

## Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en la monitorización ambulatoria del electrocardiograma y presión arterial

José Luis Palma Gámiz (coordinador), Antonio Arribas Jiménez, José Ramón González Juanatey, Emilio Marín Huerta y Eugenio Simarro Martín-Ambrosio

Sociedad Española de Cardiología.

En este artículo se hace una revisión histórica y una puesta al día, tanto desde un punto de vista tecnológico como clínico, de dos procedimientos de exploración dinámica del aparato cardiovascular de tanto interés médico como son el electrocardiograma de Holter y la monitorización ambulatoria de la presión arterial. En cada uno de los procedimientos se detallan las características técnicas y metodológicas de los equipos actuales, haciéndose énfasis en la normativa que debe regular dicha tecnología para que su fiabilidad diagnóstica sea máxima.

Basándose en los documentos científicos internacionales, así como en la experiencia de los propios autores, se detallan las indicaciones, aplicaciones y limitaciones de cada una de las técnicas adaptándolas a las capacidades operativas del sistema sanitario español. Nuevos desarrollos en electrocardiografía de Holter, como el QT dinámico o la variabilidad RR o la velocidad de la onda de pulso en monitorización ambulatoria de la presión arterial, son abordados con suficiente extensión, indicándose igualmente algunas directrices futuras que mejoren el rendimiento y su aplicación clínica.

**Palabras clave:** *Holter. Electrocardiografía dinámica. QT dinámico. Variabilidad RR. Arritmias. Hipertensión arterial. Monitorización ambulatoria de la presión arterial.*

(*Rev Esp Cardiol* 2000; 53: 91-109)

### Guidelines of the Spanish Society of Cardiology on Dynamic Electrocardiography and Ambulatory Blood Pressure Monitoring

In the present paper, a historical review and a clinical up-date are done on two procedures of great medical interest: Holter electrocardiography and ambulatory blood pressure monitoring. Technical and methodological characteristics of each procedure are carefully exposed, emphasizing each the lack of an international agreement in order to establish regulations that make all the equipment homogeneous and reliable in order to increase both accuracy and reliability in diagnosis.

Based on published international scientific documents and the personal experience of the authors, guidelines for clinical applications, indications and limitations of each technique are analyzed in relation to capacities of the Spanish political and social public health system profile. New concepts and dynamics of developments such as; dynamic QT, RR variability or pulse wave velocity are exposed, in the frame of the present time and future for improving efficiency and clinical application.

**Key words:** *Holter monitoring. Dynamic electrocardiography. Dynamic QT. RR variability. Arrhythmias. Hypertension. Ambulatory blood pressure monitoring.*

(*Rev Esp Cardiol* 2000; 53: 91-109)

## INTRODUCCIÓN

El registro del electrocardiograma ambulatorio durante períodos prolongados de la vida diaria fue introducido en cardiología por Norman J. Holter en 1961<sup>1</sup>. Desde entonces, esta técnica recibe el nombre de monitorización ambulatoria dinámica o ECG de Holter.

Ha tenido un considerable desarrollo tanto desde el punto de vista tecnológico como en sus aplicaciones clínicas, en particular en los últimos años.

En su inicio esta técnica se utilizaba sólo en el diagnóstico y en la caracterización de las arritmias cardíacas. Sus principales indicaciones eran correlacionar de forma objetiva los síntomas y las arritmias, conocer la gravedad, los mecanismos y las circunstancias que las determinaban y evaluar la eficacia del tratamiento con fármacos antiarrítmicos.

Posteriormente, los avances tecnológicos de los equipos permitieron obtener un registro adecuado y fiable del segmento ST, lo cual ha convertido el estudio de la isquemia miocárdica, en particular la que no

Correspondencia: Dr. J.L. Palma Gámiz.  
Servicio de Cardiología. Hospital Ramón y Cajal.  
Ctra. Colmenar, km. 9,100. 28034 Madrid.

se acompaña de síntomas (isquemia silente), en otra importante aplicación de la monitorización con Holter.

Desde la introducción de la electrocardiografía ambulatoria, se han desarrollado sistemas capaces de realizar diferentes tipos de análisis y formatos de informes, cada vez con menor peso y tamaño, pero conservando un alto nivel de fiabilidad de grabación<sup>2,3</sup>. Debido a las diferencias entre los sistemas de grabación, de análisis y de informe, en esta revisión se hace referencia únicamente a la electrocardiografía ambulatoria en sentido genérico, es decir, a la descripción general de los tipos de grabación más que a las características específicas de un sistema en particular.

Hay tres tipos básicos de grabación: grabación continua, grabación intermitente (eventos) y grabación analítica en tiempo real. Este último tipo examina el ECG de forma continua y analiza cada latido cuando ocurre<sup>2</sup>. Las grabadoras continuas tienen dos o más amplificadores y una cinta analógica para capturar de forma continua el ECG. Los amplificadores son semejantes a los utilizados en el electrocardiógrafo convencional, aunque la frecuencia de respuesta puede ser diferente del registro de 12 derivaciones estándar del ECG y variar entre los sistemas de ECG ambulatorio. En los sistemas de tiempo real, las señales ECG que llegan, en lugar de almacenarse en la cinta, son digitalizadas, codificadas y almacenadas en una memoria de estado sólido. Estos sistemas proporcionan un análisis inmediato del registro. De los tres, la grabación continua durante 24 o 48 h es el sistema que más se utiliza en la práctica clínica.

En esencia, la técnica de Holter consiste en un sistema capaz de registrar el ECG del individuo en movimiento, para su posterior visualización y análisis. Para ello se requiere disponer de un sistema de electrodos, una grabadora y un electrocardioanalizador, que constituyen el equipo básico de Holter<sup>4</sup>.

## Técnica de registro

### *Electrodos y derivaciones*

Dado que la técnica de Holter se basa en el registro del ECG durante largos períodos (por lo general 24 h) y con el paciente en movimiento, los requisitos fundamentales para que el registro tenga suficiente calidad y pueda ser interpretado posteriormente son disponer de electrodos adecuados, colocarlos de forma correcta y efectuar una preparación apropiada de la piel.

Los electrodos, fabricados de una aleación que contiene cloruro de plata, deben estar perfectamente aislados para evitar fugas y entradas de corriente. Por lo general se fijan a la piel con un disco adhesivo plastificado. Las zonas de la piel donde vayan a colocarse los electrodos deben prepararse de forma meticulosa. Para ello es necesario eliminar el vello, en caso de que exista, con una cuchilla y luego el estrato córneo de la piel

que actúa como un dieléctrico entorpeciendo la conducción. Este último paso suele realizarse frotando la piel con una goma de borrar. Para eliminar los detritos se limpia por último la zona con alcohol.

Con el fin de obtener un trazado electrocardiográfico de mejor calidad, los electrodos adhesivos deben colocarse sobre planos óseos. Tras su colocación se conectan las cabezas de los cables de cada electrodo, los cuales se sujetan a la piel mediante esparadrapo, y los 8-12 cm iniciales del cable se recogen en un bucle que también se fija a la piel para evitar que una tracción brusca movilice el electrodo y deteriore el trazado. Todos los extremos terminales de los electrodos se conectan a un cable terminal (cable-paciente) que se fija al tórax con esparadrapo y luego se conecta a la grabadora.

Para el registro de Holter se utilizan derivaciones bipolares y, por consiguiente, se requieren dos electrodos, uno positivo (explorador) y otro negativo para cada derivación, y, además, un electrodo indiferente para todas ellas<sup>4</sup>. La mayoría de los sistemas actuales permiten el registro de dos derivaciones bipolares. Por tanto, habitualmente se utilizan cinco electrodos (dos positivos, dos negativos y uno indiferente). Sin embargo, algunos sistemas sólo pueden registrar una derivación y otros permiten el registro de tres derivaciones.

La elección de las derivaciones y, por tanto, la colocación de los electrodos debe hacerse en función del proceso patológico del paciente y del propósito del estudio. Los electrodos negativos pueden colocarse debajo de una o de ambas clavículas o en el manubrio esternal. Los electrodos positivos o exploradores suelen colocarse en el plano anterior del tórax, en el lugar correspondiente a alguna de las derivaciones precordiales. Es habitual utilizar las derivaciones CM-V3 y CM-V5 o CM-V5 y CM-V6, que registran una buena señal del QRS y también del segmento ST si se desea estudiar cambios isquémicos. Sin embargo, si se quiere recoger una buena señal de la onda P, es a veces más conveniente cambiar una de estas derivaciones por CM-V1 o CM-V2.

### *Registradora*

Las registradoras constan de una grabadora en cinta magnética con un reloj acoplado y una fuente de energía que suele ser una pila normal. Cuando se utilizan sistemas de grabación continua mediante carretes o casetes convencionales de larga duración, se capta la señal eléctrica del ECG, que es registrada a una velocidad muy lenta (varía entre 25 y 177 mm/min). En la actualidad existen equipos comercializados de amplitud y frecuencia moduladas que cumplen con los requisitos mínimos necesarios<sup>4,8</sup> para realizar con fiabilidad el análisis del ST conforme a las especificaciones de la American Heart Association, que incluyen la posibilidad de realizar un análisis adecuado de señales de

alta y baja frecuencia entre 0,05 y 100 Hz. La validación del Holter para la detección de isquemia miocárdica mediante la realización de una prueba de esfuerzo simultánea también ha sido demostrada<sup>9</sup>.

Gracias a los avances tecnológicos han disminuido el tamaño y el peso de las grabadoras, y la mayoría de los nuevos modelos pesan menos de 250 g, lo que ofrece mayor comodidad para el paciente y permite la grabación incluso durante el ejercicio físico.

### *Electrocardioanalizador*

La electrocardiografía ambulatoria tiene la limitación, desde el punto de vista tecnológico, de producir una cantidad sustancial de datos que no son válidos debido a problemas técnicos inherentes a la grabación y al proceso analítico. Muchas de las posibles fuentes de error en los sistemas de análisis por ordenador son bastante complejas, y para llegar a tener experiencia en los aspectos técnicos de la electrocardiografía ambulatoria es necesario comprender los algoritmos del ordenador para la detección de los complejos QRS y su clasificación, así como los problemas asociados con la edición del análisis del ordenador.

El electrocardioanalizador consiste en un ordenador capaz de leer y reproducir los complejos QRS grabados en la cinta. La lectura suele realizarse a una velocidad al menos 60 veces el tiempo real, lo que significa que efectúa la lectura de una hora de grabación en un minuto. Los analizadores más antiguos permitían la reproducción de los complejos del ECG en un osciloscopio a esta velocidad y el operador podía, en caso de observar anomalías, reproducir en papel el registro.

En la actualidad, la mayoría de los electrocardioanalizadores disponen de un sistema de análisis automático capaz de clasificar mediante criterios morfológicos los complejos y ahorrar gran parte del trabajo del operador. Casi todos los aparatos proporcionan un informe automático de los siguientes parámetros:

*Ritmo cardíaco.* Total de complejos en 24 h y en cada hora, frecuencia máxima y mínima horaria y en las 24 h, en tendencia de frecuencias, histograma o de forma numérica.

*Análisis del segmento ST.* Alteraciones del segmento ST en forma de *trend* de 24 h, con cuantificación de sus ascensos o descensos en milímetros (esta medición se efectúa normalmente a 0,08 s del punto J). En la actualidad la mayoría de los sistemas de Holter registran de forma fiable los cambios del segmento ST.

*Recuento y clasificación de las arritmias ventriculares* en forma de histogramas o numérica. Muchos aparatos las clasifican en extrasístoles ventriculares aisladas, en parejas y en salvadas de taquicardia.

El problema del informe automático reside, por ejemplo, en la diferenciación de las extrasístoles de los artefactos. Por ello, a pesar de la facilitación del trabajo, el operador debe revisar cuidadosamente los resultados y corregir los errores que tienen todos los sistemas de análisis automático. Esta revisión puede llevarse a cabo en una pantalla o imprimiendo sobre el papel trazados del registro. Los equipos permiten, en general, la reproducción de los trazados electrocardiográficos a distintos tamaños y velocidades de papel. En las páginas comprimidas se reproduce el trazado a pequeña escala y a velocidad lenta del papel, con indicación de la hora y el minuto del registro, lo que permite imprimir y revisar un período de grabación de varios minutos y luego expandir a 25 mm/s y 1 cm/mV tiras del ECG, para un examen más preciso.

### *Diario del paciente*

Una de las funciones diagnósticas más importantes del Holter es determinar si los síntomas del paciente se corresponden con alteraciones en el ECG. Así, se ha podido demostrar que a menudo los síntomas que refieren los pacientes en la consulta no se corresponden con arritmias y, a la inversa, que muchas arritmias, en ocasiones graves, son asintomáticas. Cuando la presencia de síntomas se corresponde con alteraciones en el ECG de Holter, el diagnóstico y la orientación terapéutica están en gran parte resueltos. En otras ocasiones se consigue determinar las situaciones o actividades que pueden desencadenar la aparición de arritmias.

Pero para que esta correlación del ECG con los síntomas sea posible, es necesario instruir correctamente a los pacientes sobre la prueba. Se les debe indicar que lleven una vida normal y que anoten en forma detallada en un diario la aparición de cualquier síntoma (palpitaciones, mareo, disnea, dolor precordial, etc.), y las actividades que realicen durante el tiempo de grabación (dormir, pasear, leer, hacer ejercicio, etc.) y la hora en que esto sucede. Sin el diario del paciente no sería posible determinar si los síntomas se corresponden con las arritmias registradas o si son independientes de ellas.

## **REQUERIMIENTO Y EQUIPAMIENTO DE LA MONITORIZACIÓN AMBULATORIA DE ECG Y PRESIÓN ARTERIAL. APLICACIÓN CLÍNICA**

### **Indicaciones y limitaciones**

En la actualidad se dispone de sistemas portátiles, que no interfieren con la actividad diaria del paciente y que permiten la obtención de un registro eléctrico completo con una gran definición del trazado. Por otro lado, la capacidad de obtener registros no continuos, puestos en marcha por el paciente o el desarrollo de un trastorno del ritmo, así como la posibilidad

de realizar un análisis del registro en tiempo real, además de mejorar las prestaciones de la técnica, reducen el tiempo requerido para la obtención de un informe fiable. De todos modos, la electrocardiografía de Holter, tanto en los sistemas de registro como análisis, es una técnica en la que se están produciendo continuos avances<sup>10,11</sup>.

Desde su utilización clínica inicial para el diagnóstico de los trastornos del ritmo cardíaco que se acompañan de síntomas (taqui y bradiarritmias), la técnica ha experimentado una amplia difusión en los distintos campos de la enfermedad cardiovascular. Se emplea de forma rutinaria en la valoración ambulatoria de la isquemia miocárdica, tanto silente como sintomática (cambios en el segmento ST-T), análisis de parámetros con implicaciones pronósticas de complicaciones cardiovasculares futuras (variabilidad del RR, dispersión dinámica del intervalo QT, etc.), valoración de la eficacia del tratamiento antiisquémico y antiarrítmico, etc. Estas aplicaciones proporcionan datos para conocer la génesis, mecanismos de producción o presencia sostenida de un trastorno del ritmo específico<sup>10,11</sup>.

Recientemente se han desarrollado sistemas que combinan el registro electrocardiográfico con la determinación ambulatoria de la presión arterial (Holter combinado) que permiten una más adecuada valoración de la fisiopatología de los cambios eléctricos indicativos de isquemia miocárdica y trastornos del ritmo.

Esta expansión de las posibles indicaciones clínicas de la técnica, con análisis de componentes de la señal del ECG que abarca más que la simple identificación de los trastornos del ritmo cardíaco, obliga a realizar una precisa estandarización de la misma teniendo en cuenta el valor predictivo de los diferentes signos eléctricos. Este aspecto adquiere especial relevancia, ya que de forma frecuente se emplea la técnica para establecer determinadas intervenciones terapéuticas o se obtienen implicaciones pronósticas de sus resultados. Para ser de auténtica utilidad clínica, en primer lugar, deberán establecerse los límites de normalidad de los resultados; su valor predictivo dependerá de su sensibilidad y especificidad, y de la prevalencia de la enfermedad en la población a estudiar. Por tanto, el análisis de sus datos debe realizarse teniendo en cuenta las limitaciones del método, características técnicas del dispositivo empleado, período de examen y significado de los resultados teniendo en cuenta el tipo de población estudiado. Después de tres décadas de experiencia clínica con la técnica de Holter se ha demostrado que constituye una de las pruebas para el diagnóstico clínico con mejor coste-efectividad en la valoración de las arritmias cardíacas (sintomáticas y asintomáticas), en la valoración pronóstica o estratificación del riesgo de diversos grupos de pacientes y en la evaluación de diversas modalidades de tratamiento cardiovascular (arritmias, isquemia, etc.)<sup>12</sup>.

## EMPLEO CLÍNICO DE LA ELECTROCARDIOGRAFÍA AMBULATORIA. ASPECTOS FISIOPATOLÓGICOS

### Valoración clínica de las arritmias cardíacas

Desde una perspectiva clínica, en la fisiopatología de las arritmias cardíacas deben considerarse tres determinantes: sustrato, desencadenantes y factores moduladores<sup>13,14</sup>. El sustrato suele ser una alteración estructural del miocardio ventricular que facilita la reentrada. Los desencadenantes eléctricos (latidos ectópicos) se consideraron los determinantes del desarrollo de arritmias fatales y no fatales, sin embargo en la actualidad se consideran sólo uno de los componentes fisiopatológicos de las arritmias, no siempre precisos. Los factores moduladores (balance autonómico, equilibrio electrolítico, isquemia, factores hormonales, toxinas, etc.) pertenecen a una constelación de factores fisiopatológicos o fisiológicos que determinan que en un determinado momento la interacción del sustrato con los desencadenantes posibilite la aparición de una arritmia concreta. Las técnicas que nos permiten aproximarnos al conocimiento del continuo cambio en el balance del sistema nervioso autónomo son un tema de la máxima actualidad que nos ofrecerá resultados aplicables a la mayoría de los pacientes.

Hace varias décadas se planteó el concepto de los «desencadenantes» (extrasístoles ventriculares) como los principales responsables de las arritmias cardíacas. La capacidad de la electrocardiografía ambulatoria para analizar el registro eléctrico cardíaco durante un largo período de tiempo y utilizar sus datos con fines diagnósticos y pronósticos fueron los principales responsables de la difusión clínica de la técnica. Por otro lado, el reconocimiento de que eran taquicardias ventriculares que desencadenaban fibrilación ventricular las responsables de la mayoría de los casos de muerte súbita, además de potenciar el empleo clínico de la electrocardiografía ambulatoria, permitió el desarrollo de técnicas invasivas que permitieran un mejor conocimiento de los mecanismos y posibilidades terapéuticas de dichas arritmias.

Existen algunos aspectos a considerar en la relación entre electrocardiografía ambulatoria y técnicas electrofisiológicas invasivas. En la valoración de la génesis de las arritmias la electrocardiografía ambulatoria, en la opinión de muchos médicos, ha perdido una cierta relevancia ya que los resultados obtenidos sobre los «desencadenantes» no han mostrado un valor predictivo clínico importante en el estudio clínico de pacientes con riesgo de desarrollar arritmias ventriculares complejas. Es más, la constatación del potencial proarrítmico de los fármacos antiarrítmicos y los resultados del estudio Cardiac Arrhythmia Suppression Trial (CAST) indican que la supresión con fármacos antiarrítmicos de los impulsos ectópicos ventriculares («desencadenantes») no garantiza una reducción del



riesgo de muerte de origen arrítmico<sup>15</sup>. Estos hechos fueron los responsables del debate planteado en la década de los 80 acerca de qué método de estudio y modalidad terapéutica derivada de sus resultados era la mejor estrategia para los pacientes: electrocardiografía ambulatoria o estudios electrofisiológicos.

Este debate tuvo su reflejo en el estudio *Electrophysiological Study Versus Electrocardiographic Monitoring (ESVEM)* que fue el primer estudio prospectivo y aleatorizado designado para determinar cuál de las dos técnicas, electrocardiografía de Holter o los estudios electrofisiológicos, empleadas para la elección del tratamiento antiarrítmico, era la mejor para predecir el pronóstico a largo plazo en pacientes con taquiarritmias ventriculares malignas o síncope que presentaban arritmias ventriculares frecuentes y taquicardia ventricular inducible. En este estudio la electrocardiografía ambulatoria complementada con ergometría predecía mejor, y a menor coste, la eficacia terapéutica. Además, el valor predictivo de la electrocardiografía de Holter era equivalente al de los estudios electrofisiológicos. Por tanto, tanto la electrocardiografía ambulatoria como la prueba de esfuerzo probaban su eficacia en la guía de tratamiento antiarrítmico de pacientes con arritmias ventriculares malignas con una excelente relación coste-efectividad<sup>16</sup>.

Con posterioridad a los resultados del estudio *ESVEM*, en la década de los 90, se confirmó que la presencia aislada de «desencadenantes» o un «sustrato» constituido por un miocardio alterado no eran suficientes en la mayoría de los pacientes para el inicio de arritmias cardíacas; este fenómeno revitalizó el papel de la electrocardiografía ambulatoria en la valoración de una gran variedad de factores fisiopatológicos y fisiológicos que podrían actuar como «moduladores» imprescindibles para el desarrollo de una arritmia concreta. Los más habituales son la presencia de isquemia miocárdica, variabilidad de la frecuencia cardíaca y cambios en la repolarización ventricular. La electrocardiografía ambulatoria, además de identificar los potenciales «desencadenantes» (ventriculares o supraventriculares), puede aportarnos información, durante largos períodos de tiempo, sobre la existencia de un sustrato miocárdico favorable (potenciales tardíos fraccionados observados mediante ECG de alta resolución), existencia de «moduladores» como isquemia miocárdica (cambios del segmento ST-T), alteraciones de la repolarización (cambios en el intervalo QT o QU) o desbalances autonómicos (análisis de los cambios R-R que nos permiten aproximarnos a la variabilidad de la frecuencia cardíaca).

Por otro lado, los resultados de estudios recientes en pacientes con arritmias ventriculares malignas asociadas o no a cardiopatía estructural (cardiopatía isquémica e insuficiencia cardíaca) indican la superioridad del desfibrilador implantable frente a fármacos antiarrítmicos (amiodarona y sotalolol)<sup>17</sup>.

Estas consideraciones enfatizan la importancia clínica actual de la técnica en la valoración de las arritmias cardíacas.

### **Valoración de la isquemia miocárdica (cardiopatía isquémica)**

La mejora en los sistemas de registro ha posibilitado la obtención de un trazado electrocardiográfico completo (dos o más canales) que nos permite una adecuada valoración eléctrica durante un largo período de tiempo, que incluye las diferentes fases de la actividad diaria de los pacientes.

Mediante la técnica es posible aproximarnos al conocimiento de la carga isquémica total durante el período de registro (24 o 48 h), conocer su fisiopatología, características clínicas y valoración de la eficacia terapéutica. Sin embargo, para una correcta interpretación de sus resultados debemos prestar especial atención a las características del registro y conocer su comportamiento ante situaciones, como el cambio de posición y la hiperventilación, que pueden modificarlo. Existen otras situaciones que pueden afectar a la configuración del intervalo ST y, aunque pueden representar auténtica isquemia miocárdica, deben distinguirse de lo que conocemos como «isquemia»; en ellas se incluyen la taquicardia, hipertensión arterial, hipertono simpático, cambios en la geometría ventricular izquierda, alteraciones de la conducción intraventricular y modificaciones del valor plasmático de algunos fármacos. En estos casos las características de la población estudiada (probabilidad pretest de cardiopatía isquémica) desempeñan un papel crítico en la indicación de la técnica e interpretación de los resultados. Debemos considerar como isquémicas tan sólo a depresiones del segmento ST de al menos 1 mm y duración prolongada (al menos 2 min).

Además podemos conocer el número e intensidad de los episodios isquémicos sintomáticos (representan la punta del «iceberg» de la carga isquémica total) y asintomáticos, aportando una información complementaria a la obtenida con la prueba de esfuerzo<sup>18</sup>.

Los determinantes de la isquemia miocárdica incluyen, por un lado, factores relacionados con el consumo de oxígeno por el corazón y, por otro, características del flujo coronario; así, la isquemia puede presentarse en situaciones de incremento de la demanda tisular de oxígeno (ejercicio), reducción de la oferta (aterosclerosis, vasospasmo) y frecuentemente por un mecanismo mixto (incremento de la demanda en una situación de oferta reducida)<sup>19</sup>. La electrocardiografía ambulatoria nos permite aproximarnos, en la vida diaria del paciente, a las características de la isquemia en situaciones de demanda incrementada (asociada a taquicardia, hipertensión e hipercontractilidad) o reducción de la oferta (isquemia sin cambios en los determinantes del consumo miocárdico de oxígeno), aspecto difícil de

valorar con la pruebas de sobrecarga. Nos permite también conocer el perfil circadiano de la isquemia (típica concentración matutina de los episodios) y la eficacia terapéutica, en especial la capacidad de los fármacos para reducir la isquemia en los momentos de máximo riesgo. En estos casos sería de cierta utilidad la realización de un Holter combinado (monitorización ambulatoria del ECG y presión)<sup>19-21</sup>.

Aunque la isquemia asintomática podría presentar *per se* implicaciones pronósticas y su reducción, e incluso su eliminación, con fármacos, podrían mejorarla, no existen datos concluyentes en este sentido. Tan sólo un estudio que empleó atenolol como fármaco antiisquémico ha demostrado, en un reducido número de pacientes, reducir las complicaciones cardiovasculares durante el seguimiento.

En la actualidad la utilización de la electrocardiografía ambulatoria para la valoración de la isquemia miocárdica debe plantearse como complementaria de las pruebas de esfuerzo (ECG y/o isótopos radiactivos).

### Valoración del intervalo QT mediante electrocardiografía ambulatoria

Conocemos la relación entre la duración del intervalo QT (duración de la despolarización y repolarización ventriculares) y el riesgo de desarrollar arritmias graves en una amplia proporción de patologías cardiovasculares e incluso en individuos sanos<sup>22</sup>. Desde la década de los 80 se ha desarrollado la instrumentación electrocardiográfica y diseñado algoritmos que permiten la detección y medición del intervalo QT en el ECG ambulatorio; sin embargo, debe destacarse que en la actualidad su empleo se limita al campo de la investigación clínica. Desde un punto de vista técnico, la mayor dificultad estriba en la identificación del final de la onda T debido a la baja frecuencia de sus componentes; los algoritmos suelen emplear como referencia la línea de base, la primera derivada o algún nivel umbral. Sin embargo, falta por conocer la validez clínica de los diferentes algoritmos de medida del QT, aunque es de suponer un incremento en el número de estudios clínicos sobre el tema en un futuro próximo<sup>22,23</sup>.

La medida automatizada del intervalo QT con ajustes para la variabilidad de la frecuencia cardíaca y hora del día, en combinación con otras técnicas (tabla basculante), nos proporcionarán mejores formas de evaluar los mecanismos implicados en la repolarización e intervalo QT.

Aunque se escapa al objetivo de este artículo, existen múltiples factores que modifican la duración del intervalo QT, con una variabilidad circadiana del mismo afectada por el sexo, la hora del día y la frecuencia cardíaca, aunque no por la edad; más aún, existe una variabilidad latido a la latido y durante las 24 h del día de dicho intervalo. En individuos normales, la variabilidad espontánea del QT durante un período estable de

24 h es de 76 – 19 ms, con un 5% de sujetos con valores de QTc superiores a 500 ms.

### Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca mediante electrocardiografía ambulatoria

La valoración de la variabilidad de la frecuencia cardíaca constituye un parámetro, obtenido de forma no invasiva, de gran utilidad para la valoración de la actividad del sistema nervioso autónomo, que permite aproximarnos a conocer el grado de neuropatía autonómica cardiovascular que acompaña a diversas situaciones patológicas.

La actividad de los diferentes componentes del sistema nervioso autónomo participa en la génesis de diferentes arritmias; la hiperactividad simpática desciende el umbral para la fibrilación ventricular y, por el contrario, el hipertono vagal lo incrementa y parece prevenir el desarrollo de arritmias ventriculares malignas. Diferentes estudios que han analizado la variabilidad de la frecuencia cardíaca como medida no invasiva del balance autonómico han aportado una información valiosa sobre la arritmogénesis en diferentes patologías<sup>24,25</sup>.

Los dos métodos empleados para su cálculo requieren una adecuada determinación de la onda R; desde la década de los 80 hemos asistido a una explosión de estudios que utilizan la electrocardiografía ambulatoria para el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en pacientes con infarto de miocardio, insuficiencia cardíaca congestiva, trasplante cardíaco, hipertensión, prolapso valvular mitral, enfermedades neurológicas, neuropatía diabética, insuficiencia renal y tras la administración de ciertos fármacos<sup>25</sup>.

Además de problemas metodológicos en la medida de la variabilidad de la frecuencia cardíaca con los dispositivos comerciales disponibles, así como la necesidad de disponer de valores de referencia para los diferentes grupos de población, es necesario que estudios prospectivos determinen la sensibilidad, especificidad y valor predictivo de los diferentes parámetros que miden la variabilidad de la frecuencia cardíaca en relación con la mortalidad y morbilidad de diferentes grupos de pacientes<sup>26</sup>.

Hasta la actualidad, las diferentes Sociedades médicas consideran la determinación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca como un método de investigación clínica y todavía no como un método clínico de rutina. Sin embargo, a partir del rápido desarrollo tecnológico es probable que su determinación constituya, en un futuro próximo, un parámetro de gran valor clínico.

### Análisis de marcapasos y desfibriladores implantables

El gran desarrollo actual de los sistemas de estimulación cardíaca y la mejora tecnológica e incremento en la

utilización de los desfibriladores implantables hace necesaria la creación de unidades especializadas para el control de los pacientes portadores de dichos dispositivos. En dichas unidades la información aportada por la tecnología de Holter de los dispositivos desempeña un importante papel en el análisis del funcionalismo de dichos dispositivos. Además de proporcionar información sobre sus posibles problemas de funcionamiento (fallos de captura y sensado, bloqueo de salida, número de estímulos y número de latidos estimulados, etc.) nos proporciona información sobre el ritmo propio del paciente y la existencia de arritmia. Aunque la mayoría de los marcapasos multiprogramables proporcionan algún tipo de información sobre el ritmo del paciente, no permiten disponer de una correlación cronológica de los resultados, ni con la actividad o sintomatología de los pacientes, factores que limitan su utilidad en su seguimiento<sup>27,28</sup>.

La mayoría de los desfibriladores implantables permiten el almacenaje del electrograma intracardíaco antes del proceso de cargado, durante la confirmación e inmediatamente después de la descarga. El almacenado, con resolución adecuada, del electrograma durante largos períodos de tiempo requiere memorias sólidas mayores que las actualmente disponibles<sup>29</sup>.

### **Electrocardiografía ambulatoria de alta resolución**

Aunque se han descrito técnicas innovadoras que permiten el registro y análisis ambulatorio de electrocardiogramas de alta resolución, estos métodos se encuentran en una fase inicial de desarrollo, por lo que serán necesarios importantes avances técnicos, consensuar definiciones y conocer la sensibilidad, especificidad y valor predictivos de la información proporcionada por la técnica en diferentes grupos de pacientes<sup>30,31</sup>. Los Task Force Committee de la Sociedad Europea de Cardiología, de la American Heart Association y del American College of Cardiology para la realización de electrocardiografía de alta resolución han concluido que en la actualidad no es posible elaborar una guías de utilidad clínica<sup>32</sup>. Aunque deben considerarse técnicas de investigación clínica, es fácil vislumbrar un prometedor futuro a esta aplicación de la electrocardiografía ambulatoria.

### **INDICACIONES CLÍNICAS DE LA MONITORIZACIÓN AMBULATORIA DEL ELECTROCARDIOGRAMA**

En el «Guidelines for Ambulatory Electrocardiography» publicado en enero de 1989 por el American College of Cardiology (ACC) y la American Heart Association (AHA) (ACC/AHA)<sup>33</sup> se recogen diferentes categorías para establecer la indicación clínica del registro de Holter que creemos útiles en clínica. Estas indicaciones se dividen en:

*Clase I.* Condiciones para las que (o pacientes en los que) existe un acuerdo general de que el registro ambulatorio del ECG aporta una información útil y fiable.

*Clase II.* Condiciones en las que (o pacientes en los que) se emplea de forma habitual la monitorización ambulatoria del ECG, aunque existen opiniones divergentes sobre su utilidad.

*Clase III.* Condiciones en las que (o pacientes en los que) existe un acuerdo general sobre la no utilidad del registro ambulatorio del ECG.

Creemos que las diferentes indicaciones para el empleo de la técnica no deben interpretarse de una forma rígida. Es necesario adaptarlas a las características particulares de los diferentes centros. Sin embargo, pensamos que es siempre imprescindible establecer un protocolo de indicaciones que impida distorsiones indeseables, siempre con la idea de buscar la óptima relación coste-eficacia. En esta línea, deben distinguirse indicaciones con utilidad clínica probada de aquellas con propósitos de investigación. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que sólo a través de estas últimas podremos hacer progresar nuestro conocimiento clínico.

### **INDICACIONES CLÍNICAS PARA LA ELECTROCARDIOGRAFÍA AMBULATORIA**

#### **Valoración de los síntomas que pueden deberse a trastornos del ritmo cardíaco**

Es la primera indicación y generalmente la más aceptada para indicar un estudio de Holter, aunque la ausencia de arritmias significativas durante un registro en pacientes que no experimentaron síntomas durante el período de examen es de escaso valor. Por otro lado, debemos ser cuidadosos en la interpretación de las arritmias asintomáticas registradas. La ausencia de trastornos del ritmo durante un episodio sintomático es de gran valor clínico.

De todas formas, no debemos olvidar que esta técnica forma parte de las pruebas complementarias que deben indicarse para completar la información obtenida mediante la historia clínica y pruebas clínicas más sencillas.

*Clase I.* Síncope, mareos y palpitaciones (en pacientes con cardiopatía clínicamente evidente).

*Clase II.* Breves episodios de fatiga y dolor torácico de presentación episódica que sugiere relación con trastorno del ritmo.

*Clase III.* Otros síntomas sin relación con trastornos del ritmo.

#### **Valoración del riesgo en pacientes con o sin síntomas de arritmias**

*Clase I.* Pacientes con miocardiopatía hipertrófica con o sin síntomas: pacientes postinfarto de miocardio con disfunción sistólica ventricular izquierda.

*Clase II.* Pacientes con coronariopatía estable o sometidos a cirugía de revascularización miocárdica o angioplastia con datos clínicos de disfunción ventricular o arritmias: pacientes con síndrome de Wolf-Parkinson-White; pacientes con QT prolongado; pacientes con vasculopatía aórtica y síntomas indicativos de arritmias; pacientes con miocardiopatía dilatada y síntomas indicativos de arritmias.

*Clase III.* Pacientes con coronariopatía estable sin datos clínicos de disfunción ventricular o arritmias; individuos con prolapso valvular mitral asintomático; en cardiopatas asintomáticos antes de iniciar un programa de entrenamiento físico; para la valoración del riesgo arrítmico en personas con trabajos que impliquen responsabilidad sobre otras personas (p. ej., pilotos de aviones comerciales).

### **Valoración de la eficacia del tratamiento antiarrítmico**

La utilización de la electrocardiografía ambulatoria para la valoración de la eficacia antiarrítmica es un tema controvertido, es más, la mayoría de los criterios empleados para realizar dicha valoración son arbitrarios.

*Clase I.* Pacientes con complejos ventriculares prematuros de alta densidad, mantenidos, sintomáticos y reproducibles, arritmias supraventriculares o taquicardias ventriculares con las mismas características.

*Clase II.* Para determinar el control arrítmico en pacientes con fibrilación auricular esporádica o revertida a ritmo sinusal; pacientes con complejos ventriculares prematuros de frecuencia y complejidad variable o salvas de arritmias supraventriculares o ventriculares; pacientes con síndrome de Wolf-Parkinson-White; para la valoración de los efectos proarrítmicos; para la valoración de taquicardias, bradicardias o trastornos de la conducción relacionados con la administración de fármacos.

### **Valoración de la función de marcapasos**

*Clase I.* Síntomas paroxísticos en pacientes con marcapasos y desfibriladores implantados; diagnóstico de la inhibición por miopotenciales; diagnóstico de la taquicardia mediada por marcapasos; análisis del funcionamiento de los marcapasos antitaquicardia; análisis de los sistemas con frecuencia variable.

*Clase II.* Estudio rutinario en los pacientes con marcapasos; estudio de la estimulación y sensado inmediatamente tras la implantación de marcapasos uni o bicamerales; estudio del tiempo estimulado durante las 24 h.

*Clase III.* Estudio de los fallos del sistema de estimulación identificados mediante electrocardiografía

convencional o sistemas de evaluación del marcapasos.

### **Valoración de la isquemia miocárdica**

*Clase I.* Pacientes con dolor torácico indicativo de angina de Prinzmetal; pacientes sintomáticos en los que es imposible la realización de una prueba de esfuerzo.

*Clase II.* Hipertensos con hipertrofia ventricular izquierda documentada y episodios de hipotensión (valorar la posibilidad de realizar Holter combinado); pacientes postinfarto de miocardio con complejos ventriculares prematuros; pacientes con angina crónica estable para valorar la eficacia del tratamiento antiisquémico.

*Clase III.* Pacientes con dolor torácico típico con factores de riesgo de aterosclerosis; pacientes con dolor torácico atípico con factores de riesgo de aterosclerosis; pacientes con dolor torácico atípico sin factores de riesgo de aterosclerosis; estudio de la isquemia miocárdica en sujetos asintomáticos con factores de riesgo de aterosclerosis; estudio de la isquemia miocárdica en sujetos asintomáticos sin factores de riesgo de aterosclerosis; de rutina tras un infarto de miocardio; de rutina en pacientes revascularizados (cirugía o angioplastia); pacientes incluidos en un programa de rehabilitación.

## **VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA**

### **Patrones de medida, interpretación fisiopatológica y uso clínico**

En las dos últimas décadas hemos conocido la relación entre el sistema nervioso autónomo y la mortalidad cardiovascular, incluyendo la muerte súbita. Evidencias experimentales de la asociación entre la probabilidad de tener arritmias malignas y el incremento de tono simpático o la disminución del tono vagal, han estimulado a desarrollar marcadores cuantitativos de la actividad del sistema nervioso autónomo.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) representa uno de los más prometedores marcadores. La aparente facilidad de esta medida ha popularizado su uso; sin embargo, la importancia y significado de diferentes medidas de la VFC son más complejas y pueden inducir conclusiones incorrectas o extrapolaciones infundadas.

Aunque el nombre de variabilidad de la frecuencia cardíaca implica una medida de la frecuencia cardíaca, el término es engañoso. La VFC es la medida de la variación de un ciclo cardíaco normal al siguiente latido normal. No debe ser confundida con la frecuencia cardíaca media u otras medidas del registro electrocardiográfico ambulatorio.



## MEDIDAS DE VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA

### Métodos en el dominio del tiempo (tabla 1)

Los métodos e índices utilizados en el dominio del tiempo se basan en la cuantificación de las variaciones de la duración de los ciclos cardíacos o de la frecuencia cardíaca durante intervalos de tiempo seleccionados.

Con este método se determinan en un momento del tiempo los intervalos entre latidos sucesivos normales o la frecuencia cardíaca instantánea. En un registro continuo de ECG, se detecta cada complejo, y se determinan los intervalos NN (todos los intervalos entre complejos QRS adyacentes resultantes de despolarizaciones sinusales).

#### Métodos estadísticos:

- SDNN.
- SDANN.
- RMSSD.
- SDNN índice.
- SDD.
- NN50.
- PNN50.

#### Métodos geométricos:

- Índice triangular de la VFC.

### Métodos en el dominio de la frecuencia

Representa otro método de describir los fenómenos rítmicos, la expresión en términos de frecuencia, es decir, cuántos ciclos de un determinado suceso ocurren en un período de tiempo determinado. Habitualmente se usa la unidad Herz para medir la frecuencia, un ciclo por segundo, y se abrevia Hz. Si la frecuencia cardíaca fuera de 72 lat/min fija, entonces sería 1,2 Hz; como habitualmente es variable, seremos capaces de registrar múltiples frecuencias en cada estudio (componentes o espectros de frecuencias).

Existen varios métodos por los que se descompone una señal (la serie temporal determinada por los ciclos cardíacos consecutivos) en los componentes periódicos que la forman, cuantificando la magnitud de cada una de las frecuencias constituyentes. Los componentes quedan agrupados en una banda o espectro en donde se delimitan aquellos componentes asociados a variaciones originadas por la respiración (modulación respiratoria de la actividad vagal) que habitualmente están comprendidos entre 0,40 y 0,15 Hz (variaciones que se repiten cada 2,5 a 6,6 s), así como componentes de menor frecuencia, alrededor de 0,1 Hz (variaciones cíclicas que se repiten cada 10-20 s) originados conjuntamente por los sistemas simpático y parasimpático. Si la duración de los registros lo permite, pueden obtenerse componentes del espectro de frecuencias todavía menores, es decir, las

TABLA 1. Parámetros para las medidas estadísticas de la variabilidad RR

Variable	Unidades	Descripción
<i>Medidas estadísticas</i>		
SDNN	ms	Desviación estándar de todos los intervalos RR
SDAN	ms	Desviación estándar de la media de los intervalos RR, medidos cada 5 min durante todo el registro
RMSSD	ms	Raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias entre intervalos RR elevados al cuadrado.
SDNN índice	ms	Media de las desviaciones estándar de todos los intervalos RR en todos los segmentos de 5 min durante el registro
SDD	ms	Desviación estándar de las diferencias entre latidos adyacentes RR normales
NN50 cont	%	Número de pares de intervalos RR adyacentes con diferencias inferiores a 50 ms en registro entero. Tres variantes son posibles contando todos los intervalos RR en parejas o sólo los pares en los cuales el primer o segundo intervalo es más largo
PNN50	%	NN50 dividido por el número total de intervalos RR
<i>Medidas geométricas</i>		
Índice triangular de VFC		Número total de intervalos RR dividido por la altura del histograma de todos los intervalos NN medidos en una escala discreta con bins de 78.125 ms (1/128 s) (fig. 1)

que corresponden a variaciones cíclicas que se repiten con intervalos de tiempo mayores (minutos u horas) y que corresponden a frecuencias del espectro inferiores a 0,01 Hz<sup>34,35</sup>.

El análisis espectral (*Power spectral density*: PSD) solamente se puede obtener mediante algoritmos matemáticos. Los métodos para calcular el PSD pueden ser generalmente clasificados como no paramétricos y paramétricos. En ambos casos se asume que las condiciones de la señal son estacionarias.

Las ventajas de los métodos no paramétricos son la simplicidad del algoritmo empleado (transformada rápida de Fourier en la mayoría de los casos) y alta velocidad de procesamiento, mientras que las ventajas de los métodos paramétricos son que pueden distinguirse componentes espectrales independientemente de la frecuencia de banda seleccionada, y fácil procesamiento de espectro de frecuencias con cálculo automático de los componentes de alta y baja frecuencia con fácil identificación de la frecuencia central de cada componente y una estimación segura del PSD incluso en un número pequeño de muestras en las que la señal se mantiene estacionaria.

Ambos proporcionan resultados equiparables.

### Componentes espectrales

– Registros cortos: tres principales componentes espectrales se distinguen en un análisis realizado en un corto tiempo de 2 a 5 min<sup>36-38</sup>: componentes de muy baja frecuencia (VLF), de baja frecuencia (LF) y de alta frecuencia (HF). La medida de estos tres componentes habitualmente se hace en valores absolutos de potencia ( $ms^2$ ). Los valores de LF y HF también pueden darse en unidades normalizadas (nu)<sup>39,40</sup> que representan el valor relativo de cada uno de los componentes en proporción al valor total del componente VLF.

– Registros en tiempos prolongados. El análisis espectral puede también ser usado para analizar la secuencia de los intervalos NN durante un período de 24 h. El resultado entonces incluye un componente de frecuencia ultrabaja (ULF), además de los componentes de VLF, LF y HF<sup>41</sup>.

– En la tabla 2 se señalan las medidas obtenidas en el dominio de la frecuencia en registro de 24 h.

### REQUISITOS DE LOS REGISTROS

Para disminuir los errores causados por diseños inadecuados o técnicas usadas incorrectamente se aconsejan los siguientes puntos<sup>42</sup>:

1. El equipo de ECG debería satisfacer el estándar industrial en términos de relación señal/ruido, etc.
2. Las grabadoras de memoria sólida usadas deberían permitir reconstruir las señales sin amplitud y sin distorsión.
3. Se deberían usar dos tipos de registros cuando sea posible: registros cortos de 5 min hechos en condiciones fisiológicas estables y analizados con las medidas en el dominio de la frecuencia y registros de 24 h analizados con las medidas en el dominio del tiempo.
4. Cuando se usan registros de ECG prolongados en estudios clínicos los sujetos individualmente deberían ser hechos en condiciones y ambiente bastante similares.
5. Cuando se usan métodos estadísticos en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, la señal debería ser cuidadosamente editada usando la corrección manual de los intervalos RR y la clasificación de los complejos QRS.

### CORRELACIONES FISIOLÓGICAS CON LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA

La actividad vagal es el mayor contribuyente al componente de alta frecuencia (HF). No existe acuerdo con respecto al componente de baja frecuencia (LF). Algunos estudios sugieren que la LF, cuando se expresa en unidades normalizadas, es un marcador cuantitativo de las modulaciones del simpático; otros estudios ven la LF como reflejo de la actividad vagal y

TABLA 2. Medidas en el dominio de la frecuencia en un registro de 24 h

Espectro total	$ms^2$	Variancia de todos los intervalos NN	< 0,4 Hz (total power)
ULF	$ms^2$	Rango de ultrafrecuencia	< 0,003 Hz
VLF	$ms^2$	Rango de muy baja frecuencia	0,003-0,04 Hz
LF	$ms^2$	Rango de baja frecuencia	0,04-0,15 Hz
HF	$ms^2$	Rango de alta frecuencia	0,15-0,4 Hz

simpática. En consecuencia, la relación LF/HF es considerada por algunos investigadores el reflejo del balance simpático/vagal.

Es importante reflejar que la VFC mide las fluctuaciones en tono autonómico del corazón más que la media del nivel autonómico. De esta manera, tanto la supresión como los altos niveles de actividad simpática, llevan a una disminución de la VFC<sup>43</sup>.

### Cambios de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en diversas enfermedades

Una disminución de la VFC se encuentra en varias enfermedades cardíacas y no cardíacas.

#### Infarto agudo de miocardio

Una disminución de la VFC después de un IAM puede reflejar un descenso de la actividad vagal sobre el corazón que conduce a un predominio de la actividad simpática y a la inestabilidad eléctrica. Durante la fase aguda del IAM, la disminución en 24 h del SDNN está significativamente relacionada con la disfunción ventricular izquierda, el pico de CPK y la clase de Killip<sup>44</sup>. El análisis espectral de la VFC en supervivientes de un IAM revela una disminución en el componente total y en los componentes individuales del poder espectral. Sin embargo, cuando el poder espectral de LF y HF se calcula en unidades normalizadas, hay un aumento de LF y una disminución de HF siendo observadas tanto en reposo como en registro de 24 h analizado en múltiples períodos de 5 min. Estos cambios pueden indicar un cambio en el balance simpaticovagal hacia un predominio de la actividad simpática y una disminución del tono vagal<sup>45,46</sup>.

#### Neuropatía diabética

En la neuropatía asociada con la diabetes mellitus, caracterizada por alteración de las pequeñas fibras nerviosas, una reducción en los parámetros en el dominio del tiempo de la VFC no sólo tiene un valor pronóstico negativo sino que también precede a la expresión clínica de la neuropatía autonómica<sup>47</sup>.

### *Trasplante cardíaco*

Se ha descrito una disminución marcada de la VFC en pacientes con trasplante cardíaco reciente. La aparición de componentes espectrales en pocos pacientes se considera que refleja la reinervación cardíaca, que puede ocurrir, precoz o en uno o dos años, y habitualmente es de origen simpático<sup>48</sup>.

### *Disfunción miocárdica*

Una disminución de la VFC se observa de forma habitual en pacientes con insuficiencia cardíaca. Se ha encontrado una relación entre los cambios en la VFC y la extensión de la disfunción ventricular. De hecho, mientras la reducción de las medidas de la VFC en el dominio del tiempo es paralela a la severidad de la enfermedad, la relación entre los componentes espectrales y los índices de disfunción ventricular parece ser más compleja<sup>49,50</sup>.

### *Tetraplejía*

Los pacientes con lesiones completas de la médula espinal cervical tienen intactas las vías aferentes vagales y simpáticas del nodo sinusal. Sin embargo, las neuronas simpáticas están desprovistas de control modulador y en particular del *input* inhibitor del barorreflejo supraespinal. Por esta razón, estos pacientes representan un modelo único desde el punto de vista clínico para evaluar la contribución de los mecanismos supraespinales en la determinación de la actividad simpática responsable de las bajas oscilaciones de la VFC<sup>51</sup>.

### **Modificaciones de la variabilidad de la frecuencia cardíaca por intervenciones específicas**

La razón para intentar modificar la VFC después de un IAM proviene de múltiples observaciones que indican que la mortalidad cardíaca es más alta entre aquellos pacientes que tienen una VFC disminuida.

Se supone que las intervenciones que aumenten la VFC pueden proteger frente a la muerte súbita y mortalidad cardíaca. El objetivo es mejorar la estabilidad eléctrica y la VFC aunque es sólo un marcador de la actividad autonómica. A pesar del creciente consenso acerca de que el incremento en la actividad vagal puede ser beneficioso, no es bien conocido cuánta actividad vagal (o sus marcadores) ha de incrementarse para proporcionar una adecuada protección.

### *Betabloqueantes y variabilidad de la frecuencia cardíaca*

Los datos del efecto de los betabloqueantes sobre la VFC en pacientes postinfarto son sorprendentemente

escasos. Sin embargo, es notorio que los betabloqueantes previenen el aumento de los componentes de baja frecuencia observados en las primeras horas de la mañana. En perros conscientes postinfartados los betabloqueantes no modifican la VFC<sup>52</sup>.

### *Antiarrítmicos y variabilidad de la frecuencia cardíaca*

Existen datos de varios antiarrítmicos. La flecainida y la propafenona disminuyen las medidas de la VFC en el dominio del tiempo en pacientes con arritmias ventriculares, pero no así la amiodarona. En otro estudio, la propafenona redujo la VFC disminuyendo los componentes de baja frecuencia (LF) mucho más que los de alta frecuencia (HF), resultando una significativa menor relación entre los componentes de baja y alta frecuencia (LF/HF).

La flecainida, la encainida y la moricizina disminuyeron la VFC en pacientes postinfarto pero no hubo relación entre los cambios en la VFC y la mortalidad durante el seguimiento. Por tanto, algunos antiarrítmicos asociados con incremento de la mortalidad pueden disminuir la VFC<sup>53,54</sup>.

### *Trombólisis y variabilidad de la frecuencia cardíaca*

El efecto de la trombólisis sobre la VFC (valorada por el pNN50) fue referido en 95 pacientes con IAM. La VFC fue más alta 90 min después de la trombólisis en pacientes con apertura de la arteria relacionada con el infarto. Sin embargo, no hubo mayor evidencia cuando se analizaron 24 h<sup>55</sup>.

### *Entrenamiento físico y variabilidad de la frecuencia cardíaca*

El entrenamiento físico puede disminuir la mortalidad cardiovascular y la muerte súbita. El entrenamiento regular con ejercicio es también capaz de modificar el balance autonómico. Un estudio diseñado para valorar los efectos del ejercicio de entrenamiento sobre marcadores de actividad vagal ha proporcionado simultáneamente información de los cambios en la estabilidad eléctrica cardíaca<sup>56</sup>. Perros conscientes con riesgo documentado por haber tenido FV durante un procedimiento de isquemia aguda miocárdica, fueron aleatorizados a un programa de seis semanas de entrenamiento o a reposo en una jaula. Después del entrenamiento la VFC (SDNN) se incrementó en el 74% de todos los animales supervivientes a nuevos tests de isquemia.

### **USO CLÍNICO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA**

Aunque la VFC ha sido tema de numerosos estudios de investigación clínica en un amplio espectro de en-

fermedades cardiológicas y no cardiológicas, solamente existe consenso general de su uso clínico en dos situaciones, como predictor de riesgo después de un infarto agudo de miocardio y como marcador precoz de signos de la neuropatía diabética.

### Valoración del riesgo después de un infarto agudo de miocardio

La observación que en pacientes con IAM y ausencia de arritmia sinusal respiratoria está asociada con un aumento de la mortalidad intrahospitalaria, representa el primero de una gran serie de estudios que han demostrado el valor pronóstico de la VFC para identificar a pacientes de alto riesgo<sup>57-59</sup>.

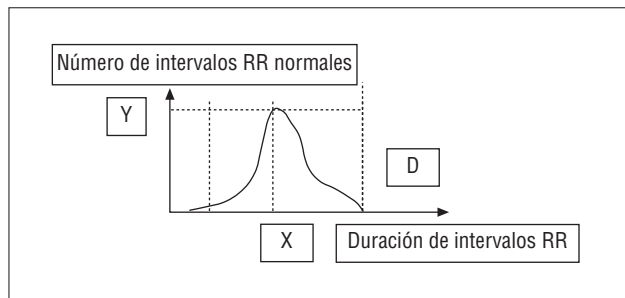
La disminución de la VFC es un predictor de mortalidad y complicaciones arrítmicas (p. ej., TV sostenida sintomática) en pacientes después de un IAM. El valor predictivo de la VFC es independiente de otros factores de riesgo ya establecidos en el postinfarto como son la depresión de la función ventricular izquierda, el aumento de la actividad ectópica ventricular y la presencia de pospotenciales tardíos. La capacidad de predicción para todas las causas de mortalidad, el valor de la VFC es similar a la FE. Sin embargo, la VFC es superior a la FE en predecir eventos arrítmicos (muerte súbita cardíaca y taquicardia ventricular)<sup>59</sup>.

Se han establecido unos puntos de corte entre los distintos parámetros de VFC para establecer una clasificación de la misma y así se establece que puntos de corte en las medidas obtenidas en 24 h de la VFC son: SDNN < 50 ms e índice triangular de VFC < 15, la VFC está muy deprimida; si SDNN < 100 ms e índice triangular de VFC < 20, la VFC está moderadamente disminuida.

No ha sido bien establecido si la VFC disminuida es parte del mecanismo de incremento de la mortalidad en el postinfarto o simplemente un marcador de mal pronóstico. Los datos sugieren que la VFC disminuida no es un simple reflejo de una hiperactividad simpática o depresión de la actividad vagal debido al pobre funcionamiento ventricular, sino que esto también refleja la depresión de la actividad vagal que tiene una estrecha asociación con la patogenia de arritmias ventriculares y muerte súbita.

Tradicionalmente, la VFC usada para estratificar el riesgo después de un IAM ha sido valorada en registros de 24 h, de tal modo que el uso de registros de 24 h puede ser recomendado para la estratificación de riesgo después del IAM.

Kleiger et al<sup>57</sup> establecieron una clasificación del riesgo de mortalidad durante 31 meses de seguimiento en función del valor del SDNN después de un infarto agudo de miocardio. Si el SDNN es < 50 ms el riesgo de mortalidad es alto (34,4%), si el SDNN oscila entre 50 y 100 ms el riesgo es moderado (13,8%), mientras que si el valor del SDNN es > a 100 ms el riesgo de mortalidad es bajo (9,0%)



**Fig. 1.** Para realizar las medidas geométricas en el histograma de intervalos NN, se construye la densidad de distribución (D) de la muestra asignando el número de igual longitud de los intervalos NN de cada valor de su longitud. Se establece el intervalo NN más frecuente (X). El índice triangular es el valor obtenido de dividir el área integral de la distribución (D) por el máximo de la densidad de distribución (Y). Cuando se construye la distribución D con una escala discreta en el eje horizontal, el valor que se obtiene es igual a la fórmula:

$$\text{Índice de VFC} = (\text{número total de todos los intervalos NN})/Y.$$

El análisis espectral de la VFC en supervivientes de un IAM sugiere que los componentes de ULF y VLF frecuencias tienen el más alto valor predictivo. Como la correlación fisiopatológica de estos componentes es desconocida y como estos componentes corresponden a más del 95% del espectro total que puede ser fácilmente valorado en el dominio del tiempo, el uso de componentes del espectro de la VFC para estratificación después del IAM no tiene más poder que el uso de aquellos métodos del dominio del tiempo que valoran en conjunto la VFC.

El tiempo después del IAM en el cual la disminución de la VFC alcanza el mayor valor predictivo no ha sido investigado. No obstante, el consenso general es que la VFC debe ser valorada poco antes del alta hospitalaria, aproximadamente una semana desde el inicio del IAM. Esta recomendación también se ajusta bien a la práctica común del manejo hospitalario de los supervivientes de un IAM.

La VFC está disminuida precozmente después de un IAM y comienza a recuperarse en pocas semanas, casi por completo, pero no del todo recuperada entre el 6 y 12 mes después del IAM<sup>60</sup>. La valoración de la VFC tiene ambas etapas: estadio precoz del IAM (2 o 3 días después del IAM) y prealta del hospital (1 a 3 semanas después del IAM) que ofrece importante información pronóstica. La VFC medida tardíamente (1 año) del IAM también predice la mortalidad posterior. Datos de modelos animales sugieren que la velocidad de recuperación de la VFC después del IAM se correlaciona con el riesgo subsiguiente.

El valor predictivo de la VFC aislada es modesto. La combinación con otras técnicas mejora sustancialmente el valor predictivo positivo de la VFC con un aumento en el rango de la sensibilidad del 25 al 75% para predecir eventos arrítmicos y mortalidad cardíaca. La mejora en la seguridad del valor predictivo positivo



y el aumento de sensibilidad se han encontrado para las combinaciones de la VFC con la frecuencia cardíaca media, fracción de eyección, frecuencia de extrasístolia ventricular, parámetros de electrocardiogramas de alta resolución (pospotenciales) y valoración clínica. Sin embargo, no se conoce que otros factores de estratificación sean más prácticos y más factibles de ser combinados con la VFC para estratificación del riesgo multifactorial.

Los siguientes hechos deben ser anotados cuando se utiliza la VFC para valoración en estudios clínicos y ensayos que afectan a los supervivientes de un IAM:

1. La VFC disminuida es predictor de mortalidad y complicaciones arrítmicas que son independientes de otros factores de riesgo reconocidos.

2. Hay un consenso general que la VF debe ser medida una semana después del inicio del IAM.

3. Aunque la VFC valorada en cortos períodos de tiempo proporciona información pronóstica, la VFC medida en un registro de 24 h es un fuerte predictor de riesgo. La VFC valorada en cortos períodos de tiempo puede ser usada para un cribado de todos los supervivientes de un IAM.

4. No hay actualmente reconocidas medidas de la VFC que proporcionen mejor información pronóstica que las medidas en el dominio del tiempo de la VFC (p. ej., SDNN o índice triangular de la VFC). Algunas otras medidas como los componentes espectrales de ULF en el análisis de 24 h lo realizan igualmente bien. Un grupo de alto riesgo puede ser seleccionado por límites dicotomizados de SDNN < 50 ms o índice triangular < 15.

5. Para rangos clínicamente significativos de sensibilidad, el valor predictivo de la VFC sólo es modesto, aunque es mayor que cualquier otro factor de riesgo reconocido. Para mejorar el valor predictivo, la VFC debe ser combinada con otros factores. No obstante, el óptimo juego de factores de riesgo y sus correspondientes valores dicotomizados no han sido bien establecidos.

### Valoración en la neuropatía diabética

Como una complicación de la diabetes mellitus, la neuropatía autonómica se caracteriza por la precoz y amplia degeneración neuronal de pequeñas fibras nerviosas de ambos sistemas, simpático y parasimpático. Sus manifestaciones clínicas están presentes con el deterioro funcional e incluyen hipotensión postural, taquicardia persistente, atonía de la vejiga y diarrea nocturna. Desde que las manifestaciones clínicas de la neuropatía disautonómica de la diabetes aparecen (DAN), la mortalidad estimada a los 5 años es aproximadamente del 50%; de tal modo que la detección precoz subclínica de la neuropatía disautonómica es un importante marcador de estratificación de riesgo y

del consiguiente tratamiento. Análisis de períodos cortos y largos de la VFC han demostrado ser útiles en la detección de la DAN<sup>61</sup>.

### POSIBILIDADES DE UTILIDAD CLÍNICA DEL FUTURO

En primer lugar son necesarios grandes estudios prospectivos en la población con un seguimiento largo para establecer los estándares normales de la VFC para varios subgrupos de edad y sexo. Investigadores del estudio de Framingham han publicado las medidas de la VFC en 736 ancianos, y la relación de estas medidas con todas las causas de mortalidad, durante un seguimiento de 4 años. Estos investigadores concluyen que la VFC ofrece una información pronóstica independiente más allá de la proporcionada por los tradicionales factores de riesgo<sup>62</sup>.

### VALORES NORMALES DE LAS MEDIDAS ESTÁNDAR DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA

Como las investigaciones de todos los índices de la VFC en grandes poblaciones de personas sanas no han sido realizadas aún, algunos de los valores normales han sido obtenidos de estudios con un número reducido de pacientes.

Estos valores deberían, por otra parte, haber sido considerados como aproximados y no se deben extraer conclusiones definitivas basándose en ellos. Los valores ajustados por los límites de edad, sexo y ambiente que también se necesitan se han omitido aquí por lo limitado de las fuentes de datos, aunque algunos autores<sup>63</sup> encuentran que la mayoría de los parámetros de la VFC, excepto el pNN50 y el espectro de alta frecuencia, son más altos en varones sanos. Suponen que este hallazgo aparentemente paradójico puede explicarse por la baja actividad simpática (espectro de baja densidad) en las mujeres.

En la tabla 3 se señalan sólo los valores de aquellas medidas de VFC que podrían sugerirse para una estandarización más allá de los estudios clínicos y fisiológicos.

### UBICACIÓN Y PERSONAL DE HOLTER ECG. REQUISITOS PARA ACREDITACIÓN EN LECTURA DE HOLTER

El requisito para una mínima formación básica en lectura de Holter de electrocardiografía es la capacidad para una interpretación adecuada del ECG estándar de 12 derivaciones. El aprendiz de esta técnica deberá participar en las sesiones de interpretación con la plantilla de cardiología experta en la interpretación, indicaciones y correlación de los hallazgos con la clínica de la electrocardiografía ambulatoria. Puede haber di-

TABLA 3. Valores normales de medidas de VFC

Variable	Unidades	Valores normales (media ± DE)
Medidas en el dominio del tiempo en análisis de 24 h		
SDNN	ms	141 ± 39
SDANN	ms	127 ± 35
RMSSD	ms	27 ± 12
Índice triangular VFC	ms	37 ± 15
Medidas en el dominio de la frecuencia analizadas en registro de 5 min en reposos en decúbito supino		
Total power	ms <sup>2</sup>	3.466 ± 1.018
LF	ms <sup>2</sup>	1.170 ± 416
HF	ms <sup>2</sup>	975 ± 203
LF	un	54 ± 4
HF	un	29 ± 3
LF/HF relación		1,5-2,0

versas formas para lograr ser un experto en Holter. Los factores esenciales son la interpretación de un número suficiente de Holter, para encontrar la mayoría de situaciones que se puedan presentar, revisándolas con un experto. Muchos médicos adquieren el conocimiento requerido para la interpretación del Holter durante la residencia de cardiología, que incluye rotación por la unidad de arritmias y Holter.

Aunque es difícil definir el número definitivo de registros de Holter que serían necesarios para adquirir un nivel 1, se recomienda como requisito mínimo la interpretación supervisada de un mínimo de 75 Holter entre 24 y 36 meses. Para un nivel 2 sería necesaria una interpretación mínima de 150 registros de Holter en 36 meses que incluyera todas las formas de artefactos, estudios de marcapasos, desfibriladores, variabilidad de la frecuencia cardíaca, anomalías de la repolarización (p. ej., QT, alternancias de onda T), y aplicaciones de la electrocardiografía promediada de señal. Estas medidas nos ofrecen una idea de los cambios en la repolarización ventricular, del sistema nervioso autónomo (simpático y parasimpático) y examen del ECG de alta resolución. Este nivel incluye ser experto en la interpretación y limitaciones de la telemetría, así como en marcapasos, manejo de las arritmias y electrofisiología<sup>64,65</sup>.

La electrocardiografía continua tipo Holter se realiza durante una media de 24 h. Estos estudios ofrecen una información suficiente para pacientes que experimentan los síntomas diariamente. Sin embargo, muchos pacientes no tienen los síntomas típicos todos los días, por lo que son necesarios registros de más de 24 h o registros repetidos, aunque para pacientes con síntomas esporádicos podría ser más útil el registro trans telefónico o el Holter implantable.

El estudio del síncope incluye actualmente Holter de 24 h, test de la mesa basculante y estudios electrofi-

siológicos<sup>66-68</sup>. Sin embargo, el diagnóstico con Holter clásico o test de provocación es desafortunado. En el estudio del síncope se requieren registros más prolongados para llegar a un diagnóstico; así, hay autores que preconizan registros de 48 h si durante las primeras 24 h de registro no se llega a un diagnóstico<sup>69</sup>. En ocasiones son necesarias monitorizaciones prolongadas mediante Holter implantable<sup>70,71</sup>. En una reciente publicación se estudian 85 pacientes (edad, 59 ± 18 años; 44 varones) con síncope recurrente no diagnosticados, a los que se les implantó un registrador capaz de monitorizar la actividad eléctrica cardíaca durante más de 18 meses. Durante un período de seguimiento medio de 10,5 ± 4,0 meses, los síntomas se reprodujeron en 58 pacientes (68%). Una arritmia se registró en el 42% de pacientes, coincidente con los síntomas. Se concluye que la estrategia de monitorización prolongada es segura y eficaz en pacientes con síncope no diagnosticado.

El diagnóstico de palpitaciones intermitentes es a menudo difícil; la primera dificultad es discernir si los síntomas son causados por arritmias. Hay autores que sugieren que registros electrocardiográficos de 48 h para esta patología permiten el diagnóstico en pocos casos, siendo más eficaces los registros trans telefónicos en el momento de aparición de los síntomas<sup>72</sup>.

En otras ocasiones con registros cortos se puede solucionar el problema. En pacientes supervivientes de un infarto de miocardio se considera que las arritmias ventriculares son un predictor de mortalidad. En una reciente publicación se considera que registros de Holter de más de una hora no mejoran el valor pronóstico en este tipo de pacientes<sup>73</sup>.

Dado que el registro continuo de electrocardiografía se considera una práctica rutinaria en diagnósticos de cardiología, para el análisis de las arritmias y del ST, consideramos que esta técnica debe estar disponible en todos los hospitales en nuestro país, así como en los centros de salud. Vamos a considerar los diversos requerimientos de esta práctica en cuanto a aparataje, personal e infraestructura en hospitales de referencia, de segundo nivel, hospitales comarcales y centros de salud.

### Hospital de primer nivel. Hospital de referencia

Los hospitales de primer nivel en España suelen atender a una población cercana al medio millón de habitantes y son centros de referencia para una población de alrededor de un millón de habitantes. En el caso de la especialidad de cardiología deberán disponer de todas las técnicas invasivas y no invasivas propias de la especialidad, así como disponer de cirugía cardíaca y de un programa de formación de futuros especialistas MIR. El Holter debe estar incluido

en la unidad de arritmias con electrofisiología diagnóstica y terapéutica, Holter y en algunas ocasiones unidad de marcapasos y desfibriladores. El responsable de la unidad debe ser un cardiólogo de plantilla experto en arritmias y estudios electrofisiológicos; debe disponer de otro médico de plantilla en la unidad, así como los médicos residentes de cardiología que roten por dicha unidad. Se necesitan, asimismo, una enfermera experta en arritmias y una auxiliar de clínica. La labor del personal auxiliar consistiría en colocar las grabadoras a los pacientes y ayuda en la lectura por el analizador. Se debe disponer de 2 salas, que pueden estar ubicadas dentro de las diversas dependencias del servicio de cardiología, una para la implantación de los Holter a los pacientes y otra con el sistema informático de lectura de cintas. Para un hospital de estas características se necesitarían 12 grabadoras de Holter y un analizador. En estos centros también se debería disponer del Holter implantable, indicado en pacientes con síncope recurrentes, ya que la duración es de unos 14 meses.

### Hospital de segundo nivel

En España estos hospitales atienden a una población media de 250.000 habitantes. En el caso de cardiología se deberá disponer de todas las técnicas no invasivas de diagnóstico cardiológico y, en algunos casos, de hemodinámica diagnóstica. En el caso del Holter serían necesarias 6 registradoras de Holter y un analizador. El personal necesario para esta actividad es un cardiólogo a tiempo parcial y una enfermera a tiempo completo.

### Hospital regional

Atiende a una población media de 100.000 habitantes. Deberá disponer de las técnicas no invasivas de cardiología, excepto cardiología nuclear y en el caso del Holter, serían necesarias 2 registradoras de Holter y no sería necesario analizador, ya que podrían ser remitidas a su centro de referencia las cintas para su análisis correspondiente. El personal necesario para esta actividad es un cardiólogo y una enfermera a tiempo parcial.

### Centros de salud

Podrán disponer de alguna grabadora, de tal manera que puedan remitir las cintas al hospital de referencia correspondiente para su análisis. En estos centros no es necesaria la presencia de un cardiólogo.

Dado que las registradoras de Holter se deterioran con el uso es conveniente cambiarlas cada dos años y los analizadores cada 5-6 para que la tecnología no sea obsoleta.

## TÉCNICAS Y ESTÁNDARES DE LA MONITORIZACIÓN AMBULATORIA DE LA PRESIÓN ARTERIAL. INDICACIONES Y LIMITACIONES DE LA TÉCNICA

La monitorización ambulatoria de la presión arterial (MAPA) está considerada hoy día como la técnica más fiable para un exacto diagnóstico de la hipertensión arterial, así como para la valoración de la eficacia de los agentes antihipertensivos. Por tanto, su aplicación clínica constituye hoy día una rutina exploratoria de uso común en la mayoría de los servicios de cardiología y en las unidades de hipertensión<sup>74,75</sup>.

Algunos organismos científicos internacionales han establecido en los últimos años protocolos de trabajo, tratando de estandarizar tanto los equipos de registro ambulatorio (grabadoras), como los analizadores informatizados y sus programas de análisis automático<sup>76,77</sup>. Estos mismos organismos han propuesto normativas básicas para su uso clínico, estableciendo las indicaciones y limitaciones de los mismos.

El interés clínico que la técnica ha suscitado en los últimos años desde que fuera desarrollada hace más de 30 años por los científicos británicos Bevan, Honour y Stott en la Universidad de Oxford<sup>78</sup> ha promovido el interés de la industria de electromedicina, de tal forma que en el momento actual más de veinte equipos de registro ambulatorio están disponibles en el mercado. De éstos, unos evalúan únicamente la presión arterial ambulatoria (sistólica, diastólica, media y desviación estándar); otros las combinan con el registro simultáneo del electrocardiograma y otros, en fin, implementan estos sistemas con nuevos algoritmos que permiten la valoración simultánea de otros parámetros cardiovasculares como la velocidad de la onda de tránsito (VOT) para el cálculo indirecto de las propiedades físicas de las grandes arterias.

La mayoría de estos equipos de registro ambulatorio de la presión arterial han sido validados y todos cumplen en mayor o menor medida los estándares mínimos requeridos. No existen unas normativas internacionales establecidas aunque algunos organismos como la Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) o la British Hypertension Society han propuesto unas normas acotando los requerimientos imprescindibles que deben cumplir estos equipos<sup>76,77</sup>. Para la mayoría de las validaciones de los equipos de registro se utiliza el esfigmomanómetro de mercurio Hawksley de cero aleatorio o la presión central aórtica en el curso de estudios hemodinámicos invasivos en pacientes con adecuado gasto cardíaco y sin lesiones valvulares<sup>79-83</sup>.

### Protocolo de validación (fases)

La evaluación de los estándares mínimos de los equipos de MAPA consta básicamente de 3 fases:

**Fase I.** Calibración preuso que debería verificarse frente al esfigmomanómetro de mercurio de cero aleatorio o frente a la presión central aórtica valorada por métodos invasivos (cateterismo cardíaco). Obviamente, y por razones de carácter ético, la validación frente a la presión central aórtica sólo debe efectuarse en fase preclínica y sólo aprovechando el curso de estudios hemodinámicos invasivos de pacientes con gasto cardíaco adecuado y libres de lesiones valvulares. La verificación debe incluir tanto la presión arterial sistólica como la diastólica.

**Fase II.** Calibración periódica durante su uso clínico y que debe efectuarse frente a un esfigmomanómetro de mercurio bien calibrado utilizando dos tubos interconectados en «Y» y con la cooperación simultánea de dos observadores expertos e independientes. Las calibraciones deberían efectuarse además en cada uno de los brazos.

**Fase III.** Calibración frente a otros sistemas validados y fiables de monitorización ambulatoria de larga duración.

Además, las validaciones se deberían efectuar en determinadas poblaciones especiales, como mujeres durante la gestación, niños o deportistas.

### Especificaciones técnicas

Los fabricantes de este tipo de equipos para la MAPA deberían indicar claramente los sistemas que se han seguido para la validación preclínica de los equipos, añadiendo además qué recomendaciones de organismos internacionales han sido seguidas. La mayoría de los equipos de MAPA tienden a infraestimar en 2-3 mmHg la presión arterial sistólica y a supervalorar en la misma cuantía la presión arterial diastólica. Estos datos deberían ser igualmente reflejados en las características de los equipos para que el usuario adoptara los valores reales de la presión arterial después de un período de monitorización de 24 h.

Dentro de las especificaciones técnicas, deberían exigirse las modalidades incluidas en los programas de monitorización, para saber el valor de los límites de normalidad tensional y los períodos día/noche, así como las facilidades para que cada usuario establezca su programación específica de acuerdo a cada caso.

Igualmente, los fabricantes deberían presentar equipos de MAPA que combinaran los dos sistemas más habituales de medición: oscilométrico y auscultatorio, de forma que la medida se iniciase siempre por el sistema auscultatorio y en caso de dificultad que automáticamente adoptase el sistema oscilométrico, indicando siempre cuál de los dos procedimientos es el responsable de cada medida. Aunque ambos sistemas son fiables, el auscultatorio podría aportar alguna ventaja relacionada con la fiabilidad pero que queda desvanecida frente a la operatividad y comodidad de los sistemas oscilométricos.

Otros métodos, como el ultrasónico, el pletismográfico o el velocimétrico han sido utilizados en el pasado, pero su complejidad ha relegado su uso a situaciones muy concretas, como puede ser la monitorización estática en quirófano o en las unidades de cuidados intensivos. De igual modo, el sistema intraarterial (método Oxford), por su carácter invasivo y por algunas de las complicaciones que fueron referidas en el pasado (infecciones, trombosis, hemorragias locales e incluso parálisis irreversible del nervio mediano), ha visto relegado su uso a situaciones muy concretas y sólo referidas a la investigación clínica o a la experimentación animal<sup>84</sup>.

Otros datos a tener en cuenta son la facilidad que cada equipo proporciona para la presentación de los informes impresos, así como la posibilidad de almacenar datos, de modo que puedan establecerse programas vinculados al *software* principal para establecerse una base de datos manipulable con fines estadísticos y de investigación clínica.

### Indicaciones para la monitorización ambulatoria de la presión arterial

Las indicaciones claves para un mejor rendimiento clínico de la MAPA ya fueron recogidas en el JNC-V y vuelven a ser las mismas que se presentan en el recientemente publicado JNC-VI<sup>85</sup> y en las recomendaciones publicadas en el presente año por la Organización Mundial de la Salud y la Sociedad Internacional de Hipertensión<sup>86</sup>:

- a) Sospecha de HTA de gabinete médico («HTA de bata blanca»).
- b) Evaluación del efecto y/o resistencia de fármacos con efecto sobre la presión arterial (valoración del índice valle/pico).
- c) Evaluación del comportamiento tensional nocturno (*dippers* frente a *non-dippers* y *peakers* frente a *non-peakers*).
- d) Análisis de la HTA episódica (p. ej., feocromocitoma y otras).
- e) Hipotensión asociada a la terapia.
- f) Mareos o síncope de origen no filiado, probablemente vinculados a crisis hipotensivas o ante la sospecha de enfermedad del nódulo sinusal o síndromes de disfunción de marcapasos naturales (combinar en estos casos con ECG de Holter).
- g) Evaluación del efecto de los antihipertensivos en los ensayos clínicos.

Aunque las anteriores recomendaciones son las básicamente recomendadas, la utilidad clínica de la técnica, su cada vez más reducido precio y la facilidad de manejo podrían ampliar las indicaciones a cualquier tipo de situación clínica que se acompañe de trastornos de la presión arterial.



## Equipos para el registro de la velocidad de la onda de pulso

En los últimos años han sido introducidos en la rutina clínica equipos que, con una filosofía similar a los que efectúan MAPA, son capaces al mismo tiempo de valorar la velocidad de la onda de pulso o de tránsito (VOT) implementados con algoritmos específicos que miden el tiempo transcurrido entre la fase preisotólica del ECG (QRS) y la llegada de la vibración de la pared vascular a un punto determinado del sistema arterial.

Estos equipos, por tanto, necesitan de, al menos, dos electrodos torácicos que recojan la despolarización ventricular y de un sensor que mida el momento de aparición del quinto ruido de Korotkof en el segmento arterial estudiado. Hasta el momento sólo se tiene conocimiento de un equipo de estas características fabricado por Novacor-France a partir de un sistema desarrollado por Gosse et al<sup>87</sup>. El sistema ha recibido el nombre de QKD; Q corresponde a QRS del ECG, K a ruido de Korotkof y D a presión arterial diastólica. Para su validación puede utilizarse un sistema similar pero que trabaja en condiciones de reposo como el sistema *complior* desarrollado por Asmar et al<sup>88</sup> y que analiza indirectamente las propiedades físicas de las grandes arterias a partir de los valores de la VOT.

Las indicaciones fundamentales para el empleo de estos sistemas de análisis de la VOT son básicamente las de la MAPA que hemos expuesto anteriormente, pero el diagnóstico se verá enriquecido en aquellos casos en los que se sospeche que hay afectación significativa de los grandes vasos o que éstos puedan ser los directamente responsables de la HTA o de su mantenimiento. Las indicaciones principales serían las siguientes:

- a) HTA sistólica aislada del anciano.
- b) Envejecimiento arterial.
- c) HTA de la posmenopausia.
- d) Evaluación del efecto de los fármacos antihipertensivos en las modificaciones de las propiedades físicas de las arterias.

## Requerimientos básicos de un servicio de monitorización ambulatoria de la presión arterial

De acuerdo con los datos actuales, un servicio de análisis computarizado de MAPA debería estar dotado de seis grabadoras de monitorización automática, dos de las cuales deberían estar implementadas con un sistema para el cálculo ambulatorio de la velocidad de la onda de tránsito y otra de Holter combinado podría cubrir las necesidades de un hospital de tamaño intermedio que atendiese a una población de alrededor de 250.000 habitantes.

Hay que tener previsto un período de cinco años para la renovación de los equipos de análisis central y de dieciocho a veinticuatro meses para las grabadoras de registro ambulatorio.

La ubicación de la sección de MAPA debería estar dentro del área de registros gráficos no invasivos del servicio de cardiología, o de existir, en la unidad de corazón e hipertensión. Un médico y un diplomado de enfermería serían el personal mínimo requerido para llevar a cabo el trabajo habitual. La técnica debe ser incluida dentro del programa general de formación de médicos especialistas en cardiología y estar en conexión permanente con las demás secciones donde se desarrollen programas de investigación clínica y básica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Holter NJ. New method for heart studies. *Science* 1961; 134: 1.214-1.220.
2. Morganroth J. Ambulatory Holter electrocardiography: choice of technologies and clinical uses. *Ann Intern Med* 1985; 102: 73-81.
3. Leclercq JF, Coumel P. Ambulatory electrocardiogram monitoring. En: Macfarlane PW, Veitch TD, editores. *Comprehensive electrocardiography*. Nueva York: Pergamon Press, 1989; 1.063-1.106.
4. García Dorado D, Marín Huerta E. Técnicas no invasivas en cardiología. Monitorización ambulatoria con Holter. En: Farreras-Rozman, editores. *Medicina Interna* (12.ª ed.). Barcelona: Ediciones Doyma, 1992; 453-458.
5. Bragg-Remschel DA, Anderson LM, Winkle RA. Frequency response characteristics of ambulatory ECG monitoring systems and their implications for ST segment analysis. *Am Heart J* 1982; 103: 20-31.
6. Balasobremanian V, Lahiri A, Green HL, Scott FD, Raftery EB. Ambulatory ST segment monitoring: problems, pitfalls, solutions and clinical applications. *Br Heart J* 1980; 44: 419-422.
7. Berson AS, Pipberger HV. The low-frequency response of electrocardiophases, a frequent source of recording error. *Am Heart J* 1966; 71: 779-786.
8. Lambert CR, Imperi GA, Pepine CJ. Low frequency requirements for recording ischemic ST-segment abnormalities in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1986; 58: 225-229.
9. Rayo I, Marín Huerta E, Muela A, Moro C, Soler M. Validación del Holter para la detección de la isquemia miocárdica mediante la realización de prueba de esfuerzo simultánea. *Rev Esp Cardiol* 1990; 43: 316-322.
10. Kennedy HL. Ambulatory (Holter) electrocardiography technology. *Cardiol Clin* 1992; 10: 341-359.
11. Kennedy HL. Ambulatory (Holter) electrocardiography recordings. En: Zipes DP, Jalife J, editores. *Cardiac electrophysiology. From cell to bedside* (2.ª ed.). Filadelfia: W.B. Saunders Company, 1995; 1.024-1.038.
12. ACP/ACC/AHA Task Force Statement. Clinical competence in ambulatory electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 331-335.
13. Coumel P, Leenhardt A. Mental activity, adrenergic modulation, and cardiac arrhythmias in patients with heart disease. *Circulation* 1991; 83 (Supl 2): 1.158-1.170.
14. Myerburg RJ, Kessler KM, Bassett AL, Castellanos A. A biological approach to sudden cardiac death: structure, function and cause. *Am J Cardiol* 1989; 63: 1.512-1.516.
15. The Cardiac Arrhythmia Suppression Trial (CAST) Investigators. Preliminary report. Effect of encainide and flecainide on mortality in a randomized trial of arrhythmia suppression after myocardial. *N Engl J Med* 1989; 321: 406-412.

16. The ESVEM Investigators. The ESVEM Trial: electrophysiologic study versus electrocardiographic monitoring for selection of antiarrhythmic therapy of ventricular tachyarrhythmias. *Circulation* 1989; 79: 1.354-1.360.
17. Peters NS. Drugs for ventricular arrhythmias in the era of the implantable cardioverter defibrillator. *Eur Heart J* 1999; 20: 321-323.
18. Gottlieb SO, Weisfeldt ML, Ouyand P, Mellits ED, Gerstenblith G. Silent ischemia as a marker for early unfavorable outcomes in patients with unstable angina. *N Engl J Med* 1986; 314: 1.214-1.218.
19. Rozanski A, Berman DS. Silent myocardial ischemia. I. Pathophysiology, frequency of occurrences, and approaches toward detection. *Am Heart J* 1987; 114: 615-638.
20. Deanfield JE, Ribeiro P, Oakley K, Krikler S, Selwyn AP. Analyses of ST-segment changes in normal subjects: implications for ambulatory monitoring in angina pectoris. *Am J Cardiol* 1984; 54: 1.321-1.325.
21. Day CP, McComb JM, Campbell RWF. QT dispersion: an indication of arrhythmia risk in patients with long QT intervals. *Br Heart J* 1990; 63: 342-344.
22. Zipes DP. The long QT syndrome. *Circulation* 1991; 84: 1.414-1.419.
23. Algra A, Le Brun H, Zelenberg C. An algorithm for computer measurements of QT intervals in the 24-hour ECG. *Computers Cardiol* 1987; 14: 117-119.
24. Malik M, Camm AJ. Heart rate variability. *Clin Cardiol* 1990; 13: 570-576.
25. Van Ravenswaaij-Arts CM, Kollee LA, Hopman JC, Stoeltinga GB, Van Geijn HP. Heart rate variability. *Ann Intern Med* 1993; 118: 436-447.
26. American College of Cardiology Cardiovascular Technology Assessment Committee. Heart rate variability for risk stratification of life-threatening arrhythmias. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 948-950.
27. Bethge KP, Brandes A, Gonska D. Diagnostic sensitivity of Holter monitoring in pacemaker patients. *J Ambulatory Monitor* 1989; 2: 79-89.
28. Parsonnet V, Bernstein AD. Pacing in perspective: concepts and controversies. *Circulation* 1986; 73: 1.087-1.093.
29. Veltri EP, Mower MM, Mirowski M. Ambulatory monitoring of the automatic implantable cardioverter-defibrillator: a practical guide. *PACE* 1988; 11: 315-325.
30. Steinberg JS, Berbari EJ, Lander P. Signal-averaged electrocardiography directly from Holter monitor tapes. *J Electrocardiol* 1990; 22 (Supl): 25-32.
31. Kennedy HL, Bavishi NS, Buckingham TA. Ambulatory (Holter) electrocardiography signal-averaging: a current perspective. *Am Heart J* 1992; 124: 1.339-1.346.
32. Breithardt G, Cain ME, El-Sherif N, Flowers NC, Hombach V, Janse M et al. Standards for analysis of ventricular late potentials using high-resolution or signal-averaged electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 999-1.006.
33. ACC/AHA Task Force Report. Guidelines for ambulatory electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1989; 13: 249-258.
34. Hayano J, Sakakibara Y, Yamada A, Yamada M, Mukai S, Fujinami T et al. Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *Am J Cardiol* 1991; 67: 199-204.
35. Pomeranz B, Macaulay RJB, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol* 1985; 248: H151-H153.
36. Sayers BM. Analysis of heart rate variability. *Ergonomics* 1973; 16: 17-32.
37. Hirsh JA, Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am J Physiol* 1981; 241: H620-H629.
38. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control. *Science* 1981; 213: 220-222.
39. Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P et al. Power spectral analysis of heart rate arterial pressure variabilities as marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res* 1986; 59: 178-193.
40. Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 1991; 84: 1.482-1.492.
41. Furlan R, Guzzetti S, Crivellaro W, Dassi S, Tinelli M, Baselli G et al. Continuous 24-hour assessment of the neural regulation of systemic arterial pressure and RR variabilities in ambulant subjects. *Circulation* 1990; 81: 537-547.
42. Task Force of the European Society of cardiology and the North American Society for pacing and electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996; 93: 1.043-1.065.
43. Malik M, Camm AJ. Components of heart rate variability-what they really mean and what we really measure. *Am J Cardiol* 1993; 72: 821-822.
44. Casolo GC, Stroder P, Signorini C, Calzolari F, Zuchini M, Balli E et al. Heart rate variability during the acute phase of myocardial infarction. *Circulation* 1992; 85: 2.073-2.079.
45. Lombardi F, Sandrone G, Pernpruner S, Sala R, Garimoldi M, Cerrutti S et al. Heart rate variability as an index of sympathovagal interaction after myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1987; 60: 1.239-1.245.
46. Lombardi F, Sandrone G, Mortara A, La Rovere MT, Colombo ET, Guzzetti S et al. Circadian variation of spectral indices of heart rate variability after myocardial infarction. *Am Heart J* 1992; 123: 1.521-1.529.
47. Freeman R, Saul JP, Roberts MS, Berger RD, Broadbridge C, Cohen RT. Spectral analysis of heart rate in diabetic neuropathy. A comparison with standard tests of autonomic function. *Arch Neurol* 1991; 48: 185-190.
48. Sands KE, Appel ML, Lilly LS, Schoen JF, Mudge GH, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate variability in human cardiac transplant recipients. *Circulation* 1989; 79: 76-82.
49. Nolan J, Flapan AD, Capewell S, Macdonald TM, Neilson JM, Ewing DJ. Decreased cardiac parasympathetic activity in chronic heart failure and its relation to left ventricular function. *Br Heart J* 1992; 69: 761-767.
50. Kienzle MG, Ferguson DW, Birkett CL, Myers GA, Berg WJ, Mariano DJ. Clinical hemodynamic and sympathetic neural correlates of heart rate variability on congestive heart failure. *Am J Cardiol* 1992; 69: 482-485.
51. Inoue K, Miyakes S, Kumashiro M, Ogata H, Yoshimura O. Power Spectral analysis of heart rate variability in traumatic quadriplegic humans. *Am J Physiol* 1990; 258: H1.722-H1.726.
52. Adamsom PB, Huang MH, Vanoli E, Foreman RD, Schwartz PJ, Hull SS. Unexpected interaction between adrenergic blockade and heart rate variability before and after myocardial infarction. A longitudinal study in dogs at high and low risk for sudden death. *Circulation* 1994; 90: 976-982.
53. Lombardi F, Torzillo D, Sandrone G, Dalla Vecchia L, Finocchiaro ML, Bernasconi R et al. Beta-blocking effect of propafenone based on spectral analysis of heart rate variability. *Am J Cardiol* 1992; 70: 1.028-1.034.
54. Bigger JT Jr, Rolnitzky LM, Steinman RC, Fleiss JL. Predicting mortality after myocardial infarction from the response of RR variability to antiarrhythmic drug therapy. *J Am Coll Cardiol* 1994; 23: 733-740.
55. Zabel M, Kingenheben T, Hohnloser SH. Changes in autonomic tone following thrombolytic therapy for acute myocardial infarction. Assessment by analysis of heart rate variability. *J Cardiovascular Electrophysiol* 1994; 5: 211-218.
56. Hull SS Jr, Vanoli E, Adamson PB, Verrier RL, Foreman RD, Schwartz PJ. Exercise training confers anticipatory protection from sudden death during acute myocardial ischemia. *Circulation* 1994; 89: 548-552.
57. Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT, Moss JA, and The Multicenter Post-Infarction Research Group. Decreased heart rate variability

- ands its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1987; 59: 256-262.
58. Bigger JT Jr, Fleiss JL, Steinman RC, Rolnitzky LM, Kleiger RE, Rottman JN. Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction. *Circulation* 1992; 85: 164-171.
  59. Odemuyiwa O, Malik M, Farrel T, Bashir Y, Poloniecki J, Camm J. Comparison of the predictive characteristics of heart rate variability index and left ventricular ejection fraction for all-cause mortality, arrhythmic events and sudden death after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1991; 68: 434-439.
  60. Bigger JT, Kleiger RE, Fleiss JL, Rolnitzky LM, Steinman RC, Miller P, and The Multicenter Post-Infarction Research Group. Components of heart rate variability measured during healing of acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1988; 61: 208-215.
  61. Bellavere F, Balzani I, De Masi G, Carraro M, Caranzana P, Cobelli C. Power spectral analysis of heart rate variation improves assesment of diabetic cardiac autonomic neuropathy. *Diabetes* 1992; 41: 633-640.
  62. Tsuji H, Venditti FJ, Manders ES, Evans JC, Larson MG, Felmand CL. Reduced heart rate variability and mortality risk in an elderly cohort: the Framingham Study. *Circulation* 1994; 90: 878-883.
  63. Ramaekers HE, Aubert AR, Van De Werf. Heart rate variability and heart rate in healthy volunteers. Is The female autonomic nervous sytem cardioprotective? *Eur Heart J* 1998; 19: 1.334-1.341.
  64. ACP/ACC/AHA Task Force Statement. Clinical competence in ambulatory electrocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 331-335.
  65. Kennedy HL, Goldberger AL, Graboys TB, Hancock EW. Guidelines for training in adult cardiovascular medicine. Core Cardiology Training Symposium (COCATS). Task Force 2: Training in electrocardiography, ambulatory electrocardiography and exercise testing. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 10-13.
  66. Kapoor WN. Evaluation and management of the patient with syncope. *JAMA* 1992; 268: 2.553-2.560.
  67. Klein GJ, Gersh BJ, Yee R. Electrophysiological testing. The final court of appeal for diagnosis of syncope? *Circulation* 1995; 92: 1.332-1.335.
  68. Sra JS, Anderson AJ, Sheikh SH, Avitall B, Tchou PJ, Troup PJ et al. Unexplained syncope evaluated by electrophysiologic studies and head-up tilt testing. *Ann Intern Med* 1991; 114: 1.013-1.019.
  69. Bass EB, Curtiss EI, Arena VC, Hanusa BH, Cecchetti A, Karpf M et al. The duration of holter monitoring in patients with syncope. Is 24 hours enough? *Arch Intern Med* 1990; 150: 1.073-1.078.
  70. Linzer M, Pritchett ELC, Pontinen M, Mccarthy E, Divine GW. Incremental diagnostic yield of loop electrocardiographic recorders in unexplained syncope. *Am J Cardiol* 1990; 66: 214-219.
  71. Rodríguez García J, Coma Samartín R, Sánchez Sánchez V, Esteve Alderete JJ. Holter implantable subcutáneo. Un nuevo instrumento para el diagnóstico de síncope de origen indeterminado. *Rev Esp Cardiol* 1998; 451: 502-505.
  72. Kinlay S, Leitch JW, Niel A, Chapman BL, Hardy DB, Fletcher PJ. Cardiac events recorders yield more diagnoses and more cost-effective than 48-hour holter monitoring in patients with palpitations. A controlled clinical trial. *Ann intern med* 1996; 124: 16-20
  73. Petretta M, Bianchi V, Pulcino A, Carpinelli A, Valva G, Themistoclakis S et al. Continuous electrocardiographic monitoring for more than one hour does not improve the prognostic value of syncope. *Reveal investigators. Circulation* 1999; 99: 406-410.
  74. Pickering T, O'Brien E, O'Malley K. Second International Consensus meeting on twenty-four-hour ambulatory blood pressure monitoring: consensus and conclusions. *J Hypertens* 1991; 9 (Supl 8): S2-S6.
  75. O'Brien E, Cox J, O'Malley K. The role of twenty-four-hour ambulatory blood pressure measurement in clinical practice. *J Hypertens* 1991 9 (Supl 8): S63-S65.
  76. Association For The Advancement Of Medical Instrumentation. American National Standards For Electronic Or Automated Sphygmomanometers. Washington DC: AAMI, USA, 1987.
  77. O'Brien E, Petrie J, Littler W, De Swuiet M, Padfield PL, O'Malley K. The British Hypertension Society protocol for the evaluation of automated and semi-automated blood pressure measuring devices with special reference to ambulatory systems. *J Hypertens* 1990; 8: 607-619.
  78. Bevan AT, Honnour AJ, Stott FD. Direct srterial pressure recording in unrestricted man. *Clin Sci* 1966; 36: 329-344.
  79. O'Brein E, Mee F, Atkins N, O'Malley K. Evaluation of the Spacelabs 90202 non-invasive ambulatory recorder according to AAMI stantards and BHS criteria. *J Human Hypertens* 1991; 5: 223-226.
  80. O'Brien E, Mee F, Atkins N, O'Malley K. Accuracy of the Spacelabs 90207 determined by the Bristish Hypertension Society Protocol (short report). *J Hypertens* 1991; 9: 573- 574.
  81. Palatini P, Penzo M, Canali C, Pessina AC. Validation of the A & D TM-2420 Model 7 for ambulatory blood pressure monitoring and effect of microphone replacement on its performance. *J Ambulat Monit* 1991; 4: 281-288.
  82. Palma Gámiz JL, Isasa Gay MD. Evaluación clínica del ACP-2200. Un nuevo equipo para el registro ambulatorio continuo de la presión arterial. *Hipertension* 1990; 7: 250-256.
  83. Palma Gámiz JL. Equipos para la monitorización ambulatoria de la presión arterial. *Hipertensión* 1993; 10 (Supl 3): 20-25.
  84. Raftery EB. The Methodology of blood pressure recording. *Br J Clin Pharmacol* 1978; 6: 193-199.
  85. Joint National Committee on Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Pressure. The Sixth Report of The Joint National Committee on Prevention, Detection and Treatment of High Blood Pressure (JNC VI). *Arch Intern Med* 1997; 157: 2.413-2.446.
  86. 1999 World Health Organisation-International Society of Hypertension. Guidelines for the management of hypertension. Guidelines Subcommittee. *J Hypertens* 1999; 17: 151-183.
  87. Gosse P, Guillo P, Ascher G, Clementy J. Assessment of arterial distensibility by monitoring the timing of Korotkoff sounds. *Am J Hypertens* 1994; 7: 228-233.
  88. Asmar R, Benetos A, Topouchian J, Laurent P, Pannier B, Brisac AM et al. Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement: validation and clinical application studies. *Hypertension* 1995; 26: 485-490.