

EVALUACION DE LA TOLERANCIA CARDIORESPIRATORIA:

Introducción a las Pruebas Ergométricas de Esfuerzo/Ejercicio Progresivo

Prof. Edgar Lopategui Corsino
M.A., Fisiología del Ejercicio

I. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

A. Introducción

La aptitud o ***tolerancia cardiorespiratoria*** es un componente vital de la aptitud física, la cual se encuentra intimamente vinculada con el poseer una buena salud. La determinación de la ***tolerancia cardiorespiratoria*** o aeróbica mediante procedimientos ergométricos de tolerancia es esencial para el diseño y planificación de un programa de ejercicio o entrenamiento atlético (a nivel competitivo [Thoden, 1991; MacDougall & Wenger, 1991] recreativo/preventivo [Balady & Weiner, 1987] o clínico/rehabilitativo [American Heart Association-AHA: The Committee on Exercise, 1975; Wilson, 1978; Dec, Gregory & Curfman, 1985; Fardy, Yanowitz & Wilson, 1988]), puesto que, además de determinar o estimar el ***consumo de oxígeno máximo*** ($\text{VO}_2\text{máx}$), los resultados de estas pruebas ergométricas proveen información sobre las respuestas fisiológicas (cardiopulmonares, metabólicas, hematológicas, radionucleares, y ecocardiográficas) y psicológicas (percepción del esfuerzo) en reposo y durante un ejercicio submáximo y/o máximo. En adición, sirven para detectar la presencia evidente/manifiesta o latente (escondida) de una ***cardiopatía coronaria*** (enfermedad que afecta las arterias coronarias del corazón) (AHA, 1972). No obstante, esta última función es responsabilidad del cardiólogo. Un técnico en pruebas ergométricas de ejercicio progresivo o un especialista del ejercicio entrenado en pruebas de tolerancia no se encuentran legalmente autorizado para diagnosticar si el paciente posee una ***cardiopatía coronaria***. Por otro lado, el técnico de pruebas ergométricas puede y debe ser capaz de identificar los criterios fisiológicos, psicológicos y factores técnicos que indican la terminación de una prueba ergométrica de tolerancia progresiva (American College of Sports Medicine [ACSM], 1991). Para las diversas poblaciones (atletas, adultos aparentemente saludables, individuos con problemas cardiovasculares, envejecientes, niños, entre otros) existen una variedad de procedimientos ergométricos (protocolos para las pruebas ejercicio) específicos, los cuales utilizan ciertos tipos de ergómetros (Sheffield & Roitman, 1976; Jopke, Terry, 1981; Balady & Weiner, 1987; Ellestad, 1986; Thoden, 1991; ACSM, 1991; Lopategui, Soler & Rivera, 1994). El tipo de protocolo de ejercicio a utilizarse en la prueba ergométrica de tolerancia al ejercicio dependerá de varios factores, a saber: 1) la edad, 2) nivel de aptitud física, 3) enfermedades o problemas físicos que afecten la salud de la persona, 4) la presencia de factores de riesgo para enfermedades coronarias y 5) consideraciones económicas y de tiempo (Howley & Franks, 1992).

B. Valor de la Prueba Ergométrica de Ejercicio/Esfuerzo Progresivo

1. Es el método más común y válido utilizado para determinar el nivel de **tolerancia cardiorespiratoria** de un individuo que desea ingresar a un programa de ejercicios físicos regulares donde se enfatice el desarrollo de este componente. Esto aplica también para atletas, los cuales se someten a estos procedimientos ergométricos con el propósito de: 1) determinar en los comienzos de un programa de entrenamiento periodizado su estado actual de aptitud aeróbica, de manera que sirva de guía para determinar el volumen/cargas de entrenamiento iniciales, y 2) averiguar el grado de efectividad del entrenamiento durante sus diferentes etapas (preparatoria, competitiva y transitoria) (Thoden, 1991).
2. Representa una manera de evaluar objetivamente las respuestas fisiológicas al ejercicio.
3. Es una de las pruebas diagnósticas no invasivas más importantes utilizadas en la evaluación y manejo clínico de pacientes con enfermedades cardiovasculares sospechadas o conocidas, particularmente las **cardiopatías coronarias**.
4. Es un procedimiento evaluativo de mucha utilidad para individuos saludables que posean riesgos potenciales de enfermedades coronarias.
5. Representa un método evaluativo inicial que utilizan los cardiólogos, el cual es relativamente poco costoso, fácil de administrar y que no requiere cirugía (Stamford, 1988).

C. Objetivos/Usos Generales de las Pruebas Ergométricas de Esfuerzo

Para los especialistas en el ejercicio, estas pruebas sirven de base para el diseño de programas de ejercicios y deportes a nivel corporativo, comunitario, universitario o clínico. Además, sirve para evaluar la efectividad de los programas de entrenamiento y las terapias administradas por traumas en el deporte (Sutton, 1981).

En el campo clínico, las pruebas ergométricas de esfuerzo se lleva a cabo con el fin de evaluar las causas de los síntomas patológicos cardiovasculares, tal como el dolor torácico, y poder descubrir a tiempo una enfermedad coronaria. La prueba también suministra datos de importancia para evaluar en los pacientes (con enfermedades coronarias manifiestas) sus capacidades para ejercer trabajo. Además, se utiliza para medir el grado de eficiencia de las terapias médicas y quirúrgicas (Chung, 1980). Más aún, luego de un infarto al miocardio, se utilizan estas pruebas para evaluar varios factores de riesgo y para la prescripción de ejercicio (Fardy, Yanowitz & Wilson, 1988). Estas pruebas comunmente se efectúan justamente antes de dar de alta al paciente o luego de varias semanas de haber salido del hospital. Las pruebas ergométricas utilizadas utilizan modificaciones de los protocolos de ejercicio ya existentes. Se ha recomendado

emplear protocolos de ejercicio que sean detenidos por síntomas (e.g, dolor de pecho, disnea, fatiga en las piernas, mareo, entre otros) debido a que éstos proveen resultados mucho más válidos en cuanto a su capacidad funcional cardiorespiratoria y el diseño de mejores delineamientos que se deberán seguir estos pacientes una vez regresen a sus empleos regulares o para practicar actividades físicas recreativas (Fardy, Yanowitz & Wilson, 1988).

En síntesis, los objetivos de la prueba son, a saber (adaptado de: AHA, 1975 pág. 12):

1. Para **medir la capacidad funcional** en el trabajo, deporte o en la participación de un programa de ejercicio o rehabilitación, o para estimar la respuesta a un tratamiento quirúrgico. Bajo este objetivo, estos procedimientos ergométricos se utilizan para evaluar la capacidad funcional de sujetos asintomáticos, donde la medicación regular recetada debe continuar. Es muy importante que al someter a los atletas a estas pruebas, se debe seleccionar el procedimiento ergométrico y ergómetro específico para el deporte que practica. Algunos de estos procedimientos ergométricos y ergómetros son, a saber:

- a. Procedimientos ergométricos y ergómetros en ambiente aire:

En esta categoría encontramos los siguientes: 1) banda sinfín motorizada, 2) cicloergómetro (mecánico y electromecánico), 3) ergómetro para brazos y 4) ergómetro de escalón 5) ergómetro de remo, 6) ergómetro de silla de ruedas 7) ergómetro de esquí en campo traviesa, entre otros (Thoden, 1991).

- b. Ergómetros de natación utilizados en ambiente aire:

Dos tipos de ergómetros de natación en el ambiente aire han sido diseñados, a saber: 1) banco de natación convencional (Gergley, Mcardle, Dejesus, Toner, Jacobowitz, & Spina, 1984), y 2) ergómetro de natación simulada (modificación del banco de natación convencional (Kimura, 1990).

- c. Ergómetros de natación utilizados en ambiente agua:

Los ergómetros más comunes en esta categoría son, a saber: 1) el ergómetro de brida ("tethered") o ergómetro de natación estática (Costill, 1966) y 2) canal de natación o corriente de agua sinfín ("flume") (Holmér & Åstrand, 1972). La natación libre o sin restricciones por implementos de medición es también utilizada para determinar respuestas fisiológicas y metabólicas.

2. Para **diagnosticar** enfermedades isquémicas cardíacas e investigar los mecanismos fisiológicos subyacentes para los síntomas cardíacos (angina, arritmias, elevacion anormal de la presión sanguínea, incompetencia valvular funcional).

3. Para definir los peligros y oportunidades al aumentar los niveles de actividad física en personas en riesgo debido a enfermedades cardiorespiratorias sospechadas o documentadas.

Miller & Allen (1979, págs. 21-22) resume los objetivos de las pruebas ergométricas de esfuerzo como sigue:

1. Determinar si hay alguna cardiopatía latente.
2. Evaluar la capacidad cardiovascular en lo que respecta al ejercicio a fin de que los individuos puedan conocer dicho nivel de capacidad funcional si van a desempeñar un trabajo agotador o un programa de ejercicio.
3. Evaluar la reacción del individuo a fin de prepararlos a programas de acondicionamiento.
4. Estimular al individuo para que entre a programas de ejercicios.

D. Definiciones

1. ***Prueba ergométrica de esfuerzo:***

Es la observación y registro de las respuestas cardiovasculares individuales durante una demanda de ejercicio con el fin de determinar su capacidad de adaptarse al estrés físico (AHA, 1975, pág 11).

2. ***Prueba funcional ergométrica:***

Determinación de parámetros del rendimiento cardiopulmonar.

3. ***Prueba electrocardiográfica de esfuerzo:***

Procedimiento no invasivo en el cual se mide y evalúa la capacidad funcional del corazón mediante el electrocardiograma (EKG) y otros parámetros con el fin primordial de diagnosticar una cardiopatía coronaria (Chung, 1979).

4. ***Pruebas/ejercicios máximos:***

Aquellas pruebas ergométricas de tolerancia al ejercicio que continúan hasta que se alcancen valores fisiológicos máximos (e.g., $\text{VO}_2\text{máx}$) o fatiga voluntaria.

6. *Carga/potencia ergométrica:*

El producto de las magnitudes **Fuerza** y **Distancia** por unidad de tiempo que indica el ergómetro durante la prueba.

7. *Tolerancia cardiorespiratoria:*

La capacidad del corazón, vasos sanguíneos, sangre y sistema respiratorio para transportar y abastecer de nutrientes/combustibles metabólicos y oxígeno a los tejidos activos (particularmente las fibras musculo-esqueléticas) y la habilidad de estas células musculo-esqueléticas activas en utilizar el oxígeno para satisfacer las demandas energéticas (ATP) específicas que se requieren para poder mantener por un tiempo prolongado una actividad corporal/ejercicio rítmico (que envuelva grupos musculares grandes) de moderada a alta intensidad o de sostener una ejecutoria efectiva de un evento deportivo por períodos de tiempo extendido.

II. INDICACIONES/PROPOSITOS PARA LA PRUEBA EGOMETRICA DE ESFUERZO PROGRESIVO SUBMAXIMA O MAXIMA (Vease Tabla 1) (ACSM, 1991; Heyward, 1991; Howley and Franks, 1992; Chung, 1979; Ellestad, 1986)

A. Evaluar la Capacidad Funcional de la Persona

1. Evaluar la **tolerancia cardiorespiratoria:**

a. Evaluar objetivamente la capacidad aeróbica funcional (VO_2 máx):

Esto se utiliza para clasificar el nivel de aptitud cardiorespiratoria del paciente/cliente.

2. Determinar (en adultos saludables) la capacidad para el trabajo físico y las respuestas cardiopulmonares con fines de prescripción de ejercicio.

3. Evaluar la función cardiovascular del evaluado:

Se miden y examinan parametros cardiorespiratorios durante el ejercicio que pueden manifestar respuestas anormales o patológicas, tales como anormalidades en el electrocardiograma (EKG) y presión arterial, irregularidades en el ritmo cardíaco, la presencia de angina pectoris, y manifestaciones isquémicas registradas en el EKG.

B. Aplicaciones Clínicas

1. El diagnóstico y prognosis de enfermedades cardiovasculares sospechadas o establecidas.

2. Evaluar a pacientes luego de un infarto al miocardio, operación aorto-coronaria, y procedimientos de angioplastia coronaria:

Los resultados de la prueba en estas poblaciones servirán para determinar el tratamiento a seguir, incluyendo el diseño de un programa de rehabilitación mediante ejercicios físicos.

3. Evaluar la efectividad de ciertas drogas (ejemplos agentes antianginales).

C. Recomendaciones para una Prueba Ergométrica de Esfuerzo Progresivo segun Establecida por el Colegio Americano de Medicina Deportiva ("American College of Sports Medicine", abreviado "ACSM") (1991)

Se recomienda esta prueba se implemente para las siguientes poblaciones:

1. Varones aparentemente saludables mayores de 40 años de edad.
2. Mujeres aparentemente saludables mayores de 50 años de edad.
3. Individuos que poseen un mayor riesgo con o sin síntomas de enfermedades en las arterias coronarias, de cualquier edad antes de incorporarse a un programa de ejercicio vigorosos (mayor de 60% del VO_2 máx).
4. Individuos saludables de cualquier edad y pacientes con mayor riesgo, pero que no manifiestan síntomas de una enfermedad en las arterias coronarias antes participar en ejercicios de moderada intensidad (40% a 60% del VO_2 máx):

Estas poblaciones no requieren una prueba ergométrica de esfuerzo a niveles máximos, de manera pueden ser evaluados mediante prueba ergométricas submáximas.

D. Indicaciones para Pruebas Ergométricas de Esfuerzo/Ejercicio Según Descritas por Diversos Expertos en este Campo

Según Chung (1979):*

1. Propósitos diagnósticos:
 - a. La confirmación del diagnóstico de una enfermedad coronaria.
 - b. La evaluación de una posible etiología para el dolor precordial de causa desconocida (diagnóstico diferencial del dolor precordial).
 - c. Descubrir con tiempo una coronariopatía latente.

- d. Avaluar la naturaleza de las arritmias cardíacas en relación al ejercicio.
- e. La evaluación de una posible etiología para diferentes síntomas relacionados con el ejercicio (e.g., desmayo, palpitaciones, dolor torácico).
- f. Detectar a tiempo una hipertensión funcional lábil.

2. Propósitos Evaluativos:

- a. Evaluar la capacidad funcional de aquellos pacientes con cardiopatías coronarias:

Cambios progresivos en una clasificación funcional.

- b. Evaluar la eficacia del tratamiento médico para las cardiopatías coronarias:

Terapia con drogas anti-anginales, terapia dietética, reducción de peso, terapia con drogas anti-arrítmicas, digital (e.g., tolerancia al ejercicio para la fibrilación auricular).

- c. Evaluar la eficacia de la terapia quirúrgica: por ejemplo, desviación quirúrgica de la arteria coronaria debido a un angor intrincado o infarto del miocardio.
- d. Evaluar el pronóstico de pacientes con un infarto del miocardio antiguo.
- e. Evaluar la capacidad funcional cardiovascular como medio de justificación para participar en trabajos agotadores o peligrosos (e.g., deportes), o programas de ejercicio.
- f. Evaluar las reacciones hacia los programas de acondicionamiento y/o preventivos.

3. Propósitos de rehabilitación y medidas preventivas:

- a. Rehabilitación de pacientes cardíacos.
- b. Rehabilitación de pacientes no cardíacos.
- c. Motivar a los individuos para que ingresen a programas de ejercicio.

4. Propósitos de investigación:

- a. La evaluación de drogas anti-anginales.
- b. La evaluación de drogas anti-arrítmicas.

- c. Evaluar las reacciones hacia el ejercicio en los diversos desordenes cardiovasculares.

5. Propósitos de seguridad:

- a. Para ciertas actividades u ocupaciones (e.g., selección de pilotos, astronautas, etc.).
- b. Para compañías de seguro de vida.

* **Nota:** Tomado de: Chung, Edward K. *Exercise Electrocardiography: Practical Approach*. Baltimore: The William and Wilkins Company, 1979. Pág. 84.

Según Ellestad (1986)**

1. Evaluación de pacientes con dolor de pecho o con otros hallazgos sugestivos, pero no diagnósticos de enfermedades coronarias:
 - a. Dolor sospechoso (no la clásica angina pectoral).
2. Determinar la prognosis y severidad de una enfermedad.
3. Evaluación de la terapia:
 - a. Médica (medicamentos).
 - b. Quirúrgica (operación aorto-coronaria, angioplastía).
4. Avaluar por una enfermedad coronaria latente.
5. Evaluación de un fallo cardíaco congestivo.
6. Evaluación de arritmias:

Arritmias inducidas por el ejercicio
7. Evaluación de la capacidad funcional y formulación de una prescripción de ejercicio.
8. Evaluación de enfermedades cardíacas congénitas y disfunción valvular:
 - a. Estenosis aórtica congénita.
 - b. Pacientes post-operados con tetralogía y otros defectos complejos.

c. Insuficiencia aórtica y mitral:

Ayuda a determinar cuando reemplazar éstas valvulas dañadas (cuando se utiliza conjuntamente con el procedimiento evaluativo conocido en Inglés como: "nuclear blood pool imaging).

9. Estímulo para un cambio en el estilo de vida.

10. Misceláneas:

a. Medicina del deporte:

Medición de la aptitud cardiorespiratoria para propósitos de entrenamiento y comparar la eficacia de ciertos programas

**** Nota:** Adaptado de: Ellestad, Myrvin H. *Stress Testing: Principles and Practice*. 3ra. ed.; Philadelphia: F.A. Davis Company, 1986. Págs. 105-112.

Según Fardy, Yanowitz y Wilson (1988)***

1. Indicaciones diagnósticas para pruebas ergométricas de ejercicio:

- a. Individuos asintomáticos de edad media con factores de riesgo claramente positivos.
- b. Diagnossis diferenncial para las molestias/dolores en el pecho.
- c. Pacientes asintomáticos que han sufrido un infarto al miocardio.
- d. Evaluación de síncope y palpitaciones.

2. Para la evaluación de la capacidad funcional cardiovascular:

- a. Avaluaciones funcionales en pacientes con enfermedades cardiovasculares, tales como:
 - 1) Cardiopatías coronarias.
 - 2) Enfermedades valvulares.
 - 3) Cardiomiopatías.
 - 4) Enfermedades cardíacas congénitas.

- 5) Enfermedad vascular periférica.
 - b. Evaluación de pacientes con enfermedades respiratorias.
 - c. Evaluación de pacientes con incapacidades conocidas o sospechadas.
 - d. Evaluación para los programas de entrenamientos/ejercicios físicos.
3. Para evaluar la capacidad funcional en cardiopatías coronarias:
- a. Cuantificación de la capacidad para realizar trabajo físico para ocupaciones/trabajos particulares y actividades físicas practicadas en el tiempo libres en las siguientes condiciones y circunstancias:
 - 1) Angina pectoral estable.
 - 2) Luego de un infarto al miocardio.
 - 3) Luego de una operación aorto-coronaria.
 - 4) Luego de una angioplastia coronaria.
 - b. Estratificar a pacientes en dos (2) grupos de riesgo:
 - 1) Subgrupos de alto riesgo.
 - 2) Subgrupos de bajo riesgo.
 - c. Consideraciones terapéuticas:
 - 1) Evaluar para la necesidad de cirugía.
 - 2) Seleccionar la terapia óptima.
 - 3) Avaluar los efectos de la terapia.
 - d. Rehabilitación cardíaca:
 - 1) Diseñar la prescripción de ejercicio inicial.
 - 2) Determinar la frecuencia para la progresión del ejercicio.

*****NOTA:** Adaptado de: Fardy, Paul S., Frank G. Yanowitz y Philip K. Wilson. *Cardiac Rehabilitation, Adult Fitness, and Exercise Testing*. 2da. ed.; Philadelphia: Lea & Febiger, 1988. Págs. 105-108.

Según MacDougall & Wengar (1991)****

1. Para evaluar el estado inicial de un atleta como la base para prescribir un programa de entrenamiento óptimo que se concentre en identificar áreas de debilidad
2. Para proveer una base en la evaluación de la efectividad de un programa de entrenamiento para cada uno de los atletas sometidos a este programa.
3. Para evaluar el estado de salud del atleta.
4. Para proveer un medio educativo al atleta, de manera que éste entienda mejor su cuerpo y las demandas del deporte

******NOTA:** Adaptado de: MacDougall, J. Duncan y Howard A. Wenger. "The Purpose of Physiological Testing". En: MacDougall, JD; Wenger, HA; Green, h. (editores). *Physiological Testing of the High Performance Athlete*. 2da. ed.; Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1991. Págs 1-5.

Según Wilson *****

1. Para propósitos diagnósticos (pruebas de ejercicio progresiva diagnóstica)
 - a. Propósito - Diagnosticar la presencia de una cardiopatía coronaria.
2. Para evaluar la capacidad funcional (pruebas de ejercicio progresivo funcionales (no diagnóstica):
 - a. Propósitos:
 - 1) Medicina deportiva (investigación, desarrollo de un programa de entrenamiento y acondicionamiento).
 - 2) Prevención, intervención, rehabilitación (prescripción de ejercicio, determinación de los efectos fisiológicos del ejercicio, motivación).

*******NOTA:** Adaptado de: Wilson, Philip K "Applications for Exercise Testing in Diagnosis; Sports Medicine; and Prevention, Intervention and Rehabilitation Exercise Programs" en: James, William E. y Ezra A. Amsterdam (editores). *Coronary Heart Disease, Exercise Testing and Cardiac Rehabilitation*. Miami, Florida: Symposia Specialist. Medical Books.

Tabla 1

Indicaciones para Pruebas Ergométricas de Esfuerzo**A) Diagnóstico** - Situaciones donde una prueba ergométrica de esfuerzo/ejercicio progresivo puede diagnosticar:

- 1) Isquemia miocárdica
- 2) Arritmias cardíacas
- 3) Asma inducida por el ejercicio
- 4) Algunos defectos en las enzimas musculares (Síndrome de McArdle).
- 5) Hipotiroidismo (defectos en las hormonas de crecimiento).

B) Evaluación de Síntomas

- 1) Intolerancias al esfuerzo y fatiga
- 2) Disnea
- 3) Síndromes de dolores en el pecho
- 4) Claudicación

C) Evaluación de la Capacidad Funcional

- 1) Consumo de oxígeno máximo - aptitud cardiorespiratoria
- 2) *Capacidad cardíaca y función cardiovascular* - frecuencia cardíaca, volumen de eyección sistólica, presión sanguínea
- 3) *Capacidad respiratoria y función pulmonar* - ventilación alveolar, control de la respiración e intercambio de gases pulmonares
- 4) Metabolismo muscular
- 5) Secreción hormonal

D) Evaluación

- 1) Evaluación del trabajo y capacidad para el empleo
- 2) Prescripción de Ejercicio
- 3) Terapia cardíaca - para angina, arritmias, hipertensión luego de una operación cardíaca
- 4) Terapia respiratoria - para reactividad de la vía respiratoria e hipoxia
- 5) Para entrenamiento físico

NOTA: Tomado de: Sutton, John. "Evaluation of Therapy and Exercise Testing". *Sports Medicine Bulletin*. Vol. 17, No. 2 (abril, 1981). Pág. 10.

III. PREPARACIONES Y PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS DE LA PRUEBA

A. Secuencia General a Seguir (vease Tabla 2)

1. Historial de salud:

a. Utilidad/propósitos:

- 1) Para determinar el tipo de procedimiento ergométrica a emplearse.
- 2) Para delinear recomendaciones sobre la práctica de ejercicios físicos.

2. Examen médico:

a. Indicaciones/propósitos:

- 1) Determinar contraindicaciones para las pruebas ergométricas y la práctica de ejercicio físico regular (vease Tabla 3 y Tabla 4).
- 2) Poseer evidencia y autorización médica para que el participante pueda efectuar una prueba ergométrica de esfuerzo progresivo y/o ingresar a un programa de ejercicio.

3. Consentimiento informado:

a. Concepto:

Se refiere a la descripción de la prueba y programa de ejercicio a los participantes. Incluye los riesgos y beneficios potenciales de la prueba y programa de ejercicio. Además, se le debe explicar a los participantes que los resultados de las pruebas serán confidenciales y que pueden en cualquier momento dar por terminado la prueba o su participación en el programa de ejercicio.

b. Instrucciones del procedimiento al cliente/paciente (Chung, 1979):

- 1) Se le debe explicar en detalle al cliente/paciente el procedimiento completo de la prueba ergométrica de tolerancia progresiva:

Esto lo puede llevar a cabo el técnico o el médico.

- 2) Cuando el cliente/paciente no esta familiarizado con la prueba de ejercicio, debe efectuarse una breve demostracion.

3) Se le debe instruir al cliente/paciente de que debe informar inmediatamente cualquier síntoma significativo o infrecuente que él experimente durante el ejercicio, y que puede dar por terminado prematuramente el ejercicio cuando él crea necesario.

5) Se debe posponer la prueba, o cancelarla, cuando:

- a) El individuo se encuentra extremadamente ansioso y renuente a realizar la prueba de esfuerzo o
- b) El cliente/paciente hace muchas preguntas antes de firmar la forma de consentimiento.

b. Hoja/Forma de consentimiento (vease Figura Apéndice A):

1) Concepto:

Representa la forma escrita del consentimiento informado. Luego de haberse leído y aclarado cualquier duda, ésta debe ser firmada por cada participante.

2) Propósito (Chung, 1979):

- a) Proteger legalmente a los administradores de la prueba (técnico o especialista de ejercicio, médico supervisor y a la institución (gimnasio, hospital, consultorio médico).
- b) Sin embargo, el valor exacto de la forma de permiso de la prueba ergométrica de esfuerzo progresivo no es segura desde el punto de vista médico-legal.

4. Registros:

- a. Datos demográficos (nombre, edad, sexo)
- b. Antropométricas/físicas (peso, estatura/talla)
- c. Mediciones cardiovasculares en reposo:

- 1) EKG de 12 derivaciones (supinación, de pie, en hiperventilación).
- 2) Presión arterial.

5. Sigue el procedimiento/protocolo de la prueba ergométrica de ejercicio progresivo.

Tabla 2

Secuencia General a Seguir al Administrar una Prueba Ergométrica de Esfuerzo

Paso	Prueba o Actividad
1.	Considerar las indicaciones para la prueba.
2.	Determinar si la prueba será máxima (laboratorio o de campo) o submáxima (laboratorio o de campo).
3.	Examen médico previo a la prueba.
4.	Administrar un cuestionario de salud pre-prueba (cumplimentado por el propio participante).
5.	Determinar con cuidado las contraindicaciones para el procedimiento ergométrico.
6.	Saludar al paciente/cliente cuando se presente al laboratorio.
7.	Obtener el consentimiento informado (oral y escrito).
8.	Obtener y escribir datos demográficos (nombre, sexo, edad) y físicos (peso, talla [estatura]) del sujeto.
9.	Calcular y estimar la FC _{máx} estimada y el 70 al 85 % de la FC _{máx} .
10.	Preparar al paciente/cliente con el sistema de derivaciones a utilizarse
11.	Obtener medidas cardiovasculares en reposo (FC o EKG y PA).
12.	Instruye y demuestra al participante de como realizar la prueba ergométrica particular (en la banda sinfín, cicloergómetro, escalón u otro).
13.	Sigue el protocolo de ejercicio diseñado para la prueba: ▶ Aconseja a los pacientes a que expresen verbalmente como sienten/perciben la prueba. ▶ Sigue los criterios establecidos para detener una prueba ergométrica. ▶ Medir y registrar las variables fisiológicas según lo establecido (FC, presión arterial, EKG, entre otras)

NOTA: Adaptado de: Howley, Edward T. y B. Don Franks. *Health Fitness Instructor's Handbook*. 2da. ed.; Champaign, Illinois, 1992. Págs. 155 y 168.

Tabla 3

Contraindicaciones Absolutas para Pruebas Ergométricas de Esfuerzo

- ▶ Un cambio reciente significativo en el EKG de reposo, lo cual es indicativo de un infarto al miocardio u otros eventos cardíacos agudos
- ▶ Infarto al miocardio reciente con complicaciones
- ▶ Angina inestable
- ▶ Disritmias ventriculares descontroladas
- ▶ Disritmias atriales descontroladas que comprometen la función cardíaca
- ▶ Bloqueo A-V de tercer grado
- ▶ Fallo cardíaco congestivo agudo
- ▶ Estenosis aórtica severa
- ▶ Aneurisma disectante conocida o sospechada
- ▶ Miocarditis o pericarditis activa sospechada
- ▶ Tromboflebitis o trombo intracardíaco
- ▶ Embolo sistémico o pulmonar reciente
- ▶ Infección aguda
- ▶ Distrés emocional significativa (psicosis)

NOTA: Adaptado de: ACSM. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. Pág. 59.

Tabla 4

Contraindicaciones Relativas para Pruebas Ergométricas de esfuerzo

- ▶ Presión sanguínea diastólica en reposo mayor de 120 mm Hg. o presión sanguínea sistólica mayor de 200 mm Hg.
- ▶ Enfermedad cardíaca valvular moderada
- ▶ Anormalidades electrolíticas conocidas (hipokalemia, hipomagnesemia)
- ▶ Marcapaso de frecuencia fija (poco común)
- ▶ Extrasístoles ventriculares frecuentes o multiformes (de diferentes focos ectópicos)
- ▶ Aneurisma ventricular
- ▶ Cardiomiopatía, incluyendo cardiomiopatía hipertrófica
- ▶ Enfermedades metabólicas descontroladas (ejemplos: diabetes sacarina, tirotoxicosis, o mixedema)
- ▶ Enfermedades infecto-contagiosas crónicas (ejemplos: mononucleosis, hepatitis, SIDA)
- ▶ Disturbios neuromusculares, musculo-esqueléticos, o reumatoides que son empeoradas con el ejercicio
- ▶ Embarazo avanzado o complicado

NOTA: Adaptado de: ACSM. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. Pág. 59.

B. Pasos a Seguir al Administrar la Prueba Ergométrica de Esfuerzo Progresivo:
(Howley y Franks, 1992, ACSM, 1991, Nieman, 1986)

1. Procedimientos preparatorios (Howley y Franks, 1992, Nieman, 1986):

a. Verificar la disponibilidad de los suministros e instrumentos de medición utilizados:

- 1) Cotejar que hay suficiente papel de EKG para toda la prueba.
- 2) Cotejar que hay electrodos, "alcohol Swabs", navajas de afeitar.
- 4) Cotejar los lapices y hojas para el registro de los datos.
- 3) Cotejar el reloj o cronómetro, metrónomo (en caso de utilizarse un cicloergómetro mecánico), el brazal del esfigmomanometro y el estetoscopio.

b. Calibrar el equipo:

1) Estandariza el EKG:

- a) Colocar la velocidad del papel de EKG a 25 mm/sec.
- b) Apretar el botón de "standard".
- c) Ajusta la "sensitividad" (rotando el tornillo correspondiente) hasta que marque 10 mm de altura.

2) Ergómetros (banda sinfín y/o cicloergómetro):

Se debe cotejar el manual para especificaciones en la calibración.

c. Asegurarse que todos los suministros y equipo de emergencia se encuentran en los lugares pre-establecidos:

Dependiente del riesgo para enfermedades coronarias del sujeto, asegurarse que haya la debida supervisión de un médico.

d. Seleccionar el procedimiento ergométrico (protocolo de ejercicio para la prueba) apropiado para el participante.

- e. Si el sujeto nunca antes ha hecho un prueba en una banda sinfín, cicloergómetro, o escalón:

El día antes de la prueba debe haber una prueba de familiarización/práctica.

- f. Obtener el consentimiento informado.

- g. Instrucciones pre-prueba (véase Tabla 6 y Apéndice B) (Howley y Franks, 1992):

Para poder controlar aquellos factores externos que pueden afectar las variables cardiovasculares (FC, PA) y psicológicas (percepción del esfuerzo) en reposo y durante el ejercicio submáximo y máximo, se le explica (y se entrega por escrito) al paciente/cliente el día antes de la prueba una serie de recomendaciones a seguir. Algunos de estos factores que pueden alterar la validez y confiabilidad de las pruebas ergométricas de esfuerzo progresivo son, a saber:

- 1) Factores ambientales:

a) Físicos (temperatura y humedad relativa).

b) Psicológicos.

- 2) La cantidad de horas que ha dormido el sujeto.

- 3) El estado de hidratación del evaluado.

- 4) El usos de medicamentos.

- 5) Factores circadianos (la hora en el día en que se llevará la prueba).

- 6) Uso y/o consumo de sustancias o alimentos antes de la prueba:

a) La hora en que ingerió la última comida.

b) El consumo de cafeína (café, té, gaseosas de cola).

c) Fumar cigarrillos.

- 7) La actividad física/ejercicio efectuado antes de la prueba.

Proveer instrucción al paciente/cliente sobre la forma de llevar a cabo correctamente la prueba, incluyendo los procedimientos de enfriamiento (de ser necesario, instruye al participante que realice una práctica la prueba) (vease tabla 5):

Si la prueba es máxima:

- 1) Se le debe instruir al paciente de dar una señal/advertencia de 10-15 segundos antes de sentir de que debe detenerse por fatiga.
- 2) Después de la advertencia, se le debe instruir de que él debe seguir el ejercicio por el tiempo que más pueda:

- a) Si la prueba se efectúa en una banda sinfín:

El sujeto debe de agarrarse de la barra delantera de la banda sinfín para indicar que se ha llegado al nivel máximo.

h. Coteja que las instrucciones pre-prueba fueron seguidas.

i. Mediciones efectuadas antes de la prueba en reposo y sentado:

- 1) EKG en reposo:

- a) Para individuos con alto riesgo de enfermedades coronarias:

Debe utilizarse un sistema de 12 derivaciones.

- b) Para individuos con bajo riesgo:

► CM5, o

► Utilizar derivaciones de las extremidades.

- 2) Presión arterial y frecuencia cardíaca en reposo (supinación) y sentado.

- a) Es importante fijar el brazal del esfigmomanómetro (con cinta adhesiva) en el brazo derecho del sujeto.

j. Si el procedimiento ergométrico se realizará en la banda sinfín:

- 1) Instruye al cliente que se coloque de pie en la banda sinfín con las piernas separadas (fuera de la banda) y apoyándose de los pasamanos de la banda sinfín
- 2) Fija con cinta adhesiva el cable del EKG al pasamano lateral de la banda sinfín.
- 3) Ofrece una breve descripción de la prueba (propósito, cambios de etapa, como señalar cuando se desea terminar la prueba).

- 4) Activa la banda sinfín e instruye al sujeto que camine, mientras éste se sostiene de los pasamanos laterales de la banda y usted lo asegura con las manos sobre su espalda (la del sujeto).
- 5) Comienza el reloj/cronómetro.
- 6) Tan pronto como pueda, instruye al sujeto que suelte los manos de los pasamanos laterales:
 - a) Primero una mano.
 - b) Luego la otra mano.

Tabla 5

Instrucciones del Procedimiento de la Prueba al Evaluado

- ▶ Explicar todo el procedimiento de la prueba ergométrica de esfuerzo.
- ▶ Cuando el paciente/cliente no está familiarizado con la prueba de ejercicio, debe efectuarse una breve demostración.
- ▶ Se le debe instruir al paciente de que debe informar inmediatamente cualquier síntoma significativo o infrecuente que él experimente durante el ejercicio, y que puede dar por terminado prematuramente el ejercicio cuando él crea necesario.
- ▶ Se debe posponer la prueba, o cancelarla, cuando el individuo está extremadamente ansioso y renuente a llevar a cabo la prueba de esfuerzo o cuando hace demasiadas preguntas antes de firmar la forma de consentimiento.

Nota: Tomado de: Chung, Edward K. *Exercise Electrocardiography: Practical Approach*. Baltimore: The William and Wilkins Company, 1979. Págs. 35-42.

2. Procedimientos a seguir durante la prueba ergométrica:
 - a. Sigue exactamente el protocolo de la prueba.
 - b. Si el sistema del procedimiento ergométrico no es automatizado (programado internamente para que automáticamente efectúe el protocolo seleccionado), coloca la primera carga ergométrica de la prueba:

1) En un cicloergómetro mecánico:

Coloca la resistencia correspondiente y que el sujeto siga las revoluciones por minuto (rpm) establecida (comunmente a 50, fijada por un metrónomo).

2) En una banda sinfín, utilizando el protocolo de Bruce:

Colocar la primera etapa (1.7 mph, 10% elevación).

c. Procedimientos ergométricos en la banda sinfín utilizando el protocolo de Bruce:

1) Durante los 3 minutos de la primera etapa, vigila al sujeto y al osciloscopio cuidadosamente, buscando por posibles indicaciones para detener la prueba.

2) En el minuto 2 de la etapa uno, toma la presión arterial.

3) A los 2 minutos con 50 segundos, registra la frecuencia cardíaca (trazado de EKG a una velocidad del papel de 25 mm/segundo, durante 5-7 segundos).

4) A los 3 minutos exactamente, cambia la velocidad y elevación de la banda sinfín a la próxima etapa que indica el protocolo de Bruce.

5) Continúa tomando la presión sanguínea y frecuencia cardíaca para cada etapa.

6) Cuidadosamente continúa vigilando el osciloscopio y al sujeto.

d. Monitorear por signos y síntomas de intolerancia al ejercicio y por otros criterios que indiquen que la prueba debe detenerse (vease Tabla 7 y Tabla 8)

e. Si la prueba es máxima, al detenerse el paciente, se debe hacer simultáneamente lo siguiente:

1) Nota el tiempo exacto (la determinación del estado de aptitud cardiorespiratoria depende de esto).

2) Si el sistema de EKG de esfuerzo no se encuentra programada con el protocolo efectuado en el ergómetro (particularmente la banda sinfín), Enciende el electrocardiógrafo para un registro de la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}):

Inmediatamente después, se debe tomar y registrar una presión arterial post-máx.

3) Si el protocolo del ejercicio realizado en el ergómetro es manual, baja la inclinación de la banda sinfín a "0" por ciento y a 2 millas por hora (mph) para el enfriamiento (esto último dependerá del protocolo a utilizarse).

Tabla 6

**Preparacione/Instrucciones al Cliente/Paciente Previo a
Una Prueba Ergométrica de Ejercicio Progresivo**

1. Planificar estar en el laboratorio de ejercicio aproximadamente de una a una hora y media (1 a 1½) previo a la prueba.
2. No ingerir alimentos por lo menos 2 horas antes de la prueba
3. La comida antes de la prueba (la última) debe ser liviana, sin el consumo de mantequilla o crema, café, té o alcohol.
4. Para poder llevar a cabo la prueba debes estar libre de cualquier síntoma agudo o severo (ejemplo: fiebre, dolor de pecho, entre otros) que indique una enfermedad. Consulte su médico si tiene alguna pregunta.
5. Si eres un paciente con alguna enfermedad cardiovascular bajo medicamentos, continúa tomando tus medicamentos según fue prescrito por su médico.
6. Algunas drogas, tales como digitales ("píldora del corazón"), nitroglicerina, propranolol (Inderal) y diuréticos ("píldoras de agua") pueden interferir con la prueba. Favor de consultar a su médico.
9. Use o lleve con usted una vestimenta apropiada, zapatos cómodos, como aquellos de lona con suela de goma (tenis); se necesitan zapatos flexibles y sin taco preferiblemente zapatillas especiales para caminar o correr). No se permite ejercitarse con chancletas (sandalias) ni con pies descalzos:

a. Mujeres:

Deben traer o usar un brassiere que ofrezca apoyo adecuado durante la prueba, blusas de encaje suelto con mangas cortas que abotonen por el frente y pantalones cortos (se aceptan pantalones de pijama). No deben de usarse ropa interior de una sola pieza o medias-panti ("panty hose").

b. Varones:

Deben traer pantalones cortos deportivos, bermuda o un par de pantalones livianos de entalle suelto. Se debe utilizar una camisa ventilable.

Nota: Adaptado de: Chung, Edward K. *Exercise Electrocardiography: Practical Approach*. Baltimore: The William and Wilkins Company, 1979. Págs. 112

3. Procedimientos a seguir durante la fase de recuperación de la prueba ergométrica:

- a. Toma y registra la FC y presión arterial de recuperación.
- b. Luego de 2 a 3 minutos de recuperación (o del tiempo requerido para que la FC alcance un valor menor de 100 latidos/minuto):

1) Instruye al sujeto a sentarse:

- a) Este debe seguir moviendo los pies:

- Observa la FC y presión arterial cada 2 minutos hasta un total de 8 minutos:

Se debe estar pendientes a posibles arritmias que pueden ocurrir durante este período de recuperación.

4. Procedimientos a seguir luego de la prueba ergométrica:

- a. Determinar y registrar (en la hoja de anotar los datos) la FC de cada etapa y durante la recuperación.
- b. Rotula cada trazo de EKG y luego los monta en hojas de papel.
- c. Lleva la información del EKG al médico encargado, de manera que éste puede ofrecer comentarios sobre el visto bueno para participar en el programa de ejercicio, o determinar si existe alguna contraindicación.
- d. Si el médico autoriza al sujeto a ingresar al programa de ejercicio, diseña la prescripción de ejercicio a base de la información provista de la prueba:

1) FC_{máx}

- 2) El nivel/clasificación de la aptitud física (la cual puede ser determinada a base del tiempo total de la prueba)

- e. Finalmente, discute todo esto con el cliente.

Tabla 7

Indicaciones para Detener una Prueba Ergométrica de Esfuerzo Progresivo

- ▶ Angina progresiva (detener la prueba en el nivel 3+ o anterior en una escala del 1+ al 4+) (vease Tabla 8)
- ▶ Taquicardia ventricular.
- ▶ Cualquier caída significativa (20 mm. Hg) de la presión sanguínea o un fallo de la presión sanguínea sistólica en aumentar con los incrementos de la carga/potencia ergométrica
- ▶ Sensaciones de livianez o molestias en la cabeza, confusión ataxia, palidez, cianosis, náusea o signos de insuficiencia periférica severa.
- ▶ Depresión o elevación mayor de 4 mm del segmento ST en forma horizontal o inclinada en gradiente (en la ausencia de otras indicaciones de isquemia).
- ▶ Bloqueo A-V de segundo o tercer grado
- ▶ Aumento en la ectopicidad ventricular, de extrasístoles ventriculares multiforme, o extrasístoles ventriculares con R sobre T.
- ▶ Aumento excesivo en la presión sanguínea:
 - Presión sistólica mayor de 250 mm Hg.
 - Presión diastólica mayor de 120 mm Hg.
- ▶ Deficiencia cronotrópica
- ▶ Taquicardia supraventricular sostenida
- ▶ Bloqueo de la rama izquierda inducido por el ejercicio
- ▶ El sujeto solicita detener la prueba
- ▶ Fallo de los sistemas de monitoreo.

NOTA: Adaptado de: ACSM. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. Pág. 72.

Tabla 8
Escalas de Angina y Disnea

<u>Escala de Angina</u>	
1+	Liviana, casi no se percibe
2+	Moderada, molesta
3+	Severa, muy incómodo
4+	El dolor más severo que se ha experimentado
<u>Escala de Disnea</u>	
+1	Leve, reconocida por el paciente y no por el observador
+2	Leve, alguna dificultad, identificable por el observador
+3	Moderadamente difícil, pero puede continuar
+4	Severamente difícil, el paciente no puede continuar

NOTA: Adaptado de: ACSM. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991. Pág. 73.

D. Terminación de la Prueba

1. Prueba ergométrica de ejercicio máxima:

a. Criterios utilizados:

Comunmente, la prueba se detiene cuando el cliente voluntariamente así lo solicite. Si el técnico administrando la prueba observa cualquier signo o síntoma enumerado en la Tabla 7, éste debe inmediatamente dar por terminado la prueba de ejercicio.

b. Indicadores diagnóstico de patologías cardíacas:

a. Respuestas electrocardiográficas anormales - cambios en el segmentos ST:

La presencia de una elevación del segmento ST con una inclinación horizontal o en gradiente es indicativo de una cardiopatía coronaria o espasmo coronario (Heyward, 1991). la depresión horizontal o en gradiente del segmento ST ($>4\text{mm}$) es indicativo de una isquemia miocárdica. El inicio, duración y magnitud de la depresión del segmento ST se encuentra relacionado con el grado de severidad de la isquemia.

b. Respuestas hemodinámicas anormales - Presión arterial sistólica:

Se ha postulado también que la incapacidad de la presión arterial sistólica en aumentar o la caída en la presión arterial sistólica durante el procedimiento ergométrico son indicativos de una cardiopatía coronaria o fallo cardíaco (Hanson, 1988.)

IV. TIPOS DE PRUEBAS DE ESFUERZO

A. Pruebas del Escalón (Shephard, 1984)

1. Concepto general:

Representa uno o dos escalones en los cuales el sujeto sube y baja éstos consecutivamente a una cadencia fijada por un metrónomo, una señal de luz.

2. Potencia ergométrica producida:

En Vatios, representa el producto del peso corporal en newtons, la altura del escalón en metros y el número de ascensos por minuto.

3. Ventajas y desventajas:

a. Ventajas:

- 1) Son poco costosas.
- 2) No requieren electricidad.
- 3) No requieren calibración.

b. Desventajas:

- 1) Su dificultad en tomar medidas fisiológicas durante la prueba.
- 2) Existe el riesgo de que el sujeto pueda tropezar y caer al suelo cuanto éste se aproxime sus capacidades máximas o se encuentre agotado.
- 3) Los escalones son muy altos para los niños jóvenes.
- 4) Puede ocurrir un proceso de aprendizaje, particularmente cuando la prueba siga un paso de seis pasos.

B. La Prueba de Master

1. Concepto general:

En la prueba de Master ("Master's two - step test") se utiliza un banco o escalera de dos escalones. En experimentos fisiológicos, esta escalera de Master se usa para medir trabajo (como veremos también en el ergómetro de bicicleta y banda sinfín). El subir los dos escalones solo requiere el trabajo de ambas piernas lo cual evita el agotamiento excesivo de una pierna como sucedería en un banco de un solo escalón. Los escalones están arreglados de tal forma que el sujeto suba y baje, de vuelta y escale de nuevo el banco, y lo repita conforme al número de viajes a la frecuencia deseada.

2. Ventajas y desventajas:

a. Ventajas:

Dentro de las ventajas de la prueba encontramos que ésta no es costosa, se puede trasladar fácilmente a cualquier lugar, es fácil de calibrar, requiere poco espacio y mantenimiento.

b. Desventajas:

No obstante, entre sus desventajas tenemos que se hace difícil determinar sus medidas fisiológicas, no tiene los deseados controles automáticos, no tiene la mejor data pre-disponible, no cuenta con un control eficiente de carga mediante la frecuencia cardíaca (Morehouse, 1972) y es usualmente una prueba submáxima, ya que se alcanzan grandes cantidades de consumo de oxígeno con una frecuencia cardíaca relativamente baja (Díaz & González, 1977).

3. Fundamento para la prueba:

A través de la prueba de Master, se puede producir cambios en el EKG que indique la presencia de una insuficiencia coronaria en un paciente con un EKG normal pero con una circulación coronaria pobre si se toma el EKG durante o después del ejercicio.

4. Prueba de Master estándar sencilla:

Es un EKG tomado después del ejercicio con el paciente en supinación y registrado cada 2 minutos hasta un límite de 6 minutos después que el sujeto haya caminado arriba y abajo dos escalones de 9 pulgadas para un número específico de escalonamientos durante un minuto y medio, calculado en las tablas de edad y peso.

5. Prueba de Master doble:

Una prueba en la cual el paciente se ejercita durante tres minutos.

B. Cicloergómetro (Ergómetro de Bicicleta)

1. Concepto General:

Un ergómetro (ergo es igual a trabajo, metro es igual a medida) es un instrumento en el cual se registra las cantidades de trabajo mecánico por unidad de tiempo. En éste caso, la escalera de Master y la banda sinfín efectúan la misma función. Sin embargo, el requerimiento para el uso del ergómetro implica ciertas características particulares. Utilizando el cicloergómetro el cliente/paciente adopta la misma posición antes, durante, y después del ejercicio. El cicloergómetro se usa mucho en Europa (Morehouse, 1972).

2. Cicloergómetro mecánico:

"La resistencia del pedaleo se produce mediante la fricción del deslizamiento de una correa de freno en el aro de un volante (rueda delantera que no hace contacto en el suelo). La resistencia friccional se cambia y se mide mediante un péndulo de pesa adherido a la correa. La diferencia de la fuerza en los extremos de la correa se mide mediante la deflexión del péndulo y se lee en una escala calibrada en kilogramos. La diferencia en fuerza, o torque, es directamente proporcional a la carga, o resistencia de frenaje, F. La carga se ajusta mediante una rueda de timón que aprieta o afloja la correa de freno y cambia de posición el péndulo en relación a la escala"(Morehouse, 1972).

3. Cicloergómetro electromecánico:

"La resistencia medible al pedaleo en los ergómetros eléctricos es proporcionada por un freno de fuerza electromagnética producido mediante la activación de un generador de corriente directa desde una fuente eléctrica externa. (Morehouse, 1972)

4. Ventajas y desventajas (Morehouse, 1972; Fox, Shephard, 1987; Bowers & Foss, 1993):

Entre las ventajas encontramos que

- a. Debido a que el sujeto se encuentra sentado durante toda la prueba, se facilitan las mediciones fisiológicas (ejemplos: frecuencia cardíaca, presión arterial, consumo de oxígeno, entre otras)
- b. Mantiene una eficiencia mecánica relativamente constante.

- c. Es menos peligrosa para aquellos individuos delicados y de edad avanzada.
- d. Dispone de mejores controles automáticos y es fácil la calculación de trabajo/potencia y la lectura de la carga.
- e. No hace mucho ruido.
- f. Es relativamente poco costoso.
- g. Es, desde los últimos años en Estados Unidos, un ejercicio familiar para mucha gente y por tanto existe poca probabilidad que cause temor.
- h. Como veremos también en la banda sinfín, resulta reproducible.
- i. Es portátil.

Algunas desventajas son, a saber:

- a. La necesidad de ajustar las cargas ergométricas para las diferencias inter-individuos en cuanto a la masa corporal y, por tanto, a la capacidad de trabajo del sujeto.
- b. La sobrecarga de los músculos cuádriceps a niveles de alta intensidad, de manera que se alcanza la capacidad/esfuerzo máximo por razones de fatiga muscular local en vez de por razones de agotamiento general del sistema cardiorespiratorio:

Esto implica que si el individuo no está acostumbrado a correr bicicleta, la fatiga muscular que sentirá en las piernas lo inducirá a detenerse antes que alcance el esfuerzo máximo de los sistemas cardiorespiratorios.

- c. Alguna dificultad en bajar del cicloergómetro en caso de ocurrir una emergencia.
- d. La potencia ergométrica varía con la cadencia del pedaleo (las revoluciones por minuto).
- e. Requiere calibración.
- f. Algunos cicloergómetros son costosos.

C. Banda Sinfín

1. Concepto General:

Como mencionamos, la banda sinfín es un tipo de ergómetro, i. e., instrumento para medir trabajo; sin embargo, técnicamente no se considera una prueba ergométrica (al

igual que en la escalera de Master) puesto que no se puede medir con precisión el trabajo mecánico hecho. Las variables que pueden ser medidas durante el ejercicio desempeñado en la banda sinfín son, a saber: velocidad de la banda sinfín, ángulo de inclinación, peso del cuerpo, longitud de cada paso, y frecuencia del paso.

2. Ventajas y desventajas (Morehouse, 1972; Fox, Shephard, 1987; Bowers & Foss, 1993):

Entre las ventajas tenemos que:

- a. Los límites de tolerancia/capacidad máxima de la prueba son determinados a nivel central (cardiovascular) en vez de periférico (muscular)
- b. Representa un ejercicio en el cual el sujeto no puede bajar su intensidad conforme se desarrolle la fatiga.
- c. Representa un tipo de patrón actividad física razonablemente natural:

La mayoría de las personas poseen alguna experiencia en caminar y correr. No obstante, en la práctica existe un mínimo de 10 por ciento en la variabilidad inter-individuo en cuanto al costo de oxígeno de caminar y correr en la banda sinfín. Más aún, muchas personas muestran una marcada reducción en el costo de oxígeno según éstos aprendan la técnica de mantener una posición constante sobre la correa inclinada (con elevación).

- d. Requiere poca destreza y agilidad.
- e. Es útil para altos niveles de carga de trabajo.
- f. Tiene disponible la mejor data.
- g. Dispone de una programación automática.

Pero también la banda sinfín cuenta con bastantes desventajas, entre ellas:

- a. Es el artefacto más costoso, en lo que respecta a su uso, costo, y mantenimiento.
- b. Requiere un alambrado eléctrico especial de tres-fases.
- c. Su compatibilidad para ser trasladada de un lugar a otro, su tamaño, peso, y espacio requerido no es el mejor deseado.
- d. Es el tipo de prueba en que más ruido se hace.

- e. Para muchos clientes/pacientes es alarmante (produce ansiedad) debido a la inseguridad, particularmente cuando se encuentra elevada.

Esto plantea un riesgo para lesiones. Personas de mayor edad pueden encontrarse bastante nerviosas por el hecho de que pueden correr a altas velocidades sobre una correa corta, lo cual puede producir disturbios en las respuestas cardiorespiratorias al ejercicio.

- f. Se dificultan las mediciones fisiológicas durante la prueba.
- g. La cuantificación del esfuerzo aplicado no se lleva a cabo directamente.
- h. La calibración no es fácil.

VI. PROTOCOLOS PARA LA PRUEBA ERGOMETRICA DE ESFUERZO DE PROGRESIVO

A. Instrucciones para Prepararse a la Prueba de Esfuerzo (Véase Tabla 6 y Apéndice B)

B. Parámetros Observados y Avaluados (Chung, 1979)

1. Cambios en el electrocardiograma (EKG):

a. Alteraciones del segmento S-T:

- 1) Elevación del segmento S-T.
- 2) Tipo y magnitud de la depresión.
- 3) Duración del ejercicio y frecuencia cardíaca a un punto de partida.

b. Arritmias cardíacas:

- 1) Mecanismos (origen, tipo, frecuencia, etc.).
- 2) Relación con el ejercicio, frecuencia cardíaca, cambio del segmento S-T, y síntomas.

c. Otros hallazgos:

- 1) Ondas U invertidas.
- 2) Amplitud de la onda R.

2. Respuestas hemodinámicas:

a. Cambios de la:

- 1) Presión sanguínea
- 2) Frecuencia cardíaca.

3. Síntomas y signos:

- a. Primera aparición de los síntomas.
- b. Indole de los síntomas.
- c. Relación con el ejercicio.
- d. Reproducibilidad.
- e. Relación a otros hallazgos (e.g., cambio del segmento S-T o presión sanguínea).
- f. Soplos S3, S4, estertores.

4. Miscelaneas:

- a. Evaluación de la eficiencia y capacidad funcional de la terapia médica o quirúrgica.

C. Indicaciones para Detener la Prueba (Vease Tabla 7 y 8)

La prueba ergométrica progresiva de tolerancia al ejercicio se lleva a cabo hasta donde pueda alcanzar la capacidad física del sujeto o hasta que la prueba se detenga a base a unas metas establecidas de antemano, como por ejemplo, hasta que la frecuencia cardíaca llegue a una porción del máximo pre-determinada. Las pruebas submáximas de ejercicio se detienen antes de alcanzar el consumo de oxígeno máximo a la frecuencia cardíaca máxima prevista, conforme a la edad del paciente. Dichas pruebas de esfuerzo submáximas pueden detenerse en un límite prefijado, por ejemplo 90% de la frecuencia cardíaca máxima, calculada en tablas especiales (vea tabla 9) ó usando la fórmula Aproximada: $200 - \text{la edad del paciente}$, ejemplo: paciente de 45 años: $200 - 45 = 155$ (Díaz y González, 1977). Miller y Allen (1979) explican con claridad, mediante un ejemplo, como determinar la frecuencia cardíaca máxima: "Asume que la prescripción de un ejercicio (prueba de esfuerzo) requiere un trabajo a un 60% del límite máximo de la frecuencia cardíaca del sujeto. Asume también que este sujeto tiene una frecuencia cardíaca máxima de 200 latidos por minuto (este es el valor que ha sido pronosticado para un individuo normal de 20 años de edad) y una

frecuencia cardíaca en reposo de 70 latidos por minuto. El alcance de la frecuencia cardíaca mas efectivo o máximo se calcula al restar la frecuencia cardíaca en reposo de la frecuencia cardíaca máxima, lo cual nos da un aumento potencial de 130 latidos por minuto. Luego este valor lo multiplicamos por 0.6 (para un aumento de 60%), lo cual nos da 78 latidos por minuto. Esto se le suma a la frecuencia de reposo. Por lo tanto, el objetivo de la frecuencia cardíaca para satisfacer el nivel de intensidad prescrito para este sujeto es 78 más 70 que es igual a 148 latidos por minuto.

Tabla 9

Metas para las Frecuencias Cardíacas durante la Prueba Ergométrica de Esfuerzo

Edad (años)	Frecuencia Cardíaca (latidos por minuto)
Bajo 20	190
20-29	180
30-39	170
40-49	160
50-59	150
60-69	140

NOTA: Adaptado de: Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. *The Physiological Basis for Exercise and Sports*. 5ta. ed.; Madison, Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Pub., 1993. Pág.

"Las pruebas de esfuerzo máximo se detienen por la estabilización del consumo de oxígeno, la frecuencia cardíaca máxima, o por la aparición de síntomas. La frecuencia cardíaca máxima, que es la mayor alcanzada teóricamente por el corazón, equivale aproximadamente a: 220 menos la edad del sujeto. Una prueba puede detenerse además por: angina, desnivel diagnóstico del S-T, caída de la presión sistólica, elevación a más de 220 de la tensión sistólica, arritmia grave, fatiga extrema, o por lipotimia". (Díaz y Gonzalez, 1977). Morehouse (1976) delinea muy bien los límites de duración para la prueba:

1. Subjetivo
 - a. Agotamiento
 - b. Inhabilidad para mantener el paso de trabajo preestablecido
2. Sintomático
 - a. Dolor de pecho
 - b. Respiración difícil
 - c. Palpitaciones
 - d. Signos tales como palidez, ataxia, o sudor frío
 - e. Síntomas del sistema nervioso central tales como confusión e incoordinación
3. Objetivo
 - a. Haber alcanzado un nivel predeterminado de la frecuencia cardíaca, como el 85% del estimado de la frecuencia cardíaca máxima del paciente ($220 - \text{edad}$ multiplicado por 0.85)
 - b. Cambios anormales del ECG (EKG) tales como cambios isquémicos del segmento S-T o arritmias.
 - c. Defectos de conducción los cuales aparecen como cambios de forma de las ondas en el ECG
 - d. Disminución de la presión sanguínea o falta de aumento al acrecentar la intensidad del trabajo, o aumento desproporcionado (más de 10mm. Hg de aumento por cada 10 latidos/min. del aumento en la frecuencia cardíaca)
 - e. Si se mide el consumo de oxígeno, se detiene la prueba cuando el paciente alcance su consumo de oxígeno máximo (cuando el aumento en la carga de trabajo no resulta en un aumento proporcional en el consumo de oxígeno)

D. Protocolos de Ejercicio

Existen diversos tipos de protocolos, pero ninguno se ajusta a la perfección para cada situación clínica o para todo tipo de atleta. La adaptabilidad del protocolo de ejercicio varía conforme a los objetivos de la prueba ergométrica de esfuerzo. Por ejemplo, un protocolo con un ejercicio vigoroso es apropiado para la protección de individuos relativamente saludables. Por el contrario, un protocolo con un esfuerzo moderado es ideal para evaluar la capacidad funcional en pacientes con una cardiopatía conocida. No obstante, todo protocolo de ejercicio debe tener los siguientes principios:

1. La carga/potencia ergométrica inicial debe estar bien ajustada dentro de la capacidad para el trabajo físico que se ha anticipado para un individuo dado.
2. Se deben aumentar las cargas/potencia ergométrica gradualmente y no súbitamente, y mantenidas durante un período de tiempo lo suficientemente largo para poder alcanzar un estado estable casi fisiológico.
3. El protocolo de ejercicio no debe causar ningún esfuerzo mental o físico excesivo más allá de cargas/potencia ergométrica tolerables.

4. Debe efectuarse un monitoreo constante del EKG (por lo menos un registrador de 2 canales) con registros periódicos (por lo regular con un intervalo de 1 minuto) de trazos del ritmo a través de todo el período del ejercicio y a lo menos de 6-8 minutos durante el período posterior al ejercicio. Además, se deben hacer mediciones periódicas (a intervalos de 1-3 minutos) de la presión sanguínea, antes, durante y después del ejercicio (cuando menos de 6-8 minutos en el período posterior al ejercicio) en unión a las evaluaciones continuas de los síntomas y signos.
5. Se debe terminar prematúramente el ejercicio cuando se producen síntomas, signos, respuestas de la presión sanguínea y frecuencia cardíaca que sean anormales; además, arritmias cardíacas peligrosas y/o el diagnóstico de alteraciones del segmento S-T. De otro modo, se debe terminar la prueba EKG de esfuerzo cuando se alcance una frecuencia cardíaca predeterminada. (Chung, 1979).

Como en los protocolos de ejercicio lo más que se usa, tanto en Estados Unidos como en latinoamérica, es la banda sinfín, los protocolos están preparados conforme a éste tipo de mecanismo. La tabla 10 nos muestra los principales protocolos para efectuar las pruebas de esfuerzo. Pueden notar que el extremo derecho de la tabla 10 nos ofrece el valor del MET, el cual es un concepto muy útil para comparar esfuerzo de distinta índole, que es una unidad aunque no muy exacta, si resulta muy práctica para expresar nivel de esfuerzo. El MET es el requerimiento de oxígeno en condiciones basales, por kilo, por minuto, y equivale a: 3.5 ml de O₂ por kg. por min. (Diaz y Gonzalez, 1977).

Tabla 10

**Principales Protocolos para Efectuar
las Pruebas Ergometricas de Esfuerzo**

VII. INTERPRETACION DE LA PRUEBA ERGOMETRICA EKG DE ESFUERZO

A. Descripción General

Cuando se interpreta la prueba primero se evalúan los parametros tomados en ésta. Cuando se describe el resultado de la prueba se determina si ha sido positiva o negativa. Sin embargo, en algunos laboratorios de ejercicio no se utilizan dichos términos, sino que se dice que la respuesta a la prueba de esfuerzo ha sido normal, guardaraya, o anormal, lo cual se basa en estudios de personas que están libres de cardiopatías. Esto debe ser nuevamente definido en términos de cualquier hallazgo específico anormal y el nivel de ejercicio al cual ocurrió. En general, entre más bajo sea el nivel de esfuerzo para que produzca una respuesta anormal significativa, peor será la perspectiva. En tales casos existe una mayor indicación para llevar a cabo unos procedimientos diagnósticos adicionales y una terapia de más extensión. En ciertos laboratorios se expresan las respuestas al ejercicio en términos de capacidades. Primero, la capacidad cronotrópica: ¿Posee el paciente la capacidad para aumentar su frecuencia cardíaca? Segundo, la medición o

estimación de la capacidad aeróbica: ¿Como compara con personas del mismo sexo y con la misma posición relativa en cuanto a las actividades realizadas? Tercero, la estimación de la capacidad aeróbica del miocardio (MVO_2), lo cual puede ser establecido crudamente en términos de la frecuencia cardíaca máxima por la presión sanguínea sistólica (FC multiplicado por PSS). Existe un sistema computarizado que multiplica FC por PSS para producir una gráfica durante toda la prueba. La FC por PSS mide el consumo de oxígeno del miocardio. Algunas personas desarrollan cambios isquémicos del segmento S-T a una FC por PSS de 20,000, mientras que otros desarrollan los mismos cambios isquémicos del S-T a 40,000, lo cual es un consumo del miocardio mucho más alto. La correlación entre la FC por PSS y el consumo de oxígeno del miocardio medido es de aproximadamente 0.92. Se han desarrollado algunos valores normalizados, de tal forma que uno pueda expresar esto en términos de un número absoluto más una concesión para la edad y sexo. Por ejemplo, la capacidad MVO_2 puede representar el 70%, 80%, o el 90% de la capacidad MN02 predecida de edad/sexo. Finalmente, se pueden expresar las respuestas en términos de los cambios en las funciones eléctricas, incluyendo latidos ectópicos, iniciación del impulso, conducción, y acción de la membrana. ¿Existen extrasístoles ventriculares? ¿Son polimórficos? ¿Ocurren en descargas simultáneas de dos o más? ¿Son raros o frecuentes? (Aproximadamente el 17% de la gente normal a un esfuerzo máximo desarrollan latidos ventriculares.) ¿Tienen problemas en la conducción AV? ¿Tienen un bloqueo de rama? ¿Desarrollan algún desplazamiento del segmento S-T, lo cual pueda ser cuantificado y relacionado a F.C. x P.S.S. y cargas de trabajo? Un ejemplo de un informe podría ser leído como sigue: "Tú paciente, edad 64, con sus antecedentes y factores de riesgo estipulados, desempeñó un ejercicio de brazos y piernas a capacidad máxima. Su capacidad cronotrópica era de 105% de lo normal. Su consumo de oxígeno fue de $35 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$. Esto representa una capacidad aeróbica de 68%. Su habilidad para aumentar la presión sanguínea y frecuencia cardíaca estaba dentro del 10% para los sujetos normales de su edad y sexo. La depresión del segmento S-T fue mayor en V_s (3mm) solamente en la última carga de trabajo. A pesar del desnivel significativo del segmento S-T, el paciente no experimentó ningún dolor o malestar. (Únicamente el 20% del 30% de los pacientes con arterias coronarias anormales comprobadas y cambios isquémicos de esfuerzo experimentan angina o su equivalente durante la prueba.) No habrán arritmias anormales. Se podría luego recomendar un entrenamiento hasta una frecuencia cardíaca determinada, el uso de medicamentos previo al esfuerzo, etc. La peor manera para detectar una enfermedad es mediante los síntomas (según ciertos médicos). La mayoría de las cardiopatías coronarias ya se han desarrollado cuando aparecen clínicamente. En personas que tienen un dolor anginal atípico o típico, existe una gran probabilidad de que el desplazamiento anormal del segmento S-T indique una cardiopatía coronaria. Algunas personas podrían adivinar si es una enfermedad coronaria de una, dos, o tres arterias del corazón. Pero simplemente se puede informar al médico asignado que la respuesta fue anormal. En vista del hecho que la respuesta a la prueba fue anormal y mi examen ha revelado varios factores de riesgo y excluido otras causas de respuestas anormales (tales como enfermedad valvular, estenosis subaórtica hipertrófica idiopática, anemia, y desordenes metabólicos), se deben llevar a cabo arteriogramas coronarios. En el análisis final, este arteriograma es el único medio por el que se puede asegurar si hay una enfermedad coronaria significativa. Por el contrario, si la persona desempeña el ejercicio hasta una ejecución máxima sin cambios

anormales o malestar anginal, es difícil que exista una cardiopatía coronaria significativa a menos que su VO_2 max. sea bien bajo. Las correlaciones entre la severidad de la evolución del proceso aterosclerótico y el grado de los cambios isquémicos del segmento S-T se basan en los siguientes postulados:

1. Usualmente, la depresión del segmento S-T de 1.0 milímetro o menos durante o inmediatamente después del ejercicio representa una obstrucción aterosclerótica de un solo vaso coronario del corazón.
2. La depresión de 2.0 milímetros o más del segmento S-T se asocia con una amplia lesión aterosclerótica de las tres principales arterias coronarias del 40 miocardio. Morehouse expone que puede hacerse dos tipos de enunciados con relación a la respuesta de EKG al ejercicio cuando se interpreta e informa la prueba EKG de esfuerzo:

Respuesta isquémica

Informa tanto las reacciones subjetivas como las del EKG. Los cambios de EKG pueden ser divididos en primarios, secundarios, y terciarios. Solamente el cambio primario es una respuesta positiva completa.

1. Primaria. Puede ser (1) depresión horizontal del segmento S-T, mayor de 0.10 mV. (1.0 mm. ~ por 0.08 segundos o más, teniendo un aspecto de inclinación plano o descendente; (2) depresión horizontal del segmento S-T inducido por el ejercicio y sin aliviarse inmediatamente por el reposo; o (3) depresión de junctura (punto-J) con la J hacia abajo 0.10 mV. (1.0 mm.) o más en unión con disrritmias, bloqueos de ramas (BR), depresión de la onda P, o inversión de la onda T.
2. Secundaria. Arritmias ventriculares, bloqueo intracardíaco.
3. Terciaria. Taquicardia supraventricular, inversión aislada de la onda T, cambios de la onda P.

Tolerancia al ejercicio

1. Exponga la frecuencia cardíaca a la cual ocurrió la respuesta positiva y describa su curso de tiempo (e.g., "se tornó positivo a una frecuencia cardíaca de 120 en el ejercicio y se mantuvo positivo durante 1 minuto después que el ejercicio se terminó").
2. Especifique la frecuencia de trabajo en el punto en que se terminó la prueba.
3. Estime la tolerancia relativa del ejercicio como sigue:

Normal: Completó el itinerario del ejercicio sin ningún signo de pobre tolerancia. La frecuencia del trabajo a una frecuencia cardíaca como meta excedió los 100 watts.

Reducido: (1) No completó el itinerario del ejercicio, (2) completo el itinerario del ejercicio con algún malestar, o (3) el trabajo en la frecuencia como meta fue de 100 vatios o menos.

Sabemos que la depresión del segmento S-T de 1mm. o más durante 0.08 segundos significa una prueba de esfuerzo positiva; no obstante, como vimos en las causas secundarias y terciarias de Morehouse, existen otras razones para determinar si una prueba es positiva, éstas son:

1. Desnivel positivo del segmento S-T (más de 0.5~).
2. Arritmia grave.
3. Inversión indicutable de una onda T previamente positiva.

Pero no toda anomalía en el EKG de esfuerzo puede significar una positividad. Existen ciertas características en el EKG de esfuerzo que no son consideradas como causas de positividad; estas son. a saber:

1. Desnivel del segmento S-T ascendente.
2. Desnivel de punto J.
3. Aplanamiento de la onda T.
4. Aparición de extrasístoles
5. Aparición de angor sin cambios electrocardiográficos.

B. Respuestas Fisiológicas

1. Cambios en la presión sanguínea y frecuencia cardíaca:

a. Aumento progresivo de la presión sistólica:

Por lo regular, la presión sistólica disminuye ligeramente durante los primeros 3 minutos luego de su aumento inicial. De ahí en adelante, la presión sistólica sube progresivamente hasta un punto próximo a la máxima capacidad del ejercicio para posteriormente declinar algo marcadamente. Luego, la presión sanguínea aumenta de nuevo alrededor de 1 minuto después de haber terminado el ejercicio. Dentro de 1-2 minutos adicionales durante el periodo posterior al ejercicio (o recuperación), comienza a declinar la presión sistólica a medida que disminuya el rendimiento cardíaco durante dicho periodo de recuperación. En la mayoría de los sujetos la presión sanguínea máxima sistólica no sobrepasa 160-170mm. Hg. La elevación de la presión sanguínea sistólica más allá de 200mm. Hg. (especialmente sobre 250mm. Hg.) durante el ejercicio es considerado anormal. Bajo estas circunstancias, el diagnóstico de hipertensión funcional lábil debe ser considerada.

b. Poco aumento no progresivo de la presión diastólica:

En la presión diastólica no hay una alteración significativa durante el ejercicio.

Muchos sujetos saludables pueden desarrollar una ligera elevación (no mayor de 10mm. Hg.) durante los primeros 2 minutos seguido de una reducción progresiva hacia el periodo máximo del ejercicio. Frecuentemente, hay otra ligera elevación de la presión diastólica inmediatamente después de haberse terminado el ejercicio hasta que tome lugar una reducción gradual, experimentada en el período de recuperación. El aumento de la presión diastólica debe fluctuar de 10-15mm. Hg.

c. Aumento progresivo de la frecuencia cardíaca:

La frecuencia cardíaca aumenta progresivamente durante el ejercicio, teniendo una aceleración mayor los jóvenes que las personas mayores. Se puede sospechar el síndrome del seno enfermo si solamente se observa un aumento insignificante de la frecuencia cardíaca (menos de 120 latidos/minuto) cuando la prueba de esfuerzo está por llegar o ya ha llegado a su máxima capacidad de esfuerzo.

2. Alteración del intervalo Q-T:

a. Acortamiento de intervalo Q-T con un aumento en la razón Q-T:R-R conforme aumente la frecuencia cardíaca:

La utilidad del intervalo Q-T es limitada puesto que se hace difícil medir con precisión dicho intervalo ya que la alta frecuencia cardíaca inducida por el ejercicio lo imposibilita. Una razón mayor de 1:2 observado en la razón Q-X:Q-T puede sugerir una prueba EKG de esfuerzo positiva.

3. Alteraciones fisiológicas del segmento S-T:

a. Depresión funcional (punto-J) de 2mm. del segmento S-T con duración menor de 0.06 seg.:

Esta ligera depresión menor de 2mm. se observa en individuos saludables conforme aumente la frecuencia cardíaca. Frecuentemente dicha depresión del segmento S-T funcional es seguida de una depresión horizontal o descendente en pacientes con una cardiopatía coronaria conocida.

b. Astenia vasoreguladora:

Este fenómeno ocurre en muchos individuos saludables que muestran anomalías no-específicas del segmento S-T y onda T en sus electrocardiogramas de reposo, siendo pronunciados dichos cambios de EKG cuando los individuos están de pie o durante hiperventilación.

c. Cambios ortoestáticos en el EKG:

Este es otro caso de astenia vasoregulatoria en el cual el electrocardiograma en reposo fue normal, pero que la depresión del segmento S-T comenzó a aparecer cuando el individuo se pone de pie, y se pronuncia durante el ejercicio.

d. Cambios en la onda T funcional lábil:

Se diagnostica un onda T lábil cuando durante la depresión del segmento S-T, se observa que la onda T está bifásica o invertida.

e. Depresión del segmento S-T solamente durante el periodo de recuperación:

Se observa en individuos saludables, cuando la depresión del segmento S-T ocurre durante los 3-8 minutos después de haberse terminado la prueba, y el segmento S-T permanece isoelectrico durante el ejercicio y/o inmediatamente después de éste.

4. Alteración de la dirección o morfológica de la onda T:

Muchos individuos saludables y jóvenes muestran ondas T altas y picudas durante un ejercicio cerca del máximo o durante el período inicial de la recuperación. Esto se debe a un aumento del volumen de eyección sistólica. También se considera normal la inversión aislada de la onda T o aplanamiento de ondas T durante o después del ejercicio.

5. Ligera reducción del voltaje en la onda R:

Por lo regular, se considera que la amplitud total del complejo QRS se reduce ligeramente durante el ejercicio casi máximo o durante el periodo inicial posterior al ejercicio. Dicha reducción en voltaje de la onda R se nota mas en individuos saludables que en pacientes coronarios.

6. Alteraciones de los intervalos P-R:

Frecuentemente el intervalo P-R se acorta prontamente después de iniciarse el ejercicio como resultado de un fenómeno fisiológico. Se ha observado recientemente una prolongación significativa del intervalo P-R durante el período de recuperación al ejercicio en mujeres jóvenes~ retornando el intervalo P-R al valor normal durante 5-6 minutos después de haber terminado el ejercicio.

7. Desplazamiento hacia abajo del segmento P-R:

Esto ocurre durante el ejercicio conforme la onda P aumente su voltaje y la onda T-a (onda de la repolarización auricular) se vuelva de relieve lo cual sucede como un fenómeno fisiológico. La onda T-a tiende a extenderse a través del complejo QRS, lo cual puede

conducir a que se altere la unión entre el segmento S-T y onda T, dando la apariencia a una falsa anormalidad del segmento S-T.

8. Onda P picuda y alta conforme aumente la frecuencia cardíaca:

Esto se conoce como un pseudo P-pulmonale. Cuando la frecuencia cardíaca es extremadamente rápida, por lo regular la onda P y onda T se funden parcial o totalmente, lo cual resulta en una onda grande. Esto es un fenómeno de fisiología normal.

9. Síntomas menores:

Estos síntomas son usualmente ligera disnea, fatiga, sudoración, sentir una sensación caliente, etc., que ocurren durante el ejercicio vigoroso como un fenómeno fisiológico. (43)

C. Respuestas Anormales al Ejercicio

1. Cambios electrocardiográficos:

a. Alteraciones diagnósticas del segmento S-T 1) Depresión del segmento S-T:

Tradicionalmente, se ha considerado la depresión horizontal (onda-cuadrada~ del segmento S-T durante o después del ejercicio como el único y más confiable criterio de diagnóstico para considerar una prueba EKG de esfuerzo positiva. En la generalidad, es aceptado una depresión de 1mm. o más del segmento S-T para definitivamente calificar la prueba como positiva (vea figura 2)(Chung, 1979, pp. 158-164, 16 -1). Otro criterio casi igualmente de confiable para el diagnóstico de una prueba EKG de esfuerzo positiva es una depresión en forma de un declive progresivo hacia abajo del segmento S-T de 1mm. o más (vea figura 3). Es muy posible que exista una cardiopatía coronaria cuando ocurra una depresión horizontal del segmento S-T de 1mm. o más, aún si solo sucede durante el periodo de recuperación, particularmente si está asociado con otras respuestas isquémicas como dolor de pecho o hipotensión. Igualmente se puede diagnosticar una cardiopatía coronaria si se presentan frecuentes extrasístoles ventriculares o una disminución marcada de la frecuencia cardíaca durante el período de recuperación.

2) Elevación del segmento S-T:

Cuando ocurra una elevación horizontal o de inclinación progresiva hacia arriba del segmento S-T de 1mm. o más durante o después del ejercicio, se puede diagnosticar definitivamente una prueba de esfuerzo positiva (Chung, 1979 p. 171). Esto se observa comunmente en pacientes con infartos previos, especialmente en la pared anterior. Se observa mejor el infarto en la derivación que encara el lado no infartado, ya que aquí se nota el cambio recíproco del S-T, i.e., su depresión. Esta elevación del segmento S-T se asocia con una aneurisma ventricular.

3) Cambios del segmento S-T con anormalidades Pre-existentes en el EKG:

Se puede diagnosticar una prueba positiva durante el EKG en reposo, siempre y cuando los pacientes no estén tomando drogas cardíacas, si existe una depresión de 1mm. o más del segmento S-T en pacientes con anormalidades pre-existentes en los cambios del S-T y onda T. El bloqueo de la rama derecha visto en el EKG de reposo no altera la interpretación de la prueba. La depresión diagnóstica del segmento S-T se puede ver en pacientes con un bloqueo de la rama derecha cuando el ejercicio produce respuestas isquémicas; no obstante, el ejercicio puede ser negativo en individuos saludables con un bloqueo de rama derecha pre-existente.

b. Arritmias cardíacas:

Diferentes arritmias cardíacas pueden ser provocadas u ocultas por el ejercicio en individuos saludables y también con pacientes coronarios. No obstante, ciertas arritmias ventriculares inducidas por el ejercicio mínimo (70% o menos de la frecuencia cardíaca máxima) son consideradas como indicios para una cardiopatía coronaria, aún en la ausencia de una alteración diagnóstica del segmento S-T; esto último (la alteración diagnóstica de segmento S-T) se observa en pacientes con cardiopatías conocidas. Una bradicardia marcada ocurre con regularidad en pacientes con una cardiopatía coronaria avanzada durante el periodo inicial de la recuperación, y está frecuentemente asociado con angina, hipotensión y una depresión significativa del segmento S-T.

c. Inversión de las ondas U:

Aunque raro, las ondas U invertidas provocadas por el ejercicio en pacientes con un EKG en reposo normal es altamente sugestivo para una prueba de esfuerzo positiva.

d. Bloqueos intraventriculares:

El desarrollo de bloqueos intraventriculares durante o después del ejercicio no es causa de positividad (ya que dependen de la frecuencia cardíaca, a menos que se presenten junto con una depresión diagnóstica del segmento S-T (especialmente con un bloqueo de la rama izquierda intermitente).

e. Aumento en amplitud de la onda R:

Según estudios, el aumento o ningún cambio del voltaje en la onda R durante una prueba de esfuerzo en una banda sin fin es un indicador más confiable para una cardiopatía coronaria que los cambios en el segmento S-T. Esto necesita más investigación ya que hay mucha controversia.

f. Infarto agudo del miocardio:

La incidencia de infartos es muy rara, y es muy difícil evaluar la incidencia precisa de un infarto agudo del miocardio directamente relacionado con la prueba de esfuerzo.

g. Hallazgos misceláneos:

Diversos hallazgos electrocardiográficos tales como la razón Q-X:Q-T, cambios en el intervalo Q-T, alteración de la morfología de la onda P u onda T, etc., durante o después del ejercicio no son específicos o no son confiables para interpretar la prueba de esfuerzo. 187-194.

2. Cambios hemodinámicos:

a. Hipotensión:

En individuos saludables, el ejercicio físico causa un aumento en la presión sanguínea sistólica asociado con una ligera reducción de la presión sanguínea diastólica conduciendo así a una amplia presión del pulso. Por lo tanto, la reducción de la presión sistólica por debajo del valor en descanso durante el ejercicio isotónico (banda sinfín) es indicativo de una cardiopatía coronaria o hipertensa, también una enfermedad valvular (según se han observado en pruebas previas). También una hipotensión sistólica durante un ejercicio isotónico que ha provocado una angina es sugestivo de una enfermedad coronaria de varios vasos. Sin embargo, una reducción de la presión sanguínea durante el ejercicio se ha observado en individuos con una cardiopatía no significativa, particularmente en las hembras. También dicha reducción es normal en algunos individuos saludables durante un ejercicio vigoroso y prolongado (como un fenómeno fisiológico normal).

b. Disminución de la frecuencia cardíaca:

Dicha disminución es anormal y por lo tanto indicativo de una cardiopatía coronaria. Aceleraciones insignificantes de la frecuencia cardíaca del seno (menos de 12 latidos/minuto) durante un ejercicio submáximo o máximo es indicativo del síndrome del seno enfermo. Los atletas y propranolol no causarán una aceleración de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio.

c. Hipertensión marcada:

Una presión sistólica sobre 220mm. Hg durante el ejercicio es una respuesta anormal, pero no es indicativo de una cardiopatía coronaria, sino de una hipertensión, funcional lábil. (47)

3. Síntomas y signos:

a. Síntomas:

Solo el típico dolor del pecho provocado por el ejercicio es el síntoma de más confiabilidad para diagnosticar una cardiopatía coronaria, aún cuando no haya depresión del segmento S-T. El dolor típico anginal se puede reproducir de nuevo. Existe un dolor anginal atípico o no específico que experimentan muchos pacientes; en éste caso, la angina atípica no es reproducible. También se presentan ciertos síntomas de respuesta anormal, tales como disnea severa, palidez o cianosis marcada y síncope (desmayo) o al borde de un síncope, que no son indicaciones de una cardiopatía coronaria.

b. Signos:

1) Sonidos cardíacos 3ro o 4to:

Mediante la auscultación después del ejercicio, un ritmo de galope S4 claramente audible provocado por el ejercicio se considera como un signo de isquemia miocárdica, aún si no hubiera algún cambio en el segmento S-T o si fuera ambiguo el síntoma anginal. Los pacientes con hipertensión sistémica o cualquier otra forma de cardiopatía subyacente son excepciones de esta regla del ritmo de galope S4. El ritmo de galope S3 es otro indicativo significativo para el diagnóstico de una cardiopatía coronaria avanzada.

2) Soplos cardíacos:

Los soplos sistólicos inducidos por el ejercicio se deben frecuentemente a una disfunción del músculo papilar, lo cual es altamente sugestivo de una cardiopatía coronaria (47) Ibid, págs. 194-196, 199-200.

3) Bultos Precordiales

4) Doble impulso cardíaco

5) Estremecimientos Palpables en el Precordio

6) Pulsos alternados (48)

D. Implicaciones Clínicas de los Resultados

1. Pacientes sintomáticos:

La prueba EKG de esfuerzo de etapas múltiples es el método más confiable para el diagnóstico de una enfermedad coronaria. La sensibilidad de la prueba EKG de esfuerzo para diagnosticar una enfermedad coronaria de tres vasos fluctúa entre 86 y 100%, aunque la sensibilidad para un solo vaso coronario es de 37-60%. La sensibilidad se puede mejorar cuando otras respuestas isquémicas inducidas por el ejercicio, como la hipotensión o angina pectoris, son interpretadas simultáneamente. Una reducción de la presión sistólica de 10 mm Hg o más por debajo de los valores máximos en la banda sinfín es un signo confiable para el

diagnóstico de una enfermedad coronaria de múltiples vasos, La depresión del segmento S-T durante un ejercicio bastante moderado puede indicar una enfermedad coronaria avanzada de múltiples vasos, mientras que la depresión del segmento S-T durante un ejercicio casi máximo puede representar una enfermedad coronaria no muy severa. Una arritmia ventricular peligrosa (como la taquicardia ventricular) provocada por un ejercicio moderado es indicativo de una enfermedad coronaria. Ritmos de galopes S4 o S3 y soplos escuchados durante la etapa de recuperación del ejercicio evidencian una cardiopatía coronaria. La aneurisma ventricular áreas de desquinesis y aquinesis inducen a una elevación de S-T durante el ejercicio. La prueba de esfuerzo ofrece una data útil con relación a la capacidad funcional en un individuo dado con una cardiopatía coronaria; o sea, una clasificación funcional es posible si se evalúan aquellas cargas de trabajo durante el ejercicio que son los límites de capacidad para un paciente dado. (48)Ibid, págs. 200-201, 203-205.

2. Individuos asintomáticos:

Una respuesta anormal en el EKG a causa del ejercicio en estas personas asintomáticas es una indicación de pronóstico respecto a que en el futuro pueden surgir enfermedades coronarias, Un cambio de una prueba positiva a una negativa en el mismo individuo puede sugerir una cardiopatía coronaria asintomática. Pruebas de esfuerzo falsas positivas pueden ocurrir en ambos sexos pero la incidencia es aproximadamente 3 veces mayor en mujeres que en hombres. Cada individuo asintomático con una prueba de esfuerzo positiva debe ser instruido por un médico con respecto a los síntomas iniciales de una cardiopatía coronaria, en especial dolor de pecho, para que él lo informe inmediatamente a su médico de ser el caso que sienta dichos síntomas, Cualquier individuo con diferentes factores de riesgo coronarios debe de periódicamente hacerse una prueba de esfuerzo (cada 6-12 meses) para una detección temprana de una enfermedad coronaria.

REFERENCIAS

ACSM. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991.

American Heart Association. The Committee on Exercise. *Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individual: A Handbook for Physicians*. Dallas, Texas: American Heart Association, 1972. 40 págs.

American Heart Association. The Committee on Exercise. *Exercise Testing and Training of Individual with Heart Disease or at High Risk for its Development: A Handbook for Physicians*. Dallas, Texas: American Heart Association, 1975. 62 págs.

Balady, Gary J. y Donald A. Wenger. "Exercise Testing for Sports and the Exercise

Prescription". En: Hanson, Peter (editor). *Exercise and the Heart*. Vol. 5, No. 2 (May, 1987). Philadelphia: W.B. Saunders. Págs 183-196.

Chung, Edward K. *Exercise Electrocardiography: Practical Approach*. Baltimore: The William and Wilkins Company, 1979. 354 págs.

Costill DL, "Use of a Swimming Ergometer in Physiological Research". *Research Quarterly*, 1966; Vol. 37. Págs. 564-567.

Dec, G. William G. y Gregory D. Curfman. "Exercise Testing in Cardiac Rehabilitation". En: Curfman, Gregory D. y Alexander Leaf (editores). *Cardiology Clinics: Preventive Cardiology and Cardiac Rehabilitation*. Vol. 3, No. 2 (May, 1985), Philadelphia: W.B. Saunders Company. Págs. 223-243.

Díaz Barreiro, Luis Alcocer y Angel Gonzales. *El Electrocardiograma*. Mexico: Ediciones Médicas Actualizadas, S.A., 1977. 55 págs.

Ellestad, Myrvin H. *Stress Testing: Principles and Practice*. 3ra. ed.; Philadelphia: F.A. Davis Compoany, 1986. 526 págs.

Fardy, Paul S., Janice L. Bennett, Norma L. Reitz y Mark A. Williams. *Cardiac Rehabilitation: Implications for the Nurse and other Health Professionals*. St. Louis: The C.V. Mosby Company, 1980. Págs 105-168.

Fardy, Paul S., Frank G. Yanowitz y Philip K. Wilson. *Cardiac Rehabilitation, Adult Fitness, and Exercise Testing*. 2da. ed.; Philadelphia: Lea & Febiger, 1988. Págs. 105-168.

Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. *The Physiological Basis for Exercise and Sports*. 5ta. ed.; Madison, Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Pub., 1993. Págs/ 64-91.

Froelicher, Victor F. y Gilberto D. Marcondes. *Manual of Exercise Testing*. Chicago: Year Book Medical Publishers, Inc., 1989. 332 págs.

Gergley, T.J., Mcardle, W.D., Dejesus, P., Toner, M.M., Jacobowitz, S., Spina, R.: "Specificity of arm training on aerobic power during swimming and running". *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 16., 1984. Págs. 349-354, 1984.

Hanson, P. "Clinical Exercise Testing". En: S. Blair, P. Painter, R. Pate, L. Smith,

& C. Taylor (Eds). **Resource manual for guidelines for exercise testing and prescription**. Philadelphia: Lea & Febiger, 1988. Págs. 248-255.

Heyward, Vivian H. **Advanced Fitness Assessment & Exercise Prescription**. 2da. ed., Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1991. Págs. 24-46.

Holmér I, Åstrand, P-O. Swimming training and maximal oxygen uptake. **Journal of Applied Physiology**. 1972; Vol 33:510-3.

Jopke, Terry. "Choosing and Exercise Testing Protocol". **The Physician and Sportsmedicine**. Vol. 9, No. 3 (March, 1981). Págs 141-146.

KIMURA, Y., YEATER, R.A., MARTIN, R.B.: "Simulated swimming: a useful tool for evaluation the VO_2max of swimmers in the laboratory". **Br. J. Sports Med.**, 24: 1990.

Lopategui Corsino, Edgar, Reynaldo Soler López y Miguel A. Rivera Pérez. "La Respuesta Fisiológica y Metabólica del nadador Competitivo durante Ejercicio en Ambiente Aire y Ambiente Agua". **Puerto Rico Health Science Journal**. Vol. 13, No. 2 (Junio, 1994). Págs. 133-194

MacDougall, J. Duncan y Howard A. Wenger. "The Purpose of Physiological Testing". En: MacDougall, JD; Wenger, HA; Green, h. (editores). **Physiological Testing of the High Performance Athlete**. 2da. ed.; Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1991. Págs 1-5.

Miller, David K. y T. Earl Allen. **Fitness: A Lifetime Commitment**. Minesota: Burgess Publishing Company, 1979. 201 págs.

Morehouse, Laurence E. Laboratory **Manual for Physiology of Exercise** (San Luis: 1972), pags. 123, 137.

Morehouse, Laurence Englemohr y Augustus T. Miller, Jr. **Physiology of Exercise**. 7ma ed.; San Luis: C.V. Mosby Company, 1976. 364 págs.

Sheffield, L. Thomas y David Roitman. "Stress Testing Methodology". **Progress in Cardiovascular Disease**. Vol 19, No. 1 (July/August, 1976). Págs. 33-49.

Shephard, Roy J. **Exercise Physiology**. Philadelphia: B.C. Decker Inc., 1987. Págs.9-19

Stamford, Bryant. "What is an Exercise Test?". **The Physician and Sportsmedicine**. Vol. 16, No. 3 (March, 1988). Págs. 245-246

Sutton, John. "Evaluation of Therapy and Exercise Testing". *Sports Medicine Bulletin*. Vol. 17, No. 2 (abril, 1981). Pág. 10.

Thoden, James J. "Testing Aerobic Power". En: MacDougall, JD; Wenger, HA; Green, h. (editores). *Physiological Testing of the High Performance Athlete*. 2da. ed.; Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1991. Págs 107-173.

Wilson, Philip K. et al. *Policies and Procedures of Cardiac Rehabilitation Program: Immediate to Long-Term Care*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1978. Págs. 20-26.

Wilson, Philip K "Applications for Exercise Testing in Diagnosis; Sports Medicine; and Prevention, Intervention and Rehabilitation Exercise Programs" en: James, William E. y Ezra A. Amsterdam (editores). *Coronary Heart Disease, Exercise Testing and Cardiac Rehabilitation*. Miami, Florida: Symposia Specialist. Medical Books.