Cir. Cardiov. 2010;17(2):189-99

Cirugía de la fibrilación auricular persistente y permanente

Luis C. Maroto-Castellanos, Julián Pérez-Villacastín

Servicio de Cirugía Cardíaca. Unidad de Arritmias. Instituto Cardiovascular. Hospital Clínico San Carlos. Madrid

El tratamiento quirúrgico de la fibrilación auricular (FA) es un procedimiento eficaz, simplificado en los últimos años con el empleo de la ablación intraoperatoria. En esta revisión recordamos las distintas técnicas quirúrgicas y sus resultados, y actualizamos las recomendaciones para su indicación en la FA persistente y de larga duración (permanente).

Palabras clave: **Fibrilación auricular. Maze. Cirugía.**

Surgery of persistent and permanent atrial fibrillation

Surgical treatment of atrial fibrillation is an efficient procedure, which has been simplified in recent time by intraoperative ablation systems. We herein review a variety surgical techniques and its results and update the current clinical recommendations for ablation of persistent and longstanding persistent atrial fibrillation.

Key words: **Atrial fibrillation. Maze. Surgery.**

INTRODUCCIÓN

La técnica del laberinto o Maze es el patrón oro en el tratamiento curativo de la FA. Las tasas de éxito se sitúan por encima del 80%, pero su complejidad técnica ha hecho que su aplicación no se haya extendido de manera generalizada. En la actualidad disponemos de fuentes de energía alternativas a la incisión quirúrgica que permiten reproducir las lesiones de una manera más sencilla y rápida, por lo que en los últimos años se ha producido un resurgimiento de esta cirugía como parte fundamental del arsenal terapéutico frente a la FA.

LA TÉCNICA DEL LABERINTO-MAZE

Evolución histórica

La primera técnica fue el aislamiento de la aurícula izquierda[1], descrita por Cox en 1980. Mediante incisiones quirúrgicas se aislaba eléctricamente la aurícula izquierda del resto del corazón. La aurícula izquierda, por lo tanto, seguía en FA, pero la aurícula derecha recuperaba el ritmo sinusal, de manera que el gasto cardíaco mejoraba, y la frecuencia cardíaca era rítmica. Al continuar la aurícula izquierda en FA, persistía la estasis sanguínea y, por lo tanto, el riesgo de embolia, con la necesidad de anticoagulación.

Otra técnica es la ablación del nodo auriculoventricular (AV), seguida del implante de un marcapasos VVI[2]. La fibrilación queda confinada en las aurículas, obteniéndose un ritmo cardíaco regular a través de la estimulación permanente del ventrículo derecho. La estasis sanguínea persiste, así como la ausencia del latido auricular.

La técnica del corredor o pasillo fue descrita por Guiraudon en 1985[3]. Consistía en aislar una banda de miocardio auricular que conecta el nodo sinusal con el AV a través del septo interauricular, de manera que el impulso eléctrico sinusal se transmite directamente al nodo AV sin pasar por las aurículas, que permanecen en FA pero eléctricamente aisladas del resto del corazón. De esta forma sólo se conseguía corregir el ritmo irregular, pero la ausencia del latido auricular y la estasis sanguínea continuaban.

Partiendo de la hipótesis de que la FA era consecuencia de macrorreentradas alrededor de las venas pulmonares y de la orejuela izquierda, el grupo de Cox estudió

Luis C. Maroto-Castellanos
Servicio de Cirugía Cardíaca
Instituto Cardiovascular
Hospital Clínico San Carlos
Profesor Martín Lagos, s/n
28040 Madrid
E-mail: lmarotoc.hcsc@salud.madrid.org

Recibido: 20 de enero de 2010
Aceptado: 29 de abril de 2010

TABLA I. RECOMENDACIONES SOBRE LA INFORMACIÓN A INCLUIR EN LA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS DE LA CIRUGÍA DE LA FA, SEGÚN LA STS[89]

Información sobre la arritmia
- Tipo de FA: paroxística, persistente o permanente
- Duración preoperatoria
- Carga de FA: se estimará fundamentalmente a partir del Holter, y se expresará como el porcentaje de tiempo que el paciente está en FA. En el caso de FA permanente la carga será 1 (100% del tiempo en FA)
- Fármacos antiarrítmicos utilizados previamente
- Procedimientos previos realizados para controlar la FA
  - No invasivos: cardioversión farmacológica o eléctrica, sobreestimulación auricular
  - Invasivos: ablación con catéter, Cox-Maze, otros procedimientos quirúrgicos
- Presencia de marcapasos. Definir el tipo

Características del paciente
- Edad
- Sexo
- Raza
- Enfermedad cardíaca de base:
  - Enfermedad coronaria
  - Enfermedad valvular. Tipo
  - Miocardiopatía
  - Hipertensión arterial
  - Otra
  - No cardiopatía asociada
- Tamaño auricular izquierdo: diámetro máximo, área y/o volumen estimado
- Fracción de eyección del VI
- Presión arterial pulmonar
- Cirugía cardíaca previa
- Intervencionismo coronario previo
- Mediación antiagregante/anticoagulante

Procedimiento quirúrgico
- Cirugía de la FA aislada
- Cirugía de la FA asociada a otro procedimiento (definir)
- Monitorización del aislamiento eléctrico:
  - Sí/no
  - Técnica utilizada
  - Resultado

Patrón de lesiones (señalar las realizadas)
- Aurícula derecha:
  - Escisión de orejuela derecha
  - Lesión en orejuela derecha sin escisión
  - Lesión del istmo auricular derecho:
    - Desde orificio de seno coronario a anillo tricúspide
    - Desde cava inferior a anillo tricúspide
  - Lesión desde cava superior a cava inferior
  - Lesión lateral en la pared libre de la aurícula derecha:
    - Lesión completa hasta el anillo tricúspide anteromedial
    - Lesión incompleta
    - Criolesión en anillo tricúspide
  - Lesión medial en la pared libre de la aurícula derecha:
    - Lesión completa hasta el anillo tricúspide anteromedial
    - Lesión incompleta
    - Criolesión en anillo tricúspide
  - Otras lesiones
- Aurícula izquierda:
  - Aislamiento de las venas pulmonares
    - Las cuatro en bloque *(box lesion)*
    - Aislamiento de venas derechas
    - Aislamiento de venas izquierdas
    - Conexión de venas derechas con izquierdas
    - Aislamiento una a una
  - Lesión del istmo auricular izquierdo
    - Sólo lesión auricular
    - Lesión auricular y de seno coronario
  - Orejuela izquierda
    - Lesión desde las venas pulmonares a la orejuela
    - Lesión circunferencial en su base
    - Escisión de la orejuela. Ligadura sin escisión (especificar abordaje –interno o externo– y técnica –sutura, ligadura, dispositivo de sutura automática, dispositivo oclusor)
  - Mapeo y ablación de ganglios nerviosos autónomos
  - Sección del ligamento de Marshall
- Septo interauricular:
  - Lesión a través del borde anterior de la fosa oval
  - Conexión de la lesión cava superior - cava inferior con la lesión de las venas pulmonares
  - No lesión septal

Técnica utilizada para crear las lesiones
- Aplicación endocárdica de la fuente de energía
- Aplicación epicárdica de la fuente de energía
- Incisiones quirúrgicas

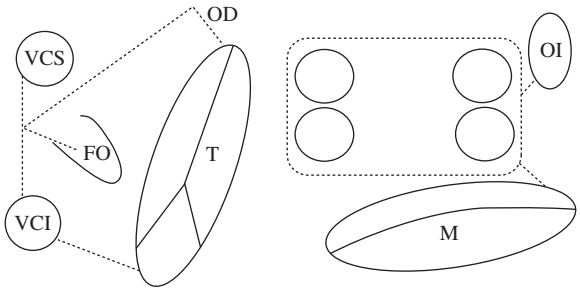
Fuentes de energía utilizadas
- Radiofrecuencia:
  - Unipolar. +Irrigada. +No irrigada
  - Bipolar. +Irrigada. +No irrigada
- Ultrasonidos
- Crioablación. Definir el agente criogénico
- Microondas
- Láser
- Incisiones
- Combinación de las anteriores. Definir
- Complicaciones relacionadas (daño esofágico, daño a arteria coronaria, lesión de nervio vago o frénico, estenosis de vena pulmonar)

Protocolo de manejo postoperatorio
- Fármacos antiarrítmicos: dosis y duración
- Fármacos anticoagulantes. Índice internacional normalizado (INR) y duración
- Protocolo de cardioversión

Protocolo de seguimiento del ritmo
- Intervalos
- Método (ECG, Holter 24 h, Holter 7 días, etc.)

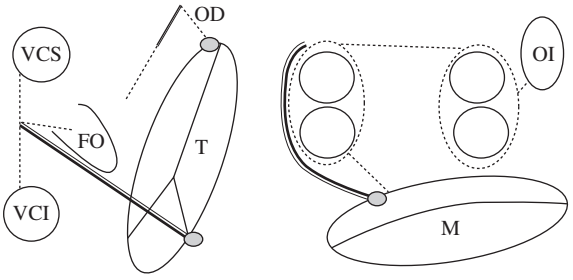
Resultados
- Ritmo:
  - Método actuarial: más apropiado para eventos relacionados con el tiempo, como por ejemplo la muerte, ya que el ritmo no es un evento, sino un estado
  - Prevalencia de la FA en cada intervalo de seguimiento, con el porcentaje de pacientes con fármacos antiarrítmicos y anticoagulantes
  - Carga de FA: probablemente es el mejor método, pero exigiría monitorización continua del ritmo, algo hoy en día no factible en todos los pacientes
- Mortalidad:
  - Mortalidad hospitalaria (30 días). Causas
  - Mortalidad en el seguimiento. Causas
  - Análisis actuarial de la supervivencia
- Otros eventos relacionados con el tiempo (necesidad de marcapasos, necesidad de nueva ablación): análisis actuarial
- ACV y otros eventos tromboembólicos:
  - Análisis actuarial o incluso más apropiado
  - Análisis de eventos repetidos
- Función auricular en el seguimiento (mediante eco y/o resonancia magnética)
- Calidad de vida preoperatoria y en cada intervalo de seguimiento

El gran número de datos y resultados de las distintas técnicas de ablación motivó que la STS publicara en 2007 un documento de consenso con los estándares y guías para comunicar los resultados del tratamiento quirúrgico de la FA[84]. Esto permite comparar de manera más fiable los resultados y así mejorarlos. FA: fibrilación auricular; ACV: accidente cerebrovascular; STS: *Society of Thoracic Surgeons.*



VCS: vena cava superior; VCI: vena cava inferior; FO: fosa oval; T: anillo tricúspide; M: anillo mitral; CQ: cicatriz quirúrgica representada en la línea de puntos.

Figura 1. *Esquema del patrón de lesiones del Maze III. En esquema están representadas ambas aurículas. Las incisiones están dispuestas con línea de puntos. Ambas orejuelas son escindidas en el procedimiento Maze III.*



VCS: vena cava superior; VCI: vena cava inferior; FO: fosa oval; T: anillo tricúspide; M: anillo mitral; CQ: cicatriz quirúrgica representada en la línea de puntos.

Figura 2. *Esquema del patrón de lesiones del Maze IV. En esquema el Maze IV, descrito por Damiano, et al.[90] y Gillinov. et al.[91], que combina la incisión quirúrgica con la ablación. La línea continua doble (═) representa las incisiones o cortes; en línea de puntos las líneas de ablación, y los círculos grises representan la crioablación a nivel de los anillos AV. Sólo la orejuela izquierda es escindida. Abreviaturas similares a las empleadas en anteriores figuras.*

distintas posibilidades técnicas con diversas incisiones en la aurícula izquierda en un modelo canino[4]. La primera técnica desarrollada fue el aislamiento de las venas pulmonares, que curiosamente no tuvo ningún efecto en dicho modelo experimental. Diversas modificaciones del patrón de incisiones llevaron a la llamada transección auricular. Ésta consistía en realizar una incisión por el techo de ambas aurículas desde el anillo mitral lateral hasta el anillo tricúspide por la pared lateral de la aurícula derecha y con una prolongación a través del septo interauricular hasta el tendón de Todaro. Aunque los resultados fueron excelentes, en el modelo animal no sucedió lo mismo en su aplicación clínica.

La técnica de Cox-Maze

Los estudios experimentales y clínicos con mapeo epicárdico biauricular del grupo de Cox mostraron que en todas las FA y *flutter* subyacía un mecanismo de macrorreentrada. En ninguno de los casos, con los medios de mapeos de aquellos años, se encontraron microrreentradas ni automatismo como mecanismos iniciadores ni perpetuadores de la arritmia. Además, dichos circuitos de macrorreentrada eran fugaces e imposibilitaban realizar la cirugía guiada con registros *online,* por lo que el objetivo de la técnica quirúrgica debía ser impedir el establecimiento de cualquiera de los teóricos circuitos. Esto se consiguió dividiendo la aurícula en pequeñas secciones, permitiendo además que el nodo sinusal tomara el ritmo del corazón y despolarizara ambas aurículas, recuperando la función de transporte de las mismas y evitando la estasis sanguínea. Las aurículas se convertían en un auténtico laberinto *(maze)* para el impulso eléctrico, con una única salida que impedía el establecimiento de la arritmia.

Tras comprobar la eficacia de la técnica en el modelo canino para abolir tanto la FA como el *flutter,* se aplicó por primera vez a un paciente el 25 de septiembre de 1987[5]. La técnica original se llamó Maze I, pero hubo de modificarse al causar una disminución importante de la respuesta cronotropa y un retraso de la activación auricular izquierda con respecto a la derecha (llegaba a los 140 ms cuando lo normal es 40) que la hacía coincidir prácticamente con la ventricular. Los estudios electrofisiológicos realizados mostraron la existencia de un área en torno al nodo sinusal anatómico llamada complejo de marcapasos auricular. Se trata de una porción de miocardio auricular de 2-5 cm desde la que se origina el impulso auricular. En función de la frecuencia cardíaca y del estímulo, el punto desde el que se origina el ritmo sinusal cambia, siendo cada vez más alto según la frecuencia cardíaca va siendo mayor. La respuesta cronotropa anormal era consecuencia de que una de las incisiones pasaba por delante de la cava superior, a través de esta área. El retardo en la conducción interauricular se debía a que la incisión en el septo era muy anterior y afectaba al haz de Bachmann, vía de conducción interauricular preferencial. Las modificaciones realizadas dieron lugar al Maze II. Aunque se resolvió el problema, era bastante más complejo desde el punto de vista técnico (obligaba a seccionar completamente la cava superior), por lo que hubo de modificarse nuevamente dando lugar al Maze III, que es la técnica actual de referencia en el tratamiento quirúrgico de la FA[6] (Fig. 1). Hoy en día hablamos de Maze IV para referir el Maze III realizado con radiofrecuencia en vez de con incisiones (Fig. 2).

Resultados del Maze

El grupo de Cox, con 308 pacientes operados, tiene una mortalidad hospitalaria del 2,9%, estando el 98% de los pacientes en ritmo sinusal (RS) a los 8 años[7]. La

complicación postoperatoria más frecuente son las arritmias supraventriculares, que sucedieron en el 37% de los pacientes. En el postoperatorio inmediato la inflamación local y otros factores determinan que los periodos refractarios auriculares sean temporalmente más cortos, de manera que los circuitos de reentrada pueden ser más pequeños y caber así entre las incisiones del *maze*. Ésta es una de las razones por la que los resultados son peores en aurículas muy grandes, de manera que parece aconsejable en estos casos asociar alguna técnica de reducción auricular para que las incisiones estén lo suficientemente próximas como para impedir el establecimiento de los circuitos de macrorreentrada[8,9]. Aunque en el 15% de los pacientes ha sido necesaria la implantación de un marcapasos, la mayoría de ellos presentaban una enfermedad del seno de base.

Al comparar los resultados distinguiendo entre FA aislada y FA asociada a valvulopatía los resultados han sido similares con un 98 y 96% en RS a los 5 años. Además del mantenimiento del ritmo sinusal la incidencia de accidente cerebrovascular (ACV) en el seguimiento es prácticamente nula, con un 0,1%/año[10]. Los principales predictores de recurrencia de la FA son la duración de la misma y el tamaño auricular izquierdo. Así, los pacientes con FA de menos de 5 años tienen un 93% de RS a los 5 años frente a un 70% de los pacientes cuya FA preoperatorio era mayor de 20 años[11].

Una de las causas por las que prácticamente ningún grupo ha podido reproducir los excelentes resultados del grupo de Cox posiblemente sea el que se trate de una serie muy seleccionada; durante un intervalo de tiempo algo mayor de 10 años se han valorado más de 3.000 pacientes, y la técnica sólo se ha aplicado a unos 300; son pacientes jóvenes, el 60% presentan FA paroxística y sólo el 40% presentan cardiopatía estructural. En general, la mayoría de los grupos obtiene peores resultados en los pacientes con FA asociada a enfermedad mitral (70-80% de ritmo sinusal) frente a los pacientes con FA aislada[12-14].

Los estudios de contracción auricular en el seguimiento han mostrado transporte biauricular en el 60-90% de los casos[15,16]. Los principales predictores para la recuperación de la función auricular son el tamaño auricular, la duración de la FA y la función ventricular. Cuando el análisis es cuantitativo se encuentra que, aunque la contracción auricular existe, ésta es un 30-50% menor que en sujetos sanos[17]. Esta contracción auricular más débil es consecuencia de que se aísla mecánicamente la pared posterior auricular entre las venas pulmonares (supone aproximadamente un 30% de la pared auricular), las incisiones determinan una contracción discordante y a veces se seccionan arterias auriculares. Posiblemente, la menor contractilidad auricular tras el Maze desempeña su papel en la recurrencia de la FA en el seguimiento. El mantenimiento en el tiempo de una sobrecarga auricular (mayor tensión de la pared) como consecuencia de la menor contractilidad perpetúa los mecanismos de remodelado anatómico que facilitan la recidiva. Intentando evitar este problema el mismo grupo de Cox diseñó la variante técnica radial[18], en la que no se aislaba la pared posterior de la aurícula, preservándose mejor la contracción auricular.

Tratamiento quirúrgico. Alternativas a la intervención de Cox-Maze

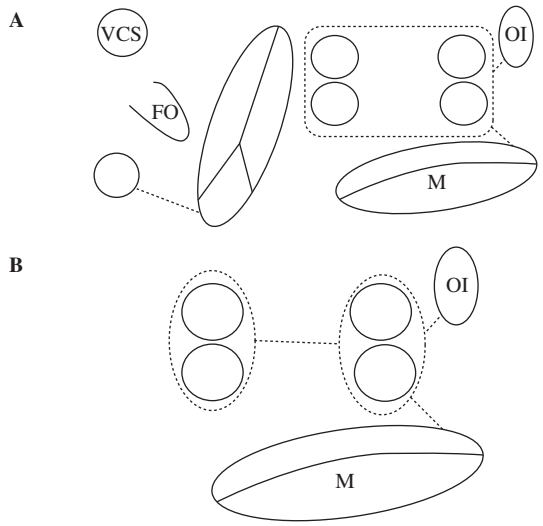
El Maze es un procedimiento muy eficaz (cura más del 90% de las FA) pero técnicamente complejo y poco extendido entre la comunidad cardioquirúrgica. De su complejidad técnica se deriva una curva de aprendizaje que puede ser larga, un tiempo de isquemia y de circulación extracorpórea (CEC) significativamente más prolongados y una morbimortalidad asociada mayor en manos poco expertas. El resurgimiento de la cirugía de la FA en los últimos años se debe fundamentalmente al desarrollo de dispositivos que utilizando distintas fuentes de energía permiten reproducir las lesiones del *maze* sin necesidad de realizar incisiones y suturas largas, a veces en zonas de acceso muy difícil.

El patrón de lesiones

Aunque se han publicado múltiples patrones de lesiones, los que más se aproximan al *maze* son los que mejores resultados obtienen, independientemente del tipo de FA. Los más aceptados en la actualidad son el mini-Maze (Fig. 3), y el Maze derecho (Fig. 4). Como norma general, a patrón de lesiones más extenso, mejor resultado[19]. Aislando sólo las venas pulmonares podemos curar en torno al 80% de las FA paroxísticas y menos del 50% de las permanentes y persistentes. Podemos aceptar el aislamiento exclusivo de las venas pulmonares en aquellos casos con FA paroxística de corta duración, con aurícula izquierda no dilatada y que no es necesario o no queremos abrir la aurícula izquierda durante la cirugía. En el resto de pacientes el patrón de lesiones debe incluir al menos el aislamiento de las venas pulmonares (incluyendo la cara posterior de la aurícula izquierda), la conexión de éstas con el anillo mitral y la ligadura/aislamiento de la orejuela izquierda[20].

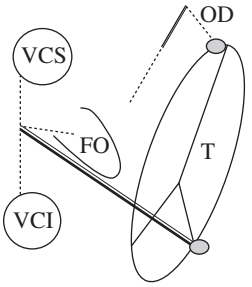
El limitar el Maze a la aurícula izquierda produce un aumento de la incidencia de *flutter* auricular derecho hasta 10%, pero de manejo percutáneo sencillo, y parece que disminuye el éxito a largo plazo.

Si eliminamos la lesión de istmo izquierdo (porción de miocardio auricular comprendido entre las venas pulmonares y el anillo mitral, incluyendo el seno coronario) o bien realizamos ésta u otras lesiones de manera incompleta



VCS: vena cava superior; FO: fosa oval; M: anillo mitral; CQ: cicatriz quirúrgica representada en la línea de puntos.

Figura 3. *Esquema del patrón de lesiones del mini-Maze. Dos esquemas de mini-Maze con diferentes formas de aislar las venas pulmonares.* ***A:*** *exclusión conjunta de todas las venas pulmonares (box-lesion).* ***B:*** *aislamiento circunferencial (selectivo) de las venas pulmonares con una lesión que conecta ambos lados. Abreviaturas similares a las empleadas en anteriores figuras.*



VCS: vena cava superior; VCI: vena cava inferior; FO: fosa oval; T: anillo tricúspide; M: anillo mitral; CQ: cicatriz quirúrgica representada en la línea de puntos.

Figura 4. *Esquema del patrón de lesiones del Maze derecho. Abreviaturas similares a las empleadas en anteriores figuras.*

aumenta la incidencia de *flutter* auricular izquierdo. Se trata de una arritmia mal tolerada y de manejo percutáneo complejo, ya que precisaría de abordaje transeptal con frecuencia en presencia de una prótesis mitral. En una serie de 50 pacientes, Golovchiner, et al. comunican que seis pacientes (12,5%) presentaron en el seguimiento *flutter,* siendo cinco de ellos *flutter* atípico[21]. En cinco pacientes se realizó estudio electrofisiológico (sólo registro auricular derecho), correspondiendo el patrón de activación en cuatro de ellos a *flutter* izquierdo.

Otro debate es la comparación del Maze III (biauricular) con el mini-Maze (ablación izquierda e istmo cavotricuspídeo). En un metaanálisis sobre 5.885 pacientes, Barnett y Ad comprueban que los pacientes con *maze* biauricular tienen mayor libertad de FA que los pacientes con sólo lesiones en la aurícula izquierda (a 3 meses y 3 años 92 y 87% *vs* 86 y 73%)[13]. Khargui, et al.[14] revisan 48 estudios retrospectivos sobre 3.832 pacientes y no encuentran diferencias en la incidencia de ritmo sinusal (77,5% en el grupo de ablación izquierda frente a 83,2% en el grupo de ablación biauricular). Recientemente, se ha publicado un estudio prospectivo aleatorizado con 299 pacientes comparando la ablación auricular izquierda frente a la biauricular[22]. Con un seguimiento medio de 28 meses, no hubo diferencia en la incidencia de RS entre ambos grupos (85,2% en el grupo de ablación izquierda frente a 84,1% en el grupo biauricular).

Algunos grupos discuten la necesidad de ligar/escindir la orejuela izquierda por su función endocrina, función reservorio para amortiguar los incrementos de presión intraauriculares en los latidos ventriculares prematuros, y sobre todo por su contribución al latido auricular[23]. Estudios fundamentalmente realizados en animales indican que su eliminación puede interferir con el mecanismo de la sed en situaciones de hipovolemia, disminuir la respuesta a las sobrecargas de volumen y de presión, disminuir el gasto cardíaco y aumentar la incidencia de insuficiencia cardíaca en el seguimiento. Los pacientes sometidos a Maze tienen disminuidos los niveles de péptido natriurético atrial tanto en el postoperatorio inmediato como en el seguimiento. En cualquier caso, no debemos olvidar que la principal fuente de émbolos en los pacientes en FA es la orejuela izquierda (91% en la FA no reumática y 57% en la reumática[24]), de manera que aunque se fracase en el mantenimiento del ritmo sinusal sí se consigue disminuir el riesgo de fenómenos tromboembólicos en el seguimiento, por lo que la mayoría de los grupos son partidarios de su ligadura/escisión. El único estudio prospectivo para valorar el efecto de la oclusión de la orejuela izquierda en pacientes quirúrgicos se ha realizado en 77 pacientes sometidos a cirugía coronaria, y no ha demostrado ningún beneficio a medio plazo, con una incidencia del 2,6% de tromboembolismo con 13 meses de seguimiento medio en ambos grupos[25]. Es importante señalar que la exclusión de la orejuela debe realizarse bien, pues la oclusión parcial aumenta su trombogenicidad y, por lo tanto, el riesgo embólico. El grupo de Gillinov[26] estudió con ecocardiografía transesofágica 137 orejuelas excluidas durante la cirugía, observando que sólo en el 40% de los casos el procedimiento había sido efectivo (no flujo remanente y fondo de saco residual menor de 1 cm). Casi el 80% de las orejuelas cerradas mediante sutura y el 100% de las ocluidas con dispositivos de sutura automática no estaban excluidas completamente. La técnica más eficaz fue la escisión quirúrgica, aunque en un 27% de los casos quedaba un remanente de orejuela mayor de 1 cm de

profundidad. En este estudio del grupo de Gillinov, a los 8 meses de seguimiento, presentaron accidente cerebrovascular el 11% de los pacientes con cierre efectivo de la orejuela y el 15% de los que tenían cierre incompleto, sin diferencias entre ambos grupos[26]. Sin embargo, recientemente, el estudio PROTECT-AF ha mostrado de forma prospectiva en pacientes no quirúrgicos que la oclusión de la orejuela izquierda tiene similar efectividad en la prevención de ACV que la anticoagulación[27], con independencia del tipo de FA e inclusive para pacientes con más de un criterio CHADS2.

Otro aspecto que está cobrando importancia en los últimos años es el papel del sistema nervioso autónomo en la inducción/mantenimiento de la FA. El corazón recibe inervación tanto del sistema nervioso vegetativo simpático como del parasimpático[28,29,30]. Los nervios autonómicos alcanzan el corazón por la cara ventral y dorsal de los troncos supraaórticos y el cayado, aunque en el lado derecho predominan ventralmente. En la superficie del corazón existen múltiples ganglios nerviosos interconectados entre sí a través de una complicada red de nervios, localizándose principalmente en cara superior y posterior de la aurícula derecha, caras superior, posteromedial y posterolateral de la aurícula izquierda, raíz aórtica, origen de arterias coronarias y sus principales ramificaciones. El ligamento de Marshall es una estructura rica en fibras nerviosas que se localiza junto a la vena pulmonar superior izquierda, por encima de la orejuela[31]. Consta de tejido fibroso, pequeños vasos, fibras nerviosas autonómicas y fibras musculares que conectan con el seno coronario y la pared de la aurícula izquierda. La activación, tanto del sistema simpático como del parasimpático, produce una serie de cambios en la electrofisiología auricular que facilitan la inducción de FA. Durante la disección de las venas pulmonares se suele seccionar el ligamento de Marshall, y se diseca la grasa epicárdica, por lo que parte de la eficacia de la técnica podría venir derivada de la destrucción de tejido nervioso autónomo a dicho nivel. Existen grupos que están asociando a la ablación auricular la destrucción selectiva de los ganglios nerviosos próximos a las venas pulmonares, intentando aumentar la eficacia del procedimiento[32-34].

Fuentes de energía alternativas a la incisión quirúrgica

Están empleándose distintas fuentes de energía con las que reproducir las lesiones del *maze* con el objeto de conseguir el bloqueo eléctrico de una manera más rápida y más segura que con las incisiones[35-44]. Las más utilizadas han sido la radiofrecuencia (RF), las microondas y el frío, existiendo menos experiencia con el láser y los ultrasonidos. Khargui, et al.[14] , en la revisión retrospectiva encontraron similar efectividad de las actuales fuentes de energía comparada con la incisión quirúrgica.

Las fuentes de energía que actúan por calor buscan como objetivo alcanzar al menos 50 °C, que es la temperatura a partir de la cual se produce el daño celular y el bloqueo eléctrico irreversible. No deberán alcanzarse los 100 °C por el riesgo de producir perforación del tejido. Para producir el bloqueo eléctrico irreversible con el frío la temperatura deberá descender al menos hasta –50 °C durante 2 min. Cualquiera que sea la fuente de energía utilizada, los aspectos más importantes son: la transmuralidad y continuidad de la lesión (bloqueo efectivo del impulso eléctrico), la posibilidad de aplicación epicárdica (sin CEC), efecto rápido y directo (sin necesidad de disecar la grasa epicárdica), sin riesgo de lesiones colaterales y que sea aplicable en cualquier región anatómica del corazón. Recientemente, se ha puesto en duda la necesidad de la transmuralidad como condición indispensable para el éxito de la técnica[45]. Existen discrepancias entre los resultados electrofisiológicos e histológicos tanto en fase aguda como crónica, de manera que la eficacia de la técnica podría estar más mediada por la modificación del sustrato eléctrico y anatómico, la denervación, la sección del ligamento de Marshall, etc., que por la transmuralidad de las lesiones.

La vía de aplicación endocárdica es más sencilla, y probablemente la eficacia sea similar con las distintas fuentes, como apuntan Khargui, et al.[14]. El corazón está parado y vacío, y la energía se aplica directamente. La vía epicárdica tiene dos limitaciones: la grasa epicárdica y la sangre. La grasa epicárdica actúa como aislante y separa la fuente de energía del epicardio, en especial la radiofrecuencia. Además, la aplicación de la energía con el corazón latiendo hace que la sangre que circula por el interior del corazón amortigüe su efecto, en especial la crioablación. Además, existen algunas lesiones que son complicadas de hacer desde el epicardio, como por ejemplo la conexión de las venas pulmonares con el anillo mitral, o la ablación del istmo cavotricuspídeo.

Un aspecto importante a considerar es el riesgo de lesiones colaterales con las distintas fuentes de energía. La principal lesión colateral en el corazón es la lesión de una arteria coronaria. Salvo los ultrasonidos, el resto de energías pueden producirla, aunque el conocimiento preoperatorio de la anatomía coronaria nos permite modificar el patrón de lesiones de manera que ninguna lesión pase sobre una arteria importante[46]. Otro aspecto importante es el daño a estructuras vecinas, siendo la más importante el esófago, que pasa a escasos milímetros de la pared posterior de la aurícula izquierda. Son pocos los casos publicados de perforación esofágica, pero su mortalidad es de al menos el 25%[47]. La clínica

suele tardar varios días en aparecer tras un postoperatorio inicialmente normal. Suele consistir en un cuadro séptico, con odinofagia y dolor torácico y a veces ACV por embolia aérea. Aunque los casos publicados correspondían a ablaciones con radiofrecuencia monopolar, el resto de energías no están exentas del riesgo. Aupperle, et al., en un estudio experimental realizado en ovejas, compararon la afectación esofágica con RF monopolar, RF bipolar, crioablación, microondas y láser[48]. Con todas las fuentes de energía hubo mayor o menor grado de afectación esofágica, aunque las lesiones de mayor gravedad (destrucción de la capa muscular con necrosis de miocitos) aparecieron sobre todo en la RF monopolar endocárdica.

Radiofrecuencia

La RF es una corriente alterna de unos 500 kHz establecida entre dos electrodos metálicos que produce necrosis por coagulación al calentar el tejido por encima de 50 °C como consecuencia de la agitación iónica inducida[40]. Los dos electrodos entre los que se establece la corriente son indiferentes, creándose la lesión térmica en los puntos donde se localiza la mayor densidad de corriente. Esto sucede en el tejido contiguo a los electrodos de pequeña área (< 1 cm^2), también llamados activos. En la RF unipolar uno de los electrodos es el activo, de pequeño tamaño, que se sitúa sobre la zona que se quiere lesionar, y el otro electrodo, de grandes dimensiones, es el dispersivo o pasivo, y se sitúa generalmente en la espalda del paciente. El daño directo no alcanza una profundidad mayor de 1-2 mm (zona de mayor densidad de corriente), siendo el resto del daño consecuencia de la transmisión del calor al tejido adyacente. El grosor y composición de la pared auricular es muy variable, por lo que también lo serán sus propiedades eléctricas y, por lo tanto, la lesión inducida puede variar de un individuo a otro. La transmuralidad no está garantizada, sobre todo en la aplicación epicárdica, al actuar la sangre circulante como refrigerante, y existe el riesgo de inducir lesiones colaterales[35,37-39]. Los dispositivos irrigados disminuyen la impedancia y evitan el sobrecalentamiento del tejido contiguo al electrodo, consiguiendo mayor profundidad de la lesión con menos riesgo de lesiones a estructuras adyacentes. Los sistemas de RF bipolar funcionan a través de un sistema de pinza atraumática, donde los dos electrodos son del mismo tamaño y, por lo tanto, activos, liberando la energía entre las dos ramas del mismo, siendo el riesgo de lesiones asociadas mucho menor y estando la transmuralidad más garantizada[40,41]. Son más rápidos y permiten el abordaje epicárdico y sin CEC. Algunos dispositivos son capaces de monitorizar la transmuralidad de la lesión a través de la medición de la impedancia durante la ablación. Su principal problema es que no permiten hacer todas las lesiones, como por ejemplo la de istmo izquierdo, de manera que obliga a combinarlo con otro tipo de energía o a no hacerlas.

Crioablación

La crioablación induce la muerte celular a través del enfriamiento rápido del tejido mediante un catéter que libera freón, CO_2, nitrógeno o argón comprimido. El agente es almacenado a muy alta presión, y al liberarse por el aplicador y disminuir la presión pasa a fase gaseosa, proceso fuertemente endotérmico que extrae calor del tejido contiguo[44]. La muerte celular sucede a –50-60 °C, con la ventaja de que se preserva mejor la arquitectura tisular que con los sistemas de calor. Es más lento que los sistemas de RF y es muy difícil producir lesiones transmurales con la aplicación epicárdica[42]. Como la lesión no es irreversible hasta –50 °C, permite comprobar el efecto electrofisiológico antes de crear una lesión definitiva. El desarrollo de sistemas tipo *clamp* posiblemente mejore su eficacia.

Microondas

Las microondas son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia (2,45 GHz) que actúan a través del calentamiento consecuencia de la oscilación inducida en las moléculas de agua de los tejidos[44]. Crea lesiones más profundas que la RF, sin sobrecalentamiento, y es menos sensible a la posición del aplicador en comparación con la RF. Las lesiones son transmurales, sobre todo en la aplicación endocárdica, y la interferencia con la grasa en la aplicación epicárdica, aunque existe, es menor que con la RF[43].

Láser

El láser produce las lesiones por el calentamiento consecuencia de la inducción de oscilación armónica en las moléculas de agua. La longitud de onda utilizada se sitúa en el espectro del infrarrojo, que penetra de manera eficaz en el tejido cardíaco y produce ablación directa de hasta 4 mm de profundidad[44]. En los estudios iniciales parece que la interferencia con la grasa epicárdica es escasa. Aunque se trata de la energía más direccional, el daño esofágico es posible.

Ultrasonidos

Los ultrasonidos actúan a través del calentamiento consecuencia de la energía mecánica. Se aplican de manera que la energía se concentra en un pequeño espacio, produciendo lesiones transmurales desde el epicardio, sin interferir con la grasa, y en pocos segundos[35,36,44].

Abordaje de mínima invasión

Algunos sistemas permiten tratar la FA aislada a través de toracoscopia/minitoracotomía, sin CEC, aunque el tamaño, forma y flexibilidad de los dispositivos disponibles todavía limitan bastante su aplicación. En aquellos pacientes con FA asociada a cardiopatía estructural (fundamentalmente mitral) se está realizando también la ablación por métodos miniinvasores, combinando técnicas tipo *port-access* y robótica. Todavía no es fácil realizar un patrón de lesiones extenso con estas tecnologías, siendo sólo posible en la mayoría de los casos aislar las venas pulmonares y ligar la orejuela izquierda. La experiencia con estas técnicas todavía es escasa, pero no hay duda de que es un campo que crecerá de manera importante en los próximos años[49-53].

Resultados de las técnicas alternativas

Existe una gran cantidad de publicaciones en los últimos años sobre distintas alternativas al Maze clásico, aunque no demasiadas superan el centenar de pacientes y el año de seguimiento[51-62], siendo excepcionales los estudios prospectivos y aleatorios. Además, existe una gran heterogeneidad no sólo en cuanto a la fuente de energía y parámetros utilizados, sino también en cuanto al patrón de lesiones realizado. Otra causa que hace difícil la comparación es que no han existido hasta hace poco criterios bien definidos y universalmente aceptados en cuanto a, por ejemplo, qué se considera fracaso de la técnica o simplemente cómo se define el ritmo del paciente. En la mayoría de los casos se hace con un electrocardiograma (ECG) aislado o incluso mediante contacto telefónico, cuando lo apropiado debería ser el Holter de 24 h o incluso de 7 días, señalando la carga de FA. A pesar de esa enorme heterogeneidad, el porcentaje de pacientes en ritmo sinusal al año de seguimiento se sitúa en torno al 70-80%, siendo los principales factores de riesgo para el fracaso de la técnica el tamaño de la aurícula izquierda (> 60 mm), la duración de la FA y la etiología reumática[51].

También empieza a estar claro que el analizar los datos durante los primeros 3-6 meses es poco significativo, pues es precisamente a partir de ese momento cuando el ritmo se estabiliza y la aurícula cicatriza. Los datos sobre el ritmo deberían acompañarse del análisis de la función biauricular, del porcentaje de pacientes que precisan fármacos antiarrítmicos y de algún método de análisis de la calidad de vida y capacidad funcional. En el capitulo previo en generalidades de la FA está recogido el actual consenso de expertos en ablación, quedando definidos todos aquellos aspectos necesarios para una correcta praxis[63].

Khargi, et al. revisan los trabajos más importantes sobre tratamiento quirúrgico de la FA publicados desde 1995[14]. Reúnen 48 estudios que incluyen 3.832 pacientes, 2.279 pertenecen al grupo de fuentes de energía alternativas (RF, microondas y crioablación) y 1.553 al grupo del Maze clásico. Ningún estudio era aleatorizado y no había grupos control. En el seguimiento el 85% de los pacientes con Maze clásico y el 78% de los pacientes tratados con técnicas alternativas estaban en ritmo sinusal. Los pacientes en los que se realizó Maze clásico eran pacientes más jóvenes, y con mayor frecuencia presentaban FA paroxística (23 *vs* 8%) o aislada (19 *vs* 1,6%). Una vez corregidas estas variables no había diferencias significativas entre ambas técnicas, Maze clásico frente a ablación quirúrgica. Tampoco había diferencias en cuanto a mortalidad hospitalaria (4,2 *vs* 2,1%) ni morbilidad. El grupo del *Barnes-Jewish Hospital,* donde Cox realizó la primera intervención del Maze, ha estudiado su experiencia desde 1992 comparando la técnica clásica con la ablación biauricular con RF bipolar[64]. Sobre 242 pacientes, utilizando análisis mediante *score* de propensión, obtienen 58 pacientes de cada técnica ajustados para siete variables: edad, sexo, función ventricular, *New York Heart Association* (NYHA), tipo de FA y tipo de cirugía (FA aislada, coronaria, valvular). No hubo diferencias en la morbimortalidad ni en la incidencia de ritmo sinusal al año de seguimiento.

Impacto clínico de la ablación quirúrgica de la fibrilación auricular

Distintos estudios han demostrado el peor pronóstico a largo plazo de los pacientes sometidos a cirugía cardíaca en FA frente a los pacientes en RS. Los pacientes en FA tienen menor supervivencia y mayor incidencia de ACV y de eventos cardíacos tardíos[65-68]. Aunque un paciente en FA se mantenga correctamente anticoagulado, la incidencia de ACV es del 2-5%/año.

Teóricamente, el restablecimiento del ritmo sinusal tras la cirugía permitiría la recuperación del latido auricular, produciendo así la mejora del gasto cardíaco y la eliminación de la estasis sanguínea, teniendo como consecuencias a largo plazo mejor calidad de vida, mayor supervivencia y menor incidencia de ACV y de eventos cardíacos. Al revisar la evidencia científica disponible, encontramos que la mayoría de la información se deriva fundamentalmente de estudios observacionales y de una sola institución[69-84]. Está claro que los pacientes a los que se realiza cirugía de la FA tienen mayor incidencia de ritmo sinusal en el seguimiento y menor incidencia de ACV, pero no existe información concluyente relativa al impacto de esta cirugía en la supervivencia. Bando, et al. analizan 812 pacientes consecutivos sometidos a cirugía mitral con prótesis mecánica demostrando que el principal factor de riesgo para ACV en el seguimiento medio a 5 años

no es la prótesis sino la FA, es decir, la no realización del Maze, con un 9% de ACV en el grupo en ritmo sinusal frente al 26% en el grupo en FA[85]. Este mismo grupo, sobre una serie de más de 1.000 pacientes procedentes de tres hospitales distintos con cirugía reparadora mitral, comprueban que los pacientes que en el seguimiento continuaban en FA presentaron mayor incidencia de ACV, mayor mortalidad cardiovascular y menor supervivencia[69]. Los pacientes con FA preoperatoria a los que se asoció el Maze presentaron menor incidencia de ACV, mayor disminución del tamaño de la aurícula izquierda, menor diámetro telesistólico de ventrículo izquierdo (VI) y menor mortalidad cardiovascular a los 8 años, aunque esta última no alcanzó significación estadística. Cuando se analizan los pacientes en función del éxito de la ablación se observa que aquellos en los que el Maze fue efectivo (ritmo sinusal a los 3 meses de la cirugía) la supervivencia es mayor y la incidencia de ACV y mortalidad cardíaca son menores en el seguimiento a largo plazo[86].

Reston, et al.[87] realizan un metaanálisis que incluye cuatro estudios aleatorizados (152 pacientes) y seis retrospectivos controlados (905 pacientes), comparando cirugía mitral con cirugía mitral asociada a ablación de FA (Maze clásico o variantes). Por el sesgo potencial de los estudios retrospectivos, tanto la mortalidad como la incidencia de ACV y de FA se analizaron utilizando sólo los estudios aleatorizados. No hubo diferencias en la mortalidad en el seguimiento, presentando el grupo de ablación mayor incidencia de ritmo sinusal (80,7 *vs* 17,3%), menor incidencia de ACV (0 *vs* 5,8%) y mayor necesidad de marcapasos (3,9 *vs* 1,5%). No está bien definido si la mayor necesidad de marcapasos es consecuencia de una mayor incidencia de enfermedad del tejido de conducción o es causada por la propia técnica de ablación.

En el metaanálisis de Barnett y Ad, basado en 69 estudios con diferentes energías, 25% de ellos prospectivos, con 5.885 pacientes (3.841 ablación y 2.044 control), comprueban, curiosamente, que la supervivencia a los 3 años es significativamente mayor en el grupo control, 92,5% ablación y 95,1% control[13]. Y el metaanálisis de Wong y Mak, basado en siete estudios controlados-macheados y cuatro aleatorizados, con 1.499 pacientes (829 Maze *vs* 670 control), no encuentran diferencias respecto a la incidencia de ACV, marcapasos y supervivencia[88].

BIBLIOGRAFÍA

1. Williams JM, Ungerleider RM, Lofland GK, Cox JL. Left atrial isolation: new technique for the treatment of supraventricular arrhythmias. J Thorac Cardiovasc Surg. 1980; 80:373.
2. Gallagher JJ, Svenson RH, Kasell JH. Catheter technique for closed chest ablation of the atrioventricular conduction system. N Engl J Med. 1982;306:194.
3. Guiraudon GM, Campbell CS, Jones DL. Combined sinoatrial node atrio-ventricular node isolation: a surgical alternative to His bundle ablation in patients with atrial fibrillation. Circulation. 1985;72 Suppl 3:22.
4. Smith PK, Holman WL, Cox JL. Surgical treatment of supraventricular tachyarrhythmias. Surg Clin North Am. 1985; 65:553.
5. Cox JL, Canavan TE, Schuessler RB. The surgical treatment of atrial fibrillation. II: Intraoperative electrophysiologic mapping and description of the electrophysiologic basis of atrial flutter and atrial fibrillation. J Thorac Cardiovasc Surg. 1991; 101:406.
6. Cox JL, Jaquiss RD, Schuessler RB, Boineau JP. Modification of the Maze procedure for atrial flutter and atrial fibrillation. II: Surgical technique of the Maze III procedure. J Thorac Cardiovasc Surg. 1995;110:485.
7. Cox JL. Surgical treatment of supraventricular tachyarrhythmias. In: Cohn LH, Edmunds H Jr, eds. Cardiac surgery in the adult. NY: McGraw-Hill; 2003.
8. Hornero F, Rodríguez I, Buendía J. Atrial remodeling alter mitral valve surgery in patients with permanent atrial fibrillation. J Card Surg. 2004;19:376-82.
9. Apostolakis E, Shuhaiber JH. The surgical management of giant left atrium. Eur J Cardiothorac Surg. 2008;33:182-90.
10. Prasad SM, Maniar HS, Camillo CJ. The Cox-Maze procedure for atrial fibrillation: long-term efficacy in patients undergoing lone versus concomitant procedures. J Thorac Cardiovasc Surg. 2003;126:1822-8.
11. Gaynor SL, Schessler RB, Bailey LS. Surgical treatment of atrial fibrillation: predictors of late recurrence. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;129:104-11.
12. McCarthy PM, Gillinov MA, Castle L, Chung M, Cosgrove D. The Cox-Maze procedure: the Cleveland Clinic experience. Sem Thorac Cardiovasc Surg. 2000;12:25-9.
13. Barnett SD, Ad N. Surgical ablation as treatment for the elimination of atrial fibrillation: a meta-analysis. J Thorac Cardiovasc Surg. 2006;131:1029-35.
14. Khargi K, Hutten BA, Lemke B, Deneke T. Surgical treatment of atrial fibrillation: a systematic review. Eur J Cardiothorac Surg. 2005;27:258-65.
15. Feinberg MS, Waggoner AD, Kater KM, et al. Restoration of atrial function after the Maze procedure for patients with atrial fibrillation. Assessment by Doppler echocardiography. Circulation. 1994;90:II285-92.
16. Yashima N, Nasu M, Kawazoe K, Hiramori K. Serial evaluation of atrial function by Doppler echocardiography after the Maze procedure for chronic atrial fibrillation. Eur Heart J. 1997;18:496-502.
17. Lönnerholm S, Blomström P, Nilsson L, Blomström-Lundqvits C. Atrial size and transport function after the Maze III procedure for paroxysmal atrial fibrillation. Ann Thorac Surg. 2002;73:107-11.
18. Nitta T, Lee R, Watanabe H, et al. Radial approach: a new concept in surgical treatment for atrial fibrillation. II. Electrophysiologic effects and atrial contribution to ventricular filling. Ann Thorac Surg. 1999;67:36-50.
19. Gillinov AM. Choice of surgical lesion set: answers from the data. Ann Thorac Surg. 2007;84:1786-92.
20. Cox JL. Atrial fibrillation: rationale for surgical treatment. J Thorac Cardiovasc Surg. 2003;126:1693-9.
21. Golovchiner G, Mazur A, Kogan A, Strasberg B, Shaphira Y, Fridman M. Atrial flutter after surgical radiofrequency ablation of the left atrium for atrial fibrillation. Ann Thorac Surg. 2005;79:108-12.
22. Wang J, Meng X, Cui Y, Han J, Xu C. Prospective randomized comparison of left atrial and biatrial radiofrequency ablation in the treatment of atrial fibrillation. Eur J Cardiothorac Surg. 2009;35:116-22.

23. Stöllberger C, Schneider B, Finsterer J. Elimination of the left atrial appendage to prevent stroke or embolism. Chest. 2003;124:2356-62.
24. Blackshear JL, Odell JA. Appendage obliteration to reduce stroke in cardiac surgical patients with atrial fibrillation. Ann Thorac Surg. 1996;61:755-9.
25. Healey JS, Cristal E, Lamy A, et al. Left Atrial Appendage Occlusion Study (LAAOS): results of a randomized controlled pilot study of left atrial appendage occlusion during coronary bypass surgery in patients at risk for stroke. Am Heart J. 2005;150:288-93.
26. Kanderian AS, Gillinov AM, Pettersson GB, Blackstone E, Klein AL. Successful of surgical left atrial appendage closure. J Am Coll Cardiol. 2008;52:924-9.
27. Holmes DR, Reddy VY, Turi Z, et al., for the PROTECT-AF investigators. Percutaneous closure of the left atrial appendage versus warfarin therapy for prevention of stroke in patients with atrial fibrillation: a randomised non-inferiority trial. Lancet. 2009;374:534-42.
28. Sánchez-Quintana D, Yen Ho S. Anatomía de los nodos cardíacos y del sistema de conducción específico auriculoventricular. Rev Esp Cardiol. 2003;56:1085-92.
29. Armour JA, Murphy DA, Yuan BX, McDonald S, Hopkins DA. Gross and microscopic anatomy of the human intrinsic cardiac nervous system. The Anatomical Record. 1997;247:289-98.
30. Chen PS, Tan AY. Autonomic nerve activity and atrial fibrillation. Heart Rhythm. 2007;4 Suppl 3:61-4.
31. Kim DT, Lai AC, Hwang CH. The ligament of Marshall: a structural analysis in human hearts with implications for atrial arrhytmias. J Am Coll Cardiol. 2000;36:1324-7.
32. Mehall JR, Kohut RM, Schneeberger EW, Taketani T, Merrill WH, Wolf RK. Intraoperative epicardial electrophysiologic mapping and isolation of autonomic ganglionic plexi. Ann Thorac Surg. 2007;83:538-41.
33. McClelland JH, Duke D, Reddy R. Preliminary results of a limited thoracotomy: new approach to treat atrial fibrillation. J Cardiovasc Electrophysiol. 2007;18:1289-95.
34. Edgerton JR, Jackman WM, Mack MJ. Minimally invasive pulmonary vein isolation and partial autonomic denervation for surgical treatment of atrial fibrillation. J Interv Card Electrophysiol. 2007;20:89-93.
35. Williams MR, Garrido M, Oz MC, Argenziano M. Alternative energy sources for surgical atrial ablation. J Card Surg. 2004;19:201-6.
36. Gillinov AM, Blackstone EH, McCarthy PM. Atrial fibrillation: current surgical options and their assessment. Ann Thorac Surg. 2002;74:2210-7.
37. Santiago T, Melo J, Gouveia RH, Neves J, Martins AP. Intraatrial temperatures in radiofrequency endocardial ablation: histologic evaluation of lesions. Ann Thorac Surg. 2003; 75:1495-501.
38. Thomas S, Guy D, Boyd AC, Eipper VE, Ross DL, Chard RB. Comparison of epicardial and endocardial linear ablation using hand held probes. Ann Thorac Surg. 2003;75: 543-8.
39. Shimoike E, Kaji Y, Ueda N, Maruyama T, Kanaya S, Niho Y. *In vivo* and *in vitro* study of radiofrequency application with a new long linear probe: implication for the maze operation. J Thorac Cardiovasc Surg. 2000;120:164-72.
40. Prasad SM, Maniar HS, Schuessler RB, Damiano RJ. Chronic transmural atrial ablation by using bipolar radiofrequency energy on the beating heart. J Thorac Cardiovasc Surg. 2002;124:708-13.
41. Bonanomi G, Schwarzmann D, Francischelli D, Hebsgaard K, Zenati MA. A new device for beating heart bipolar radiofrequency atrial ablation. J Thorac Cardiovasc Surg. 2003; 126:1859-66.
42. Lustgarten DL, Kean D, Ruskin J. Cryothermal ablation: mechanism of tissue injury and current experience in the treatment of tachyarrhythmias. Progress in Cardiovascular Disease. 1999;41:481-98.
43. Manasse E, Colombo PG, Barbone A, et al. Clinical histopathology and ultrastructural analysis of myocardium following microwave energy ablation. Eur J Cardiothorac Surg. 2003;23:573-7.
44. Berjano EJ. Ablación quirúrgica. Fuentes de energía y tecnologías. Cir Cardiovasc. 2008;15:375-83.
45. Stabile G, Turco P, La Rocca V, Nocerino P, Stabile E, De Simone A. Is pulmonary vein isolation necessary for atrial fibrillation? Circulation. 2003;108:657-60.
46. Benussi S, Nascimbene S, Calvi S. A tailored approach to prevent complications during left atrial ablation. Ann Thorac Surg. 2003;75:1979-81.
47. Gillinov M, Peterson G, Rice TH. Esophageal injury during radiofrequency ablation for atrial fibrillation. J Thorac Cardiovasc Surg. 2001;122:1239-40.
48. Aupperle H, Doll N, Walther T, Kornherr P, Ullmann C, Schoon HA. Ablation of atrial fibrillation end esophageal injury: effects of energy source and ablation technique. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;130:1549-54.
49. Garrido MJ, Williams M, Argenziano M. Minimally invasive surgery for atrial fibrillation. J Card Surg. 2004;19:216-20.
50. Pruitt JC, Lazzara RR, Dworkin GH. Totally endoscopic ablation of lone atrial fibrillation: initial clinical experience. Ann Thorac Surg. 2006;81:1325-31.
51. Wolf RK, Schneeberger EW, Osterday R. Video-assisted bilateral pulmonary vein isolation and left atrial appendage exclusion for atrial fibrillation. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;130:797-802.
52. Wudel JH, Chaudhuri P, Hiller JJ. Video-assisted epicardial ablation and left atrial appendage exclusion for atrial fibrillation: extended follow-up. Ann Thorac Surg. 2008; 85:34-8.
53. Sirak J, Jones D, Sun B, Sai-Sudhakar C, Crestanello J, Firstenberg M. Toward a definitive, totally thoracoscopic procedure for atrial fibrillation. Ann Thorac Surg. 2008;86: 1960-4.
54. Beukema WP, Sie HT, Misier ARR, Delnoy PP, Wellens HJJ, Elvan A. Predictive factors of sustained sinus rhythm and recurrence of atrial fibrillation after a radiofrequency modified Maze procedure. Eur J Cardiothorac Surg. 2008;34:771-8.
55. Hornero F, Montero JA, Rodríguez I, Bueno M, Buendía J, Gil O. Ablación de la fibrilación auricular permanente en la cirugía cardíaca. Resultados a corto y medio plazo. Rev Esp Cardiol. 2004;57:939-45.
56. Gillinov AM, McCarthy P, Blackstone EH, Rajeswaran J, Petterson G, Sabik JF. Surgical ablation of atrial fibrillation with bipolar radiofrequency as the primary modality. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;129:1322-9.
57. Benussi S, Nascimbene S, Calori G, Denti P, Ziskind Z, Kassem S. Surgical ablation of atrial fibrillation with a novel bipolar radiofrequency device. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;130:491-7.
58. Knaut M, Tugtekin SM, Matschke K. Pulmonary vein isolation by microwave energy ablation in patients with permanent atrial fibrillation. J Card Surg. 2004;19:211-5.
59. Vicol C, Kellerer D, Petrakopoulou P, Kaczmarek I, Lamm P, Reichart B. Long-term results after ablation for longstanding atrial fibrillation concomitant to surgery for organic heart disease: is microwave energy reliable? J Thorac CArdiovasc Surg. 2008;136:1156-9.
60. Mack CA, Milla F, Ko W, Girardi LN, Lee LY, Tortolani AJ. Surgical treatment of atrial fibrillation using argon-based cryoablation during concomitant cardiac procedures. Circulation. 2005;112 Suppl I:1-6.
61. Ninet J, Roques X, Seitelberger R, et al. Surgical ablation of atrial fibrillation with off-pump, epicardial, high-intensity focused ultrasound: results of a multicenter trial. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;130:803-9.
62. Groh MA, Binns OA, Burton HG, Champsaur GL, Ely SW, Johnson AM. Epicardial ultrasonic ablation of atrial fibrillation during concomitant cardiac surgery is a valid option in

patients with ischemic heart disease? Circulation. 2008;118 Suppl I:78-82.
63. Calkins H, Brugada J, Packer DL, et al. HRS/EHRA/ECAS Expert Consensus Statement on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation: Recommendations for Personnel, Policy, Procedures and Follow-Up. A report of the Heart Rhythm Society HRS) Task Force on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation. Developed in partnership with the European Heart Rhythm Association (EHRA) and the European Cardiac Arrhythmia Society (ECAS); in collaboration with the American College of Cardiology (ACC), American Heart Association (AHA), and the Society of Thoracic Surgeons (STS). Heart Rhythm. 2007;4:816-61.
64. Lall SC, Melby SJ, Voeller RK, et al. The effect of ablation technology on surgical outcomes after the Cox-Maze procedure: a propensity analysis. J Thorac Cardiovasc Surg. 2007; 133:389-96.
65. Obadia JF, El Farra M, Bastien OH, et al. Outcome of atrial fibrillation alter mitral valve repair. J Thorac Cardiovasc Surg. 1997;114:179-85.
66. Ngaage DL, Schall HV, Mullany CJ, et al. Does preoperative atrial fibrillation influence early and late outcomes of coronary artery bypass grafting? J Thorac Cardiovasc Surg. 2007; 133:182-9.
67. Ngaage DL, Schall HV, Barnes SA, et al. Prognostic implications of preoperative atrial fibrillation in patients undergoing aortic valve replacement: is there an argument for concomitant arrhythmia surgery? Ann Thorac Surg. 2006;82: 1392-9.
68. Bando K, Kobayashi J, Kosakai Y, Hirata M, Sasako Y, Nakatani S. Impact of Cox Maze procedure on outcome in patients with atrial fibrillation and mitral valve disease. J Thorac Cardiovasc Surg. 2002;124:575-83.
69. Bando K, Kasegawa H, Okada Y. Impact of preoperative and postoperative atrial fibrillation on outcome after mitral valvuloplasty for non-ischemic mitral regurgitation. J Thorac Cardiovasc Surg. 2005;129:1032-40.
70. Khargui K, Deneke T, Haardt H, et al. Saline-irrigated, cooled-tip radiofrequency ablation is an effective technique to perform the Maze procedure. Ann Thorac Surg. 2001; 72(Suppl):1090-5.
71. Deneke T, Khargui K, Grewe PH, et al. Efficacy of an additional Maze procedure using cooled-tip radiofrequency ablation in patients with chronic atrial fibrillation and mitral valve disease. A randomized, prospective trial. Eur J Cardiothorac Surg. 2002;23:558-66.
72. Akpinar B, Guden M, Sagbas E, et al. Combined radiofrequency Maze and mitral valve procedure through a port access approach: early and mid-term results. Eur J Cardiothorac Surg. 2003;24:223-30.
73. Jessurun ER, Van Hemel NM, Defauw JJ, et al. A randomized study of combining Maze surgery for atrial fibrillation with mitral valve surgery. J Cardiovasc Surg (Torino). 2003;44:9-18.
74. Handa N, Schaff HV, Morris JJ, et al. Outcome of valve repair and the Cox Maze procedure for mitral regurgitation and associate atrial fibrillation. J Thorac Cardiovasc Surg. 1999;118:628-35.
75. Jatene MB, Marcial MB, Tarasoutchi F, et al. Influence of the Maze procedure on the treatment of rheumatic atrial fibrillation – Evaluation of rhythm control and clinical outcome in a comparative study. Eur J Cardiothorac Surg. 2000; 17:117-24.
76. Raanani E, Albage A, David TE, et al. The efficacy of the Cox/Maze procedure combined with mitral valve surgery: a matched control study. Eur J Cardiothorac Surg. 2001;19:438-42.
77. Chen MC, Chang JP, Guo GB, Chang HW. Atrial size reduction as a predictor of the success of radiofrequency Maze procedure for chronic atrial fibrillation in patients undergoing concomitant valvular surgery. J Cardiovasc Electrophysiol. 2001;12:867-74.
78. Guang Y, Zhen-jie C, Yong LW, et al. Evaluation of clinical treatment of atrial fibrillation associated with rheumatic mitral valve disease by radiofrequency ablation. Eur J Cardiothorac Surg. 2002;21:249-54.
79. Ngaage DL, Schaff HV, Mullany CJ, et al. Influence of preoperative atrial fibrillation on late results of mitral repair: is concomitant ablation justified? Ann Thorac Surg. 2007; 84:434-43.
80. Louagie Y, Buche M, Eucher P, et al. Improved patient survival with concomitant Cox Maze III procedure compared with heart surgery alone. Ann Thorac Surg. 2009; 87:440-7.
81. Abreu Filho CA, Lisboa LA, Dallan LA, al. Effectiveness of the Maze procedure using cooled-tip radiofrequency ablation in patients with permanent atrial fibrillation and rheumatic mitral valve disease. Circulation. 2005;112 Suppl 9:I20-5.
82. Akpinar B, Sanisoglu I, Guden M, Sagbas E, Caynak B, Bayramoglu Z. Combined off-pump coronary artery bypass grafting surgery and ablative therapy for atrial fibrillation: early and mid-term results. Ann Thorac Surg. 2006;81:1332-7.
83. Doukas G, Samani NJ, Alexiou C, et al. Left atrial radiofrequency ablation during mitral valve surgery for continuous atrial fibrillation: a randomized controlled trial. JAMA 2005; 294:2323-9.
84. Schuetz A, Schulze CJ, Sarvanakis KK, et al. Surgical treatment of permanent atrial fibrillation using microwave energy ablation: a prospective randomized clinical trial. Eur J Cardiothorac Surg. 2003;24:475-80.
85. Bando K, Kobayashi J, Hirata M. Early and late stroke alter mitral valve replacement with a mechanical prosthesis: risk factor analysis of a 24-year experience. J Thorac Cardiovasc Surg. 2003;126:358-64.
86. Itoh A, Bando K, Niwaya K, Tagusari O, Nakajima H, Komori S. The impact of mitral valve surgery combined with Maze procedure. Eur J Cardiothorac Surg. 2006;29:1030-5.
87. Reston JT, Shuihaiber JH. Meta-analysis of clinical outcomes of Maze-related surgical procedures for medically refractory atrial fibrillation. Eur J Cardiothorac Surg. 2005;28:724-30.
88. Wong J, Mak KT. Impact of Maze and concomitant mitral valve surgery on clinical outcomes. Ann Thorac Surg. 2006; 82:1938-47.
89. Shemin RJ, Cox JL, Gillinov AM, Blackstone EH, Bridges CR. Guidelines for reporting data and outcomes for the surgical treatment of atrial fibrillation. Ann Thorac Surg. 2007; 83:1225-30.
90. Melby SJ, Zierer A, Bailey MS, et al. A new era in the surgical treatment of atrial fibrillation. The impact of ablation technology and lesion set on procedural efficacy. Ann Surg. 2006;244:583-92.
91. Mokadam NA, McCarthy PM, Gillinov AM, et al. A prospective multicenter trial of bipolar radiofrequency ablation for atrial fibrillation: early results. Ann Thorac Surg. 2004; 78:1665-70.