

LA FRECUENCIA CARDIACA Y LA REGULACIÓN DEL ESFUERZO

-APUNTES PARA LOS ENTRENADORES DE CICLISTAS DE LA REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE CICLISMO-

Dr. Mikel Zabala Díaz

Real Federación Española de Ciclismo (mikelz@ugr.es)

En el presente documento se trata de sintetizar aquellas cuestiones teóricas que pueden ser de utilidad a la hora de utilizar la frecuencia cardiaca como índice de intensidad de esfuerzo con nuestros ciclistas. Casi todas las cuestiones planteadas son de muy fácil puesta en práctica, si bien será siempre cada entrenador con su ciclista quien adapte y utilice estos contenidos según sus circunstancias. Añadimos además el concepto de percepción subjetiva del esfuerzo, percepción propia del deportista, como índice de gran importancia a la hora de plantear intensidades de trabajo y/o recuperación que puede ser trabajada desde temprana edad. Simplemente queremos, de forma escueta, proporcionar las últimas tendencias en cuanto a dos de los pocos indicadores disponibles -tanto para el entrenador y el deportista-, de cara a regular la intensidad de trabajo en entrenamientos e incluso en competición. Por último, incluimos unos breves apuntes para los deportistas, de muy sencilla comprensión, para que éstos vayan tomando conciencia de ciertos conceptos que deben dominar desde que se inician en el entrenamiento (posiblemente vuestros ciclistas hoy día ya los conozcan pero pueden ser de utilidad con futuros nuevos deportistas jóvenes en iniciación). La bibliografía no se incluye, si bien estamos a disposición para cualquier tipo de consulta o ampliación de contenidos.

LA FRECUENCIA CARDIACA EN LA ACTIVIDAD FÍSICA

En este apartado trataremos de ofrecer una panorámica de la frecuencia cardiaca (FC), desde un prisma conceptual hasta otro más aplicado, acabando de tratarla en el marco en la EF. Se trata de conocer lo más posible acerca de su naturaleza, limitaciones y potencialidades, para que cualquier persona interesada pueda utilizarla con mayores garantías.

1. Definición y concepto

La FC se puede definir como el número de contracciones ventriculares por minuto efectuadas por el corazón, medida generalmente en latidos por minuto ($\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$) o pulsaciones por minuto (ppm) (Garatachea¹, 2002), o, más sencillamente, el número de latidos que el corazón realiza en un minuto, expresado generalmente en ppm (Kirkpatrick y Birnbaum, 1997).

Estas contracciones responden a las necesidades sanguíneas -y por tanto, nutritivas- que el organismo precisa como “combustible” para satisfacer sus funciones vitales, así como para la AF. La sangre es el vehículo de transporte de ese combustible, que a través de las arterias llega a aquellos órganos que lo necesitan, para realizar sus funciones. El corazón actúa como una bomba que envía la sangre “oxigenada y rica en nutrientes” a esos órganos mediante lo que denominamos contracción ventricular o sístole. Llamamos diástole a la recuperación o tiempo de relajación del músculo cardíaco tras la sístole. Esa consecución de sístole y diástole de manera rítmica compone las ppm, siendo la pulsación lo que percibimos como respuesta de la eyección sanguínea. Esta eyección o contracción muscular genera una corriente eléctrica que aparatos muy extendidos actualmente como son los pulsómetros -*Heart Rate Monitors* (HRMs)- interpretan como una pulsación. Más desarrollados aunque complicados son los electrocardiogramas, los cuales descomponen la actividad cardiaca en cada una de sus fases electrodinámicas.

¹ Para Garatachea (2002) la FC es la única variable, determinante del Vo_2 , que puede ser monitorizada fácilmente durante un esfuerzo y en cualquier situación.

2. Variantes de la frecuencia cardiaca

2.1. Frecuencia cardiaca de reposo

La FCrep se puede definir como aquella FC mínima que el sujeto utiliza en estado de reposo, como límite inferior de su FC útil, o el mínimo número de ppm que un individuo es capaz de utilizar en situación favorable de reposo. Generalmente, se suele medir en decúbito supino tras despertarse por la mañana, sentado o de pie (siempre en reposo y a la misma hora del día). Según cómo se tome la FCrep, ésta puede variar en 10 ppm. Cuando se pretende estimar la FC útil de un sujeto, se suele estimar el rango entre estas ppm y las máximas (ver FC máxima). La FCrep está fuertemente influenciada por el nivel de condición física (Bouzas, 2003) ya que, el entrenamiento de fondo o resistencia regular puede reducir la FCrep, al aumentar la capacidad del músculo cardiaco de enviar sangre desde el corazón en cada contracción o sístole. Así, los valores de FCrep en individuos sanos se sitúan en torno a las 60-70 ppm, mientras que en individuos deportistas de rendimiento se pueden situar incluso por debajo de las 40 ppm (Ellestad, 1987). En edades adolescentes, edad a la que atiende este estudio, la FCrep se sitúa rondando las 70 ppm. Según López-Chicharro *et al.* (2002), la FCrep en niños disminuye progresivamente durante el desarrollo, descendiendo entre 10 y 20 ppm desde los 5 a los 15 años (p.e. de 80 ppm a los 5 años a 62 ppm a los 15 años). Para Sierra *et al.* (2001), a modo de aproximación, las ppm en edades tempranas se pueden resumir en la siguiente tabla de valores promedio obtenidos:

Tabla 1. FCrep según la edad en niños y adolescentes (Sierra et al., 2001).

Edad	8-11	12	13	14	15	16
FCrep	82	77	76	76	75	76

En el caso de nuestro trabajo, tomando la FCrep a diario en decúbito supino y tras despertarse por la mañana, los valores fueron algo más bajos que los aportados anteriormente para sujetos de 15-16 años (véase apartado de metodología, características de los sujetos).

2.2. Frecuencia cardiaca máxima

Según Kent (2003), autor principal del Diccionario Oxford de Medicina y Ciencias del Deporte (DOMCD), FCmax “es el valor máximo de FC obtenible durante un esfuerzo supremo hasta el borde del agotamiento, es decir, durante un ejercicio máximo”.

La anatomía y fisiología de la función cardiaca están diseñadas de tal forma que cuando se necesita aumentar la función de bomba del corazón, este órgano sólo se puede acelerar hasta un máximo predeterminado. Así, si se intenta sobrepasar este máximo de bombeo, los tejidos periféricos experimentan anoxia por suministro inadecuado de oxígeno, acumulándose a continuación rápidamente ácido láctico y otros metabolitos, poniendo fin a la capacidad funcional del individuo en pocos minutos (Garatachea, 2002). El alcance de la FCmax está influida por diferentes factores, tal y como sugiere Bouzas (2003):

1) Internos:

- Edad: la FCmax disminuye con la edad -en torno a 0,6-1 ppm al año- debido a las alteraciones de sus capacidades por el envejecimiento y desentrenamiento, cuestión que se compensa con un aumento en el volumen sistólico, manteniéndose el débito cardiaco en niveles adecuados.
- Motivación: simplemente por el hecho de que el sujeto no se esfuerce al máximo al realizar un ejercicio que pretenda alcanzar y registrar la FCmax.
- Enfermedades cardiovasculares y neurológicas: determinadas enfermedades modifican la FCmax a la baja, por lo que la ecuación $FC_{max} = 220 - \text{edad}$ incurriría en un grave error. Este es un campo aún por estudiar y establecer ecuaciones adaptadas a cada necesidad.
- Sueño: la carencia acusada de sueño limita la FCmax y la disminuye.

2) Externos:

- Frío: disminuye la FCmax.
- Altitud: disminuye la FCmax.

-Inmersión: disminuye la FCmax en torno a 10 ppm, debido a la Tª del agua (generalmente baja) y la presión hidrostática que induce a un aumento del volumen sistólico y un descenso de la FCmax manteniendo el débito cardiaco.

-Medicamentos: algunos medicamentos disminuyen la FCmax (betabloqueantes y vasodilatadores) y otros la pueden aumentar (broncodilatadores, agentes antiarrítmicos y simpatomiméticos o drogas que estimulan la glándula tiroides). La influencia de estos agentes se da de manera más acusada en reposo y en ejercicio submáximo, si bien el grado en que afecten dependerá de la cantidad y frecuencia de su consumo, así como de la resistencia individual, interacción con otros medicamentos que se estén tomando de manera concurrente, etc.

-Tabaquismo: por su influencia y efectos incluso hasta niveles de enfermedad, se puede considerar a veces como una patología que redonda en una menor FCmax. La utilización de la ecuación $FC_{max} = 220 - \text{edad}$ incurriría en un grave error.

3) Otros:

-Tipo de ejercicio: está ampliamente demostrado que el tipo de ejercicio influye en la FCmax alcanzada y es importante utilizar ecuaciones diferenciadoras para cada deporte, si se quiere hallar una estimación precisa de la FCmax. En carrera, la FCmax es superior a ciclismo y natación, y en ciclismo la FCmax es superior a la natación (del orden de 6 ppm entre la 1ª modalidad y la 2ª, y otras tantas entre la 2ª y la 3ª).

-Periodo de entrenamiento *versus* (Vs) Sobreentrenamiento: justo al interrumpir el entrenamiento se suele dar un aumento de la FCmax, ocurriendo a la inversa si se produce un sobreentrenamiento. Esto tiene importantes implicaciones en el entrenamiento y prescripción del mismo en sujetos entrenados, aunque no tanto a la hora de prescribir ejercicio en sujetos cuya AF no sea tan regular y sea de mucho menor nivel. Aun así, convendría tener esto en cuenta para estimar con mayor precisión los rangos en los que se desea practicar AF o, más aún, entrenar.

-Tiempo necesario para el registro del dato: ya que se precisa de un tiempo mínimo para poder alcanzar la FCmax, debido a los ajustes cardiovasculares producidos de manera progresiva según se desarrolla el esfuerzo.

Entre los factores que podrían modificar la respuesta de la FCmax se encuentran, sorprendentemente, los siguientes: género, nivel de condición física, etnia o el factor hereditario. Sin embargo, el análisis de los estudios sobre estos parámetros no nos da respuestas concluyentes. En el caso del género, esto es reseñable, pues son muchas las fórmulas que diferencian sus cálculos en función del género del individuo para obtener la FCmax.

Aunque lo más aconsejable es determinar la FCmax mediante un test máximo (O'toole *et al.*, 1998; Bouzas, 2003), es muy habitual que esto no sea posible; es entonces cuando debemos utilizar una fórmula que estime nuestra FCmax. En cualquier caso, se recomienda cautela al utilizar este tipo de procedimientos predictivos ya que, en una variación normal, sólo un 68% de los hombres de 20 años tendría su FCmax entre 190 y 210 ppm (p.e. $220 - 20, \pm 10$ ppm). Este tipo de fórmula es también inapropiada para ciertas actividades como nadar, ya que la flotación en la posición supina y el efecto en el cuerpo del enfriamiento del agua reducen los valores de la FC en una media de 10-13 ppm en comparación con la carrera a pie. La evaluación de la intensidad en natación debería ser, por tanto, al menos 10 ppm más baja que la predicción de la FCmax según la edad (McArdle *et al.*, 1991). Asimismo, la FCmax se puede calcular teóricamente según la fórmula de *Ball State* (citado por García *et al.*, 1996): $FCmax = 209 - (0,7 \times edad)$ en hombres y $FCmax = 214 - (0,8 \times edad)$ en mujeres².

La fórmula más recomendada por un estudio reciente de metaanálisis (Robergs y Landwehr, 2002) es la de Inbar *et al.* (1994), según la cual, tanto para hombres como para mujeres, la $FCmax = 205,8 - (0,685 \times edad)$. Recientemente, Bouzas (2003) propuso para carrera la ecuación $FCmax = 180 + (0,5 \times edad)$ para hombres y $FCmax = 210,7 - (0,8 \times edad)$ en mujeres. Para remo estableció que, independientemente del género, $FCmax = 207,758 - (0,6 \times edad)$, y para ciclismo $FCmax = 169,8 + (0,6 \times edad)$ para hombres y $FCmax = 211,3 - (1,06 \times edad)$ para

mujeres. Es de destacar que cuando este autor concluyó en su revisión bibliográfica que el factor género no era claramente influyente en las mediciones de FCmax, estableciese 2 ecuaciones, una para mujeres y otra para hombres, en los casos de carrera y ciclismo.

López-Chicharro *et al.* (2002), sostienen que la FCmax es mayor en niños que en adultos, disminuyendo progresivamente con la edad tras la adolescencia. Así, en niños menores de 10 años, es normal encontrar FCmax de más de 210 ppm. La FCmax en niños y jóvenes normales oscila entre 195 y 215 ppm, disminuyendo progresivamente -aunque muy lentamente (0,7-0,8 ppm/año)- según aumenta la edad del sujeto e independientemente de su género (Mora, 2001); según López-Chicharro *et al.* (2002), la FCmax desciende 0.5 ppm por año. Robergs y Landwehr (2002) sugieren no utilizar fórmulas predictivas de la FCmax con sujetos menores de 10 años, ya que en esas edades no se guarda relación entre la FCmax y la edad. En cualquier caso, para algunos autores, aunque un colectivo de una misma edad o género no posee la misma FCmax, la falta de precisión de ± 10 ppm es una desviación que no se estima demasiado importante al tratar de establecer un programa de ejercicio físico efectivo -basado en la anterior- en individuos sanos (Eston y Williams, 2001).

2.3. Frecuencia cardíaca de reserva

También denominada, según el DOMCD, FCmax de reserva. Se define como la diferencia entre la FCmax y la FCrep. Determina el rango teórico de FC útil del que un individuo dispone para realizar su AF. Nosotros preferiríamos llamarla FC útil, pues éste es el rango de ppm que el individuo puede utilizar. La fórmula para su cálculo es sencilla:

$$FCres = FCmax - FCrep$$

*p.e. un sujeto con 195 ppm de FCmax y 60 ppm de FCrep,
tendría una FCres de: $195 - 60 = 135$ ppm.*

² p.e. para un varón de 27 años, sería: $209 - (0,7 \times 27) = 190$ ppm, aproximadamente.

2.4. Porcentaje de frecuencia cardiaca de reserva y de frecuencia cardiaca de entrenamiento

La determinación de un porcentaje (%) de FC respecto a la FCres es una práctica habitual para establecer el ritmo en ppm que el individuo debe utilizar para lograr aquella intensidad que le procure el estímulo necesario para producir la pretendida supercompensación posterior y la consecuente mejora de su rendimiento. Esta intensidad hallada por medio del % de la FCres (%FCres) es la que algunos denominan FC de entrenamiento (FCent) o FC a la cual queremos entrenar o ejercitarnos, dependiendo del objetivo que estemos persiguiendo con la intensidad (ppm) y duración de nuestra AF.

El método más usual para describir la intensidad del ejercicio es el %FCres descrito por Karvonen y Vuorimaa (1988). Este método utiliza el % en la diferencia entre las ppm máximas y las de reposo (FCres), sumándole luego la FCrep.

Así, suponiendo la FCmax de un sujeto en 195 ppm y la de FCrep en 60 ppm, la intensidad de ejercicio correspondiente al 70% (70%FCres), se calcularía según la siguiente fórmula:

$$\%FCres = (Intensidad\ de\ ejercicio\ en\ \% \times FCres) + FCrep$$

$$p.e. 70\%FCres = (0,7 \times 135) + 60 = 154\ ppm.$$

154 sería la FCent establecida para ese 70%FCres.

Para calcular el %FCres al que estamos ejercitándonos en un momento dado (FCent), despejaríamos la misma según la siguiente fórmula:

$$\%FCres = (FCent - FCrep / FCmax - FCrep)$$

$$p.e. para\ el\ mismo\ sujeto\ anterior,\ a\ una\ FCent\ de\ 154\ ppm,$$
$$\%FCres\ sería: 154 - 60 / 195 - 60 = 0,7\ ó\ 70\%FCres.$$

De manera sencilla, también podemos calcular la FCent según la siguiente fórmula, atendiendo al % al que se quiere realizar el ejercicio o %FCres:

$FCent = FCrep + \% (FCmax - FCrep)$ que sería igual a:

$$FCent = FCrep + \% FCres$$

p.e. suponiendo una $FCrep$ de 50 ppm y una $FCmax$ de 200 ppm, si se quiere obtener la intensidad correspondiente al 50% $FCres$

$$FCent = 50 + \underline{0,5} (200 - 50) = 125 \text{ ppm}$$

Los valores de % $FCres$ y $FCent$ se corresponden muy estrechamente con los valores de Vo_2max y se pueden utilizar para prescribir intensidades de esfuerzo a un % dado de Vo_2max (Eston y Williams, 2001), aconsejándose más que los valores de % $FCmax$, ya que estos últimos tienden a subestimar los valores de Vo_2max (ver tabla 3, epígrafe 2.3.4.). Para Navarro y Rico (1998), otra consideración en sujetos adolescentes es que la FC a una intensidad dada para las chicas será algo superior a la de los chicos.

3. Relación con diferentes índices fisiológicos y su utilización como índice de intensidad de la actividad física

Según Achten y Jeukendrup (2003), la FC puede aplicarse con los objetivos de: 1) monitorizar la intensidad del ejercicio, 2) estimar el Vo_2max y el gasto energético y 3) detectar y prevenir el sobreentrenamiento. Nosotros nos centraremos en el primer aspecto, por resultar fundamental en la prescripción y/o práctica de AF relacionada con la salud. El segundo aspecto también es muy interesante pero, al igual que el tercero, se desvía del objeto de estudio de este trabajo.

Para Padial (2002), se entiende por *control del entrenamiento* la comparación cuantitativa y cualitativa de las características del deportista y del proceso de trabajo encaminado a la mejora última del rendimiento. Desde la perspectiva cuantitativa del proceso propiamente, para Achten y Jeukendrup (2003) todo programa de entrenamiento tiene tres componentes clave: la frecuencia de las sesiones realizadas, la duración de las sesiones y la intensidad de las sesiones. La suma de las tres se resumiría en lo que se denomina *impulso de entrenamiento* -definido según el DOMCD, como “medida de la carga de entrenamiento de un deportista durante una sesión, calculado en base a la frecuencia, duración y la intensidad de

los esfuerzos realizados durante la sesión, generalmente atendiendo a los cambios de la FC durante el tiempo de ejercicio, expresándose en unidades arbitrarias”-; y se sabe que un excesivo impulso de entrenamiento puede desembocar en un sobreentrenamiento del individuo. Así, es muy importante controlar esos tres factores. La duración y la frecuencia son relativamente fáciles de controlar y la intensidad se puede tratar de controlar de diferentes maneras.

La *intensidad* se suele definir como la energía utilizada por minuto para realizar una tarea determinada (en kilojulios por minuto -kj/min-), y sólo se suele medir directamente en laboratorio. En el trabajo de campo, se puede utilizar la velocidad, las repeticiones realizadas, el peso movilizado, etc., pero esto no es posible sobre todo en deportes de carácter cíclico y/o aeróbico. Por eso, desde que está ampliamente establecido que la FC mantiene una relación lineal con el Vo_2max en casi toda su respuesta submáxima, la monitorización de la FC ha sido el método de control de la intensidad del entrenamiento más utilizado, fundamentalmente en deportes de carácter aeróbico y cíclico como la carrera, ciclismo, patinaje, natación, remo o esquí de fondo. Así, los deportistas pueden utilizar un HRM para poder ajustar su ritmo a la intensidad deseada, en función de la FC.

En referencia a la monitorización de la FC para controlar la intensidad de la AF, Bouzas (2003) mantiene que *“...un sujeto que quiera aumentar el Vo_2max debería optar por la realización de ejercicios de características típicamente aeróbicas y, para ello, el control de la intensidad del ejercicio es un elemento fundamental. Así, el registro de la FC es una de las formas de control fisiológico más frecuente en la evaluación de la intensidad de esfuerzo a la que el organismo está siendo expuesto”*. Además, añade que *“la medición de la FC supone una excelente forma de control y seguimiento del ejercicio, siendo empleada por las poblaciones más diversas, justificando su uso por su sencilla medición (manual o HRM) y, principalmente, por haber demostrado una correlación entre sus valores y los de Vo_2max ”*. Así se puede justificar que la FC puede resultar una sencilla herramienta de control de la intensidad de la AF de manera individualizada.

Son bastantes las investigaciones actuales que sostienen que la FC es un buen indicador de la intensidad de la AF (Welk, 2002; Alvero, 2003; Bouzas, 2003; Achten y Jeukendrup, 2003; Norman *et al.*, 2002; Garatachea, 2002; Ekelund *et al.*, 2001a; Ekelund *et al.*, 2001b; Eston y Williams, 2001; Sirard y Pate, 2001;

Laukkanen et al, 2001; Mora, 2001; Sierra *et al.*, 2001; Barbero, 2001; Rotstein y Meckel, 2000; Strath *et al.*, 2000; ACSM, 1998), a pesar de que su relación con el Vo_2max no sea completamente lineal en todas sus fases, tal y como muchos estudios propusieron con anterioridad. Como ejemplo, veamos la propuesta de Eston y Williams (2001) sobre la relación entre el %FCres y %FCmax respecto al Vo_2max :

Tabla 2. Comparación del % de Vo_2max con su equivalente en niveles de %FCres y %FCmax (Eston y Williams, 2001).

%FC	FC al % FCmax	Vo_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	% Vo_2max	%FC	FC al % FCres	Vo_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	% Vo_2max
40	73	8	13	40	105	26	41
50	91	21	33	50	118	33	52
60	109	28	44	60	131	38	60
70	127	37	59	70	144	46	73
80	140	43	68	80	157	52	82
90	164	56	89	90	169	58	92
100	182	63	100	100	182	63	100

Según Trost (2001) o Garatachea (2002), la FC se comporta de manera lineal respecto al Vo_2max en la mayor parte de su evolución, pero en ciertas cargas se rompe esa linealidad. Para López-Calbet *et al.* (1995), este punto de ruptura se da entre el 88% y 91% de la FCmax.

Karvonen y Vuorimaa (1988) sostienen que la relación entre la FC y el Vo_2 es directa y positiva, a pesar de la influencia del sexo o la edad, existiendo rangos de la FC que se pueden seleccionar como correspondientes a valores de Vo_2 . Este método se utiliza en gran variedad de test de campo y protocolos, para aproximarse y monitorizar la intensidad del ejercicio. Así, Generelo (1995) monitorizó la FC en las sesiones de un curso escolar completo de AF extraescolar de 51 niños de 7 a 9 años de edad, para aproximarse al grado de compromiso fisiológico individual según las tareas propuestas. Algo similar habían realizado previamente Armstrong *et al.*, (1990), Armstrong y Bray (1991) -monitorizando de forma continua la FC de un grupo de adolescentes de y de niños, respectivamente, con el objeto de definir su patrón de AF-, Rivas (1992), Janz *et al.* (1992), Strand y Reeder (1993a y 1993b) García (1995), Gilbey y Gilbey (1995), Strand *et al.* (1996), Stratton (1997), Gavarry *et al.* (1998) o Tercedor (1998).

La estimación del Vo_2 max atendiendo al % de la FC está sujeta a error en cualquier población, ya que se precisaría, al menos, un valor real de la FCmax; y debido a lo problemático de realizar un test que procure información real de la FCmax, ésta se suele estimar mediante fórmulas teóricas como la resta de la edad a 220 (226 en el caso de las mujeres)³, ya desbancada por otras más fiables (véase el apartado dedicado a la FCmax).

Según el ACSM (1998), se debe atender al Vo_2 de reserva, el cual tiene correspondencia casi directa con la FCres; sólo valerse de la FCres y relacionarla con un Vo_2 que no tuviera en cuenta el Vo_2 de reposo no sería lo deseable; advierten además que si se atiende a la FCmax, éste método puede sobreestimar el método anterior en un 15% o más. Sin embargo, resaltan la importancia de la FC y de la RPE como medio de control y prescripción de la AF deseada.

No hace tanto tiempo, diferentes autores y manuales (p.e. Burke, 1998) aún prescriben la intensidad en base al %FCmax, calculando la FCmax según la ecuación $220 - \text{edad}$, aunque autores como Algarra y Gorrotxategi (1996), ya sitúan de manera sencilla el entrenamiento aeróbico de base en torno al 50% y 70% de la FCres, aeróbico extensivo en torno al 60% y 80%, aeróbico intensivo en torno al 80% y 90%, y anaeróbico por encima de, aproximadamente, el 90% de la FCres. Desde una perspectiva más de rendimiento basada en el test y la obtención del umbral anaeróbico (UAN), para Alvero (2003) el umbral aeróbico (UA) estaría situado en un 80% del UAN individual⁴; la intensidad correspondiente a la zona de transición aeróbica-anaeróbica rondaría el rango de 80-100% del UAN y, evidentemente, el UAN correspondería a su 100%, pudiendo situarse éste -aproximadamente- en torno a un 75-85% del Vo_2 max. En lo que coinciden casi todos los autores es en señalar la correlación muy estrecha entre FC y Vo_2 para ejercicios submáximos, aunque Achten y Jeukendrup (2003), Welk (2002) o Allor y Pivarnik (2000) sugieren que para una utilización óptima de la FC como índice fiable de la intensidad de esfuerzo, la relación individual -que para cada sujeto es diferente- entre FC y Vo_2 max debería determinarse mediante un test, preferiblemente en laboratorio -aunque hoy día existen analizadores de gases portátiles como el K4

³ Esta fórmula, actualmente la más popular, debería dejarse de utilizar y dar paso a otras bastante más válidas y fiables (Bouzas, 2003).

⁴ Según este autor, un sujeto con un Vo_2 max de $50 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ y un UAN a su 90% (Vo_2 de $45 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$), ubicaría su UA a un 80% del UAN (es decir, a un Vo_2 de $36 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$).

(Cosmed, Italia) que sustituye al ya vetusto *saco de Douglass* y obtiene índices de validez y fiabilidad muy altos-. Aun así, estamos hablando desde una perspectiva bastante elitista y de alto rendimiento, que no sería tan necesaria para prescribir ejercicio más general a personas de un menor nivel y requerimientos de entrenamiento, cuyo objetivo principal es mejorar su condición física en relación a su salud y bienestar.

Los métodos de monitorización de la FC para su utilización a modo de índice de la intensidad de esfuerzo y/o establecimiento del gasto energético realizado se resumen en la siguiente tabla 3:

Tabla 3. Métodos de monitorización de la FC (modificado de Welk, 2002).

Método	Definición	Unidades (intensidad)	Ventajas	Inconvenientes
FCflex⁵	Cálculo estadístico basado en la obtención de la FC y el Vo ₂ más altos en reposo y más bajos en ejercicio (Welk, 2002; Sirard y Pate, 2001).	Kcal /día, energía total consumida/ energía basal consumida, número de minutos de acuerdo a la FC Flex.	Predice el gasto energético. Reduce la variabilidad entresujeto en la relación FC-Vo ₂ (incluyendo edad y nivel de condición física). Método muy válido para calcular el gasto energético.	Requiere la calibración en laboratorio y un tiempo reducido entre ésta y la monitorización de campo. La predicción de errores de estimación del gasto energético individual es alta. Muy caro.
% FCres calibrada con Vo₂ de reserva	Respuesta al ejercicio de la FCres (FCmax-FCrep) en relación al Vo ₂ de reserva (Vo ₂ max – Vo ₂ de reposo). En función de ambas se establecen % de intensidad relativos.	METS, número de minutos seleccionados en % del Vo ₂ de reserva.	Predice el Vo ₂ . Reduce la variabilidad entresujeto debido a edad o nivel de condición física. Las variables tienen un significado fisiológico absoluto y relativo. Consistente para prescribir ejercicio.	Requiere la medición de la FCmax y Vo ₂ max (caro por el uso de material de laboratorio). No contempla la no linealidad de la FC y el Vo ₂ en intensidades submáximas. Validez poco probada en adultos y menos documentada aún en jóvenes.
%FCres	FCres = FCmax – FCrep; %FCres = [(FCent – FCrep)/(FCmax – FCrep)] x 100.	Número de minutos en las zonas seleccionadas de acuerdo al %FCres.	Reduce la variabilidad entresujeto según la edad y el nivel de condición física. Rechaza la no linealidad de la FC y el Vo ₂ en reposo. % de trabajo bien establecidos. Consistente con las guías de prescripción de AF. Utilización simple.	Requiere la medición o estimación de la FCmax.
FC promedio neta	FC promedio del total de AF realizada.	ppm	Reduce la variabilidad entresujeto por edad o condición física Utilización sencilla.	Difícil de interpretar al incluir la FC más baja. Difícil de establecer las variables de duración y frecuencia.

⁵ La FCflex es un método que ha sido bastante estudiado (Troost, 2001); se basa en que por encima de un umbral o intensidad, se da una relación lineal entre Vo₂ y FC y por debajo de ese punto, la relación es más variable. Así, para estimar el gasto energético en base a la FC, se utiliza la predicción lineal por encima de ese punto o FCflex, utilizando por debajo de este punto el promedio de valores de FC en reposo (para reducir la variabilidad). La FCflex se define empíricamente como el promedio de las FC más bajas durante ejercicio y las más altas en reposo.

FC de AF	FC en base al % de la FCrep.	Número de minutos en un % de la FCrep.	Reduce la variabilidad entresujeto por edad o nivel de condición física. Rechaza la no linealidad de la FC y el Vo ₂ en reposo. Utilización simple.	Escaso soporte científico para guiar el % de la FCrep a utilizar.
Umbral de FC	FC seleccionada como referencia de corte o umbral.	Número de minutos por encima y por debajo de una FC seleccionada.	Rechaza la no linealidad de la FC y el Vo ₂ en reposo. Utilización sencilla.	Escaso soporte científico para seleccionar el umbral de la FC a utilizar.

De la anterior tabla y con la finalidad de prescribir AF, podemos deducir que la monitorización de la FC en base al %FCres es muy válida, por cuanto está suficientemente documentada y huye de procedimientos caros y complicados de laboratorio. Así, con fines diferentes al entrenamiento propio del rendimiento deportivo, este método nos parece el más accesible y realista, siendo el que recomienda el ACSM (2000). Sin duda, nos parece el más práctico de cuantos se proponen, sin dejar de ser un método ya probado y perfectamente aplicable. Welk (2002) además, sostiene que la relación entre FC y Vo₂ es lineal desde un AF moderada hasta vigorosa, afirmando también que los HRM son una herramienta muy útil y cuyo potencial educativo ha de explotarse aún en enseñanza y programas de promoción de la salud. Por su parte, al respecto de establecer el UAN en base a la FC, observando el punto en el que la curva descrita por ésta en un protocolo incremental se aplana y pierde la linealidad, existen autores que creen que este método es una alternativa que puede tener una relativa validez, si no se dispone de más medios para establecer dicho umbral (Mahon y Cheatham, 2002; López-Chicharro *et al.*, 2002)⁶.

Además, existen autores como Norman *et al.* (2002) que postulan que el denominado “*Counting Talk Test*” o test de conteo del habla es un método válido para estimar la intensidad de la AF en individuos sanos. Este método se basa en la habilidad de un individuo para desarrollar una conversación durante el propio ejercicio. Argumentan que su simplicidad de uso es la principal arma. Se apoyan en los estudios que sugieren que ese punto de intensidad donde el sujeto ya no es capaz de mantener una conversación coincide con el 90% de la FCmax (ACSM,

⁶ Mahon y Cheatham (2002) realizan una extensa revisión al respecto, sugiriendo que este punto no tiene porqué observarse siempre, aunque lo considera una alternativa válida -incluso con niños-, si no se dispone de medios más válidos y fiables para determinar el UAN.

1995). Norman *et al.* (2002), sugieren que este método tiene un gran potencial para prescribir AF saludable y que deben desarrollarse más estudios al respecto.

4. Consideraciones a tener en cuenta para su utilización

4.1. Consideraciones generales. Factores que influyen en la frecuencia cardiaca

Si ya hemos visto los factores que influyen la FCmax, a continuación exponemos los factores que pueden mediatizar el valor de FC (Achten y Jeukendrup, 2003):

1) Variación día a día de la FC

Existen casos en los que la variabilidad intrasujeto es más amplia que en otros, en cuyo caso la prescripción de AF por medio de la FC estaría más limitada. Así, puede darse una variación en la FC, en ejercicio submáximo replicado varias veces por el mismo sujeto, de un 4% o de un 1,5% para ejercicios de intensidad máxima, aproximadamente. Se han observado diferencias día a día de 3 ppm en la FCmax alcanzada para un mismo protocolo. A pesar de estas pequeñas diferencias, no se pone en duda la fiabilidad test-retest de la FC, pues una oscilación de 2-4 ppm se considera normal. Esto se minimiza cuando la intensidad de la AF se prescribe por medio de la FC en rangos y no en únicos valores de FC (p.e. intensidad entre 120/125 y 150/155 ppm).

2) Factores fisiológicos

2.1) *Drift* cardiovascular: tras los primeros minutos de AF de intensidad moderada se da un descenso gradual del volumen sistólico y un aumento de la FC (aumentando el gasto cardiaco por minuto -Q-, donde $Q = FC \times \text{volumen sistólico}$). A este fenómeno de inestabilidad se le ha denominado *drift* -cambio de dirección en inglés- cardiovascular. Este fenómeno se le achaca a la deshidratación y su consecuente pérdida de líquidos, fenómeno que parece redundar en un descenso

del volumen sistólico y un aumento de la FC, para mantener el gasto cardiaco constante. Hay que tener en cuenta este fenómeno cuando la AF a realizar sea de larga duración, pues en un ejercicio constante sin hidratación alguna durante una hora, la FC puede elevarse hasta un 11% (de 135 a 150 ppm). Aumentos de un 15% de la FC del minuto 5 al 60 de ejercicio pueden darse bajo condiciones de calor acusado.

2.2) Estado de hidratación: al realizar ejercicio bajo condiciones de deshidratación, con una T^a corporal aumentada, la FC se puede aumentar hasta un 7,5%. Este aumento está positivamente correlacionado con el nivel de deshidratación. Por tanto, bajo condiciones de deshidratación, ejercitarse atendiendo a la intensidad derivada de la información de la FC resulta menos fiable.

3) Factores ambientales

3.1) Temperatura: la T^a puede tener un amplio efecto en la FC y el Vo₂. Los test de laboratorio se suele realizar a 16-18° C (grados centígrados), por lo que la información relativa a FC y Vo₂ sólo será totalmente válida ante condiciones muy similares. Tanto temperaturas muy altas como muy bajas pueden influir en la FC. Aun así, de acuerdo a Hebestreit y Bar-Or (1998) la T^a puede influir claramente, aunque se puede ajustar esta influencia de acuerdo a la fórmula: FC ajustada = FC medida x [1,18308 – (0,0083218 x T^a)]. P.e. para 15°, 20° ó 25° C y 140 ppm medidas, la FC ajustada sería de 148, 142 y 136, respectivamente. Otros autores estiman, aproximadamente, 1 ppm de diferencia por cada variación de la T^a en 1° C (Hillokoskorpi *et al.*, 1999).

3.1.1.) Calor: la FC aumenta con el calor. Un factor posiblemente influyente es la T^a corporal interna. En un estudio de González-Alonso (1999), se realizó un ejercicio tras haber emergido el cuerpo del sujeto en agua a 17°, 36° o 40° C durante 30'. Tras 10' de ejercicio, la FC fue de 140 ±5 ppm, 166 ±5 ppm, y 182 ±4 ppm, respectivamente. Se concluyó que la FC aumentaba gradualmente según lo hacía la T^a esofageal. Así mismo, se ha encontrado también una relación directa entre la FC y la T^a de la sangre venosa, sugiriéndose que la FC puede aumentar por una activación muscular termorefleja. En cualquier caso, bajo calor extremo, el mecanismo de termorregulación es menos eficiente y, por ello, aumenta la T^a corporal. Como consecuencia, la FC será mayor, dependiendo del ejercicio y la T^a,

en torno a 10 ppm y sobreestimaré la intensidad del ejercicio. A pesar de ello, aún sin ser el mejor indicador de la intensidad del ejercicio, la FC es un buen biomarcador del estrés corporal general.

3.1.2.) Frío: los dos ajustes principales que tienen lugar en el cuerpo humano ante un entorno extremo de frío son una vasoconstricción de los vasos sanguíneos periféricos y un aumento del gasto metabólico. Como consecuencia de dicha vasoconstricción, se obtiene un descenso en la irrigación sanguínea de la piel, puesto que la sangre es desviada de la periferia a vasos sanguíneos más profundos. Esto aumentará tanto el volumen de retorno venoso como el volumen de sangre central. Los escalofríos son un mecanismo reflejo para aumentar la actividad metabólica. En aguas muy frías se ha observado como los nadadores aumentan su consumo de oxígeno, ya que deben utilizar esa energía extra en producir esos escalofríos, aunque la FC no presente diferencias significativas; aparentemente, un aumento del volumen sistólico a T^a más baja es la causa de un mayor gasto cardiaco. Así, la T^a será similar respecto a la situación de T^a normal o neutral. Por tanto, con un Vo_2 aumentado, la FC infravalorará la intensidad del ejercicio. Un buen consejo para los deportistas sería por tanto que contengan levemente la FC de trabajo ante condiciones de T^a muy bajas, para así requerir las zonas de intensidad pretendidas (ejercitarse a unas ppm algo más bajas que las utilizadas como referencia en condiciones normales).

3.2) Altitud: la presión parcial de oxígeno puede verse disminuida un 30% en altitud respecto al nivel del mar (> 4000m). Para compensar este aspecto, en el transporte de oxígeno se precisa más sangre para hacer llegar éste a los músculos activos. Se ha demostrado cómo en ejercicio submáximo en altitud, el gasto cardiaco se ve aumentado debido a un aumento de la FC (entre un 10% y un 15%). Así, al ejercitarse en altitud a un Vo_2 dado, la FC submáxima se ve aumentada mientras el Vo_2 permanece igual. Así, la curva FC- Vo_2 determinada a nivel del mar será sobreestimada.

Además, en cuanto a las consideraciones especiales respecto a poblaciones jóvenes y a modo de orientaciones teóricas, destacamos las aportaciones aún hoy vigentes de Bar-Or (1987) (tabla 4):

Tabla 4. Diferencias básicas en las respuestas fisiológicas de los jóvenes respecto a los adultos.

Funciones	Respuesta en el joven (respecto al adulto)
FC submáxima.	Más elevada, sobre todo en los 10 primeros años.
FCmax.	Más elevada.
Volumen de eyección cardiaco.	Más bajo.
Débito cardiaco submáximo.	Un poco más bajo.
Diferencia arterio-venosa.	Un poco más elevada.
Débito sanguíneo (músculos activos).	Más elevado.
Presiones sistólica y diastólica	Más bajas

RELACIÓN ENTRE FRECUENCIA CARDIACA Y PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO

La percepción del esfuerzo es un acto natural que todo ser humano realiza en algún momento de su AF, ya sea ello de manera más o menos consciente. Cuando un sujeto corre tan rápido como puede, recibe señales de su propio cuerpo que le informan de lo que esa actividad le puede suponer; de seguir así, sus músculos, su respiración, su sudoración, etc., le informarán de que esa actividad le está suponiendo un gran trabajo. El individuo interpretará si debe o no mantener el ritmo en función de sus sensaciones. En muchas ocasiones debemos aprender de haber mantenido un ritmo que creíamos poder mantener durante un tiempo o una distancia determinados, pero no fue así. Esa habilidad para interpretar las sensaciones que el organismo nos envía puede ser entrenable y ese es el fundamento de la RPE: intentar que el individuo se “calibre” respecto a su propio esfuerzo, capacidades y limitaciones, y asocie las señales que su cuerpo le facilita para actuar en consecuencia según su propósito, siempre que ello le sea posible. Algo que para muchos puede ser únicamente sentido común, no lo es tanto cuando se observa a un ciclista que se “ceba” a un ritmo superior al que puede mantener tras un rival y acaba sucumbiendo estrepitosamente; de haber respetado un ritmo inferior al impuesto, su capacidad y su rendimiento no se hubieran mermado tanto. De la misma manera, por ignorancia o exceso de audacia, es muy común observar personas mayores practicando carrera continua en los parques a ritmos e intensidades excesivas, teniendo que detenerse en más de una ocasión. En el caso del antes mencionado ciclista puede que la competición le haya “obligado” a probar

si aguantaba ese ritmo, pero en el caso del practicante recreacional... ¿es ésto saludable?, ¿provoca adherencia a la AF?, ¿trabaja a la intensidad que desea?. Con esto, simplemente queremos transmitir que ese -para algunos- “sentido común”, se puede entrenar y desarrollar, mediante conocimiento y práctica.

El DOMCD define *esfuerzo percibido* como “*índice medido en una escala numérica que evalúa la valoración subjetiva de una persona sobre el grado de dureza con el que ha trabajado durante una AF*”; y añade, “...*los índices de esfuerzo siguen muy de cerca los cambios en la FC y por tanto se considera que calculan con razonable precisión el esfuerzo real*”. Sin duda, una definición que cae en el reduccionismo al sólo hacer mención a la FC como índice fisiológico relacionado, aunque hace referencia a lo que nosotros pretendemos poner a prueba en el contexto real: la relación entre FC y esfuerzo percibido - *Rating of Perceived Exertion* o RPE- y su potencial utilidad para evaluar el grado de intensidad en que nos estamos ejercitando.

Por su parte, dos expertos conocedores del tema como son Noble y Robertson (1996), definen *esfuerzo percibido* como “*el acto de detectar e interpretar sensaciones emergentes de nuestro cuerpo durante el ejercicio físico*”. Estos autores hacen mención a que esfuerzo percibido y fatiga percibida se pueden utilizar para deportes de mayor duración, mientras que fuerza percibida se puede asociar más a trabajos de corta duración. Sin embargo, reconocen que esta cuestión terminológica se puede atajar simplemente aceptando la denominación generalizada de *esfuerzo percibido*.

Sin embargo, desde que Borg se iniciase en el estudio de la RPE a comienzos de la década de los años 60, trató de asociar la RPE a la FC. La escala RPE inicial fue validada utilizando la FC como índice objetivo de la intensidad de esfuerzo. Posteriormente con la escala 6-20 RPE (Borg, 1971), trató de estimar la FC mediante la RPE, de acuerdo a la ecuación $FC = RPE \times 10$ (p.e. 12 en la escala equivaldrían a 120 ppm). Las escalas RPE han ido sufriendo una clara evolución, asociándose y validándose respecto a diferentes índices objetivos de la intensidad de esfuerzo. En 1987, Dishman *et al.* sugerían que era necesaria la prescripción de AF de manera controlada, utilizando para ello la FC y la RPE, tal y como seguían postulando Borg *et al.* (1987).

Ya adelantábamos la relación tan directa que diversos estudios relativamente recientes sostienen entre la RPE y la FC (entre otros, Herman *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2002; Doherty *et al.*, 2001; Eston y Williams, 2001; Foster *et al.*, 2001; Garcin y Billat, 2001; Gros Lambert *et al.*, 2001; Hampson *et al.*, 2001; Leung *et al.*, 2002; Pérez-Landaluce *et al.*, 2002; Perry *et al.* 2001a; Perry *et al.*, 2001b; Pfeiffer *et al.*, 2002; Robertson *et al.*, 2002; Robertson *et al.*, 2001; Robertson *et al.*, 2000a o Utter *et al.*, 2002a), con correlaciones positivas que oscilan desde $r = 0,40$ hasta $r = 0,95$. Además, tomando la FC como índice de esfuerzo a relacionarse con la RPE, casi todos los autores coinciden en que la escala 6-20 RPE es la más acertada, siempre que los sujetos no sean menores de 10-12 años, en cuyo caso sería más indicada la escala OMNI o CERT. La escala 6-20 RPE es la más utilizada y extendida de todas cuantas existen, utilizándose en infinidad de ámbitos (entrenamiento, prescripción de ejercicio para la salud, rehabilitación de sujetos enfermos, etc.).

Además, prácticamente todos los estudios -mencionados en este trabajo- que han utilizado la RPE, ya fuese como variable principal o complementaria, han asociado sus valores a la FC, dado que, desde los orígenes, la RPE se asoció a la respuesta de la FC y su medición no reviste excesiva complicación (Borg, 1998).

Bajo condiciones normales, no extremas, se ha sugerido que la FC puede ser un índice tan robusto como cualquier otro de los índices estudiados (Chen *et al.*, 2002; Hampson *et al.*, 2001). Aunque la utilización de la FC y la RPE debe seguir unos criterios rigurosos de fiabilidad y validez, algún trabajo reciente como el desarrollado por Garcin *et al.* (2003) sostiene que, incluso en trabajo de campo en pista, la FC y las escalas de RPE se muestran fiables y fácilmente replicables si se da el mantenimiento de unas condiciones estandarizadas y unos ejercicios protocolizados pertinentemente. Wergel-Kolmert *et al.* (2002), sugieren además, que la fiabilidad test-retest de FC y RPE es más alta en ejercicios realizados a cargas máximas.

A pesar de que la relación entre la FC y la RPE no se ha mostrado sólida en trabajo de fuerza específico (Thomas y Long, 1993), estas variables sí se han mostrado más que aceptables en ejercicio de carácter aeróbico (p.e. en remo, tal y como mostraron Marriott y Lamb, 1996 ó MacKinnon, 1999)⁷. En 1997, Glass y

⁷ Además, Perry *et al.* (2001b), encontraron una relación muy estrecha entre la FC, la RPE y la actividad muscular electromiográfica, en un ejercicio incremental en cicloergómetro.

Holcomb estudiaron la respuesta de la FC en sujetos practicando ciclismo - cicloergómetro- y carrera -pista de 200m- a unos valores predeterminados de RPE - 11, 13 y 15-, sin tener experiencia previa alguna; los resultados mostraron que los sujetos se ejercitaban en una intensidad de un 15% a un 20% mayor que la prescrita por el ACSM (1995) para los mencionados valores de RPE y respecto a la FC. Así, parecía que los sujetos, sólo con la ayuda de la RPE, subestimaban la intensidad de su AF y trabajaban por encima de la deseada o indicada. Estos autores se habían basado en las prescripciones de intensidad de AF enfocada a la mejora de la capacidad aeróbica de los sujetos, realizadas por el ACSM (1995), concluyendo que, a pesar de no tener experiencia previa, los sujetos serían capaces de ejercitarse con mayor control por poco que practicasen. Recientemente se ha sugerido que la regulación del esfuerzo utilizando la RPE y la FC conjuntamente, es una herramienta de mayor aplicabilidad que utilizándose cualquiera de ellas de forma separada, para practicar en unos umbrales de intensidad deseables (Herman *et al.*, 2003).

En 1998, el ACSM se hizo eco de una serie de aspectos a tener en cuenta para practicar AF con el objeto de mejorar a nivel cardiorrespiratorio. Utilizando el %FCres como criterio de intensidad, éste se asoció también a unos valores de RPE. Según el ACSM (1998), la RPE se consideraba un factor asociado a la FC, de cara a monitorizar la intensidad relativa del ejercicio; incluso, asumiendo la relación tan directa que existía entre ambos factores, sugerían que sólo la RPE podría utilizarse para practicar AF controlada sin necesidad de utilizar la FC. Según esta institución, el UAN se correspondería con una RPE de 10-13 en la escala 6-20 RPE, asumiendo que por encima de 14 hasta 18, la AF podría considerarse de dura a muy dura. Además, postularon que la RPE podía influir en la adherencia de un programa de ejercicio, de tal forma que podría darse una interacción entre la RPE de valores entre 11 y 13, y los niveles de intensidad de práctica de AF preferidos por los sujetos. Para sujetos entrenados, esta RPE preferida se podía situar en valores de 12 a 14.

En la tabla 5, mostramos las relaciones que el ACSM (1998) estableció para el Vo_2 de reserva, la FC y la RPE.

Tabla 5. Relación entre Vo_2 de reserva y FCres, FCmax y RPE (ACSM, 1998).

Intensidad	Vo_2 de reserva y FCres (%)	FCmax (%)	RPE
Muy ligera	<20	<35	<10
Ligera	20-39	35-54	10-11
Moderada	40-59	55-69	12-13
Dura	60-84	70-89	14-16
Muy dura	≥ 85	≥ 90	17-19
Máxima	100	100	20

Se debe destacar que el $\% \text{Vo}_2$ de reserva y la FCres se asocian como un índice equiparable, sugiriendo que si se realiza un test en el que se relacionan la FCres y el Vo_2 de reserva, la estimación de la intensidad de ejercicio en base a la FCres será muy válida (este hecho lo sostienen también Pollock, 1998 ó Swain, 2000). Ello tiene implicaciones muy directas en la prescripción de AF con una mayor exactitud, aunque para el ACSM no es necesario. Recordemos que el ACSM sugiere que intensidades del 40% al 80% de la FCres son suficientes para mejorar la condición aeróbica (véase el epígrafe 2.2. sobre indicaciones para promover la AF saludable). En 2000, el ACSM (Franklin *et al.*, 2000), recomendaron que la intensidad del ejercicio se basara en una potencia, FC y/o RPE correspondiente a un Vo_2 relativo.

En términos de entrenamiento o AF de mayor frecuencia, duración y/o intensidad, Martin y Andersen (2000), sugirieron que el ratio FC-RPE podía ser un buen indicador del principio de sobreentrenamiento u *overreaching*⁸, en los deportistas que están entrenando a muy alta intensidad. Posteriormente, Garcin *et al.* (2002) sugirieron que el ratio entre el lactato sanguíneo y RPE era también un buen indicador del *overreaching*.

Kesaniemi *et al.* (2001), aportan una serie de pautas al respecto de la determinación de la intensidad de la AF tomando como base la FCres, el Vo_2max de

⁸ El término *overreaching* se sugiere como principio de sobreentrenamiento (que se puede recuperar con relativa facilidad mediante descanso o recuperación, tras haberse incluso propiciado intencionadamente para provocar posteriormente la supercompensación) y *overtraining* como sobreentrenamiento propiamente (estado fisiológico que reviste carencias notables y cuya recuperación es mucho más costosa; se asocia a un periodo de recuperación prolongado, como si de una lesión o convalecencia se tratara) -Mula *et al.* (2002)-.

reserva, la FCmax y la RPE. Estos autores recomiendan poner atención en el nivel de actividad que presenten los sujetos, diferenciando entre sujetos deportistas y no deportistas (tabla 6):

Tabla 6. Cálculo de la intensidad de ejercicio en sujetos sanos mediante FC, RPE y Vo₂max (Kesaniemi et al., 2001).

INTENSIDAD*	Deportista		No deportista	
	% Vo ₂ res / %FCres	% Vo ₂ res / %FCres	%FCmax	RPE
Muy fácil	<50	<20	<50	<10
Fácil	50-65	20-39	50-63	10-11
Moderado	65-75	40-59	64-76	12-13
Difícil	75-90	60-84	77-93	14-16
Muy Difícil	90-95	>85	>94	17-19
Máximo	95-100	100	100	20

%Vo₂res = % de trabajo según el Vo₂ de reserva (Vo₂max – Vo₂ de reposo);
 %FCres = % de trabajo según la FCres; %FCmax = % de trabajo respecto a la FCmax;
 RPE = percepción subjetiva del esfuerzo según la escala 6-20 de Borg.

De acuerdo a la anterior tabla 8, la FCres y el Vo₂ de reserva se correlacionan de tal manera que la FC se podría tomar como un parámetro adecuado para el cálculo de la intensidad de esfuerzo. Kesaniemi *et al.* (2001) destacan que si se tomase en consideración la FCmax, debería emplearse la siguiente ecuación:

$$\%FCmax = 0,7305 (\%Vo_2max) + 29,95$$

Es muy destacable además que la anterior propuesta se base en la FC, Vo₂max y la RPE en escala 6-20 de Borg, reforzando de nuevo que esta escala es la más adecuada para ser correlacionada con la FC. Sin embargo, recordemos que hay que tener en cuenta uno de los aspectos que los investigadores han sugerido: la RPE en relación a la FC aumentará según el sujeto experimente un declive en la misma por la edad (Hampson *et al.*, 2001).

Incluso, para Herman *et al.* (2003), la FC y la RPE son unos indicadores de la intensidad del esfuerzo mejores que la propia potencia, si el ejercicio está realizándose por encima del UAN. Estos autores destacan que tanto FC como RPE son unos buenos indicadores de la intensidad de esfuerzo, especialmente y como antes hemos mencionado, cuando la intensidad del ejercicio sobrepasa el UAN y el

Vo₂ puede resultar un peor indicador al comportarse de acuerdo a su componente lento⁹. También Colberg *et al.* (2003), destacaron que el %FCres era un buen indicador del Vo₂ de reserva y una buena herramienta para determinar el grado de intensidad de AF, incluso si padecían una enfermedad denominada *neuropatía diabética autónoma*, según la cual los individuos tienen una FCrep aumentada y una FCmax reducida. Además, estos autores consideraron que la RPE también era una herramienta válida en estos casos, aunque menos precisa que la FCres.

Así, la FC y la RPE han seguido un camino paralelo y asociado desde que la última surgió, cuestión que aún hoy parece inevitable. Aunque existen autores que las utilizan separadamente, son la mayor parte de los casos en los que su utilización se da conjuntamente. De lo que no hay duda es que ambas resultan de utilidad para prescribir AF o entrenar desde la perspectiva del alto rendimiento deportivo, a pesar de las limitaciones que éstas puedan tener según el contexto.

⁹ El componente lento del Vo₂ se define como la zona de intensidad por encima del UAN, en la que el comportamiento del mismo no responde de la manera lineal en que lo venía realizando hasta entonces, aplanándose, a pesar de que la intensidad de la carga se siga incrementando de forma lineal. Este comportamiento se suele dar en la finalización de un test incremental máximo (López-Chicharro y Fernández-Vaquero, 1998).

Para concluir, mostramos las escalas más populares utilizadas en numerosos estudios y trabajos de campo y/o entrenamiento deportivo.

6	Ningún esfuerzo
7	
8	Extremadamente Ligero
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro (pesado)
16	
17	Muy duro
18	
19	Extremadamente duro
20	Máximo esfuerzo

Figura 1. Escala 6-20 RPE de Borg (Borg, 1998, 2001).

0	Absolutamente nada	Sin intensidad
0.3		
0.5	Extremadamente débil	Justamente perceptible
0.7		
1	Muy débil	
1.5		
2	Débil	Ligero
2.5		
3	Moderado	
4		
5	Fuerte	Pesado
6		
7	Muy fuerte	
8		
9		
10	Extremadamente fuerte	Máxima intensidad
11		
∞		
•	Absolutamente máximo	Lo más posible

Figura 2. Escala category-ratio de Borg -CR10- (2001).

Una escala peculiar para estimar el tiempo de recuperación necesario en trabajo interválico fue propuesta por Nurmekivi *et al.* (2001). Esta escala surgió con la pretensión de que los corredores de media distancia que utilizan el entrenamiento interválico (p.e. en este caso 4 x 2000m) supieran con mayor precisión cuándo debían comenzar la siguiente repetición. Así, en base a la concentración de lactato, validaron una escala mediante la cual los sujetos podrían estimar cuándo estaban en la mejor disposición para comenzar de nuevo a ejercitarse y procurar así el mejor estímulo de entrenamiento. Encontraron correlaciones de $-0,36$ y $-0,56$ ($p < 0,05$)

entre la concentración de lactato en sangre y los valores estimados en la escala. Estos autores sugirieron que la escala era muy útil para aquellos trabajos interválicos en los que el tiempo de recuperación entre ejecuciones juega un papel importante. La escala, poco conocida, es la siguiente (figura 20):

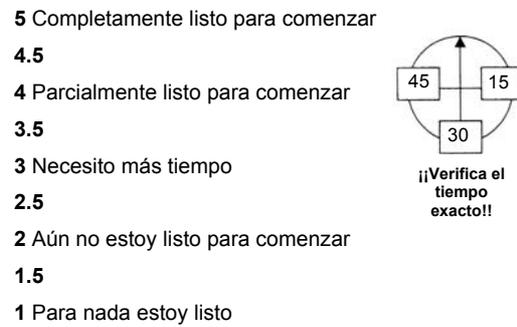


Figura 3. Escala para percibir la recuperación en trabajo interválico (Nurmekivi et al., 2001).

<p>LA FRECUENCIA CARDIACA Y LA PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO -Teoría básica para los deportistas jóvenes en iniciación-</p>

En estos apuntes tratamos de responder a las preguntas más frecuentes:

-¿Qué es una pulsación?

Una contracción del músculo cardíaco. Podemos percibirla, ya que notamos cómo el corazón realiza esa contracción o acción de bombear sangre para expulsarla, suponiendo una descarga o sacudida de actividad eléctrica. Pulsación es igual a un bombeo del corazón, sinónimo de latido.

-¿Qué es la Frecuencia Cardíaca?

La FC se puede definir como el número de contracciones ventriculares por minuto efectuadas por el corazón (medida generalmente en lat min^{-1} o ppm) o, más sencillamente, el número de latidos que el corazón realiza, expresado generalmente en ppm.

Estas contracciones responden a las necesidades sanguíneas y, por tanto, nutritivas que el organismo precisa como “combustible” para satisfacer sus funciones vitales y AF. Simplemente porque la sangre transporta ese combustible, fundamentalmente oxígeno, por sus arterias a aquellos órganos que lo necesitan para realizar sus funciones. El corazón actúa como una bomba que envía esa sangre “oxigenada” a esos órganos mediante lo que denominamos contracción ventricular o sístole. A la recuperación o tiempo de relajación del músculo cardíaco tras la sístole llamamos Diástole. Esa consecución de sístole y diástole de manera rítmica compone las ppm, siendo la pulsación lo que percibimos como respuesta de la eyección sanguínea. Esta eyección o contracción muscular genera una corriente eléctrica que los pulsómetros o interpretan como una pulsación. Más desarrollados aunque complicados son los electrocardiogramas, los cuales descomponen la actividad cardíaca en cada una de sus fases.

-¿Cómo puedo medir la FC?

Existen diferentes procedimientos, de los cuales destacamos:

a) Palpación del pulso: con un reloj y mis propias manos.

Parece que la palpación con los dedos índice y corazón sobre la arteria carótida (cuello) no es una técnica demasiado apropiada, aconsejándose registrar la FC en la arteria temporal (sien) o en la radial. Lo más habitual es la toma de pulsaciones en la arteria radial (muñeca), colocando sobre ella los dedos índice y corazón.

Pero, ¿durante cuánto tiempo? Se pueden tomar las pulsaciones en fracciones del minuto y multiplicar para hallar las ppm:

-Durante 5" o 6": se multiplicarían las pulsaciones tomadas por 12 o por 10 para hallar las ppm, respectivamente. En este tiempo es difícil y requiere práctica. Su ventaja es que la FC puntual la toma sin que ésta haya descendido por efecto de la recuperación, y su inconveniente es que una sola pulsación procura un error bastante grande al multiplicar por un número tan grande posteriormente.

-Durante 15": No presenta mucha dificultad y el eventual error perceptivo es mucho menor al multiplicar las pulsaciones medidas por cuatro. Su desventaja es que la FC se puede subestimar al haber podido descender esta durante esos 15".

-Durante 10": se multiplicaría por 10 las pulsaciones medidas. Este procedimiento se considera bastante fiable y aún a las principales ventajas de los otros dos métodos anteriores.

b) Electrocardiografía: registro gráfico de la actividad eléctrica procedente del miocardio. No registra las contracciones del corazón sino los fenómenos eléctricos que le preceden. Este método no es interesante para nosotros, su aplicación tiene más que ver con el ámbito médico para detectar disfunciones o comprobar el funcionamiento detallado del corazón en sus diferentes fases.

c) Pletismografía: registro de los cambios de volumen sanguíneo en una extremidad. p.e., con un pletismógrafo de dedo se detectan los cambios en el volumen del mismo y con ello las pulsaciones. Y es que las pulsaciones arteriales aumentan momentáneamente el volumen sanguíneo en las extremidades. Al igual que el anterior, este método no está a nuestro alcance en EF o práctica de AF

habitual y, además, no es recomendable en comparación, como veremos, con el pulsómetro.

d) Pulsómetro: es un aparato compuesto por un sensor que recibe y emite el pulso que detecta y de un receptor de pulsera que recibe esa información previamente detectada por el sensor que se la ha emitido. Los pulsómetros modernos están basados en un sensor que recibe los latidos del corazón provenientes de la contracción y señal eléctrica correspondiente a cada contracción. Por su parte, un receptor de pulsera con cronómetro incorporado establece las ppm del sujeto cada 5" (incluso existen actualmente los que miden el tiempo en milisegundos de latido a latido). Así, con una banda de goma que cobija un sensor alimentado por una pequeña pila y un receptor colocado en la muñeca como un reloj de pulsera, estos aparatos pueden registrar y almacenar la FC de un sujeto y posteriormente volcarla a un PC para su posterior análisis pormenorizado. Este aparato es el que aprenderemos a utilizar en clase de EF, además aprender y acabar dominando la medición manual.

-¿Qué es la FC máxima?

La FC máxima es el mayor número de latidos que puede alcanzar el corazón en un minuto, que es individual para cada persona. Existe una fórmula para conocerla que es $220 - \text{edad}$ en chicos y $226 - \text{edad}$ en chicas. ¡Calculadla! Esta fórmula es la más básica y puede servirnos de orientación, aunque ha sido bastante criticada por algunos expertos. Una alternativa más avanzada y actual, siempre que no podamos hacer un esfuerzo tal que nos suponga alcanzar la FC máxima, es la siguiente fórmula de *Ball State*:

$$\text{En hombres: FC máxima} = 209 - (0,7 \times \text{edad})$$

$$\text{En mujeres: FC máxima} = 214 - (0,8 \times \text{edad})$$

Otra fórmula recomendada por los expertos es la del *grupo de Inbar*:

$$\text{En hombres y mujeres: FC máxima} = 205,8 - (0,685 \times \text{edad})$$

Utilizadlas todas y comparadlas, para escoger una entre las de *Ball State* o *grupo de inbar*. Así conoceréis vuestra FC máxima teórica. ¿Alguna vez habéis alcanzado una FC más alta que la que os sale en la fórmula?

-¿Qué es la FC de reposo?

La FC de reposo se puede definir como aquella FC mínima que el sujeto utiliza en estado de reposo, como límite inferior de su FC útil, o el mínimo número de ppm que un individuo es capaz de utilizar en situación favorable de reposo. Generalmente, se suele medir en situación decúbito supino tras despertarse por la mañana, sedente o de pie (siempre en reposo y a la misma hora del día). ¡¡¡Tomáosla los próximos días!!!

-¿Qué es la FC de Reserva?

La FC de Reserva ó FC útil se determina por el número de pulsaciones que puedo utilizar desde las de reposo hasta las máximas alcanzables, es decir, la FC Máxima menos la FC de Reposo. (p.e. 205 FC máxima; 60 = FC reposo; luego FC de Reserva = $205 - 60 = 145$ pulsaciones útiles).

Ésta es muy importante, pues determina el rango individual de pulsaciones que cada uno tiene disponible. Con ella calcularemos los porcentajes individuales de intensidad relativos a nuestro máximo, tal y como veremos más adelante.

-¿Para qué me sirve la FC?

El número de latidos o veces que el corazón bombea sangre para abastecer a nuestro organismo está en relación directa con la intensidad de nuestro ejercicio. Los músculos activos necesitan sangre, porque el oxígeno y nutrientes que la sangre transporta son necesarios para que en el músculo se utilicen como energía y así se desarrolle la contracción muscular y el posterior trabajo y/o movimiento. A mayor intensidad, mayor número de veces tendrá que latir el corazón para dotar de suficiente sangre a nuestros músculos activos.

La FC nos es útil para saber a qué velocidad trabaja nuestro corazón en relación a la intensidad del ejercicio físico. Por tanto, al estar en estrecha relación la FC con la intensidad del ejercicio, si sabemos nuestra FC de reserva ó útil, ésta nos puede ayudar a regular la intensidad del ejercicio estableciendo porcentajes de intensidad respecto de nuestro máximo alcanzable.

Las utilidades en nuestro entrenamiento se centrarán en:

-Controlar la intensidad de nuestro entrenamiento, saber si estamos por encima o por debajo de la FC deseada o que nos ha marcado nuestro entrenador.

-Controlar el sobreentrenamiento. Midiendo la FC justo al levantarnos por la mañana, veremos su evolución. Si habitualmente es de p.e. 50 ppm y tras varios entrenamientos sube a 55-58 ppm al tiempo que nos vemos algo faltos de “chispa”, puede ser un índice de sobreentrenamiento. Igualmente, si en competición nos cuesta “subir de pulsaciones”, puede ser que estamos fatigados y habría que recuperar... en cualquier caso, hablad con vuestro entrenador sobre ello.

-¿Qué es la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)?

Traducido del inglés “*Rating of Perceived Effort*” -RPE-, trata de las sensaciones que uno mismo tiene acerca de la intensidad a la que percibe o cree estar esforzándose. Así, según nuestra propia sensación de calor corporal (en relación también con el ambiental), de la velocidad de nuestra respiración, de la FC, localización del esfuerzo en unos pocos o más músculos,... así tendremos nuestra sensación final de esfuerzo. Es evidente que a mayor intensidad y/o duración del trabajo, mayor esfuerzo se debería sentir. Esta RPE se puede valorar en una escala numérica (p.e. de 0 a 10 ó de 6 a 20 como la que utilizamos).

-¿Cómo se debe regular la intensidad del ejercicio?

No se debe practicar tan intensamente como se pueda y detenerse si no se puede más, sino que se debe regular según las sensaciones que uno tiene, para no tener que detenerse antes de tiempo. Es decir, debemos controlar nuestras sensaciones para saber a qué intensidad de esfuerzo vamos según cada tarea. Es evidente que si un ejercicio lo debemos mantener una hora, la intensidad a la que podamos

hacerlo será mucho menor que si tuviéramos que mantenerlo durante 30 segundos. Por tanto, en función de la duración (tiempo) y de la dureza de cada tarea, así será nuestra intensidad de ejercicio y nuestro esfuerzo. Por eso es tan importante la RPE, que es la intensidad a la que yo creo que estoy esforzándome. De ahí que conocer la FC me ayuda a sentir cuánto me estoy esforzando según mis posibilidades individuales y a regular mi esfuerzo según mi capacidad y el objetivo que busco con un ejercicio concreto.

-¿Existen diferentes tipos de ejercicios según diferentes objetivos o para utilidades diferentes?

Según el objetivo de la tarea, la intensidad de mi esfuerzo deberá ser mayor o menor. El ejercicio AERÓBICO es moderado y se puede mantener la intensidad sin problemas durante bastante tiempo según se vaya aumentando la intensidad y el ejercicio ANAERÓBICO es de muy alta intensidad y corta duración.

El ejercicio aeróbico está más indicado para la actividad física saludable y el ejercicio anaeróbico para la mejora del rendimiento, aunque todo es bueno practicándolo adecuadamente y esto no quiere decir que el ejercicio anaeróbico no pueda ser también saludable.

La FC nos es muy útil para saber qué tipo de ejercicio estamos haciendo, ya que por encima del 90% de nuestra FC de Reserva estamos trabajando ejercicio de tipo anaeróbico. Por debajo de ese 90%, encontraremos ejercicio de tipo aeróbico, que cuanto más moderado sea más tiempo se puede mantener en el tiempo y más saludable es, siendo deseable que el ejercicio esté por encima del 50% de la FC de Reserva.

-Pero... ¿Cómo hallo ese porcentaje de mi FC de Reserva?

Por ejemplo, si mi FC máxima es 205 y mi FC de reposo es 60, mi FC de Reserva será de 145. Simplemente tendré que multiplicar esa FC de Reserva por el porcentaje que quiero hallar dividido por 100 (0,5; 0,6; 0,7...) y sumarle de nuevo la FC de Reposo que en este caso es 60.

Suponiendo que mi FC máxima sea de 205 ppm, $205 - 60$ sería mi FC de reposo = 145, $145 \times 0,9 = 130,5$. Finalmente le sumo la FC de reposo de nuevo, $130,5 + 60 = 190,5$; es decir, aproximadamente 190 ò 191 pulsaciones por minuto sería el 90% de mi FC de reserva. Esto quiere decir que por encima de 190-191 pulsaciones por minuto estaría trabajando ejercicio de tipo anaeróbico, cuyos objetivos son diferentes a los del ejercicio de tipo aeróbico.

-Entonces, ¿Cuáles son mis Umbrales para determinar las diferentes intensidades de ejercicio?

-Umbral Aeróbico de Base: Entre el 50% y 70% aproximadamente de la FC de Reserva. Ejercicio muy apropiado para utilizar la grasa como energía.

-Umbral Aeróbico Extensivo: Entre el 70% y 80% aproximadamente de la FC de Reserva.

-Umbral Aeróbico Intensivo: Entre el 80% y 90% aproximadamente de la FC de Reserva.

-Umbral Anaeróbico: A partir del 90% aproximadamente de la FC de Reserva. Este trabajo está más indicado para entrenamiento de competición.

¡¡¡Calculad vuestros porcentajes!!!

A mayor intensidad menos tiempo se puede mantener el tiempo de ejercicio y más se relaciona con el rendimiento, siempre que se trabaje adecuadamente. Así, para beneficiar la quema de grasa y mejorar la salud, será más indicado el ejercicio Aeróbico de base o extensivo mantenido durante, aproximadamente, 20 minutos ó más (según cada caso y con prudencia).

Las indicaciones para desarrollar la condición física aeróbica se resumen en: involucrar grandes grupos musculares (correr, nadar, montar en bici, Aerobic...) de 3 a 5 días a la semana a una intensidad equivalente al 60-90% de la FCmax o el 45-85% de la FC de reserva durante, al menos, 20 minutos dependiendo de la intensidad mantenida.

¡¡¡Calculad vuestros porcentajes!!!

¿Hay alguna consideración que deba tener en cuenta cuando utilice la FC para regular mi esfuerzo?

Sí, es importante saber que:

1. La FC es algo más alta cuando hace mucho calor y algo más baja cuando hace mucho frío, tendiendo a sobreestimar o subestimar, respectivamente, la intensidad de la AF.
2. Hay ciertos medicamentos que influyen en mi FC, algunos al alza y otro a la baja. Esto puede hacer que mi FC no trabaje como lo puede hacer habitualmente. Consulta los prospectos de los medicamentos también a este respecto o pregunta a tu médico.
3. La cafeína aumenta la FC ligeramente, ya que es un estimulante (al igual que algunos medicamentos, tal y como hemos visto anteriormente). Algo similar ocurre cuando nuestra Adrenalina surge como respuesta de defensa ante un susto o peligro espontáneo, nuestra FC sube rápidamente como mecanismo de defensa que nos predispone físicamente a la situación adversa.
4. Si me deshidrato por no beber, mi FC aumentará ligeramente. A su vez, durante un ejercicio constante muy prolongado la FC tiende a subir gradualmente un poco (no es siempre constante a igual trabajo si éste es muy extenso).

Todas las anteriores indicaciones se refieren a situaciones especiales y nos deben ayudar a regular la intensidad de nuestro esfuerzo, si se diesen estas

condiciones singulares en las que podamos estar ejercitándonos. p.e., puede que a la misma velocidad de carrera continua un día a 40° C trabaje a 150 ppm y otro día a 5° C y a la misma velocidad trabaje a 140 ppm. Ya sabremos porqué y por eso no nos obligaremos el día de frío a subir hasta las 150 ppm.

Y si quieres saber más, simplemente pregunta a tu entrenador que, posiblemente, conozca sobre el tema mucho más y, más importante aún,... ¡¡¡te conozca a ti mejor de lo que tú crees conocerte!!!