

ORIGINAL

Interpretación computarizada del electrocardiograma para el diagnóstico de hipertrofia del ventrículo izquierdo. Proyecto ELECTROPRES[☆]

V. Barrios^{a,*}, A. Calderón^b, A. Coca^c, J.R. González-Juanatey^d,
A. Sarriá^e y L. Rodríguez-Padial^f

^a Instituto de Cardiología, Hospital Ramón y Cajal, Madrid, España

^b CS Rosa Luxemburgo, Área 5, San Sebastián de los Reyes, Madrid, España

^c Unidad de Hipertensión, Hospital Clínico, Barcelona, España

^d Servicio de Cardiología, Hospital Universitario, Santiago de Compostela, La Coruña, España

^e Instituto de Salud Carlos III, Agencia de Tecnologías Sanitarias, Madrid, España

^f Servicio de Cardiología, Hospital Virgen de la Torre, Toledo, España

Recibido el 16 de enero de 2011; aceptado el 19 de marzo de 2011

Disponible en Internet el 14 de mayo de 2011

PALABRAS CLAVE

Hipertensión arterial;
Hipertrofia
ventricular izquierda;
Electrocardiograma;
Interpretación
computarizada
electrocardiográfica

Resumen

Antecedentes y objetivos: En la práctica clínica, el electrocardiograma (ECG) es la herramienta más utilizada para detectar la hipertrofia ventricular izquierda (HVI) a pesar de su baja sensibilidad. Hemos evaluado el impacto de la interpretación computerizada del ECG en el diagnóstico de HVI en condiciones de práctica clínica.

Métodos: ELECTROPRES es una plataforma informática de libre acceso que permite la interpretación completa del ECG *on-line*. Incluye 19 criterios de HVI previamente validados mediante ecocardiografía. Se analizan los datos de los primeros 669 pacientes con hipertensión arterial (HTA) esencial incluidos en la plataforma ELECTROPRES procedentes de 21 centros de Atención Primaria de 9 de las 17 comunidades autónomas.

Resultados: Hasta abril de 2010 se han analizado 669 pacientes con HTA esencial (51,7% mujeres) con una edad media (+DE) de 66 ± 12 años. La evolución media de la enfermedad fue de 8 años y recibían un promedio de 2,4 fármacos antihipertensivos. La presión arterial sistólica fue de 139 ± 17 mmHg y la diastólica de 76 ± 11 mmHg. La frecuencia de HVI conocida por el ECG fue del 3%. Con la plataforma ELECTROPRES la prevalencia de HVI aumentó hasta el 33,3% ($p < 0,001$).

Al analizar los criterios de HVI por separado, el índice de Lewis ($[R-I + S-III] - [R-II + S-II]$) y el producto de Cornell ($R-aVL + S-V3$ [+6 en mujeres]) fueron los que más diagnósticos de HVI ofrecieron (24,8 y 13,3% respectivamente). El producto de Cornell obtuvo un mejor rendimiento

[☆] Al final del trabajo se incluyen los centros participantes centros participantes en el proyecto ELECTROPRES.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: vbarriosa@meditex.es (V. Barrios).

global para la detección de HVI, independientemente del estadio de HTA y de la presencia de complicaciones cardiovasculares.

Conclusiones: En una población de hipertensos esenciales, la lectura computarizada del ECG (plataforma ELECTROPRES) aumenta sustancialmente la detección de HVI, en comparación con la detección convencional por ECG en condiciones de práctica clínica habitual.

© 2011 Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Hypertension; Left ventricular hypertrophy; Electrocardiogram; Computerized electrocardiographic interpretation

Computerized interpretation of the electrocardiogram in the diagnosis of left ventricular hypertrophy. The ELECTROPRES project

Abstract

Introduction: Despite its low sensitivity, the electrocardiogram (ECG) is the tool used the most in the daily practice for detection of left ventricular hypertrophy (LVH). This study has aimed to assess the impact of the computerized interpretation of the ECG on the diagnosis of LVH in the practical clinical setting.

Methods: ELECTROPRES is a project based on a free access computer platform that permits an online interpretation of the electrocardiogram. It includes 19 different left LVH criteria previously validated by echocardiography in a substudy. We analyzed the data from the first 669 patients with essential arterial hypertension (ATH) included in the ELECTROPRES platform from 21 primary care centers in 9 of the 17 Spanish autonomous communities.

Results: Up to April 2010, a cohort of 669 hypertensive patients (51.7% women), with a mean age of 66.3 ± 11.89 years, was analyzed. The mean evolution of the disease was 8 years, and the patients had been receiving an average of 2.4 antihypertensive agents. Systolic blood pressure was 139 ± 17 mmHg and diastolic blood pressure 76 ± 11 . The ECG-known frequency of LVH was 3%. The prevalence of LVH increased up to 33.3% ($P < 0.001$) with the ELECTROPRES platform. When all the criteria were independently examined, the Lewis index (R-I + S-III) and the Cornell product [(R-aVL + S-V3 (+6 for women))] were those in which the most cases of left ventricular hypertrophy were detected (24.8% and 13.3%, respectively). The Lewis index and the Cornell product were the criteria that detected more cases of left ventricular hypertrophy, regardless of the AHT stage and of the presence of cardiovascular complications.

Conclusions: The ECG computerized reading (ELECTROPRES platform) significantly increases detection of left ventricular hypertrophy in a population of essential hypertense subjects compared to conventional detection with the ECG by the physician in the usual clinical practice setting.

© 2011 Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La hipertrofia ventricular izquierda (HVI) es la lesión de órgano diana más frecuente en el paciente hipertenso¹. Su presencia aumenta significativamente la morbilidad cardiovascular². Muchos de los hipertensos que acuden diariamente a las consultas presentan un riesgo cardiovascular elevado, y en muchas ocasiones, por la presencia de HVI^{3,4}. En consecuencia, la detección de HVI es un objetivo prioritario en el manejo de la HTA por sus implicaciones diagnósticas, pronósticas y terapéuticas⁵. Aunque tradicionalmente el ecocardiograma se ha considerado como el patrón de referencia para el diagnóstico de HVI, su menor accesibilidad, su mayor complejidad técnica en comparación con el electrocardiograma (ECG), así como la variabilidad inter e intraobservador, limitan su utilización de manera generalizada⁶. Por estos motivos, el ECG es la prueba diagnóstica inicial de cribado para la detección de HVI en todo paciente hipertenso. En los últimos años se han descrito nuevos criterios electrocardiográficos para el diagnóstico de HVI que mejoran la sensibilidad sin pérdida de especificidad^{7,8}. Estos criterios han sido utilizados tanto en

ensayos clínicos⁹, como en estudios de práctica clínica¹⁰ y están recogidos en las guías de la Sociedad Europea de Hipertensión y Sociedad Europea de Cardiología de 2007¹¹ y en su posterior revisión de 2009¹².

La interpretación computarizada del ECG ha sido desarrollada y utilizada con el fin de disminuir el tiempo de lectura e interpretación del ECG por los médicos, estandarizar la clasificación y minimizar la variabilidad intra e interobservador¹³⁻¹⁵. En esta línea de investigación, hemos desarrollado una plataforma informática que pretende mejorar el diagnóstico de las alteraciones electrocardiográficas en general y la detección de HVI en particular. Esta plataforma permite la interpretación online del ECG y utiliza el programa *Hannover ECG System (HES®)* que ha sido aprobado por la agencia americana *Food and Drug Administration* con el documento número K051534¹⁶.

El objetivo de este estudio ha sido evaluar el impacto de la interpretación computarizada del ECG en el diagnóstico de HVI en condiciones de práctica clínica habitual, por medio del análisis de los primeros 669 enfermos incluidos en la plataforma.

¿Qué sabemos?

El electrocardiograma (ECG) es la prueba más empleada para detectar la presencia de hipertrofia del ventrículo izquierdo (HVI) en pacientes con hipertensión arterial (HTA) esencial.

¿Qué aporta este estudio?

El análisis computarizado del ECG (19 criterios aceptados para el diagnóstico de HVI) permite aumentar por 10 la sensibilidad del ECG para establecer el diagnóstico de HVI.

Los editores

Métodos

Desarrollo del proyecto ELECTROPRES

El proyecto ELECTROPRES que está tutelado por el Instituto de Salud Carlos III como propietario y garante de la base de datos, se está desarrollando en el ámbito de las consultas de Atención Primaria y Especializada que atienden a los pacientes hipertensos en todo el territorio nacional. Tras una historia clínica y exploración física completa, se realizó un ECG de 12 derivaciones que previo consentimiento informado por escrito del paciente, se envía con un conjunto básico de datos clínicos previamente definido (**tabla 1**) vía internet a una base central de datos (servidor externo, GOC Networking). Esta plataforma dispone de un sistema de encriptación de los registros electrocardiográficos y de la información clínica que cumple con la legislación vigente de protección de datos. De forma prácticamente instantánea, la plataforma emite un informe con la interpretación completa del ECG, incluyendo un apartado específico con el análisis de los criterios electrocardiográficos de HVI (**tabla 2**).

Validación de la plataforma ELECTROPRES

Para poder desarrollar e implantar la plataforma como una herramienta válida y fiable para el diagnóstico electrocardiográfico de HVI, se realizó previamente una rigurosa validación de la misma en tres etapas:

Verificación de la adecuación del programa

Se realizó una amplia revisión de la bibliografía para verificar la idoneidad del programa en relación a los objetivos de la plataforma. De forma resumida, el programa *Hannover ECG System* (HES[®]) de la plataforma ELECTROPRES permite asegurar la normalidad de un ECG (sensibilidad del 86%, especificidad 93,3%), diagnosticar el infarto de miocardio (sensibilidad 73%, especificidad 97%) y diagnosticar la fibrilación/flutter auricular (sensibilidad 93,4%, especificidad 99,5%)¹⁷. Esta exactitud es equiparable a la lograda por ocho cardiólogos expertos en la interpretación electrocardiográfica: 75,8 vs 79,2% (p = no significativa)¹⁸. Un dato

Tabla 1 Variables predefinidas incluidas en la plataforma ELECTROPRES (de obligada cumplimentación)

Variables generales

- Fecha del electrocardiograma (visita)
- Fecha de nacimiento (cálculo automático de la edad)
- Sexo
- Motivo de la realización del ECG

Variables clínicas

- Antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular
- Tabaquismo
- Peso y talla (cálculo automático del índice de masa corporal)
- Presión arterial sistólica y diastólica
- Frecuencia cardíaca
- Perímetro abdominal
- Dislipemia
- Diabetes mellitus
- Síndrome metabólico

Lesión subclínica

- Ateromatosis carotídea
- Renal
- Hipertrofia ventricular izquierda

Enfermedad cardiovascular establecida

- Enfermedad cerebrovascular
- Enfermedad cardíaca (infarto, angina, revascularización coronaria, insuficiencia cardíaca)
- Arteriopatía periférica
- Insuficiencia renal
- Retinopatía

importante que apoya la idoneidad del programa HES[®] para la plataforma ELECTROPRES fue que obtuvo entre los diferentes programas el mejor porcentaje de aciertos para el diagnóstico de HVI (72,1%), siendo superior al obtenido para el conjunto de cardiólogos (60,4%) y similar al del cardiólogo más preciso (72,5%)¹⁸.

Validación y verificación de la lectura de los criterios electrocardiográficos realizados por el programa HES

Se realizó una validación por pares por dos médicos expertos en electrocardiografía de 80 ECG, comparando su interpretación con los resultados obtenidos por la plataforma. La validación se realizó para todos los criterios electrocardiográficos incluidos en la plataforma y se prestó especial atención a la lectura de la duración del QRS, los productos duración por voltaje y el criterio de Romhilt-Estes. Los resultados mostraron un grado de concordancia superior al 0,9 para todos los criterios analizados, sin diferencias significativas entre ellos.

Realización de un estudio de validación del diagnóstico de HVI controlado con ecocardiografía

Se seleccionaron por muestreo aleatorio 301 sujetos de una población de 1.875 pacientes mayores de 18 años atendidos consecutivamente en una consulta externa de cardiología (entre los años 2003 y 2009) a los que se les había realizado en la misma visita un ECG y un ecocardiograma en el que se midió la masa ventricular izquierda. Los datos

Tabla 2 Lista de los criterios electrocardiográficos analizados por la plataforma ELECTROPRES

Criterio	Fórmula	Límite para diagnóstico de HVI
Algoritmo ELECTROPRES	Positividad de al menos un criterio de todos los analizados por la plataforma	Como mínimo un criterio positivo
Voltaje de Sokolow-Lyon (mV)	$S(V1) + R(V5)$ o $R(V6)$ (la de mayor amplitud)	$\geq 3,5$ mV
Voltaje de Cornell (mV)	$R(aVL) + S(V3)$	$\geq 2,8$ mV (V) $\geq 2,0$ mV (M)
R6:R5	$R(V6)/R(V5)$	> 1
RaVL (mV)	$R(aVL)$	$> 1,1$ mV
Gubner-Ungerleider (mV)	$R(I) + S(III)$	$> 2,5$ mV
Índice de Lewis (mV)	$(R[I] + S[III]) - (R[III] + S[I])$	$> 1,7$ mV
QRS 12 (mV)	Suma de las ondas R y S (o la Q, si es más amplia que la S) en las 12 derivaciones	$> 19,530$ mV (V) $> 18,499$ mV (M)
HES	Regresión logística	
PDV Sokolow-Lyon	$S(V1) + R(V5)$ o $R(V6)$ (la de mayor amplitud) \times duración del QRS	$> 367,4$ mv.ms (V) $> 322,4$ mv.ms (M)
PDV Cornell	Varones: $R(aVL) + S(V3) \times QRS$ Mujeres: $R(aVL) + S(V3) + 0,6$ mv \times duración QRS	> 244 mv.ms
PDV Gubner	Gubner \times duración	> 207 mv.ms
PDV RaVL	$R(aVL) \times$ duración QRS	> 103 mv.ms
PDV QRS 12	Suma de las ondas R y S (o la Q, la más amplia) en las 12 derivaciones \times duración QRS	$> 2348,8$ mv.ms (V) $> 1960,7$ mv.ms (M)
Algoritmo de Perugia	a) $SV3 + R(aVL) > 2,4$ mV en varones o $> 2,0$ mV en mujeres b) Alteraciones mayores de la repolarización c) Romhilt-Estes ≥ 5	Uno (a, b o c) al menos positivo
Criterio de Romhilt-Estes		> 4 o > 5 puntos

HES: Hannover ECG System; PDV: producto duración por voltaje.

fueron transferidos a la plataforma previa aprobación por el comité ético correspondiente (Hospital Virgen de la Salud de Toledo). Para obtener una muestra de características similares a la población incluida en la plataforma, el muestreo

se realizó sobre la población con diagnóstico previo de HTA y se estratificó por edad, sexo e índice de masa corporal. Se excluyeron aquellos pacientes con valvulopatía conocida u otras patologías cardiovasculares que se asocian a HVI,

Tabla 3 Validación de la plataforma ELECTROPRES: validez de los criterios electrocardiográficos y del algoritmo ELECTROPRES

Criterio	S	E	VPP	VPN	RVP	RVN	PPP	PPN
Algoritmo de ELECTROPRES	50,4	64,2	50	64,5	1,41	0,77	50	35,43
Voltaje de Sokolow	1,6	97,1	28,6	58,1	0,56	1,01	28,5	41,8
Voltaje de Cornell	5,6	99,9	99,9	59,8	7,67	0,94	33,6	40,1
R6/R5	4,8	94,8	40	58,3	0,94	1	40	41,6
R aVL	5,6	96,5	53,8	59	1,64	0,98	53,8	40,9
Índice de Lewis	20	91,4	62,5	61,6	2,35	0,87	62,5	38,1
Suma QRS-12	3,2	96,5	40	58,4	0,94	1	40	41,5
PDV Cornell	9,6	98,3	80	60,5	5,63	0,92	80	39,5
PDV Sokolow	1,6	97,1	28,5	58,1	0,56	1,01	28,5	41,8
PDV RaVL	12,8	94,3	61,5	60,3	2,25	0,92	61,5	39,6
PDV Suma QRS-12	7,2	93,7	45	58,7	0,99	1,16	45	41,2
Algoritmo de Perugia	13,6	95,4	68	60	2,99	0,91	68	39,1
Romhilt-Estes > 4	3,2	97,7	50	58,7	1,41	0,99	50	41,3
Romhilt-Estes > 5	4	91,8	71,4	58,1	4,34	0,97	33,7	40,8

E: especificidad; PDV: producto duración por voltaje; PPN: probabilidad postest negativa; PPP: probabilidad postest positiva; RVN: razón de verosimilitud negativa; RVP: razón de verosimilitud positiva; S: sensibilidad; VPN: valor predictivo negativo; VPP: valor predictivo positivo.

excepto la HTA. La masa ventricular izquierda se calculó de acuerdo a la ecuación de Devereaux¹⁹. Se consideró HVI un índice de masa ventricular izquierda superior a 134 g/m² en varones y a 110 g/m² en mujeres. La prevalencia de HVI por ecocardiograma en la muestra fue del 40%. Para poder evaluar y comparar el impacto de la lectura computerizada se construyó un algoritmo en el que se definió como HVI el resultado positivo de al menos uno de los criterios analizados por la plataforma. La validez de los criterios electrocardiográficos analizados se muestra en la [tabla 3](#). Globalmente la especificidad fue próxima al 95% para la mayoría de los criterios y por lo tanto clínicamente relevante. El criterio más sensible fue el índice de Lewis (19%), seguido por el producto duración voltaje de Cornell y el algoritmo de Perugia. Es interesante señalar que el criterio de voltaje de Sokolow-Lyon, tal vez el más conocido y utilizado en la práctica clínica, fue el menos sensible. En comparación con los criterios analizados por separado, el algoritmo de la plataforma ELECTROPRES aumentó la sensibilidad hasta un 50%, si bien la especificidad se redujo al 64%.

Diseño del estudio

Estudio observacional descriptivo en el ámbito de Atención Primaria en población hipertensa asistida en condiciones de práctica clínica.

Selección de la muestra

El proyecto ELECTROPRES está implantado en todo el territorio nacional. Para el presente análisis se incluyen las bases de datos de 20 centros de Atención Primaria procedentes de 9 comunidades autónomas (ver apéndice: centros participantes). El criterio de selección de los centros fue el estar incorporado a la plataforma y haber incluido al menos un registro válido hasta la fecha del análisis de los datos. Los investigadores incorporados a la plataforma lo hicieron de forma voluntaria sin ninguna limitación específica adicional. Todos los investigadores cumplían los requisitos solicitados por las diferentes comunidades autónomas.

La función asistencial es uno de los objetivos del proyecto ELECTROPRES. Por ello, los pacientes incluidos fueron hipertensos atendidos habitualmente en condiciones de práctica clínica. Se incluyeron pacientes mayores de 18 años, con diagnóstico de HTA esencial confirmado que otorgaron su consentimiento informado por escrito y que bajo criterio médico precisarán la realización de un ECG. Para que la muestra fuese una representación adecuada de la práctica clínica habitual no se definieron criterios de exclusión específicos. Para ser incluido en el estudio fue necesario cumplimentar todos los datos expuestos en la [tabla 1](#), y disponer de un ECG de suficiente calidad para ser interpretado por la plataforma ELECTROPRES. En caso de faltar alguno de los datos sociodemográficos o clínicos, o ser el ECG de mala calidad, y que el sistema no permitiese la lectura del ECG, el registro no fue incorporado a la base de datos. Este sistema permite garantizar una buena calidad del registro, más aún si tenemos en cuenta que al tener una función asistencial, la información aportada se puede utilizar para tomar decisiones clínicas.

VARIABLES DEL ESTUDIO

Las variables clínicas y sociodemográficas fueron introducidas por los investigadores a partir de los datos de las respectivas historias clínicas. Para la presión arterial, la frecuencia cardiaca, el peso y el perímetro de cintura se consideraron los datos obtenidos en la visita de realización del ECG, o en su ausencia, los más recientes. Las variables de dislipemia, diabetes mellitus y síndrome metabólico se registran de forma categórica (sí/no) a partir de los datos de la historia clínica siguiendo los criterios de las recomendaciones de NCEP-ATPIII y ADA 2008 y posteriores.

La identificación de lesión subclínica se registró en forma categórica para las variables de ateromatosis carotídea, lesión renal subclínica e HVI (sí/no/no conocida, según los datos de la historia clínica). Para el análisis no se consideraron los casos en los que la variable se registró como «no conocida». La lesión renal subclínica se diagnosticó por tres criterios diferentes no excluyentes entre sí y definidos siguiendo las directrices de las guías de ESH/ESC 2007¹¹: creatinina, microalbuminuria o cociente albúmina/creatinina. El diagnóstico previo de HVI se documentó en tres categorías no excluyentes entre sí, según fuera por ECG (médico de Atención Primaria) ecocardiografía o resonancia magnética cardiaca (ambos por el cardiólogo).

La identificación de enfermedad cardiovascular establecida se registró en forma categórica (sí/no) pudiéndose identificar el tipo para enfermedad cerebrovascular (ictus, accidente isquémico transitorio, hemorragia cerebral), cardiopatía (infarto, angina, revascularización coronaria, insuficiencia cardiaca), arteriopatía periférica, enfermedad renal (creatinina elevada valorada como variable cuantitativa en mg/dl, proteinuria, filtrado glomerular < 60 mg/ml) y retinopatía (proliferativa o no proliferativa).

Todos los criterios diagnósticos mencionados previamente pudieron ser consultados por los investigadores en la base de datos de la plataforma durante todo el proceso de introducción de datos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La base de datos está sometida de forma permanente a un control de calidad por la empresa GOC-Networking. Antes de analizar los datos del presente manuscrito se emplearon técnicas estadísticas para corregir desviaciones. Los datos anómalos se contrastaron primero con la base de datos y si seguían siendo incongruentes se consultaron en segundo lugar con los investigadores. Esta información se encuentra resumida en el manuscrito original¹⁶. Las variables categóricas se expresan en frecuencias y porcentajes, y las variables continuas como media ± desviación estándar. Se realizaron test preliminares (Kolmogorow-Smirnov) para asegurar la distribución de la muestra y la aplicabilidad de los test estadísticos. Para el análisis de los diferentes criterios electrocardiográficos en el estudio de validación se utilizaron tablas 2 × 2 con los diferentes puntos de corte para el ecocardiograma y cada criterio electrocardiográfico, calculándose la especificidad, sensibilidad, razones de verosimilitud, valores predictivos y probabilidades postest. Para la comparación de variables categóricas se utilizó el

Tabla 4 Características de los primeros 669 pacientes con hipertensión arterial esencial incluidos en la plataforma ELECTROPRES

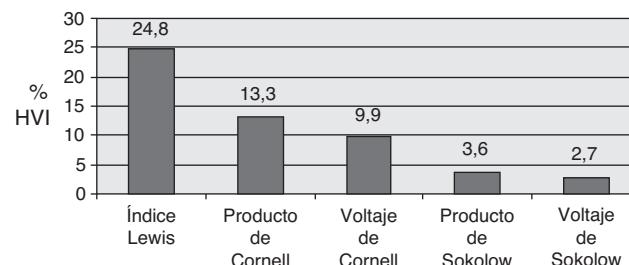
Muestra (N)	669	
Edad (media, SD)	66,3	11,8
Mujer (N, %)	346	51,70
IMC mujer (media, SD)	31,0	5,75
IMC hombre (media, SD)	29,2	4,3
Perímetro abdominal mujer (media, SD)	101,2	13,8
Perímetro abdominal hombre (media, SD)	101,5	11,4
Años de evolución de HTA (media, SD)	8,1	5,0
PAS (media, SD)	139,0	17,3
PAD (media, SD)	76,9	11,1
FC (media, SD)	72	12
Diabetes mellitus (N, %)	223	33,5
Albuminuria (N, %)	43	6
Enfermedad renal (N, %)	29	4
Enfermedad cardiaca (N, %)	23	3
Enfermedad arterial periférica (N, %)	42	6
Cardiopatía isquémica (N, %)	46	6
Accidente cerebrovascular (N, %)	38	5

FC: frecuencia cardiaca; IMC: índice de masa corporal; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; SD: desviación estándar.

test de Chi-cuadrado y cuando procedía el test de Fisher. Para la comparación de variables cuantitativas se utilizó la *t* de Student y análisis de la varianza. Se aceptó 0,05 como nivel de significación. El diseño de la base de datos estuvo sometido a reglas de coherencia internas y rangos para controlar las incoherencias y/o incorrecciones en la recogida y la tabulación de los datos (SPSS versión 11.0.1, Data Entry).

Resultados

En este estudio hemos analizado los primeros 669 pacientes incluidos en la plataforma ELECTROPRES (hasta finales de abril de 2010). La edad media (\pm DE) fue de 66 ± 12 años. Un 51,7% de los sujetos eran mujeres. Las cifra media de la presión arterial sistólica fue de 139 ± 17 mmHg y de la presión arterial diastólica de 76 ± 11 mmHg. El 53,3% de los pacientes presentaban un buen control de la presión arterial según los criterios de la reciente revisión de las guías de HTA de la ESH de 2009¹² ($< 140/90$ mmHg para todos los hipertensos). La cardiopatía fue la enfermedad cardiovascular más frecuente (10,2%), desglosándose en un 34,0% para



HVI: hipertrofia ventricular izquierda

Figura 1 Porcentaje de pacientes con hipertrofia ventricular izquierda (n = 669) en función del criterio electrocardiográfico utilizado por la plataforma ELECTROPRES.

insuficiencia cardiaca; 25,2% infarto de miocardio; 19,2% de angina, y 21,60% de revascularización coronaria. El resto de características de la muestra se recogen en la **tabla 4**.

La frecuencia de HVI conocida en los 669 pacientes con HTA esencial fue del 3%. Un 65,6% de éstos había sido diagnosticado por ECG y el 34,4% por ecocardiografía. Al aplicar el algoritmo de la plataforma ELECTROPRES, la frecuencia de HVI se elevó hasta el 33,3% ($p < 0,0001$ respecto de la HVI conocida por los médicos de Atención Primaria con el ECG). Analizados por separado, el índice de Lewis fue el que detectó más casos de HVI (24,8%) seguido del producto duración voltaje de Cornell (13,3%) (**fig. 1**). El criterio de voltaje de Sokolow-Lyon que posiblemente es el más utilizado en la práctica clínica, apenas detectó un 2,7% de los enfermos con HVI. Analizando el número de criterios positivos para HVI, el 38,8% de los casos cumplían sólo uno mientras que el 20,8% cumplían dos y el 40,4% tres o más criterios.

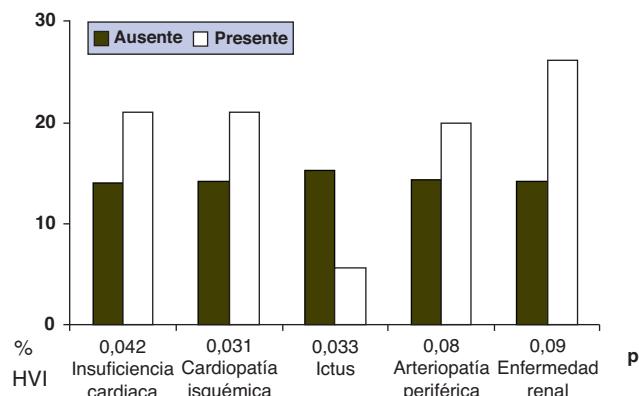
Al evaluar el rendimiento de los criterios electrocardiográficos en función del estadio de HTA (guías ESH/ESC 2007-2009), el índice de Lewis detectó más frecuentemente HVI en estadio 2 en comparación con los estadios 1 y 3 ($p = 0,007$), mientras que el producto duración voltaje de Cornell diagnosticó HVI por igual en todos los estadios. Los pacientes diagnosticados por el producto duración por voltaje de Cornell fueron con más frecuencia mujeres y de mayor edad, mientras que los detectados por el criterio de voltaje de Sokolow eran frecuentemente más delgados y varones (**tabla 5**).

Se analizó el rendimiento de los diferentes criterios electrocardiográficos en el subgrupo de pacientes con enfermedad cardiovascular establecida. Únicamente se encontraron diferencias para el criterio del producto duración

Tabla 5 Diferencias entre tres criterios de hipertrofia ventricular izquierda

Criterio de HVI	HVI	Edad	Perímetro abdominal	Índice de masa corporal	Género varón/mujer	Presión sistólica	Presión diastólica
I. Lewis	Sí	$66,5 \pm 11,9$	$102,7 \pm 12,5$	$30,6 \pm 4,8$	42,2/57,8	$142,5 \pm 11,2$	$78,1 \pm 7,5$
	No	$66,2 \pm 11,8$	$100,9 \pm 12,6$	$30,1 \pm 5,2$	50,3/49,7	$139,1 \pm 10,5$	$77,7 \pm 8,5$
P. Cornell	Sí	$69,2 \pm 13,5^*$	$101,7 \pm 14,1$	$30,5 \pm 5,6$	30,3/69,7*	$142,7 \pm 11,6$	$76,9 \pm 7,2$
	No	$65,9 \pm 11,5$	$101,2 \pm 12,4$	$30,5 \pm 5,1$	51/49	$139,2 \pm 10,1$	$77,8 \pm 7,6$
V. Sokolow	Sí	$67,9 \pm 10,5$	$94,9 \pm 11,1^*$	$27,5 \pm 4,2$	55,6/44,4*	$141,7 \pm 11,2^*$	$77,1 \pm 7,5$
	No	$66,3 \pm 11,8$	$101,5 \pm 12,6$	$30,2 \pm 5,1$	48,1/51,9	$136,9 \pm 10,8$	$76,1 \pm 7,8$

* $p < 0,05$ para la comparación entre HVI sí y HVI no.



Se compara por medio del test de Chi cuadrado el porcentaje de diagnósticos de HVI por el producto de Cornell entre todos los pacientes que no tienen la enfermedad cardiovascular (barras negras) con el porcentaje de diagnósticos de HVI por el producto de Cornell entre todos los que si tienen la enfermedad (barras blancas).

Esta comparación se realiza para cada una de las cinco categorías de enfermedad cardiovascular. Como ejemplo, la frecuencia de HVI entre los pacientes sin insuficiencia cardiaca (barra negra) es del 14%, mientras que en los pacientes con insuficiencia cardiaca (barra blanca) es del 22% ($p=0,042$).

Figura 2 Rendimiento del criterio del producto duración voltaje de Cornell en función de la enfermedad cardiovascular.

Tabla 6 Alteraciones electrocardiográficas diagnosticadas por la plataforma ELECTROPRES

ECG normal	44,76%
Hipertrofia ventricular izquierda	33,2%
Fibrilación auricular	3,80%
Infarto de miocardio inferior	3,46%
Alteraciones del segmento ST	2,80%
Bloqueo auriculoventricular avanzado	2,20%
Alteraciones de la repolarización	2,05%
Hipertrofia ventricular derecha	1,64%
Infarto de miocardio anterior	1,18%
Bloqueo auriculoventricular primer grado	0,90%
Otros	9,72%

por voltaje de Cornell que detectó más casos de HVI en presencia de cardiopatía isquémica ($p=0,042$) e insuficiencia cardiaca ($p=0,031$) y menos casos en presencia de ictus previo ($p=0,033$) (fig. 2).

Del total de ECG analizados, el 44,8% fueron clasificados como «ECG normal» (sin ninguna alteración electrocardiográfica) por la plataforma ELECTROPRES. Entre los trastornos del ritmo, el más frecuente fue la fibrilación auricular (3,8%) seguido del bloqueo auriculoventricular de segundo y tercer grado (2,20%) (tabla 6).

Discusión

Los resultados del presente estudio muestran como la lectura computarizada del ECG aumenta notablemente la detección de HVI en pacientes con HTA esencial, en condiciones de práctica clínica habitual. Hasta el momento, el proyecto ELECTROPRES es el primer sistema de lectura computarizada del ECG accesible a todos los profesionales, que analiza simultáneamente 19 criterios electrocardiográficos

y establece un algoritmo que mejora los resultados de los criterios y algoritmos descritos hasta ahora.

La detección precoz de la HVI es un objetivo prioritario en todo paciente hipertenso por sus implicaciones clínicas²⁰⁻²³. La principal limitación de los criterios electrocardiográficos es su baja sensibilidad con un elevado número de falsos negativos. Ante una patología como la HVI con una prevalencia elevada para la que existen unos tratamientos más eficaces que otros, la reducción de los falsos negativos parece una estrategia muy necesaria. Por esta razón, en los últimos años se ha reactivado el interés por el desarrollo de nuevos criterios para el diagnóstico de HVI. Además del estudio original de Okin⁹, un estudio español²⁴ analizó la validez del producto duración por voltaje en comparación con los criterios de voltaje Cornell y Sokolow en condiciones de práctica clínica, encontrando que aumentaba la sensibilidad entre dos y tres veces sin pérdida significativa de especificidad.

La utilización del algoritmo de ELECTROPRES aumenta el diagnóstico de HVI hasta el 33% de la población hipertensa estudiada, por encima de la HVI detectada por el índice de Lewis o el producto duración voltaje de Cornell. Se disminuye de este modo el número de falsos negativos, y por lo tanto, de pacientes que podrían beneficiarse de unos objetivos de control más rigurosos y de un tratamiento más específico e intensivo. Sin embargo, al disminuir la especificidad puede elevarse el número de falsos positivos. Ofrecer un diagnóstico de HVI sin que lo sea (falso positivo) no condiciona que se tengan que utilizar tratamientos o técnicas diagnósticas con efectos perjudiciales para el paciente. De hecho, el impacto psicológico sobre el paciente es mínimo el ser un factor de riesgo y no una enfermedad *per se*, existir un tratamiento efectivo y ser reversible. En este contexto el beneficio del aumento en la detección de casos puede superar el posible riesgo de establecer el diagnóstico de HVI en un enfermo concreto cuando no la tiene. Esto puede ser de utilidad en la práctica clínica, ya que los resultados de la plataforma ELECTROPRES superan apreciablemente los resultados obtenidos en otros estudios²⁵⁻²⁷.

Un aspecto que es interesante destacar por novedoso, es que el índice de Lewis fue el criterio que más HVI detectó, lo cual no se ha referenciado previamente en la literatura. Consideramos que este hallazgo es relevante si tenemos en cuenta que su cálculo es relativamente sencillo y que en el estudio de validación su sensibilidad y especificidad eran superior y similar respectivamente a los criterios habitualmente utilizados. En cambio, el criterio de Sokolow-Lyon, posiblemente el más utilizado en la práctica clínica, apenas detectó el 2,7% de los casos de HVI. Una posible explicación pudiera ser que este criterio es más sensible para los casos de HVI moderada y severa, y la población atendida en Atención Primaria suele tener una HVI en grado ligero.

Otra aportación importante de la plataforma ELECTROPRES es que facilita la selección del criterio diagnóstico más adecuado según las características clínicas de cada paciente. Es muy importante tener presente que la detección de HVI por electrocardiografía puede variar en función del género, la edad, el peso corporal y la patología asociada²⁸⁻³¹. En este sentido, la HVI detectada por el producto duración voltaje de Cornell es más frecuente en pacientes de mayor edad, en mujeres y no depende del estadio de la HTA (guías de la ESH/ESC 2007¹¹ y revisión

ESH de 2009¹²). Para el índice de Lewis, el diagnóstico de HVI era más probable en el estadio 2, en comparación con los estadios 1 y 3. Cuando existe enfermedad cardiovascular asociada el producto duración voltaje de Cornell fue el que mostró un mejor rendimiento para detectar HVI en presencia de cardiopatía isquémica o insuficiencia cardiaca. Ello se debe probablemente a que incluye la duración del QRS en su cálculo y ambas patologías se pueden asociar a trastornos en la despolarización ventricular que se manifiestan en el ECG como una prolongación del QRS, lo que le confiere un mayor riesgo^{32,33}.

Finalmente, es importante reseñar que la plataforma ELECTROPRES puede proporcionar datos adicionales de gran interés relacionados con la severidad de la HVI como son el intervalo QT prolongado³⁴, el patrón de sobrecarga y la presencia de bloqueo completo de rama izquierda³⁵.

Limitaciones del estudio

Los investigadores participantes en el proyecto ELECTRO-PRES no han sido seleccionados de forma aleatoria, y por lo tanto, puede existir un cierto sesgo de selección en los pacientes incluidos. Sin embargo, es importante destacar que no han existido criterios para la inclusión de pacientes más allá de los considerados por los propios investigadores de acuerdo a sus protocolos, por lo que la muestra puede ser un reflejo de la práctica clínica habitual en el ámbito de la Atención Primaria.

La sensibilidad y especificidad del algoritmo ELECTRO-PRES puede aumentar el número de falsos positivos. Sin embargo, como se ha comentado en la discusión, esta condición no implica efectos perjudiciales para el paciente, no exige de acuerdo a la información vigente confirmación eco-angiográfica y a cambio permite la detección de más casos que si utilizamos el resto de criterios utilizados habitualmente.

El diagnóstico de HVI en los pacientes incluidos en el estudio no ha sido contrastado con una prueba de imagen. Sin embargo, previamente se ha realizado un estudio de validación en 301 pacientes con características sociodemográficas y clínicas similares a la población incluida en el presente estudio. Ello permite extrapolar con un elevado margen de seguridad la validez de los criterios analizados a la población del presente estudio.

En suma, la plataforma ELECTROPRES es una herramienta de interpretación *online* del ECG que al analizar simultáneamente múltiples criterios, mejora notablemente el diagnóstico electrocardiográfico de HVI. La utilización del algoritmo ELECTROPRES detecta HVI en un 33% de la población hipertensa asistida en condiciones de práctica clínica, lo que podría modular futuras recomendaciones para la práctica clínica³⁶. Simultáneamente permite la elección de los criterios más apropiados en función de las características clínicas de cada paciente, aporta información adicional relevante relacionada con la HVI y realiza una interpretación global del ECG.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación específica.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Centros participantes en la plataforma ELECTROPRES

CA Alicante: CS El Campillo; CA Andalucía: CS Pozoblanco, CS de Ginés, CS Gerena; CA Aragón: CS Utebo; CA Castilla-La Mancha: CS Sillería; CA Cataluña: CAP Gótic, CAP Anglés, CAP Can Gibert del Pla, CAP Sarriá de Ter; CA Extremadura: CS Villanueva de la Serena, CS Almendral, CS Medina de las Torres; CA Galicia: CS Ribeira, CS Boiro; CA Madrid: CS Rosa Luxemburgo, CS Federica Montseny, CS Cerro del Aire; CA País Vasco: CS Aranbizcarra, CS Sopelana.

Bibliografía

1. Barrios V. Tratamiento de la cardiopatía hipertensiva. En: Barrios V, editor. *Hipertensión y corazón*. Madrid: Momento Médico Iberoamericana; 2003. p. 53–64.
2. Verdecchia P, Schillacci G, Borgioni C, Ciucci A, Gattobigio R, Zampi I, et al. Prognostic significance of serial changes in left ventricular mass in essential hypertension. *Circulation*. 1998;97:48–54.
3. Barrios V, Escobar C, Calderón A, Echarri R, González-Pedel V, Ruilope LM. Cardiovascular risk profile and risk stratification of the hypertensive population attended by general practitioners and specialists in Spain. The CONTROLRISK study. *J Hum Hypertens*. 2007;21:479–85.
4. Fernández JM, Maestro FJ, Allut G, Grigorian L, Otero-Raviña F, González-Juanatey JR. Elevada prevalencia de hipertrofia ventricular izquierda en pacientes con hipertensión arterial de larga evolución. *Med Clin (Barc)*. 2007;129:46–50.
5. Palmieri V, Okin PM, Bella JN, Wachtell K, Oikarinen L, Gerdts E, et al. Electrocardiographic strain pattern and left ventricular diastolic function in hypertensive patients with left ventricular hypertrophy: the LIFE study. *J Hypertens*. 2006;24:2079–84.
6. de Simone G, Muiesan ML, Ganau A, Longhini C, Verdecchia P, Palmieri V, et al. Reliability and limitations of echocardiographic measurement of left ventricular mass for risk stratification and follow-up in single patients: the RES trial. Working Group on Heart and Hypertension of the Italian Society of Hypertension. Reliability of M-mode Echocardiographic Studies. *J Hypertens*. 1999;17:1955–63.
7. Molloy TJ, Okin PM, Devereaux RB, Kligfield P. Electrocardiographic detection of left ventricular hypertrophy by the simple QRS voltage-duration product. *J Am Coll Cardiol*. 1992;20:1180–6.
8. Okin PM, Roman MJ, Devereaux RB, Kligfield P. Electrocardiographic identification of increased left ventricular mass by simple voltage-duration products. *J Am Coll Cardiol*. 1995;25:417–23.
9. Dahlöf B, Devereaux RB, Julius J, Kjeldsen SE, Beepers G, de Fraire U, et al. Cardiovascular morbidity and mortality in the Losartan Intervention for Endpoint reduction in hypertension study (LIFE): a randomised trial against atenolol. *Lancet*. 2002;359:995–1003.
10. Barrios V, Calderón A, Escobar C, Barrios S, Navarro-Cid J, González-Pedel V, et al. Electrocardiographic left ventricular hypertrophy regression induced by an angiotensin receptor blocker-based regimen in daily clinical practice. The SARA study. *J Hypertens*. 2007;25:1967–73.
11. Mancia G, De Backer G, Dominicak A, Cifkova R, Fagard R, Germano G, et al. 2007 Guidelines for the Management of

- Arterial Hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *J Hypertens.* 2007;25:1105–87.
12. Mancia G, Laurent S, Agabiti-Rosei E, Ambrosioni E, Burnier M, Caulfield MJ, et al. Reappraisal of European guidelines on hypertension management: a European Society of Hypertension Task Force document. *J Hypertens.* 2009;27: 2121–58.
13. Willems JL. Quantitative electrocardiography. Standardization and performance evaluation. *Ann NY Acad Sci.* 1990;601:329–42.
14. RuDusky BM. Errors of computer electrocardiography. *J Vascular Diseases.* 1997;48:1045–50.
15. Willems JL, Abreu-Lima C, Arnaud P, van Bemmel JH, Brohet C, Degani R, et al. The diagnostic performance of computer programs for the interpretation of electrocardiograms. *N Engl J Med.* 1991;325:1767–73.
16. Institute for Medical Diagnostics. Validation according to IEC60601-2-51 of the Hannover ECG System HES®. Version 1.0, 24-05-2006. Copyright @ Biosigna GmbH, 2000-2006. Disponible en: http://www.nkusa.com/neurology_cardiology/pdfs/cardio/cardiology.news.0022-1.pdf.
17. Willems JL, Abreu-Lima C, Arnaud P, van Bemmel JH, Brohet C, Degani R, et al. Effect of combining electrocardiographic interpretation results on diagnostic accuracy. *Eur Heart J.* 1988;9:1348–55.
18. Willems JL, Abreu-Lima C, Arnaud P, Brohet CR, Denis B, Gehring J, et al. Evaluation of ECG interpretation results obtained by computer and cardiologists. *Methods Inf Med.* 1990;29:308–16.
19. Devereux RB, Alonso DR, Lutas EM, Gottlieb GJ, Campo E, Sachs I, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. *Am J Cardiol.* 1986;57:450–8.
20. Barrios V, Calderón A, Escobar C, Amador A. Cardiac protection as priority strategy of cardiovascular prevention in high blood pressure. *Rev Clin Esp.* 2005;205:433–8.
21. Okin PM, Devereaux RB, Julius J, Kjeldsen SE, Beepers G, de Fraire U, et al. Regression of electrocardiographic left ventricular hypertrophy during antihypertensive treatment and the prediction of major cardiovascular events. *JAMA.* 2004;292:2343–9.
22. de Rivas B, División JA, Sobrevuela E, Márquez-Contreras E, Luque M. Prevalencia y riesgo de desarrollar insuficiencia cardiaca en los hipertensos españoles atendidos en Atención Primaria. Estudio HICAP. *Rev Clin Esp.* 2008;208: 513–6.
23. Gil-Guillén V, Merino-Sánchez J, Sánchez-Ruiz T, Amorós-Barber T, Aznar-Vicente J, Abellán-Alemán J. Valoración del riesgo cardiovascular en la fase transversal del estudio Mediterránea. *Rev Clin Esp.* 2009;209:211–20.
24. Calderón A, Barrios V, Escobar C, Ferrer E, Barrios S, González-Pédel V, et al. Detection of Left Ventricular Hypertrophy by Different Electrocardiographic Criteria in Clinical Practice. Findings From the Sara Study. *Clin Exp Hypertens.* 2010;32:145–53.
25. Lozano JV, Redón J, Cea-Calvo L, Fernández-Pérez C, Navarro J, Bonet A, et al. Hipertrofia ventricular izquierda en la población hipertensa española. Estudio ERIC-HTA. *Rev Esp Cardiol.* 2006;59:136–42.
26. Llisterri JL, Rodríguez-Roca GC, Alonso FJ, Lou S, División JA, Santos JA, et al. Control de la presión arterial en la población hipertensa atendida en Atención Primaria. Estudio PRESCAP 2002. *Med Clin (Barc).* 2004;122:165–71.
27. González-Juanatey JR, Cea-Calvo L, Bertomeu V, Aznar J, en representación de los investigadores del estudio VIIDA. Criterios electrocardiográficos de hipertrofia ventricular izquierda y perfil de riesgo cardiovascular en hipertensos. Estudio VIIDA. *Rev Esp Cardiol.* 2007;60:148–56.
28. Okin PM, Gerdts E, Kjeldsen SE, Julius S, Edelman JM, Dahlöf B, et al. Gender differences in regression of electrocardiographic left ventricular hypertrophy during antihypertensive therapy. Losartan Intervention for Endpoint Reduction in Hypertension Study Investigators. *Hypertension.* 2008;52:100–6.
29. Antikainen RL, Grodzicki T, Beevers DG, Webster J, Jokelainen JJ, Bulpitt CJ. Left ventricular hypertrophy by Sokolow-Lyon voltage criterion predicts mortality in overweight hypertensive subjects. *J Hum Hypertens.* 2009;23:20–6.
30. Barrios V, Escobar C, Calderón A, Barrios S, Navarro-Cid J, Ferrer E, et al. Gender differences in the diagnosis and treatment of left ventricular hypertrophy detected by different electrocardiographic criteria. Findings from the SARA study. *Heart Vessels.* 2010;25:51–6.
31. Levy D, Labib SB, Anderson KM. Determinants of sensitivity and specificity of electrocardiographic criteria for left ventricular hypertrophy. *Circulation.* 1990;81:815.
32. Dhingra R, Ho Nam B, Benjamín EJ, Wang TJ, Larson MG, DíAgostino RB, et al. Cross-sectional relations of electrocardiographic QRS duration to left ventricular dimensions: the Framingham Heart Study. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:685–9.
33. Barrios V, Escobar C, Calderón A, Tomás JP, Ruiz S, Moya JL, et al. Regression of left ventricular hypertrophy by a candesartan-based regimen in clinical practice. The VIPE Study. *JRAAS.* 2006;7:236–42.
34. Salles G, Leocadio S, Bloch K, Nogueira AR, Muxfeldt E. Combined QT interval and voltage criteria improve left ventricular hypertrophy detection in resistant hypertension. *Hypertension.* 2005;46:1207–12.
35. Li ZB, Wachtell K, Okin PM, Gerdts E, Liu JE, Nieminen MS, et al. Association of left bundle branch block with left ventricular structure and function in hypertensive patients with left ventricular hypertrophy: the LIFE study. *J Human Hypertens.* 2004;18:397–402.
36. Lobos JM, Royo-Bordonada MA, Brotons C, Álvarez-Sala L, Armáro P, Maiques A, et al. Guía Europea de Prevención Cardiovascular en la Práctica Clínica. Adaptación española del CEIPC 2008. *Rev Clin Esp.* 2009;209:279–302.