

心筋梗塞症例の日常生活動作における心行動態変化: 24時間連続イヤードンシトグラフィー記録による左室収縮時間を用いて

Hemodynamic response to diurnal activities of patients with myocardial infarction evaluated by ambulatory monitoring of systolic time intervals using ear densitography

松谷 正秀
杉浦 哲朗
岩坂 壽二
高橋 延行
長谷川 正
高山 康夫
斧山 英毅
稲田 満夫

Masahide MATSUTANI
Tetsuro SUGIURA
Toshiji IWASAKA
Nobuyuki TAKAHASHI
Tadashi HASEGAWA
Yasuo TAKAYAMA
Hideki ONOYAMA
Mitsuo INADA

Summary

The purpose of this study was (1) to assess the hemodynamic changes during daily activities by 24-hour continuous ear-densitographic monitoring (Holter EDG) in 14 patients with acute myocardial infarction (MI), and (2) to define the changes in left ventricular performance during and after acute upright posture in 35 patients with old MI.

Ninety-seven percent of the daily activities could be reliably measured by ambulatory monitoring of systolic time intervals (STI) and the most significant change in STI was observed during defecation. The ratio of preejection period to left ventricular ejection time (PEP/LVET) increased significantly during defecation ($0.42 \pm 0.09 \rightarrow 0.50 \pm 0.09$, $p < 0.05$), but heart rate either increased (5 patients) or decreased (4 patients). Though there was no change in PEP/LVET during sleep, walking and washing the face and hands, it tended to increase during eating and urinating.

Acute upright posture caused sudden acceleration of the heart rate, and increased PEP/LVET immediately ($0.36 \pm 0.05 \rightarrow 0.39 \pm 0.06$, $p < 0.005$). The latter further increased immediately after sitting ($0.36 \pm 0.05 \rightarrow 0.41 \pm 0.07$, $p < 0.001$) and 1 min after sitting ($0.36 \pm 0.05 \rightarrow 0.43 \pm 0.07$, $p < 0.001$), but it was stable thereafter. Thus, abrupt changes in these parameters indicate that changes both in neural activity and venous return are virtually instantaneous.

We concluded that the Holter EDG will facilitate the evaluation of daily activities of patients,

and that the information obtained in this study could be valuable in understanding the physiology and hemodynamics of patients recovering from acute MI.

Key words

Myocardial infarction

Diurnal activities

Systolic time intervals (STI)

はじめに

急性心筋梗塞 (AMI) の院内リハビリテーションは, deconditioning にある患者が日常生活を円滑に行うことを目的として施行される. そしてその過程においては, 心筋虚血の出現と, 労作に対する循環系の生理的反応を評価することが重要である. 心筋虚血に対しては, 従来からリハビリテーション前後の 12 誘導心電図, あるいはリハビリテーション中のモニター心電図による ST-T 部分の判定と不整脈監視が行われている. しかし循環系の反応は体血圧および心拍数の計測により評価されているのみであり, 血行動態に関する詳細な検討はなされていない¹⁻⁴⁾. また临床上, 狭心症を始めとする重篤な合併症は, 日常生活動作中, とくに排便時に出現することが多い^{5,6)}. 本研究では歩行, 食事, 排便など, リハビリテーションにおける日常生活諸動作中の血行動態変化を検討するため, イヤー・デンシトグラフィー (ear densitography: EDG)⁷⁻¹⁰⁾ を用い, 左室収縮時相 (systolic time intervals: STI)^{11,12)} の連続的な記録測定を行った. さらに日常生活動作中, 最も基本的な体位変換動作である起坐に着目し, 起坐動作時の血行動態の変化を連続的に記録, 検討した. 従来の報告¹³⁻¹⁸⁾ の多くは受動的な起坐動作時に関するものであるが, 今回は患者自身による自然な能動的起坐動作時の変化を検討した.

対 象

発症後第 5 週のリハビリテーションを順調に終了した退院前の心筋梗塞症 14 例に対し, 24 時間連続記録 EDG (Holter EDG) を装着した. 平均年齢は 56 ± 8 (37~67) 歳, 男女比は 10 対 4 である. また社会復帰後 5 ヶ月以上を経過した心筋

梗塞症 35 例に対し, 急速体位変換負荷を行った. 平均年齢は 58 ± 9 (40~76) 歳, 男女比は 26 対 9 である.

方 法

1. Holter EDG

フクダ電子製 SM26 ホルター心電計を改造し, 2 チャンネルのうち 1 チャンネルを EDG 記録用, 残る 1 チャンネルを心電図記録用として Holter EDG を作製した (Fig. 1). 早朝起床時 (午前 7 時) に Holter EDG を装着し (Fig. 2, 3). 24 時間連続的に EDG を記録した後, 翌朝午前 7 時に装置をとりはずした. 解析記録はフクダ電子製 SCM270 システムを用いて 100 mm/sec で行った. 検討の対象となった動作は, 安静臥床, 睡眠, 洗面, 食事, 歩行, 排便, 排尿である. また被検者に対して, 装着中の行動日誌を詳細に記録させ, 各動作時にマーカーボタンを押すことを厳守させた. 睡眠は入眠後約 3 時間で検討した. 食事は朝食時, 歩行は 500 m 歩行の終了間際で検討した. 排便は和式便器を用いた. 便の肛門通過時にマーカーボタンを押すよう指導し, この時点での血行動態について検討した.

2. 急速体位変換負荷

約 30 分間の安静臥床の後, 能動的起坐動作により体位変換負荷を行った. ポリグラフ MIC 8600 を用いて動作中の EDG, 心電図を連続的に同時記録した. 記録は Siemens Elema 製ミンゴグラフ 804A を用いて 100 mm/sec で行った. 血圧は通常カフ法により水銀柱血圧計を用いて測定した. 検討は安静臥床時, 起坐動作中, 起坐動作終了直後, 坐位持続 1 分後, 3 分後の計 5 点で行った.

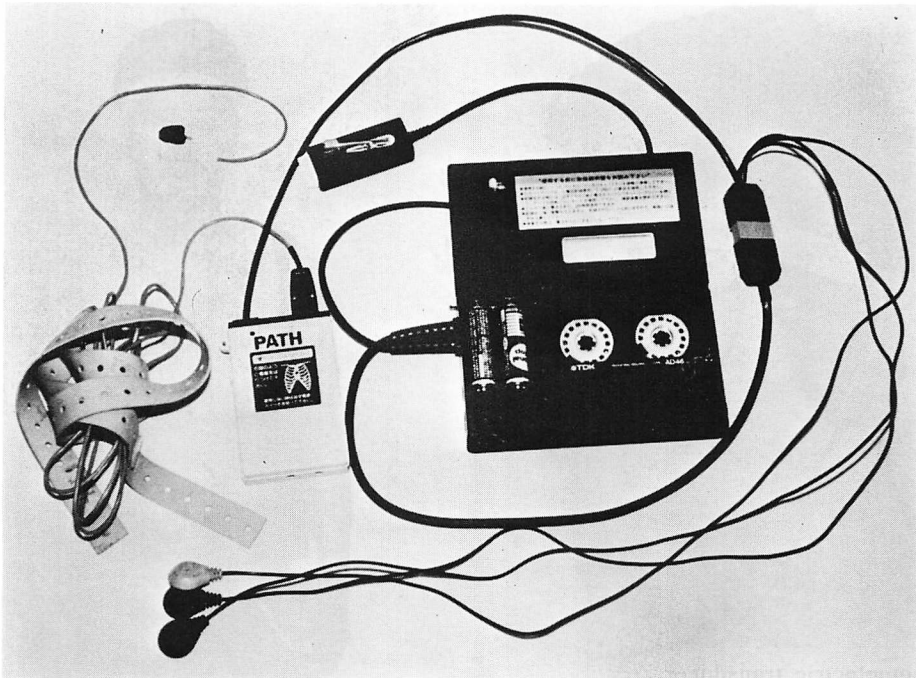


Fig. 1. Twenty-four hours continuous ear-densitographic monitoring system (Holter EDG).

An SM26 Holter is selected as the recording apparatus for this study. Channel 1 retains its ECG function. The EDG signal is recorded in Channel 2.

3. 脈波伝播時間 (pulse transmission time: PTT)

各検査に先立ち、ポリグラフ MIC8600 を用いて EDG, 心電図, 心音図を測定し、フクダ電子製 SSZ-91 を用いて 100 mm/sec で同時記録した。EDG, 心電図, 心音図の同時記録より、II 音から切痕までの時間として PTT を求めた (Fig. 4)^{11,19)}。PTT は一個人では各種動作においても不変であるという Spodick ら^{19,20)} の成績に従い、PTT は一回測定するだけであとは一定と考え、のちに EDG と心電図から STI を算出するにはその PTT 値を用いた。

2. 計測

Fig. 4 に示すごとく、EDG の一次微分波形⁸⁾を用いて STI の各パラメーターを測定した。測定した STI は前駆出時間 (pre-ejection period:

PEP), 左室駆出時間 (left ventricular ejection time: LVET) および PEP/LVET 比である。LVET は EDG の立ち上がり (EDGu) から切痕までの時間で求めた。PEP は心電図の Q 波の始まりから EDGu までの時間 (*Q~EDGu*) より PTT を減じて算出した^{11,19)}。心拍数 (HR) は心電図の RR 間隔から算出した ($HR = 60000 / RR$ 間隔)。EDG の計測は Logitec 製 digitizer Model K-510 を用いて 5 心拍の平均で求めた。精度は 5 msec を限界とした。

5. 統計解析

安静臥位をコントロール値とし、paired-t test を用いて統計学的処理を行い、p 値が 0.05 以下を有意とした。以後数値は平均値 ± 1 標準偏差 (mean $\pm 1SD$) とした。

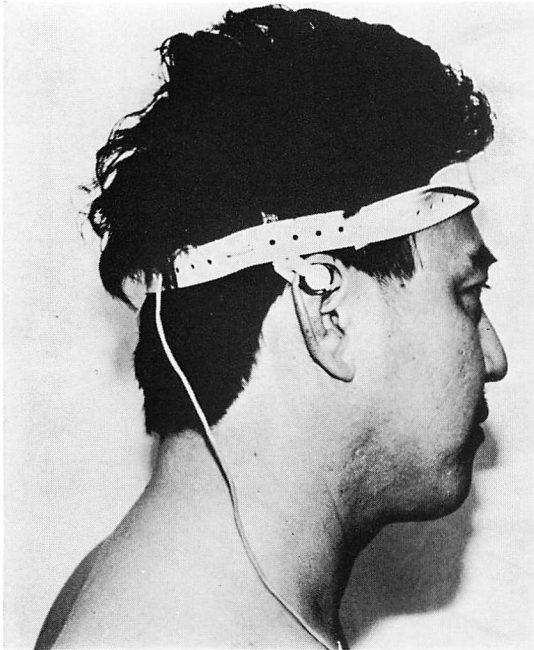


Fig. 2. Photoelectric transducer.

The U-shaped device is attached to the uppermost portion of the ear (pinna). On one side of the pinna is a light bulb, and on the other side is a photoconductive cell which receives the light transmitted through the skin and cartilage.

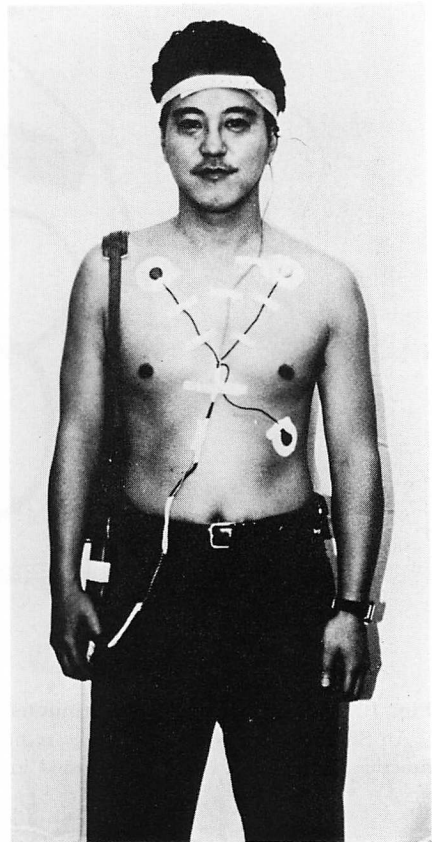


Fig. 3. Electrode configuration.

結 果

1. 記録状態 (Table 1, Fig. 4, 5)

3例を除き、各動作において波形の乱れの少ない良好な記録が得られた。これら3例は睡眠中の14例中1例、歩行中の14例中2例であった。睡眠中の1例は、入眠時寝返りのため耳介部に装着したイヤープースがはずれた例であり、歩行中の2例は、心電図電極の固定不良によると思われる心電図波形の乱れから計測不能となった例であった。

2. Holter EDG (Table 1)

1. 心拍数: 安静時の毎分 68 ± 9 に比し、睡眠中では 62 ± 10 と有意な減少を認めた ($p < 0.05$) (Fig. 5)。睡眠以外の各動作での心拍数は増加を示した。とくに歩行時においては 85 ± 12 と最も

増加した ($p < 0.001$) (Fig. 6)。排便時の心拍数は増加したものが5例、減少したものが4例あり、平均すると 83 ± 20 と増加傾向にとどまった (Fig. 5)。

2. PEP/LVET: 安静時の 0.42 ± 0.09 に比し、睡眠中、歩行中はそれぞれ 0.43 ± 0.07 , 0.41 ± 0.07 と不変であった。しかし睡眠、歩行以外の動作では増加傾向を示した。食事時のそれは 0.47 ± 0.10 と増加していた。またとくに排便時には、心拍数の変化のいかんにかかわらず全例で増加し、その値は平均で 0.50 ± 0.09 であった ($p < 0.05$)。このさい、心拍数の増加例では 0.36 ± 0.06 から 0.50 ± 0.09 へ、減少例では 0.47 ± 0.09 から 0.51 ± 0.10 へと増大した。PEP と LVET のそれぞれ

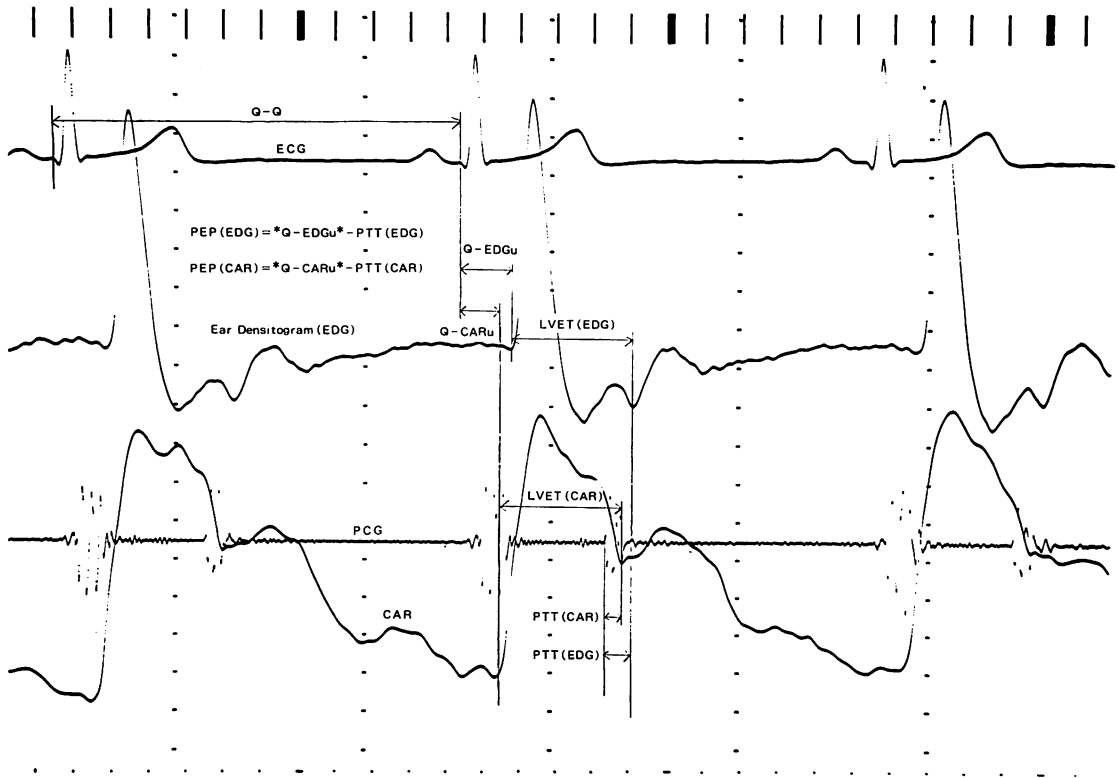


Fig. 4. Systolic time interval measurements.

ECG=electrocardiogram; EDG=ear-densitogram; PCG=phonocardiogram; CAR=carotid sphygmogram; LVET=left ventricular ejection time; PEP=prejection period; PTT=pulse transmission time.

Table 1. Hemodynamic changes during daily activities

	Heart rate (/min)	PEP/LVET	Quality of tracing
Supine rest	68±9	0.42±0.09	14/14 (100%)
Sleeping	62±10	0.43±0.07	13/14 (93%)
Washing up	82±10	0.47±0.1	8/ 8 (100%)
Eating	77± 9	0.47±0.1	14/14 (100%)
Walking	85±12***	0.41±0.07	12/14 (86%)
Defecating	83±20	0.50±0.09*	9/ 9 (100%)
Urinating	84±14***	0.45±0.09	14/14 (100%)

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

についてみると、心拍数増加例では PEP は不変 (103±14 から 102±8 msec), LVET は著明に短縮し (280±11 から 211±31 msec), 一方、心拍数減少例では PEP が延長 (120±21 より 132±22 msec), LVET は不変であった (256±6 から 258±10 msec).

3. 急速体位変換 (Table 2, Fig. 6)

1. 心拍数: 安静時の毎分 63±10 から起坐動作中、起坐動作終了直後にかけて、それぞれ 72±9, 72±11 と有意に増加し (p<0.001), ピークを描いたのち坐位持続1分後から3分後にかけて 67±12, 67±11 と、安静時に比し有意な (p<0.01) 増加を示したまま、坐位持続中の心拍数は

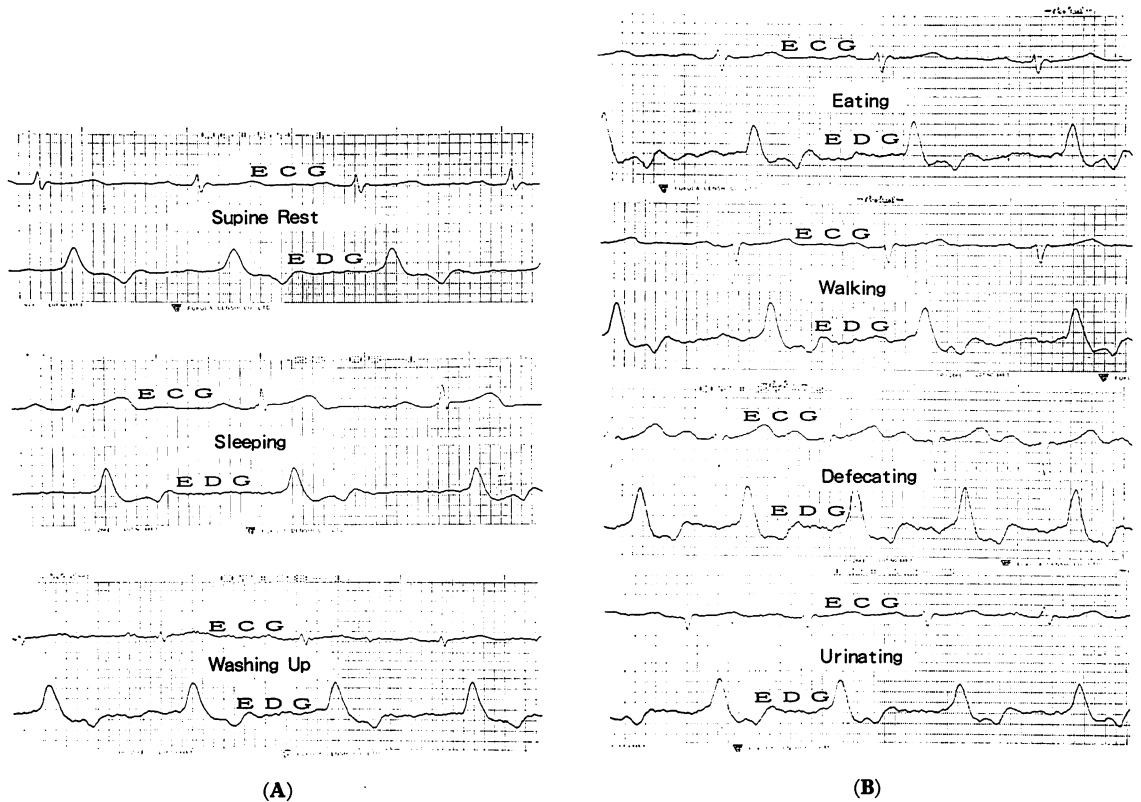


Fig. 5. Tracings of Holter EDG in daily activities.
Stable and suitable pulse tracings are shown.

恒常状態となった。

2. 収縮期, 拡張期血圧: 収縮期血圧は安静時 118 ± 12 (mmHg) から動作終了直後 118 ± 18 , 坐位持続1分後 117 ± 13 , 持続3分後 120 ± 15 と不変であった。拡張期血圧は安静時 74 ± 9 (mmHg) から動作終了直後 78 ± 9 と上昇傾向を認め, 坐位持続1分後で 80 ± 8 , 3分後で 81 ± 7 と有意な上昇を認めた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。

3. PEP/LVET: 安静時の 0.36 ± 0.05 から起坐動作中 0.39 ± 0.06 ($p < 0.005$), 動作終了直後で 0.41 ± 0.07 ($p < 0.001$), 坐位持続1分後で 0.43 ± 0.07 ($p < 0.001$) と有意な増加を示し, 坐位持続1分後以後は恒常状態となった。

4. PEP: 安静時から動作中にかけて 106 ± 15

(msec) から 106 ± 14 と不変であったが, 動作終了直後に 111 ± 16 と有意な延長を認めた ($p < 0.05$)。坐位持続1分後, 116 ± 18 とさらに有意な延長を認めた ($p < 0.001$)。1分後以後3分後にかけては 116 ± 18 と恒常状態となった。

5. LVET: 安静時 293 ± 20 (msec) から起坐動作中にかけて 277 ± 25 と有意に短縮した ($p < 0.001$)。動作終了直後は 271 ± 20 とさらに有意な短縮を認め ($p < 0.001$), 坐位持続1分後, 3分後にはそれぞれ 270 ± 20 , 270 ± 20 と恒常状態となった。

考 察

これまで心筋梗塞症患者のリハビリテーション

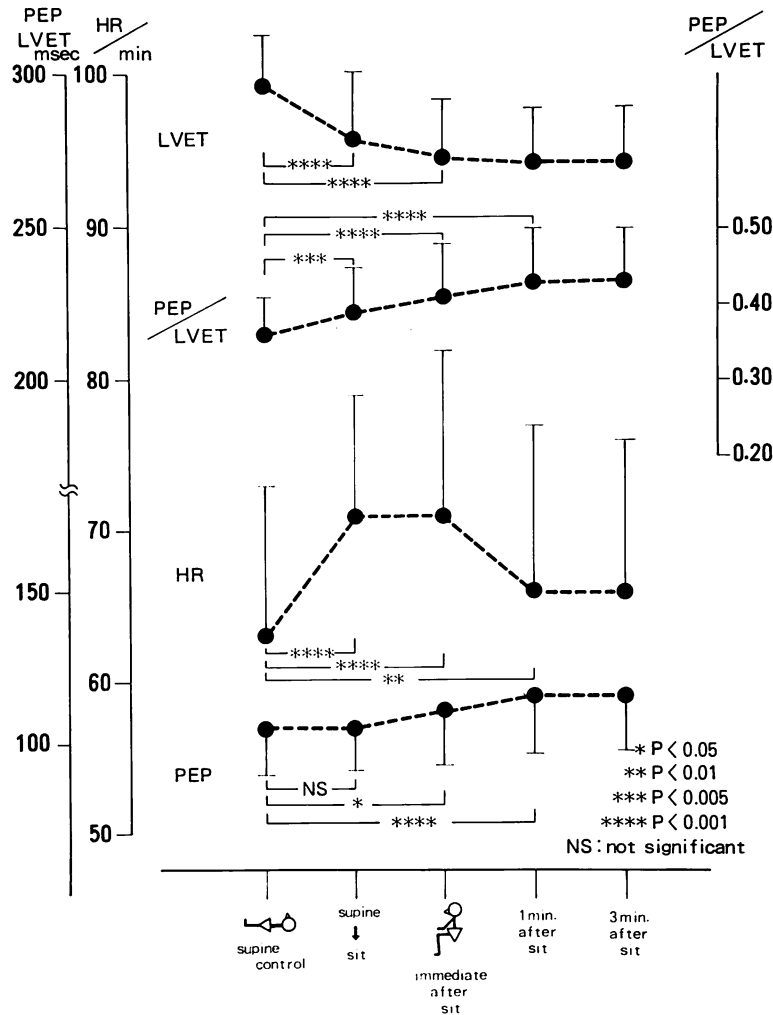


Fig. 6. Hemodynamic changes during acute upright posture.

HR=heart rate. Other abbreviations are as in Fig. 4.

における循環系モニタリングシステムとしては種類の検査が確立されている。しかし既存の検査法を用い、心筋梗塞症患者の日常生活動作中の心機能の評価した報告^{4,21~23)}の内容は、血圧や心拍数および両者を乗じた二重積 (double products: DP), または心電図上の ST-T 部分の検討にとどまっている。また日常生活動作中の血行動態を検討した報告^{24,25)}は、実際の動作ではなくモデル

化したものについてであり、日常生活動作における血行動態をそのまま表現しているとは言い難い。一方、STI^{11,12)}は患者に苦痛を与えることなく血行動態の評価を可能とするため、一般に広く用いられている。その中でも PEP/LVET は観血的心臓カテーテル検査や RI 検査で求められた駆出分画と有意な負相関を有し、臨床的な心機能指標として一定の評価を得ている^{11,26~28)}。しか

Table 2. Hemodynamic changes during acute upright posture

	HR (/min)	BPS (mmHg)	BPD (mmHg)	PEP/LVET	PEP (msec)	LVET (msec)
Supine control	63±10	118±13	74±9	0.36±0.05	106±15	293±20
Supine → sitting	72±9****			0.39±0.06***	106±14	277±25****
Immediate after sitting	72±11****	118±18	78±9	0.41±0.07****	111±16*	271±20****
1 min after sitting	67±12**	117±13	80±8*	0.43±0.07****	116±18****	270±20****
3 min after sitting	67±11**	120±15	81±7**	0.43±0.07****	116±18****	270±20****

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$

頸動脈波による従来の方法では、体動時に波形の乱れが生じるなど、STI 測定上の手技的な困難から、日常生活動作での測定が不可能であった。

これに対し、耳介部にイヤピースを装着する EDG では動作時にも安定した脈波がえられ⁷⁻¹⁰⁾、心筋梗塞症患者の日常生活動作時や急速体位変換時の STI 測定、その血行動態変化の検討に適している。Spodick らは EDG と頸動脈波から得られる STI がよく相関し、EDG を用いて立位運動負荷試験における血行動態を連続的に測定できると述べており^{9,10)}、また健常人において、Holter EDG を用いて日常生活動作中での STI が測定可能であると報告している²⁹⁾。

1. Holter EDG

従来のホルター血圧計や心電図のみによる日常生活の各種動作時の検討では、心不全状態を含めた血行動態の変化を十分評価できるとは言えない。とくに日常労作中、心血管系に過負荷が予測される排便時の心機能をとらえることは重要である。本研究で排便時に心拍数が増加する例と減少する例を認めた。従来の報告^{1,4)}でも増加・減少のいずれもみられるため、排便時の心機能を二重積を用いて十分評価することはできないとされている。しかし EDG から得られた PEP/LVET を

用いて評価すると、心拍数の増加、減少にかかわらず、この値はいずれも増加していた。心拍数の変化が相反するのに対し、程度の違いがあるとはいえ、PEP/LVET の値が同じく増加し、心拍数が増加した例ではそれがより著明であった。この成績を解釈するには個々の因子を検討する必要がある。心拍数が増加した例では PEP は不変であり、LVET が著明に短縮していた。また心拍数が減少した例では PEP は延長し、LVET は不変であった。PEP は左室拡張末期圧、拡張期血圧と心収縮力により規定されている^{11,12)}。すなわち心拍数が増加した例では交感神経系が優位に働いた結果、心収縮力の増強が PEP を短縮させる方向に働き、またかがみこみ姿勢やいきみ動作による胸腔内圧の上昇と静脈還流の低下は左室拡張末期圧を低下させ、それとともに怒責による拡張期血圧上昇が、PEP を延長させる方向に働く。これら要因が相殺されて PEP は不変となる。しかし心拍数が減少した例では交感神経系の影響が少ないと考えられ、収縮力増強による PEP の短縮効果よりも左室拡張末期圧低下と拡張期血圧上昇による PEP の延長効果の方が優位となり、結果として PEP は延長する。LVET は左室駆出率の増大、静脈還流、一回拍出量の低下により短縮す

る。また LVET は拡張期血圧の上昇に代表される後負荷の増大により延長する^{11,12)}。心拍数が増加する例は後負荷増大により LVET は延長する方向に働くが、静脈還流の低下、左室充満時間の減少がこれを上まわり、LVET は短縮する。心拍数が減少する例では、後負荷増大と左室充満時間の増加による LVET の延長と、静脈還流の低下による LVET の短縮がバランスよく作用し、結果として LVET は不変となる。すなわち心拍数の増加例、減少例ともに PEP/LVET が増加したが、減少例に比し、増加例では二重積の増加から心筋酸素消費の増大が考えられ³⁰⁾、PEP/LVET の増加とあわせて考えると、多大な心負荷が存在したと思われる。

食事時の PEP/LVET は比較的高値を示しているが、これは食事を口へ運ぶ動作、咀嚼運動などの食事労作による影響と³⁾、消化管の運動亢進に伴う血流増大が pooling をきたし、静脈還流の減少から一回拍出量の減少を導き、これら両者が関与する結果と考えられる。

田辺ら¹⁾はホルター心電計を用い、心筋梗塞症患者の食事および排便中における ST-T 変化の陽性例がそれぞれ 26 例中 5 例、21 例中 4 例であったと報告している。本研究では心電図上 ST-T 部分の異常を認めた例はなかったが、血行動態上の変化は認められ、したがって心電図変化が陰性の例であっても、心電図上表現し得ない心血行動態の変化が存在する可能性が考えられる。つまり総括的に日常生活動作における心機能の変化を把握するためには、心電図上の評価のみならず、血行動態の面からの評価が必要であると考えられる。

2. 急速体位変換

体位変換動作は日常生活に不可欠な動作であるにもかかわらず、これまでの体位変換負荷時の血行動態変化に関する報告^{13~18)}は、tilt up による受動的な体位変換での血行動態変化について述べているものがほとんどであり、また能動的な体位変換の報告³¹⁾では、既存の検査法における手技的

な困難さから、安静時と動作終了後数分における血行動態の比較について述べているにすぎず、動作中や動作終了直後の血行動態は明らかにされていない。EDG は動作中においても安定した波形が得られ、これまで明らかにされなかった能動的起坐動作での動作中、動作終了直後の血行動態を評価することができる。

この方法によると、起坐動作により PEP/LVET は動作中より増加したが、これは動作開始に伴う副交感神経優位からの離脱³²⁾、内因性カテコラミンの遊出^{33,34)}能動的起坐動作に伴う四肢軀幹の骨格筋収縮^{35,36)}が動作開始直後の急激な心拍数増加を導き、LVET が短縮する方向に働いたためと考えられる。一方、PEP は左室拡張末期圧の低下^{17,18,31)}による延長効果と、カテコラミンによる心収縮力増強から導かれる短縮効果がバランスよく作用した結果、不変にとどまったと思われる。動作終了直後から起坐持続 1 分後にかけては、体位変換に伴う循環血液の下方偏位のために生じる静脈還流の低下によって一回拍出量の低下を生じ、さらに LVET が短縮する一方、静脈還流の低下から左室拡張末期圧が低下し、PEP は延長する方向に向う。また心拍数の減少傾向にみられるごとく、カテコラミンの影響が弱まり、増強していた心収縮力は軽減し、拡張期血圧の上昇も加わり、PEP は延長する。LVET のいっそうの短縮、PEP の延長から、この時点での PEP/LVET はさらに増加する。

以上のように体位変換時の心血行動態の変化は動作開始直後より生じており、これまでの報告³¹⁾にみられる動作終了後数分での心血行動態はすでに恒常状態となっていることが判明した。今後、動作中の心血行動態の変化をさらに細かく分析し、1 心拍ごとの検討も必要であろうと思われる。

本研究において EDG を用いることにより、既存の検査法では明らかにし得なかった日常生活動作中や体位変換中に起こる血行動態の連続的な変化を明らかにし得た。心筋梗塞症患者の管理上、今回得られた結果を心電図や血圧変化とともに詳

細かつ正確に評価することは、患者の安全かつ積極的なリハビリテーションを進めてゆくうえで大きな示唆を与えるものであろう。

要 約

院内慢性期の急性心筋梗塞症患者の日常生活動作は主として立位で行われているが、これまでの報告における心機能検査は臥位で行われているものが多い。本研究では急性心筋梗塞症 14 例に対し、24 時間連続記録 ear densitography (Holter EDG) を用いて日常生活動作中の血行動態について検討した。さらに順調に社会復帰している心筋梗塞症 35 例に対して急速体位変換負荷を行い、変換中の血行動態の変化を明らかにした。

Holter EDG を用いて日常生活動作中の血行動態を検討したところ、97% で良好な記録が得られた。Systolic time intervals (STI) が最も有意な変化を示した動作は排便であり、排便時、PEP/LVET は有意な増加を認めた ($0.42 \pm 0.09 \rightarrow 0.50 \pm 0.09$, $p < 0.05$)。しかし心拍数は 5 例で増加、4 例で減少し、一定の傾向を示さなかった。PEP/LVET は睡眠中、歩行中、洗面中で変化を認めなかったが、食事中、排尿中では増加傾向を認めた。

急速体位変換負荷時(臥位 → 坐位)、心拍数は急激な増加を示し、PEP/LVET は動作開始直後より上昇した ($0.36 \pm 0.05 \rightarrow 0.39 \pm 0.06$, $p < 0.005$)。またさらに動作終了直後で 0.36 ± 0.05 から 0.41 ± 0.07 ($p < 0.001$)、坐位持続 1 分後で 0.36 ± 0.05 から 0.43 ± 0.07 ($p < 0.001$) と増加し、持続 1 分以後、恒常状態となった。このように各循環諸量が動作の開始初期より急激な変化を示すことは、交感神経系の反応と静脈還流の変化が同時に起こっていることを示唆する。

Holter EDG は日常生活動作中の血行動態評価を可能とし、今回の検討で得られた結果は、急性心筋梗塞症患者における回復期の病態と血行動態を把握するうえで有用であると考えられた。

この研究は昭和 60 年度科学研究費補助金、課題番号 60770665 の奨励を受けた。

文 献

- 1) 田辺晃久, 兼本成斌, 五島雄一郎: 虚血性心臓病患者における日常生活動作と心電図変化. 医学のあゆみ **122**: 109-111, 1982
- 2) Shah NJ, Bandi SC, Jajoo JN, Mishra SJ, Pinto IJ: Monitoring cardiovascular complications during colonic reflex in acute myocardial infarction. J Ass Physiol India **27**: 1049-1053, 1979
- 3) 久保美也子, 森田智恵子: 心筋梗塞患者の日常生活労作の指導とセルフケア. 看護技術 **32**: 75-79, 1986
- 4) Tanabe T, Goto Y: Unstable angina pectoris: Changes in the ST-T segment during daily activities such as bathing, eating, defecating and urinating. Jpn Circ J **47**: 451-458, 1983
- 5) 宮本 武, 吉野文雄, 鶴木哲秀, 深川和英: CCU における急性心筋梗塞例の検討. 救急医学 **9**: 747-751, 1985
- 6) 渡辺 直, 西田 博, 三隅寛恭, 遠藤真弘, 小柳仁: 冠状動脈バイパス術後の上室性頻脈性不整脈. Coronary **2**: 121-127, 1985
- 7) Lance VQ, Spodick DH: Systolic time intervals utilizing ear densitography. Am Heart J **94**: 62-66, 1977
- 8) Quarry-Pigott V, Chirife R, Spodick DH: Ejection time by ear densitogram and its derivative: Clinical and physiologic applications. Circulation **48**: 239-246, 1973
- 9) Chirife R, Spodick DH: Densitography: A new method for evaluation of cardiac performance at rest and during exercise. Am Heart J **83**: 493-503, 1972
- 10) Sugiura T, Doi YL, Haffty BG, Moreau KA, Bishop RL, Spodick DH: Non-invasive assessment of left ventricular performance in patients with ischemic heart disease: Ear densitographic study during uninterrupted treadmill exercise. Am J Cardiol **48**: 101-105, 1981
- 11) Lewis RP, Leighton RF, Forrester WF, Weissler AM: Systolic time intervals. in Noninvasive Cardiology, ed by Weissler AM. Grune & Stratton, New York, 1974, pp 301-368
- 12) Lewis RP, Rittgers SE, Forester WF, Boudoulas H: A critical review of the systolic time intervals. Circulation **56**: 146-158, 1977
- 13) Abelmann WH, Fareeduddin K: Increased tolerance of orthostatic stress in patient with heart

- disease. *Am J Cardiol* **23**: 354-363, 1969
- 14) Spodick DH, Meyer M, Raoul J: Effect of upright tilt on the phases of the cardiac cycle in normal subjects. *Cardiovasc Res* **5**: 210-214, 1971
 - 15) Stafford RW, Harris WS, Weissler AM: Left ventricular systolic time intervals as indices of postural circulatory stress in man. *Circulation* **41**: 485-492, 1970
 - 16) Howard P, Leathart GL: Changes of pulse pressure and heart rate induced by changes of posture in subjects with normal and failing heart. *Clin Sci* **10**: 521-536, 1951
 - 17) Rapaport E, Wong M, Escobar EE, Martinez G: The effect of upright posture on right ventricular volume in patients with and without heart failure. *Am Heart J* **71**: 146-152, 1966
 - 18) Zambrano SS, Spodick DH: Comparative responses to orthostatic stress in normal and abnormal subjects: Evaluation by impedance cardiography. *Chest* **65**: 394-396, 1974
 - 19) Spodick DH: Polycardiographic evaluation of the performance of the heart. *Cardiovasc Sound Bull* **3**: 285-297, 1973
 - 20) Spodick DH, Lance VQ: Noninvasive stress testing: Methodology for elimination of the phonocardiogram. *Circulation* **53**: 673-676, 1976
 - 21) Schang SJ, Pepine CJ: Transient asymptomatic ST segment depression during daily activity. *Am J Cardiol* **39**: 396-402, 1977
 - 22) Golding B, Wolf E, Tzivoni D, Stern S: Transient ST elevation detected by 24-hour ECG monitoring during normal daily activity. *Am Heart J* **86**: 501-507, 1973
 - 23) Singman H, Kinsella E, Goldberg E: Electrocardiographic changes in coronary care unit patients during defecation. *Vasc Surg* **9**: 54-57, 1975
 - 24) Benchimol A, Wang TF, Desses KB, Gartlan JL: The Valsalva maneuver and coronary artery flow velocity: Studies in man. *Ann Int Med* **77**: 357-360, 1972
 - 25) Flessas AP, Kumar S, Spodick DH: Effect of the Valsalva maneuver on the cardiac systolic intervals; Beat to beat versus timed analysis. *Am Heart J* **80**: 522-531, 1970
 - 26) Stack RS, Sohn YH, Weissler AM: Accuracy of systolic time intervals in detecting abnormal left ventricular performances in coronary artery disease. *Am J Cardiol* **47**: 603-609, 1981
 - 27) Garrard CL Jr, Weissler AM, Dodge HT: The relationship of alterations in systolic time intervals to ejection fraction in patient with cardiac disease. *Circulation* **42**: 455-462, 1970
 - 28) Lewis RP, Boudoulas H, Welch TG, Forester WF: Usefulness of systolic time intervals in coronary artery disease. *Am J Cardiol* **37**: 787-796, 1976
 - 29) Haffty BG, Kotilainen PW, Kobayashi K, Bishop RL, Spodick DH: Development of an ambulatory systolic time intervals monitoring system. *J Clin Engineer* **2**: 199-210, 1977
 - 30) Gobel FL, Nordstrom LA, Nelson RR, Jorgenson CR, Wang Y: The rate-pressure products as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. *Circulation* **57**: 549-556, 1978
 - 31) Boudoulas H, Barrington W, Olsen SM, Bashore TM, Wooley CF: Effect of acute standing and prolonged upright activity on left ventricular hemodynamics: Systolic and diastolic intervals, and QT-QS relationship. *Am Heart J* **110**: 623-630, 1985
 - 32) Xenakis AP, Quarry VM, Spodick DH: Immediate cardiac reponse to exercise: Physiologic investigation by systolic time intervals at good work load. *Am Heart J* **89**: 178-185, 1975
 - 33) Hickler RB, Wells RE Jr, Tyler HR, Hamilton JT: Plasma catecholamine and electroencephalographic responses to acute postural change. *Am J Med* **26**: 410-423, 1959
 - 34) Spodick DH: The effect of β -adrenergic blockade on cardiac responses to orthostatic stress. *Am Heart J* **83**: 719-722, 1972
 - 35) Petro JK, Hollander AP, Bouman LN: Instantaneous cardiac acceleration in man induced by a voluntary muscle contraction. *J Appl Physiol* **29**: 794-798, 1970
 - 36) Borst C, Hollander AP, Bouman LN: Cardiac acceleration elicited by voluntary muscle contractions of minimal duration. *J Appl Physiol* **32**: 70-77, 1972