

心エコー図および拡大心電
図による U 波の検討Echocardiographic and
high-gain electrocardio-
graphic evaluation of
the biphasic or negative
U wave

中野 佐上
 藤浪 隆夫
 高田 和夫
 岩瀬 敬紀
 中山 広一*
 近藤 純*
 岡本 光弘*

Sagami NAKANO
 Takao FUJINAMI
 Kazuo TAKADA
 Takanori IWASE
 Koichi NAKAYAMA*
 Jun KONDO*
 Mitsuhiro OKAMOTO*

Summary

Genesis as well as significance of the change of the U wave are still unknown. From the U wave recorded with high-gain electrocardiography (1 mV=8 cm, paper speed=50 mm/sec), 100 cases (32 with ischemic heart disease, 39 with hypertension and 29 of healthy control) were classified into 3 groups, i.e., positive U group, flat U group and biphasic or negative U group. The left ventricular function of each group was assessed by echocardiography. The biphasic or negative U wave was observed in 25% of the patients with ischemic heart disease and 44% of patients with hypertension. The left ventricular contractility and relaxation during rapid filling phase estimated from left ventricular dimensional shortening fraction $[(LVDd-LVDs)/LVDd]$, velocity of circumferential fiber shortening (mVcf.syst), left ventricular ejection fraction (LVEF), left ventricular dimension dilating fraction $[(LVD \text{ of end-rapid filling phase}-LVDs)/LVDs]$ and velocity of circumferential fiber dilatation (mVcf.rapid filling phase) were all accelerated in patients with the biphasic or negative U wave as compared with those who had the positive or flat U wave. The left ventricular function in patients with the flat U wave was in between the other 2 groups. Generally, the left ventricular function in patient group was depressed as compared with the healthy control, but the left ventricular contractility and relaxation in patients with biphasic or negative U wave were approximately equal to those of the healthy. From these results, the biphasic and negative U wave may indicate urged left ventricular compensation against decreased ventricular compliance in the patients. In addition to electrophysiological factor, mechanical factor such as enhanced contractility in the distended ventricle may concern to the U wave changes.

名古屋市立大学医学部 第三内科
 *同 第一内科
 名古屋市瑞穂区瑞穂町川澄 1 (〒467)

The Third and *the First Departments of Internal
 Medicine, Nagoya City University Medical School,
 Kawasumi 1, Mizuho-cho, Mizuho-ku, Nagoya 467

Presented at the 18th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 2-3, 1979
 Received for publication April 26, 1979

Key words

High-gain electrocardiography
Left ventricular relaxation

Biphasic or negative U wave

Left ventricular contractility

はじめに

心電図 U 波は Einthoven により命名されたが, その発生機序, 波形変化の意義など解明されていない点も多い. 臨床面では虚血性心疾患や高血圧症例において, 高頻度に陰性 U 波を認めることが報告されているが, 心機能との対比はあまりなされていない. そこで今回は U 波の波形変化と心機能を対比する目的で, 虚血性心疾患, 高血圧症および健常例における心電図 U 波形の分類を行い, 心エコー図を用いてその左室動態の差異を比較検討した.

対象および方法

対象は心エコー図および拡大心電図をほぼ同時刻に施行した 100 例である. 虚血性心疾患例は狭心痛の既往を有し, 安静時または運動負荷時の心電図で ST, T 波に虚血性変化を認めた 25~77 歳, 男 20 例, 女 12 例(51.5±12.1 歳)の計 32 例で, 陳旧性心筋梗塞例 6 例を含む. 高血圧症例は仰臥安静時の血圧測定で最高血圧 160 mmHg 以上, 最低血圧 95 mmHg 以上のいずれか一方, または両方を満足するもので 25~77 歳, 男 25 例, 女 14 例(48.6±13.9 歳)の計 39 例である. 健常例は心疾患がなく, 心電図上にも異常を認めない 15~50 歳, 男 17 例, 女 12 例(27.1±9.2 歳)の計 27 例である.

心エコー図は 2.25 MHz, 直径 1.2 cm の平面探触子を用い, oscillograph recorder OR-O1A に連結した東芝製 sonocardiograph SSL-51U にて, 心電図 II 誘導および心音図とともに, 毎秒 50 mm の紙送り速度で記録した. 僧帽弁前尖エコーが見え隠れし, 心室中隔および左室後壁心内膜エコーを同時かつ明瞭に記録できる部位を選び, 前回の報告と同一方法¹⁾で, 左室拡張末期径

(LVDd), 左室収縮末期径 (LVDs), 急速流入末期左室径 (LVDrf), 左室拡張末期後壁厚 (PWTd) および左室収縮末期後壁厚 (PWTs) を測定した. また左室後壁心内膜エコーの左室収縮による立ちあがり点から IIA 音までの駆出時間 (LVET) と, 頂点から LVDrf 測定部までの急速流入時間 (RF time) を測定しておき, 収縮期左室径変化率 $[(LVDd-LVDs)/LVDd]$, 急速流入期左室径変化率 $[(LVDrf-LVDs)/LVDs]$, 平均左室内周短縮速度 $[mVcf \cdot syst = (LVDd-LVDs)/LVDd \cdot LVET]$, 平均左室内周伸展速度 $[mVcf \cdot RF = (LVDrf-LVDs)/LVDs \cdot RF \text{ time}]$, 左室駆出率 $[(LVDd^3-LVDs^3)/LVDd^3]$ を求めた.

拡大心電図は日本光電製 ECG 3006S および自製の増幅器²⁾を用い, 1 mV=8 cm, 紙送り速度 50 mm/sec の条件で I, II, III 誘導および V₁, V₃, V₅ 誘導を同時記録した (Fig. 1). 拡大 V₃ 誘導で T-aU, T-U interval³⁾ を計測し, 同時記録した V₅ 誘導 U 波型を V₅ 誘導での計測に基づき, 陽性 U 波例 (positive), 平低 U 波例 (flat), 陰性 U 波例 (biphasic & negative) の三群に識別, 分類した (Fig. 2).

結 果

心電図 U 波を分類してみると, 健常例では陽性 U 波例が 93.1%, 平低 U 波例が 6.9% で, 陰性 U 波例は皆無であった. 虚血性心疾患例では陽性 U 波例 53.1%, 平低 U 波例 21.9%, 陰性 U 波例 25% であり, 高血圧症例ではおのおの 43.6%, 12.8%, 43.6% と, 諸家の報告同様, これらの疾患で高頻度の陰性 U 波例を認めた (Fig. 3)⁴⁻¹⁰⁾.

著者ら^{1,11,12)}は心エコー図を用いて, 健常者, 虚血性心疾患および高血圧症の血行動態の差異を報告しているが, まず陰性 U 波例の心機能の特

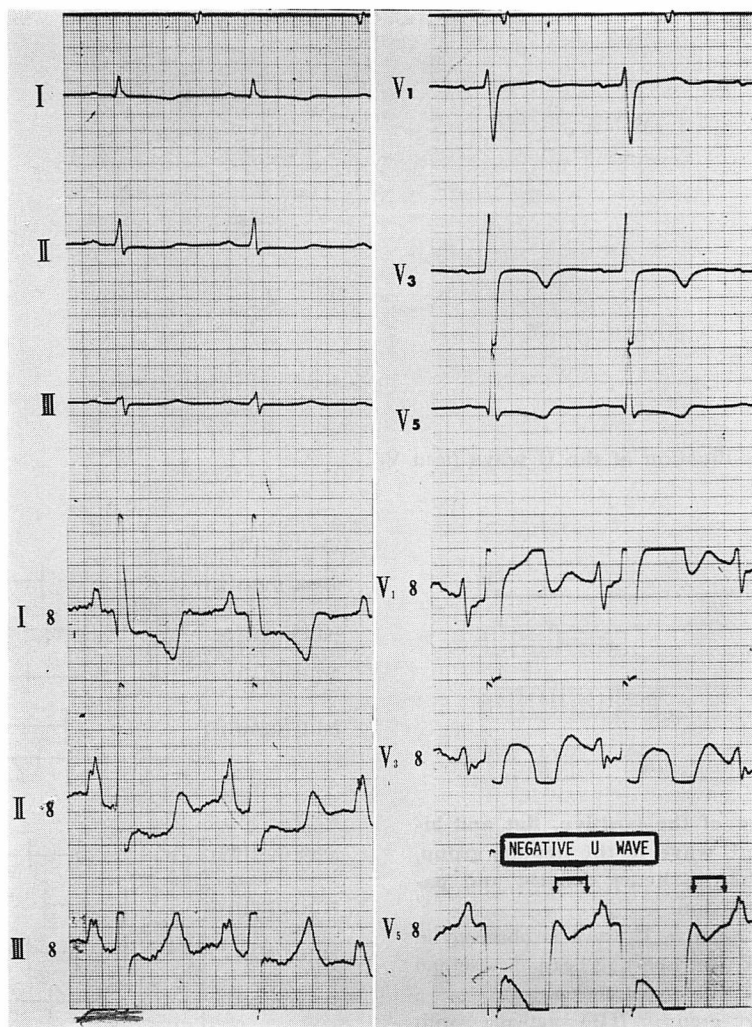


Fig. 1. High-gain electrocardiograms for detection of the U wave, recorded by 8 cm/mV and paper speed of 50 mm/sec.

徴をみる目的で疾患例（虚血性心疾患および高血圧症）を陽性 U 波群 34 例，平低 U 波群 12 例，陰性 U 波群 25 例に分け，健常陽性 U 波群 27 例と比較検討した．LVDd は健常陽性 U 波群 49.4 ± 3.5 mm，疾患陽性 U 波群 54.2 ± 5.1 mm，疾患平低 U 波群 53.8 ± 5.4 mm，疾患陰性 U 波群 52.1 ± 7.3 mm で，LVDs は健常陽性 U 波群 33.8 ± 4.0 mm，疾患陽性 U 波群 38.5 ± 5.3

mm，疾患平低 U 波群 38.0 ± 5.2 mm，疾患陰性 U 波群 34.7 ± 8.2 mm と，疾患例は健常陽性 U 波群に比べ明らかな左室径の拡大を示したが，疾患陰性 U 波群の LVDs は疾患陽性 U 波群および疾患平低 U 波群より有意に小さく，健常陽性 U 波群に近似した値を呈した (Fig. 4)．

収縮期左室径変化率は健常陽性 U 波群が 0.32 ± 0.05 であったのに対し，疾患陽性 U 波群は

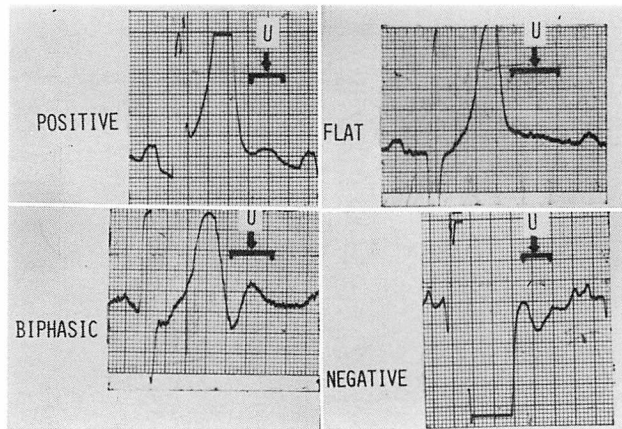


Fig. 2. Classification of the U wave (lead V₅).

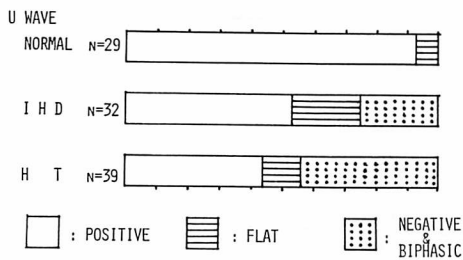
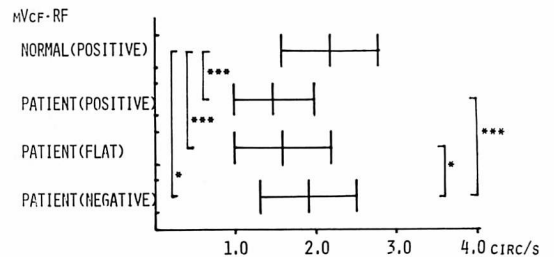
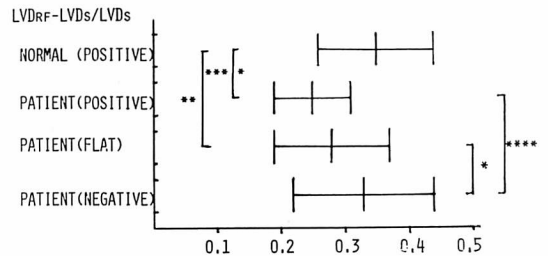


Fig. 3. Percentage of the positive, flat and bi-phasic or negative U wave in the healthy group, patients with ischemic heart disease and patients with hypertension.

The biphasic or negative U wave is observed in 25% of the patients with ischemic heart disease and 44% of the patients with hypertension.

NORMAL=healthy group; IHD=patients with ischemic heart disease; HT=patients with hypertension.

0.29 ± 0.05 , 疾患平低 U 波群は 0.30 ± 0.05 と低値を示した. しかるに疾患陰性 U 波群は 0.34 ± 0.07 と健常陽性 U 波群と近似した値を示し, 疾患陽性 U 波群および平低 U 波群との間に有意差を認めた (Fig. 5). 平均左室内周短縮速度は健常陽性 U 波群が 1.13 ± 0.16 circ/sec であったのに対し, 疾患陽性 U 波群は 0.98 ± 0.20 circ/sec, 疾患平低 U 波群は 0.99 ± 0.21 circ/sec と有意な低下を示した. ところが疾患陰性 U 波群は



**** P < 0.001, *** P < 0.01, ** P < 0.05, * P < 0.1

Fig. 4. Left ventricular dimension at end-diastole (LVDd) and end-systole (LVDs) in the healthy persons and the patients.

LVDs of the patients with the biphasic or negative U wave are apparently shorter than that of the patients with the positive or flat U wave.

1.19 ± 0.29 circ/sec と健常群とほぼ等しい値を呈し, 他の疾患群との間に有意差を認めた (Fig. 5). LVEF は健常陽性 U 波群が 0.68 ± 0.07 であったのに対し, 疾患陽性 U 波群, 疾患平低 U 波

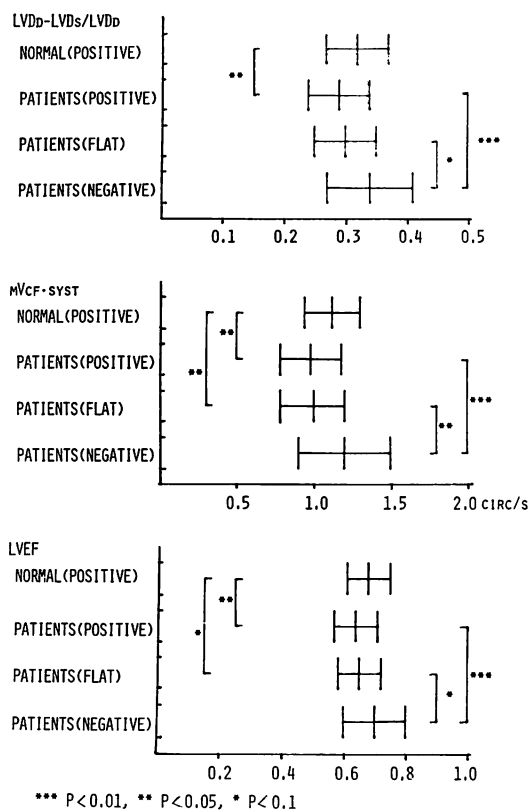


Fig. 5. Parameters of left ventricular contractility in the healthy persons and the patients.

Left ventricular dimensional shortening fraction [(LVDd-LVDs)/LVDd], velocity of circumferential fiber shortening (mVcf. syst), left ventricular ejection fraction (LVEF) in patients with the biphasic or negative U wave are accelerated than those in patients with the positive or flat U wave. Left ventricular contractility in patients with biphasic or negative U wave is approximately equal to the healthy persons.

群は 0.64 ± 0.07 , 0.65 ± 0.07 とともに有意の低下を示した。疾患陰性 U 波群は 0.70 ± 0.10 と健常群と近い値を呈し、他の疾患 U 波群との間に有意差を認めた (Fig. 5)。

急速流入期左室径変化率は健常陽性 U 波群 0.35 ± 0.09 , 疾患陽性 U 波群 0.25 ± 0.06 , 疾患平低 U 波群 0.28 ± 0.09 , 疾患陰性 U 波群 0.33 ± 0.11 で、健常陽性 U 波群に比べて疾患陽性およ

び平低 U 波群は有意の低下を示したが、疾患陰性 U 波群は健常群と差がなく、他の疾患 U 波群との間に有意差を認めた (Fig. 6)。平均左室内周伸展速度は健常陽性 U 波群 2.22 ± 0.59 circ/sec, 疾患陽性 U 波群 1.49 ± 0.50 circ/sec, 疾患平低 U 波群 1.62 ± 0.60 circ/sec, 疾患陰性 U 波群 1.93 ± 0.59 circ/sec で、疾患陽性および平低 U 波群は健常陽性 U 波群に比べて明らかな低下を示したが、疾患陰性 U 波群は健常群と比べてやや低値を呈するものの、他の疾患 U 波群より大で、両者との間に有意差を認めた (Fig. 6)。

以上のように疾患陰性 U 波群の LVDs, 収縮期左室径変化率, 平均左室内周短縮速度, LVEF, 急速流入期左室径変化率, 平均左室内周伸展速度は健常陽性 U 波群と近似した値を示し、疾患陽性 U 波群および疾患平低 U 波群と比べて明らかな高値を呈した。

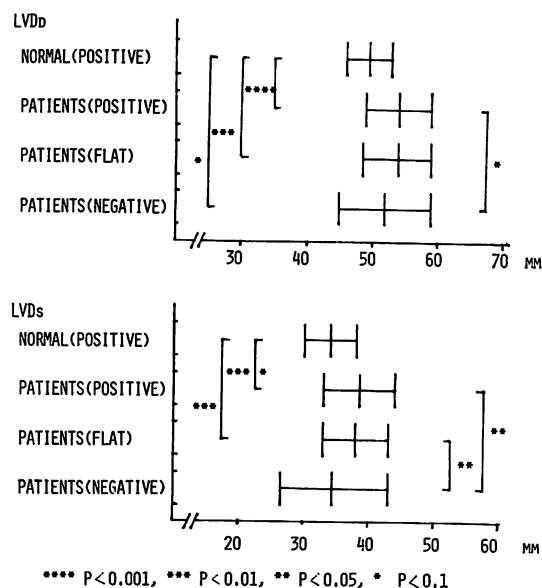


Fig. 6. Parameters of left ventricular relaxation in the healthy persons and the patients.

Left ventricular dimensional dilating fraction [(LVDd-LVDs)/LVDd] and velocity of circumferential fiber dilating (mVcf. RF) are accelerated than those in patients with the positive or flat U wave.

Table 1. Enhanced parameters of left ventricular function

		LVd-LVDs LVd	mVcf.syst (circ/sec)	LVEF	LVdrf-Lvds LVds	mVcf.RF (circ/sec)	PWTd mm	PWTs mm
Healthy n=27		0.32±0.05	1.13±0.16	0.68±0.07	0.35±0.09	2.22±0.59	9.01±1.10	13.1±1.30
Ischemic Heart Disease	Positive U n=17	0.29±0.04	0.96±0.15	0.63±0.06	0.24±0.05	1.54±0.47	8.90±0.70	13.2±1.30
	Flat n=7	0.29±0.04	0.89±0.17	0.63±0.07	0.26±0.07	1.39±0.48	8.70±0.55	12.9±0.90
	Biphasic Negative n=8	0.34±0.09	1.17±0.36	0.71±0.11	0.36±0.14	2.00±0.81	8.80±0.50	14.3±1.40
Hypertension	Positive U n=17	0.29±0.05	1.01±0.24	0.64±0.08	0.25±0.08	1.43±0.53	10.9±1.50	15.2±2.10
	Flat n=5	0.28±0.03	1.06±0.17	0.63±0.04	0.25±0.06	1.69±0.59	10.8±2.00	15.4±1.10
	Biphasic Negative n=17	0.34±0.07	1.19±0.29	0.70±0.10	0.31±0.10	1.89±0.48	11.6±1.40	16.0±2.50

*** p<0.01 ** p<0.05 * p<0.1

Increased contractility and relaxation of the left ventricle are observed in both the ischemic and hypertensive patients with the biphasic or negative U wave.

虚血性心疾患, 高血圧症例を合わせて疾患群として扱ってきたが, 両疾患群間の差異を見逃す可能性もあり, 疾患別にも検討した. 平均左室内周短縮速度が虚血性心疾患の平低 U 波群でやや低値を示したほかは, 収縮期左室径変化率, 平均左室内周短縮速度, LVEF, 急速流入期左室径変化率, 平均左室内周伸展速度は虚血性心疾患および高血圧症で同様の傾向を示し, 陽性 U 波群と陰性 U 波群の間に有意差を認めなかった (Table 1). 左室後壁厚は両疾患群間で明らかな差 (p<0.001) を示した. 両疾患の各 U 波群間で比較すると, PWTd には有意の差を認めなかったが陰性 U 波群の PWTs は陽性 U 波群のそれに比べて厚い傾向を示した (Table 1).

考 察

心電図 U 波の発生機序には心室筋における陰性後電位説^{13,14)}, 心室乳頭筋再分極説¹⁵⁾, 心室内伝導系再分極説¹⁶⁾などあるが確立されていない. 一方, 陰性 U 波出現頻度に関する報告は比較的多く, 福田ら^{4,5)}は V₅, V₆, V₄ 誘導の順に陰性 U 波を検出すると述べている. 著者らは振幅を 8 倍, 速度を 2 倍に拡大した V₅ 誘導を用い,

Furbetta ら¹⁷⁾の分類に従い判定した. Papp ら⁶⁾, 高安ら⁷⁾は虚血性心疾患や高血圧症に, 陰性 U 波を認める頻度の高いことを指摘している. Furbetta ら⁸⁾は虚血性心疾患の 25%, 高血圧症の 30% に, Holzman ら⁹⁾は虚血性心疾患の 10%, 高血圧症の 63% に, Palmer ら¹⁰⁾は虚血性心疾患の 20%, 高血圧症の 48% に, 福田ら^{4,5)}は虚血性心疾患の 25.2%, 高血圧症の 40.1% に陰性 U 波の発現を報告しており, 著者らも虚血性心疾患で 25%, 高血圧症で 43.6% と近似した結果を得, これらの疾患に陰性 U 波例の多いことを認識した.

陰性 U 波の臨床的意義として, 心筋の疲労, 心筋あるいは心室内伝導系の虚血¹⁶⁾などが考えられていること, 虚血性心疾患, 高血圧症の左心機能は健常例と比べて低下していること^{11,12)}を考え合わせると, 陰性 U 波の存在する症例は一層の機能低下が推測される. しかるに, 今回の成績では収縮期左室径変化率, 平均左室内周短縮速度, 左室駆出率に表現される左室の収縮性, および急速流入期左室径変化率, 平均左室内周伸展速度に示される左室の伸展性は陽性 U 波例, 平低 U 波例と比較して陰性 U 波例で亢進しており, 健常

例に近似した値を示した。この傾向は虚血性心疾患、高血圧症の疾患別に比較しても同様であった。

運動負荷後の U 波陰転例や、高血圧コントロール後の陰性 U 波陽転例の存在¹⁸⁾を考えると、陰性 U 波は左室予備能を駆使し、左室機能を代償している状態の表現と考えたい。平低 U 波例については数が少なく、臨床的意義も不明であるが、多くの指標は陽性 U 波例および陰性 U 波例の中間値を示したことは興味深い。Eyer ら¹⁹⁾は postextrasystolic U wave change に目を向け、左室の endsystolic volume の変化と U 波形の変化に関することを、Dudel & Trautwein²⁰⁾はネコの乳頭筋を用いた心筋伸展実験より、心筋の伸展が after-potential を増加させることを述べており、著者らは陰性 U 波の存在する疾患例に左室の収縮性および急速流入期左室伸展性の亢進を認めた。

以上より、心電図 U 波が左室急速流入期に出現することを考え合わせると、U 波の波形変化には電気的要素のほかに、心筋の伸展など機械的要素も関与しているものと考えたい。

ま と め

1) 拡大心電図 (1 mV=8 cm, 50 mm/sec) を用いて U 波を陽性、平低、陰性(二相性を含む)に分類した。陰性 U 波出現率は虚血性心疾患で 25%、高血圧症で 43.6% であった。

2) 虚血性心疾患、高血圧症における陰性 U 波例の左室収縮性および左室伸展性は陽性 U 波例や平低 U 波例に比べて亢進しており、健常例と近似した値を示した。

3) 陰性 U 波は左室予備能を駆使し、左室機能を代償している状態の表現と思われ、U 波の波形変化には電気的要素のほかに、心筋の伸展などの機械的要素も関与していると考えたい。

文 献

1) Nakano S, Fujinami T, Nakayama K, Hayashi K, Takada K, Kondo J, Okamoto M, Iwase T,

- Takeuchi T: Evaluation of the left atrial load from the atrioventricular flow by echocardiography. *J Cardiography* **8**: 19-27, 1978
- 2) 高羽祥三, 高阪好充, 岸田捷美, 藤浪隆夫, 中山広一, 高田和夫: 拡大心電図の臨床応用。一とくに P 波, U 波の検討一。臨床病理 **23**: 953, 1975
- 3) Lepeschkin E, Surawicz B: The duration of the Q-U interval and its components in electrocardiograms of normal persons. *Amer Heart J* **46**: 9-20, 1953
- 4) 福田市蔵, 上出秀夫, 藤原喜代子, 樋口久人, 林勝, 河野能治: 陰性 U 波の臨床。心臓 **4**: 568-576, 1972
- 5) 福田市蔵, 吉中英雄, 辰見宣夫, 福田佳助: 高血圧における陰性 U 波(養老院入院老年者並びに高血圧症例を中心として)。総合臨床 **14**: 161-170, 1965
- 6) Papp C: U wave in coronary disease. *Circulation* **15**: 105-110, 1957
- 7) 高安正夫: 心電図陰性 U 波。実験治療 **377**: 230-231, 1963
- 8) Furbetta D, Santucci F, Bufalari A: Clinical significance of negative U waves. *Folia Cardiol* **14**: 477-485, 1955
- 9) Holzmann M: Various types of fusion between T and U waves. *Circulation* **15**: 70-76, 1957
- 10) Palmer JH: Isolated U wave negativity. *Circulation* **7**: 205-210, 1953
- 11) Nakano S, Fujinami T, Nakayama K, Hayashi K, Takada K, Kondo J, Iwase T, Takeuchi T: Evaluation of left atrial load by echocardiography and P loop of timed vectorcardiography. *J Cardiography* **7**: 369-376, 1977
- 12) 中野佐上: 心エコー図による左心房負荷評価の研究—虚血性心疾患と高血圧症の房室間血行動態の差を中心として—。名市大医誌 **29**: 222-248, 1978
- 13) Nahum LH, Hoff HE: The interpretation of the U wave of the electrocardiogram. *Amer Heart J* **17**: 585-598, 1939
- 14) Lepeschkin E: Genesis of the U wave. Symposium on the U wave. *Circulation* **15**: 77-81, 1957
- 15) Furbetta D, Bufalari A, Sautucci F, Solinas P: Abnormality of the U wave and T-U segment of the electrocardiogram. The syndrome of the papillary muscles. *Circulation* **14**: 1129-1137, 1956
- 16) 渡部良夫: U 波の成因が Purkinje 系再分極なら各種疾患の病態生理解明に新局面。Nikkei Medical **10**: 144-147, 1976
- 17) Furbetta D, Santucci F, Bufalari A, Solinas P: Morphologic aspects of the negativity of the U wave and their corresponding electrocardiographic and clinical data. *Circulation* **14**: 859-864, 1956
- 18) Georgopoulos AJ, Proudft WL, Page IH: Rela-

中野, 藤浪, 高田, ほか

- tionship between arterial pressure and negative U wave in electrocardiogram. *Circulation* **23**: 675–680, 1961
- 19) Eyer KM: U wave alternans: An electrocardiographic sign of left ventricular failure. *Amer Heart J* **87**: 41–45, 1974
- 20) Dudel J, Trautwein W: Das Aktionspotential und Mechanogram des Herzmuskels unter dem Einfluss des Dehnung. *Cardiologia* **25**: 344–362, 1957