

THE RELATION OF THE BALLISTOCARDIOGRAM TO AGING  
心弾動図と加齢との関係

ROLAND H. INGRAM, Jr., M.D.  
DANIEL SEIGEL, S.D.



TECHNICAL REPORT SERIES  
業 績 報 告 書 集

The ABCC Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, advisory councils, and affiliated government and private organizations. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

ABCC業績報告書は、ABCCの日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

# THE RELATION OF THE BALLISTOCARDIOGRAM TO AGING

## 心弾動図と加齢との関係

ROLAND H. INGRAM, Jr., M.D.<sup>1†</sup>

DANIEL SEIGEL, S.D.<sup>2</sup>

Approved 承認 29 September 1966



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION  
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

A Cooperative Research Agency of  
U.S.A. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NATIONAL RESEARCH COUNCIL  
and  
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

with funds provided by  
U.S.A. ATOMIC ENERGY COMMISSION  
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH  
U.S.A. PUBLIC HEALTH SERVICE

### 原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米国学士院 - 学術会議と厚生省国立予防衛生研究所  
との日米共同調査研究機関

米国原子力委員会、厚生省国立予防衛生研究所および米国公衆衛生局の研究費による

*Departments of Medicine<sup>1</sup> and Statistics<sup>2</sup>*

臨床部<sup>1</sup> および統計部<sup>2</sup>

† Surgeon, US Public Health Service, Division of Radiological Health, Research Branch, assigned to ABCC.

米国公衆衛生局放射線保健部研究部門所属医師で ABCC へ派遣

# CONTENTS

## 目次

Introduction 緒言 .....	1
Subjects 調査対象者 .....	2
Methods 方法 .....	2
Results 成績	
Radiation Exposure 放射線被曝 .....	4
Age 年齢 .....	4
Cardiovascular Disease 心臓血管疾患 .....	7
Cardiothoracic Ratio 心臓胸廓比 .....	8
Body Weight 体重 .....	8
Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧 .....	10
Hemoglobin 血色素 .....	12
Summary 要約 .....	14
References 参考文献 .....	14

<b>TABLE 1.</b> Age distribution of study sample	
表 調査対象者の年齢分布 .....	2
2. Ballistocardiogram scores by age, sex, and comparison group	
心弾動図成績：年齢・性・比較群別 .....	5
3. Ballistocardiogram scores subjects with and without diseases affecting the cardiovascular system by age and sex	
心臓血管系を冒す疾病のある対象者およびそれのない対象者の心弾動図成績：年齢・性別 .....	9
4. Ballistocardiogram scores by weight percentile, age, and sex	
心弾動図成績：体重百分位数・年齢・性別 .....	9

<b>FIGURE 1.</b> Normal ballistocardiogram	
図 正常心弾動図 .....	3
2. Classification of ballistocardiograms	
心弾動図の分類 .....	4
3. Ballistocardiogram score by age at examination	
検査時年齢別心弾動図成績 .....	6
4. Ballistocardiogram score by cardiothoracic ratio	
心臓胸廓比別心弾動図成績 .....	8
5. Ballistocardiogram score by diastolic blood pressure	
拡張期血圧別心弾動図成績 .....	10
6. Ballistocardiogram score by diastolic blood pressure and age	
拡張期血圧・年齢別心弾動図成績 .....	11
7. Ballistocardiogram scores, male age 50+ by hemoglobin level	
50歳以上の男性の心弾動図成績：血色素値別 .....	13



## THE RELATION OF THE BALLISTOCARDIOGRAM TO AGING

### 心弾動図と加齢との関係

#### INTRODUCTION

Ballistocardiograms are recordings of bodily movements produced by movements of the heart and the blood. Patterns of varying specificity are found in the study of normal and malfunctioning cardiovascular systems. To minimize artifact and to permit more precise physical quantitations, Starr<sup>1</sup> developed elaborate recording equipment. To meet the need for a simplified apparatus which could be used more widely, Dock and Taubman<sup>2</sup> designed a direct recording technique. Dock believes that ballistocardiography is more valuable as an empirical clinical index than as an exact physiologic measurement. Application of the direct recording technique for diagnosis has been disappointing because diverse structural and functional cardiovascular disorders produce similar ballistocardiographic abnormalities.<sup>3-5</sup> Moreover, some persons with no evidence of cardiovascular disease have abnormal ballistocardiograms and some persons with established cardiovascular disease have normal tracings.<sup>5,6</sup> Hence, the significance of ballistocardiographic abnormalities is uncertain.

Previous studies with the Dock ballistocardiograph have focused on patients with established heart disease. The control groups have been patients with varied noncardiac diseases and healthy young people. Efforts were primarily aimed at evaluating the clinical diagnostic usefulness of the technique. The present study on 1025 Japanese subjects, 30 years of age or older, unselected with respect to the presence or absence of cardiovascular disease, was undertaken to evaluate the Dock ballistocardiograph in an epidemiological survey (as opposed to a specific clinical assessment) of a basically healthy population. Since the late effects of atomic bomb irradiation are under study by ABCC and since cardiovascular changes produced by irradiation have been reported elsewhere,<sup>7</sup> this aspect has also been investigated.

Only the direct body ballistocardiograph (Dock) is evaluated and the observations are not intended to apply to any other method of recording.

#### 緒言

心弾動図は、心動および血行によって生ずる体動を記録したものであり、正常な心臓血管系と機能不全の心臓血管系の研究において、種々の特異的な像が認められている。人為変化を最小限度にとどめ、物理的により正確な数量的結果を得るために、Starr<sup>1</sup>は複雑な記録装置を開発した。DockおよびTaubman<sup>2</sup>は、より広く使用できる簡易化された装置の必要を満たすために、直接に記録できる装置を考案した。Dockの考えによれば、心弾動図法は、正確な生理学的測定よりも、実験的臨床指標として用いる方が有益であるという。異なった構造上および機能上の心臓血管障害によって同様な心弾動図の異常が現われるので、直接記録装置を診断に応用することはあまり有益ではない。<sup>3-5</sup>なお、心臓血管疾患の徴候のない一部の者でも、心弾動図に異常があり、心臓血管疾患が認められた一部の者でも、心弾動図は正常である。<sup>5,6</sup>したがって、心弾動図の異常の有意性は断定できない。

Dockの心弾動図法による従来の研究は、心臓疾患の診断を受けた患者を中心に行なわれた。その対照群として、心臓疾患以外の各種の疾病を持つ者および健康な青年を用いた。その主目的はこの技法の臨床診断の有用性の評価をすることにあつた。心臓血管疾患の有無について選択的でない30歳以上の日本人1025人を対象にした本調査は、本質的に健康な対象集団の疫学的調査(特殊の臨床的調査と対照的なもの)におけるDockの心弾動図法を評価するために行なつたものである。原爆放射線被曝の後影響は、ABCCにおいて調査されており、放射線照射が心臓血管に変化を起こすと他の著者が報告している<sup>7</sup>ので、この面の研究も行なつた。

直接人体心弾動計(Dock)が評価されたにすぎないので、ここに述べる観察は、他の心弾動図法に当てはまるものではない。

## SUBJECTS

All 1025 subjects (443 male, 582 female) are part of the ABCC-JNIH Adult Health Study at ABCC in Hiroshima. The methods of study and the composition of the Adult Health Study sample have been described.<sup>8</sup> Survivors located 0-1999 m from the hypocenter at the time of the bomb(ATB) reporting acute symptoms of irradiation(Group 1) were matched by age and sex with: survivors at 0-1999 m who reported no symptoms of irradiation (Group 2); survivors at 3000-3499 m (Group 3); and persons not in Hiroshima ATB (Group 4). It is emphasized that the subjects in this study were predominantly ambulatory and willingly cooperated in the program. They were not often debilitated, nor were they often seeking medical care. In addition, those who were ill or debilitated were visited in their homes or local hospitals and did not visit this clinic. Thus, the study subjects are not comparable to a hospital, clinic, or office-practice population.

Members of the Adult Health Study sample visit the clinic biennially. From 1 July 1962 to 1 February 1963, at the time of their routine examinations, individuals were randomly selected for a ballistocardiogram in addition to the routine history, physical examination, chest roentgenogram, electrocardiogram and hemogram. The age distribution for the 1025 subjects is presented in Table 1.

TABLE 1 AGE DISTRIBUTION OF STUDY SAMPLE  
表1 調査対象者の年齢分布

Age 年齢	Male 男	Female 女	Total 計
30-39	135	197	332
40-49	78	120	198
50-59	98	129	227
60-69	105	104	209
70+	27	32	59
Total 計	443	582	1025

## METHODS

After having a 12-lead electrocardiogram taken, the subject remained supine on a rigid, unpadded table and the ballistocardiogram was obtained by the shin-bar\* method.<sup>9</sup> The electromagnetic output was fed into 1 channel of a 2-channel Sanyei direct heatwriting recorder. The resulting record represents body movements on a longitudinal axis. For timing purposes a lead II electrocardiogram was simultaneously recorded on the 2nd channel. A tracing containing at least 25 cardiac cycles

## 調査対象者

本調査の対象者全員1025人(男性443人, 女性582人)は, 広島ABCCにおけるABCC-予研成人健康調査対象者の一部である。成人健康調査の調査方法および対象者の構成については, 別に詳述してある。<sup>8</sup> 原爆時に爆心地から0-1999mの距離にいて, 急性放射線症状を呈した者(第1群)と同じ年齢・性別構成を持つ次の群を選んだ。すなわち0-1999mの距離にいて放射線症状を呈しなかった者(第2群), 3000-3499mの距離にいた者(第3群)および原爆時に広島にいなかった者(第4群)である。本調査の参加者は, 歩行できる者で, 成人健康調査に協力されたものである。また, 大部分のものは衰弱していなかったし, 診療も求めていなかった。病人または衰弱している者は, その自宅または病院で検診し, ABCCの外来で受診しなかった。したがって, 調査対象者は, 病院, 診療所または医院の集団と異なるものである。

成人健康調査対象者は, 2年ごとに診察を受ける。定期診察に際しては, 通常の病歴聴取, 診察, 胸部X線検査, 心電図検査および血液検査を行なうが, 1962年7月1日から1963年2月1日までに受診した者から, 心弾動図検査の対象者を任意抽出した。調査対象者1025人の年齢分布は表1に示してある。

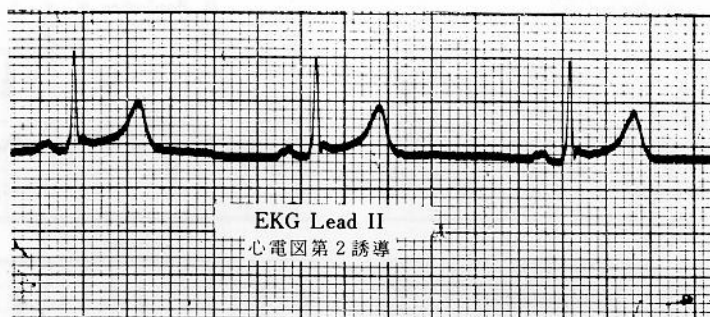
## 方法

12誘導の心電図記録を取ったのちに, パッドがついていない固定したテーブル上で患者を仰臥位にさせ, 脛棒法\*<sup>9</sup>によって心弾動図検査を行なった。電磁気出力を2チャンネルの三栄電気直接熱記録装置の1チャンネルに接続した。得られた記録は, 身体の縦軸に運動を示すものである。時間を表示するために, 心電図の第2誘導を第2チャンネルに同時に記録した。比較的に一定した基準線

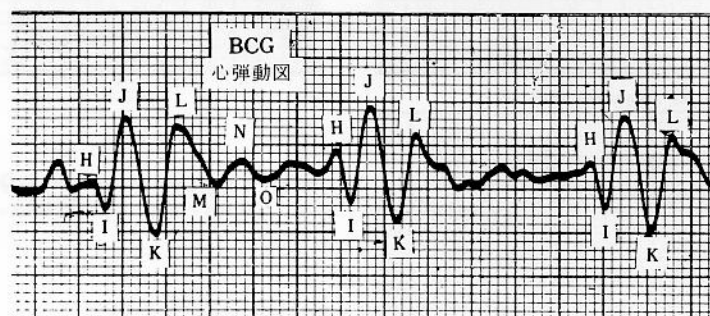
\* Dock type of electromagnetic shin-bar manufactured by Sanyei Electric Company, Tokyo, Japan. 東京・三栄電気の Dock 式電磁気脛棒装置

FIGURE 1 NORMAL BALLISTOCARDIOGRAM

図1 正常心弾動図



Paper speed 25 mm/sec. ペーパーの速度25mm/秒



on a relatively constant baseline was the minimum required for analysis. Figure 1 pictures a sample recording with systolic waves labeled.

Five grades based on the criteria outlined by Fidler et al<sup>3</sup> were used. Classification depended on qualitative aspects of wave forms and relative amplitudes within each tracing.

**Class 0** Normal pattern and amplitude with the J waves as the highest and most peaked wave of each complex (Figure 2A).

**I** Definitely identifiable waves with a regular pattern, but with the shortest I-J amplitude less than  $\frac{1}{2}$  of the tallest (Figure 2B).

**II** Small I, J, and K components which are identifiable (Figure 2C).

**III** J deflections which are sometimes unidentifiable with I and/or K waves often absent. If I and K waves are present, they vary in shape and/or depth (Figure 2D).

**IV** Resemble those of Class III, but the pattern is irregular and bizarre (Figure 2E).

に少なくとも25の心周期にわたる記録が、解析に必要な最小限度の条件であった。図1は、心弾動図における収縮期波を表示した記録の見本を示す。

心弾動図を Fidler ら<sup>3</sup> が略述した判定基準に基づく5つの階級に区分した。分類は各記録における波形の性質および相対的振幅によった。

**分類 0級** 正常な波型と振幅。各棘波群のうちJ波が最高で最も突出した峰をなす(図2A)。

**I** 波はよく確認でき、その波型は正常であるが、最低I-J波の振幅は最高I-J波の振幅の $\frac{1}{2}$ 以下である(図2B)。

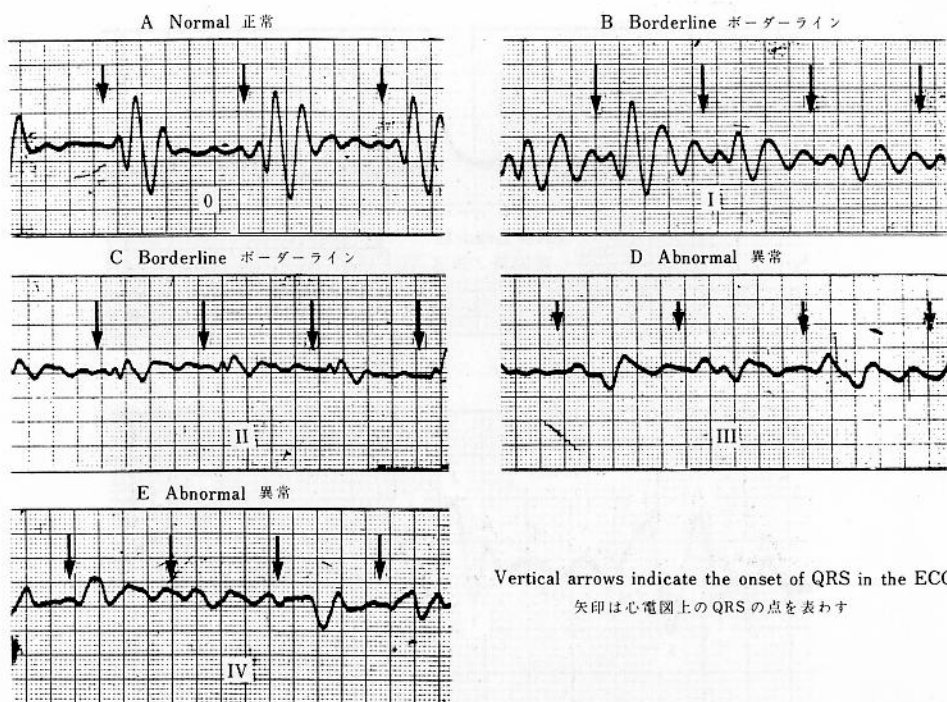
**II** I, J, K波は小さいが、確認できる(図2C)。

**III** J波は、時には確認できないが、I波またはK波がよく存在しない。I波およびK波が認められる時は、その波形や深さが同一ではない(図2D)。

**IV** III級に類似しているが、その波型は不規則で異様である(図2E)。

FIGURE 2 CLASSIFICATION OF BALLISTOCARDIOGRAMS

図2 心弾動図の分類



The classifications are broad and overlapping occurs, especially between I and II and between III and IV. Therefore, the following groupings were used in the analysis of results: class 0 referred to as *normal*; classes I and II referred to as *borderline*; classes III and IV referred to as *abnormal*.

One investigator (RHI) having no information about the subject other than a file number graded each tracing.

All data including ballistocardiogram class, radiation exposure group, age, height, weight, systolic and diastolic blood pressures, electrocardiographic result, chest roentgenographic interpretation and measurements, and all diagnoses (coded according to the International Classification of Diseases of the World Health Organization) were recorded on IBM punch cards.

## RESULTS

**Radiation Exposure** In Table 2 the ballistocardiogram classifications of the four comparison groups are shown by age and sex. The four groups showed no significant differences, so irradiation was not further considered in presenting the data.

**Age** Figure 3 contains the ballistocardiogram ratings by age for males and females combined. The percentage of

分類の範囲は広く、特にI級とII級、III級とIV級の間にそれぞれ重複が生じる。したがって、次の区分を成績の解析に用いた。0級—正常、I級およびII級—ボーダーライン、III級およびIV級—異常。

記録番号以外は、対象者について何も知らない研究者 (RHI) が、記録を評価した。

心弾動図の階級、被爆区分、年齢、身長、体重、収縮期および拡張期血圧、心電図成績、胸部X線の所見と計測およびWHOの国際疾病分類に基づいて符号化した診断はすべてIBMパンチ・カードに記録した。

## 成績

放射線被曝 表2には、4つの比較群の心弾動図分類が年齢・性別に示してある。この4群の間には、有意差は認められなかったので、原爆放射線について、資料の解析は行なわなかった。

年齢 図3には、性別・年齢別の心弾動図成績が示してある。年齢とともに正常な心弾動図の百分率は低下し、



TABLE 2 BALLISTOCARDIOGRAM SCORES BY AGE, SEX, AND COMPARISON GROUP

表2 心弾動図成績：年齢・性・比較群別

Comparison Group 比較群	30-39 years 歳				40-49				50-59				60-69				70+				
	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Border- line* ボーダー ライン	Ab- normal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Border- line* ボーダー ライン	Ab- normal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Border- line* ボーダー ライン	Ab- normal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Border- line* ボーダー ライン	Ab- normal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Border- line* ボーダー ライン	Ab- normal* 異常	
<b>Male 男</b>																					
1	0-1999 m†	37	78	16	5	22	64	18	18	28	39	29	32	28	25	32	43	4	25	-	75
2	0-1999 ‡	34	82	12	6	19	63	26	10	21	48	38	14	29	31	38	31	9	11	22	67
3	3000-3499	30	83	13	3	16	44	44	12	32	31	34	34	28	18	43	39	7	43	29	29
4	Not-in-city 市内不在	34	79	15	6	21	71	19	10	17	24	47	29	18	44	39	17	7	29	43	29
<b>Female 女</b>																					
1	0-1999 m	55	62	31	7	27	37	44	18	28	21	46	32	28	21	39	39	5	-	20	80
2	0-1999	41	78	15	7	37	38	40	22	34	12	50	38	20	20	30	50	11	9	27	64
3	3000-3499	45	69	29	2	31	45	32	23	34	32	24	44	22	27	27	46	7	14	43	43
4	Not-in-city 市内不在	46	66	30	4	24	62	17	21	33	27	39	33	34	29	24	47	9	22	22	56

\* Ballistocardiogram percentage 心弾動図%

† Reported acute symptoms of irradiation ATB 被曝時急性放射線症状があった

‡ Reported no symptoms of irradiation ATB 被曝時急性放射線症状がなかった

normal records declines and the proportion of abnormal records progressively increases with advancing age. The transition from mostly normal to mostly abnormal classifications occurs in the 50-59 age group which has the largest percentage of borderline records. The two lower age groups exhibit a stepwise decline in percentages going from normal to abnormal ballistocardiograms, whereas the two age groups above 50-59 years have a progressive increase.

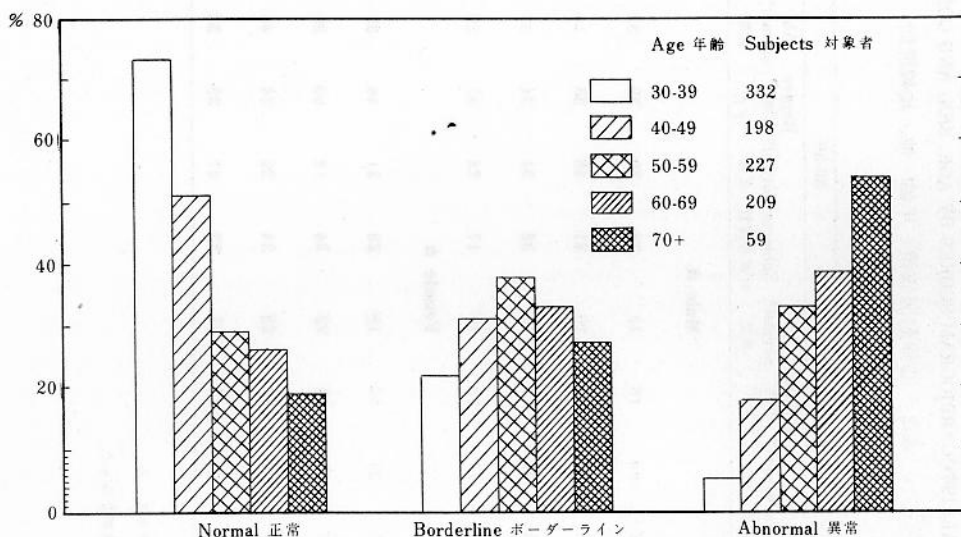
Fidler et al.<sup>3</sup> using the same classification criteria, found fewer normal records in subjects without cardiovascular disease 40 years of age and older than were found for all subjects of these ages in the present study.

異常な心弾動図の割合は増加している。正常から異常への移行は、ボーダーラインの心弾動図の百分率が最も高い50-59歳の年齢群にみられる。これより低い2つの年齢群の心弾動図所見が正常から異常になる百分率は段階的に低下しているが、50-59歳より高い2つの年齢群では、その百分率は漸増している。

Fidler ら<sup>3</sup> は、同じ分類規準を用いて、本調査における40歳以上の対象者に比較して心臓血管疾患のない同年齢群における正常心弾動図が少ないという。

FIGURE 3 BALLISTOCARDIOGRAM SCORE BY AGE AT EXAMINATION

図3 検査時年齢別心弾動図成績



However, the overall percentage of abnormal records in both studies was nearly equal. Findings more similar to the present results were reported by Fagin<sup>10</sup> and by Fulton<sup>4</sup> in subjects without cardiovascular disease. It should be noted in comparing results that the noncardiovascular disease subjects in other reports included mostly persons with varied chronic disorders. In addition, the normal controls of other studies were mainly younger subjects so that no direct comparison is possible. The correlations with age in this study include persons having diseases of the cardiovascular system. Comparison of other reports with the noncardiovascular disease group in the present study shows this study population to have even better scores in all age categories.

しかし、両調査における異常記録の総合百分率は、ほとんど等しい。心臓血管疾患のない対象者について行なった Fagin<sup>10</sup> および Fulton<sup>4</sup> は、本調査の成績に類似する所見を認めている。他の報告における心臓血管性疾患がない対象者に、各種の慢性疾患を有するものが含まれていることは、成績を比較する上で注目する必要がある。さらに、他の調査では若年齢群を正常対照者としているので、本調査成績と直接に比較することはできない。本調査では心臓血管系疾患のある者を含めて、年齢との相関を調べた。他の調査成績と本調査における心臓血管性疾患を持たない群とを比較したところ、本調査群の成績が各年齢区分においてまさっている。

March,<sup>11</sup> using a more precise technique for recording ballistocardiograms in three planes, observed that a change in direction of force was related more closely to aging than a change in the magnitude of force. The longitudinal forces diminished and lateral forces increased with aging. Starr has described systolic force diminution in all planes in older subjects.<sup>12</sup> Since only the longitudinal ballistocardiogram has been used here directional change cannot be evaluated.

Ballistocardiographic abnormalities have been considered suggestive of coronary artery disease in the absence of hypertension, valvular disease or primary myocardial disease to explain malfunction. This suggestion is based on Starr's 20-year follow-up studies on his original control subjects.<sup>13</sup> Starr found retrospectively that the ischemic heart disease mortality and morbidity were higher in subjects with low amplitude ballistocardiograms than in those having greater amplitudes. In the Japanese population, where coronary artery disease is much less common than in the United States,<sup>14</sup> more normal ballistocardiograms might be expected at any given age.

**Cardiovascular Disease** Subjects with rheumatic heart disease, coronary artery disease, cardiac arrhythmias, history or presence of congestive heart failure, hypertension, generalized arteriosclerosis, kyphoscoliosis, emphysema and/or chronic bronchitis were combined and the data handled separately from those with none of these diagnoses. There were 295 subjects with at least one of the above named diagnoses and 730 with none of them. The results are presented in Table 3. In this and following figures, 'Borderline' percentages are omitted for the sake of simplicity. In all age groups those with disease tend to show less favorable ballistocardiogram. The difference is particularly large for males 60-69 years of age. The trend toward poorer classification with increasing age, moreover, can be seen for those with or without cardiovascular disease. Fidler et al<sup>3</sup> state that a normal or borderline ballistocardiogram in persons under 40 years indicates a normal cardiovascular system and that an abnormal reading in the 60-79 year age range suggests a malfunctioning cardiovascular system. The findings here support only the latter statement. Fagin and McIntyre<sup>10</sup> found small differences between their groups with and without cardiovascular disease.

The separation of those with and without cardiovascular disease depended on the recording of a diagnosis at the discretion of the physician who ultimately completed the subject's medical record. Although diagnostic criteria are well defined at ABCC, they serve only as a guide to

March<sup>11</sup> は正確な装置を用いて3平面で心弾動図を記録して、力の方向の変化は力の大きさの変化よりも加齢と密接な関係があると認めた。加齢とともに、縦の力は減少したが、側方の力は増加した。Starr は、高齢者においてはすべての面での収縮期の力が減少するという。<sup>12</sup> 本調査では、縦の面の心弾動図だけを用いたので、方向の変化は評価できない。

心弾動図異常は、高血圧、弁膜症または原発性心筋疾患のない場合に、冠動脈疾患を示唆すると考えられている。この示唆は、Starr が固定集団について、20年間にわたりに行なった追跡調査に基づくものである。<sup>13</sup> この事後調査で虚血性心臓疾患の死亡率および罹病率は、心弾動図に振幅が大きい患者よりも振幅が小さい患者において高いことが発見された。冠状動脈疾患は、米国より日本に非常に少ないので、<sup>14</sup> 日本人の心弾動図はどの年齢においてもアメリカよりも正常であろう。

**心臓血管疾患** リウマチ性心臓疾患、冠状動脈疾患、心臓性不整脈、鬱血性心不全の既往または存在、高血圧、全身性動脈硬化症、脊柱後側弯、肺気腫あるいは慢性気管支炎のある対象者を合計して、その資料は、これらの疾病のない者とは別個に取り扱った。前記の疾病のうち、少なくとも1つを持っていたものは295人で、その疾病がない者は730人であった。成績は表3に示してある。表3以降の図表においては、簡易にするために、「ボーダーライン」の百分率を省略した。各年齢群においては、疾病のある者に心弾動図異常が多い傾向がある。その差は、60-69歳の男性に特に大きい。さらに年齢とともに悪化する傾向が、心臓血管疾患のある者にもない者にもみられる。Fidlerら<sup>3</sup> は、40歳以下の者における正常またはボーダーライン心弾動図所見は、心臓血管系が正常であることを示し、60-79歳群における異常心弾動図記録は、心臓血管系の機能不全を示唆すると述べている。調査所見は、後者のみを支持する。Fagin および McIntyre<sup>10</sup> は、心臓血管疾患のある群とない群との間にわずかな差を発見した。

心臓血管疾患のある者とない者との区別は、最終的に臨床記録を完結した担当医の裁量による診断によって行なわれた。ABCCでは、診断基準は明確に示されているが、検査員の指針として役立つにすぎないので、実測値(たと

the examiner and more objective information is gained by correlations with actual measurements (e.g., blood pressure, height, weight, hemoglobin, etc.).

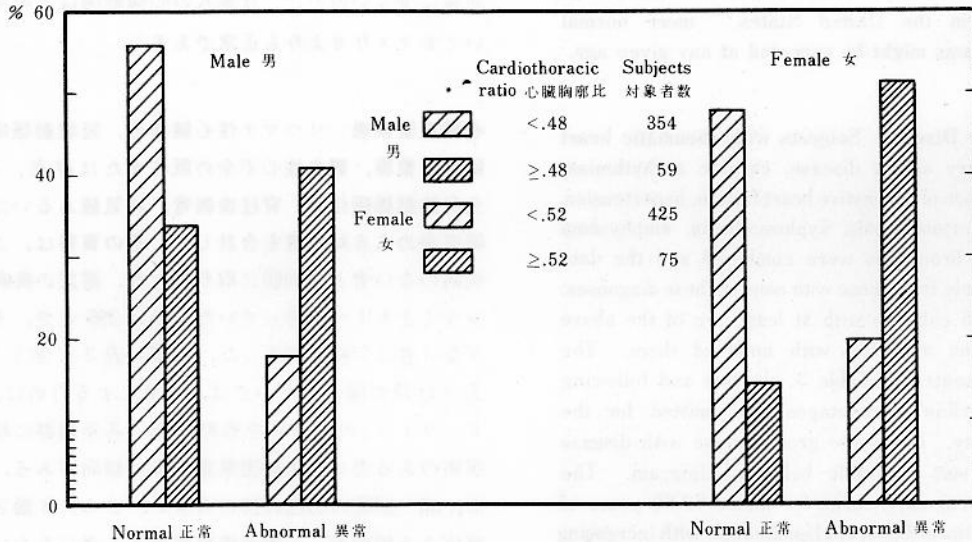
**Cardiothoracic Ratio** In Figure 4, persons with high and low cardiothoracic ratios are compared. A high ratio is arbitrarily defined as  $\geq .48$  in males and  $\geq .52$  in females. In both sexes it is apparent that high cardiothoracic ratios are associated with abnormal ballistocardiographic readings. Much of this effect is explained, though, by the tendency towards increased cardiothoracic ratio with age. Within any single age group the relationship between this ratio and ballistocardiogram is less apparent.

えば、血圧、身長、体重、血色素量等)との相関によって、より客観的な資料が得られる。

**心臓胸廓比** 図4は心臓胸廓比の高い者と低い者を比較したものである。高い比は、男性において $\geq .48$ 、女性において $\geq .52$ と定義した。男女において高い心臓胸廓比は、異常心弾動図記録と関係があることが明らかである。しかし、この影響の大部分は、心臓胸廓比は年齢とともに増加する傾向によって説明される。一つの年齢群内においては、この比と心弾動図との関係は、さほど明らかではない。

FIGURE 4 BALLISTOCARDIOGRAM SCORE BY CARDIOTHORACIC RATIO

図4 心臓胸廓比別心弾動図成績



**Body Weight** The ballistocardiogram classifications are presented for relative weight groups and by age and sex (Table 4). The weight groups are based on standards published for the Adult Health Study sample, in which an individual's weight is expressed as a percentile in the distribution of weights of persons with the same age, sex, and height.<sup>15</sup> The high percentiles represent high weight. The proportion of abnormal ballistocardiograms is increased among higher weight percentiles, the pattern holding over most age and sex groups. Evaluation of those age 70 and older is difficult because of small numbers.

**体重** 相対的体重群、年齢・性別に心弾動図分類を示した(表4)。この体重群は、成人健康調査標本について作成された基準に基づくものである。すなわち、個人の体重は、同じ年齢、性および身長のある者の体重分布を百分位数として示されている。<sup>15</sup> 高い百分位数は高い体重値を示す。異常心弾動図の割合は、高い体重百分位数において増加している。この傾向は大部分の年齢・性別群にみられる。70歳以上の者の数が少ないので、その評価は困難である。



TABLE 3 BALLISTOCARDIOGRAM SCORES, SUBJECTS WITH AND WITHOUT DISEASES AFFECTING THE CARDIOVASCULAR SYSTEM  
BY AGE AND SEX

表3 心臓血管系を冒す疾病のある対象者およびそのない対象者の心弾動図成績：年齢・性別

Sex 性	30-39 years 歳			40-49			50-59			60-69			70+		
	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常
<b>Without Cardiovascular Disease 心臓血管疾患のない者</b>															
Male 男	124	81	5	58	66	10	52	44	23	48	42	16	9	33	55
Female 女	190	69	5	106	44	20	86	24	34	54	24	35	3	-	33
Total 計	314	74	5	164	52	16	138	32	30	102	32	26	12	25	50
<b>With Cardiovascular Disease 心臓血管疾患のある者</b>															
Male 男	11	73	9	20	50	20	46	26	35	55	16	49	18	22	45
Female 女	7	43	14	13	46	31	43	21	44	50	26	56	9	14	62
Total 計	18	61	11	33	48	24	89	24	39	105	21	52	47	17	55

\* Ballistocardiogram percentage 心弾動図%

TABLE 4 BALLISTOCARDIOGRAM SCORES BY WEIGHT PERCENTILE, AGE, AND SEX

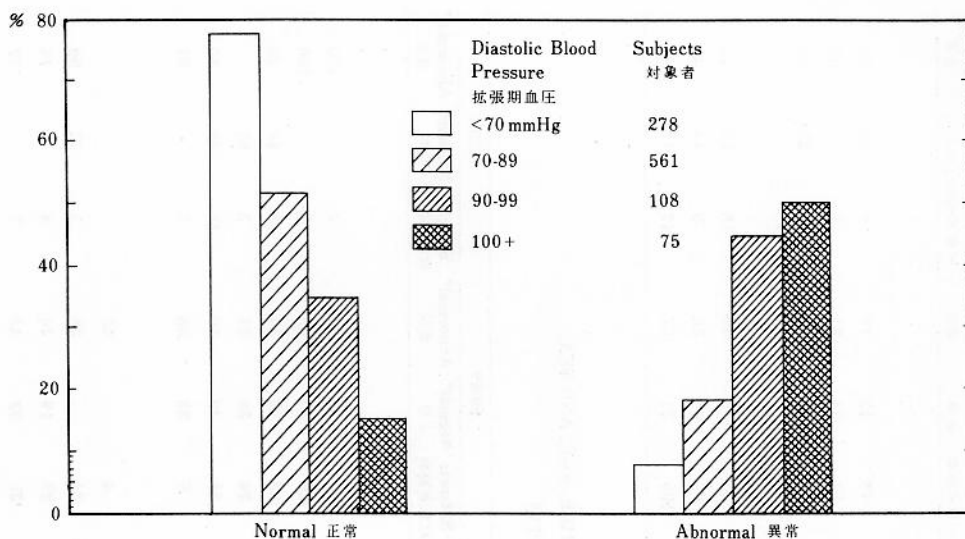
表4 心弾動図成績：体重百分位数・年齢・性別

Weight Percentile 体重百分位数	30-39 years 歳			40-49			50-59			60-69			70+		
	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常	Subjects 対象者総数	Normal* 正常	Abnormal* 異常
<b>Male 男</b>															
≥95th	10	10	30	-	-	-	7	29	43	8	37	38	2	-	100
75-94th	28	75	11	14	36	36	15	33	47	20	15	65	2	-	100
50-74th	31	84	-	11	54	9	27	41	26	23	22	34	5	40	20
25-49th	27	85	-	25	64	8	30	27	27	24	38	21	3	67	-
05-24th	29	97	3	24	71	8	16	44	19	21	29	19	12	25	50
≤05th	5	100	-	3	100	-	3	67	-	6	33	33	3	-	67
<b>Female 女</b>															
≥95th	10	10	30	7	-	72	7	-	57	4	-	75	-	-	-
75-94th	36	50	8	18	22	28	18	6	50	24	-	58	5	20	60
50-74th	50	74	4	36	33	22	34	9	44	27	19	44	4	-	75
25-49th	58	76	2	25	56	20	31	32	39	25	32	44	7	-	72
05-24th	30	80	3	30	70	7	33	42	21	16	56	19	9	22	33
≤05th	13	77	-	3	67	-	5	40	20	3	67	33	6	-	83

\* Ballistocardiogram percentage 心弾動図%

FIGURE 5 BALLISTOCARDIOGRAM SCORE BY DIASTOLIC BLOOD PRESSURE

図5 拡張期血圧別心弾動図成績



Obesity has been reported to have a slight, yet consistent, relationship to ballistocardiographic abnormalities.<sup>4</sup> By Western standards obesity is rare in Japan. Body weight percentiles specific for height, sex, and age in the Adult Health Study population were used in examining the relationship of the ballistocardiogram to body habitus. Higher percentile subjects had inferior ballistocardiographic classifications and progressive improvement was noted in successively lower percentiles. This is not surprising in view of the recognized association of hypertension, coronary artery disease, diabetes, and reduced life expectancy with obesity.<sup>16</sup> The relationship between weight and ballistocardiogram was most striking in younger subjects, supporting a concept of earlier cardiovascular deterioration associated with elevated body weight. The relationship of obesity and ballistocardiogram was examined in persons without cardiovascular disease at two levels of diastolic pressure. The data are not presented here, but they indicated that obesity was associated with poor ballistocardiogram scores in persons free of cardiovascular disease and independently of the diastolic pressure. It would be of interest to pursue other confounding variables, such as modification of the ballistocardiogram due to differences in force transmission associated with a heavier body build.

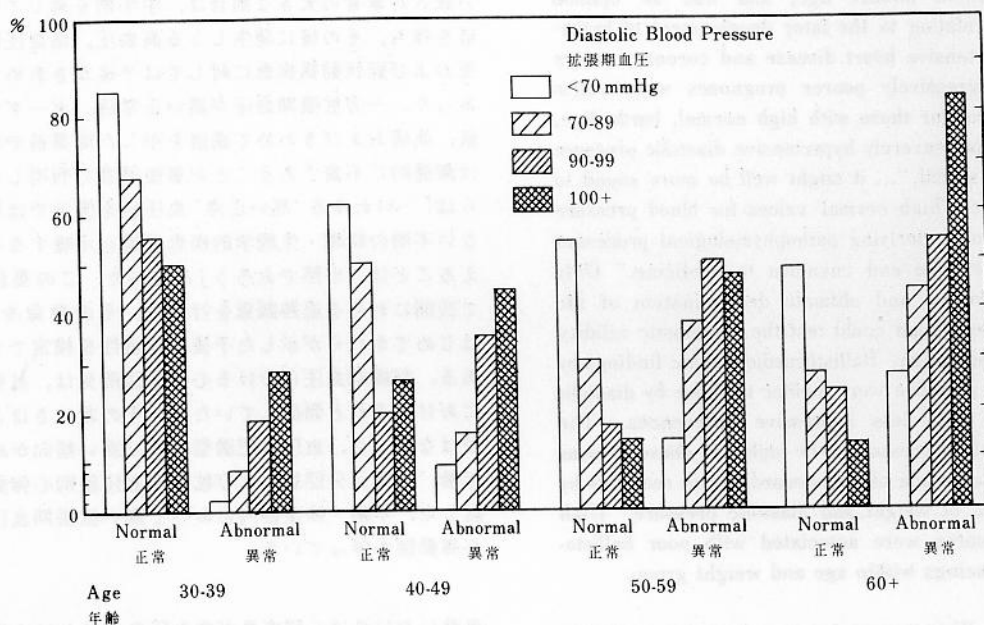
**Diastolic Blood Pressure** There was a shift to more abnormality of the ballistocardiogram with increasing

肥満は、心弾動図異常とわずかではあるが一貫した関係があると報告されている。<sup>4</sup> 西欧で用いる肥満の規準によると、肥満は日本ではまれである。心弾動図と体型との関係を調べるために、成人健康調査対象者における身長、性および年齢別体重百分位数を用いた。この百分位数の高い者においては、心弾動図がよくなく、低い百分位数においては心弾動図は漸進的に改善されている。高血圧、冠状動脈疾患、糖尿病および寿命の短縮と肥満との関連が認められているので、この所見は驚くべきことではない。<sup>16</sup> 体重と心弾動図との関係は若年者において特に顕著であった。これは早期の心臓血管障害の発生と体重の増加との関係を裏づけるものである。肥満と心弾動図との関係を心臓血管疾患のないものを対象に、拡張期血圧値を2段階に分けて調べた。その資料はここには示さないが、肥満は拡張期血圧を除外しても心臓血管疾患のないものにおいて心弾動図異常と関係があることが認められた。大きな体格と関係のある力の伝導差による心弾動図への影響のような他の混同変数を追求することは興味深い。

**拡張期血圧** 拡張期血圧の上昇によって心弾動図異常が増加した。図5は年齢を一括して拡張期血圧と心弾動図

FIGURE 6 BALLISTOCARDIOGRAM SCORE BY DIASTOLIC BLOOD PRESSURE AND AGE

図6 拡張期血圧および年齢別心弾動図成績



diastolic blood pressure. Figure 5 shows the diastolic pressure relationships for all ages combined. The ballistocardiogram results by diastolic pressure and age shows that within each pressure range the age relationship is maintained; and conversely, that within each age range the pressure relationship is maintained (Figure 6).

Hypertension with and without cardiac enlargement can produce alterations in the ballistocardiogram.<sup>4</sup> Most studies have separated subjects into two groups: hypertensive and nonhypertensive. Although the proportion of subjects in this study with lower diastolic pressures diminishes with increasing age, there is consistent worsening of the ballistocardiogram with increasing diastolic pressure from below 70 mmHg to 70-89 mmHg. Further deterioration with increasing diastolic hypertension, within each age range and for all ages combined, supports Pickering's<sup>17</sup> eloquently presented concept of hypertension. That is, hypertension is not a distinct disease, but represents the upper percentile of a distribution curve. Within this concept then, if pressure is the index of risk, lower than usual levels should be even more advantageous for the cardiovascular system. Just as hypertension can be graded with prognostic implications by diastolic blood pressure, nonhypertensives might also be so classified. Some precedent for this assertion is provided in the studies by Stamler et al<sup>18</sup> on 756 male employees at a utility company in Chicago, Illinois. A

との関係を示す。拡張期血圧および年齢別の心弾動図成績によると、各血圧の範囲内では、年齢の関係が維持されていること、他方、各年齢の範囲内では、血圧の関係が維持されていることが認められる(図6)。

心臓肥大を伴う高血圧およびこれを伴わない高血圧によって心弾動図に変化が起こることがある。<sup>4</sup> 大部分の調査では、対象者を高血圧群と正常血圧群に分けている。本調査における拡張期血圧が低い者の割合は、年齢とともに減少しているが、拡張期血圧が70mm Hg以下から70-89mm Hgまで上昇するに従って、心弾動図異常が一貫して増加している。各年齢の範囲内、また全年齢においては拡張期血圧の上昇により心弾動図異常が増加することは高血圧の概念をよく示した Pickering<sup>17</sup> の説を裏づけるものである。すなわち、高血圧は明確な疾病ではないが、分布曲線の上位百分位数に相当する。したがって、この概念の下では血圧が危険の指標であれば、通常以下の血圧値は、心臓血管系にとって有利である。高血圧とその予後を拡張期血圧に基づいて類別できると同じように、正常血圧者もこのように分類できるであろう。この主張に関しては、米国 Illinois 州 Chicago 市のある公益

significant percentage of their young adult subjects with low normal diastolic blood pressures maintained the low levels throughout middle age, and had an optimal prognosis in relation to the later development of hypertension, hypertensive heart disease and coronary artery disease. Progressively poorer prognoses were retrospectively found for those with high normal, borderline, hypertensive and severely hypertensive diastolic pressure levels. They stated, "... it might well be more sound to regard so-called 'high normal' values for blood pressure as indicative of underlying pathophysiological processes as yet undiscernible and unknown to medicine." Only long-term follow-up and ultimate determination of life span in this population could test the prognostic validity of such a classification. Ballistocardiographic findings by systolic blood pressure were similar to those by diastolic pressure, but with less impressive differences. The tendency for blood pressure to be higher in obese persons led to the examination of ballistocardiogram readings by age, percentile of weight and diastolic pressure. High diastolic pressures were associated with poor ballistocardiogram tracings within age and weight group.

In contrast to Western populations where heart disease is the most common complication and leading cause of death in hypertensives,<sup>19</sup> Japanese patients with hypertension seldom develop symptomatic heart disease.<sup>14</sup> Switzer found that only 7.2% of Japanese hypertensives in Hiroshima displayed electrocardiographic abnormalities.<sup>14</sup> Thus, it would seem that ballistocardiographic abnormalities with blood pressure increases constitute a sensitive method of studying effects of hypertension on the cardiovascular system in Japanese subjects.

**Hemoglobin** Figure 7 shows the ballistocardiogram classifications by hemoglobin levels for males aged 50 years and above. Females were not included because of the small number of subjects with higher hemoglobin levels. In the 30-49 year old males there were few apparent differences in the ballistocardiogram score distributions for the two hemoglobin ranges. Beginning at age 50 the proportion of normal records decreases and the proportion of abnormal records increases for males with hemoglobin values  $\geq 15$  g/100 ml. The difference was significant ( $P < .001$ ). A review of records indicated that the higher hemoglobin values were not attributable to chronic lung disease. Most of the subjects with higher hemoglobin values and abnormal ballistocardiograms, however, were in the upper body weight percentiles.

The relationship of ballistocardiographic abnormalities to higher hemoglobin levels in males is an interesting finding in relation to the observations on male patients with myocardial infarctions reported by Burch and DePasquale.<sup>20</sup>

事業会社の男性従業員 756 人を対象に行なった Stamler らの調査成績がある。<sup>18</sup> すなわち、拡張期血圧が低い若い成人対象者の大きな割合は、中年期を通じて低い血圧値を保ち、その後に発生しうる高血圧、高血圧性心臓疾患および冠状動脈疾患に対しては予後がきわめて良好であった。一方拡張期血圧が高い正常値、ボーダーライン値、高値およびきわめて高値を示した従業員では、予後は漸進的に不良であることが事後調査で判明した。かれらは「...いわゆる '高い正常' 血圧値を医学では判定できない不明の病理・生理学的疾患過程を示唆するものと考ええることは、当然であろう」と述べた。この集団について長期にわたる追跡調査を行ない、その寿命を調べて、はじめてかれらが示した予後の確実性を検定できるのである。収縮期血圧における心弾動図所見は、拡張期血圧におけるそれと類似していたが、その差はさほど印象的ではなかった。血圧は肥満型の者に高い傾向があるので、年齢、体重百分位数および拡張期血圧値別心弾動図に検討した。年齢・体重群内において高い拡張期血圧は異常心弾動図を伴っていた。

西欧においては心臓疾患が高血圧患者における最も頻度の高い合併症で主要死因であるが、<sup>19</sup> 日本では高血圧患者に徴候のある心臓疾患が発現するのはまれである。<sup>14</sup> Switzer によれば、広島における日本人高血圧患者のわずか 7.2% に、心電図の異常が認められた。<sup>14</sup> したがって血圧の上昇を伴う心弾動図の異常は、日本人の心臓血管系に及ぼす高血圧の影響を研究する精巧な手段になる。

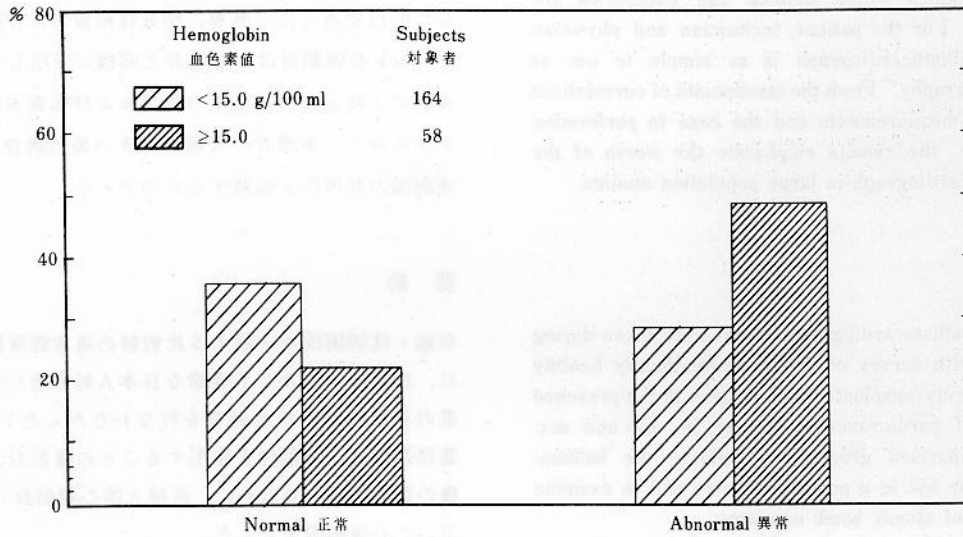
**血色素** 図 7 は、50 歳以上の男性における血色素値と心弾動図との関係を示す。女性には血色素値の高いものが少ないので除外した。30-49 歳の男性において、2 つの血色素値に対する心弾動図成績分布の明らかな差はほとんど認められなかった。50 歳から正常記録の割合は減少し、血色素値が  $\geq 15$  g/100 ml の男性では異常記録の割合が増加した。その差は有意である ( $P < .001$ )。記録を検討したところ、血色素値の上昇は、慢性肺疾患に起因するものではないことがわかった。しかし、血色素値の上昇および心弾動図の異常のある者の大部分の体重は、上限の百分位数を示した。

男性における心弾動図異常と血色素値の上昇との関係については、Burch および DePasquale<sup>20</sup> が報告した心筋梗塞のある男性の観察と照らして興味ある所見がある。



FIGURE 7 BALLISTOCARDIOGRAM SCORES, MALE AGE 50+ BY HEMOGLOBIN LEVEL

図7 50歳以上の男性の心弾動図成績：血色素値別



These investigators found a statistically significant increase in the mean hematocrit values of 100 myocardial infarction patients as compared to controls. Their interpretation, admitted to be highly speculative, was based on alterations of blood flow and viscosity through diseased coronary arteries.<sup>20,21</sup> Burch and DePasquale remark that the association between myocardial infarction and hematocrit level was more conspicuous in younger patients. In the present study population with its lower incidence of coronary artery disease, the association between abnormalities in the ballistocardiogram and higher hemoglobin values became more apparent in those 50 years of age and above. Higher hemoglobin levels might adversely affect the cardiovascular system in the absence of coronary artery disease, perhaps requiring more time to produce an effect. The subjects in the same age groups with emphysema and/or chronic bronchitis had the same percentage of abnormal ballistocardiograms as those with lower hemoglobin levels; therefore, it is unlikely that polycythemia secondary to chronic lung disease contributed much to the proportion of abnormal ballistocardiograms in the group with higher hemoglobin levels.

Serum cholesterol levels, which tend to be lower in Japan than in the United States, were examined in relation to ballistocardiographic abnormalities and only small differences were found.

これらの研究者は、対照者と比較して心筋梗塞患者100人のヘマトクリット平均値に統計的に有意な増加を認めた。かれらの解釈は、きわめて推測的であるが、病変のある冠状動脈の血流および血液粘稠度の変化に基づいたものである。<sup>20,21</sup> Burch および DePasquale によれば、心筋梗塞とヘマトクリット値との関連は、若年者ほど顕著である。本調査集団においては冠状動脈疾患の罹病率が低い、心弾動図異常と血色素値の上昇との関連は、50歳以上の者において顕著になった。冠状動脈疾患がない場合でも、血色素値の上昇は、心臓血管系に悪影響を及ぼすものと思われるが、影響が現われるには多くの時間を要するであろう。肺気腫あるいは慢性気管支炎のある群の心弾動図の異常の百分率は血色素値が低下している同年齢群のそれと同様であった。したがって、慢性肺疾患に続発した赤血球増多症は、血色素値の上昇している群における心弾動図異常の割合に多大の影響を与えたとは思われない。

血清コレステロール値は、米国よりも日本において低い傾向があるが、血清コレステロール値と心弾動図の異常との関連を検討したところ、わずかな差を認めた。

Correlations of ballistocardiographic abnormalities with increases in blood pressure, heart size, body weight, and hemoglobin values within defined age categories are encouraging. For the patient, technician and physician the Dock ballistocardiograph is as simple to use as electrocardiography. From the standpoints of correlations with specific measurements and the ease in performing the technique, the results emphasize the worth of the Dock ballistocardiograph in large population studies.

## SUMMARY

Direct body ballistocardiograms (Dock) were taken during a routine health survey on 1025 predominantly healthy Japanese subjects (unselected with respect to the presence or absence of cardiovascular disease) in age- and sex-matched comparison groups, to evaluate the ballistocardiogram for use in a population study and to examine the influence of atomic bomb exposure.

Frequency of ballistocardiographic abnormalities increased with age, systolic and diastolic blood pressures, cardiothoracic ratios, body weight percentiles and, in men, hemoglobin levels. Correlation with diagnoses of diseases known to affect the cardiovascular system was less prominent, and no effect attributable to radiation exposure was seen. The results of this study illustrate the usefulness of the direct body ballistocardiograph in epidemiological studies of cardiovascular disease.

心弾動図異常と限定した年齢区分群内における血圧、心臓の大きさ、体重および血色素値の増加との相関は、かなり明白であった。患者、検査技術員および医師にとって Dock 心弾動計は、心電計と同様に使用しやすい。心弾動計と特定の測定値との相関および検査実施上の容易さからみて、本調査の成績は大きい集団調査に Dock 心弾動図の有用性を強調するものである。

## 要 約

年齢・性別構成が一致する比較群の通常健康調査期間中に、1025人の主として健康な日本人対象者(心臓血管疾患の有無については選択を行なわなかった)について、集団調査に心弾動図を使用することの適否および原爆被爆の影響を調べるために、直接人体心弾動計(Dock)を用いて心弾動図をとった。

心弾動図に現われた異常記録の頻度は、年齢、収縮期および拡張期血圧、心臓胸廓比、体重百分位数および男子では、血色素量に従って増加した。心臓血管系を冒すことが判明している疾病との相関関係はそれほど顕著ではなく、また放射線被爆による影響はみられなかった。この調査の結果は、心臓血管疾患の疫学的調査における直接人体心弾動図法の有用性を示した。

## REFERENCES

### 参考文献

1. STARR D, RAWSON AJ, et al: Studies on the estimation of cardiac output in man and of abnormalities in cardiac function from the heart's recoil and the blood's impacts; the ballistocardiogram. *Amer J Physiol* 127:1, 1939  
(人間における心臓反発ならびに血液衝撃による心臓搏出量および心臓機能異常の推定に関する調査:心弾動図)
2. DOCK W, TAUBMAN F: Some techniques for recording the ballistocardiogram directly from the body. *Amer J Med* 7:751, 1949  
(身体より直接に心弾動図を記録する技法)
3. FIDLER A, BHARGAYA AN, PARENT P: Clinical value of ballistocardiography. *Amer Heart J* 55:881, 1958  
(心弾動図法の臨床的価値)
4. FULTON RL, ROTHERMICH NO, BERGEN W: The usefulness and reliability of the Dock ballistocardiograph in clinical medicine. *Ann Intern Med* 55:258, 1961  
(臨床医学における Dock 心弾動計の有用性および信頼性)
5. SCARBOROUGH WR, BAKER BM: Ballistocardiography; Appraisal of current status. *Circulation* 16:971, 1957  
(心弾動図法, 現状の評価)
6. DOCK W, MANDELBAUM H, MANDELBAUM RA: Ballistocardiography. St. Louis, CV Mosby, 1953  
(心弾動図法)
7. JONES A, WEDGWOOD J: Effects of radiations on the heart. *Brit J Radiol* 33:138-58, 1960  
(心臓に及ぼす放射線の影響)

8. Research plan for joint ABCC-JNIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62  
(広島および長崎におけるABCCと国立予防衛生研究所が共同で実施する成人健康調査に関する研究企画書)
9. NOODERGRAAF A: Physical aspects of the 'direct' recording of body displacement, velocity, and acceleration by shin-bar ballistocardiographs. *Circulation* 23:426, 1961  
(身体の変位, 速度および加速度の脛棒心弾動計による「直接」記録に対する物理学的考察)
10. FAGIN ID, McINTYRE KE: Experiences with ballistocardiography. *Ann Intern Med* 42:995, 1955  
(心弾動図法による経験)
11. MARCH HW: Three-plane ballistocardiography: The effect of age on the longitudinal, lateral and dorsoventral ballistocardiograms. *Circulation* 12:869, 1955  
(3平面心弾動図法. 縦方向, 側方向および背腹方向心弾動図に及ぼす年齢の影響)
12. STARR I, HILDRETH EA: The effect of aging and development of disease on the ECG. *Circulation* 5:481, 1952  
(加齢および罹病の心電図に及ぼす影響)
13. STARR I, WOOD FC: Twenty-year studies with the ballistocardiograph. The relation between the amplitude of the first record of 'healthy' adults and eventual mortality and morbidity from heart disease. *Circulation* 23:714, 1961  
(心弾動計による20年間調査. 「健康」な成人の最初の記録の振幅とその後の心臓疾患の罹病と心臓疾患による死亡との関係)
14. SWITZER S: Hypertension and ischemic heart disease in Hiroshima, Japan. *Circulation* 28:368-80, 1963  
(広島における高血圧と虚血性心臓病)
15. SEIGEL DG: ABCC-JNIH Adult Health Study Hiroshima and Nagasaki 1958-60. Height-weight tables. ABCC TR 19-62  
(ABCC - 予研成人健康調査, 広島・長崎, 1958 - 60年. 身長・体重表)
16. BARR DP: Health and obesity. *New Eng J Med* 248:967, 1953  
(健康と肥満)
17. PICKERING G Sir: The nature of essential hypertension. New York, Grune and Stratton, 1961  
(本態性高血圧症の性質)
18. STAMLER J, LINDBERG HA, et al: Epidemiological analysis of hypertension and hypertensive disease in the labor force of a Chicago utility company. Proceedings of the Council for High Blood Pressure Research, American Heart Association. *Hypertension* 5:23-50, 1958  
(Chicagoのある公益事業会社の従業員における高血圧および高血圧性疾患の疫学的解析. 米国心臓学会高血圧研究会議事録)
19. SMITH DE, ODEL HM, KERNOHAN JW: Causes of death in hypertension. *Amer J Med* 9:516, 1950  
(高血圧における死因)
20. BURCH GE, DePASQUALE NP: The hematocrit in patients with myocardial infarction. *JAMA* 180:63, 1962  
(心筋梗塞患者におけるヘマトクリット)
21. BURCH GE, DePASQUALE NP: Erythrocytosis and ischemic heart disease. *Amer Heart J* 62:139, 1961  
(赤血球増加症および虚血性心臓疾患)