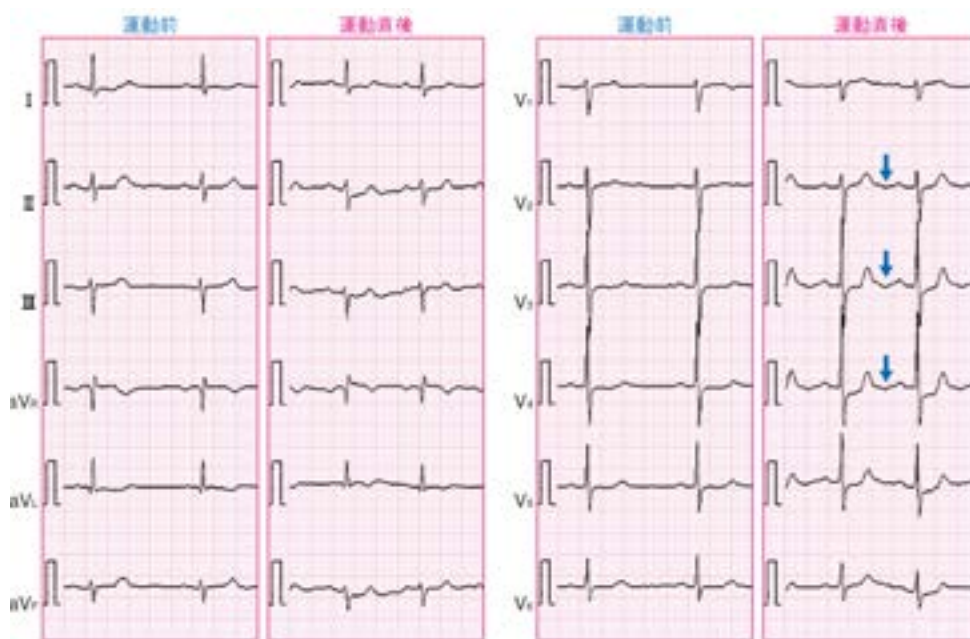


図10. 左前下枝狭窄例 (seg. ⑥ : 99%) の運動負荷前・後の心電図 (70歳, 女性)

①陰性 U 波 : V<sub>2</sub>~V<sub>4</sub> ② ST 下降 : II, aVF, V<sub>3</sub>~V<sub>5</sub>

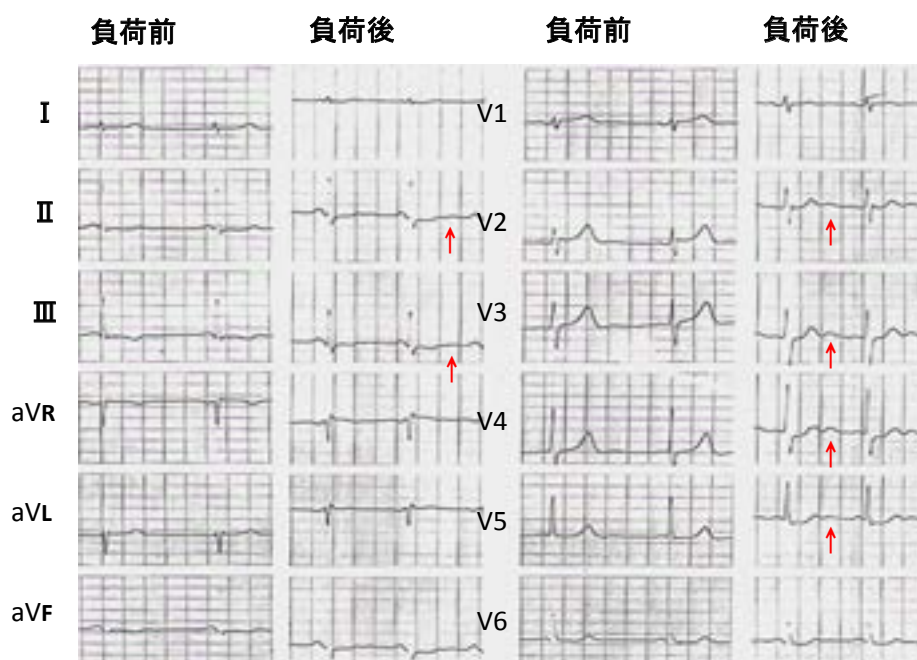


図11. 左回旋枝狭窄 (seg. ⑬ : 90%) の運動負荷前・後の心電図 (67歳, 男性)

①陽性 U 波 : II, III, V<sub>2</sub>~V<sub>5</sub> ② ST 下降 : V<sub>4</sub>~V<sub>6</sub>



これはⅡ, Ⅲ, aVF誘導のNUのreciprocal changeとして見られたものと考えられる。

- ② ST下降は胸部誘導のV<sub>4</sub>~V<sub>6</sub>誘導で認められ、肢誘導ではⅡ, Ⅲ, aVF誘導で見られた。
- ③ NUは胸部誘導で認められず、肢誘導のⅡ, Ⅲ, aVF誘導で認められた。

### 3-4 症例の供覧

- 1) LAD狭窄例 (seg. ⑥ :99%狭窄) の運動負荷前・後の心電図 (図10)  
矢印 (↓) で示すようにNUが出現しており、左前下行枝狭窄による左室前壁の強い心筋虚血所見がみられる。
- 2) LCX狭窄例 (seg. ⑪ :90%狭窄) の運動負荷前・後の心電図 (図11)  
矢印 (↑) で示すようにPUが出現しており、LCX狭窄による左室後壁の強い心筋虚血所見がみられる。
- 3) RCA狭窄例 (seg. ① :90%狭窄) の運動負荷前・後の心電図 (図12)  
矢印 (↑) で示すようにPUが出現しており、RCA狭窄による左室下・後壁の強い心筋虚血所見がみられる。

### 4. 考 察

従来から心筋虚血に最も鋭敏な心電図所見はST下降であるといわれていたが、その感度、精度とも必ずしも高くない。今回の我々の検討でも同様の結果であった。また、ST下降は、冠狭窄枝の部位、程度に関連なく、左側胸部または下壁誘導で高率に出現するため、ST下降の出現誘導部位による冠狭窄枝推定は、極めて困難であることが判明した。

一方、運動で出現するNUは、古くから心筋虚血の徴候として知られていたが、Gersonら<sup>33)</sup>により、LAD近位部狭窄に特異度の高いことが報告されている。今回の我々の検討でも、検出感度が87.3%、特異度が97.5%と共に高く、LAD狭窄の診断に信頼性の高い有用な指標であると考えられる。

LCX・RCA狭窄すなわち「後下壁虚血」に対し、「胸部誘導のT波減高を伴うPU増高」は、LCX狭窄では、検出感度が91.2%、特異度が92.3%、RCA狭窄では、検出感度が82.5%、特異度が92.3%、と両者とも共に高く、LCX狭窄、RCA狭窄の診断に極めて有用な指標であると考えられる。この一過性のPU増高の成因の解明はまだされていないが、通常、虚血性のNU出現時にT波は増高するため、後壁側のNUおよび

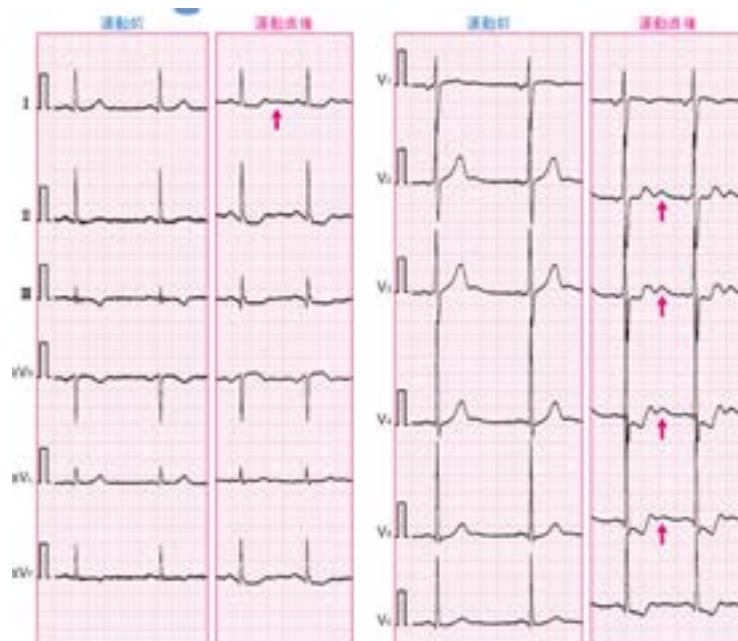


図12. 右冠動脈狭窄 (seg. ① :90%) の運動負荷前・後の心電図 (72歳, 男性)  
①陽性U波 : I, V<sub>2</sub>~V<sub>6</sub> ②ST下降 : Ⅱ, aVF V<sub>3</sub>~V<sub>6</sub>

T波増高の reciprocal change として、前胸部誘導でPUおよびT波減高として表現されるものと推察される<sup>34)</sup>。また図12の症例のようにPU増大が明瞭に出現する理由は、正常U波と後壁側のNUの reciprocal change のベクトルの合成波として表現されたためであると考えられる。

また、正常冠動脈に対して、「胸部誘導のT波増高を伴うPU増高」は、検出感度は45.0%と低いものの特異度は91.7%と高い指標である。これらことから、PUがRCA・LCX狭窄のために出現したのか、正常冠動脈で出現したかの鑑別は、T波高を計測することで容易であろう。

以上より運動負荷心電図上の「ST下降」による冠狭窄の判定精度は低く、U波とT波高変化に着目すれば、冠狭窄の有無判定のみならず、冠狭窄枝の部位も高率に判別することが可能であり、「胸部誘導のT波増高を伴うNU」と「胸部誘導のT波減高を伴うPU増高」は、極めて有用な指標と考えられる。

## 5. まとめ

冠動脈造影および運動負荷試験を実施した152例を対象とし、冠動脈狭窄枝（虚血責任冠動脈枝）の推定が運動負荷心電図で可能か否かを検討した。

- 1) LAD狭窄55例におけるNUの陽性率は87.3%、特異度92.3%と共に高率を示した。一方、ST下降の陽性率は52.7%、特異度69.2%であった。
- 2) LCX狭窄31例におけるPUの陽性率は91.2%、特異度92.3%と共に高率を示した。一方、ST下降の陽性率は35.5%、特異度69.2%であった。
- 3) RCA狭窄40例におけるPUの陽性率は82.5%、特異度92.3%と共に高率を示した。一方、ST下降の陽性率は55.0%、特異度69.2%であった。

以上の結果より、NU、PUはST下降に比し、冠動脈狭窄枝の部位診断が可能であり、その上、陽性率、特異度および正診率も共に高率を示し、臨床上、大変有用であった。

## IV. LAD狭窄における近位部狭窄と遠位部狭窄との鑑別が可能か？

### 1. 目的

左室前壁の虚血を示すLAD枝狭窄では、運動

負荷後に胸部誘導のV<sub>4</sub>、V<sub>5</sub>誘導を中心にNUが出現する。そこで今回、左室前壁の虚血を示す、LAD近位部狭窄例（第一対角枝より上部の狭窄）と遠位部狭窄例（第一対角枝より下部の狭窄）との鑑別が運動負荷心電図で可能か否かを検討した。

### 2. 対象と方法

対象は冠動脈造影を施行した冠動脈疾患76例である。冠動脈造影所見と運動負荷心電図（Masterの2段階試験）との関連を検討した。冠動脈造影所見による対象の内訳（75%以上の冠動脈狭窄を有意とした）は以下の通りである。

- 1) LAD近位部狭窄（第一対角枝より上部の狭窄）の1枝病変27例（男性:19, 女性:8, 平均年齢62.2歳）
- 2) LAD遠位部狭窄（第一対角枝より下部の狭窄）の1枝病変23例（男性:11, 女性:12, 平均年齢65.1歳）
- 3) 冠動脈正常26例（男性:14, 女性:12, 平均年齢58.7歳）

計測方法は、前述のように、運動負荷心電図では、運動前・後のST下降、NUおよびPU（PU:肢誘導および右側胸部誘導のT波減高を伴うPUの増高）の変化で評価した。

### 3. 成績および考察

- 1) LAD近位部狭窄と遠位部狭窄では両者ともV<sub>4</sub>～V<sub>6</sub>誘導でNUが高頻度に出現し（近位部狭窄:97%、遠位部狭窄:88.9%）、NUが左室前壁領域の虚血の診断に有用であった。
- 2) LAD近位部狭窄と遠位部狭窄の鑑別では、虚血範囲の広い近位部狭窄例が遠位部狭窄例に比し、NUの出現誘導部位がI, aVL, V<sub>3</sub>～V<sub>6</sub>と広範囲であり、出現誘導数も多かった（図13）。
- 3) 症例の供覧（図14, 図15）

LAD近位部狭窄では第一対角枝も含まれているので、左室前壁から側壁まで広範囲に虚血が生じる。それを反映して、NUの出現誘導部位がI, aVL, V<sub>3</sub>～V<sub>6</sub>と広範囲であり、出現誘導数も多かったものと考えられる。一方、遠位部狭窄では虚血が前壁に限局され、それを反映して、NUの出現誘導部位がV<sub>4</sub>～V<sub>6</sub>で多く見られた。

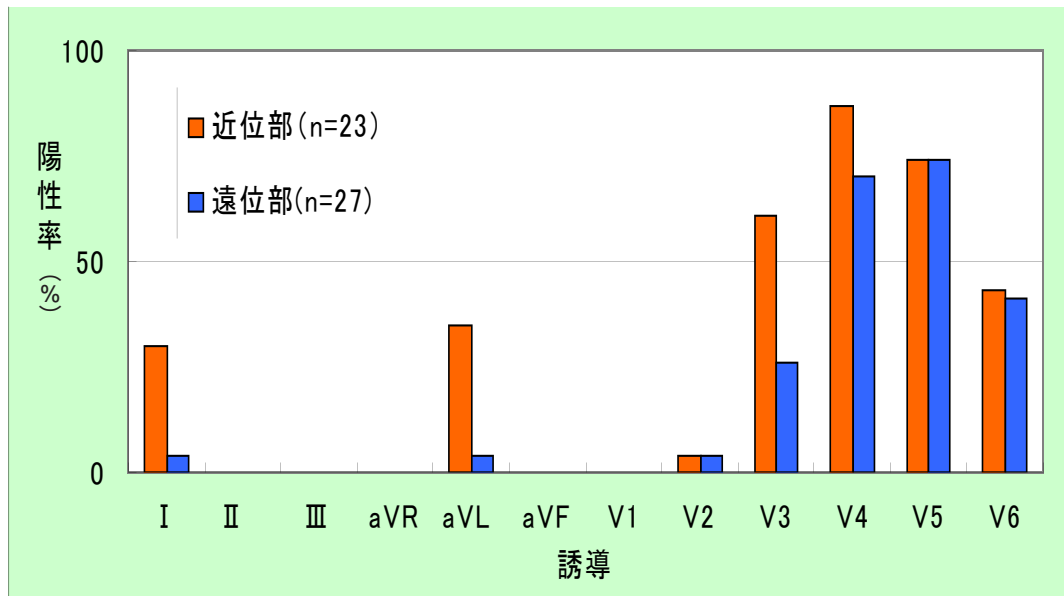


図13. 近位部と遠位部狭窄例における陰性U波所見の出現誘導部位の比較

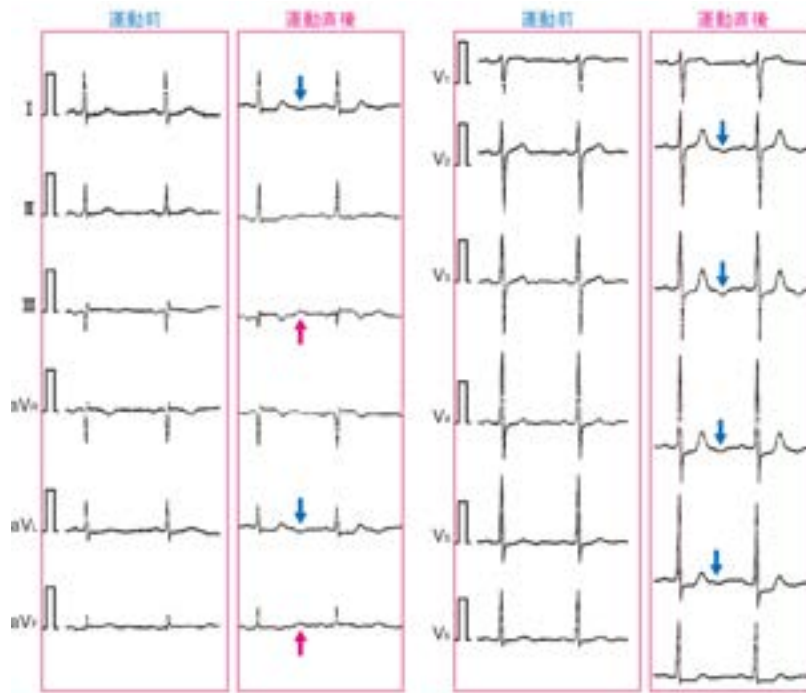


図14. 左前下枝近位部狭窄 (seg. ⑥ : 99%) の運動負荷前・後の心電図 (70歳, 男性)  
 ①陰性U波 : I, aVL, V<sub>2</sub>~V<sub>5</sub> ②陽性U波 : III, aVF ③ST下降 : I, II, aVL, V<sub>3</sub>~V<sub>6</sub>

以上の結果より, LAD 近位部狭窄と遠位部狭窄の鑑別は, I, aVL, V<sub>3</sub>を含めた広範囲誘導にNU出現しているか否かにより, 鑑別が可能であると考えられる。

後壁の虚血を示すRCAないしLCXでは, 運動負荷後に右側胸部のV<sub>1</sub>~V<sub>4</sub>誘導でT波の減高を伴うPUが出現する。そこで今回, 後壁の虚血を示す, RCA狭窄とLCX狭窄との鑑別が運動負荷心電図で可能か否かを検討した。

### V. RCA 狭窄と LCX 狭窄の鑑別が可能か？

#### 1. 目的

左室前壁の虚血を示すLAD狭窄例では, 運動負荷後に胸部誘導のV<sub>4</sub>~V<sub>6</sub>誘導でNUが出現する。

#### 2. 対象と方法

##### 1) 対象

冠動脈造影を施行した冠動脈疾患92例 (心筋梗



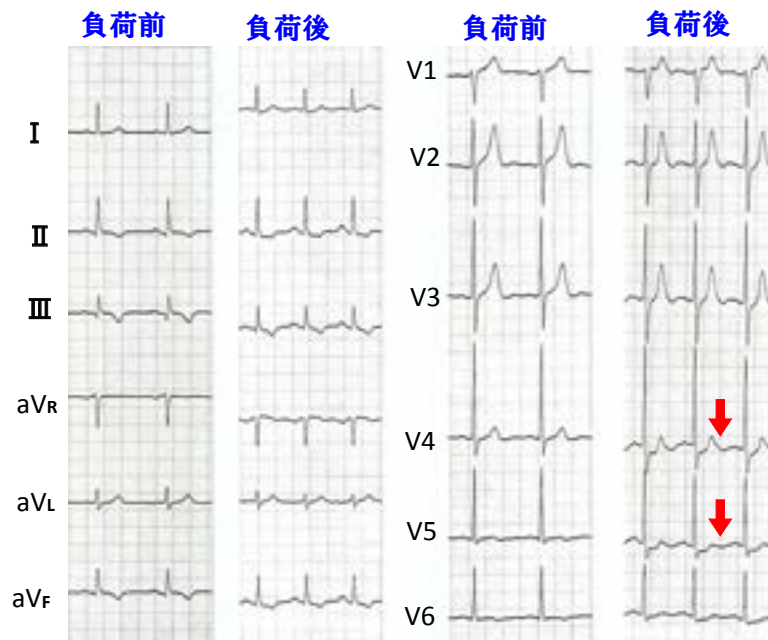


図15. 左前下枝遠位部狭窄 (seg. ⑦ : 90%) の運動負荷前・後の心電図 (73歳, 女性)  
 ①陰性 U 波 : V<sub>4</sub>~V<sub>5</sub> ② ST 下降 : II, aV F, V<sub>4</sub>~V<sub>6</sub>

塞を除く) を対象とし, 冠動脈造影所見と運動負荷心電図 (Master の2階段試験) との関連を検討した. 冠動脈造影所見の内訳 (75% 以上の冠動脈狭窄を有意とする) は以下の通りである.

- ① RCA 狭窄1枝病変 :40例 (男性 :29, 女性 :11 平均年齢 :60.2歳)
- ② LCX 狭窄1枝病変 :31例 (男性 :26, 女性 :4 平均年齢 :62.6歳)
- ③ 正常冠動脈 :21例 (男性 :11, 女性 :10 平均年齢 :59.0歳)

## 2) 検討方法

運動負荷心電図では, 運動前・後の ST 下降, NU および PU (PU: 肢誘導および右側胸部誘導の T 波減高を伴う PU の増高) の変化で評価した.

## 3. 成績および考察

### 1) RCA 狭窄 (図9)

- ①3基準と PU の陽性率が共に高率を示した. また, 特異度は PU で100%, 正診率は3基準と PU で高率を示した.
- ② PU は I, aVL, V<sub>1</sub>~V<sub>6</sub>でみられ, V<sub>2</sub>~V<sub>4</sub>で高率に出現していた. 一方, NU は II, III, aVF で出現した.

### 2) LCX 狭窄 (図8)

- ①3基準と PU が共に100% に近い陽性率を示しており, 特異度は PU で100%, 正診率は97.2% と PU で高率を示した.
- ②3基準と PU の陽性率が共に高率を示した. また, 特異度は PU で100%, 正診率は3基準と PU で高率を示した.
- ② PU は I, aVL, V<sub>1</sub>~V<sub>6</sub>でみられ, V<sub>2</sub>~V<sub>4</sub>で高率に出現していた. 一方, NU は II, III, aVF で出現した.

以上の成績から RCA と LCX では両者とも V<sub>2</sub>~V<sub>5</sub>で PU が高頻度に出現し, PU が後壁の虚血の診断に有用であることが明らかになった.

両者の鑑別としては, RCA は肢誘導で NU が II, III, aVF に, PU が I, aVL で出現する例が多かった. この II, III, aVF の NU と I, aVL の PU の出現は共に下壁の虚血を反映しているものと考えられる.

## 4. まとめ

冠動脈造影を施行した冠動脈疾患84例を対象とし, 後壁の虚血を示す, RCA 狭窄と LCX 狭窄との鑑別が運動負荷心電図で可能か否かを検討した.  
 ①左室後壁の虚血を反映した PU は, RCA 狭窄例,

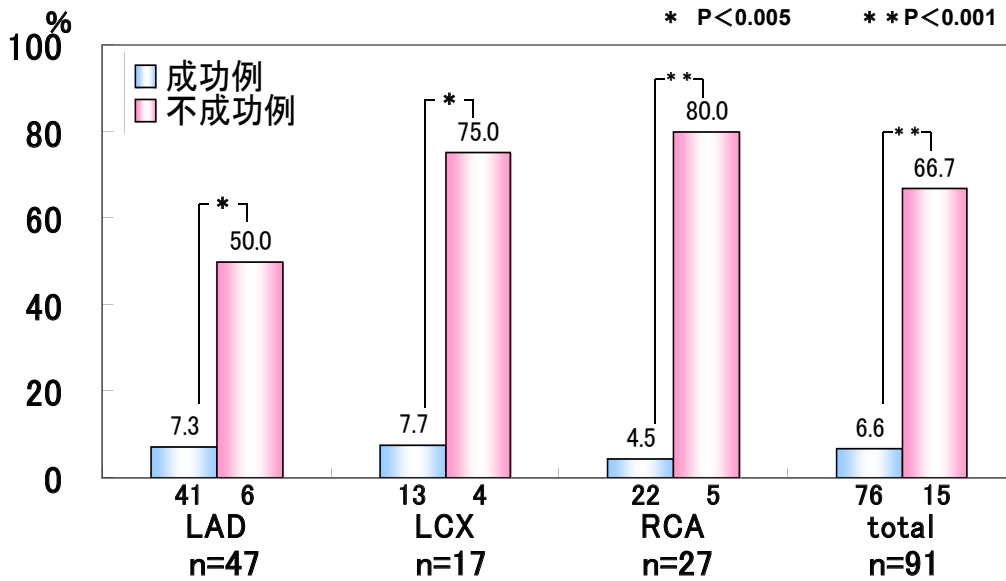


図16. PCI 成功例と不成功例における PCI 後の運動負荷心電図陽性率の比較

LCX 狭窄例ともに V<sub>2</sub>～V<sub>5</sub>誘導で高頻度に出現した。

- ② RCA 狭窄例では II, III, aVF に NU が, I, aVL に PU が出現した (下壁の虚血を反映)。
- ③ LCX 狭窄例では I, aVL に NU が, II, III, aVF に PU が出現した (側壁の虚血を反映)。

以上の結果より, 肢誘導の NU, PU の出現誘導部位をみることにより両者の鑑別はある程度可能と考えられる。

## VI. 冠動脈狭窄例における経皮的冠動脈形成術 (PCI) の治療効果判定に有用か?

### 1. 目的

冠動脈狭窄枝の診断には, 運動負荷後の心電図 NU および PU の出現が有用であることが判明している。左室前壁の虚血を示す LAD 狭窄では, 運動負荷後に胸部誘導の V<sub>4</sub>～V<sub>6</sub>誘導で NU が出現する。一方, 左室後壁の虚血を示す RCA ないし LCX 狭窄では, 運動負荷後に右側胸部誘導で T 波の減高を伴う PU が出現する。

そこで今回, 冠動脈狭窄例に対する PCI の治療効果判定に NU, PU が有用か否かを検討した。

### 2. 対象と方法

#### 1) 対象

PCI 前・後 (3ヶ月後の確認造影) で冠動脈造影を施行した冠動脈疾患91例を対象とし, 冠

動脈造影所見と運動負荷心電図 (Master の2階段試験) との関連を検討した。冠動脈造影所見の内訳 (75% 以上の冠動脈狭窄を有意とし, 心筋梗塞例は除外した) は以下の通りである。

- ① LAD 狭窄 (1枝病変) :47例 (男性 :33, 女性 :14, 平均年齢63.3歳)
- ② LCX 狭窄 (1枝病変) :17例 (男性 :16, 女性 :1, 平均年齢60.8歳)
- ③ RCA 狭窄 (1枝病変) :27例 (男性 :19, 女性 :8, 平均年齢61.6歳)
- ④冠動脈正常例 :26例 (男性 :14, 女性 :12, 平均年齢58.7歳)

### 2) 検討方法

運動負荷心電図では, 運動前・後の ST 下降, NU および PU (PU: 肢誘導および右側胸部誘導の T 波減高を伴う PU の増高) の変化で評価した。

### 3) 検討項目

- ① PCI 成功率について
- ② PCI 成功例と不成功例における PCI 後の運動負荷心電図陽性率の比較
- ③症例の供覧

### 3. 成績および考察

#### 1) PCI 成功率について

PCI 成功例は PCI 前の冠動脈造影に比し, PCI 施行3ヶ月後の確認造影で70% 以上改善した例である。PCI 成功率は LAD87.2%, LCX76.5%,

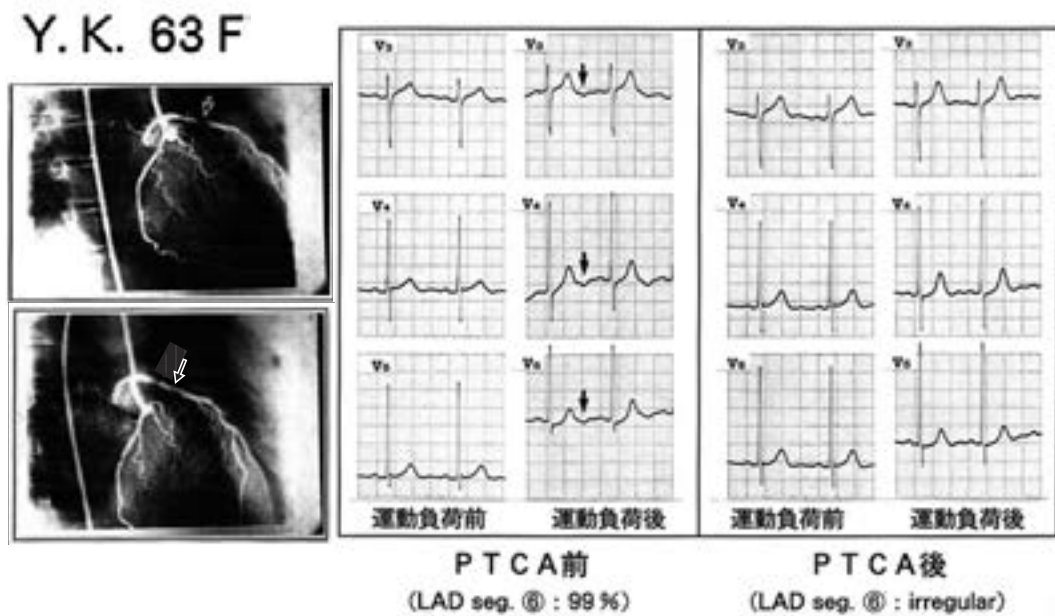


図17. 左前下行枝狭窄例における PTCA 前・後の冠動脈造影および運動負荷心電図

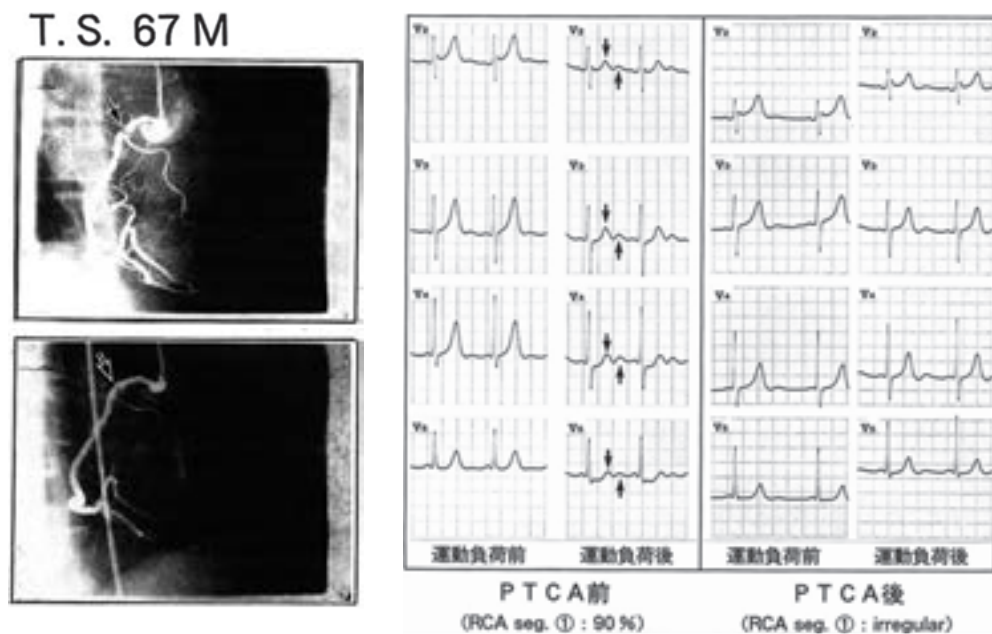


図18. 右冠動脈狭窄例における PTCA 前・後の冠動脈造影および運動負荷心電図

RCA81.5%であった。

2) PCI 成功例と不成功例における PCI 後の運動負荷心電図陽性率の比較 (図16)

LAD 群, LCX 群, RCA 群とも PCI 成功例に比し, PCI 不成功例の陽性率が有意に高値を示した。この結果は運動負荷心電図が PCI 治療評価に大変有用であることを示している。

3) 症例の供覧

①症例1 (図17)

図17は LAD 狭窄例における PCI 前後の冠動脈

造影および運動負荷心電図である。心電図左が PCI 前, 右が PCI 後である。図左上の PCI 前の冠動脈造影では, 矢印の部分が99%狭窄しており, 運動負荷後の心電図でも  $V_3 \sim V_4$  に NU の虚血所見が見られた。PCI 後は, 図左下の冠動脈造影でも分かるように, 狭窄部位がほぼ正常に改善され, それに伴い負荷後の心電図で NU は消失した。

②症例 (図18)

図18は RCA 狭窄例における PCI 前後の冠動脈



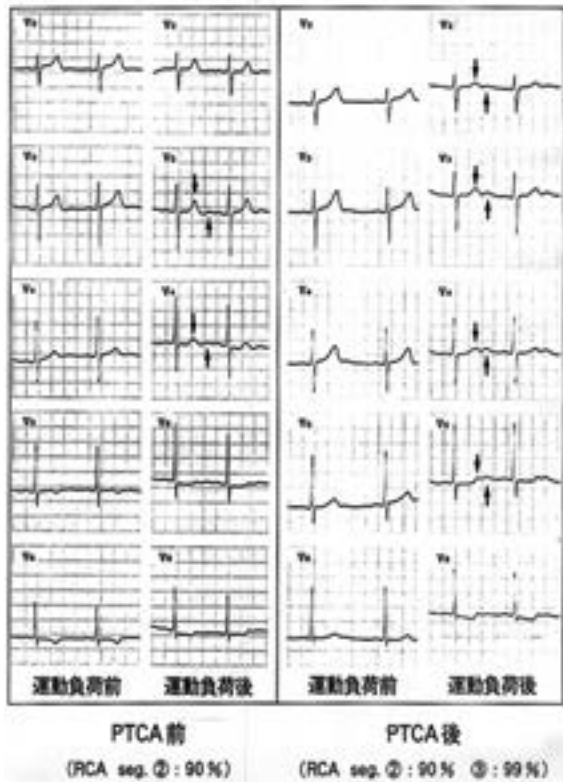


図19. 右冠動脈狭窄例におけるPTCA前・後の運動負荷心電図：再狭窄例

造影および運動負荷心電図である。心電図左がPCI前、右がPCI後である。図左上の、PCI前の冠動脈造影では矢印の部分が90%狭窄しており、運動負荷後の心電図でも、 $V_2 \sim V_5$ にT波の減高を伴うPUの増高、すなわち左室後壁の虚血がみられた。PCI後は、図左下の冠動脈造影でも分かるように、ほぼ正常に改善され、負荷心電図も正常化している。

③症例3 (図19)

図19はRCA狭窄のPCI後の再狭窄例である。心電図左のPCI前では、T波の減高を伴うPUが $V_3 \sim V_4$ で見られた。心電図右のPCI後においてもT波の減高を伴うPUが $V_2 \sim V_5$ で見られたままで、改善されていないことが判った。

以上の成績から、運動負荷におけるNU、PUの出現態度はPCIの治療の成功、不成功をよく反映しており、治療評価に極めて有用な指標と考えられた。

4. まとめ

PCIを施行した冠動脈狭窄例91例を対象とし、PCI前・後における冠動脈造影所見と運動負荷心電図との関連を検討した。運動負荷におけるNU、PUの出現態度はPCIの治療の成功、不成功をよく反映しており、治療評価に極めて有用な指標と考えられた。とくにNU、PUはPCI後に再狭窄した冠動脈枝の部位診断に有用であった。

【参考文献】

- 1) Einthoven W: Die galvanometrische Registrierung des menschlichen Electrocardiogram. Zugleich line Beurteilung der Anwendung des Capillar Elektrometers in der Physiologie. Pfluger's Arch, 99:472-480, 1903.
- 2) Einthoven W: Uber die deutung des Elektrokardiogramms. Pflugers Arch 194:65 ~ 86, 1912.
- 3) 山本誠一, ほか: 左室容量負荷疾患における心電図陰性U波の検討—大動脈弁閉鎖不全と僧帽弁閉鎖不全との対比—. 呼吸と循環, 32:1065~1069, 1984.
- 4) 山本誠一, ほか: 右室負荷疾患における陰性U波の有用性について. 呼吸と循環, 35:885~890, 1987.
- 5) 山本誠一: 陰性U波と虚血性心疾患. Medical Technology, 37:1156 ~ 1160, 2009.
- 6) 横井 昭, 梶原克祐, ほか: 日本人正常者における心電図U波の性差および年齢差の検討. 臨床病理, 27: 1053~1057, 1979.
- 7) Ueda, H, et al: The normal value of electrocardiogram in the Japanese. Jap. Heart J, 4: 141~172, 1963.
- 8) Lepeschkin E, Surawics B: The duration of the Q-U interval and its components in electrocardiograms of normal persons. Am Heart J 46: 9~29, 1953.
- 9) Lepeschkin E: the U wave of the electrocardiogram. Mod Concepts Cardiovasc Dis 38: 39~45, 1969.
- 10) Nahum LH, Hoff HE: The interpretation of the U wave of the electrocardiogram. Am Heart J 17: 585~598, 1939.
- 11) Lab MY: Mechanically dependent changes in action potentials recorded from the intact frog ventricle. Circ Res 42: 519~528, 1978.
- 12) Fu LT, Kato N, Takahashi N: Ischemia-induced negative U wave in electrocardiograms. An experimental study in canine heart. Cardiovasc Res, 16: 240~248, 1982.
- 13) di Bernardo D, Murray A: Origin on the electrocardiogram of U-waves and abnormal U-wave inversion. Cardiovasc Res. 53: 2002~208, 2002.
- 14) 三羽邦久: 心電図 Initial および Terminal 陰性U波の特徴と成因. 心電図, 26:810 ~ 818, 2006.
- 15) Miwa K: Appearance of Electrocardiographic Initial U-

- Wave Inversion Dependent on Pressure-induced Early Diastolic Impairment in Patients with Hypertension. *Clin Cardiol.* 32 : 593 ~ 596, 2009.
- 16) Sicouri S, Antzelevitch C: A subpopulation of cells with unique electrophysiological Properties in the deep subepicardium of the canine ventricle. The M cell. *Circ Res*, 68: 1729 ~ 1741, 1991.
- 17) Antzelevitch C, Sicouri S: Clinical relevance of cardiac arrhythmias generated by afterdepolarizations. Role of M cell in the generation of U waves, triggered activity and torsade de pointes. *J Am Coll Cardiol* 23 : 259 ~ 277, 1994.
- 18) Drouin E, Charpentier F, Gauthier C, et al : Electrophysiological characteristics of cells spanning the left ventricular wall of the human heart: evidence for presence of M cells. *J Am Coll Cardiol* 26 : 185 ~ 192, 1995.
- 19) 八巻道安 : 運動負荷心電図による狭心症の診断. *心電図*, 21 : 280 ~ 285, 2001.
- 20) 八巻道安 : ST-T・U波の成因 - 再分極特性計測・三次元心臓モデルからの知見 -. *心臓*, 37 : 516 ~ 522, 2005.
- 21) Hoffman BF, Cranefield PF: Comparison of cardiac monophasic action potentials Recorded by intracellular and suction electrodes. *Am J Physiol* 196: 1297 ~ 1301, 1958.
- 22) 渡部良夫 : U波の成因における Purkinje 系再分極説の実験的根拠. *心臓*, 7 : 168 ~ 176, 1975.
- 23) 渡部良夫 : 心室内伝導障害と U波. *心臓*, 6 : 521 ~ 527, 1974.
- 24) 小林 正, 塩見利明 : U波の成因とその異常. *診断と治療*, 71: 2254 ~ 2259, 1983.
- 25) Furbetta D, Bufalari A, Santucci F, et al : Abnormality of the U wave and of the T-U segment of the electrocardiogram : The syndrome of the papillary muscles. *Circulation* 14 : 1129 ~ 1137, 1956.
- 26) Dudel, J, Traulwein, W : Das Aktionspotential und Mechanogramm des Herzmuskels unter Dem Einfluss der Dehnung. *Cardiologia*, 25: 344 ~ 350, 1954.
- 27) 長谷川浩一, 沢山俊民, ほか : 肥大型心筋症における巨大陰性 T波および陰性 U波のに関する一考察 : それらの消長を認めた 2 例の検討, *J Cardiol*, 22 : 271 ~ 279, 1992.
- 28) 長谷川浩一 : 心電図の読み方 : U波の異常. *診断と治療*, 94 : 1489 ~ 1494, 2006.
- 29) 長谷川浩一, ほか : 狭心症発作時に出現する心電図 U波異常による冠狭窄枝推定の試み. *心臓*, 22 : 903 ~ 907, 1990.
- 30) 増田岳一 : 虚血性心疾患における運動負荷時に出現する陰性 U波の臨床的意義. *日本臨床生理学会誌*, 17 : 221 ~ 225, 1987.
- 31) 高木 洋, ほか : 運動負荷回復期の陽性 U波高変化による虚血局在性診断とその意義. *心電図*, 12 : 399 ~ 405, 1992.
- 32) 長谷川浩一, ほか : 狭心症時の右側胸部誘導における一過性陽性 U波増高の意義 - 左回旋枝 / 右冠動脈狭窄の指標 -. *心臓*, 20 : 1033 ~ 1039, 1988.
- 33) Gerson MC, et al: Exercise-induced U-wave inversion as a marker of the left anterior descending coronary artery. *Circulation* 60 : 1014 ~ 1020, 1979.
- 34) 長谷川浩一, ほか : 狭心症発作時に出現する心電図 U波異常による冠狭窄枝推定の試み. *心臓*, 22 : 903 ~ 907, 1990.