

Significado clínico de soplos diastólicos musicales intermitentes en prótesis de Björk en posición aórtica

GLADYS E. CALVIÑO, SAUL SOIFER, NESTOR ATTANASIO*, MIGUEL DEL RIO

División Cardiología y Servicio de Hemodinamia, Hospital Italiano de Buenos Aires

* Para optar a Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

Trabajo recibido para su publicación: 9/87. Aceptado: 11/87

Dirección para separatas: Dra. Gladys E. Calviño, Hospital Italiano, División Cardiología, Gascón 450, (1181) Buenos Aires, Argentina

Se describe la aparición de soplos diastólicos musicales, tipo "honk", de variable duración, de intensidad 4-6/6, intermitentes, con un rango de frecuencias variables entre 110 a 180 ciclos/seg, en 12 pacientes sometidos previamente a reemplazo valvular aórtico (RVA) con prótesis de Björk-Sorin; en 6 de los mismos el reemplazo fue mitroaórtico. La edad osciló entre 45 y 71 años (\bar{X} 57,08); 10 mujeres y 2 hombres. Dicho soplo se detectó dentro de la primera semana del post-operatorio. Ante estos hallazgos, sospechosos de disfunción precoz, se efectuó fonocardiograma (FCG), ecocardiograma (ECO) en modos M y 2D y cinefluoroscopia. Los FCG confirmaron las características de los soplos; en los ECO no se evidenciaron anomalías en el funcionamiento de los discos en 11 pacientes, la función ventricular izquierda fue normal en 11 y hubo temblor diastólico mitral en 2. A 4 pacientes se les efectuó estudio hemodinámico, constatándose ausencia de reflujo aórtico en 2 casos, reflujo paravalvular de grado leve en uno y reflujo valvular mínimo en el restante. En los 8 pacientes restantes la fluoroscopia no detectó anormalidad de funcionamiento aórtico. Tres pacientes con doble reemplazo fueron reintervenidos por disfunción de la prótesis mitral; en ningún caso fue necesaria cirugía de válvula aórtica. El período de seguimiento osciló entre 3 y 68 meses (\bar{X} 19,58). Nueve pacientes persisten sin cambios a la fecha y 3 fallecieron por causa no atribuible a disfunción aórtica. Sabido es que toda prótesis mecánica en posición aórtica ofrece leve reflujo, pero éste es áfono u ocasiona un soplo de regurgitación aórtica clásico. Los intensos soplos diastólicos musicales hallados nos dejan el interrogante acerca de su exacto mecanismo de producción. Los atribuimos a periódicas fluctuaciones de presión que actúan sobre la movi-

lidad del disco y se transmiten a los soportes de su anillo de sustentación, lo que facilitaría los fenómenos de resonancia. Dada la evolución clínica de los pacientes, consideramos que dichos soplos no implican disfunción protésica o paraprotésica.

La válvula de Björk-Sorin es el resultado de modificaciones realizadas en la primitiva válvula de Björk-Shiley, creada en 1969. Siendo su fabricación casi artesanal, consiste en un disco oscilante de carbón pirolítico que se obtiene utilizando un proceso químico complejo, que incluye la pirolisis en alta temperatura de una mezcla de hidrocarburos. El mismo flota libremente en el espacio libre que dejan los dos soportes de su anillo de sustentación y ocasiona un reflujo aórtico leve considerado como un hecho fisiológico y aun buscado por los cirujanos. Dicho reflujo es normalmente áfono y ocasiona un soplo protodiastólico en el 30% de los pacientes.

Respecto de la auscultación y fonocardiografía en prótesis normales, el ruido de apertura del disco en posición aórtica no es auscultado pero se registra como un sonido suave a 40-60 msec después del primer ruido cardíaco. El ruido de cierre protésico tiene mayor intensidad que el primer ruido cardíaco. Los soplos protomesosistólicos suaves constituyen hallazgos comunes y son más intensos cuanto menor sea el diámetro de la válvula. En casos de disfunción valvular, el ruido de apertura puede estar ausente o variar su ubicación en sístole; el ruido de cierre protésico puede disminuir su intensidad en casos de cierre anormal del disco por trombos o bajo volumen minuto. Los soplos sistólicos se intensifican en los casos obstructivos, en los que también se modifica el pulso carotídeo, con disminución en su pendiente de ascenso y aumento del período eyectivo. Intensos soplos

diastólicos se registran, sobre todo en casos de fuga paravalvular.

Nuestra intención en esta comunicación es referirnos a la aparición de soplos diastólicos musicales, tipo "honk", de variable duración, intensidad 4-6/6, no modificables con movimientos respiratorios, maniobras farmacológicas ni cambios de posición, durante el postoperatorio inmediato (primera semana) en 12 pacientes sometidos a reemplazo valvular aórtico con prótesis de Björk-Sorin.

Dichos soplos, de los cuales no encontramos descripciones previas, son considerados por nosotros sospechosos de disfunción precoz; por este motivo hemos profundizado el estudio de los pacientes que los presentaban.

MATERIAL Y METODO

Se estudiaron 12 pacientes, 10 de sexo femenino y 2 de sexo masculino, cuyas edades oscilaban entre los 45 y 71 años (\bar{X} 57,08). En todos los casos se detectaron los soplos dentro de la primera semana

del postoperatorio de reemplazo valvular aórtico (RVA) con prótesis de Björk-Sorin. En 6 casos, el reemplazo había sido mitroaórtico. Tres pacientes habían sido reintervenidos por disfunciones de prótesis previamente implantadas. Se utilizaron prótesis metálicas en posición mitral en dos pacientes de este grupo y bioprótesis de porcino de bajo perfil (BPBP) en los cuatro restantes (Tabla 1). Los enfermos fueron evaluados mediante: a) fonocardiografía; b) ecocardiografía; c) cinefluoroscopia con intensificador de imagen; d) cateterismo cardíaco.

a) Se obtuvieron en todos los casos con un Mingophon 34 de 3 canales, micrófono de contacto a ganancia variable de 1/10 a 1/50. Los micrófonos fueron ubicados en área aórtica y borde paraesternal izquierdo, con el paciente en posición supina y en apnea espiratoria. El sonido fue filtrado desde 25 a 400 ciclos/seg y se obtuvieron también registros sin filtros. Los registros fueron realizados en inspiración, espiración, postmaniobra de Valsalva, con test de ejercicio isométrico y ni-

Tabla 1

Caso	Sexo	Edad	Indicación quirúrgica	Tipo de operación	Tipo de prótesis	Disfunción reoperada	Tipo de operación	Tipo de prótesis
G.D.	F	45	EA EM	Doble reemplazo	A = BPBP Nº 24 M = BPBP Nº 30	Desgarro BPB mitral	Doble reemplazo	A = BS Nº 21 M = BS Nº 27
C.J.	F	59	EA EM	Doble reemplazo	M = BPBP Nº 28 A = BS Nº 21			
M.J.	M	47	EA EM	Doble reemplazo	M = BPBP Nº 30 A = BS Nº 21	E. bacteriana	Doble reemplazo	M = BPBP Nº 30 A = BS Nº 21
A.B.	F	69	EM EA	Doble reemplazo	M = BPBP Nº 30 A = BPBP Nº 24	Desgarro BPBP aórtica	RVA	A = BS Nº 21
F.T.	F	53	EM EA	Doble reemplazo	M = BPBP Nº 28 A = BS Nº 21			
K.I.	M	49	EM EA	Doble reemplazo	M = BPBP A = BPBP	Desgarros ambas BP	Doble reemplazo	M = BS Nº 27 A = BS Nº 21
R.A.	F	55	EA	RVA	BS Nº 21			
P.R.	F	58	EA	RVA	BS Nº 23			
P.C.	F	71	EA	RVA	BS Nº 21			
R.C.	F	70	EA	RVA + By-pass DA	BS Nº 21			
B.E.	F	57	EA	RVA + Doble by-pass	BS Nº 19			
G.B.	F	52	EA Est.M	RVA + Comi-surotomía	BS Nº 21			

Referencias: EA = Enfermedad aórtica. EM = Enfermedad mitral. M = Mitral. A = Aórtica. BS = Björk-Sorin. RVA = Reemplazo valvular aórtico. BPBP = Bioprótesis biológica. Est.M = Estenosis mitral.

Tabla 2
Características de los soplos

- Diastólicos musicales, tipo "honk".
- Duración variable.
- Intensidad 4-6/6.
- Intermitentes.
- No modificables con los movimientos respiratorios ni maniobras farmacológicas.
- Frecuencia: 110 a 180 ciclos/segundo.

trito de amilo.

b) Fueron efectuados en modos M y 2D en todos los casos con un ATL 315 A según técnicas convencionales. Se analizó la motilidad del disco, las dimensiones y función ventricular izquierda, la presencia o no de temblor diastólico de válvula mitral o del borde izquierdo del septum interventricular.

c) Efectuada en 8 casos, se consideró anormal si se observaba un ángulo de cierre del disco mayor de 0° o una apertura menor de 60°.

d) Se realizó en 4 pacientes con doble reemplazo. Para realizar el aortograma, se ubicó al paciente en posición oblicua anterior izquierda. Se consideró insuficiencia aórtica significativa a la opacificación plena del ventrículo izquierdo durante uno o más ciclos cardíacos, con opacificación similar entre aorta y ventrículo.

RESULTADOS

Todos los pacientes presentaron dentro de la primera semana del postoperatorio soplos diastólicos musicales tipo "honk" de variable duración, intensidad 4-6/6, intermitentes, no modificables con los movimientos respiratorios ni maniobras farmacológicas, posturales, o con el test de ejercicio isométrico. El rango de frecuencia osciló entre los 110 y 180 ciclos/seg (Tabla 2). Tanto el segundo ruido cardíaco como los carotidogramas no presentaron cambios morfológicos relacionados con la intermitencia de los soplos. Ningún paciente sufrió deterioro clínico con la aparición de los mismos.

En los ecocardiogramas, la prótesis aórtica era normofuncionante en 11 pacientes, el diámetro diastólico ventricular izquierdo (DDVI) se hallaba aumentado en 2, la función ventricular estaba conservada en 11 pacientes y se observó temblor diastólico mitral en 2 (Tabla 3).

A 4 pacientes con doble reemplazo se les efectuó estudio hemodinámico y se comprobó reflujo paravalvular aórtico de grado leve en uno y mínimo en otro. En 3 casos existía disfunción mitral significa-

Tabla 3
Ecocardiograma modo M y bidimensional
(12 pacientes)

- 1) Funcionamiento prótesis aórtica:
Normal = 11 pacientes.
- 2) Diámetro diastólico ventricular izquierdo:
Aumentado = 2 pacientes.
- 3) Función ventricular:
Conservada = 11 pacientes.
- 4) Temblor diastólico mitral:
2 pacientes.

tiva (Tabla 4), por lo cual fueron reintervenidos, descartándose en el acto quirúrgico reflujo aórtico. En los 8 pacientes restantes, la cinefluoroscopia no detectó anomalías en el funcionamiento de los discos.

El período de seguimiento osciló entre los 3 y 68 meses (\bar{X} 19,58). Nueve persisten sin cambios clínicos a la fecha, con los mismos fenómenos auscultatorios, y 3 pacientes fallecieron por causas no atribuibles a disfunción aórtica. Ejemplarizaremos algunos casos:

Caso 1: Paciente de 57 años, sexo femenino sometida el 26/11/85 a reemplazo valvular aórtico debido a enfermedad aórtica a franco predominio de estenosis severa. El reemplazo se realizó con una prótesis de Björk-Sorin Nº 23. En la cirugía se encontró una válvula aórtica muy calcificada y el gradiente entre ventrículo izquierdo y aorta era de 85 mmHg. Las coronarias fueron normales. En el postoperatorio se auscultó un soplo diastólico tipo "honk". La paciente evolucionó sin complicaciones. El 2/12/85 se realizó un fonocardiograma (Fig. 1) que denotó un primer ruido disminuido, un ruido de apertura protésica a 40 mseg, un ruido de cierre protésico aumentado de intensidad, un soplo diastólico intermitente de variable duración en segundo y tercer espacios intercostales izquierdos. El pulso carotídeo fue de morfología normal. El período expulsivo ventricular izquierdo fue de 200 mseg, el período expulsivo convencional, de 80% (disminuido), y la relación período preeyectivo/expulsivo fue de 0,4 (normal). El ecocardiograma

Tabla 4
Resultados del cateterismo cardíaco
(4 casos) (Doble reemplazo mitroaórtico)

- a) Cuatro con función prótesis aórtica normal o leve alteración.
- b) Uno con prótesis mitral normal.
- c) Tres con disfunción mitral significativa (uno con obstrucción subaórtica).

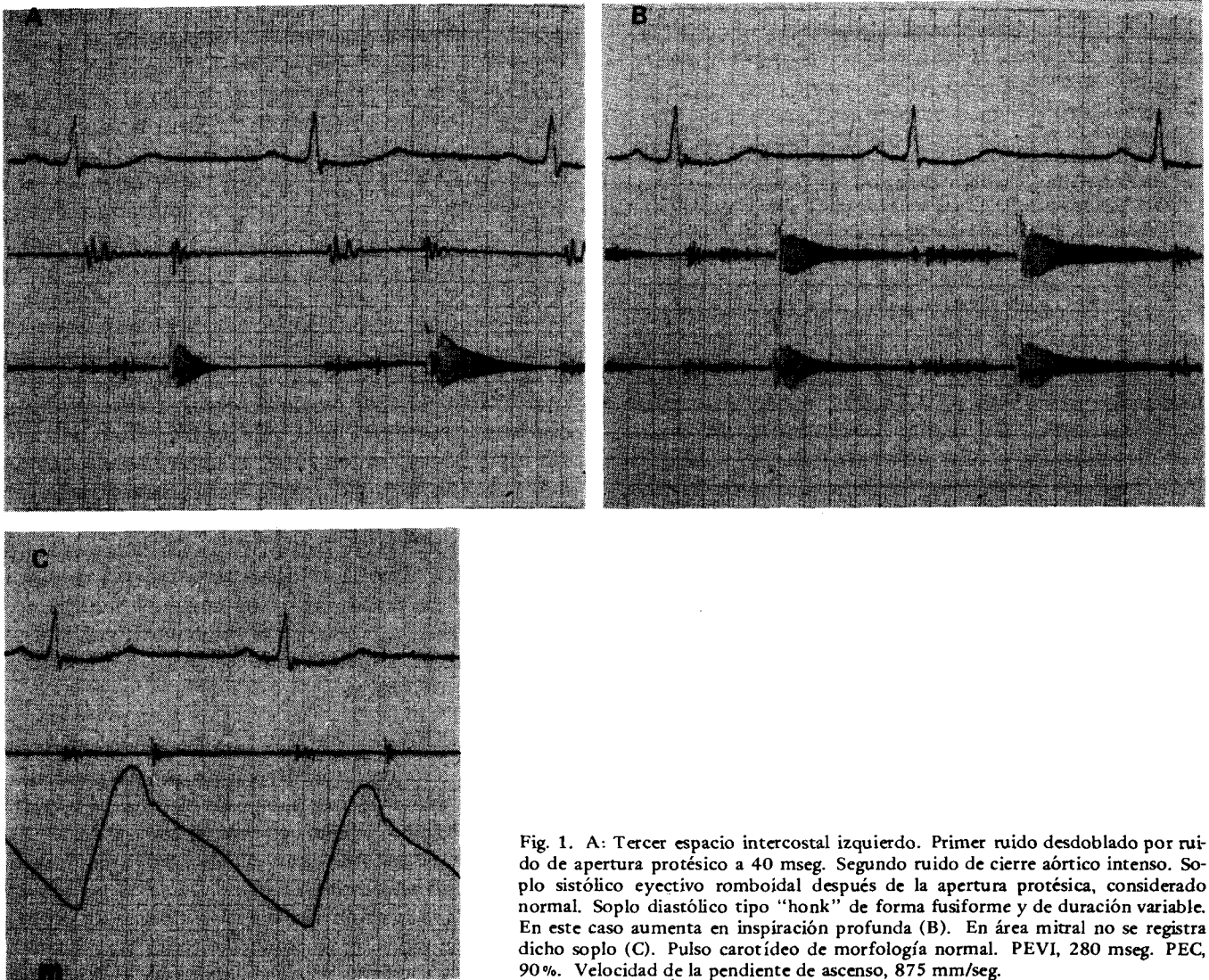


Fig. 1. A: Tercer espacio intercostal izquierdo. Primer ruido desdoblado por ruido de apertura protésico a 40 mseg. Segundo ruido de cierre aórtico intenso. Soplo sistólico eyectivo romboidal después de la apertura protésica, considerado normal. Soplo diastólico tipo "honk" de forma fusiforme y de duración variable. En este caso aumenta en inspiración profunda (B). En área mitral no se registra dicho soplo (C). Pulso carotídeo de morfología normal. PEVI, 280 mseg. PEC, 90%. Velocidad de la pendiente de ascenso, 875 mm/seg.

grama, realizado el mismo día, denotó un septum aquínico, fibrosis de la valva posterior de la mitral. La prótesis mecánica en posición aórtica impresionaba como normal. La enferma fue dada de alta el 5/12/85. Su seguimiento es de 12 meses, encontrándose totalmente asintomática con la misma auscultación.

Caso 2: C.J., mujer de 61 años de edad, sometida a RVM con PBPB Nº 28 y RVA con Björk-Sorin Nº 21 en julio de 1983 por enfermedad mitroaórtica de etiología reumática. La recuperación postoperatoria fue satisfactoria. Al sexto día apareció un soplo diastólico musical tipo "honk" intermitente de intensidad 6/6 (Fig. 2), sin deterioro clínico de la paciente. El ecocardiograma no detectó anomalías funcionales de las prótesis y comprobó una buena función ventricular izquierda. El estudio hemodinámico reveló reflujo valvular aórtico mínimo, aceptable para este tipo de

prótesis. El angiograma pulmonar fue normal. La paciente lleva tres años de seguimiento y se encuentra en clase funcional (CF) I sin cambios en los fenómenos auscultatorios.

Caso 3: M.J., varón de 48 años de edad, sometido a RVM con PBPB Nº 30 y a RVA con Björk-Sorin Nº 21 por enfermedad mitroaórtica de etiología reumática. Cursó el postoperatorio sin complicaciones; al sexto día se detectó un soplo diastólico musical tipo "honk" intermitente en área y mesocardio. Fonocardiograma: primer ruido conservado, segundo ruido cierre aórtico intenso, ruido de apertura protésica a 40 mseg, pulso carotídeo de morfología normal (Fig. 3). En el ecocardiograma se detectan las dos prótesis normofuncionantes, disquinesia septal, diámetro y función ventricular izquierda conservados. La cinefluoroscopia fue normal y el paciente fue dado de alta asintomático. El paciente reingresó al cuarto mes por sín-

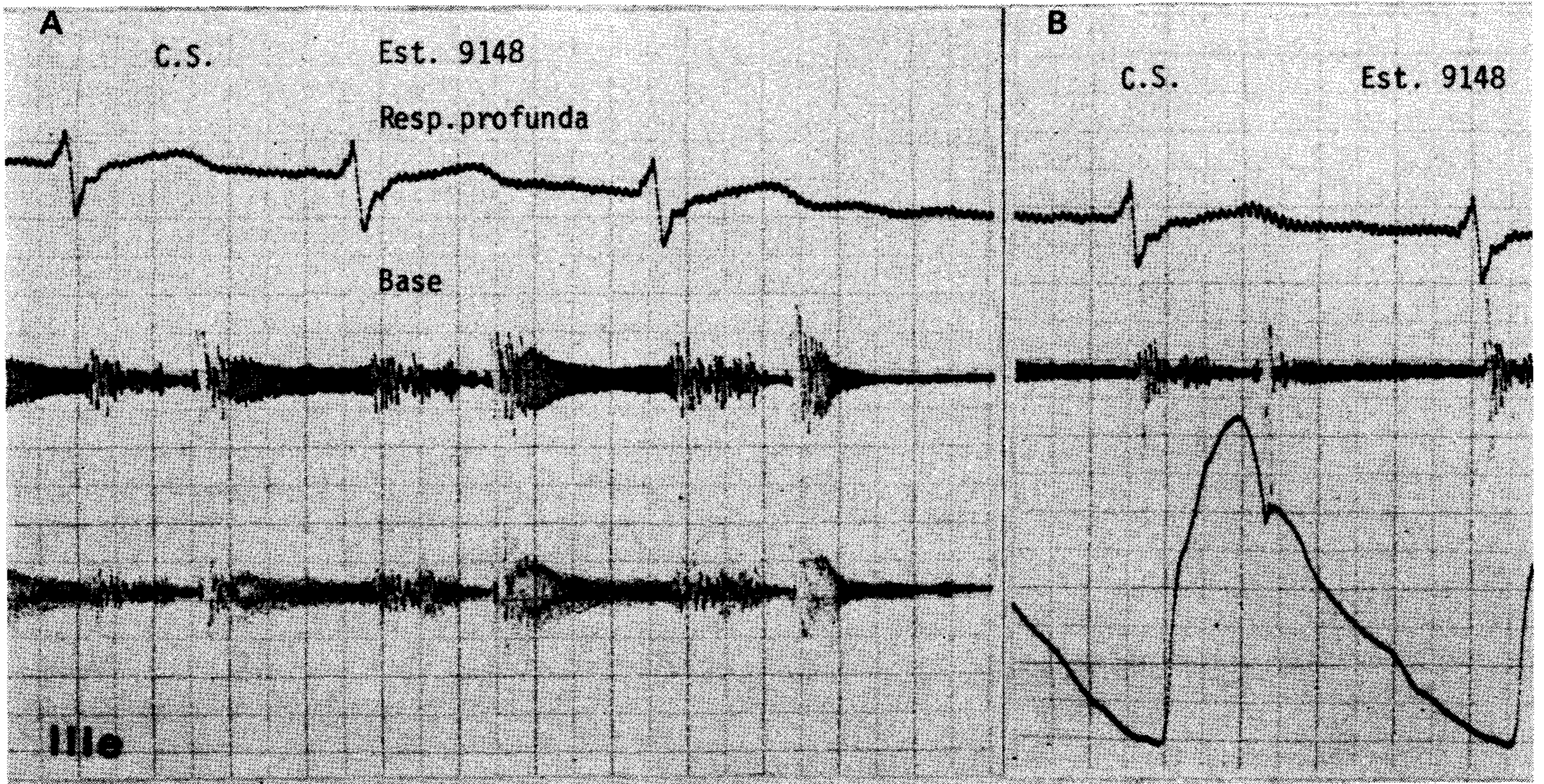


Fig. 2. A: C.J., 61 años, mujer, ruido de cierre de bioprótesis mitral intenso. Ruido de cierre protésico aórtico intenso. Chasquido de apertura mitral a 60 msec. Soplo sistólico eyectivo romboidal en base. Se observa soplo diastólico de larga duración de 180 ciclos/seg. En el tercer latido es protodiastólico. B: Pulso carotídeo de morfología normal.

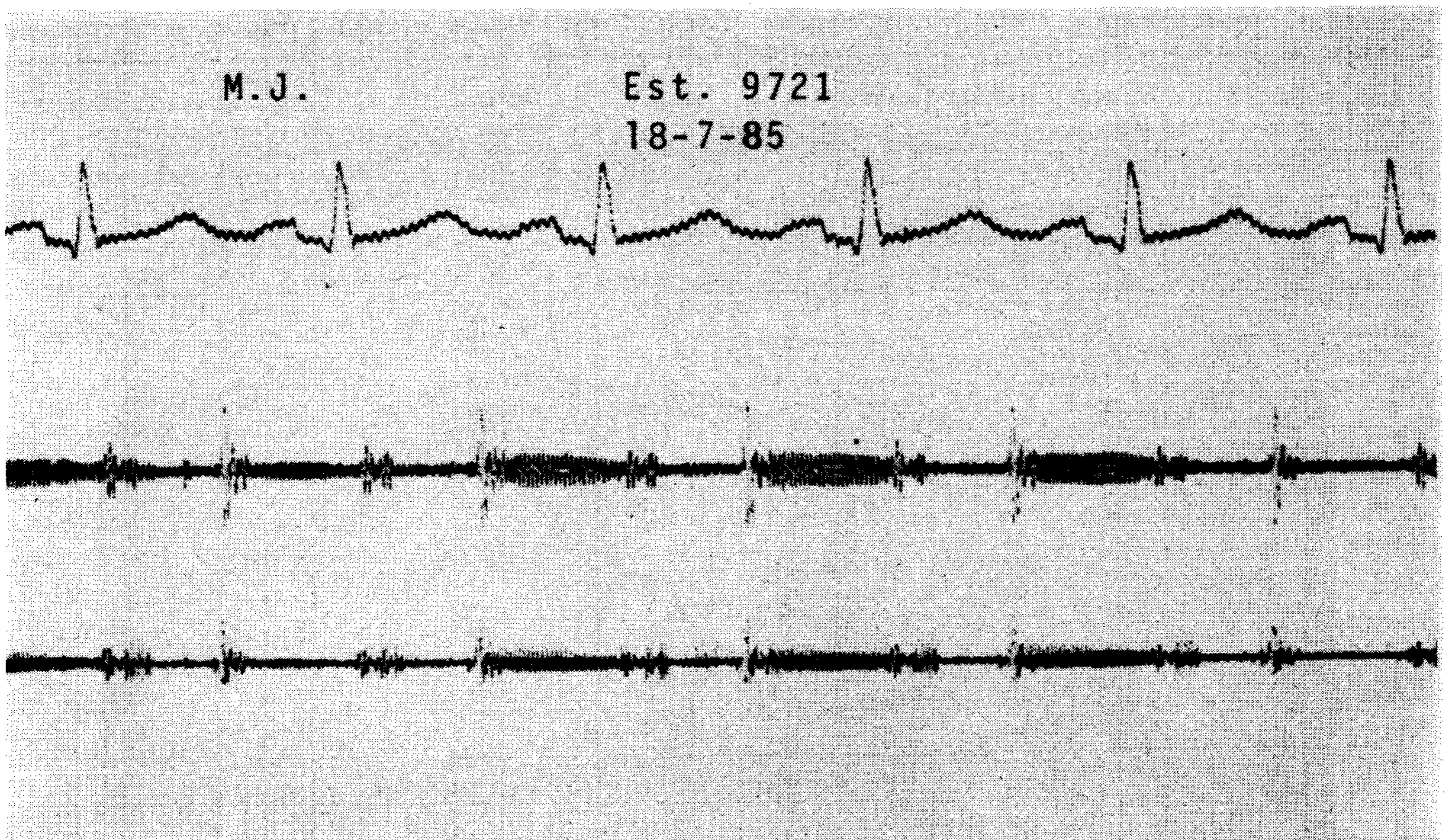


Fig. 3. M.J. Area aórtica. Se observa ruido de apertura protésica aórtico a 40 msec. El soplo diastólico ocupa toda la diástole. Nótese su ausencia en el quinto latido.

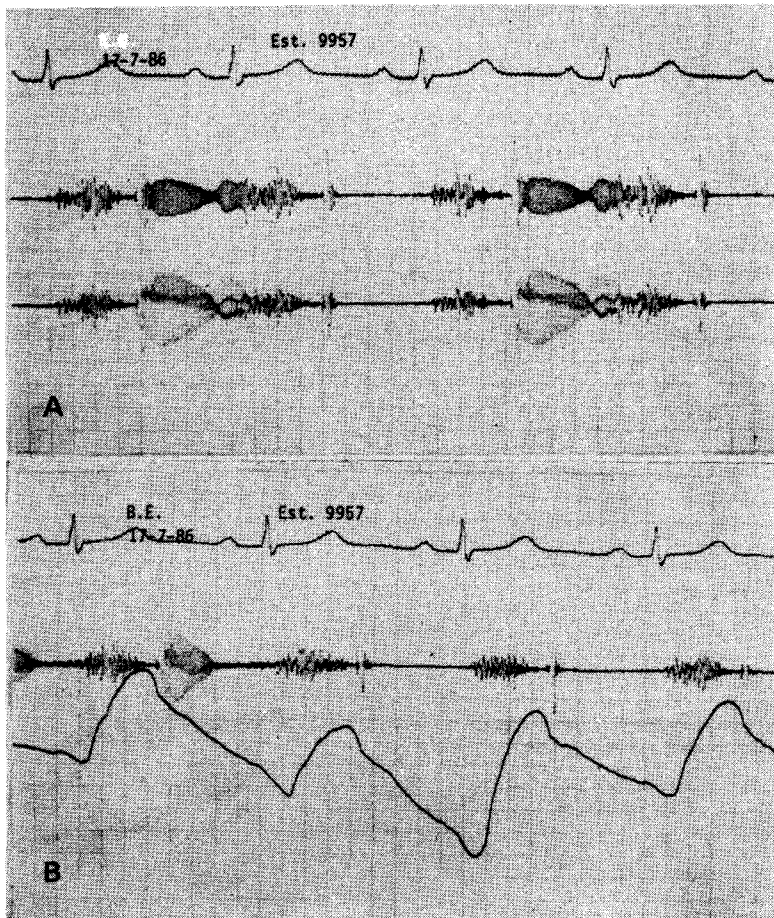


Fig. 4. A: B.E. Se observa en primer y tercer latido intenso soplo diastólico de 400 msec de duración, frecuencia 160 ciclos/seg con franco refuerzo presistólico. En el segundo latido no hay soplo. B: El carotídeograma no se modifica en los latidos con o sin soplo.

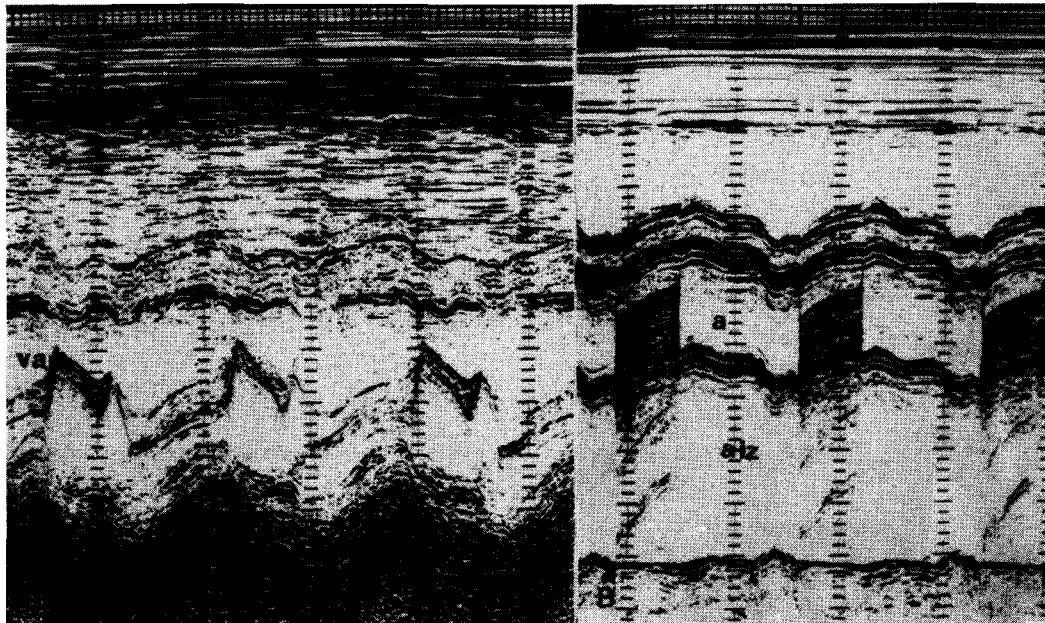


Fig. 5. Ecocardiograma del caso 11. va: valva anterior de la mitral. a: Prótesis aórtica. aiz: Aurícula izquierda.

drome febril. Se realizaron hemocultivos que fueron positivos para estafilococo. A los fenómenos auscultatorios previamente descritos se agregó un soplo sistólico de regurgitación mitral 4/6. El paciente fue intervenido quirúrgicamente con diagnóstico de disfunción protésica mitral postendocarditis. En el acto quirúrgico se constató: proceso endocárdico macroscópico a nivel mitral. El paciente falleció en el postoperatorio inmediato; la prótesis aórtica era normal.

Caso 11: B.E., mujer de 57 años de edad, sometida a RVA con prótesis de Björk-Sorin N° 19 por enfermedad aórtica a predominio de estenosis (también se efectuó doble puente aortocoronario). Al sexto día del postoperatorio se auscultó soplo diastólico musical tipo "honk" intermitente, intensidad 4/6 de variable duración (Fig. 4). Presentó asimismo soplo protomesosistólico en base de intensidad 3/6 y morfología romboidal. El segundo ruido cardíaco estaba conservado y el pulso carotídeo era normal. En el ecocardiograma (Fig. 5) se observó la prótesis mecánica en posición aórtica normofuncionante, septum disquinético, DDVI 4 cm, aurícula izquierda normal. La cinefluoroscopia fue normal. La evolución fue favorable y al quinto mes de seguimiento se encuentra asintomática con la misma auscultación.

DISCUSION

Los soplos musicales constituyen una variable auscultatoria en pacientes con diversa patología cardíaca. Pueden estar constituidos por vibraciones sinusoidales de alta frecuencia: soplos pantes, o de baja frecuencia; soplos vibratorios (a estos últimos corresponden nuestros hallazgos). Fonocardiográficamente consisten en oscilaciones de ondas de la misma frecuencia mientras que los soplos no musicales mezclan sus frecuencias. Si bien se asocian en muchos casos a anomalías valvulares específicas, no está universalmente aceptado el mecanismo de producción de los mismos. Dos teorías previamente propuestas incluyen: 1) vibraciones regulares de estructuras elásticas (parte o totalidad de una valva relacionada con pérdida o disminución del soporte valvular, cuerda tendinosa aberrante), y 2) flujo turbulento (teoría de remolinos). Bruns¹ reconoce al respecto que las vibraciones secundarias en las estructuras elásticas constituyen un eficiente generador de ruidos y pueden acentuar los soplos. Con respecto a la aparición de estos soplos en válvulas protésicas mecánicas, no tenemos conocimiento de descripciones previas. Soplos sistólicos musicales han sido hallados en bioprótesis en posición mitral⁶ en caso de degeneración de las mismas, y nosotros hemos descrito un caso de intenso soplo diastólico musical por obstrucción al tracto de entrada

del ventrículo izquierdo, en un caso de endocarditis bioprotésica mitral que presentaba una gran vegetación móvil adherida a la válvula.

¿A qué causa atribuir entonces los fenómenos diastólicos intermitentes hallados en estos casos? Si bien existe insuficiencia aórtica mínima o moderada transvalvular en el 62% de los pacientes sometidos a reemplazo valvular aórtico (ejemplo: para válvulas de Björk-Shiley números 21, 25 y 27, un volumen regurgitante de 5,5 ml/lat, 7,3 ml/lat y 8,5 ml/lat respectivamente,³ vale decir mayor volumen regurgitante a mayor tamaño valvular), esta insuficiencia no ocasiona soplos de estas características. No se trataba de casos similares a los descritos por Antunes,⁹ de insuficiencia aguda aórtica intermitente por falla en el cierre del disco, debido a una mala orientación de la prótesis respecto del flujo sanguíneo. Este hecho fue descartado por los cirujanos como probable causa del soplo debido al meticuloso cuidado que ponen en la orientación del disco. Registramos en todos nuestros casos el ruido de cierre protésico. El carotidograma no denotó ningún cambio en su morfología en los latidos que presentaban soplo y en aquellos que no lo presentaban. Por lo tanto, los intensos soplos musicales diastólicos encontrados, acompañados de escasa repercusión en los estudios incruentos y hemodinámicos realizados, nos dejan el interrogante acerca de su exacto mecanismo de producción. Consideramos que la causa más probable son las periódicas fluctuaciones de presión de la corriente sanguínea, que actúan sobre la movilidad del disco, y ello, a su vez, se transmite a su anillo de sustentación. El mismo es una pieza única de estructura cristalina homogénea que facilitaría los fenómenos de resonancia. Esto nos explica la superposición de ondas de distinta frecuencia que se registraron fonocardiográficamente (Fig. 4).

Lo ideal sería poder estudiar *in vitro* estas válvulas para obtener una mayor comprensión de los fenómenos encontrados. La falta de repercusión hemodinámica y la buena evolución clínica a más de tres años del implante valvular en algunos pacientes, nos hace concluir que la presencia de "honk" precordiales en prótesis de Björk-Sorin aórticas no debe ser considerada como signo de disfunción protésica, ya que se observa en prótesis normofuncionantes. Ante su presencia sólo se debe continuar con el control periódico habitual de dichos pacientes, utilizando toda la metodología incruenta a nuestro alcance.

SUMMARY

An unusual intermittent grade 4-6/6 diastolic

musical murmurs, "bonk" type, of variable duration was found in twelve patients who underwent aortic valve replacement with Björk-Sorin prosthesis. The pitch of the murmurs ranged from 110 to 180 Hz/sec. The patients, 10 women and 2 men, ranged in age from 45 to 71 years old (average 57.08). Six patients underwent mitral and aortic valve replacement. The murmurs were detected in all cases within the first week of valve implantation. Echophonocardiography, cinefluoroscopy are described in all cases. They did not reveal abnormal disc motion in 11 patients. Haemodynamic study was performed in four cases; there was minimal intravalve insufficiency in one and minimal paravalve regurgitation in another one. During 3 to 68 months of follow up (average 19.58) nine patients continued to do well, while other 3 died from causes not related to aortic prosthetic valve dysfunction. It is well recognized that a mild degree of aortic regurgitation is a common clinical finding in mechanical prosthesis in the aortic position. The loud intermittent diastolic musical murmurs found introduced a new clinical problem. However we hypothesize that the primary source of murmur production is generated by periodic fluctuation of the mean aortic pressure which alters the disc motion. The results of this study does not indicate failure of the aortic prosthesis.

BIBLIOGRAFIA

1. Bruns DL: A general theory of the causes of the murmurs in the cardiovascular system. *Am J Cardiol* 27: 360-374, 1959.
2. Groom D, Boone JA: The "dove-coo" murmur and murmurs heard at a distance from the chest wall. *Ann Intern Med* 42: 1214-1225, 1955.
3. Mc Kusick VA, Murray GE, Peeler RG et al: Musical murmurs. *Bull John Hopkins Hosp* 97: 137-176, 1955.
4. Felner JM, Harwood S, Mond H et al: Systolic honks in young children. *Am J Cardiol* 40: 206-211, 1977.
5. Kalyanasundaram V, Siegel R, Sun June Kim et al: Musical murmurs: An echophonocardiographic study. *Am J Cardiol* 41: 952-955, 1978.
6. Alam M, García R, Goldstein S: Echo-phonocardiographic features of regurgitant porcine mitral and tricuspid valves presenting with musical murmurs. *Am Heart J* 105: 456, 1983.
7. Dellsperger KC, Wiesting DW, Baehr DA, Bard RJ, Brugger JP, Harrison EC: Regurgitation of prosthetic heart valves: dependence on heart rate and cardiac output. *Am J Cardiol* 51: 321-328, 1983.
8. Gorodezky M, Flores-Mendoza J, Callejas R, Esquivel-Avila JG: Rgurgitation of normal Björk-Shiley prosthetic valves in the aortic valve position. *Am J Cardiol* 56: 489-491, 1985.
9. Antunes MJ, Colsen PR, Kinsley RH: Intermittent aortic regurgitation following aortic valve replacement with the Hall-Kaster prosthesis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 83: 751-754, 1982.
10. Stein PD, Sabbah HN, Magilligan DS, Lakier JB: Mechanism of a musical systolic murmurs caused by a degenerated porcine bioprosthetic valve. *Am J Cardiol* 49: 1874-1882, 1982.
11. Chandraratna Pan, Lopes SM, Hildner: Diagnosis of Björk-Shiley aortic valve dysfunction by echocardiography. *Am Heart Journal* 91: 318-324, 1976.
12. Kotler MN, Mintz G, Panidi O, Segal BL: Noninvasive evaluation of normal and abnormal prosthetic valve function. *J Am College of Cardiology* 2: 151-173, 1983.
13. Panidis I, Ross J, Mints G: Normal and abnormal prosthetic valve function asessed by Doppler Eco. *J Am College of Cardiology* 8: 317, 1986.
14. Yoganathan AP, Chau YA, Gray R et al: Bileaflet, tilting disc and porcine aortic valve substitutes: In vitro hydrodynamic characteristics. *J Am College of Cardiology* 3: 313-320, 1984.