

# La duración de la vida según el cómputo de contracciones cardíacas al nacer. Posibilidad de predecir la expectativa de vida en adultos

Antonio Ruiz-Torres<sup>a</sup> y Walter Beier<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Instituto Universitario de Investigación Gerontológico. Madrid. España.

<sup>b</sup>Profesor emérito de la Universidad de Leipzig. Leipzig. Alemania.

## RESUMEN

**Introducción:** predecir la expectativa de vida de una persona parece un objetivo inalcanzable ya que se desconoce el máximo potencial de vida, la dimensión de referencia. Aquí presentamos un procedimiento basado en asumir que el corazón cuenta al nacer con una cantidad invariable de contracciones que se consumen durante la vida según la frecuencia cardíaca.

**Material y métodos:** aplicando modelos matemáticos del concepto de la vitalidad, se utilizan resultados de personas sanas de material propio y de tablas de normalidad. El promedio de la frecuencia cardíaca se obtiene considerando su dependencia de la edad. El gasto cardíaco y el volumen por latido, con los respectivos índices en referencia a la superficie corporal, son las variables que en dependencia de la edad se utilizan para determinar el envejecimiento cardíaco. Otros parámetros son el peso del corazón al nacer y al inicio de la adultez, así como la edad de su máximo crecimiento. Se calcula el potencial vital como longevidad máxima y de aquí la cifra total de contracciones a consumir durante este período, así como la edad cuando el corazón alcanza la máxima vitalidad según el promedio estandarizado de la frecuencia cardíaca. Finalmente se predice la expectativa de vida a partir de la edad de un determinado adulto en la que se registra su frecuencia cardíaca habitual.

**Resultados:** la longevidad máxima oscila entre 122 años en el varón y 119 en la mujer. La cifra total de contracciones cardíacas disponibles al nacer para la vida es  $4,57 \cdot 10^9$  en el corazón del varón y  $4,45 \cdot 10^9$  en el de la mujer, que han consumido a la edad de máxima vitalidad cardíaca el primero con 22,8 años un 27% y la mujer un 24% con 19,8 años. En un varón de 30 años con la frecuencia cardíaca en promedio de 68 por minuto, se predicen 86 años más de vida, en otro de la misma edad con 95 por minuto se predice 65 años.

**Conclusiones:** el razonamiento teórico concuerda con la coherencia de los resultados que, a su vez, podrían explicar, por ejemplo, la muerte prematura por continuo estrés emocional en un corazón

aparentemente sano, así como el papel regulador de la bradicardia en el deportista de alto rendimiento. Los puntos débiles del procedimiento se deben especialmente a la escasez de datos paramétricos.

## Palabras clave

Límite de máxima longevidad. Expectativa de vida. Potencial vital. Envejecimiento cardíaco. Duración de la vida humana.

## Lifespan according to calculation of heart beat at birth. Possibility of predicting life expectancy in adults

## ABSTRACT

**Introduction:** individual life prediction seems to be an unachievable goal, mainly because the life potential at birth, as the reference dimension, is unknown. We present a procedure based on the assumption that the heart at birth has an invariable number of contractions, which would be consumed during an individual's lifespan depending on the heart rate.

**Material and methods:** mathematical models of the concept of vitality were applied and data from healthy individuals and reference tables of normal values were used. The mean heart rate was obtained by considering its dependence on age. Age-dependent cardiac output, stroke volume, and the respective indices adjusted to body surface were used to calculate cardiac ageing.

Other parameters were heart weight at birth and at the onset of adulthood, and the age at maximal heart growth is reached. Life potential was calculated as maximal longevity, which was used to estimate the total number of heart contractions during the lifespan, as well as up to the age at which the heart achieves maximal vitality according to standardized mean cardiac frequency. In adults, life expectancy was predicted based on the age at which, for a particular individual, normal heart rate is achieved.

**Results:** maximal longevity varied between 122 years in males and 119 years in females. The total number of heart contractions for the entire lifespan was  $4.57 \cdot 10^9$  in men and  $4.45 \cdot 10^9$  in women. The age at which maximal cardiac vitality was reached was 22.8 years in men and 19.8 years in women. At these ages, 27% of contractions would have been spent in men and 24% would have been spent in women. A 30-year-old man with a mean heart rate of 68 beats per minute could expect to live a further 86 years while a 30-year-old man with a heart rate of 95 beats per minute could expect to live a further 65 years.

Correspondencia: Prof. Dr. A. Ruiz-Torres.  
Instituto de Investigación Gerontológica y Metabólica. Hospital de la Princesa.

Diego de León, 62. 28006 Madrid. España.  
Correo electrónico: iuigm.hlp@salud.madrid.org.vdf

Recibido el 25-1-2007; aceptado el 1-3-2007.

**Conclusions:** there is agreement between the theoretical postulations of this study and the results obtained. These results could explain, for example, why persistent emotional stress produces precocious death, even in the absence of apparent cardiac damage. In high performance sportsmen and women, bradycardia could be understood as a regulatory mechanism. The described method presents certain weak points, which are related to lacking parametric data.

#### Key words

Maximal longevity. Life expectancy. Life potential. Heart ageing. Human life span.

## INTRODUCCIÓN

La duración de la vida en humanos ha sido siempre de gran interés para casi todas las disciplinas de la comunidad científica. Mientras que la longevidad es un término relativo, ya que depende de los datos demográficos del momento en cuestión, la vida máxima –también denominada longevidad máxima–, en cambio, se considera un valor absoluto. No obstante, se desconoce el límite del potencial de vida humano. Por el contrario, razonamientos empíricos dan lugar a cifras muy discordantes.

Generalmente, se acepta que el límite de máxima supervivencia se encuentra alrededor de los 120 años. Estudios propios basados en razonamientos teóricos<sup>1</sup> y teórico-experimentales<sup>2</sup>, así como en cultivos celulares<sup>3</sup>, coinciden con esta hipótesis. Asimismo, los casos registrados de extrema longevidad apuntan hacia edades que sólo muy excepcionalmente han superado los 120 años. No obstante, sigue vigente la pregunta de si el límite de máxima supervivencia corresponde a la edad de alrededor de 120 años o si, al contrario, se encuentra más allá del mencionado límite, habida cuenta de lo observado en la prevalencia de centenarios<sup>4</sup>. Efectivamente, a lo largo del último siglo se ha podido detectar un aumento paulatino de personas que han llegado a los 100 o más años. Así, sucede que en la actualidad alcanzar la edad centenaria ha perdido el carácter de extrema excepcionalidad como antaño.

El corazón es el órgano que en mayor medida está vinculado a la capacidad de supervivencia. Los cambios que presenta con el avance de la edad del adulto afectan a todos los individuos, pero no de forma homogénea a la misma edad. El aumento progresivo de la poscarga es una manifestación del envejecimiento relacionado con el descenso de la elasticidad y el aumento de la rigidez arterial<sup>5</sup>, pero su utilización como parámetro biológico es controvertida, ya que es difícil distinguir lo patológico de lo fisiológico. Más fácil parece la consideración del gasto cardíaco y el volumen por latido; en el sujeto sano muestran una curva descendente estrechamente vinculada con la edad<sup>6</sup>. Por otro lado, es bien sabido que el latido cardíaco aparece y perdura mientras hay vida, si bien los factores exógenos pueden condicionar su cese o, al contrario, hacer que perdure, como en la muerte cerebral.

Según Heilbrunn<sup>7</sup>, el corazón del mamífero nace con un número de contracciones genéticamente determinado que a lo largo de la vida es paulatinamente consumido, de forma que, como en una cuenta corriente, el estado precario del «saldo» contráctil indicaría la cercanía del cese irremediable del período vital. En este sentido, parece lógico pensar en el papel condicionante de la frecuencia cardíaca, ya que el número de contracciones disponibles podría ser consumido con mayor o menor celeridad. Efectivamente, de la biología comparada se deduce una relación entre el promedio de la frecuencia cardíaca y la duración de la vida en las especies<sup>8</sup>, si bien hay excepciones que merecen una consideración específica.

La finalidad de este trabajo es analizar la validez del cómputo de las contracciones cardíacas como determinante de la duración de la vida aplicando a la especie humana el citado razonamiento teórico. Con la ayuda de parámetros cardíacos en personas sanas se pretende obtener resultados sobre la longevidad máxima, así como deducir predicciones para la vida adulta.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El material humano aplicado para la elaboración de este trabajo contiene personas sanas cuyos resultados a incorporar en el mismo proceden de la propia base de datos obtenida en estudios poblacionales<sup>9</sup>, así como de tablas de normalidad<sup>10-13</sup> y trabajos específicos al respecto que se reseñarán adecuadamente.

La metodología tiene los siguientes cometidos:

### Cálculo de la constante de envejecimiento cardíaco

La duración de la vida del corazón depende del desgaste cardíaco sufrido durante los años de actividad. El citado desgaste se expresa en el declive de parámetros funcionales de este órgano. Los indicadores más adecuados son el gasto cardíaco y el volumen por latido.

Basándonos en el principio de Fick, el gasto cardíaco es el consumo de  $O_2$  dividido por la diferencia arteriovenosa. Así, el gasto cardíaco de una persona sana en reposo es de unos 6 l/min que, dividido por la frecuencia cardíaca, da lugar al volumen por latido. Por ejemplo, referido a la frecuencia en reposo de 70, el volumen por latido es 85,7 ml. Por otro lado, el gasto cardíaco y el volumen latido dependen de la superficie corporal<sup>14</sup>, por lo que en cardiología conviene referir estos valores a  $m^2$ , cuyos resultados se conocen como respectivos índices.

El gasto cardíaco y los parámetros relacionados ya mencionados descienden con la edad del individuo adulto<sup>6</sup>. Desde hace tiempo se postuló que en el adulto el índice cardíaco disminuye en unos 25 ml/min/ $m^2$  por año de vida<sup>15</sup>. No obstante, la posibilidad de error es ostensible, ya que durante la vida del adulto la superficie corporal puede cambiar notablemente, disminuyendo a partir

de edades más o menos avanzadas<sup>9</sup>. Por consiguiente, el resultado dependerá de si el valor funcional está referido a la superficie corporal del individuo en su juventud o a la edad en la que se realiza la determinación. El siguiente ejemplo, en el que se comparan los valores del mismo individuo en los extremos del período adulto ilustra lo mencionado:

Caso 1	Gasto cardíaco	Superficie corporal (m <sup>2</sup> )	Gasto por m <sup>2</sup> (índice cardíaco)
A los 20 años	6,0 l/min	1,87	3,2
A los 75 años	5,8 l/min	1,75	3,3

Caso 2	Gasto cardíaco	Superficie corporal (m <sup>2</sup> )	Gasto por m <sup>2</sup> (índice cardíaco)
A los 20 años	6 l/min	1,87	3,2 l
A los 75 años	5 l/min	1,75	2,8 l

5 l/min si es referido al valor inicial = 2,7

Es decir, el cambio de la superficie corporal relacionado con el proceso de envejecimiento puede modificar el resultado. En el caso 1, donde el descenso de la superficie corporal es relativamente mayor que el del gasto cardíaco, se da lugar a un ascenso ficticio del índice cardíaco. En cambio, será de mayor magnitud si como en el caso 2 el valor del gasto cardíaco es referido a la superficie corporal determinada en la juventud.

El volumen por latido desciende en un 27,2% del joven al viejo<sup>16</sup>, pero ofrece la dificultad de estandarización, ya que –como se ha señalado– procede del cálculo del gasto cardíaco en relación con la frecuencia cardíaca. Lo último –también ya mencionado– es una variable que depende no sólo de la edad, sino también del suceso momentáneo al que se expone el individuo. Finalmente, en el índice por latido caben también las mismas consideraciones que en el caso del índice cardíaco.

El declive presentado por el gasto cardíaco y el volumen por latido en dependencia de la edad del adulto puede interpretarse como expresión del desgaste sufrido por el corazón con el tiempo según

$$y = a \times e^{-t}$$

donde a es el valor inicial, b la pendiente del descenso y t la edad en años.

La inclusión de b como  $\beta$  en la ecuación en (1) puede argumentarse en la medida que  $\beta$  reflejaría la tasa de envejecimiento cardíaco según el modelo exponencial de la vitalidad<sup>17</sup>, es decir

$$v(t) = \exp [ \exp (-kt) \ln w(0) - \beta t ] \quad (1)$$

donde k es la constante de crecimiento, w(0) el valor relativo del peso cardíaco al nacer y t la edad (véase más adelante), que resulta en

$$v(t) = e^{-\beta t} \quad (2)$$

cuando en la edad adulta  $e^{-kt} \ln w(0)$  es menor que  $\beta t$ , siendo  $t > t_m$  edad de la máxima vitalidad.

### Cálculo de la edad de máxima vitalidad cardíaca

Partiendo de que la vida humana transcurre con una vitalidad que evoluciona con el avance de la edad del individuo, la ecuación en (1) expresa un comportamiento de ascenso paulatino hasta alcanzar un valor máximo coincidente con la finalización del crecimiento y la diferenciación. Posteriormente, la vitalidad desciende lentamente hasta llegar a valores tan bajos que predisponen a la muerte.

Se comprende que cuando el cociente diferencial  $dv/dt$  es 0, este *steady state* representa la edad de máxima vitalidad del corazón, es decir

$$0 = -k \cdot \exp (-kt_m) \cdot \ln(0) - \beta$$

por lo que al logaritmizar y despejar

$$t_m = 1/k \cdot \ln[(k/\beta) \cdot (-\ln w(0))] \quad (3)$$

### Cálculo de la duración de la vida del corazón y de las contracciones cardíacas disponibles para ella

Para obtener el número total de contracciones cardíacas disponibles se postula que el producto del promedio de la frecuencia cardíaca con la duración de la vida es una dimensión absoluta e invariable. Partiendo del concepto de vitalidad antes mencionado, se obtiene la ecuación en la que la duración de la vida (T) está en dependencia del desgaste o factor de envejecimiento ( $\beta$ ), del factor de crecimiento (k) y del valor relativo del peso al nacer  $[w(0)]^{1,2}$ , que en este caso llevaría las constantes referidas al corazón, es decir:

$$T = (1/\beta) - (1/k) \ln w(0) \quad (4)$$

El producto de ambas partes con la frecuencia cardíaca en reposo (f), resulta como sigue:

$$T \cdot f = (f/\beta) - (f/k) \ln w(0)$$

lo que es igual si

$$T \cdot f = (f/\beta)[1 - (k/\beta) \ln w(0)]$$

Dos organismos serían similares si los cocientes  $f/\beta$  y  $k/\beta$  dieran lugar a un mismo valor, por tanto:

$$(f_1/\beta_1) = (f_2/\beta_2) \text{ y } (k_1/\beta_1) = (k_2/\beta_2)$$

entonces, en base a que ambos organismos tengan un mismo w(0) como dimensión relativa, se obtiene la constante del producto de la frecuencia cardíaca con la duración de la vida, es decir:

$$f_1 \cdot T = f_2 \cdot T_2$$

por consiguiente, sería T la máxima duración vital en años el determinante para el cálculo de la cifra total de contracciones (N). Teniendo en cuenta que la frecuencia cardíaca varía ampliamente durante la vida, la integral

$$N = \int f(t) dt$$

daría lugar a la capacidad de actividad contráctil del corazón, lo que a priori parece imposible de realizar ya que la frecuencia cardíaca no sólo depende de la edad, sino también de sucesos momentáneos a los que se expone un ser durante su vida.

No obstante, postulando que en los distintos períodos de la vida existe en promedio una determinada frecuencia cardíaca, se puede sustituir la integral anterior por la siguiente ecuación:

$$N = f \cdot T \text{ (5)}$$

donde f es el promedio final de frecuencias y T la vida máxima en años.

## RESULTADOS

### Límite de máxima supervivencia cardíaca

Considerando valores de normalidad como los arriba señalados, el corazón del varón tiene un peso de alrededor 17 g al nacer, que asciende hasta unos 315 g a los 18 años, una vez finalizados el crecimiento y la diferenciación. Durante ese período el peso cardíaco evoluciona con la edad mostrando una curva acoplable a una función de Gompertz, es decir, el peso a una determinada edad  $w(t) = \exp [\exp (-kt) \ln w(0)]$ , por lo que  $k = - (1/t_{mw}) \cdot \ln [( \ln w / \ln w(0) )]$ , siendo  $w(0) = 17 \text{ g} / 315 \text{ g} = 0,053$  y  $t_{mw}$  la edad cuando el corazón expresa el máximo crecimiento, lo que representado en una curva es detectable a los 14 años en los varones. Por tanto,

$$k = -(1/14 \text{ años}) \cdot \ln [\ln (244 \text{ g} / 315 \text{ g}) / \ln 0,053] = 0,173 \text{ por año}$$

La constante de envejecimiento cardíaco  $\beta$  según la ecuación (2) de la metodología se obtuvo con los parámetros procedentes del gasto cardíaco = 0,0091, del índice cardíaco = 0,010, y del volumen por latido = 0,0095. El promedio de estos valores es 0,0095 por año<sup>-1</sup>.

Aplicando la ecuación descrita en (4) se ha obtenido, con los parámetros y constantes antes señalados, la cifra de 122 años como duración de la vida (T) del corazón del varón:

$$T = (1/0,0095) - (1/0,173) \ln 0,053 = 122 \text{ años}$$

que asimismo expresa la edad límite de máxima supervivencia cardíaca. En el caso de las mujeres la longevidad

máxima cardíaca T es de 119 años, debido a que el peso del corazón evoluciona de forma algo distinta. Así resulta que el peso al nacer es de unos 16 g y a los 18 años de 270 g; además la edad de máximo crecimiento es a los 13 años. Por lo que  $k = (1/13) \ln [\ln (159/271) / \ln (0,061)] = 0,206$ . En cambio, se ha considerado el valor de  $\beta$ , antes señalado, también para las mujeres, si bien se debe a la carencia de datos de normalidad al respecto.

### Cantidad de contracciones cardíacas disponibles al nacer

Considerando todos los períodos de la vida humana, ya que la frecuencia cardíaca depende de la edad, especialmente durante el crecimiento del individuo, el promedio es de 71,4 l/min. En base a los 122 años arriba señalados como referencia para el varón y 119 para la mujer, la cifra total de contracciones disponibles (N):

$$N = 71,4 \text{ (l/min)} \cdot 122 \text{ (años varón (o 119 mujer))} \cdot 365 \text{ (días)} \cdot 24 \text{ (h)} \cdot 60 \text{ (min)} = 4,57 \cdot 10^9 \text{ varón y } 4,45 \cdot 10^9 \text{ mujer latidos en total a consumir}$$

A una cifra muy similar se llega a través de la representación gráfica de la frecuencia cardíaca por períodos mediante el integral planimétrico. De esta forma, el primer trapecio correspondiente a la primera década conduce a la cifra total de latidos en este período, es decir:

$$N_1 = [(120 + 110)/2] 10 = 1.150 \text{ [año/min]} = 6,04 \cdot 10^8$$

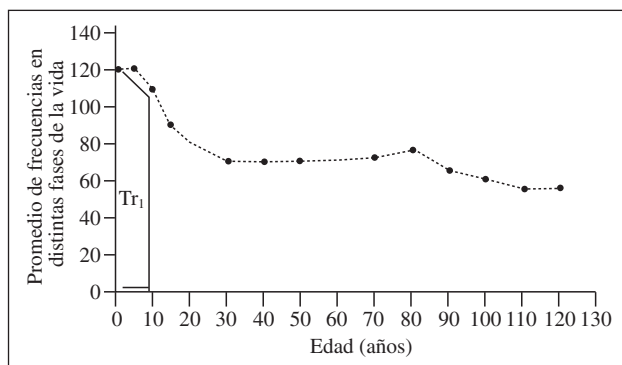
y así sucesivamente por décadas hasta la edad límite.

### Edad de máxima vitalidad cardíaca y contracciones consumidas

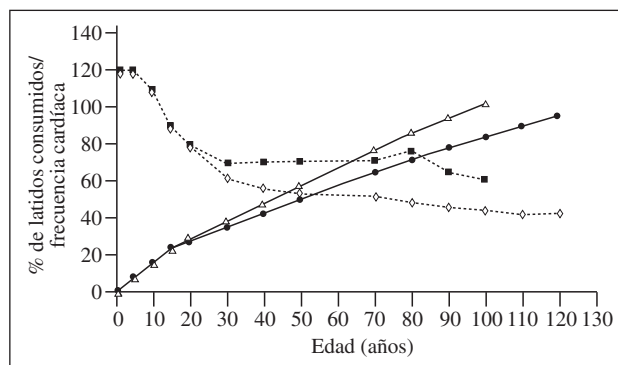
Aplicando la ecuación en (3) señalada en la metodología y utilizando las constantes antes señaladas como específicas del corazón, se obtiene que a la edad de 22,8 años el corazón humano del varón alcanza su máxima vitalidad. Como se deduce del gráfico de la figura 1, el promedio de contracciones durante este período de vida es de unos 103 l/min por lo que, a la citada edad, el corazón habrá consumido, como lo hemos calculado antes,  $(103 \cdot 22,8 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60) = 1,23 \cdot 10^9$  contracciones que son alrededor del 27% del cómputo inicial. En el caso de las mujeres, la edad de máxima vitalidad es a los 19,8 años que, con  $1,07 \cdot 10^9$  contracciones, ha consumido el 24% del total al nacer.

### Aplicación práctica: predicción de la expectativa de vida según el «saldo actual» de contracciones cardíacas

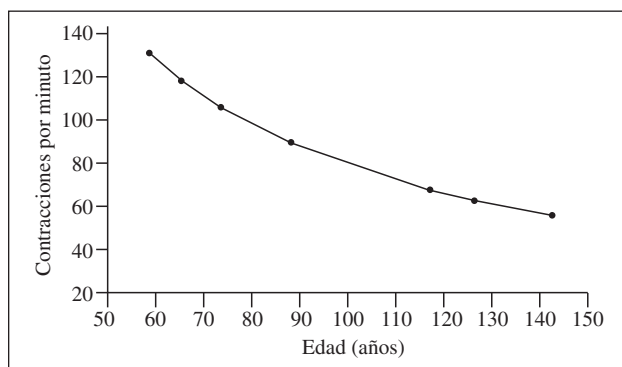
Si el cómputo de contracciones cardíacas al nacer va unido a la duración de la vida, ésta se extinguiría cuando se han consumido totalmente. Por tanto, una persona con tendencia a la taquicardia viviría menos que otra con menores frecuencias (fig. 2). De esta manera, el promedio de



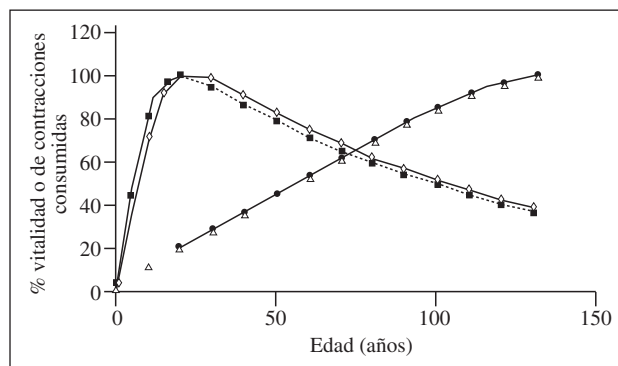
**Figura 1.** Representación gráfica para el cálculo aproximado del número total de contracciones cardíacas disponible ( $N$ ) según  $N = \int f(t)dt$  desde  $t = 0$  a  $t = 120$  años.  $Tr_1$ : trapecio 1, cuyo contenido planimétrico da lugar a  $N_1 = [(120 + 110/2)] \cdot 10 = 6,04 \cdot 10^8$  contracciones en ese periodo. La suma de los valores contenidos en los trapecios del 1 al 11 conduce a la cifra de  $4,63 \cdot 10^9$  contracciones. (Véanse más detalles y corrección a la vida esperada en el texto.)



**Figura 2.** Dos ejemplos de consumo paulatino de la cantidad total de latidos disponibles a partir del nacimiento a medida que avanza la edad del corazón, según el promedio de la frecuencia cardíaca. En el primer caso, la vida máxima sería de unos 100 años; en el segundo, con un promedio de frecuencia menor, de unos 120 años.



**Figura 3.** Vida esperada en virtud del promedio de la frecuencia cardíaca hipotéticamente válido para todo el periodo vital del individuo. El gráfico muestra la edad en la que se agota la cifra de contracciones cardíacas disponibles al nacer (abscisa) cuando la frecuencia cardíaca es en promedio un determinado valor (ordenada).



**Figura 4.** Curva de la vitalidad del corazón en el varón (línea continua) y en la mujer según  $v(t) = \exp(\exp(-kt) \cdot \ln w(0) - \beta t)$ , a partir de la constante de crecimiento cardíaco  $k$  y del valor relativo al nacer  $w(0)$ , sobre la base del peso y del factor de envejecimiento cardíaco  $\beta$  obtenido de la regresión funcional con la edad (véase texto). La curva ascendente representa, en porcentaje, el consumo de la cifra total de contracciones calculada para la duración de la vida según  $T = 1/\beta - (1/k) \cdot \ln w(0)$ .

la frecuencia cardíaca podría ser determinante para predecir el citado final; el promedio de la frecuencia cardíaca podría indicar los años que quedan en una persona por vivir. La figura 3 muestra esta relación, que se expresa en una función exponencial decreciente. No obstante, no es posible establecer a priori cuál será la frecuencia cardíaca que desarrollará una persona durante la vida a partir del nacimiento.

Sobre la base de los valores habituales del promedio de frecuencias en determinadas edades, la curva de la vitalidad del corazón según la ecuación en (1) se desarrolla a medida que se va produciendo un consumo de contracciones hasta llegar al cómputo final que se correspondería con el valor de mínima vitalidad. La figura 4 muestra esta curva en el varón y en la mujer, en la que la pendiente decreciente de la última es ligeramente superior a la del hombre, si bien el final de la curva es prácticamente el mismo.

Bajo el supuesto que durante la fase de crecimiento y en la juventud el promedio de frecuencias dependientes de la edad es poco variable en este período, por tanto, válido para todos los seres humanos, y las mediciones en el adulto a una edad determinada representan el margen de oscilación habitual para el resto de su vida del individuo en cuestión, podría predecirse cuánto le quedaría de vida.

El procedimiento que se debe seguir sería como aquí se refleja en 2 ejemplos. En el varón A, de 30 años, se ha medido varias veces en reposo una frecuencia cardíaca de 68 l/min que sería considerada como habitual y aproximadamente representaría el promedio en la edad adulta de la citada persona. El individuo B, del mismo sexo y edad, se miden igualmente 95 l/min. Dado que ambos individuos al llegar a la edad de máxima vitalidad del corazón (que coincide con la finalización del crecimiento y la diferenciación, y el comienzo de la edad adulta) han consumido el 27% de la contracciones disponibles para la vida (véase



arriba), el restante 73% se consumiría según las distintas frecuencias. Es decir,  $68 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 = 35.740.800$  contracciones por año en el A y  $95 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 = 49.932.000$ , lo que significa que hasta llegar a los 30 años desde los 22,8 años de la edad de máxima vitalidad, el primero ha consumido  $68 \cdot 7,2 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 = 257.333.760$  contracciones (5,6%) y el segundo 359.510.400 (7,8%) que añadir. Es decir, mientras que para el individuo A es un 32,6% ( $27 + 5,6$ ), para el B es un 34,8%. Por otro lado, a partir de los 30 años se consumirán 35.740.800 o 49.932.000 contracciones por año (el 0,78 y el 1,0%, respectivamente) hasta llegar al agotamiento del cómputo final restante, que sería aproximadamente a la edad de 86 años para el primero y 65,2 años para el segundo. Por consiguiente, la teórica longevidad máxima del individuo A sería  $30 + 86 = 116$  años y del individuo B sería  $30 + 65,2 = 95,2$  años.

## DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo se comprenden desde el punto de vista de la biología del envejecimiento. Es evidente el valor teórico de la vida máxima cardíaca determinada en humanos a partir de variables específicas, como son el gasto cardíaco y el volumen de latido, cuyo comportamiento decreciente indica el desgaste sufrido por el corazón en relación con el tiempo de actividad. Nadie duda de que la vida finaliza cuando el corazón deja de latir. Por tanto, no debe sorprender que la vida máxima del corazón concuerde con los resultados de la bibliografía en referencia a la longevidad máxima<sup>18</sup>. Es más, teniendo en cuenta que la duración de vida del corazón depende de la constante de su crecimiento  $\kappa$ , del valor relativo en peso al nacer  $w(0)$  y, especialmente, de la constante de envejecimiento  $\beta$ , que expresa el desgaste sufrido por este órgano a durante la vida, hay que considerar el grado de fiabilidad de los valores obtenidos para nuestros cálculos.

Efectivamente, hay pocos datos de normalidad en referencia al peso del corazón durante la fase de crecimiento hasta finalizar el desarrollo. En todos ellos se encuentra una diferencia entre el varón y la mujer, lo que obliga a distinguir no sólo en lo que respecta al comportamiento de la vitalidad durante la vida, sino también respecto la longevidad máxima. Desgraciadamente, al no disponer de datos funcionales separados por sexo, el valor de  $\beta$  se refiere a ambos, lo que no deja de ser discutible si consideramos el papel protector de los estrógenos endógenos contra la insuficiencia cardíaca que, a fin de cuentas, es la consecuencia del propio desgaste. Posiblemente sea ésta la razón por la que, sin la inclusión del elemento regulador, la mujer expresa una longevidad máxima ligeramente inferior a la del varón, por tanto, en contradicción con lo observado en demografía.

En lo que respecta a la obtención del valor de desgaste o factor de envejecimiento para ambos sexos, hay que señalar que este dato recogido de la función cardíaca se

asemeja notablemente al teórico, cuando  $\beta = 1/[T + (1/\kappa) \ln w(0)]$ , asumiendo para T el valor de longevidad máxima observado en humanos, es decir de unos 120 años. En tal caso, el valor teórico de  $\beta$  es 0,0096 para los varones y 0,0093 para las mujeres, lo que en comparación con el promedio funcional para ambos sexos de 0,0095 no expresa una diferencia relevante.

También parece lógico que si al nacer el corazón dispone de un número determinado de contracciones para toda la vida, este valor pudiera estar genéticamente determinado. Su consumo, temprano o tardío, dependerá del promedio de la frecuencia cardíaca. Finalmente, es de lógica consecuencia aceptar que, sobre la base de los valores normales de frecuencia en los distintos períodos de la vida humana y del valor de vida máxima cardíaca obtenido mediante las variables del desgaste, es asequible el cálculo del cómputo total de contracciones al nacer. De aquí que se ofrezca su aplicación para predecir la expectativa de vida<sup>19</sup>. No obstante, en todo este contexto hay varios puntos discutibles.

En primer lugar, surge la pregunta de si es lícito contar con las contracciones sin tener en cuenta su calidad. Es decir, se puede argumentar que la contracción cardíaca no es un valor inalterable, sino que pierde calidad funcional durante la vida. El ejemplo se ofrece mediante la comparación de un joven y un viejo con frecuencias cardíacas similares, pero con rendimiento cardíaco inferior en el último. No obstante, la biología comparada muestra que las especies con mayor frecuencia cardíaca son las que generalmente viven menos años<sup>8</sup>. La citada relación parece existir en todos los seres y muestra, según nuestros cálculos, una correlación lineal en las aves [ $y = 681 - 7,4x$ ] y en los mamíferos [ $y = 127 - 3,3x$ ], de donde se desprende que, en los animales de vida corta, entre los primeros el valor máximo de frecuencias es muy superior que entre los segundos. Aunque la citada relación no es muy estrecha, sí es significativa en los mamíferos [ $r = -0,54$  ( $r^2 = 29,4\%$ )] y en las aves [ $r = -0,59$  ( $r^2 = 34,3\%$ )], a juzgar por la población de especies presentada en el citado trabajo.

Por otro lado, es conocido que la actividad física acelera el corazón, por lo que se esperaría que los atletas vivieran menos. No es éste el resultado, ya que las cifras de longevidad en ellos suelen ser parecidas a las de la población en general, pero también hay que tener en cuenta que la frecuencia cardíaca habitual del atleta no es elevada sino, al contrario, muy reducida, mostrando incluso una bradicardia extrema en aquellos con muy alto rendimiento físico. Es decir, cabe la interpretación que el atleta «ahorra» contracciones que compensa mediante un considerable aumento del volumen por latido. De esta interpretación sería deducible una regulación mediante el entrenamiento como práctica recomendable para no «gastar» contracciones cardíacas lo que repercutiría acortando la vida. Por otro lado, también podría explicarse la relación entre el estrés emocional mantenido y la muerte prematura en las personas que lo sufren, y también en

aquellas no afectadas de infarto de miocardio. Es bien conocido que el estrés emocional aumenta considerablemente la frecuencia cardíaca.

Finalmente, otro punto cuestionable pueden ser los resultados obtenidos en las expectativas de vida. Efectivamente, basándonos en los 2 ejemplos presentados, el potencial vital de ambos individuos es alto, entre los 93 y 104 años, pero se encuentra dentro de lo esperado en una estimación biológica que no cuenta con los factores imprevisibles de procedencia exógena. Es decir, como se alude, se trata del potencial vital, que comprensiblemente no puede asegurar que un individuo determinado vaya a vivir ese mismo número de años. Además, debe quedar claro que las frecuencias aquí consideradas son promedios, tomados de tablas de normalidad y estudios propios, así como se postula que para la predicción de vida adulta el promedio de frecuencia cardíaca individual quedaría reflejado en sólo varias mediciones a la edad adulta. Es bien conocido que el promedio de la frecuencia cardíaca desciende en un 38% desde el primer año de vida hasta la adolescencia<sup>16</sup>. Esta disminución se corresponde con la del metabolismo basal en un 22%, que prosigue su descenso hasta un 36% a los 70 años, según los estándares de Boothby, Berkson y Duna. De forma similar cabría esperar en el caso de la frecuencia cardíaca, pero los valores en reposo de ésta se mantienen bastantes constantes a partir de los 30 años, aunque el valor máximo por estímulo<sup>16</sup> sí que desciende claramente. En este trabajo se mantienen estos criterios, si bien a partir de los 90 años consideramos un descenso a valores por debajo de los previamente registrados<sup>20</sup> en personas mayores de 100 años.

La lógica en la que se apoya la hipótesis de este trabajo se encuentra en la mecánica. Aquí también el uso continuado va paralelo al desgaste paulatino que finalmente acaba con la funcionalidad del objeto en cuestión. No obstante, hay que considerar la peculiaridad que, dentro de un determinado período, el grado de desgaste sufrido depende también de la sobrecarga ejercida. Valdría la pena utilizar el símil de un motor cuyo número total de revo-

luciones tendría un límite, que como cifra máxima sería reducible por una mala práctica en el uso.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ruiz-Torres A, Beier W. On the influence of the growth process on the life potential of human beings: theoretical predictions. En: Sames K, Sethe S, Stolzing A, editores. *Medizin und Wissenschaft* LIT. Münster: Verlag; 2005. p. 37-45
2. Ruiz-Torres A, Beier W. On maximum human life span: interdisciplinary approach about its limits. *Adv Gerontol*. 2005;16:14-20.
3. Ruiz-Torres A, Gimeno A, Melón J, Méndez L, Muñoz J, Macía M. Age-related loss of proliferative activity of human vascular smooth muscle cells in culture. *Mech Ageing Dev*. 1999;110:49-55
4. Bezrukov V, Foigt NA. Longevidad centenaria en Europa. *Rev Esp Geriatr Gerontol*. 2005;40:300-9.
5. Cheitlin MD. Cardiovascular physiology-changes with aging. *Am J Geriatr Cardiol*. 2003;12:9-13.
6. Frolkis VV, Bezrukov VV, Kulschitsky OK. The aging of the Vascular System. New York: , Springer Publ. Comp; 1996. p. 2-3; 165-83; 184-92.
7. Heilbrunn LV. *Grundzüge der Allgemeinen Physiologie*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften; 1958.
8. Beier W, Arnold J. Über eine Beziehung zwischen mittlerer Herzfrequenz und Lebensdauer einiger Organismen. *Z Alternsforsch*. 1975;30:45-7.
9. Ruiz-Torres A. Multi-disciplinary study on aging and health condition of the population of Nogueira de Ramuín. Madrid: Tecnipublicaciones SA; 1989. p. 85;90-91.
10. Plenert W, Heine W. *Normalwerte*. S. Karger, Basel etc, 1978.
11. *Documenta Geigy Wissenschaftliche Tabellen*. Basel, 1960.
12. Sitzmann FC. *Normalwerte*. München; 1976.
13. Jakob M. *Normal values pocket*. Cambridge: Börm Bruckmeier Publishing, 2002.
14. Dodge HT, Kennedy JW. Gasto cardíaco, trabajo del corazón, hipertrofia, dilatación. En: Sodeman W, editor. *Fisiopatología Clínica*. México: Interamericana; 1978. p. 224-44.
15. Wade OL, Bishop JM. *Cardiac Output and Regional Blood Flow*. Philadelphia: F.A.Davis Co; 1962.
16. Michel D. Herz, Kreislaufgefäße und Gerinnung. En: Platt D, editor. *Handbuch der Gerontologie*. Band 1 Innere Medizin. Stuttgart-New York: Gustav Fischer Verlag; 1983. p. 86-128.
17. Beier W. Biomorphose. En: Beber W, Rosen R, editores. *Biophysikalische Grundlagen der Medizin*. Stuttgart-New York: Gustav Fischer Verlag; 1980. p. 502-44.
18. Haylick L. Origins of longevity. En: Warner HR, et al, editors. *Modern Biological Theories of Aging*. New York: Raven Press; 1987. p. 21-34.
19. Reich S, Reuter W, Sauer I, Beier W. Zur Problematik des Zusammenhangs von Herzfrequenz und Lebensdauer VII. Kongreß der Gesellschaft für Gerontologie der Deutschen Demokratischen Republik. 1979. p. 266-7.
20. Beregi E. Centenarians in Hungary. A sociomedical and demographic study. Karger (Basel, München etc.); 1990. p. 47-52.