

# Longevidad de los marcapasos

José I. Arana, Andrés Bodegas, Iñigo Sainz.

Unidad de Arritmias y Marcapasos, Servicio de Cardiología. Hospital de Cruces. Baracaldo-Bizkaia

## INTRODUCCIÓN

Los marcapasos implantables son una potente arma terapéutica con pocas complicaciones. Sin embargo, tienen una longevidad limitada por la duración de su batería, que inevitablemente obliga a una reintervención para su recambio. Hay aspectos en los que podemos intervenir buscando mayor longevidad.

## HISTORIA

En los momentos iniciales, la sustitución de un sistema de estimulación venía dada por disfunciones de los generadores o de los cables. Al ir mejorando su diseño y fiabilidad, la longevidad de los marcapasos pasó a estar limitada por la duración de las baterías, que eran de mercurio-zinc, con poca capacidad de energía, agotamientos prematuros y problemas por emisión de gas hidrógeno. En esa época la longevidad era muy apreciada y se llegaron a producir marcapasos con energía nuclear.

En los años setenta se produjeron dos importantes cambios tecnológicos, el uso de los chips y el cambio a las baterías de litio, lo que prácticamente duplicó la duración de los marcapasos que llegó a ser de 7-10 años. Las pilas de litio-yodo tenían mayor voltaje de salida, mayor capacidad, mayor previsibilidad, escasa autodescarga y ausencia de emisión de gases, lo que permitió hacer encapsulados estancos de titanio para los marcapasos y el uso de microchips.

A lo largo de la década de los ochenta se difundió la programabilidad, que junto con el uso de cables-electrodos con los que se obtenían umbrales más bajos permitió un amplio uso de la programación del voltaje de salida de 2,5 Voltios (V) en lugar de los 5V previos. La longevidad prácticamente se duplicó, llegando hasta los 15 años.

A partir de entonces, se redujo el tamaño de los generadores y de sus baterías, se aumentaron sus funciones, añadiendo nuevas capacidades y esto incrementó el consumo de batería, lo que conllevó una disminución de la longevidad a los 6-10 años actuales.

## Correspondencia:

José I Arana  
C. Villa Plencia 38 1º C Getxo-Bizkaia 48930  
jjarana@telefonica.es

## FUNDAMENTOS FÍSICOS

La energía que utiliza el generador procede de la batería que incorporan que suministra carga eléctrica a un voltaje de 2,8V en las pilas actuales. La capacidad de la pila es en realidad la cantidad de carga eléctrica que puede suministrar a un voltaje utilizable. La carga se suministra a lo largo del tiempo, y ese flujo de carga se llama intensidad.

$$\text{Carga} = \text{Intensidad} \times \text{tiempo}$$

La intensidad se mide en Amperios, y en el caso de las baterías de los marcapasos en microAmperios ( $\mu\text{A}$ ). La capacidad de las baterías se mide en Amperios-Hora [Ah], siendo en el caso de los marcapasos de alrededor de 1 Ah.

Los marcapasos actuales consumen carga de batería a un ritmo de 10-20 $\mu\text{A}$ . Si tenemos este dato de consumo y la capacidad disponible de su batería, podremos calcular la duración del marcapasos mediante la fórmula

$$\text{Duración} = \text{Capacidad} \times 1.000.000 / \text{Consumo}$$

Si en la fórmula ponemos la capacidad de la batería en Ah y el consumo en  $\mu\text{A}$ , la duración resulta en horas. Así, una batería de 1 Ah en un marcapasos que consume 10 $\mu\text{A}$ , durará 100.000 horas. Si lo dividimos por 24 y por 365 nos dará 11,4 años.

La corriente que consume un marcapasos pasa también por la batería, y la propia batería ofrece resistencia eléctrica que frena su paso. A esta resistencia se la denomina resistencia interna de la batería, y se mide en Ohmios ( $\Omega$ ). Al inicio de vida del marcapasos, esta resistencia es baja, sobre 100 $\Omega$ , incrementándose de forma ligera a lo largo del tiempo, y de forma acusada al acercarse el final de vida, acercándose a los 10.000  $\Omega$  (figura 1).

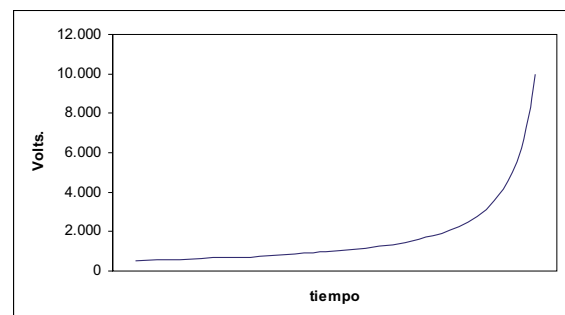


Figura 1. Aumento de la resistencia interna de la batería en función del tiempo

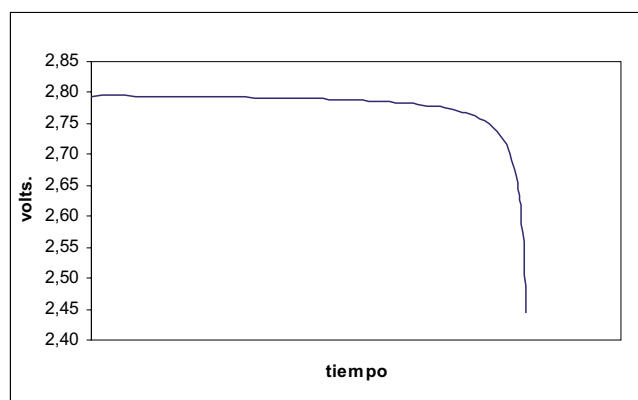


Figura 2. Caída del voltaje de la batería en función del tiempo

En el interior de batería, su resistencia interna genera, al paso de la corriente (intensidad), una caída del voltaje que se resta del voltaje inicial. Esta caída puede calcularse mediante la ley de Ohm:

$$V = I \times R$$

Siendo  $V$  el voltaje,  $I$  la intensidad y  $R$  la resistencia.

Al acercarse el final de vida, con una resistencia interna de  $5.000-10.000\Omega$ , el voltaje de salida desciende de forma significativa (figura 2) y finalmente llegará un momento, en el que el voltaje suministrado será insuficiente para el funcionamiento del marcapasos

Según la ley de Ohm, esta caída del voltaje será mayor cuanto mayor sea el consumo del generador. Por ello, los cambios de programación en esta fase tardía del marcapasos pueden afectar al voltaje de la batería, y si se aumenta el consumo puede llegar a activarse el indicador de recambio.

El consumo correspondiente a un marcapasos se puede dividir en dos partes, el debido al consumo interno del generador y el debido al pulso de salida. El primero está muy determinado por el modelo del marcapasos y ha aumentado en los marcapasos modernos como consecuencia del aumento de sus funciones y prácticamente no es modificable.

El segundo se incrementa al aumentar la energía del pulso liberado por el generador. Este consumo es directamente proporcional a la frecuencia de estimulación, a la anchura de pulso y, en los marcapasos actuales, al voltaje, al menos hasta los 5 voltios. A voltajes mayores, el consumo se incrementa exponencialmente.

La ley de Ohm también se pone de manifiesto en el cable-electrodo. La intensidad que circula por éste es inversamente proporcional a la resistencia del cable-electrodo, de forma que una resistencia alta reduce la intensidad, lo que produce un descenso

del consumo del marcapasos. Por ello, los cables-electrodos de alta resistencia deberían ser los preferentemente utilizados.

Para valorar estos efectos sobre la longevidad del marcapasos, hay que ponerlos en relación al consumo interno, que en los marcapasos actuales ronda los  $5$  a  $15\mu A$ . Recordemos que el consumo final es la suma del consumo por impulso más el consumo interno del generador. Un voltaje de salida de  $2V$  produce un consumo reducido si lo comparamos con los  $15\mu A$  de consumo interno de algunos generadores y poco podremos aumentar su longevidad reduciendo el voltaje de salida. El efecto será mayor sobre un generador con un consumo interno de  $5\mu A$ . Distinto será con las salidas altas, donde el alto consumo del pulso será significativo en todo caso<sup>1</sup>.

En la longevidad de un marcapasos también influyen otros factores. Los marcapasos con respuesta de frecuencia aumentan el consumo como consecuencia del aumento de la frecuencia de emisión de impulsos, pero dado que el tiempo en que la frecuencia permanece elevada es reducido, su efecto sobre el consumo no es significativo. Además, el propio sensor consume energía, aunque esta no es significativa en el caso de los sensores de actividad. Hay otros sensores, como los de volumen respiratorio que emiten pequeñas corrientes por lo incrementan ligeramente el consumo.

Los amplificadores también consumen energía., aunque dicho consumo es pequeño para las señales ventriculares e incluso auriculares, salvo en el caso de que se programen o utilicen sensibilidades altas, como suele ocurrir en el canal auricular de los generadores VDD, que produce un mayor consumo del amplificador lo que reduce la duración de estos marcapasos.

## ESTADO DEL MARCAPASOS.

Para clasificar el estado los marcapasos se han establecido los siguientes estados:

- BOL Beginning of life..
- ERI Elective replacement Indicator.
- ERP Elective replacement period.
- EOS End of service.
- EOL End of life.

El período de tiempo entre el inicio de vida (BOL), y el indicador de recambio electivo (ERI), es el período de funcionamiento normal del marcapasos. El ERI o su equivalente, el ERP (Período de recambio electivo), marca un período de tiempo en el que se

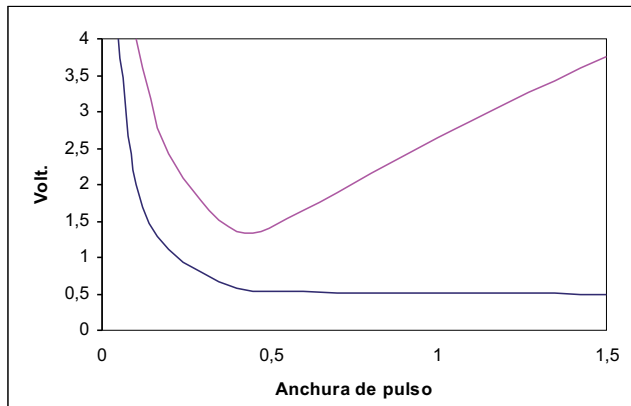


Figura 3. Relación entre la curva voltaje-duración (curva inferior), y la energía consumida por el impulso (curva superior) en un paciente típico. Se observa como la energía consumida por el pulso es menor con duraciones de impulso entre 0,3 y 0,5 ms

indica el recambio de marcapasos por agotamiento de batería, y suele ser de 3 a 6 meses. El período ERI concluye en el fin de vida del marcapasos (EOL) o fin de servicio (EOS), en el cual el funcionamiento del marcapasos no está asegurado y hay indicación de recambio urgente.

El indicador de estado es proporcionado a través del programador. Si no se dispone de programador hay que buscar cambios de la frecuencia de estimulación basal y con imán, mediante el ECG o por medio de dispositivos que detectan el impulso del marcapasos y miden su frecuencia (Miniclinic). En general, en el momento del ERI se producen descensos de la frecuencia de estimulación. En algunos modelos se producen cambios de modo. Para la interpretación de estos cambios hay que consultar las instrucciones del fabricante. Antes de la aparición de la telemetría, está era la manera de valorar la necesidad de recambio del generador.

En la actualidad, la telemetría aporta diversos datos para controlar la duración del marcapasos, como son el voltaje de batería, la resistencia de batería, el consumo del generador y la estimación del tiempo restante hasta el ERI. También nos da datos para aproximarnos al consumo debido al impulso, como su energía, voltaje y duración, y datos referentes a los cables como la intensidad en el electrodo y su resistencia.

## AUMENTO DE LA LONGEVIDAD

La longevidad de un modelo de generador viene determinada, en buena medida en su fabricación por la capacidad de la batería incorporada, que está directamente relacionada con su tamaño.

Dado que en la actualidad el 50-70% del tamaño del generador viene determinado por el tamaño de

la batería, existe una relación entre el tamaño del generador y su duración. Algunos fabricantes suministran, para un determinado modelo, variantes con diferente longevidad, obtenida con diferentes tamaños de batería, lo que a su vez produce un tamaño diferente del generador. Habitualmente, la longevidad a obtener compensa el ligero aumento del tamaño. Y por supuesto, la longevidad también es determinada por el consumo interno. Por todo ello, en la búsqueda de longevidad hay que valorar el modelo de generador seleccionado.

Como anteriormente hemos señalado, una vez implantado un marcapasos, en la práctica nuestra capacidad para aumentar su longevidad está en la programación de la energía de salida. Los generadores actuales vienen de fábrica programados en torno a 3,5V. Los cables actuales permiten programar voltajes de 2,5V o menores, por lo que, pasado el período de maduración del electrodo, reducir el voltaje de salida (en función del umbral) será la primera medida a tomar para aumentar la longevidad del generador.

En los sistemas actuales, es habitual programar salidas de 0,3 a 0,5 ms. ya que con estas duraciones de impulso es donde la relación voltaje-anchura de pulso suele ser de menos energía<sup>2</sup> (figura 3). Hay programadores que nos muestran una curva de duración de impulso-voltaje que nos ayuda a programar la salida (figura 4).

La influencia de los sistemas de autocaptura varía según el sistema y su programación teniendo en general poca influencia en la longevidad. Los sistemas que controlan la salida latido a latido pueden tener más influencia<sup>3</sup>, especialmente en casos con umbral alto en los que pueden permitir el uso de voltajes relativamente bajos, como 2,5V cuando por seguridad debería programarse 5V si no se dispusiera de la autocaptura.

Otros parámetros programables que influyen en el consumo, son aquellos que modifican el número de impulsos emitidos por el generador, como son la frecuencia programada, la histéresis o la actuación de los algoritmos reductores de la estimulación ventricular en los generadores bicamerales. Sin embargo, la programación de estos parámetros está condicionada más por factores clínicos que por el ahorro de energía.

## ¿POR QUÉ LA LONGEVIDAD?

Según datos del Banco Nacional de Marcapasos correspondientes al año 2007, los recambios suponen una actividad importante y creciente dentro del total de las intervenciones de marcapasos. Los recambios que en el año 1997 supusieron el 14,7%



Figura 4. Sistema del programador Medtronic que proporciona una recomendación de programación del impulso. El sistema proporciona una curva voltaje-duración tras la determinación del umbral en voltaje y duración. También muestra curvas para valores del impulso con margen de seguridad doble y triple.

del total del consumo de generadores, en el año 2008 se elevaron hasta alcanzar el 26 %, que en su mayoría (88,5 %) fueron debidos a agotamiento de la batería<sup>4</sup>.

En ocasiones se ha infraestimado la duración de la batería y consiguientemente la longevidad del marcapasos, sobrevalorando el tamaño reducido del generador y por tanto de su batería. También se han valorado determinadas funciones del marcapasos olvidando su repercusión en la longevidad e incluso se ha argumentado que un recambio supone una actualización tecnológica de la estimulación, olvidando que una prolongada longevidad del generador no impide una actualización si esta se considera suficientemente importante para el paciente. El recambio de un generador supone una intervención para el paciente, y un coste económico por la intervención y por el aumento de los seguimientos en la etapa próxima a alcanzar el ERI así como por el coste del dispositivo.

Además supone el riesgo de complicaciones tanto a corto plazo<sup>5</sup>, como a largo plazo<sup>6</sup>.

El aumento de la longevidad de marcapasos permitirá ahorrarnos recambios, y con ello, sus inconvenientes, lo que hace importante una larga longevidad de marcapasos.

## CONCLUSIÓN

La longevidad es una importante característica que debe ser valorada al elegir un generador. Una vez implantado, debemos intentar, dentro de lo que nos permitan las necesidades clínicas, disminuir su consumo para aumentar su longevidad, siendo básicamente la programación de la salida de energía nuestra arma de actuación.

## BIBLIOGRAFÍA:

1. Fred M. Kusumoto. The pulse generator. Edición : Fred M. Kusumoto y Nora F. Goldschager. Cardiac pacing for the clinician, Second Edition. New York. Editorial Springer. Pag 50
2. C. Moro, A. Hernandez-Madrid. Estimulación cardíaca, desfibrilación y resincronización. Pag. 125
3. Maria-Jose Sancho-Tello de Carranza. Los algoritmos de ahorro de energía ¿Son tan solo un seguro de estimulación?. Cuadernos técnicos de estimulación cardíaca 11/2005 5-9.
4. R. Coma et al. Registro español de marcapasos. VI informe oficial (2008). Revista española de cardiología, 2008; 62: 1450-64
5. Replace registry. Presentación preliminar. American Heart Association 2009 Scientific Sessions. [www.theheart.org/article/1023209.do](http://www.theheart.org/article/1023209.do)
6. A A Harcombe, S a Newell, P F Ludman, T E Wistow, L D Sharples, P M Schofield, D L Stone, L M Shapiro, T Cole, M C Petc. Late complications following permanent pacemaker implantation or elective unit replacement. Heart 1998; 80:240-244