Monitoreo Hemodinámico con el Catéter de Arteria Pulmonar (de Swan Ganz)

MANUEL R. LOMBO, MD.

Santafé de Bogotá, Colombia

Reseña Histórica

La técnica para inserción de un catéter hasta la arteria pulmonar fue descrita inicialmente en 1953; sin embargo, no fue hasta 1970 que los doctores Swan y Ganz informaron por primera vez el uso clínico del catéter que ahora lleva sus nombres (1). Unos años después se agregó una tercera vía que desemboca a 30 centímetros de la punta para medir simultáneamente la presión venosa central (PVC). Además se añadió un detector de temperatura (Termistor) a la punta para monitorizarla dentro del torrente sanguíneo y así medir el gasto cardíaco por el método de termodilución (2).

En 1972 se incluyeron dos fibras ópticas en el cuerpo del catéter para realizar monitoreo continuo de la saturación venosa mixta de oxígeno (SVO2) por oximetría de reflexión. El sistema se mejoró en 1977 y se incorporó al uso clínico en 1981.

Posteriormente se desarrollaron catéteres con electrodos de marcapaso auricular y ventricular, o bien dispositivos con un orificio adicional para el paso de un electrodo.

La última innovación es la implementación de termistores de respuesta rápida que permiten la medición tanto de gasto cardíaco como de la fracción de eyección del ventrículo derecho por técnica de termodilución.

Características del Catéter

El catéter de arteria pulmonar es un dispositivo de longitud y calibre variable (60 a 110 cm y 4 a 7.5 Fr, respectivamente), fabricado en polivinilcloruro, material deformable a temperatura ambiente que adicionalmente se hace maleable al calor corporal.

La cubierta del catéter está marcada cada 10 cms con bandas negras que ayudan a localizar el catéter en las cámaras cardíacas. Cerca de la punta el catéter se abre a un balón de látex que al ser inflado en el torrente sanguíneo flota haciendo innecesario el uso de fluoroscopia para la inserción. En la punta cuenta con un orificio que permite el registro de presiones y la toma de muestras.

Adicionalmente el catéter posee un orificio proximal a 30 cm de la punta que quedará ubicado en la aurícula derecha o en la unión aurícula-cava superior, y que se utiliza para:

- Inyección de líquido frío en la toma de gasto cardíaco
- Medición de la presión venosa central (PVC)
- Administración de soluciones o drogas
- Tomar muestras de sangre

Unos 3 a 4 cms proximal al extremo del catéter está el termisor que deberá quedar localizado en la arteria pulmonar o en alguna de sus ramas mayores. Este termisor está conectado al computador de gasto cardíaco que mide cambios de temperatura en el tiempo.

Como se mencionó antes, además del catéter convencional que se acaba de describir, existen dispositivos con vías adicionales para infusión de líquidos en la aurícula derecha o arteria pulmonar, o bien para el paso de electrodos de marcapaso.

Está igualmente disponible en nuestro medio el catéter con doble fibra óptica para trasmisión de luz roja, permitiendo la medición del porcentaje de hemoglobina saturada, de acuerdo a la cantidad de luz reflejada. Un fotodetector en un módulo óptico computarizado calcula dicha fracción saturada (saturación venosa mixta de oxígeno).

Se encuentra ya en el país el catéter Swan Ganz con termistor de respuesta rápida, el cual permite medición de la fracción de eyección del ventrículo derecho, un método experimental hasta hace poco.

Clínica Nueva, Unidad de Cuidados Intensivos, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

Correspondencia: Manuel R. Lombo, MD, Clínica Nueva, Unidad de Cuidados Intensivos, Diagonal 45 No. 16B-11, Teléfono: 2328520, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

Técnica de la Inserción del Catéter

Comúnmente la inserción se realiza por vía percutánea por técnica de Seldinger a través de la vena yugular interna o subclavia, aunque también se puede lograr el acceso por venodisección, punción yugular externa o femoral. La colocación del catéter se debe realizar bajo la más estricta asepsia, con un lavado meticuloso del área, cubriendo con campos estériles (la incidencia de infecciones por catéter es proporcional al cuidado que se tenga al respecto).

Previa inyección local de 5 ml de lidocaína al 140, se canaliza la vena con una aguja larga número 18 unida a una jeringa de 5 ml. Una vez localizada la vena se retira la jeringa y se introduce a través de la aguja una guía con punta curva. Se extrae la aguja y se pasan el introductor con un dilatador a través de la guía localizada en la vía venosa, asegurando la guía externamente para prevenir que migre el torrente sanguíneo. Se retiran luego guía y dilatador; a través del introductor se procede a continuación al paso del catéter al cual previamente se le ha revisado:

- Integridad del balón.

- Permeabilidad de las vías de infusión.

- Funcionamiento de transductor; conexiones y soluciones heparinizadas.

El paso del catéter se inicia entonces avanzándolo 20 cms a través del introductor. Debe aparecer la curva de presión venosa con sus ondas características (ver figura 1). Al adelantar el catéter, previa inflación del balón con 1.5 ml de aire, se hace más evidentes las ondas y deflexiones ya observadas, correspondiendo a la entrada de la punta a la aurícula derecha. Es importante tener en cuenta que las diferentes curvas que se describirán a continuación (en su orden: aurícula derecha, ventrículo derecho, arteria pulmonar y presión en cuña) se observarán secuencialmente en un tiempo que idealmente no debe ser mayor a 20 segundos mientras avanzamos el catéter en forma continua, lo que evitará en la gran mayoría del caso acodamientos y desviaciones del curso del dispositivo. El paso del catéter se prolonga en algunos casos, cuando existen anomalías valvulares, presiones aumentadas en el circuito derecho del corazón o en estados de bajo gasto. En la aurícula se observan las siguientes ondas:

Onda a: Corresponde a la contracción de la aurícula derecha.

Descenso x: Caída en la presión de la aurícula derecha luego de contracción.

Onda c: Cierre de la válvula tricúspide.

Onda v: Contracción del ventrículo derecho, que resulta en abombamiento de la válvula tricúspide en la aurícula.

Descenso y: Apertura de la tricúspide con caída de la presión en la aurícula (ver figura 1).

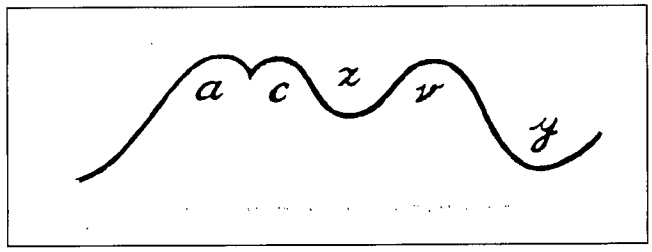

Figura 1: Onda de presión de la aurícula derecha.

Los valores normales de presión en la aurícula derecha para la onda a son entre 5 y 7, para la onda V son de 4 a 5, con presión media entre 3 y 6 (4).

Si se avanza hasta 30 o 40 cms el catéter se observa la onda de presión del ventrículo derecho la cual se caracteriza por una elevación progresiva hasta un pico 2 a 3 veces mayor que la presión de la aurícula derecha (término medio de 18 mmHg) hasta un máximo de 30 como límite superior normal, seguido de una caída brusca casi a cero, alcanzando luego una meseta que equivale a la presión de fin de diástole del ventrículo derecho (4-5 mm Hg), que normalmente iguala la presión media de la aurícula derecha.

Al seguir avanzando el catéter, al llegar a 40 - 50 cms se observa la onda de presión de la arteria pulmonar que se caracteriza por su forma triangular y la presencia de la incisura dicrótica que coincide con el cierre de la válvula pulmonar (ver figura 2).

Los valores normales de presión de la arteria pulmonar son: sistólicos entre 18 y 30, diastólicos entre 12 y 15, con medias entre 15 y 20.

Una vez se ha avanzado el catéter 50-60 cms (siempre con el balón inflado de aire) hay una caída súbita de la línea de base, seguida de una serie de ondas que semejan las observadas en la aurícula derecha y que corresponden al acuñamiento del balón en una rama de la arteria pulmonar (presión capilar de cuña o PCWP).

Esta curva refleja los eventos mecánicos de la aurícula izquierda, visualizándose las ondas a, c y v y los descensos x y y. La PCWP, en ausencia de obstrucción del circuito arterial pulmonar o enfermedad valvular es un reflejo muy cercano de la presión de fin de diástole del ventrículo derecho.

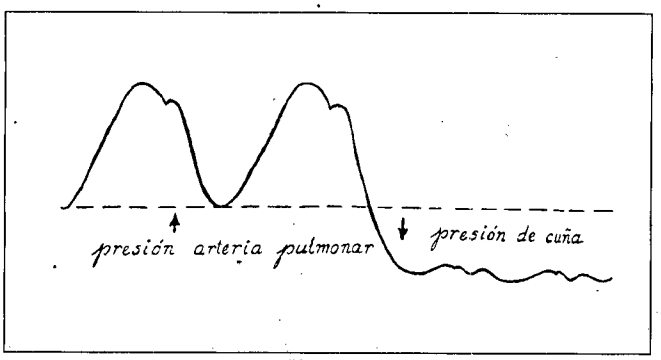

Figura 2

Sus valores medio normales están entre 8 y 12 (4).

Hay dos factores que influencian los valores de la PCWP como índice del llenado del ventrículo izquierdo, a saber:

a) La posición del catéter en la arteria pulmonar

b) Los cambios de presión durante el ciclo respiratorio

a) Para confirmar un adecuado acuñamiento y por ende, una buena posición del catéter sin sobreacuñamiento se evalúan dos criterios:

-La imagen en el monitor durante la oclusión por el balón, que muestra una caída de la presión media (línea de base) con aparición de las ondas a y v.

-La presión de oxígeno (PO_2) de una muestra de sangre de la punta del catéter debe ser mayor por lo menos 19 mm Hg que una muestra sistémica arterial, con una saturación de hemoglobina (SaO_2) 20% mayor que cuando el catéter flota libremente.

b) Durante la respiración normal hay una leve oscilación de la línea de base que no afecta la medición de la PCWP, situación que se altera cuando la distensibilidad pulmonar está disminuida o la resistencia de la vía aérea está aumentada, con lo cual se requiere mayor variación en la presión pleural para cumplir el ciclo respiratorio, afectando la línea de base y creando lecturas inadecuadas.

Otro factor adicional es el aumento en la presión pleural por el uso de presión positiva al final de la expiración (PEEP) mayor de 10, ya que altera la relación ventilación-perfusión, convirtiendo áreas de zona 3 de West en áreas de zona 2 o 1, lo que causa que el catéter mida la presión alveolar y no la auricular.

Para confirmar que el catéter está colocado en zona 3 existen 2 métodos:

- Verificar que aumentos y disminuciones súbitas del PEEP no afecten la PCWP (5).

- Rayos X laterales de tórax que muestren que la punta del catéter con el balón inflado está al nivel o bajo el nivel de la aurícula izquierda (6).

Medición de Otras Variables

a) Gasto cardíaco

Este método se basa en la aplicación de la ecuación de Stewart-Hamilton. Se mide el cambio de temperatura de la sangre luego de la inyección de una cantidad conocida de líquido a una temperatura también conocida. El cambio de la temperatura de la sangre en el tiempo es inversamente proporcional al flujo de sangre. Dicho cambio es medido por el termistor en la punta del catéter; la información es entonces analizada en el computador con la siguiente ecuación.

$$GC = \frac{V\ (Ts\text{-}Ti) \times K1 \times K2'}{\int Ts\ (+)\ dt}$$

Donde:

GC = Gasto cardíaco
V = Volumen inyectado
Ts = Temperatura sanguínea inicial
Ti = Temperatura inicial del líquido inyectado
K1 = Factor de densidad
K2 = Constante del computador
$\int Ts\ (+)\ dt$ = Integral del cambio de temperatura sanguínea

Se inyecta un volumen de líquido (3,5 ó 10 ml) en forma rápida pero suave, durante la fase espiratoria del ciclo respiratorio. La diferencia de temperatura entre el líquido inyectado y la sangre debe ser de mínimo 10°C (7). El computador produce una curva cuya área es el denominador de la ecuación.

Así, el gasto cardíaco es inversamente proporcional al área bajo la curva.

Los siguientes factores causan mediciones falsamente elevadas del gasto (área bajo la curva pequeña):

- Inadecuada inyección del líquido

- Constante del computador equivocada

- Calentamiento accidental del líquido

- Migración de la punta del catéter a la posición de cuña

- Posicionamiento del termistor sobre la pared arterial

Por el contrario, mediciones falsamente bajas del gasto pueden ocurrir si:

- Se hacen inyecciones de líquido con menos de un minuto de diferencia
- Acodamiento del catéter
- Obstrucción por coágulos

Los valores normales del gasto cardíaco están entre 3.5 y 6 lt/min.

b) Cálculo de índices a partir de los datos obtenidos

Con frecuencia se expresa el volumen minuto cardíaco como índice cardíaco (gasto cardíaco por metro cuadrado de superficie corporal). Los límites normales del índice cardíaco son de 2.4 a 3.5 lt/min/m^2. Para determinar el índice latido, es decir el volumen latido cardíaco, se divide el valor del índice cardíaco sobre la frecuencia cardíaca. Por expresarse en mililitros en número obtenido se multiplica por 1.000. Su valor normal es de 30-65 ml/latido/m^2. Finalmente para el cálculo de las resistencias vasculares pulmonar y sistémica en forma de índice se usan las siguientes fórmulas

$$IRVS = \frac{(PAM - PVC) \times 79.9}{IC}$$

Donde:

IRVS = Indice de resistencia vascular sistémica
PAM = Presión arterial media
PVC = Presión venosa central
IC = Indice cardíaco
79.9 = Factor de conversión de mmHg/lt/min a din-seg/cm^5

Se aceptan valores entre 900 y 2000 din-seg/cm^5 para el IRVS

Igualmente:

$$IRVP = \frac{(PAPM - PCWP) \times 79.9}{IC}$$

Donde:

IRVP = Indice de resistencia vascular pulmonar
PAPM = Presión arterial pulmonar media
PCWP = Presión de cuña
IC = Indice cardíaco
79.9 = Factor de conversión

Se aceptan para la IRVP valores normales entre 50 y 150 din-seg/cm^5

Medición de la Saturación Venosa Mixta de Oxígeno ($SaVO_2$)

Como se mencionó anteriormente, la medición de la $SaVO_2$ se realiza por espectrofotometría de reflexión. La luz reflejada por los glóbulos rojos que fluyen, viaja por una fibra óptica a un fotodetector. La $SaVO_2$ normal varía entre 65 y 75%, lo que corresponde a una presión de oxígeno de aproximadamente 40 mmHg. La caída de la $SaVO_2$ a 60% o menos indica compromiso de los determinantes del transporte de oxígeno o un aumento en el consumo del mismo. Si la $SaVO_2$ es menor de 53% se puede predecir la presencia de acidosis láctica (2).

Valores altos de $SaVO_2$ indican un aumento en el aporte comparado al consumo de oxígeno, o bien refleja una extracción disminuida y una inadecuada distribución del gasto cardíaco (corto circuito izquierda-derecha periférico). Así, el monitoreo continuo de la $SaVO_2$ es un medio efectivo para evaluar el balance entre entrega y demanda de oxígeno y es un buen reflejo de estabilidad cardiopulmonar.

Bibliografía

1. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, et al: Catheterization of the heart in man with the use of flow directed ballon-tipped catheter. N Engl J Med 1970; 283: 447-53.
2. Ermakov S, Hoyt J W: Pulmonary artery catheterization. Crit Care Clin 1992; 8: 773-803.
3. Norwood S, Ruby A, Civetta J, et al: Catheter-related infections and associated septicemia. Chest 1991; 99: 968-72.
4. Ross J: Presión intracardíaca y arterial y volumen minuto cardíaco. Cateterismo cardíaco. En: Best y Taylor. bases Fisiológicas de la Práctica Médica. 273-287. John B. West, editor. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires 1986.
5. Teboul JL, Besbes M, Axler O et al: A bedside index for determination of zone 3 condition of pulmonary artery catheter tips during mechanical ventilation. Am Rev Resp Dis 1988; 137(s): 139-41.
6. Shasby DM, Dauber IM, Pfister S, et al: Swan-Ganz catheter location and left atrial pressure determine the accuracy of the wedge pressure when positive end-expiratory pressur is used. Chest 1981; 80: 666-72.
7. Hankeln KB, Gronemeyer R, Held A, Böhmert F: Use of continous noninvasive measurement of oxygen consumption in patients with adult respiratory distress syndrome following shock of various etiologies. Crit Care Clin 1991; 19: 642-649.