

UN NUEVO ENFOQUE COMPUTARIZADO PARA LA DETECCIÓN DE LA ISQUEMIA MIOCÁRDICA

S. Wong¹, F. Mora², G. Passariello³, J. Silva⁴, D. Almeida⁵

RESUMEN -- El trabajo describe la concepción, realización y evaluación de una metodología de análisis de la Prueba de Esfuerzo para el diagnóstico de la cardiopatía isquémica. Para la evaluación del procedimiento, se construyó una base de datos de tres canales de electrocardiogramas de esfuerzo, compuesta de un total de 73 registros obtenidos en la Unidad de Rehabilitación del Hospital Universitario de Caracas. Estos pacientes fueron divididos en dos grupos, 31 de sujetos sanos, y 42 de pacientes con isquemia comprobada clínicamente. De estos últimos, utilizando el criterio tradicional basado en la magnitud de la depresión del segmento ST, fueron diagnosticados por el personal médico, 19 como enfermos y 23 resultaron ser falsos positivos. Las señales electrocardiográficas fueron procesadas digitalmente para realizar la detección de los complejos QRS, alineación y promediación de latidos, medición del desnivel y la pendiente del segmento ST, construcción de las curvas de tendencia y finalmente extracción de parámetros a evaluar. Los parámetros medidos fueron: desnivel del segmento ST, frecuencia cardíaca máxima, índice Δ ST/HR, pendiente ST/HR a 5, 2, y 1 minutos del punto de máxima depresión del segmento ST. Se realizó un análisis discriminante que permitió concluir que los parámetros más sensibles para el diagnóstico fueron la frecuencia cardíaca, el índice Δ ST/HR y la pendiente ST/HR a 5 minutos. Luego de aplicar el criterio de la *Media más Próxima*, utilizando varias combinaciones entre estos parámetros, se encontró que la mejor combinación es la frecuencia cardíaca y el índice Δ ST/HR, con el cual se obtiene una sensibilidad del 78.6% lo que representa un incremento del 33.4% respecto al diagnóstico convencional de la base de datos.

Palabras Claves: Prueba de esfuerzo, Isquemia, Índice Δ ST/HR, Pendiente ST/HR

INTRODUCCIÓN

La Prueba de Esfuerzo (PE) es uno de los métodos más populares para evaluar, no invasivamente, la isquemia miocárdica y la Enfermedad Arterial Coronaria (EAC) (Watanabe *et alii*, 1980). La evaluación de la fidelidad de esta prueba se hace en términos de su sensibilidad (porcentaje de pacientes clasificados correctamente con enfermedades verificadas por otros métodos) y

¹ Investigador. GBBA-USB, Apdo 89000, Caracas 1080A, Venezuela. e-mail: swong@gbba.usb.ve

² Profesor Titular, Dpto de Electrónica. USB. e-mail: fmora@gbba.usb.ve

³ Profesor Titular, Dpto de Electrónica. USB. e-mail: gpass@gbba.usb.ve

⁴ Profesor Agregado, Dpto de Electrónica. USB. e-mail: jesilva@gbba.usb.ve

⁵ Jefe del Servicio de Rehabilitación Cardíaca del Hospital Universitario de Caracas

de su especificidad (porcentaje de sujetos clasificados correctamente como normales) y sus valores promedios están alrededor del 70 y 90% respectivamente. Se observa que la sensibilidad del examen es baja por lo que se siguen realizando numerosos estudios para conseguir nuevos criterios que permitan interpretar más efectivamente la prueba de esfuerzo (Kligfield and Okin, 1986, 1988, 1992).

La cuantificación de la respuesta de un individuo al ejercicio permite medir la capacidad del sistema cardiorespiratorio para alcanzar una determinada carga de trabajo, esto con el fin de aumentar o mantener un gasto cardíaco adecuado. Los incrementos en el trabajo cardíaco indican la capacidad para aumentar la circulación coronaria en función a una carga de trabajo dada. Por ello, en una PE se evalúan los cambios en las variables fisiológicas y en el electrocardiograma del sujeto.

La PE mas eficiente es la de la *Banda Deslizante*, en la que se hace caminar a un paciente sobre una banda sin fin que va cambiando la velocidad y la pendiente de la plataforma según un protocolo preestablecido. En este trabajo se utilizó el protocolo de Bruce (Almeida y Brandi, 1995) que consta de 5 etapas de 3 minutos de duración cada una. La prueba comienza a una velocidad de 1.7 mph con una inclinación de 10 grados hasta alcanzar paulatinamente en la última etapa una velocidad de 5 mph y una inclinación de 18 grados.

En la práctica clínica se considera que una Prueba de Esfuerzo es positiva cuando:

- Se observa una depresión del segmento ST, horizontal o descendente, mayor de 0.1 mV y mayor de 0.08 s de duración;
- Existe un desnivel negativo, ascendente del segmento ST mayor de 0.2 mV o más, por debajo de la línea isoeletrica;
- Existe un desnivel positivo, horizontal o ascendente de 0.2 mV o más de amplitud, en complejos QRS que no tienen ondas Q.

Se han realizado muchos trabajos para tratar de mejorar la sensibilidad de la PE. Desde los sistemas expertos, hasta la inclusión de nuevos parámetros y procedimientos de análisis. Entre estos vale la pena mencionar la pendiente del segmento ST/HR, el área del segmento ST, el índice Δ ST/HR y toda una gama obtenida con sólo cambiar el punto de medición del desnivel del segmento ST. Los parámetros más estudiados hasta ahora son el índice Δ ST/HR y la pendiente del ST/HR (Okin *et alii*, 1986, 1991). Sin embargo, no hay acuerdo generalizado, los autores varían la forma de calcular dichos parámetros y los resultados aun son confusos. Todo parece señalar que no se puede depender de un solo indicador y es por esto que el análisis multivariado podría mejorar los resultados permitiendo optimizar la selección de los parámetros adecuados y llegar a una clasificación de pacientes de acuerdo a la severidad de la isquemia.

La relación directa que existe entre la depresión del segmento ST y los cambios de la Frecuencia Cardíaca (FC), durante un episodio de isquemia, se pretenden describir a través de la pendiente ST/HR y el índice Δ ST/HR. Estos nuevos parámetros propuestos para la evaluación de la Prueba de Esfuerzo se describen a continuación:

Índice Δ ST/HR -- Se calcula dividiendo la máxima depresión^{''} del ST entre el cambio de frecuencia cardíaca (Δ HR = FC máxima- FC reposo). Este índice representa el cambio promedio del desnivel del segmento ST (Δ ST) durante todo el ejercicio (figura 1).

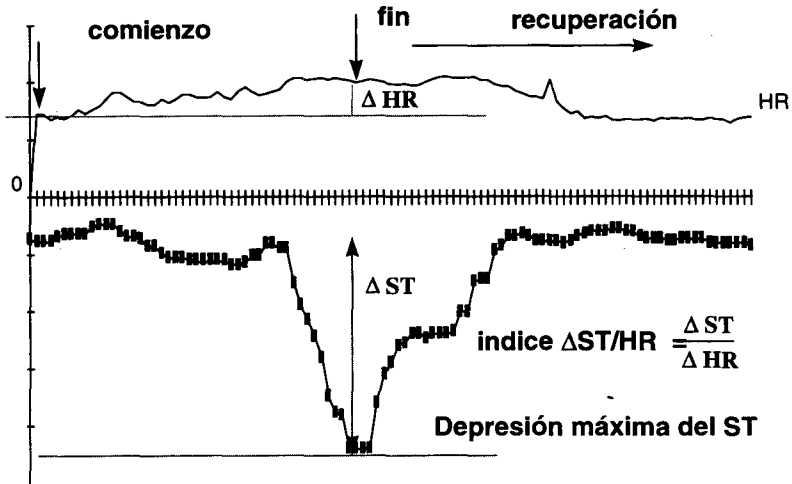


Figura 1: Cálculo del Índice $\Delta ST/HR$

Pendiente ST/HR -- Se calcula realizando una regresión lineal ($ST = a \cdot HR + b$) que relaciona la depresión del segmento ST y la frecuencia cardíaca al final del ejercicio. La recta se define con un número de puntos preestablecido anteriores a la culminación del esfuerzo. La pendiente a o pendiente ST/HR es el valor resultante del cálculo donde se toma la FC como la variable independiente y la magnitud de la depresión del segmento ST como la variable dependiente (figura 2).

En contraste con el índice $\Delta ST/HR$, la pendiente ST/HR representa el cambio ocurrido al final del ejercicio. Por ello, este parámetro se considera como más apropiado ya que teóricamente mide los cambios del segmento ST, es decir, la demanda de los requerimientos miocárdicos que ocurren durante el evento isquémico, a diferencia del parámetro anterior que lo hace durante todo el ejercicio y que incluye períodos de tiempo en los cuales no hay isquemia.

Algunos autores (Okin *et alii*, 1986) han utilizado el protocolo de Bruce modificado en el cual se disminuyen los incrementos de la frecuencia cardíaca entre etapas, manteniéndose cargas de trabajo similares, con el fin de observar mejor los cambios en estas mismas variables del segmento ST. Habría que determinar si ciertamente la pendiente ST/HR necesita un protocolo especial, donde se disminuya la cantidad de trabajo por etapa y la cantidad de latidos por etapa como ha sido

propuesto, y cuál es la verdadera razón para ello: si está apoyada por una base de índole fisiológica o se deba a la complejidad e ineficiencia de la instrumentación hasta ahora disponible en el mercado. En todos los estudios las medidas se hacen manualmente sobre el papel, o sólo se registran 2.5 segundos al finalizar cada etapa de ejercicio (Sievanen *et alii*, 1994). Hasta la fecha no se ha estandarizado una metodología que registre y analice la PE de manera completamente automática.

El objetivo de este trabajo es la medición computarizada de los parámetros estándares y nuevos, índice $\Delta ST/HR$ y pendiente ST/HR , a partir de un protocolo de registro convencional y observar si es factible mejorar el diagnóstico de la isquemia con la inclusión de las nuevas variables y un análisis multivariado.

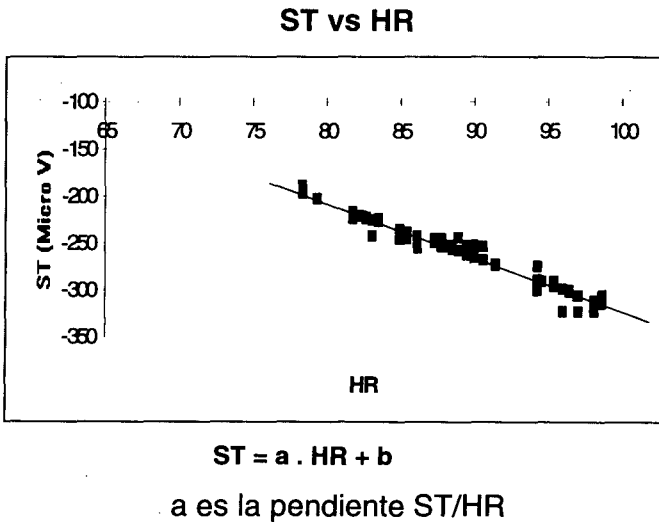


Figura 2. Cálculo de la pendiente ST/HR

METODOLOGÍA

Se construyó una base de datos de tres canales (DII, V5 y V6) de 73 registros electrocardiográficos de esfuerzo. Las PE se realizaron con un equipo QUINTON 3000 o QUINTON 5000, usando el protocolo de Bruce en la Unidad de Cardiología del Hospital Universitario de Caracas. Se adquirieron registros electrocardiográficos de 30 min, muestreados a 250 Hz y digitalizados a 12 bits con el SISPAS (SIStema Portable para la Adquisición de Señales) (Baungartner, 1992).

Los 73 registros analizados fueron divididos en los siguientes grupos:

- 1) Grupo de control *sano*, es decir, sujetos sin historia de EAC (31 registros);
- 2) Grupo de sujetos *enfermos* con EAC (42 registros), dentro del cual se tienen 2 subgrupos:
 - 2a) *positivos* (19 registros), sujetos con PE positiva;
 - 2b) *negativos* (23 registros), sujetos con PE negativa (falsos positivos).

Para cada PE, las tres derivaciones fueron preprocesadas digitalmente para filtrar el ruido de la señal electrocardiográfica. Luego se detectaron los complejos QRS utilizando una transformación no lineal llamada *Transformada del Módulo de la Velocidad* (TMV) (Bosnjak, 1993; Wong, 1995) y algunas reglas de decisión para ubicar un punto de referencia inicial. La alineación se lleva a cabo usando la técnica de comparación recursiva con una plantilla patrón calculando el índice de correlación. El índice de correlación seleccionado para que el complejo QRS actual sea aceptado como normal es del 90%. La selección del complejo QRS patrón se realiza en forma automática, tomándose el primer complejo QRS detectado como patrón, actualizándolo recursivamente cada 10 segundos de acuerdo al promedio de los últimos latidos normales aceptados. La promediación se hace sobre aquellos latidos aceptados cada 10 segundos, calculándose la media punto a punto sobre un intervalo que se extiende desde el segmento PR hasta el comienzo del próximo QRS (170 muestras).

La segmentación de la señal se lleva a cabo sobre el complejo QRS promedio resultante. Se ubica la onda R como referencia para la localización de los restantes puntos significativos. El inicio del QRS (Qon) se toma como el primer punto donde la pendiente de la señal es cero antes de la onda Q, definido como el valor mínimo de ECG antes de la onda R. La onda S es el primer cambio de pendiente de magnitud considerable después de la onda R. Esto permite considerar ECG patológicos en los que la onda S suele desaparecer. El punto J ocurre 64 ms. después de la onda R. El segmento ST es definido como el intervalo entre J+6 muestras hasta n, donde n se calcula como se indica en la ecuación (1). El nivel del segmento ST se determina como el promedio de la amplitud de las cinco muestras alrededor de dicho punto (ecuación 2). Estos valores se calculan progresivamente a medida que la señal es procesada y generan una serie de tiempo para cada derivación correspondiente al desnivel del segmento ST, y una serie de tiempo correspondiente a los intervalos RR. Cada una de estas curvas de tendencia fueron procesadas con un filtro de mediana de 5 puntos con el fin de suavizar los contornos de la señal y eliminar los impulsos.

$$n = \text{máximo} [4, (200-FC)/16] \quad (1)$$

$$ST(\text{punto de medición}) = tR + 64 + n \quad (2)$$

donde FC = Frecuencia Cardíaca y tR = instante donde ocurre la onda R (ms)

Los parámetros que se calcularon y midieron a partir de estas series temporales fueron:

- 1) *Pendiente ST/HR a 5, 2 y a 1 minuto*: Para cada derivación se calculó tomando en cuenta los 30, 12 y 6 últimos puntos de la depresión del segmento ST anteriores a la culminación del ejercicio.

Para cada intervalo (5, 2, 1 min) el mayor valor entre las tres derivaciones es escogido como resultado final.

- 2) *Máxima Depresión del segmento ST*: se tomo él valor de aquella derivación que presenta la mayor depresión.
- 3) *Frecuencia Cardíaca máxima*.
- 4) *Índice $\Delta ST/HR$* : se calculó tomando en cuenta la máxima depresión del segmento ST, tal como se explicó anteriormente.

En total, se obtuvieron para cada registro seis parámetros, por lo cual para hacer más manejables los datos se aplicó una jerarquización de parámetros usando medidas discriminantes. De este procedimiento resultó que los parámetros más significativos son la frecuencia cardíaca, el índice $\Delta ST/HR$ y la pendiente ST/HR a 5 minutos. A partir de estos parámetros se procedió a diseñar tres clasificadores utilizando el Método de la Media más Próxima de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Tomando en cuenta sólo la pendiente ST/HR para 5 minutos;
2. Tomando en cuenta sólo el índice $\Delta ST/HR$;
3. Tomando en cuenta el índice $\Delta ST/HR$ y la frecuencia cardíaca.

Cada clasificador fue diseñado con el grupo 1 (sanos) y el subgrupo 2a (positivos). Luego se realizó la evaluación de los clasificadores, primero con los dos grupos (sanos y enfermos) y por último considerando sólo al subgrupo 2b (negativos) para determinar cuantos de estos registros son reclasificados como positivos con los criterios estudiados en este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan la sensibilidad y la especificidad de los clasificadores diseñados. En la primera columna se encuentra la descripción del clasificador. En la segunda columna se encuentra la especificidad de cada clasificador la cual es la misma para todos los conjuntos de datos utilizados ya que el número de sujetos sanos no cambió. En la tercera columna se encuentra la sensibilidad para el primer conjunto de datos utilizado para diseñar el clasificador, en la cuarta se encuentra la sensibilidad del clasificador utilizando el conjunto de datos de la primera evaluación y en la última columna se encuentra la sensibilidad del clasificador utilizando el conjunto de datos de la segunda evaluación, en el cual se indica la sensibilidad del clasificador para reclasificar correctamente a los falsos negativos.

En la tabla 2 se observa que con la interpretación tradicional de los resultados electrocardiográficos en la evaluación de la PE se obtiene una especificidad del 100% para la base de datos utilizada, es decir, todos los sanos son reportados como sanos y se logra una sensibilidad del 45.2%. La baja sensibilidad (no la usual que es alrededor del 70%) se debe principalmente a la

forma como se escogieron los sujetos enfermos, (más negativos que positivos). Esto demuestra que la base de datos es particularmente difícil de interpretar

Tabla 1- Resultados de los clasificadores de la Media más Próxima.

Características	Especificidad	Sensibilidad (DISEÑO)	Sensibilidad 1 (Prueba 1)	Sensibilidad 2 (Prueba 2)
pend. ST/HR	77.4%	73.7%	47.0%	26.1%
Δ ST/HR	90.3%	100.0%	69.0%	43.5%
HR + Δ ST/HR	87.1%	100.0%	78.6%	60.9%

Tabla 2.- Comparación entre el Método Tradicional y el propuesto en este trabajo.

Criterio	Especificidad (%)	Sensibilidad 1 (%)	Sensibilidad 2 (%)
Tradicional	100.0	45.2	-
HR + Δ ST/HR	87.1	78.6	60.9

Las tablas 1 y 2 muestran que la introducción de técnicas de análisis multivariado mejora notablemente la sensibilidad del análisis clínico clásico de la PE. De los casos estudiados la mejor opción es utilizar como parámetros de clasificación: la frecuencia cardíaca y el índice Δ ST/HR.

En cuanto a la especificidad es necesario hacer algunas consideraciones: Utilizando el Análisis Multivariado se obtiene una especificidad del 87.1 %, lo cual que cuatro registros de sujetos sanos fueron clasificados como enfermos. Sin embargo, tres de estos registros alcanzaron las menores frecuencias cardíacas obtenidas para grupo I (151, 154, 156 lpm), siendo dos de estos correspondientes a un mismo sujeto. El cuarto registro presentó, en módulo, el mayor índice Δ ST/HR (-5.26 μ V/lpm) obtenido para el grupo I y su otra prueba presenta el segundo mayor índice Δ ST/HR (-3.06 μ V/lpm). Nótese que el promedio de este índice para el grupo I es de -0.7 μ V/lpm. Ahora bien, la edad de este sujeto es de 50 años por lo que la supuesta baja especificidad podría ser un beneficio, considerando que a los sujetos del grupo I no se les ha practicado ningún otro examen para verificar que no poseen EAC. Por ello, el caso es referido a los cardiólogos para la realización de otro examen más específico en vista de un índice Δ ST/HR tan alto.

Se obtuvo también que el índice Δ ST/HR es más sensible que la pendiente ST/HR para la clasificación de los pacientes al evaluar la PE. Nótese en la Tabla 1 que la sensibilidad para reclasificar a los pacientes negativos es casi el doble al utilizar el índice Δ ST/HR (43.5%) que la pendiente ST/HR (26.1%).

CONCLUSIONES

La contribución principal de este estudio ha sido el desarrollo de una metodología asistida por computadora para el diagnóstico de la cardiopatía isquémica que su primera evaluación ha demostrado ser significativamente mejor a otros criterios de clasificación de la Prueba de Esfuerzo.

En el sistema descrito, el uso del clasificador de la *media más próxima*, utilizando como parámetros el índice $\Delta ST/HR$ y la frecuencia cardíaca, permite diagnosticar con una alta sensibilidad la isquemia miocárdica en una base de datos particularmente difícil.

El índice $\Delta ST/HR$ es muy sencillo de calcular, se puede implementar fácilmente en equipos computarizados y el cálculo manual, que también es sencillo, permitiría hacer estudios retrospectivos sobre datos disponibles. Sin embargo, la pendiente ST/HR presenta ventajas teóricas sobre el índice ST/HR que podrían ser evaluadas modificando el protocolo de Bruce. Estos aspectos no fueron tratados en este trabajo debido a las características de la muestra y al hecho que se propuso no perturbar el ambiente clínico, cosa que ocurre al modificar el protocolo. La pendiente ST/HR se puede calcular automáticamente usando el análisis de tendencias desarrollado en este trabajo.

Las fases siguientes a este trabajo están ligadas a la participación del cuerpo médico en la investigación para ampliar la base de datos y optimizar el clasificador utilizado. Así mismo, se propone el uso de esta técnica para el estudio de la reperfusión miocárdica y la determinación de la severidad de la EAC.

El método propuesto en este trabajo, para su futura aplicación rutinaria en el análisis de las pruebas de Esfuerzo, debe seguir siendo evaluado debido a que ha presentado una alta sensibilidad.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, D. y BRANDI, S. (1995). *Manual de Cardiología Clínica*. Caracas: Fondo Editorial Acta Científica.
- BAUNGARTNER, H. (1992). *Sistema Portátil para la Adquisición de Señale*, Trabajo de Grado, Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Pregrado de Ingeniería Electrónica.
- BOBBIO, M., DETRANO, R., SCHMID, J., JANOSI, A., RIGHETTI, A., PFISTERED, M., STEINBRUNN, W., GUPPY, K., ABI-MANSOUR, P., DECKERS, J., COLOMBO, A., LEHMANN, K. and OLSON, H. (1992). "Exercise Induced ST Suppression and ST/Heart Rate Index to Predict Triple-Vessel or Left Main Coronary Disease: A Multicenter Analysis". *The American College of Cardiology*, v. 19, n. 1, p.11-18
- BOSNJAK, A. (1993). *Filtraje Kalman Multiestado para el Análisis de Tendencias en Isquemia Cardíaca*, Tesis de Maestría, Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Postgrado de Ingeniería Electrónica

- KANSAL, S., ROITMAN, D., BRADLEY, E. and SHEFFIELD, T. (1983). "Enhanced Evaluation of Treadmill Test and Its Clinical Application: A Study of 608 Patients". *The American Journal of Cardiology*, v. 52, n. 10, p. 1155-1160.
- KLIGFIELD, P. and OKIN, P. (1986). "Evaluation of Coronary Artery Disease an improved method of exercise electrocardiography: The ST segment/heart rate slope". *American Heart Journal*, v. 112, n. 3, p. 589-598.
- KLIGFIELD, P. and OKIN, P. (1988). "Identification of Anatomically extensive coronary artery disease by the exercise ECG ST segment/heart rate slope", *American Heart Journal*, v. 115, n. 5, p. 1002-1011.
- KLIGFIELD, P. and OKIN, P. (1992). "Heart Rate Adjustment of ST Segment Depression: Is the Glass Half Empty or Half Full". *The American College of Cardiology*, v. 19, n. 1, p. 19-20
- OKIN, P., AMEISEN, O. and KLIGFIELD, P. (1986). "A Modified Treadmill Exercise Protocol for Computer Assisted Analysis of the ST Segment/Heart Rate Slope: Methods and Reproducibility". *Journal of Electrocardiology*, v. 31, n. 4, p. 311-318.
- OKIN, P., BERGMAN, G. and KLIGFIELD, P. (1991). "Heart Rate Adjustment of the Time Voltage ST Segment Integral: Identification of Coronary Disease and relation to Standard Heart Rate-Adjusted ST Segment Depression Criteria". *The American College of Cardiology*, v. 18, n. 6, p. 1487-1492.
- SIEVANEN, H., KARHUMAKI, L., VUORI, I. and MALMIVUO, J. (1994). "Compartmental Multivariate Analysis of Exercise ECGs for Accurate Detection of Myocardial Ischaemia". *The American College of Cardiology*, v. 32, p. s3-s8
- THWAITES, B., QUYUMI, A., RAPHAEL, M., CANEPA, R. and FOX, K. (1986). "Comparison of the ST/Heart Rate Slope with Modified Bruce Exercise Test in Detection of Coronary Artery Disease". *The American Journal of Cardiology*, v. 57, n. 10, p. 554-556
- WATANABE, K., BHARGAVA, V. and FROELICHER, V. (1980). "Computer Analysis of the Exercise ECG: A Review". *Progress in Cardiovascular Diseases*, v. 22, n. 6, p. 423-446.
- WONG, S. (1995). *Un Nuevo Enfoque Computarizado para la Detección de la Isquemia Miocárdica*, Tesis de Maestría, Universidad Simón Bolívar, Coord. de Ingeniería Electrónica.
- WONG, S., ALMEIDA, D., MORA, F. and PASSARIELLO, G. (1995), "Computerized Analysis of ST vs HR for assessing Myocardial Ischaemia in the Stress ECG", *Proc. 17th Annual Intern. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, Montreal, CD-ROM, 2p.

A NEW COMPUTERIZED APPROACH FOR ASSESSING MYOCARDIAL ISCHAEMIA

S. Wong¹, F. Mora², G. Passariello³, J. Silva⁴, D. Almeida⁵

ABSTRACT -- This work describes the conception, creation and evaluation of a methodology for ECG stress test analysis for myocardial ischaemia diagnosis. For evaluation purposes, a three channels database taken during a complete stress test was obtained at the Rehabilitation Unit of the Hospital Universitario de Caracas. This database consists of 73 records, divided into two groups, with 31 healthy subjects and 42 ischaemic patients. From the last group, 19 patients were correctly classified by the medical staff as pathologic while the other 23 were considered false positives using the traditional criterion based on ST segment deviation. The ECG signals were processed digitally to perform QRS detection, carry out classification and temporal alignment and average to measure ST-level deviation. From these measurements, ST-segment trend curves were constructed and a parameter extraction procedure was performed. The parameters extracted were: maximum ST-level deviation, maximum heart rate, Δ ST/HR Index and ST/HR slope for 5, 2 and 1 minutes. From discriminant analysis, it was concluded that the most sensitive parameters for the diagnosis were the maximum heart rate, the Δ ST/HR Index and the ST/HR slope (5 min). After application of the nearest mean criterion, using several combinations of these parameters, it was found that the best combination was the maximum heart rate and the Δ ST/HR Index, which allow a sensitivity of 78.5%, 33.4 % more than traditional diagnosis criteria.

Key-words: ECG Stress Test, Δ ST/HR Index, ST/HR Slope.

¹ Ayudante de Investigación.GBBA-USB, Apdo 89000, Caracas 1080A, Venezuela.

E-Mail: swong@gbba.usb.ve

² Profesor Titular, Dpto de Electrónica. USB. e-mail: fmora@gbba.usb.ve

³ Profesor Titular, Dpto de Electrónica. USB. e-mail: gpass@gbba.usb.ve

⁴ Profesor Agregado, Dpto de Electrónica. USB. e-mail: jesilva@gbba.usb.ve

⁵ Jefe del Servicio de Rehabilitación Cardíaca del Hospital Universitario de Caracas