

El gas hidrógeno como indicador

Por los Doctores CALOS A. BERTOLASI, EZIO ZUFFARDI,
BERNARDO RUTITZKY, CESAR A. CARREÑO

INTRODUCCION

La necesidad de una mayor precisión diagnóstica a causa de los progresos en la cirugía cardiovascular, obligan al clínico y hemodinamista a la permanente búsqueda de nuevos métodos cada vez más sensibles y al mismo tiempo menos complejos en medida tal que permitan su rápida introducción dentro de los esquemas de estudios de rutina, facilitando así la orientación terapéutica en gran número de pacientes.

En el vasto campo de los métodos de dilución han ido apareciendo con el tiempo diferentes técnicas dirigidas a esos fines y que han significado, a no dudarlo, positivos avances diagnósticos.

Entre ellas incluimos al método basado en la detección de gas hidrógeno o ascorbato mediante adecuados electrodos de platino. Desarrollado primero por Clark¹ y aplicado después por Hyman²⁻⁴ y otros autores⁵⁻⁷ creemos que constituye un aporte de valor, al posibilitar la detección intracavitaria, ser altamente sensible, e inocuo en su aplicación.

Esquematisando someramente los principios en que se basa el método, diremos que se puede recoger la diferencia de potencial creada a nivel del electrodo intracavitario (método potenciométrico) o las variaciones de la misma cuando los electrodos son cargados positivamente mediante un equipo adecuado (método amperométrico y polarográfico).

El fundamento del método potenciométrico reside en la posibilidad de reco-

ger la diferencia de potencial generado, como consecuencia del contacto entre el hidrógeno disociado y el platino. El gas, una vez llegado a nivel del alvéolo pulmonar es transportado por la sangre en solución física; al ponerse en contacto con el platino se produce un cambio parcial del estado molecular al iónico con la consecuente liberación de electrones según la ecuación



La diferencia de potencial así generada determina una deflexión en la línea de base en el electrocardiograma intracavitario que es proporcional a la tensión de hidrógeno en la vecindad y a las características físicas del electrodo.

Por otra parte ha sido preconizado el empleo de otros indicadores aprovechando su propiedad afín de tratarse de agentes químicos reductores⁸⁻⁹. El más empleado es el ácido ascórbico el que puesto en contacto con un electrodo de platino cargado positivamente es parcialmente oxidado formando ácido dehidroascórbico con la consiguiente liberación de electrones.

La diferencia básica consiste en la necesidad de aplicar una tensión constante de un voltio entre el electrodo de platino y el de referencia; este potencial se obtiene mediante una fuente de poder apropiada y lo que en realidad se mide son las alteraciones de ese potencial (método polarográfico) o de la intensidad de corriente (método amperométrico)¹⁰.

La principal ventaja reside en su ma-

yor sensibilidad para la detección de cortocircuitos de derecha a izquierda, y por otra parte existe la posibilidad teórica de cuantificarlos, si bien hasta el momento ello no ha sido logrado.

Al no disponer de la fuente de poder apropiada nuestra experiencia se limita al uso del hidrógeno por el método potenciométrico, y específicamente a su aplicación en la detección y localización de cortocircuitos de izquierda a derecha, capítulo este, al que además de la revisión bibliográfica pertinente podemos agregar nuestros resultados personales.

TECNICA

La obtención de curvas por medio de gas hidrógeno es sencilla y sin riesgos tanto para el paciente como para el equipo operador en la medida en que se respeten cuidadosamente algunas premisas fundamentales en cuanto a material y método de obtención.

El hidrógeno es provisto comprimido en tubos de gran capacidad y almacenado en un lugar distante del laboratorio de hemodinamia en vista de su gran difusibilidad y alto poder explosivo como se discutirá en el momento oportuno.

Desde dicho tubo es trasvasado a una bolsa impermeable de alrededor de 20 litros de capacidad, lo que facilita su manejo.

Para efectuar la inhalación del gas disponemos de una máscara facial de las utilizadas en anestesia, conectada por medio de una llave de tres vías a una bolsa de aproximadamente dos litros.

La detección la realizamos por medio de electrodos de platino que vienen incorporados a sondas comunes de tipo Cournand N^o 6 a 9 F y de 100 a 125 cm de longitud, según el caso. Por lo general cada catéter posee un solo electrodo en su extremo distal¹¹ pero también se hallan disponibles sondas con dos y hasta tres electrodos separados 5 a 7 cm entre ellos y que posibilitan el estudio simultáneo de cámaras sucesivas¹²⁻¹³. Periódicamente puede ser necesario platinizar los electrodos que van perdiendo sensibilidad; en ese caso es conveniente recordar algunas premisas fundamentales para evitar fallas que son atribuidas a los catéteres¹⁴.

a) Almacenar la solución de clorhidrato de platino en ampollas cerradas ya

que en contacto con el aire la solución se oxida.

b) Evitar el uso de compuestos mercuriales en la limpieza de los catéteres debido a que el mercurio interfiere con el platino.

c) Limpiar cuidadosamente los electrodos antes de platinizarlos para eliminar cualquier sustancia depositada en su superficie.

Además para simplificar la obtención de curvas en el sector arterial, en lugar de la introducción de un electrodo se puede platinizar el extremo del mandril de una aguja de Cournand y colocarlo a través de una simple punción.

Cada electrodo es conectado por medio de un sistema adecuado a un preamplificador de electrocardiograma pudiéndose así registrar el potencial endocavitario correspondiente.

La conducta con respecto al paciente no varía de la aplicada en un cateterismo de rutina, es decir, premedicación habitual o anestesia general en casos de niños pequeños.

Una vez colocados los catéteres en las cámaras en estudio según técnica convencional, cargamos la bolsa de anestesia con hidrógeno y luego aplicamos la máscara facial permitiendo al enfermo respirar aire ambiente a través de ella.

En ese momento iniciamos el registro de los electrocardiogramas intracavitarios de cada uno de los electrodos colocados; para la más cómoda lectura de la curva empleamos una velocidad de registro de 2,5 ó 5 mm por segundo y un rango de sensibilidad de 1 a 5 mm por mV.

De esta forma aparece superpuesta a la línea de base un trazado electrocardiográfico intracavitario lo cual lejos de ser un inconveniente tiene dos importantes ventajas: 1) es índice de la continuidad eléctrica del sistema evitando así errores inherentes a falsos contactos; 2) asegura el diagnóstico de cámara en estudio; no creemos necesario mencionar aquí las diferentes morfologías registradas dentro de cada una de las cavidades cardíacas por ser tema bastante conocido.¹⁵⁻¹⁶

Una vez obtenida una correcta estabilización en la línea de base, por conversión de la llave de tres vías de la máscara facial intercalamos una inhalación de hidrógeno independientemente de la

voluntad del paciente. Para ello es necesario previamente aleccionarlo de una manera que en ningún momento modifique su régimen normal de inspiración lo cual es una posible causa de artefactos; por otra parte excepcionalmente es necesario inducir al paciente a respirar más profundamente o disminuir la amplitud de sus respiraciones, para lograr una mayor entrada de hidrógeno en el primer caso o eliminar exageradas variaciones respiratorias de la línea de base en el segundo.

El instante en que se visualiza la brusca descompresión de la bolsa de goma es considerado como el momento de inhalación y marcado manualmente en el registrador; nunca en nuestra experiencia hemos utilizado un electrodo nasal que indique el paso del gas.

En la Fig. N° 1 puede objetivizarse un esquema del circuito normal que sigue el hidrógeno luego de su inhalación; en un tiempo prácticamente despreciable arriba al alvéolo pulmonar difundiendo a su través; entonces es transportado por la sangre llegando a cavidades izquierdas en 0,6 a 1,2 segundos, para después efectuar la circulación sis-

témica y llegar a cavidades derechas siempre en un tiempo mayor de 4 segundos desde su inhalación.

Luego de su primera recirculación el hidrógeno al llegar nuevamente a capilar pulmonar es lavado totalmente de la sangre y entonces exhalado.

En la misma figura se muestran dos curvas obtenidas por este método, la superior presenta un ejemplo típico de recirculación mientras que la otra corresponde a un cortocircuito y cuyas características comentaremos más adelante.

La técnica de detección varía en razón del número y característica de los electrodos; a manera de resumen podemos decir que son tres los esquemas fundamentales adoptados.

- a): inscripción manual del momento de inhalación y registro de un electrodo ubicado en cámaras derechas.
- b): igual sistema que el anterior al que se le agrega otro electrodo colocado en arteria sistémica.
- c): inscripción manual del momento de inhalación y registro por medio de un catéter de doble electrodo y que permite la detección simultánea en dos cavidades derechas contiguas.

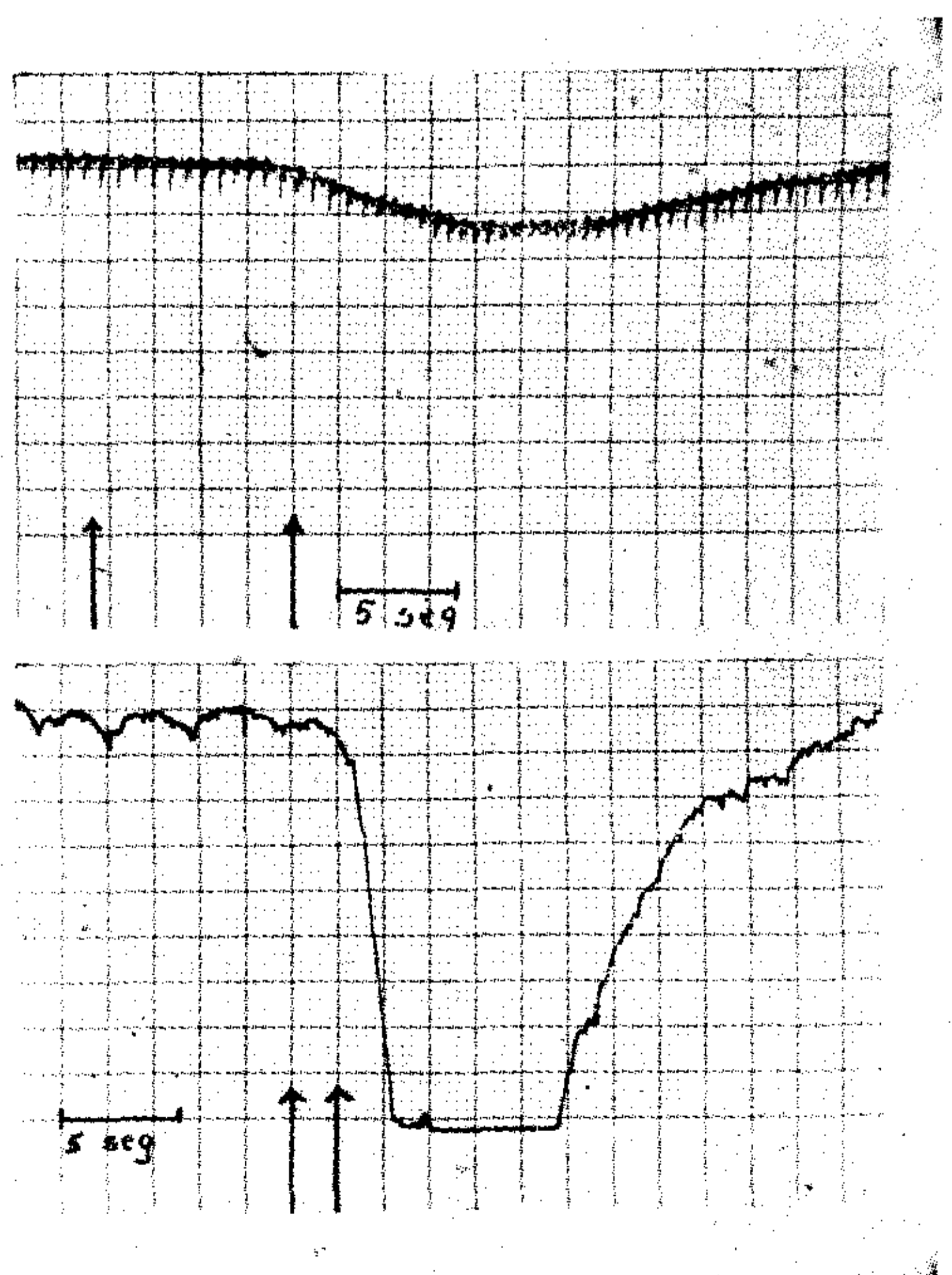
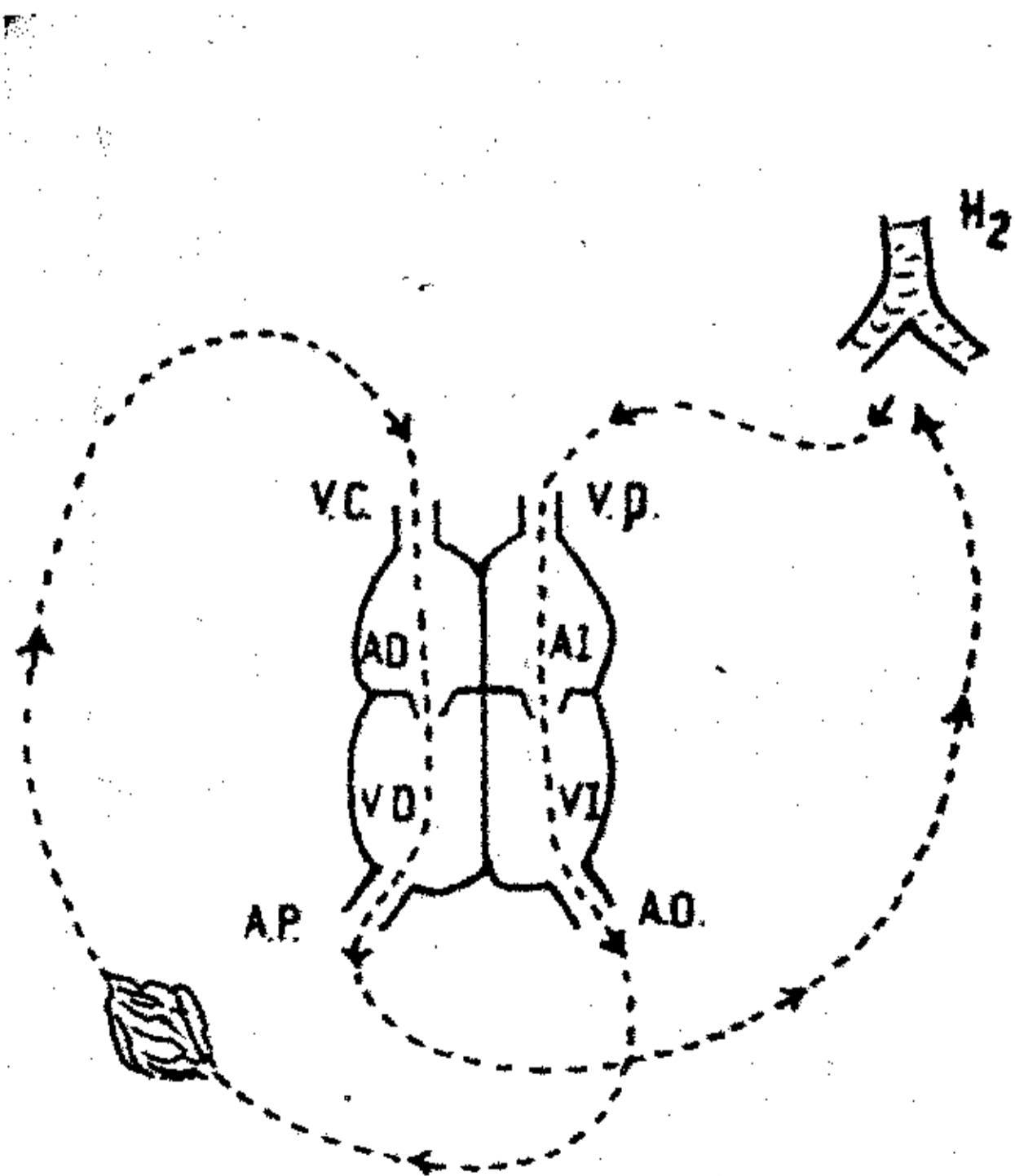


Fig. 1. — Esquemas del circuito que sigue el gas hidrógeno desde su inhalación. Arriba: curva típica de recirculación. Abajo: curva de cortocircuito. Obsérvese, el menor tiempo de aparición y la diferencia morfológica.

En la Fig. N° 2, se hallan graficadas curvas obtenidas mediante los tres métodos. Con un asterisco se ha señalado la ubicación del electrodo en el paciente y la curva que desde allí se registra.

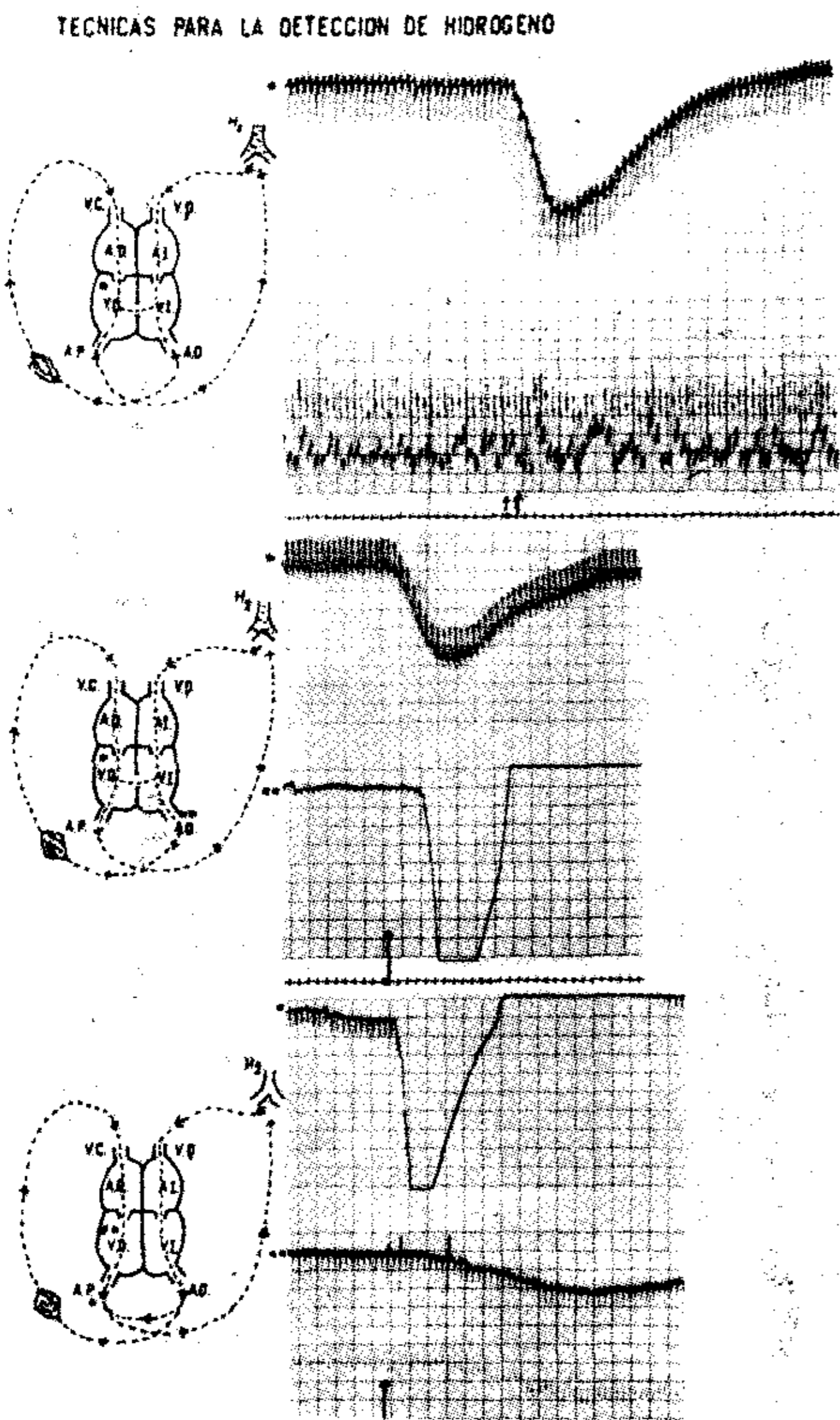


Fig. 2. — En los esquemas se observa, marcada con asteriscos, la ubicación de los electrodos detectores. Arriba: curva con electrodos en una comunicación interventricular. En el medio: curva con referencia arterial en otra comunicación interventricular. Abajo: curvas obtenidas con electrodo bipolar.

En el primer caso al haberse colocado un solo electrodo en ventrículo derecho se registra un trazado que muestra tiempo de aparición precoz (menos de 4 segundos) y morfología arterializada demostrando la contaminación a través de una comunicación interventricular.

En el segundo ejemplo se obtuvieron dos curvas, la superior mediante un electrodo en ventrículo derecho, y la segunda por otro colocado en arteria sistémica. Obsérvese la aparición precoz de indicador en la curva de cavidades derechas lo que certifica la existencia de cortocircuito, a nivel ventricular en este caso.

Por último, el registro inferior repre-

senta curvas simultáneas obtenidas con un solo catéter portador de dos electrodos, uno en arteria pulmonar y el otro en ventrículo derecho; vemos que mientras que en ventrículo se observa un lento y tardío incremento de tipo recirculación, a nivel de arteria pulmonar se obtuvo un tiempo de aparición más breve y morfología arterializada lo que permite simultáneamente diagnosticar y localizar el cortocircuito a nivel pulmonar.

En la Fig. N° 3, se observan los trazados obtenidos en tres pacientes por medio de los diferentes sistemas de detección descriptos.

La lectura de cada curva es muy sencilla ya que al tratarse de un método cualitativo, el único parámetro fundamental reside en la correcta apreciación

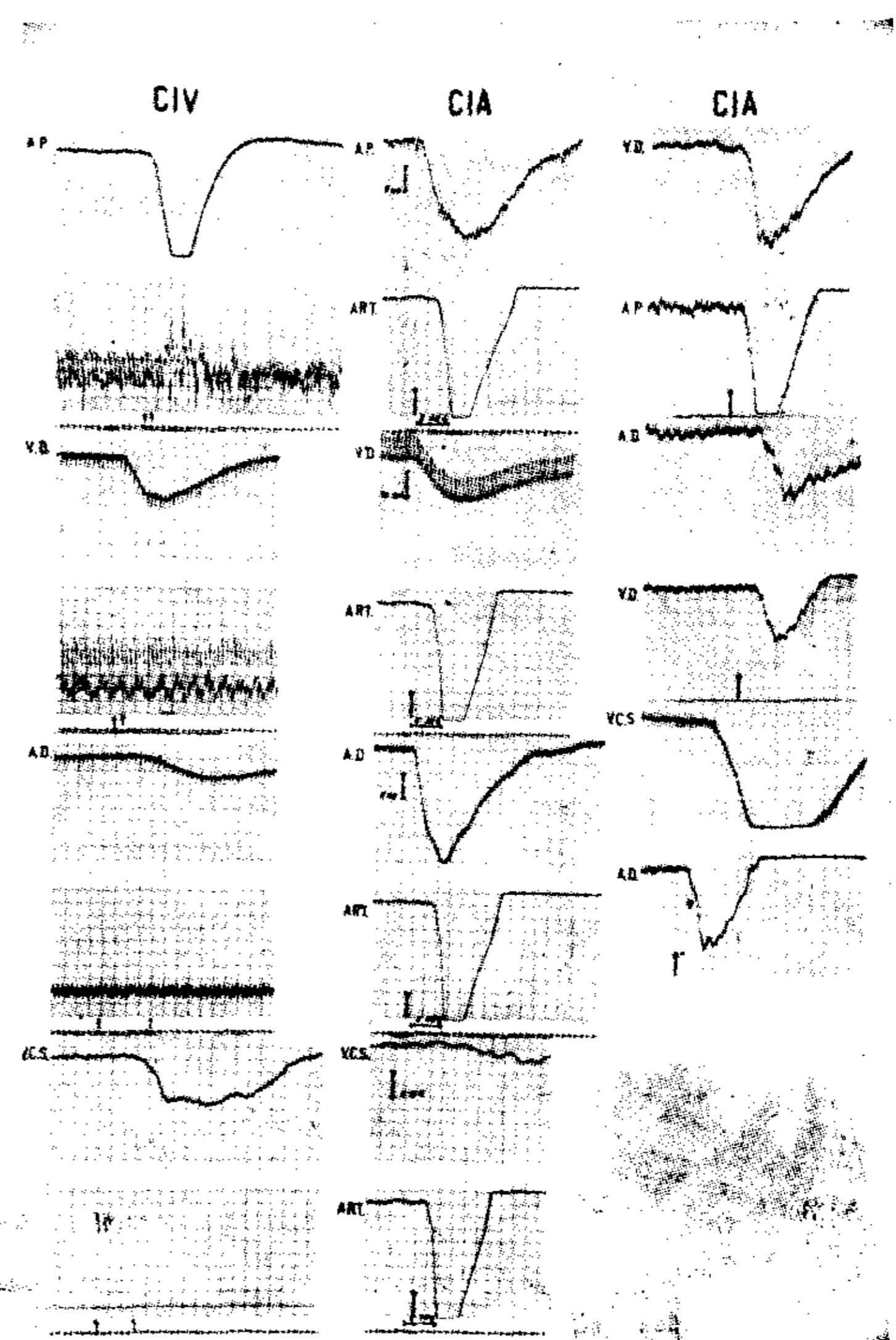


Fig. 3. — Ejemplos de curvas en cortocircuitos con distintas técnicas de detección. Izquierda: C.I.V. con técnicas de inscripción manual. Medio: C.I.A. con referencia arterial. Derecha: C.I.A. con registro simultáneo.

del tiempo de aparición, es por ello que a menudo es útil trabajar con rangos altos de sensibilidad, ya que si bien en esta forma se amputa la porción superior o pico máximo ello no interesa por no

ser reparo útil; en cambio, se grafica claramente el momento del primer incremento de la concentración de hidrógeno.

Cuando el tiempo de aparición se mide desde el momento de inhalación marcado manualmente y la detección se efectúa en una cavidad derecha, se ha tomado cuatro segundos como límite de separación, considerando recirculación cuando dicho tiempo es mayor y cortocircuito al acortarse significativamente.

Por supuesto que este límite es aplicable sólo en adultos ya que en niños los tiempos de aparición son menores, en razón de la mayor velocidad circulatoria y el volumen minuto más alto. Por esas dos razones resulta de mucha utilidad el empleo de un electrodo arterial para certificar el diagnóstico de cortocircuito.

Otros autores han propuesto medir el tiempo de aparición por el número de latidos cardíacos registrados, pero ello en la práctica no ha significado mayores ventajas.¹⁷

Cuando se trabaja con catéter arterial tenemos un nuevo parámetro en juego; aquí además de medir el tiempo de aparición al igual que en el caso anterior, comparamos la curva de arteria con la obtenida simultáneamente en la cavidad derecha. Normalmente, por supuesto, será previa la detección en el sector arterial; en cambio, ante la existencia de cortocircuito, es posible registrar el ingreso del hidrógeno a cavidades derechas aún antes de su aparición en la arteria. Aclarando el concepto, si consi-

deramos tiempo 0 el momento arterial, será detectado segundos más tarde la recirculación en el corazón derecho normal y, en cambio, ante la existencia de un cortocircuito se invertirá la relación temporal.

Cuando el estudio se haga mediante dos electrodos colocados en cavidades sucesivas es fácil comprender la aparición de deflexiones simultáneas de recirculación en los normales; en cambio, ante una comunicación anómala aparecerá precozmente en la cámara distal parasitada mientras se registra la curva de recirculación en la proximal que no participa del cortocircuito.

Por otra parte e independientemente de estas consideraciones nos ha sido útil el estudio morfológico de las curvas; las de tipo recirculación son más amortiguadas, con incrementos más lentos por lo general hasta picos redondeados, en cambio, las curvas que llamaremos "arterializadas" o precozmente contaminadas muestran una muy rápida subida hasta su pico máximo; al respecto, ya en 1959 Clark y Bargerón¹⁸ llamaron la atención sobre esa diferencia morfológica.

Aunque no es concluyente el solo examen del trazado sirve en la mayoría de los casos para descartar una curva de recirculación de otra debida a cortocircuito. Al respecto son ilustrativas las curvas de la Fig. N° 4 obtenidas sucesivamente de aurícula izquierda y aurícula derecha al pasar el catéter a través de un foramen ovale permeable.

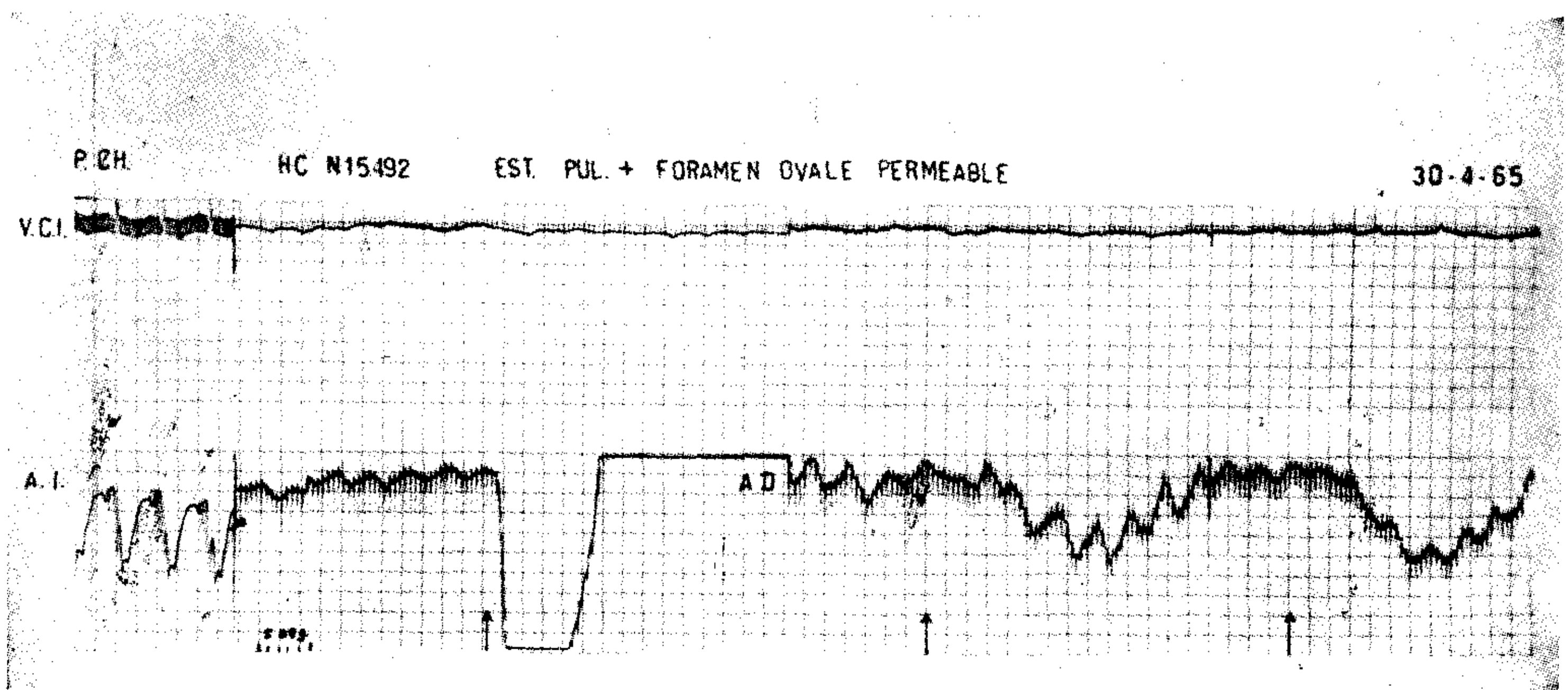


Fig. 4. — A la izquierda: curva positiva registrada en la A.I. A continuación curvas de tipo recirculación obtenidas en la A.D.

De lo antedicho se desprende que en un sujeto normal deben registrarse habitualmente en todas las cavidades derechas curvas de tipo recirculación y con tiempo de aparición mayor de cuatro segundos. Excepción a ello lo constituye la posibilidad de registrar curvas "arterializadas" a nivel "capilar pulmonar" o aún en arteria pulmonar distal.¹⁹ Cuando se ha conseguido impactar la sonda convenientemente obteniéndose un buen trazado capilar y además muestra de sangre arterializada, es habitual registrar a ese nivel curvas de aparición precoz del indicador.

Ello ha sido considerado como un resultado positivo falso,²⁰ sin embargo no compartimos esa opinión ya que la posibilidad a ese nivel es lógica y razonable y sólo puede prestarse a confusión si se desconoce la ubicación del electrodo.

En cambio coincidimos con Hugenholtz¹⁷ en que el logro de este tipo de curvas no siempre es posible y en que

no es conveniente usarlas como parámetro de respuesta del sistema.

RESULTADOS

De acuerdo a la técnica descrita se han estudiado experimentalmente 19 perros²¹⁻²² y a posteriori aplicado durante cateterismo a 45 pacientes.²³

Referente al trabajo con los animales de laboratorio a 6 se les practicaron comunicación interauricular por técnica de Schuster y col.²⁴ en comunicaciones aortopulmonares (Blalock) y por último en 4 comunicaciones interventriculares utilizando para ello un sacabocado adecuado.²¹

Este trabajo experimental fue útil para entrenar al equipo poniendo a punto la técnica y por otra parte para adquirir hábito en la interpretación de las curvas. Pese a que el perro con alguna frecuencia no tolera bien el procedimiento, en 12 pudimos registrar curvas antes y después de la creación del defecto.

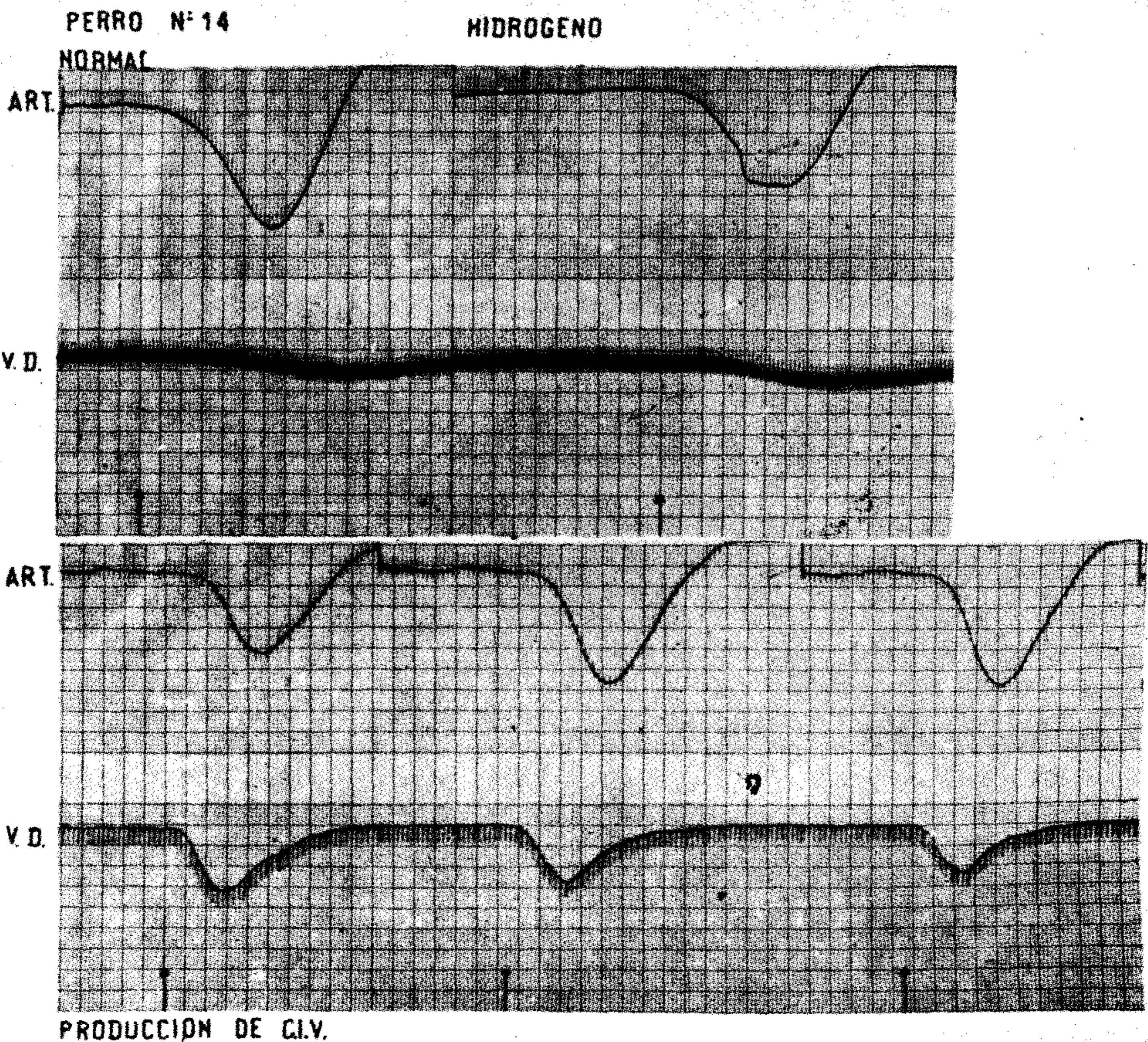


Fig. 5. — Producción experimental de cortocircuitos. Arriba: curva previa de tipo recirculación, Abajo: curvas positivas de la producción de una C.I.V.

En la Fig. N° 5, se observan los trazados previos y a posteriori de la producción de una comunicación interventricular.

Durante la práctica clínica se ha estudiado 45 pacientes, 36 con cortocircuito de izquierda a derecha en diferentes niveles y el resto con o sin cardiopatía de otra índole.

En todos los casos se efectuó correlación con la oximetría, y esta fue congruente excepto en dos. El primero se trataba de G. S., H. Cl. N° 15.310, paciente portadora de una comunicación interventricular. Sin embargo las curvas de hidrógeno fueron positivas a nivel auricular. Un mes más tarde fue intervenida quirúrgicamente, comprobándose la existencia de la anomalía asociada, es decir, comunicación interventricular más comunicación interauricular.

El segundo caso R. A., Historia Cl. N° 14.997, fue cateterizado para efectuar diagnóstico diferencial entre comunicación interauricular y soplo funcional. No se registró resalto oximétrico, pese a ello las curvas fueron positivas en el ventrículo y el paciente quedó con el diagnóstico de enfermedad de Roger aunque sin comprobación.

Con respecto a las curvas de error como a los riesgos inherentes a la obtención de curvas con gas hidrógeno hemos creído más conveniente desarrollarla en los comentarios, ya que ello nos posibilita considerarlas con mayor detenimiento.

Por ser muy limitada nuestra experiencia personal no indicaremos aquí otras posibles aplicaciones del método como ser la detección de cortocircuitos de derecha a izquierda, insuficiencias valvulares, etc.

CURVAS DE DILUCION CON GAS HIDROGENO

VENTAJAS	}	SENCILLEZ INNOCUIDAD SENSIBILIDAD BAJO COSTO REPETIBILIDAD NO EXTRACCION DE SANGRE E. C. G. INTRACAVITARIO		
INCONVENIENTES	}	METODO CUALITATIVO RIESGOS DE LA TECNICA { <table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td>ELECTROCUCION EXPLOSION</td> </tr> </table>	{	ELECTROCUCION EXPLOSION
{	ELECTROCUCION EXPLOSION			

COMENTARIOS

De las consideraciones efectuadas hasta el momento creemos que surge en forma incontrovertible la demostración de la bondad de este método para el diagnóstico de cortocircuitos de izquierda a derecha.

Sin embargo aún resulta oportuno discutir algunos efectos parciales con el objeto de concluir la exacta ubicación de la técnica entre el vasto número de indicadores utilizados hasta el momento.

En la Tabla N° 1 hemos resumido las que a nuestro criterio constituyen las principales ventajas e inconvenientes.

a) : Sencillez: como se habrá visto al comentar la técnica este método puede incorporarse a cualquier cateterismo de rutina sin agregar mayores complicaciones.

b) : Innocuidad: en la medida que se observan ciertas reglas elementales, como se comentará al hablar de inconvenientes del método, sin duda alguna no proporciona riesgos al enfermo.

c) : Sensibilidad: mayor que la oximetría¹¹ es al menos igual que el más sensible de los otros indicadores. Al decir de Bergeron²⁵ es capaz de de-

tectar cortocircuitos de solo 50 cm³ por minuto.

En los casos de shunts mínimos diagnosticados por el hidrógeno las comprobaciones quirúrgicas son excepcionales ya que habitualmente no se halla indicada la corrección del defecto; por ello puede ser ilustrativo el caso reportado por Vogel y col.²⁶ de un niño portador de una coartación de aorta preductal. En el curso de su estudio hemodinámico registraron curvas de hidrógeno en ventrículo derecho evidenciando una comunicación a nivel. El paciente falleció durante la operación de su patología aórtica y en la autopsia fue posible localizar una comunicación interventricular de 1 mm de diámetro.

- d) : Bajo costo: una vez conseguidos los cateteres necesarios el costo de cada curva se reduce a pocos centavos.
- e) : Repetibilidad: es posible obtener la cantidad de curvas que se desee en cualquier cámara sin necesidad de modificar los sistemas de detección y registro, sin agregar un riesgo al paciente. Esto es de suma importancia ya que la repetibilidad es un requisito casi "sine qua non" para la confirmación diagnóstica. Las curvas obtenidas con intervalos del orden del minuto son cualitativamente iguales, constituyéndose este hecho en un factor importante para evitar errores de interpretación. Al respecto podemos decir que en un solo paciente efectuamos 55 curvas sin problemas de ninguna índole.
- f) : No extracción de sangre: condición útil esta sobre todo en niños pequeños ya que evita los riesgos inherentes a una extracción proporcionalmente elevada en relación a su volemia.²⁷
- g) : Electrocardiograma intracavitario: ya han sido comentadas las ventajas, tanto de localización de la cámara en estudio cuanto a la certeza de continuidad eléctrica del sistema.

Con respecto a los inconvenientes el primero y fundamental estriba en que se trata de un método cualitativo; en efecto, si bien el solo diagnóstico puede ser de utilidad en la práctica clínica, tanto para su cuidadosa evaluación como para la correlación fisiopatológica es de indudable valor diagnosticar además

de su presencia, la magnitud del mismo.

Pero por otra parte, lo que se busca en la gran mayoría de los pacientes es certificar la existencia y determinar la ubicación del cortocircuito. Fácilmente se comprenderá que estos datos son los necesarios en enfermos prequirúrgicos y de mayor valor aún en el posoperatorio para comprobar un correcto cierre del defecto.

El otro inconveniente reside en problemas inherentes a la técnica: en primer lugar el peligro de electrocución. Conocido ya desde hace tiempo como riesgo potencial al trabajar con electrodos intracavitarios, pequeñas pérdidas de corriente pueden determinar la aparición de muy peligrosas arritmias; la bibliografía muestra numerosos reportes al respecto,²⁸⁻³⁰ pero es generalmente aceptado que trabajando con equipos de buena calidad, controlados periódicamente y empleando siempre una tierra común este peligro se minimiza hasta hacerse despreciable.

En nuestra experiencia pese al número de casos tratados, así como a la gran cantidad de curvas obtenidas jamás hemos observado un accidente de esta naturaleza, y es nuestra convicción, que respetando los cuidados antedichos de manera alguna se le agrega un riesgo cierto al paciente.

Sin duda la objeción fundamental al método así como la limitación de su uso rutinario en numerosos centros deriva del riesgo de explosión.

Este problema ha sido repetido sistemáticamente en todas las publicaciones pero recién Dickenson y col.³¹ efectuaron un estudio serio sobre sus verdaderos alcances.

El gas hidrógeno es altamente difusible y explosivo cuando llega a concentraciones mayores del 5 % en el aire ambiente. Por analogía con el uso de anestésicos explosivos se generalizó el temor del empleo sistemático.

Pero dicho gas tiene una diferencia fundamental con respecto a los anestésicos y ella consiste en su diferente densidad que es 0.07 la del aire, y como consecuencia de ello se lleva rápidamente desapareciendo el riesgo en 20 segundos aproximadamente.

Pudiera argüirse que dadas esas circunstancias, aumentaría su concentra-

ción en la parte superior del laboratorio de hemodinamia, hecho que tampoco ocurre por ser altamente difusible.

Resumiendo, en una primera etapa se consideró peligroso trabajar con fuego o chispas a distancia menor de 15 m del lugar en que se estuviera trabajando con hidrógeno, esto haría prácticamente imposible su uso en un laboratorio con rayos X, electrocardiógrafos, etc., pero Dickerson en su ingenioso trabajo utilizando medidores de hidrógeno similares a los empleados en los submarinos, comprobó que luego de la inhalación y durante veinte segundos existía peligro de explosión en una zona cuya forma geométrica es la de dos conos unidos por su base; ésta de unos 20 cm de diámetro se halla ubicada a la altura de la boca del paciente y los ejes de los conos son de 90 cm el superior y 30 cm el inferior respectivamente.

Nuestros cuidados consisten en tener el gas almacenado en lugar distante, utilizar para su manejo una bolsa de poca capacidad y colocar todos los aparatos a más de un metro de la boca del enfermo, con estas precauciones consideramos que el riesgo de explosión se reduce a 0.

La finalidad de este comentario no es la de aconsejar el uso indiscriminado y sin los pertinentes cuidados, pero sí remarcar que esto no significa una contraindicación para que el método sea incorporado en la rutina de los laboratorios que así lo deseen.

Las diferentes técnicas de detección empleadas merecen ser analizadas en algunos aspectos diferenciales, que incidiendo en su exactitud y veracidad deben ser tenidos en cuenta a los fines de su elección.

En primer lugar hemos de comentar la utilización del registro arterial como referencia, de indudable valor con respecto a la exactitud.

Fue la única utilizada en los primeros casos de nuestra serie, puesto que al independizar la determinación de la referencia de los operadores, elimina la incidencia de errores imputable a mala sincronización del equipo humano.

Su empleo de rutina se ve algo dificultado por la circunstancia de constituir un factor de complejidad técnica, una fuente de potenciales complicaciones, puesto que tiene buena parte de las

del cateterismo arterial retrógrado; y en última instancia una intervención que aunque mínima es cruenta y a veces dispensable.

Su indicación es precisa en los casos en que los otros métodos pudieran ser no del todo aclaratorios. Tal el caso de pacientes pequeños, o con volumen minuto aumentado y por lo tanto con recirculación suficientemente rápida como para impedir una correcta discriminación de tiempos.

Si consideramos al reemplazo de un catéter arterial por la sola punción con aguja de acero platinizado, la indicación, a nuestro juicio, se vería ampliada a prácticamente todos los casos en estudio. La Fig. N° 6 muestra ejemplos en cuatro casos, tres de ellos cortocircuito a diferentes niveles y el restante sin comunicación anómala.

Otra posibilidad la constituye la simple inscripción manual del momento de inhalación. Esto fue efectuado en todos los casos, aun contando con referencia arterial, lo cual nos fue permitiendo comprobar el perfeccionamiento en el ajuste del equipo en cuanto a sincronización.

La verificación de los resultados paralelos obtenidos con ambas técnicas nos ha permitido prescindir del electrodo arterial en un grupo de enfermos.

En este sentido, pensamos que con operadores convenientemente entrenados, la simple señalación manual es suficientemente veraz en la mayoría de los casos, sobre todo en adultos.

Por fin, en buena parte de los pacientes de nuestra última serie, utilizamos el catéter con doble electrodo, cuya indudable ventaja está vinculada con el hecho de proveer una referencia bastante segura, independientemente de la experiencia del equipo, y sin agregar prácticamente ninguna complejidad al cateterismo derecho convencional.

Sus limitaciones están relacionadas con la circunstancia de ser a veces difícil conseguir una buena línea de base simultáneamente en los dos canales empleados. Además, otra limitación que ha hecho notar Sobol y col.,³² sería la producción por el catéter de insuficiencia vascular mínima, que dada la alta sensibilidad del método bastaría para ocasionar lecturas falaces.

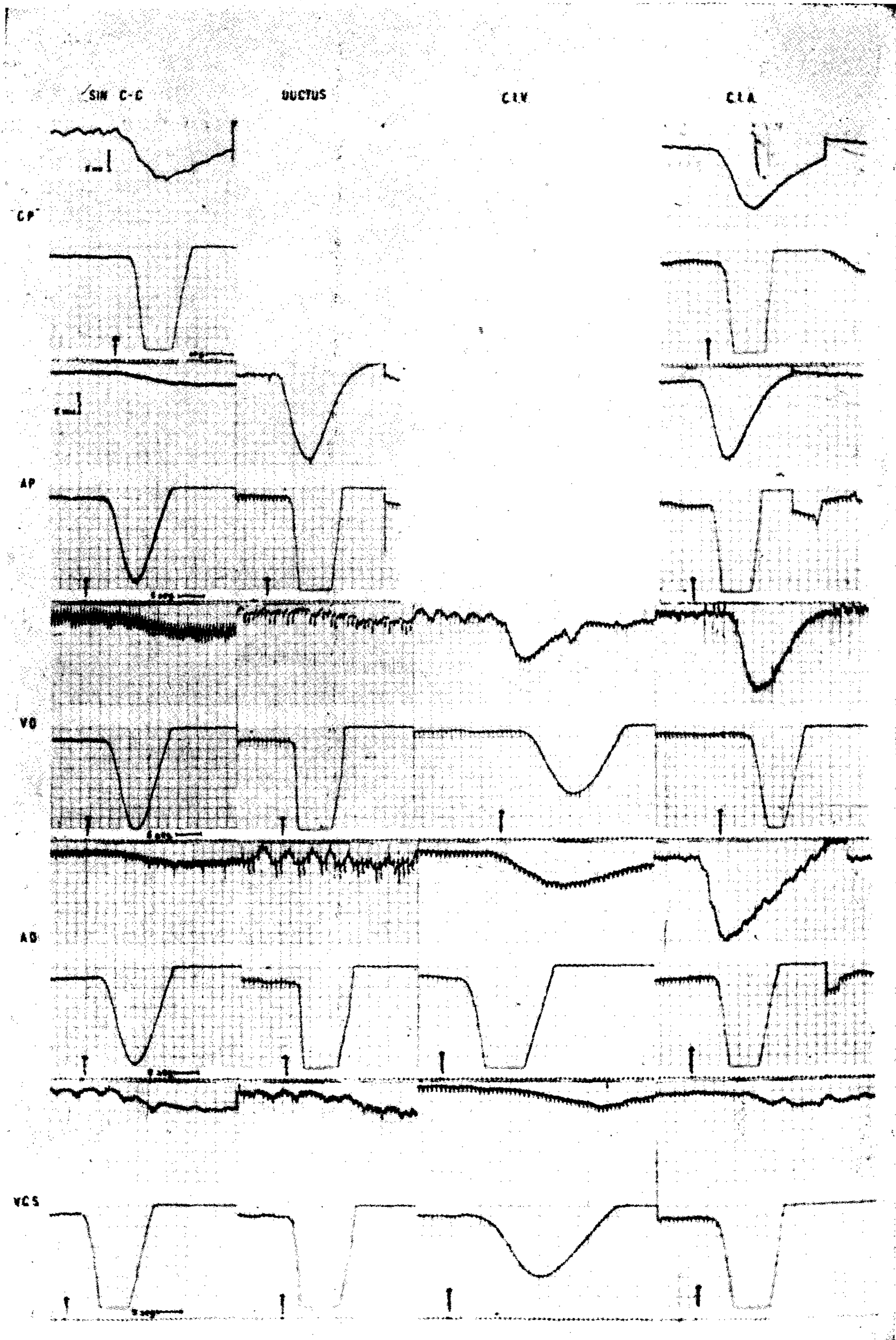


Fig. 6. — Curvas con referencia arterial en diferentes cortocircuitos.

De lo antedicho se desprende que ninguna de las técnicas constituye el ideal para la consecución de los fines propuestos, dependiendo su elección a veces de las características del caso en estudio, pero debe ser tenido en cuenta que salvo circunstancias de excepción debe preferirse la que utiliza referencia

arterial, por ser la única que no deja dudas en cuanto a veracidad y exactitud.

CAUSAS DE ERROR

Analizaremos ahora someramente las causas que pueden llevar a error en la interpretación de las curvas.

- a): Movimiento respiratorio. En general fácilmente descartable porque interfiere rítmicamente en la línea de base del trazado (especialmente en aurícula derecha) y además se trata de accidentes rápidos, de pocos segundos de duración mientras que la curva rela requiere por lo general de 15 a 18 segundos para volver a la isoeletrica.
- b): Acoplamiento de preamplificadores. Ha ocurrido en una sola oportunidad en nuestra experiencia; ambos preamplificadores respondían simultáneamente y en forma independiente de su ubicación. Desconocemos el mecanismo de tal artefacto pero resulta muy sencillo evitarlo en la medida que en todas series de curvas se exija la obtención de por lo menos una de tipo recirculación, proximal al sitio del cortocircuito.
- c): Seno coronario. La introducción involuntaria del catéter en seno coronario o su ubicación en las proximidades pueden dar lugar a tiempos de aparición breves, determinados por la circulación coronaria. Para descartar esta ubicación es útil el electrocardiograma intracavitario y en la duda el empleo del catéter arterial de referencia es diagnóstico como ha sido comentado en lugar aparte.
- d): Volumen minuto alto. La existencia de anemia, hipertiroidismo u otra causa de aumento de volumen minuto puede acortar el tiempo de aparición de la recirculación y prestarse a confusiones. Aquí también el empleo de la referencia arterial aparece como simple maniobra que permite descartar fuera de toda duda este mecanismo.

Recientemente Vogel y col.³³ preconizaron una técnica sencilla para la identificación de las ondas P en las arritmias complejas y a posteriori la utilizaron como simplificación en la detección de hidrógeno para el diagnóstico de cortocircuitos de izquierda a derecha;²⁶⁻³⁴ un método similar es empleado por Harris y col.³⁵ para lograr la estimulación miocárdica en casos de bloqueos aurículo ventriculares completos que presentan crisis de Stokes-Adams.

Consiste en introducir por punción en una vena del pliegue del codo³⁶ un

alambre de acero inoxidable N° 0 aislado con teflón excepto en sus dos extremos; en el distal se halla el electrodo de platino y el proximal se utiliza para conectar a la derivación electrocardiográfica correspondiente.

El paso del catéter por las diversas cavidades es seguido por medio del electrocardiograma intracavitario, aprovechando las variaciones sucesivas de su morfología. De esta manera les resulta sencillo llegar hasta arteria pulmonar y desde allí comenzar el registro de curvas.

Sin duda el método, tiene evidentes ventajas:

- a): Rapidez: Según la experiencia reportada el procedimiento no insu-me más de 15 - 30 minutos al obviarse un cateterismo reglado.
- b): Que no resulta necesario utilizar radioscopia aunque ocasionalmente comprueba el trayecto mediante un intensificador de imagen.
- c): Método práctico en el estudio de gran cantidad de pacientes o en la comprobación de cortocircuitos residuales posquirúrgicos.³⁷

Sin embargo en nuestra opinión el método presenta algunas desventajas que no lo hacen aplicable en la práctica excepto quizá en centros con gran número de pacientes.

Los principales inconvenientes residen en:

- A): Peligros de nudos intracardíacos: Son conocidos los riesgos de avanzar a ciegas, ello quizá sea posible sin mayores problemas hasta aurícula derecha pero al penetrar en ventrículo los peligros aumentan, sobre todo la eventualidad de incluir en el nudo algunos de los componentes de la estructura subvalvular tricuspídea.
- B): Manejo del catéter: Si bien es cierto que el flujo sanguíneo tiende a dirigirlo correctamente, puede a veces ser problema serio franquear las válvulas tricuspídea y pulmonar.
- C): La ubicación inadvertida del electrodo en el apéndice auricular o en tracto de entrada de ventrículo derecho, puede dar resultados falsos negativos, y por otra parte la introducción excesiva hasta la zona "capilar pulmonar" brindar falsos positivos a ese nivel.

En conclusión no lo hemos aplicado en la práctica por no aportar significativos beneficios a nuestro ritmo de trabajo y tener algunos riesgos potenciales que deseamos evitar, pero no cabe duda que en la experiencia de los autores se ha demostrado una técnica digna de ser tenida en cuenta.

El mismo método potenciométrico ha sido utilizado por Clark y col.³⁸ para la detección de cortocircuitos de derecha a izquierda. En este trabajo, el único de la bibliografía en que hemos hallado referencia, los autores obtienen muy buenas curvas mediante la inyección sucesiva a nivel de las diferentes cavidades derechas y detección arterial, de una solución de suero hidrogenado es eliminado en su primer pasaje a nivel del capilar pulmonar, en presencia de un cortocircuito de derecha a izquierda, parte del indicador soslayará la circulación pulmonar siendo posible así detectar su aparición a nivel sistémico.

Si bien nuestra experiencia al respecto es escasa, por lo que no podemos ofrecer resultados definitivos, podemos decir que ni en forma experimental ni clínicamente hemos podido repetir esos resultados.

En efecto, pese a que a nuestro criterio la sensibilidad del catéter aórtico era correcta (lo demostramos mediante la inhalación de hidrógeno), cuando se efectuaba la inyección la respuesta era muy pobre y variable en cada determinación, por ello consideramos a esta técnica y en nuestras manos, como inferior con respecto a otros indicadores.

El método amperométrico o polarográfico ha sido utilizado, como ya hemos comentado, en el diagnóstico de cortocircuitos de izquierda a derecha mediante la inyección y detección por el mismo catéter con el electrodo ubicado 5 a 7 cm del extremo distal,⁸ en las insuficiencias valvulares, en los cortocircuitos de derecha a izquierda, etc.

Considerando brevemente las insuficiencias valvulares que en 1963, Skelton y Corday³⁹⁻⁴⁰ las estudiaron experimentalmente mediante catéteres apropiados en dos electrodos de platinos separados 4 cm entre ellos y con orificio distal o proximal según la válvula en estudio.

De esta manera pudieron demostrar que el paso del catéter a través de la

válvula no produce insuficiencia y que en cambio esta era detectada fácilmente luego de su producción quirúrgica.

Sin embargo un año después fue aplicado por Sobol y col.³² quienes obtuvieron un gran número de falsos positivos y por ende lo hallan inadecuado.

No está claro el motivo de esta discrepancia de resultados; quizá como dice el mismo Sobol, la diferencia radique en el método empleado. Sin duda utilizando electrodos polarizados (método polarográfico) la sensibilidad en ácido ascórbico es mucho mayor y de esa forma pudieran detectar mínimas insuficiencias valvulares producidas por el caéter. Mientras persista siendo un problema la cuantificación habrá que ser muy cuidadoso en la interpretación de estas curvas.

En cambio utilizando el método potenciométrico es conocida la débil respuesta al ácido ascórbico de forma tal que los resultados serán variables e inseguros.

El comentario de esta controversia tiene su razón de ser; al ocuparnos de la detección de los cortocircuitos de izquierda a derecha mencionamos que una de las técnicas corrientes incluye la detección simultánea de dos cámaras por medio del catéter con doble electrodo.

Si bien en nuestra limitada experiencia no hemos hallado falsos positivos atribuibles a insuficiencias valvulares producidas por el catéter, estando en antecedentes que ello es potencialmente posible, siempre recurrimos al mismo método analítico. Cuando con el electrodo proximal se detecta y localiza el cortocircuito exigimos como contraprueba que luego del "pull-back" se registren curvas igualmente positivas en la misma cámara con el electrodo distal descartando así con seguridad el registro de curvas falsas positivas.

Sin pretender haber agotado un capítulo aún hoy en permanente evolución, hemos tratado en primer lugar de dejar aclarado en qué tipo de estudio el gas hidrógeno se ha constituido en un verdadero aporte para los estudios hemodinámicos de rutina, además hemos tratado de destacar el real alcance de los riesgos inherentes a su uso y que ha sido a no dudar motivo fundamental para

que numerosos equipos no lo hayan incorporado en forma definitiva.

Por otra parte, hemos mencionado otras posibles aplicaciones en cuyo campo aún puede continuarse la investigación.

El conocimiento de los diversos métodos de investigadores así como la disponibilidad de los equipos necesarios, será, en última instancia, lo que posibilite a cada médico obtener de las curvas de dilución, todos los beneficios que en la práctica estas técnicas pueden brindar.

BIBLIOGRAFIA

- Clark, L. C., Bargerón, L. M.: Left to right shunt detection by an intravascular electrode with hydrogen as an indicator. *Science* 130:709; 1959.
- Hyman, A. L., Human, E. S., Quiroz, A. C., Gantt, J.: Comparisson of the platinum rhodium hydrogen electrode lye dilution and oxygen methods in detecting shunts. *Surg. Forum* 11:150; 1960.
- Hyman, E. S.: Linear system for quantitating hydrogen at a platinum electrode. *Circ. Res.* 9:1093; 1961.
- Hyman, E. S., Hyman, A. L., Quiroz, A. C., Gantt, J.: Hydrogen platinum electrode system in deection of intravascular shunts. *Am. Heart J.* 61:53; 1961.
- Jameson, A. C., Graysel, J.: Hydrogen indicator method for detecting intravascular shunts. *Clin. Res.* 9:140; 1961.
- Bargerón L. M., Clark, L. C., Lyon, C.: Métodos modernos para el diagnóstico de cardiopatías congénita. *Clin. Med. de Norte América.* 1570:1962.
- Souza, J. E., Fernández, F. V., Moreira, C., De Magalhaes, H. M., Campos Folho, C. M.: O uso do hidrogenio como indicador para estudio de jequenos shunts esquierda derecha. *Arq. Brasil de Cardiología* 17:15; 1964.
- Frommer, P., Pfaff, W., Braunwald, E.: The use of ascorbate dilution curves in cardiovascular diagnosis. *Circ.* 24:1227; 1961.
- Frommer, P., Pfaff, W., Braunwald, E., Morrow, A.: Application of an intravascular electrode for the recording of indicator dilution curves. *Circ.* 22:752; 1960.
- Nixon, P. G., Hay, G. A., Hepburn, F., Snow, H. M., Addyman, R.: An amperometric technique for decording ascorbate dilution curves and blood flow pulses. *Brit. Heart J.* 25:173; 1963.
- Vogel, J. H., Grover, R., Blount, S. G.: Detecion on the small intracardiac shunt with the hydrogen electrode. A highly sensitive* and simple technique. *Am. Heart J.* 64:13; 1962.
- Levy, L., Fowler, R., Kirkley, D., Albert, H., Martínez, J.: Multiple hydrogen electrode catheter for determination of cardiac shunts. *New Eng. J. Med.* 264:1356; 1961.
- Martínez López, J. I., Hollis, W., Kirkley, D., Levy, L.: Use of the triple platinum hydrogen electrode for detection of left to right shunts. *Am. J. Card.* 10:70; 1962.
- Storstein, O., Rokseth, R., Sorland, S.: Demonstration of intracardiac left to right shunts, wih special referencia to the hqdroges electrode. *Scand. J. Clin. Invest.* 16:357; 1964.
- Watson, H.: Intracardiac electrocardiography in the investigation of congenital heart disease in infancy. *British Heart J.* 24:144; 1962.
- Bertrand, C. A., Zohman, L. R., Williams, M. H.: Itracardiac electrocardiography, in man. *Am. J. Med.* 26:534; 1959.
- Hugenholtz, P. G., Schwark, T. H., Monroe, G., Gamble, W., Hauchk, A., Nadas, A.: The clinical usefulness of hydrogen gas as an indicator of left to right shunts. *Circ.* 28:542; 1963.
- Clark, L., Bargerón, L. M.: Detection and direct recording of left to right shunts with the by hydrogen electrode catheter. *Surgery* 46:797; 1959.
- Vogel, J. H. K., Grover, R., Blount, G.: The platinum electrode. 65:841; 1963.
- Hirose, T., Schaffer, A. I., Stopak, J., Casale, J., Gasteazoro, G., Bailey, C. P.: False positive test with hydrogen platinum electrode technic for left to right shunts with the electrode in pulmonary artery wedge. *Circ.* 26:731; 1962.
- Justich, P., Bertolasi, C. A., Bosco, P., Ritzky, B., Bruno, C.: Creación experimental de cortocircuitos de izquierda a derecha. Comunicación. Soc. Arg. de Cardiología, agosto 1965.
- Bertolasi, C. A., Pisani, N., Justich, P., Colombi, G.: Detección de cortocircuitos de izquierda a derecha utilizando hidrógeno como indicador. Valoración experimental. *Rev. Arg. de Cardiología.* 31:138; 1964.
- Bertolasi, C. A., Justich, P., Pisani, N., Sciarrotta, N.: Detección de cortocircuitos de izquierda a derecha utilizando hidrógeno como indicador. Su utilidad clínica. *Rev. Argentina de Cardiología.* 31:142; 1964.
- Schuster, S., Kiernan, E., Rosencranz, J. Bozer, A.: A new technique for the creation of an atrial septal defect with clinical application. *J. Thor Card. Surg.* 46:510; 1963.
- Bargerón, L. M., Clark, L. C., Mc Arthur, K.: The detection of intracardiac shunts in infants by the use of itravascular potencio-metric electrodes. *Am. J. Child. Dis.* 100:502; 1960.
- Vogel, J. H., Averill, K., Tabari, K., Blount, S. G.: Detection of intracardiac shunts with the platinum electrode, using a simplified percutaneous approach. *Am. Heart J.* 67:610; 1964.
- Gerard, R., Redon, A., Benyamine, R., Molinier, A.: La determinacion des shunts gauches droits par la methode de l'hydrogene. *Arch. Mal. Coeur.* 57:1142; 1964.
- Weinberg, D. L., Artley, J. L., Whalen, R. E., Mc Intosh, H. D.: Electric shock hazards in cardiac catheterization. *Circ. Res.* 11:1004; 1962.
- Starmer, C. F., Whalen, R. E., Mc Intosh, H. D.: Electric shock hazards in clinical cardiology. *Am. J. Cardiol.* 14:537; 1964.

30. Burchell, H. G.: Hidden hazards of cardiac pacemakers. *Circ.* 24:161; 1961.
 31. Dickerson, R., Jensen, W., Hollison, R.: The safety of hydrogen in shunt detection. *Circ.* 31:705; 1965.
 32. Sobol, B. J., Bottex, G., Emirgil, C., Gissen, H.: Valvular insufficiency occurring during cardiac catheterization. *Am. J. Cardiol.* 14: 533; 1964.
 33. Vogel, J. H. K., Tabari, K., Averill, K. H., Blount, S. G.: A simple technique for identifying P waves in complex arrhythmias. *Am. Heart J.* 67:158; 1964.
 34. Vogel, J. H. K., de la Fuente, L. M., Creadock, L.: Una técnica simple para detectar cortocircuitos arteriovenosos intracardíacos y para identificar las ondas P del electrocardiograma en las arritmias complejas. *Rev. Arg. de Cardiología.* 31:187; 1964.
 35. Harris, C. W., Hulburt, J. C., Floy, W. E., Orgain, E. S.: Percutaneous technique for cardiac pacing with a platinum tipped electrode catheter. *Am. J. Cardiol.* 15:48; 1965.
 36. Hulburt, J., Harris, Ch., Rackley, Ch., Floyd, W., Orgain, E.: Hydrogen sensitive, platinum tipped electrode in the diagnosis of left to right shunts. *Am. J. of Cardiol.* 15: 680; 1965.
 37. Arcesoy, M., Gunteroth, W., Mullins, G.: Simplified intravascular hydrogen electrode method. *Diseas of Child.* 104:63; 1962.
 38. Clark, L., Bargerion, L., Champ Lyons, M. D., Bradley, M., Mc Arthur, K.: Detection of right to left shunts with an arterial potentiometric electrode. *Circ.* 22:949; 1960.
 39. Skelton, R., Corday, E.: Detection of valvular insufficiency by a platinum electrode technic. *Am. J. Cardiol.* 11:373; 1963.
 40. Skelton, R. B., Corday, E.: Hydrogen electrode technique for demonstrating experimental insufficiency of the aortic and tricuspid valve. *Circ.* 26:787; 1962 (abs).
-