

Metodología de la prueba de esfuerzo graduado (P.E.G.) con plataforma ergométrica *

Dres. BERNARDO BOSKIS, ** MIGUEL C. SCATTINI y JORGE LERMAN ***

RESUMEN

Esta síntesis expresa nuestra experiencia adquirida a través de 1086 pruebas realizadas. Con ella pretendemos llenar el vacío existente en la literatura nacional en lo que se refiere a la elección de los Esquemas de Aplicación de Cargas y Perfiles de Trabajo con la plataforma ergométrica. Los demás conceptos que exponemos referentes a Objetivos, Meto-

dología, Criterios de Interpretación y Contra-indicaciones son comunes a todas las pruebas de esfuerzo efectuadas con cualquier tipo de ergómetro. Debemos destacar la posibilidad de establecer la conversión de resultados obtenidos con Plataforma o Bicicleta ergométrica, utilizando las tablas correspondientes (Tabla 1).

INTRODUCCION

La Prueba de Esfuerzo Graduado (PEG) (Ergometría) es una técnica incruenta que permite evaluar la adecuación del sistema arterial coronario a los requerimientos de oxígeno de las fibras miocárdicas durante el ejercicio.

* Trabajo realizado con el auspicio de la Sociedad Educacionista Argentina.

** Rodríguez Peña 1716, Capital.

*** Los autores agradecen al Dr. Carlos Gentile por haber colaborado en la revisión de los manuscritos.

La circulación coronaria se caracteriza por que la extracción de oxígeno por el músculo cardíaco es máxima, aun en reposo; de modo que todo aumento del trabajo cardíaco deberá acompañarse de un aumento proporcional del volumen minuto coronario. Se ha podido demostrar que existe una relación lineal entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno (2, 3). Al aumentar el trabajo muscular, la frecuencia cardíaca y, por tanto, el consumo de oxígeno cardíaco, aumentarán proporcionalmente. De acuerdo a lo que antecede, se puede establecer la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Consumo de oxígeno}}{\text{Aporte de oxígeno}} = K$$

K se mantendrá constante en tanto los incrementos en el consumo de O₂ (numerador) se acompañen de incrementos paralelos en el aporte del mismo (denominador).

En la práctica, el proceso más común de limitación del aporte de O₂ es la alteración de la permeabilidad coronaria, habitualmente por aterosclerosis. A pesar de esta situación anatomopatológica, el 50 a 70 % de los pacientes, sintomáticos o no, sin infarto de miocardio previo, pueden presentar electrocardiogramas normales en reposo.

En estos casos, incrementando el consumo de O₂ por el ejercicio y existiendo imposibilidad de aumentar en forma proporcional el aporte del mismo, se romperá el equilibrio de la ecuación y aparecerán los signos-clínicos y/o eléctricos que traducen la falla de oxigenación miocárdica. El signo eléctrico más sensible y documentable es el **desnivel isquémico del segmento ST**.

Una forma mensurable, repetible, simple y segura (4) de aumentar el consumo de O₂ es la prueba de esfuerzo graduado - P.E.G. - Ergometría (5, 6, 7, 8). El motivo de este trabajo es describir los **Objetivos, Metodología, Criterios de Interpretación y contraindicaciones** de esta prueba, con especial referencia al empleo de la **plataforma ergométrica** (Treadmill).

I. OBJETIVOS DE LA PRUEBA

Son dos: (1) Diagnóstico (9, 10) y (2) Evaluación de la capacidad funcional (11, 12, 13, 14).

1) Diagnóstico

- A. Detección de una coronariopatía latente de cierta magnitud en sujetos asintomáticos, con o sin factores de riesgo coronario aumentado.
- B. Diagnóstico de coronariopatía en pacientes con síntomas precordiales atípicos y/o cambios electrocardiográficos inespecíficos en reposo.
- C. Confirmación objetiva del diagnóstico clínico de coronariopatía, especialmente cuando hay más de una causa para el dolor precordial.
- D. Diagnóstico del llamado "Síndrome de corazón irritable" (arritmias provocadas por el esfuerzo) (16).
- E. Diagnóstico de labilidad vascular (hipertensión arterial lábil o hipotensión arterial post esfuerzo) (17).

2) Capacidad funcional

- A. Estudio de la respuesta del aparato cardiovascular al esfuerzo en individuos persumiblemente sanos (18).
- B. Control del entrenamiento en atletas (19).
- C. Determinación de la capacidad funcional en pacientes con cardiopatía confirmada (coronaria, valvular, miocárdica, etc.) con el fin de prescribir la actividad física (20, 21).
- D. Evaluación de la efectividad de tratamientos médicos, quirúrgicos o kinésicos (mejoría, estabilidad o deterioro del estado orgánico) (22, 23, 24, 25).

II. METODOLOGIA

Expondremos a continuación la Metodología que usamos actualmente, basada en 1.086 pruebas realizadas en el curso de los tres últimos años (26, 27). En este capítulo nos referiremos a los siguientes aspectos de la PEG:

- A. Equipos utilizados.
- B. Preparación del paciente.
- C. Elección del **esquema de aplicación de cargas**: (1) forma de expresarlas, (2) perfiles de trabajo.
- D. Controles de los parámetros clínicos (derivaciones electrocardiográficas).

E) Controles hemodinámicos incruentados.

F. Criterios para interrumpir el esfuerzo.

A. Equipos utilizados

Hemos trabajado con una Plataforma Ergométrica (cinta sinfín o treadmill) marca Quinton Modelo 14.44.A que desarrolla velocidades de hasta 4,2 millas por hora y elevaciones de 0 a 20 % (correspondiendo el 100 % a 90°). Monitoreamos en forma continua el ritmo cardíaco y el perfil electrocardiográfico mediante dos equipos: un osciloscopio de dos canales Hewlett Packard modelo 7803 A y un osciloscopio de cuatro canales que viene incorporado a un vectocardiógrafo Hewlett Packard, modelo Sanborn 780-6A Visoscope.

Contamos, además, con un Equipo de Resucitación constituido por Desfibrilador-Cardioversor Hewlett Packard modelo 7802 C, Marcapaso Hewlett Packard modelo 7804 A, elementos de reanimación respiratoria y material farmacológico adecuado.

La cantidad de equipos dependerá en última instancia del objetivo perseguido (diagnóstico y evaluación clínica y/o investigación). Creemos que un laboratorio práctico puede desarrollar una buena labor clínico-cardiológica contando con (1) una Plataforma Ergométrica (2) un Osciloscopio de un canal, (3) un electrocardiógrafo para registro y (4) elementos electrónicos y farmacológicos de resucitación para uso inmediato.

B. Preparación del paciente

Para obtener una PEG son requisitos indispensables: (1) obtener una correcta Historia Clínica, para lo cual disponemos de una anamnesis standard (2) realizar un buen examen semiológico cardiovascular, (3) registrar un electrocardiograma basal de 12 derivaciones y (4) medir el peso corporal. El paciente concurrirá con un ayuno no menor de tres horas para evitar el efecto de redistribución de flujo sanguíneo que determina el período post-prandial. No debe fumar en las horas previas y debe estar libre del efecto de ciertas drogas: Digitoxina (3 semanas), Digoxina (2 se-

manas), Propranolol (2 semanas) (28), Antiarrítmicos (1 semana), Nitritos (día de la prueba).

Resulta indispensable una cuidadosa preparación de la piel del paciente (desengrasado, rasurado), utilización de electrodos de columna fluida con crema electrolítica y adherencia firme de los mismos, de preferencia sobre el plano óseo de las costillas. Estas precauciones permiten obtener con regularidad trazados clínicamente útiles y libres de artificios.

El equipo médico deberá estar bien compenetrado de los fines que se persigue en cada prueba y del punto final asignado a cada paciente (prueba **máxima** o **submáxima**).

Es conveniente ejemplificar al paciente cómo deberá caminar sobre la plataforma, a fin de que evite, en lo posible, descargar el peso de su cuerpo sobre el barral de sostén y sepa adaptarse a la velocidad de la cinta. Se le instruirá para que informe inmediatamente si percibe cualquier síntoma anormal (mareo, angor, disnea, agotamiento físico). Antes de comenzar la prueba es conveniente que camine durante dos minutos con cargas mínimas a fin de que pueda adaptarse al aparato. Es conveniente que calce zapatillas con suela de goma con el fin de evitar el recalentamiento de la planta del pie y favorecer el deslizamiento de la cinta.

C. Elección del esquema de aplicación de cargas

Las variables que intervienen en la producción de Carga o Potencia (P) en la Plataforma Ergométrica son: (1) Peso Corporal (m), (2) Velocidad de la cinta (v), y (3) ángulo determinado por la cinta y la horizontal (pendiente) (alfa), siendo:

$$P = m \cdot v \cdot \text{seno de alfa}$$

Es posible modificar la carga o potencia, modificando los factores (v) y (ángulo alfa), de acuerdo a los siguientes esquemas:

- (1) velocidad fija y pendiente variable,
- (2) velocidad variable y pendiente fija,
- (3) velocidad y pendiente variables.

La cantidad de **trabajo** (T) expresa la potencia (P) desarrollada a lo largo de un período de tiempo:

$$T = P \cdot \text{tiempo}$$








METODOLOGIAS DE PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO P.E.G. - ERGOMETRIA -				
ERGOMETRO	PRUEBA DE CARGA SIMPLE	PRUEBA DE CARGAS MULTIPLES		
		INTERMITENTE	CONTINUA	
		INCREMENTO DE TRABAJO VARIABLE	POCO INCREMENTO DE TRABAJO	GRAN INCREMENTO DE TRABAJO
↓	PERFIL CUADRANGULAR		PERFIL TRIANGULAR	
 Escalones	Master	Sheffield		
 Plataforma Ergométrica	Robinson	Astrand, I.	Balke Ellestad Kattus Naughton Boskis/col.	Bruce
 Bicicleta Vertical		Astrand, PO Hellerstein	Binkhorst Boskis/col. Bruno/col. Mena/col. Scheda/col.	Astrand I. Denolin Sjostrand Boskis/col. Mena/col. Scheda/col. Bruno/col.
Modo de Aplicación				

Fig. 1. — Formas de aplicación de las cargas.

Este trabajo se puede realizar con pruebas de **cargas simples** o **múltiples**. Las pruebas de cargas **simples** tienen un perfil **cuadrangular** (fig. 1). Un ejemplo práctico de este tipo de pruebas es el Test de Master, actualmente reemplazado ventajosamente por las **pruebas de cargas múltiples**. Estas pueden ser intermitentes o continuas: (1) la **prueba de carga múltiple de tipo intermitente** se realiza por etapas de intensidad creciente, separadas entre sí por intervalos de reposo; (2) la **prueba de cargas múltiples de tipo continuo** desarrollan un incremento progresivo del trabajo, y se denomina también **escaleriforme continuo** (perfil triangular) (29).

En nuestra experiencia nos hemos manejado con las técnicas de cargas múlti-

ples, continuas, de tipo escaleriforme, a pequeños incrementos de trabajo (fig. 1).

Forma de expresar la potencia o el trabajo desarrollado por las cargas. Existen diversas unidades en valores absolutos (30).

(1) Kilogramo/Minuto (kgm/min.) (unidad de Potencia). Expresa el trabajo externo pero mide básicamente la elevación de un peso en sentido vertical en un tiempo dado (1 kilogramo a 1 metro de altura en 1 minuto). Al caminar o al subir escaleras el ascenso no es vertical, pues se utilizan planos inclinados. En la bicicleta ergométrica el trabajo se realiza al pedalear contra una resistencia.

(2) Watt (unidad de Potencia). 1 watt es igual a 6 kgm/min.

(3) Caloría (cal.) (equivalente metabólico). Es una unidad de producción de calor. Para los fines clínicos, 1 caloría equivale a 200 ml de consumo de O₂ (1 litro de consumo de oxígeno es igual a 5 calorías).

(4) MET (unidad fisiológica). Es el requerimiento energético para la homeostasis basal en reposo. Equivale a 3,5 ml de O₂ (4,0 para otros autores) por kg de peso corporal y en 1 minuto. De acuerdo a esta definición, un individuo de 70 kg de peso consumirá $70 \times 3,5 = 245$ ml O₂/minuto que, de acuerdo a lo expresado en (3) equivale a 1,2 cal/min.

(5) Unidades de consumo de oxígeno (VO₂). Es la cantidad de oxígeno neces-

ario, pues expresa el mismo en valores absolutos corregidos al peso corporal. Este es un factor muy importante cuando se utiliza la plataforma ergométrica.

El MET (unidad fisiológica) tiene, por su practicidad, gran difusión. Sus valores pueden ser fácilmente correlacionados con las unidades de potencia (kgm/min. o watt), con las unidades de producción de calor (calorías) o con las unidades de consumo de O₂ (Tabla 1).

Al comienzo de nuestra experiencia usamos la variante (2) de la aplicación de cargas es decir **velocidad variable y pendiente fija** (Técnica de Kempe y Ellestad modificada) (31). La plataforma ergométrica era colocada con 10 % de pen-

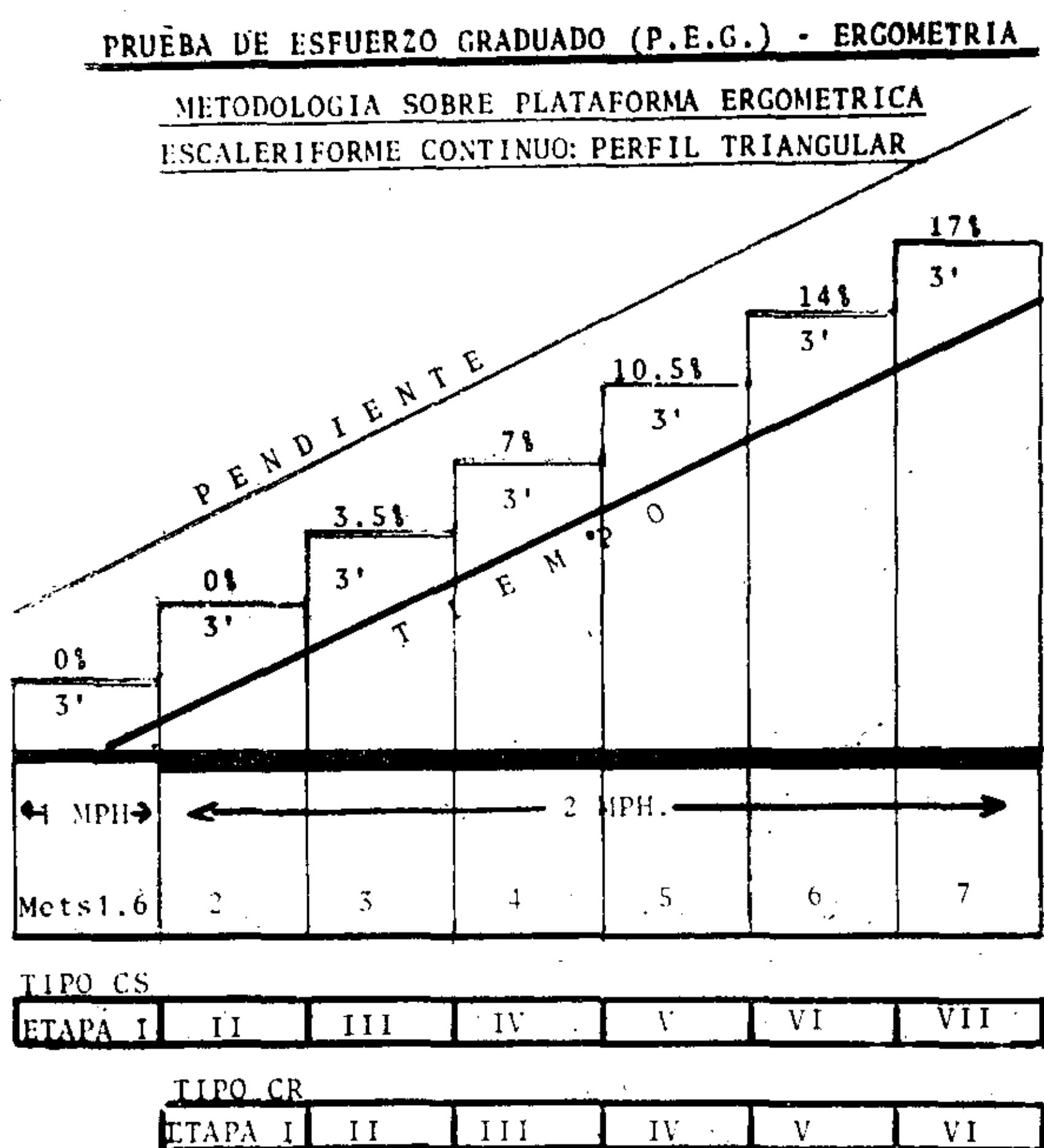


Fig. 2. — Perfil de trabajo para cardiopatas sintomáticos (CS) y cardiopatas recuperados (CR).

saria para realizar una carga dada de trabajo. Puede expresarse en a) litros (L) o mililitros (ml) por minuto o b) mililitro por minuto de kilogramo de peso (ml O₂/kg/min). Esta forma de expresar el consumo de O₂ tiene su aplicación práctica real en aquellos trabajos donde el peso corporal está incluido en la actividad (caminar).

Observando estas definiciones se comprenderá por qué utilizamos el consumo de oxígeno expresado en **ml O₂/kg peso corporal/minuto** como unidad de traba-

diente y el paciente caminaba a 1,7 millas/hora durante tres minutos (= 5 METS). Luego pasaba a 3 millas/hora durante 3 minutos (= 7 METS) y por último a 4 millas/hora durante 4 minutos (= 10 METS). Posteriormente abandonamos esta técnica debido a que los incrementos de la carga en las sucesivas etapas eran demasiado amplios. En la actualidad usamos las variantes (1) **velocidad fija y pendiente variable** y (3) **Velocidad y pendiente variables** (32). En ambos casos se trata de un tipo de prueba continua,

con cargas progresivas a pequeños aumentos (tipo **escaleriforme continuo**, perfil triangular).

Perfiles de trabajo. Mediante la modificación de velocidad y pendiente hemos diseñado 4 esquemas de aplicación de cargas, adaptables a toda la gama de pacientes posibles de ser sometidos a la prueba: (1) C.S. (Cardiópata sintomático), (2) C.R. (Cardiópata recuperado), (3) N.S. (normal sedentario) y (4) N.A. (normal adiestrado); estos perfiles permiten una rápida adaptación a cada caso particular.

(1) C.S. (Cardiópata sintomático) (fig 2). Se utiliza la variante (3). Por tratarse de

puestas del paciente. Con este esquema se incrementa el costo energético de reposo en 1 MET por etapa. Se ha fijado la duración de cada etapa en tres minutos para permitirle alcanzar un estado fisiológico estable y poder efectuar con comodidad los registros eléctricos y hemodinámicos.

(2) C.R. (Cardiópata recuperado) (fig. 2). Se utiliza la variante (1). Se mantiene la velocidad de la plataforma ergométrica en 2 millas/hora, incrementando la carga al aumentar la pendiente en 3,5 % cada 3 minutos. Como en el caso anterior, llegamos a 7 METS después de 6 etapas

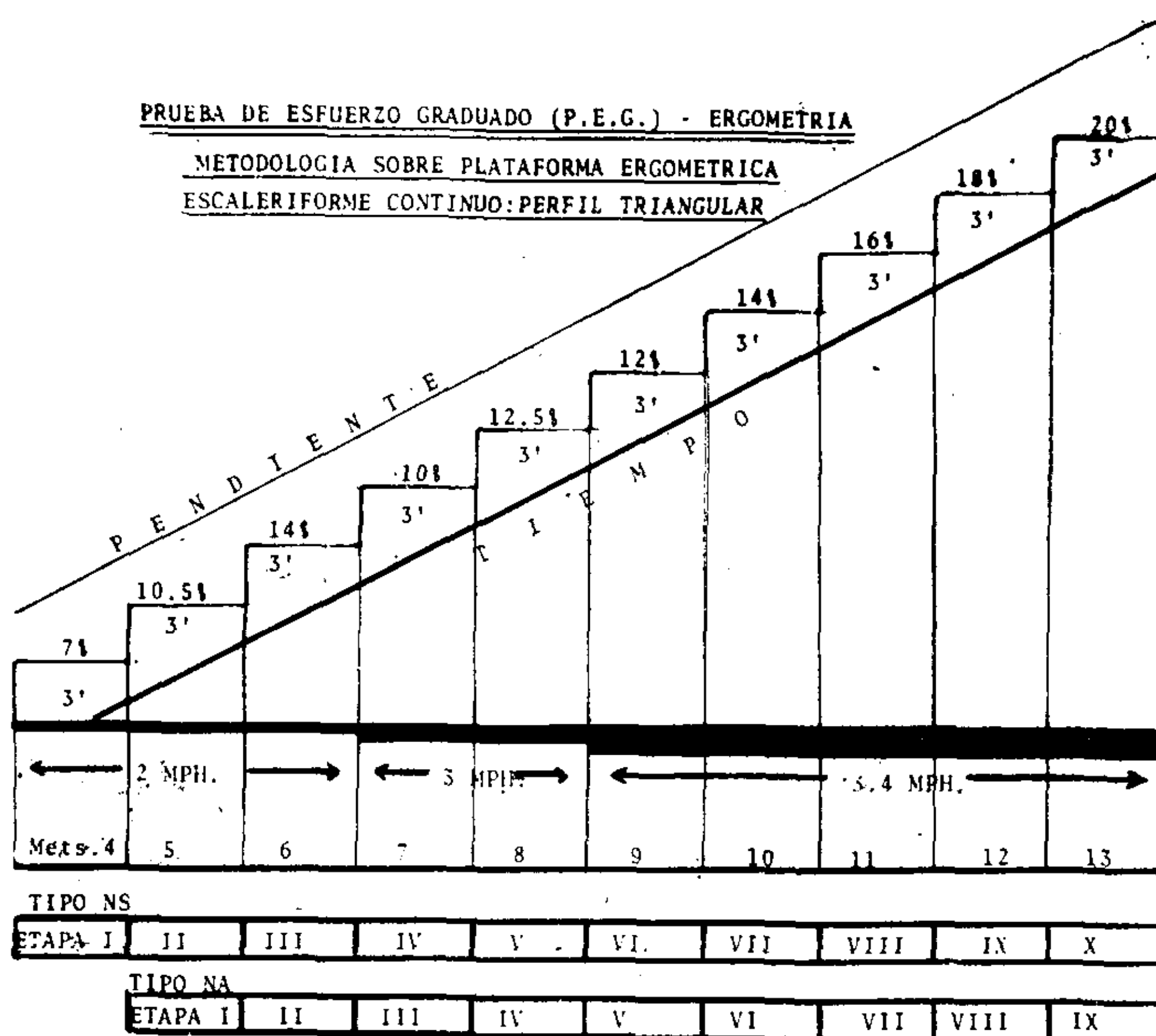


Fig. 3. — Perfil de trabajo para normales sedentarios (NS) y normales adiestrados (NA).

un cardiópata, el calentamiento (primera etapa de la prueba) se realiza caminando a nivel con una velocidad de 1 milla/hora durante 3 minutos. En esta etapa observamos la adaptación del paciente al aparato, así como los posibles desajustes de su equilibrio fisiológico. En la etapa siguiente se eleva la pendiente a 3,5 % y se lo hace caminar a 2 millas/hora durante tres minutos. En las etapas subsiguientes (hasta 7 posibles), se mantiene fija la velocidad (2 millas/hora) y se incrementa la pendiente en 3,5 % cada 3 minutos. La prueba se detendrá en cualquier momento de acuerdo a las res-

(7 METS = 2 millas/hora a 17,5 % de elevación, equivalente a 24,5 ml O₂/kg/min).

Patterson y col. (33) demostraron que el trabajo de 7 METS se correlaciona con la Clase I, 5 a 6 METS con la clase II, 3 a 4 METS con la clase III y 2 METS con la clase IV de la Clasificación Funcional de la New York Heart Association. En los pacientes que deban ser evaluados para trabajos que requieran un esfuerzo superior a 7 METS, se incrementan las cargas a una situación de esfuerzo similar al programado. Esto se consigue pasando a los esquemas siguientes:

Kg. M/MIN		150	300	450	600	750	900	1050	1200	1500	1800				
VO ₂ ML/MIN		600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3300	3900				
VO ₂ ML/MIN/Kg.		40	15	22.5	30	37.5	45	52.5	60	67.5	82.5	97.5			
		50	12	18	24	30	36	42	48	54	66	78			
		60	10	15	20	25	30	35	40	45	55	65			
		70	8.5	13	17	21.5	25.5	30	34.5	38.5	47	55.5			
		80	7.5	11	15	19	22.5	26	30	34	41	49			
		90	6.2/3	11	13.1/3	16.2/3	20	23.1/3	26.2/3	30	36.2/3	43.1/3			
		100	6	9	12	15	18	21	24	27	33	39			
		110	5.5	8	11	13.5	16.5	19	22	24.5	30	35.5			
		Kg.													
TIPO	CS	VELOCIDAD MPH	1	2	2	2	2	2	2						
		PENDIENTE %	0	0	3.5	7	10.5	14	17.5						
	CR	VELOCIDAD MPH	2		2	2	2	2	2						
		PENDIENTE %	0		3.5	7	10.5	14	17.5						
	NS	VELOCIDAD MPH			2	2	2	3	3	3.4	3.4	3.4	3.4		
		PENDIENTE %			7	10.5	14	10	12.5	12	14	16	18	20	
	NA	VELOCIDAD MPH				2	2	3	3	3.4	3.4	3.4	3.4		
		PENDIENTE %				10.5	14	10	12.5	12	14	16	18	20	
		METS.	1.6	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

TABLA 1 — Tomada de Fox y Naughton. Arriba: Conversión de unidades de potencia en unidades de consumo de O₂ global y por kg de peso. Abajo: Valor del trabajo desarrollado sobre la plataforma, reducido a METS.

(3) **N. S. (Normal sedentario)** y (4) **N.A. (Normal adiestrado)** (fig. 3). Para estos dos esquemas se utiliza la variante (3) (Velocidad y pendiente **variables**). Estos esquemas tienen un fin diagnóstico o evaluación de capacidad en sujetos normales, entrenados o no, para esfuerzos superiores a los 7 METS, nivel en el cual se realizan la mayoría de los trabajos en nuestra sociedad moderna. En los mismos, la velocidad alcanza a 3 millas/hora y posteriormente a 3,4 millas/hora. La pendiente se aumenta progresivamente 2,5 % cada 3 minutos. Como se observa en la fig. 3, la combinación de estas dos variables permite aumentar la carga en 1 MET por etapa, hasta un valor máximo (para nuestra plataforma ergométrica) de 13 METS.

Estos esquemas, adoptados de los de Fox y Naughton (34), nos ha permitido reemplazar ventajosamente las técnicas de Kamp y Ellestad, usadas inicialmente. Para el manejo práctico de nuestros pacientes, hemos agrupado estos cuatro perfiles, su equivalente en METS y la Tabla de VO₂ y Trabajo en kg/min, en un formulario impreso que nos permite: 1) la rápida conversión del trabajo realizado en sus distintas expresiones, y 2) la posibilidad de pasar de un perfil a otro cuando se pretende incrementar más rápidamente las cargas o conseguir un va-

lor en METS superior al objetivo inicial. En estos casos diagramamos sobre el esquema el perfil proyectado para el caso en estudio (Tabla 1).

D. Derivaciones electrocardiográficas

Numerosas son las técnicas descriptas para el registro electrocardiográfico de las fuerzas eléctricas generadas por el corazón durante el ejercicio, variando las mismas desde el empleo de la disposición clásica de los electrodos, hasta la multiplicidad de derivaciones que, en la mayoría de los casos, no hacen más que superponer información (35, 36). Luego de utilizar y analizar distintas variantes, creemos que la disposición de los electrodos debe adecuarse a las siguientes normas generales:

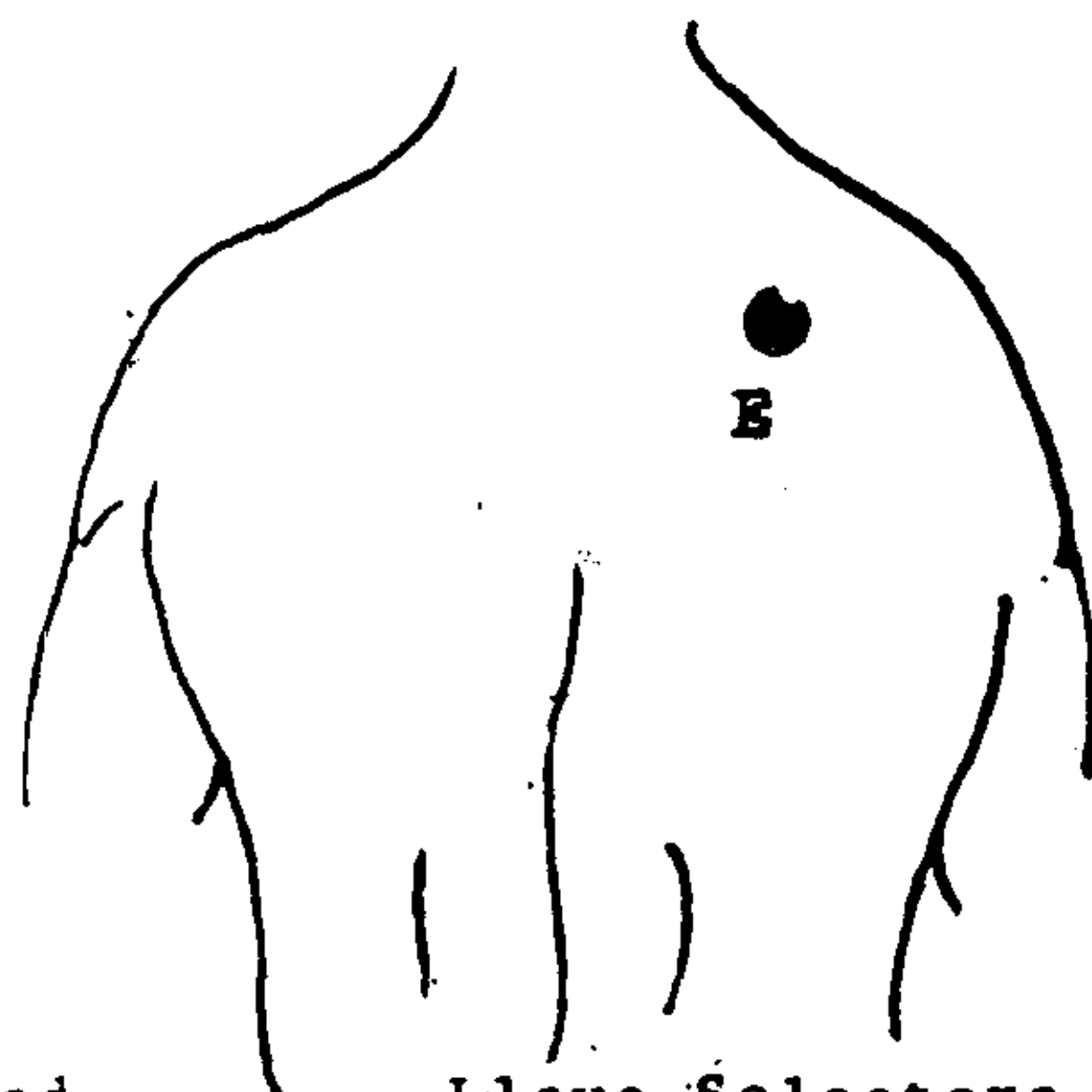
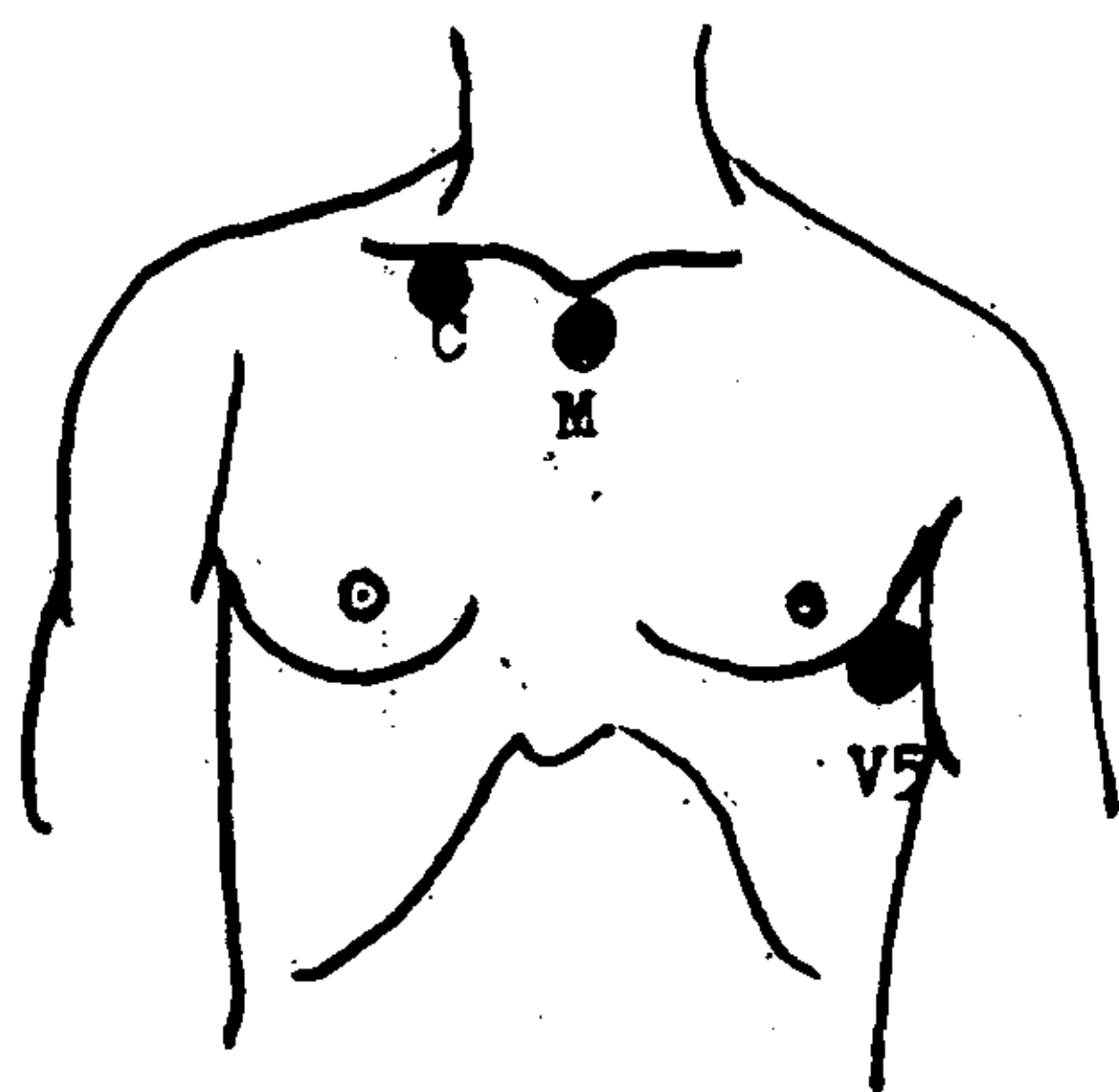
- 1º) Mantener siempre una derivación cuyo eje sea lo más paralelo posible al vector de lesión.
- 2º) Deben utilizarse derivaciones múltiples de registro, a fin de ampliar al máximo las posibilidades de detectar los cambios producidos en el campo eléctrico cardíaco.
- 3º) Evitar el empleo de derivaciones que solamente provean información redundante.

4º) Utilizar derivaciones bipolares exclusivamente con el fin de mantener una unidad de criterio en la interpretación cuantitativa de las modificaciones del segmento ST.

Esta metodología permite expresar en forma uniforme los resultados obtenidos y registrar los fenómenos eléctricos utilizando una cantidad mínima de parámetros, circunstancia ésta que favorece la aplicación futura de programas de computación. Para ajustarse a estas normas, sugerimos las siguientes estructuras de referencia:

trodo positivo en el punto V5 de las precordiales clásicas. En algunas circunstancias (mama voluminosa, deformidades torácicas, etc.) este electrodo se podrá colocar en cualquier punto entre V2 y V6. El electrodo negativo puede ser colocado también a nivel del ángulo inferior de la escápula, pero preferimos el ángulo superointerno de la escápula derecha, por la estabilidad de la línea de base y, sobre todo, porque cuando este electrodo forma parte de la derivación bipolar Y, se obtienen amplitudes mayores que en la posición infraescapular. Hemos comprobado

PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO- P.E.G.-ERGOMETRIA
DERIVACIONES BIPOLARES TORACICAS



Derivación	Polaridad	Llave Selectora E.C.G.
Bipolar torácica CV ₅	V ₅ + C-	D1
Bipolar torácica MV ₅	V ₅ + M-	D1
Bipolar transtorácica EV ₅	V ₅ + E-	D1

Fig. 4

a) **Derivación Bipolar Torácica (E-V5)** (fig. 4).

Material: Cable tripolar que incluye electrodo a masa. De acuerdo a 1º) el eje de esta derivación debe estar orientado hacia abajo, izquierda y adelante, con el campo positivo próximo al electrodo V5. Usamos la derivación E-V5, con el electrodo negativo en la línea axilar posterior derecha a la altura del ángulo superointerno de la escápula y el elec-

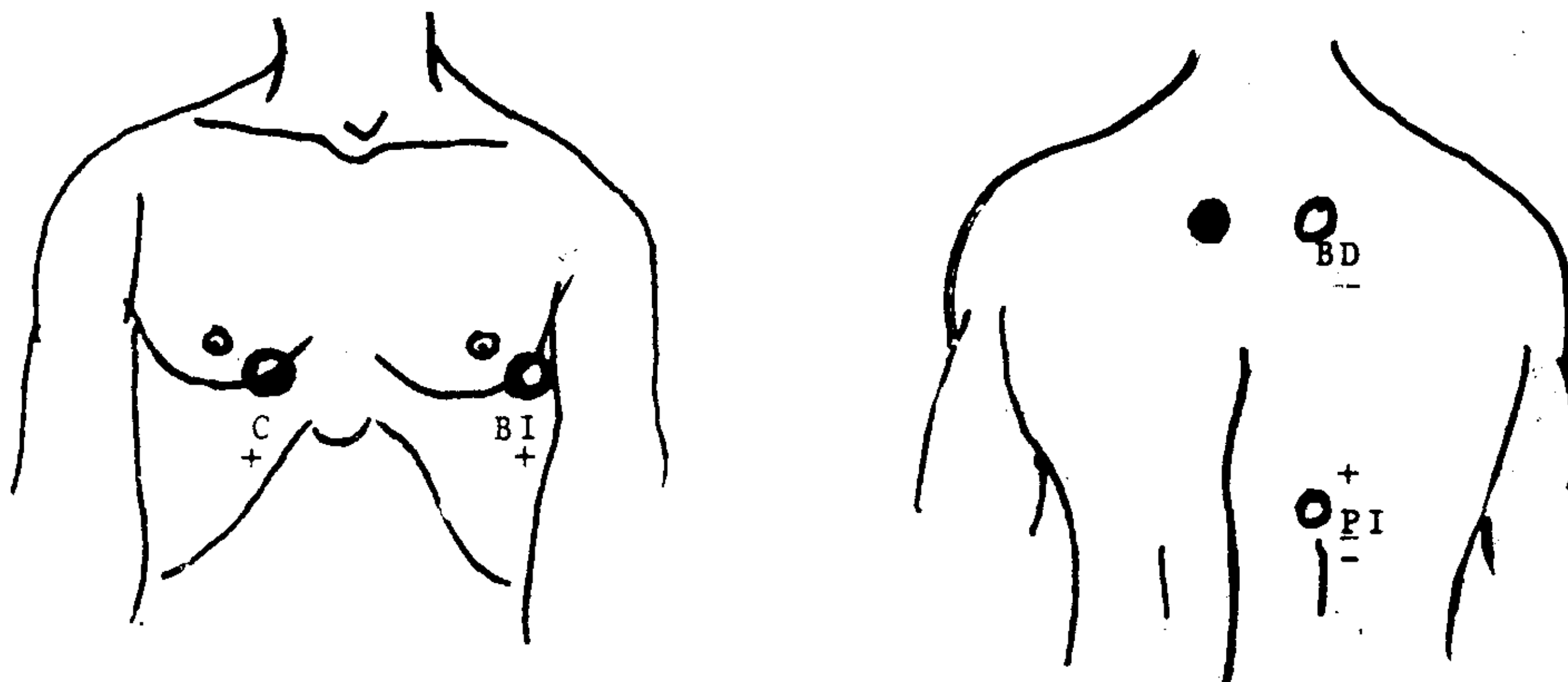
trodo positivo en el punto V5 de las precordiales clásicas. En algunas circunstancias (mama voluminosa, deformidades torácicas, etc.) este electrodo se podrá colocar en cualquier punto entre V2 y V6. El electrodo negativo puede ser colocado también a nivel del ángulo inferior de la escápula, pero preferimos el ángulo superointerno de la escápula derecha, por la estabilidad de la línea de base y, sobre todo, porque cuando este electrodo forma parte de la derivación bipolar Y, se obtienen amplitudes mayores que en la posición infraescapular. Hemos comprobado

b) **Derivaciones Múltiples: E-V5, Y, Z (Opcional X) (37)** (fig. 5).

Material: Cable pentapolar standard cuyas terminaciones deben ser del tipo de electrodo de columna fluida. Se pro-

DERIVACIONES MULTIPLES

Disposición de electrodos con cable pentapolar.
 Derivaciones Ortogonales Y, Z (Opcional X)
 Derivación Bipolar Transtorácica EV 5.



Derivación
 EV5
 Y

Polaridad
 BI+ BD-
 PI+ BD-
 PI- C+

Llave Selectora E.C.G.
 D1
 D2
 CF

Fig. 5

pone la siguiente disposición de electrodos:

Derivación bipolar transtorácica E-V5.

Se obtiene colocando el electrodo correspondiente al brazo izquierdo, de polaridad positiva, en el punto precordial V5; el electrodo del brazo derecho, de polaridad negativa, en el ángulo superointerno de la escápula derecha. Llave selectora del electrocardiógrafo de registro en D1.

Derivación vertical Y: Formada por el electrodo últimamente descrito (ángulo superointerno de la escápula derecha) que conserva su polaridad negativa y el electrodo de la pierna izquierda, de polaridad positiva, colocado en la línea escapular derecha, a nivel de la vértebra lumbar I. Para su registro se coloca la llave selectora del electrocardiógrafo en D1.

Derivación anteroposterior Z: El electrodo de la pierna izquierda conserva su posición topográfica pero variará su polaridad a negativa. El terminal precordial unipolar C se conecta a un electrodo ubicado en la posición V3R, constituyendo el electrodo positivo. Para su registro la llave del electrocardiógrafo se coloca en CF.

En el caso eventual que se desee explorar por algún motivo determinado el desplazamiento de los vectores en un eje más transversal, se desplazará el electrodo C al punto que corresponde a la línea axilar posterior izquierda. Se obtiene así una derivación **horizontal X**, con polaridad similar a D1.

c) **Derivaciones Múltiples Escalares tipo Frank X, Y, Z + Derivación Bipolar Torácica CV5 (Fig. 6).**

Material: Cable octopolar vectocardiográfico de Frank y tripolar de monitoreo. Caja selectora de 3 toques X, Y y Z para su registro electrocardiográfico. La disposición de los electrodos es la misma que la usada en la técnica de Frank (38), modificando solamente los de la pierna izquierda y el indiferente, que serán colocados a nivel de la espina ilíaca anterosuperior izquierda y derecha respectivamente. Los electrodos correspondientes al cable tripolar se ubicarán en la forma ya descrita.

Esta técnica permite efectuar una exploración electro y/o vectocardiográfica del campo eléctrico cardíaco intra y post-esfuerzo, de suma utilidad cuando se desee completar los hallazgos escalares con

PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO-P.E.G.-ERGOMETRIA
DERIVACIONES MULTIPLES

Derivaciones Escalares de Frank X, Y y Z más
Derivación Bipolar CV₅
Cable V.C.G. Frank Cable Tripolar de Monitoreo.
Caja Selectora de Derivaciones

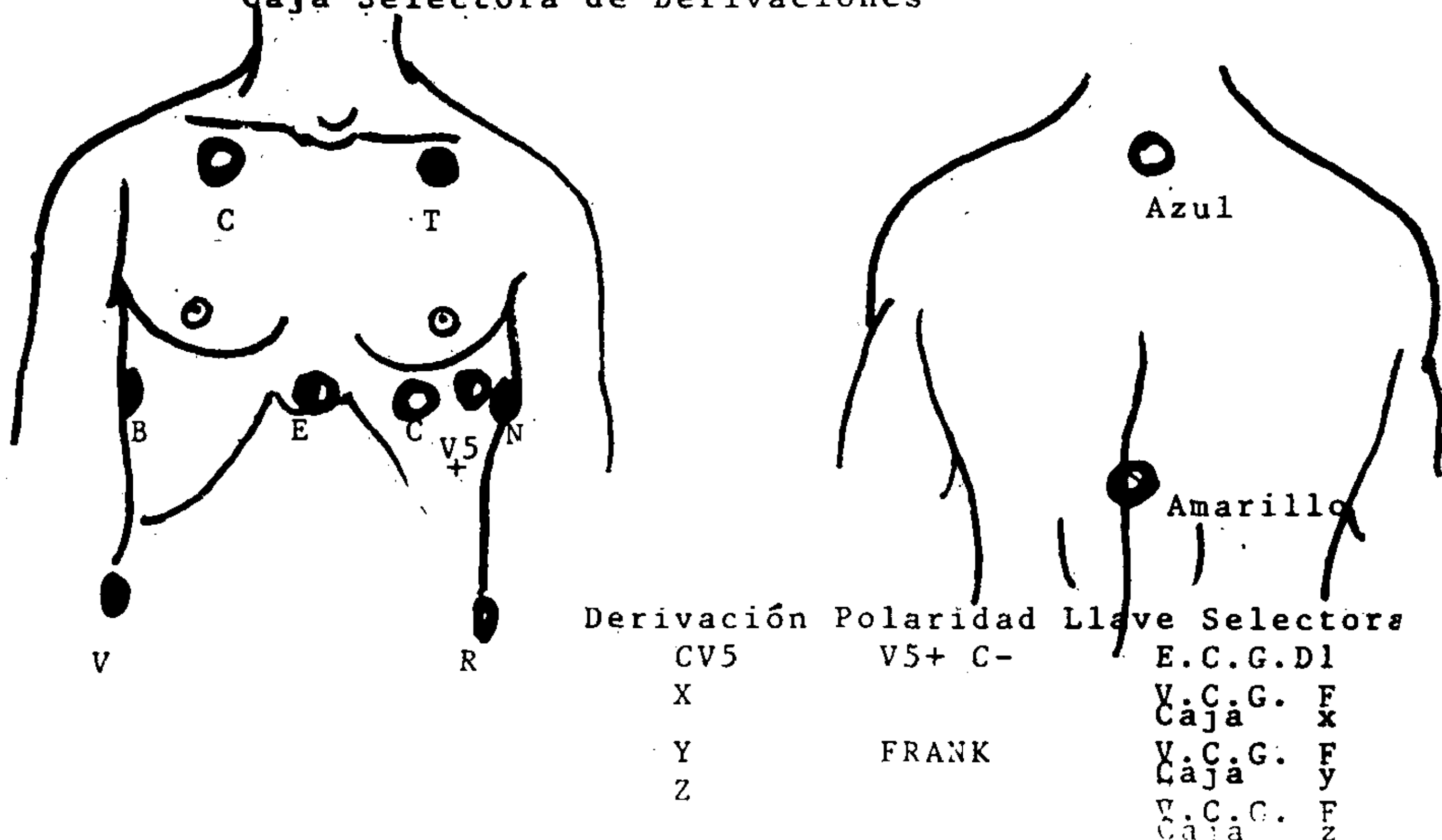


Fig. 6

los que proporciona la exploración analítica de la actividad eléctrica en los trastornos de conducción y el desplazamiento espacial del vector isquémico.

E. Controles hemodinámicos incruentos

Conjuntamente con la observación y registro de la respuesta electrocardiográfica al ejercicio, se determinan los siguientes parámetros:

- a) Presión arterial sistémica
- b) Frecuencia cardíaca
- c) Índice tensión-tiempo (ITT)
- d) Duración de las fases sistólicas.

a) **Presión arterial sistémica.** Las presiones arteriales sistólica y diastólica son determinadas, mediante técnica auscultatoria, con el paciente sentado y de pie, antes de comenzar la prueba y al final de cada etapa (39). En ciertos pacientes, por ej.: los hipertensos es aconsejable efectuar este control en forma minutada. Puede haber dificultad en determinar la p. diastólica durante el ejercicio (1). **Presión arterial sistólica:** normalmente se eleva en forma proporcional a la intensidad del esfuerzo físico, considerándose que una elevación superior a 15 mm de

Hg \times MET es excesiva y anormal (40). Este tipo de elevación desproporcionada al esfuerzo se observa comúnmente en pacientes con hipertensión lábil. Consideramos que estos pacientes presentan una respuesta **anormal inespecífica**, motivada por desequilibrios en sus mecanismos de regulación neuro-hormonal. Por el contrario, en los pacientes con limitada reserva miocárdica, el aumento de la p. sistólica puede ser menor que el esperado para un determinado esfuerzo y eventualmente puede disminuir en lugar de aumentar. En este último caso es habitual la aparición de síntomas subjetivos y objetivos que traducen un déficit de perfusión cerebral: mareos, incoordinación en la marcha, dificultad para contestar en forma coherente a las preguntas que se le efectúan, palidez, sudoración (2). **Presión arterial diastólica:** normalmente varía poco con respecto a las cifras obtenidas en reposo. Se considera anormal un aumento de la misma mayor de 10 mm de Hg con respecto al registro basal.

b) **Frecuencia cardíaca.** La frecuencia cardíaca, como la presión arterial, aumenta como respuesta fisiológica al ejercicio, y representa el parámetro más se-

guro y más fácil de monitorear durante la prueba de esfuerzo (39). Su incremento es más lento en los sujetos altamente entrenados y más rápido en sujetos sedentarios, obesos o que presentan una reducción de su capacidad funcional cardíaca. Se considera anormal una elevación superior a 12 latidos por MET (40).

Cada individuo puede alcanzar una frecuencia cardíaca llamada "**Máxima**", superada la cual, el metabolismo del miocardio dejará de ser aeróbico para transformarse en anaeróbico. Se ha demostrado que esta frecuencia depende de la edad y sexo. La prueba de esfuerzo se denominará **Maxima** cuando se alcance esa frecuencia y **Submáxima** cuando la frecuencia alcanzada es del 85 % o menor de la máxima calculada para dicho

	Robinson		Milton Beach
	MX	85 %	
20	200	170	170
25	195	166	170
30	190	162	170
35	186	158	160
40	182	155	160
45	179	152	150
50	175	149	150
55	171	145	140
60	168	143	140
65	164	139	130
70	160	136	130
EDAD	FRECUENCIA CARDIACA		

TABLA 2 — Frecuencias cardíacas a obtener, según la tabla de Robinson y según el criterio de Milton Beach.

paciente. Existen tablas que relacionan la edad y el sexo con la frecuencia cardíaca. La tabla de Robinson es la más difundida y es la usada por nosotros conjuntamente con la de Milton Beach (Tabla 2).

c) **Índice tensión-tiempo (ITT)**. Este parámetro es el producto de la p. sistólica por la frecuencia cardíaca. Su valor es

mayor en los cardiopatas que en los normales cuando se consideren durante una prueba submáxima niveles comparables de cargas pequeñas, y este índice ITT aumentado indica que la función está disminuida. Por el contrario, cuando se emplean cargas máximas, o submáximas elevadas, el cardiopata no podrá llegar a las cifras de ITT que alcanza el paciente normal, debido a su limitación funcional. Este índice se obtiene computando los valores de presión sistólica y frecuencia cardíaca obtenidos durante el **último minuto** de la prueba.

d) **Duración de las fases sistólicas**. Antes y después del ejercicio pueden registrarse el tiempo de eyección sistólica el QA₂ y el PPE (Período Pre Eyeccional) los cuales informarían sobre el estado contráctil del miocardio (41).

F. Criterios para interrumpir el esfuerzo

El esfuerzo será interrumpido cuando:

(1) se ha alcanzado la frecuencia cardíaca prevista para la edad, según el tipo de prueba proyectada (Máxima o Sub-Máxima).

(2) aparezcan algunos de los siguientes elementos clínicos o electrocardiográficos: A. Clínicos: **Síntomas**: angina de pecho intensa (+++), disnea severa, mareos, dolor isquémico de los miembros, agotamiento muscular. **Signos**: marcha atáxica, palidez marcada, disminución de la presión arterial, elementos auscultatorios de descompensación cardíaca, presión sistólica superior a 250 mm de Hg.

B. **Electrocardiográficos**: (a) arritmias paroxísticas o extrasistólicas polifocales y/o precoces, (b) depresión del segmento ST mayor de 5 mm y (c) supradesnivel de dicho segmento mayor de 1 mm.

III. CRITERIOS DE INTERPRETACION DE LA PRUEBA

De acuerdo a los parámetros clínicos, electrocardiográficos y hemodinámicos previamente expuestos, hemos agrupado los resultados de una PEG en cinco respuestas diferentes: a) **negativa**, b) **positiva**, c) **inespecífica**, d) **anormal inespecífica**, y e) **no satisfactoria**.

P.E.G. PLAT. ERG. CV. XYZ,

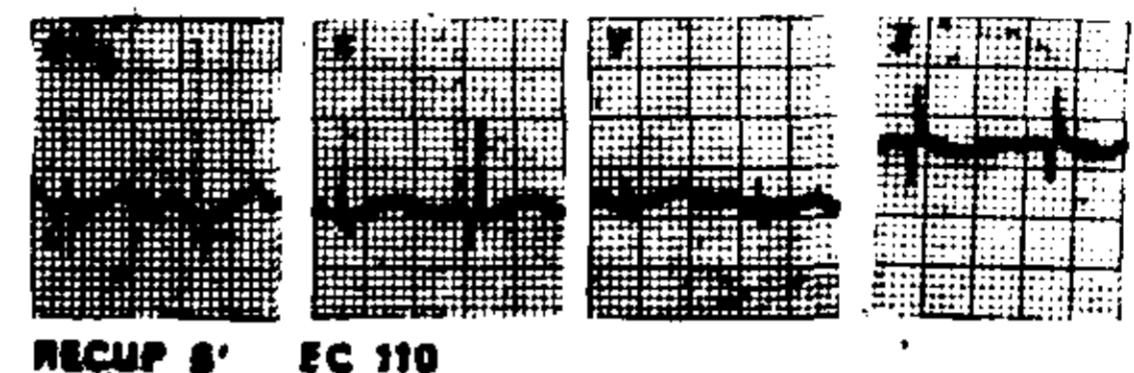
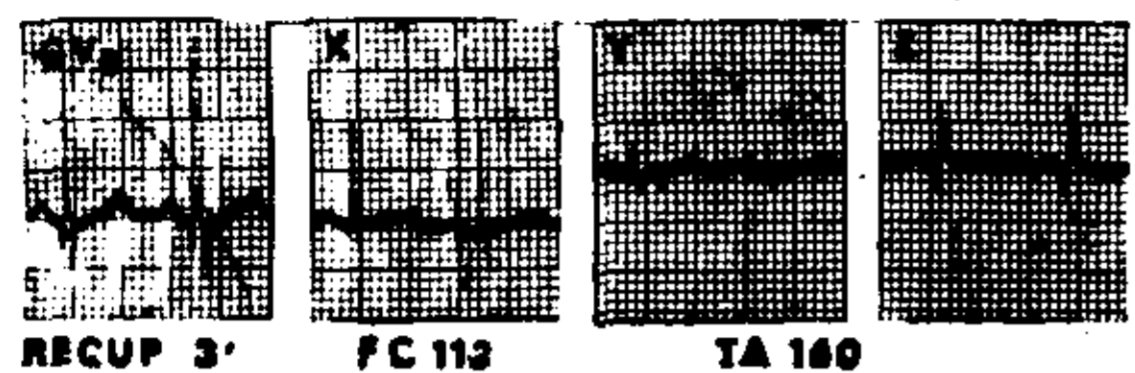
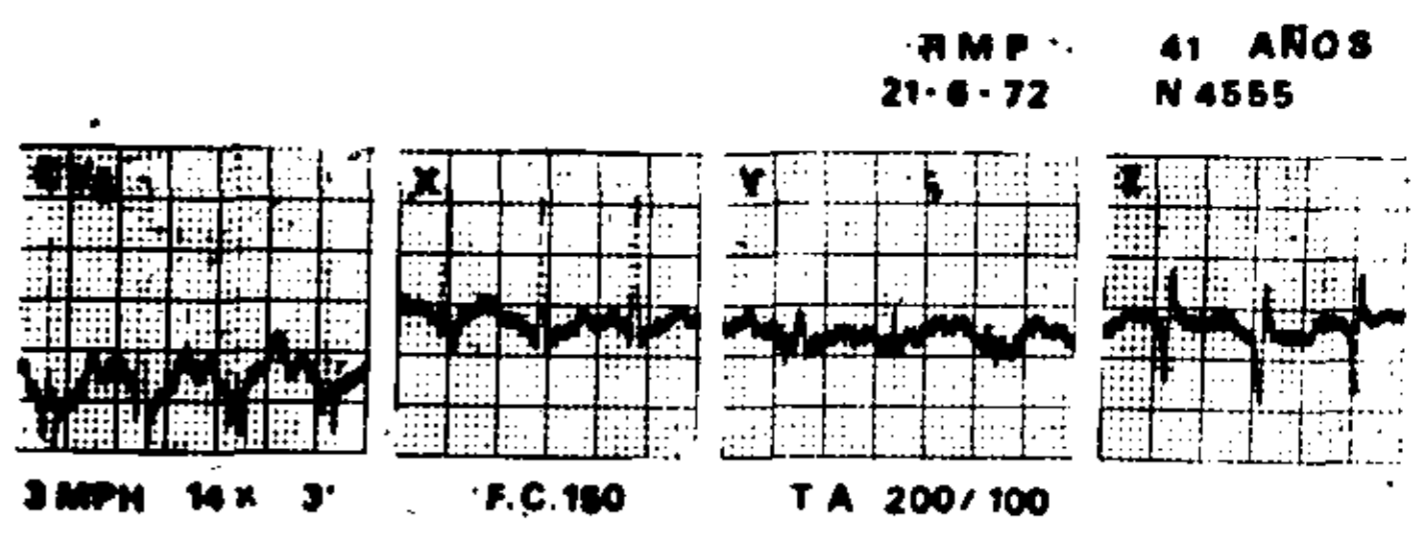
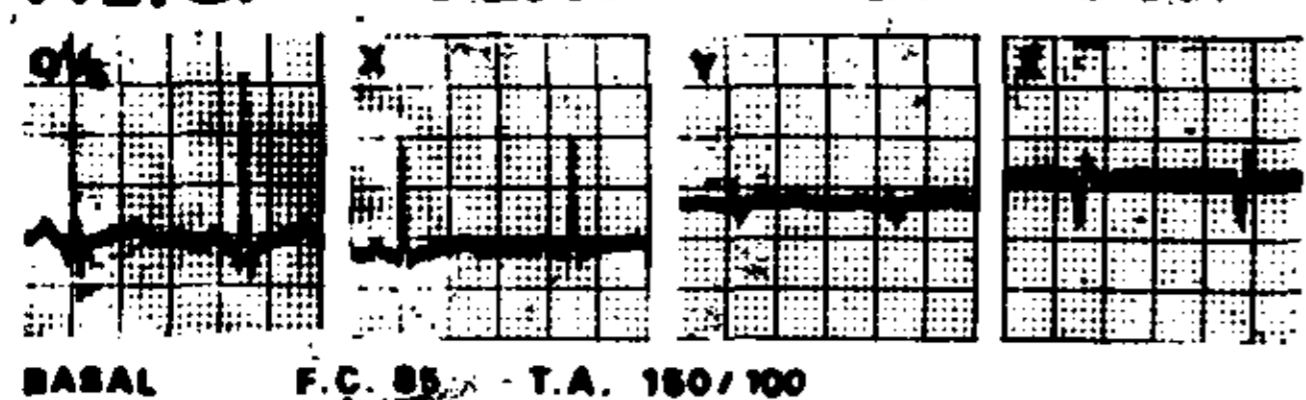


Fig. 7. — Prueba negativa efectuada con plataforma ergométrica. Derivaciones CV5 y escalares X, Y, Z de Frank.

a) **Prueba negativa** (Fig. 7).

- 1) Segmento ST sin modificaciones de tipo isquémico
- 2) Depresión del punto J menor de 0,1 mV
- 3) Segmento ST ascendente con **pendiente** mayor de 1 mV/segundo (Lester)
- 4) No debe haber angor ni otros síntomas o signos y se debe alcanzar una frecuencia cardíaca de por lo menos el 85 % de la máxima prevista para la edad y sexo.

En los casos de segmento ST ascendente es difícil establecer si la depresión del punto J corresponde a una respuesta positiva o negativa. **El criterio de cálculo de pendiente** (Lester) permite obviar este inconveniente y establecer el verdadero significado de dicho hallazgo. Dicho criterio establece que la pendiente ascendente del segmento ST corresponde a una respuesta **negativa** cuando la prolongación de su tangente corta la perpendicular a la línea isoeleétrica (J-J) determinando un segmento cuya magnitud es mayor de 1 mV (10 mm). La línea isoeleétrica (J-J) es la que une los puntos J consecutivos y la perpendicular a ésta debe ser trazada a una distancia de 1 segundo (25 mm) del punto J deprimido en estudio. Este es el criterio de cálculo de pendiente al mV/segundo (40).

b) **Prueba positiva** (Fig. 8).

1) **Respuesta electrocardiográfica isquémica**

- i) Depresión del segmento ST mayor de 0,1 mV de dirección horizontal o descendente con una duración de 0,08" como mínimo y una persistencia de por lo menos 3 segundos.
- ii) Depresión del punto J mayor de 0,1 mV con segmento ST ascendente y cálculo de pendiente menor de 1 mV/segundo (Lester).
- iii) Supradesnivel del segmento ST mayor de 0,1 mV (Efecto Prinzmetal) en aquellas derivaciones con polaridad tal que la respuesta isquémica se traduce regularmente por depresión de dicho segmento.

2) **Respuesta isquémica electrocardiográfica + angor.**

3) **Angor que se desencadena con similar ITT en pruebas repetidas** (42).

La depresión del segmento ST mayor de 0,1 mV (1 mm) que consideramos como respuesta isquémica positiva, tiene, de acuerdo a las correlaciones que hemos efectuado con la cinecoronariografía, un alto grado de sensibilidad y especificidad. En esto nuestra experiencia coincide con la de otros numerosos autores y con lo aceptado en convenciones internacionales sobre el tema (40, 43).

La correlación de la respuesta al ejercicio con la cinecoronariografía evidencia

PRUEBA DE ESFUERZO GRADUADO
(ERGOMETRIA)

18-X-72 - No. 5042

G. R. Masc. 63 A. 83 K.

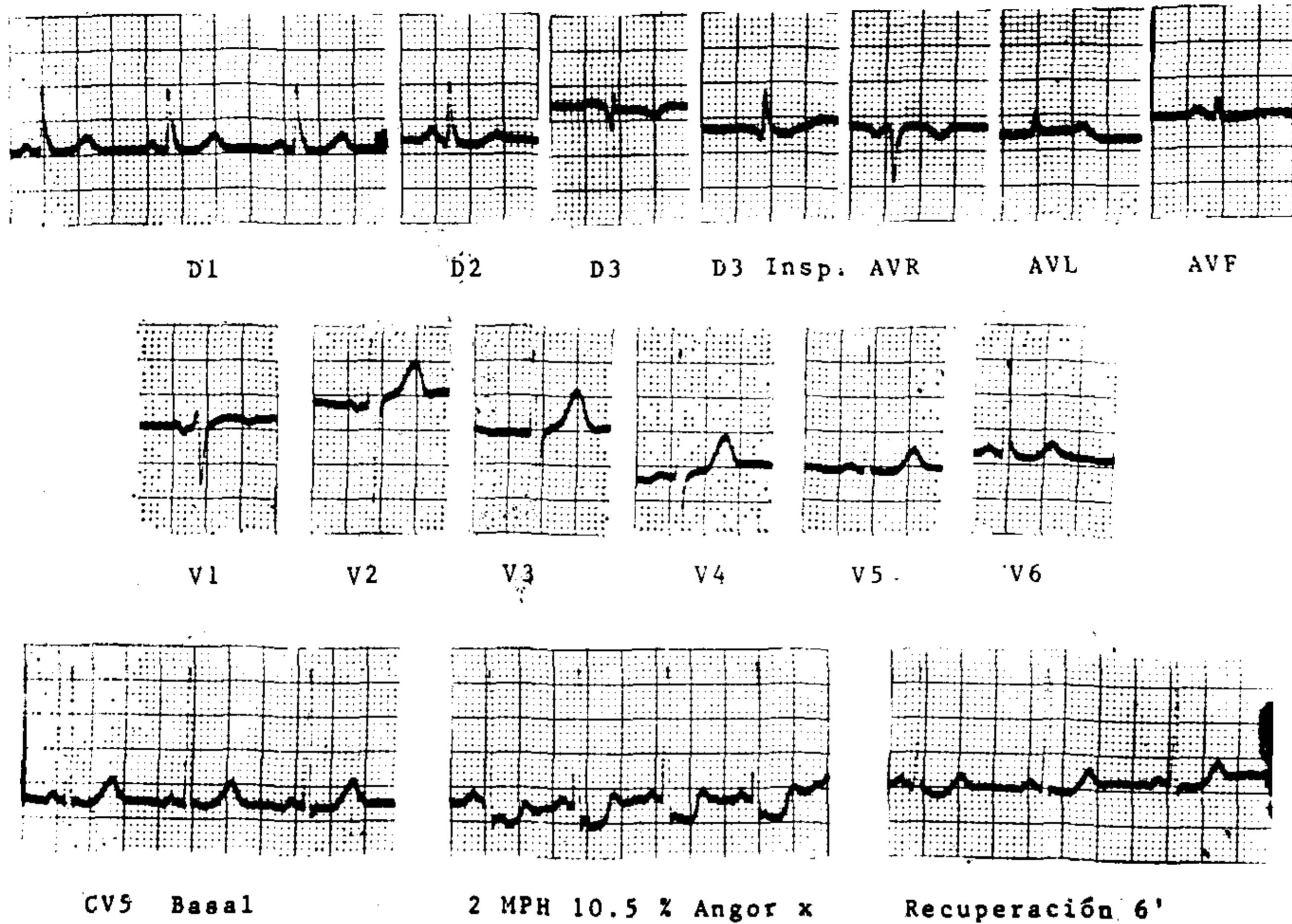


Fig. 8. — Prueba positiva efectuada con plataforma ergométrica, derivación bipolar CV5. Paciente con ECG. de reposo inespecífico.

que la severidad de las lesiones de las arterias coronarias son directamente proporcionales a 1) magnitud del desnivel del segmento ST, 2) precocidad de aparición del mismo y 3) a su duración durante la recuperación (43).

El 'Efecto Prinzmetal' corresponde a una lesión troncular proximal que provoca isquemia severa, o lesión aneurismática parietal (44).

c) **Prueba inespecífica.**

- 1) Depresión del punto J mayor de 0,1 mV con segmento ST ascendente y cálculo de pendiente mayor de 1 mV/segundo (Lester).
- 2) Modificaciones de la polaridad de la onda T (45).
- 3) Aparición o modificaciones de la onda U.

d) **Prueba anormal inespecífica.**

- 1) Arritmias desencadenadas por el ejercicio (Síndrome de corazón irritable) (46, 47).

- 2) Disociación entre la progresión del esfuerzo y la frecuencia cardíaca o la presión arterial (excepto el efecto entrenamiento).
- 3) Descenso de la presión arterial durante el esfuerzo.
- 4) Síndrome de bajo volumen minuto.
- 5) Hipertensión arterial desencadenada por el esfuerzo.

A este tipo de respuesta la hemos denominado 'anormal inespecífica' debido a que los elementos clínicos, hemodinámicos y electrocardiográficos que la integran, no son patrimonio exclusivo de la cardiopatía isquémica, sino que pueden hallarse también en otras entidades nosológicas (miocardiopatías, valvulopatías, hipertensión arterial, irritabilidad miocárdica, labilidad vascular neurovegetativa, etc.) (48).

e) **Prueba no satisfactoria.**

- 1) no pudo alcanzarse la frecuencia cardíaca prevista por (a) factores limitantes extracardíacos, (b) carencia de motivación o (c) agotamiento físico.

2) Existencia de estados patológicos que afectan al segmento ST: (a) hipertrofia ventricular, (b) hipokalemia, (c) anemia severa, (d) bloqueo de rama, (e) WPW, (f) digital y (g) betabloqueantes.

IV. CONTRAINDICACIONES

- 1) Infarto agudo de miocardio.
- 2) Embolismo pulmonar agudo.
- 3) Miocarditis activa.
- 4) Insuficiencia cardíaca descompensada.
- 5) Taquicardia ventricular.
- 6) Toxicidad digitálica o quinidínica.
- 7) Beta-bloqueantes.
- 8) Bloqueo aurículo-ventricular completo.
- 9) Ritmos supraventriculares no controlados.
- 10) Extrasistolia ventricular polifocal significativa.
- 11) Estenosis aórtica severa.
- 12) Insuficiencia respiratoria.
- 13) Enfermedades neurológicas u ósteoarticulares invalidantes.

SUMMARY

This paper contains our experience after 1086 Graduated Stress Tests on Treadmill. Through it, we try to fill a vacuum that exists in the national literature regarding the standardization of the work patterns and profiles on the treadmill. The other subjects exposed regarding Indications, Metodology, Interpretation criteria and Contraindications are common with stress testing on any ergometric machine. It must be pointed out the possibility of converting the results obtained with Ergometric Bicycle or Treadmill one into another by means of tables (Tabla 1).

BIBLIOGRAFIA

1. Messer, J. V.; Wagman, R. J.; Levine, H. J.; Neill, W. A.; Krasnow, N. and Gorlin, R.: Patterns of human Myocardial Oxygen extraction during rest and exercise. J. Clin. Invest., 41: 725, 1962.

2. Sonnenblick, E. H.; Ross, J. and Braunwald, E.: Oxygen consumption of the heart: Newer concepts of its multifactorial determination. Amer. J. Cardiol., 22: 328, 1968.
3. Lange Andersen, K.: The Determinants of Physical Performance Capacity in Health and Disease. Postgraduate course of Exercise Testing and Training, April 16-21, 1972. Warenton Virginia.
4. Rochmis, P. and Blackburn, H.: Exercise Tests. A Survey of Procedures. Safety and Litigation in Approximately 170.000 Tests. JAMA, 217: 1061, 1971.
5. Astrand, P. A. and Rodahl; K.: Textbook of Work Physiology. McGraw Hill, New York, 1970.
6. Lanje Andersen, K.; Sephard, R. J.; Demolin, E., Varnauskas, E., and Masironi, R.: Fundamental of Exercise Testing World Health Organization, Geneva, 1971.
7. Taylor, R. L.; Haskell, W. L.; Fox, S. M. and Blackburn, H.: Exercise tests: a summary of procedures and concepts of stress testing for cardiovascular diagnosis and function evaluation in: Measurement in exercise electrocardiography. Ed. H. Blackburn, Chas, C. Thomas, Springfield, Ill, 1969, pg. 259-305.
8. Denolin, H.; Koning, K.; Messin, R. and Degré, S.: Ergometry in Cardiology. Freiburg, February, 1967.
9. Bruce, R. A. and McDonough, J. R.: Stress Testing in Screening for Cardiovascular Disease. Bull. NY. Acad. Med., 45: 1288, 1969.
10. Spangler, R. D.; Horman, M. J.; Miller, S. W.; Rotenberg, D. A.; Brinholb, J. C.; Simmons, R. L.; Westura, E. E. and Fox, S. M.: A Submaximal exercise electrocardiographic test as a method of detecting occult ischemic heart disease. Am. Ht. J., 80: 752-758, 1970.
11. Zohman, L. R. and Tobis, J. S.: Cardiac rehabilitation Grune and Stratton, New York, 1970.
12. Keilerman, J. J. and Kariv, I. and coworkers: Rehabilitation of Coronary Patients. Tel-Hashomer, Israel, 1968.
13. Editorial: Exercise in the prevention, in the evaluation and the treatment of heart disease. J. South Carol. Med. Assoc| 65, supp. Dec., 1969.
14. Fox, S. M. and Paul O.: Physical activity and coronary heart disease. Am. J. Card., 23: 298, 1969.
15. Kattus, A. A.; Jorgensen, C. R.; Worden, R. E. and Alvaro, A. B.: ST Segment Depression with Near-Maximal Exercise in Detection of Preclínica Coronary Heart Disease. Circulation, 44: 585, 1971.
16. Bruce, R. A.: Manual of Exercise Testing, July, 1970.
17. Wong, H. O.; Kasser, I. S. and Bruce, R. A.: Impaired Maximal Exercise Performance with Hypertensive Cardiovascular Disease. Circulation, 39: 633, 1969.

18. Brunner, D.: The influence of physical activity on incidence and prognosis of ischemic heart disease, In: *Prevention of Ischemic Heart Disease: Principles and practice*. E. D. W. Raab. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1966, pg. 236.
19. McDonough, J. R. and Bruce, R. A.: Maximal Exercise Testing in Assessing Cardiovascular Function, *Journal of the South Carolina Medical Association Supplement*, December, 1969, 26-33.
20. Naughton, J. P.; Shanbour, K.; Armstrong, R.; McCoy, J. and Lategola, M.: Cardiovascular responses to exercise following myocardial infarction. *Arch. Intern. Med.*, 117: 541, 1966.
21. Dagenais, G. R.; Pitt, B. and Ross, R. S.: Exercise tolerance in Patients with Angina Pectoris. *Am. Journal Cardiology*, 28: 10, 1971.
22. Varnauskas, E.; Bergmann, H.; Houk P. and Bjornorp, P.: Haemodynamic effects of physical training in coronary patients. *Lancet*, 2: 8, 1966.
23. Epstein, S. E.; Rosing, D. R.; Brakman, P.; Redwood, D. R. and Astrup, T.: Impaired fibrinolytic response to exercise in patients with type IV hyperlipoproteinemia. *Lancet*, 2: 631, 1970.
24. Fox III, S. M.; Naughton, J. P. and Haskell, W. L.: Physical Activity and the Prevention of Coronary Heart Disease. *Annals of Clinical Research*, 3: 404-432, 1971.
25. Benest, A. M. and Lange Andersen, K.: The Physiological Basis for Cardiac Rehabilitation. Communication: 6th International Congress of Physical Medicine. Barcelona, Spain, July, 2-6, 1972.
26. Comunicación Personal. Sociedad Argentina de Cardiología, 28-VIII-71.
27. Comunicación Personal. Sociedad Med. Int., Nov, 1971.
28. Gianelly, R. E. et al.: Effect of Propanolol on Exercise - Induced Ischemic ST Depression. *Am. Journal Cardiology*, 24: 161, 1969 (Card.).
29. Fox, S. M.; Gaxes, P. C.; Blackburn, H. W.; Bruce, R. A.; Campney, H. K.; Master, A. M.; Mattingly, T. E.; McDonough, J. R.; Sheffield, L. T. and Thwaites, K.: Exercise and Stress Testing Workshop Report. *J. South Carolina Med. Assoc.* 55; Suppl. to Dec., 1969, pp. 74-78.
30. Colorado Heart Association Booklet. Exercise Equivalents. L. L. Brock. M. D. Denver, Colorado.
31. Ellestad, M. H.; Allen, W.; Wan, C. K. and Kemp, G. L.: Maximal Treadmill Stress Testing for Cardiovascular Evaluation. *Circulation*, 39: 517, 1969.
32. Relato Personal. Mesa Redonda Sociedad Argentina de Cardiología, 31-VIII-72.
33. Patterson, J.; Naughton, J.; Pietras, R. and Gunnar, R.: Treadmill exercise in the assessment of the functional capacity of cardiac patients. *American Journal of Cardiology*, Nov. 1972. Especial Issue, 757.
34. *Annals of Clinical Research*, Helsinki, Finland, 1972.
35. Mason, R. E.; Likar, I.; Bieru, R. D. and Ross, R. S.: Multiple Lead Exercise electrocardiography. Experience in 107 Normal Subjects and 67 Patients with Angina Pectoris and comparison with Coronary Cineangiography in 84 patients. *Circulation*, 36: 517, 1967.
36. Blackburn, H.: The exercise electrocardiography. En: Blackburn, H.: (Dir.) *Measurements in Exercise Electrocardiography*. Cap. 17. Springfield, Illinois. Charles Thomas, 1969.
38. Wartak, J.: *Simplified Vectocardiography*. Lippincott, Philadelphia, 1970.
39. Robinson, B. F.: Relation of Heart Rate and Systolic Blood Pressure to the Onset of Pain in Angina Pectoris. *Circulation*, 38: 552, 1968.
40. Naughton, J. P.: Seminario de Stress Testing y Rehabilitación Washington Virginia Eairlie House. Abril 1972. Comunicación Personal.
41. Whitsett, T. and Naughton, K.: The effect of exercise on systolic time intervals in sedentary and active individuals and rehabilitated patients with heart disease. *Amer. J. Cardiol.*, 27: 352, 1971.
42. Lampropoulos, J.; de la Fuente, L.; Ruda Vega, M.; Borruei, M. y Bruno, C. A.: Correlación del estudio ergométrico con la cinecoronariografía. Presentado en la Sociedad Argentina de Cardiología. 27-VII-72.
43. Mc. Conahag, D.; McCalister, B. D. and Smith, R. E.: Post exercise electrocardiography. Correlations a with coronary arteriography and left ventricular Hemodinamics. *Amer. J. Card.*, 28: 1, 1971.
44. George L. Kemp F. D.: Value of Treadmill Stress Testing in variant Angina Pectoris. *The Amer. Journal of Cardiology*, Special Issue, Nov., 1972, 781.
45. Paparo Nora Hanne; Wendilos, M. and Brunner, D.: The wave abnormalities in the electrocardiogram of top ranking athletes without demonstrable organic heart disease. *Amer. J. Cardiol.*, 81: 743, 1971.
46. Alden S. Gooch, M. D.: Exercise Testing for Detecting Changes in Cardiac Rhythm and Condition. *The Amer. Journal of Cardiology Special Issue*. Nov., 1972, 741.
47. Anderson, M. T.; Lee, G. B.; Campien, T. C.; Amplatz, K. and Tuna, N.: Cardiac Dysrhythmias associated with exercise stress testing. *Amer. J. Cardiol.* 30 Special Issue: 763, 1972.
48. Friesinger, G. C.; Briern, R. O.; Likar, I. and Mason, R.: Exercise electrocardiography and vasoregulatory abnormalities. *Amer. J. Cardiol.* 30 Special Issue: 733, 1972.