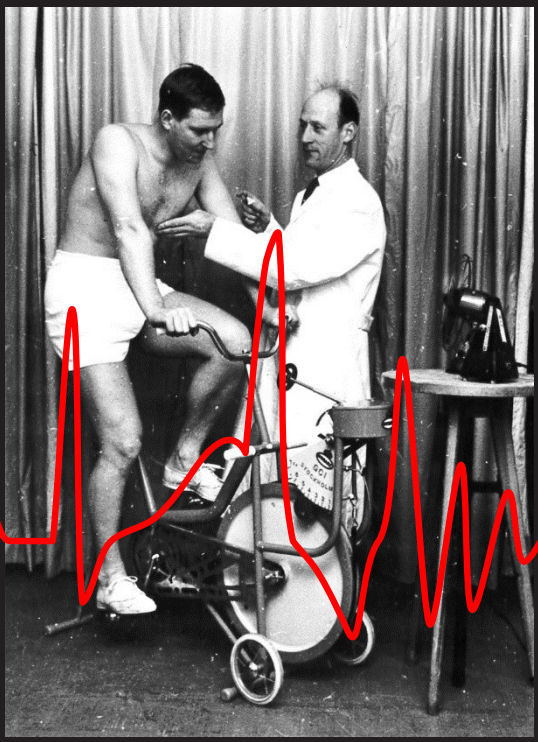


La frecuencia cardiaca en la valoración del deportista:
un recorrido por la historia

José Naranjo Orellana
Claudio Nieto Jiménez

SMD

La frecuencia cardiaca en la valoración del deportista: un recorrido por la historia

José Naranjo Orellana

Claudio Nieto Jiménez

índice

00

7 Prólogo

01

9 Los antecedentes: de 1900 a 1925

10 1.1. Los primeros experimentos de Krogh y Lindhard
11 1.2. Las mediciones de eficiencia en educación física de George Maylan
12 1.3. La prueba de eficiencia física de Wilfred Foster
13 1.4. La eficiencia del cuerpo humano como máquina
16 1.5. Primeras pruebas basadas en la FC para determinar la eficiencia física (1916 - 1919)
18 1.6. ¿Qué valores de FC son normales en reposo?
20 1.7. La prueba del escalón y el Cociente de Pulso
24 1.8. Burton y las pruebas de eficiencia
25 1.9. El test de Schneider y Truesdell
26 1.10. Aportaciones relevantes del capítulo

02

29 El auge de las pruebas de escalón: de 1925 a 1940

30 2.1. Pruebas de eficiencia física enfocadas en mujeres y otras novedades
32 2.2. La prueba de escalón de Master y Oppenheimer (1929)
35 2.3. Los trabajos de W. W. Tuttle: 1930-1938
40 2.4. Valoración de las aportaciones de Tuttle
41 2.5. Revisiones sobre la validez de las pruebas cardiovasculares: Larson (1939) y Murphy (1940)
44 2.6. Aportaciones relevantes del capítulo

03

47 El laboratorio de la fatiga de Harvard (1927-1947)
48 3.1. Los trabajos de David Bruce Dill
52 3.2. Sid Robinson y sus estudios sobre la FC
56 3.3. Lucien Brouha y el test de Harvard
59 3.4. Aportaciones relevantes del capítulo

04

63 El auge de los nomogramas: “la conexión nórdica” (1930-1950)
64 4.1. Erik Howu Christensen y la FC como variable indicativa de la intensidad del esfuerzo
66 4.2. La prueba de condición física de Sjöstrand: PWC-170
67 4.3. La tesis doctoral de Per-Olof Åstrand
68 4.4. Consideraciones de Åstrand sobre la FC máxima
72 4.5. Consideraciones de Åstrand sobre el consumo de oxígeno y la FC
74 4.6. Consideraciones de Åstrand sobre los test de condición física basados en la FC
75 4.7. Consideraciones sobre la capacidad de los niños para trabajos pesados
76 4.8. Irma Ryhming y la prueba del escalón de Harvard modificada
78 4.9. Un Nomograma para el cálculo de la capacidad aeróbica a partir de la FC
79 4.10. Aplicación del Nomograma
81 4.11. Irma Åstrand y la capacidad de trabajo físico en hombres de 50 a 64 años
82 4.12. La FC en el trabajo con las piernas o los brazos
82 4.13. Aportaciones relevantes del capítulo

05

87 La frecuencia cardiaca en situaciones especiales (1950-1970)
87 5.1. La FC en altitud
92 5.2. La FC en diferentes tipos de actividad muscular
94 5.3. La FC y el envejecimiento
96 5.4. La FC y la aclimatación al calor
97 5.5. La FC y la estimación del VO2max
100 5.6. Aportaciones relevantes del capítulo

06

105 La variabilidad de la frecuencia cardiaca
108 6.1. Métodos de análisis de la VFC en el rendimiento deportivo
109 6.2. Métodos Lineales en el dominio del tiempo
110 6.3. Métodos Lineales, en el dominio de Frecuencia
111 6.4. Gráfico de dispersión de Poincaré
113 6.5. Aplicaciones de la VFC en el entrenamiento
116 6.6. Ideas relevantes del capítulo

Anexo I

121 El problema de la frecuencia cardiaca máxima

Anexo II

127 La frecuencia cardiaca en la determinación de los umbrales

Anexo III

133 La frecuencia cardiaca y el control de las cargas de trabajo. TRIMP

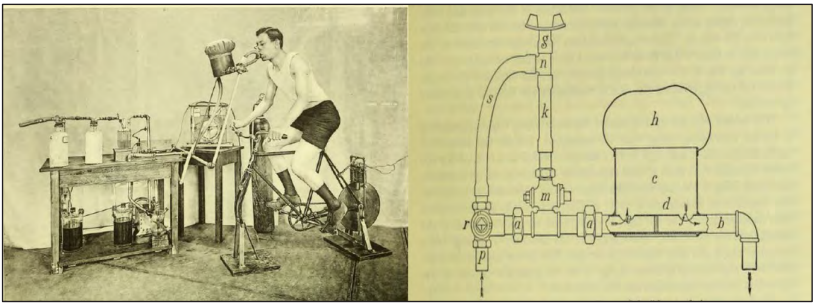
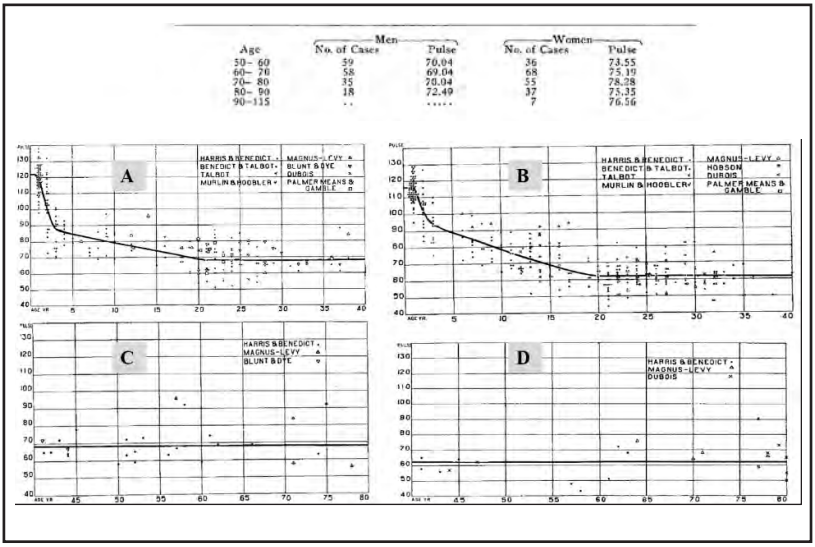


Figura 1.1. Imagen de Francis Gano Benedict (1870-1957) con las diferentes válvulas del ecualizador de presión del primer cicloergómetro que permitía mantener un esfuerzo a intensidad constante. Tomada de https://wellcomelibrary.org/item/b28075146#. Pág. 29. Fuente: Autorizada por "Wellcome Collection".

"…Las relaciones íntimas entre la FC y el metabolismo tan regularmente notado en este laboratorio condujeron a un intento de asegurar la FC durante estos experimentos. Cuando el sujeto estaba acostado tranquilamente sobre el sofá, las observaciones se hicieron con la mayor fidelidad y regularidad y se convirtieron en una parte integral de cada período individual. Cuando los sujetos fueron medidos sobre el ergómetro, era muy difícil asegurar registros de la FC, aunque se hicieron por medio del estetoscopio y ocasionalmente del pulso radial. Si bien las observaciones se hicieron en prácticamente todos los experimentos, no fueron de ninguna manera tan frecuentes como hubiéramos querido, y obviamente alguna otra forma de técnica será esencial para estudiar satisfactoriamente la FC en estas condiciones. Cuando se hicieron los experimentos, no teníamos galvanómetro de cuerda ni osciloscopio a nuestra disposición para asegurar tales registros…"[9].

Benedict y Cathcart pusieron atención a las relaciones entre la FC, el músculo y el grado de descanso muscular que observaron durante el reposo y el trabajo muscular moderado y severo. Decían que la FC y el gasto metabólico estaban íntimamente relacionados, y no se equivocaban porque hoy sabemos que la FC es una función lineal del VO_2. Aunque en su estudio se hicieron innumerables registros de FC, solo publicaron 4 gráficas sobre sus observaciones en 4 tipos de ejercicios con una duración entre 60 y 80



Age	Men: No. of Cases	Men: Pulse	Women: No. of Cases	Women: Pulse
50– 60	59	70.04	36	73.55
60– 70	58	69.04	68	75.19
70– 80	35	70.04	55	78.38
80– 90	18	72.49	37	75.35
90–115	..	.....	7	76.56

Figura 1.2. Imagen de Sutliff, & Holt, (1925) "The age curve of pulse rate under basal conditions". Se muestran los datos de la curva de la FC basal en relación con la edad para las mujeres (A) y los hombres (B) de 1 a 40 años, así como mujeres (C) y hombres (D) de 40 a 80 años. Imagen tomada de: doi:10.1001/archinte.1925.00120080076007.

hasta los 20 años. A partir de esta edad, la FC de reposo permanece en valores más o menos estables en torno a 60 l.p.m para los hombres y 70 l.p.m para las mujeres.

1.7. La prueba del escalón y el Cociente de Pulso

La utilización de pruebas de esfuerzo basadas en la FC no nació precisamente del campo deportivo, pero adquieren gran relevancia en este campo con los trabajos de *Hunt G.H. y Pembrey M.S* en 1921[16] en los que establecen las bases para la utilización de la FC como índice de respuesta al ejercicio y describen por primera vez un indicador numérico, al que denominaron *"cociente de pulso".*

simple como para ser utilizada en una clínica, un consultorio médico o en deportes y juegos.

La prueba que adoptaron consistía en ascender y descender dos alturas de escalón un número variable de veces en un período de tiempo determinado. La prueba era estándar y permitía la medición exacta del trabajo realizado para individuos de cualquier peso, de forma que la única variación posible era la del ritmo de subida y bajada que era una variación fácilmente regulable.

Para ello idearon un sencillo escalón de dos peldaños hecho de madera y al que había que subir por un lado y bajar por el otro (Figura 2.1). Cada peldaño tenía exactamente 9 pulgadas de alto (23 cm).

Se medía la presión arterial y la FC en reposo antes de iniciar la prueba. A una señal dada el sujeto subía los escalones y descendía por el otro lado, giraba y realizaba una nueva subida en la dirección contraria, bajando y volviendo a girar para emprender una nueva subida repitiendo de nuevo hasta

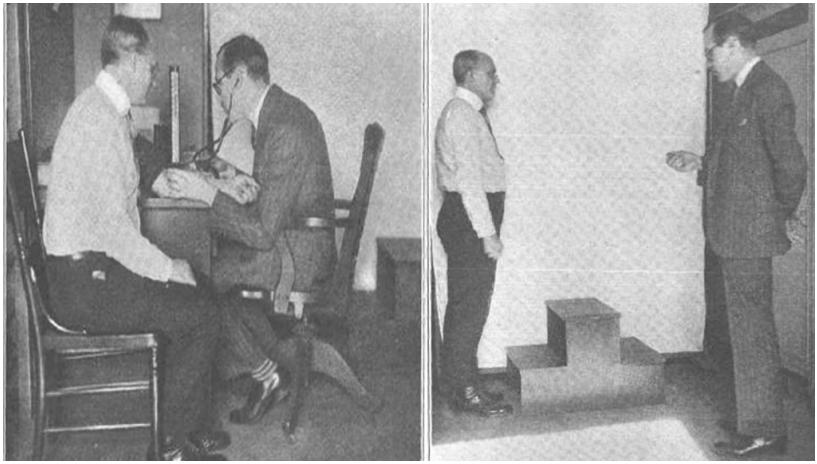


Figura 2.1. Imagen del manuscrito Master y Oppenheimer (1929) *A simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals.* A la izquierda se muestra la medición de los ritmos cardiacos y presiones arteriales antes de la prueba del escalón. A la derecha un test a punto de comenzar.

realizar el número de ascensos asignados en un minuto y medio (Figura 2.2). El giro en un lado se hacía hacia la izquierda y en el otro lado hacia la derecha, para evitar posibles mareos o alteraciones de la FC y la presión. Al finalizar el test se volvían a tomar datos de FC y presión arterial, evaluando la tolerancia del sujeto en función del tiempo empleado para volver a los valores de reposo.

Los investigadores estudiaron a 115 sujetos sanos, 59 hombres y 56 mujeres, de edades comprendidas entre los 10 y los 74 años. Los individuos examinados fueron elegidos entre diferentes ocupaciones y se excluyeron los extremos como los atletas, los sujetos muy obesos, los anormalmente delgados, etc.

Los autores obtienen así datos de la capacidad de trabajo en sujetos normales relacionándolas con la edad, el peso y la talla. En relación con la edad se produce un aumento de la capacidad de trabajo hasta aproximadamente los 20 años y a partir de ahí se experimenta un descenso continuo,

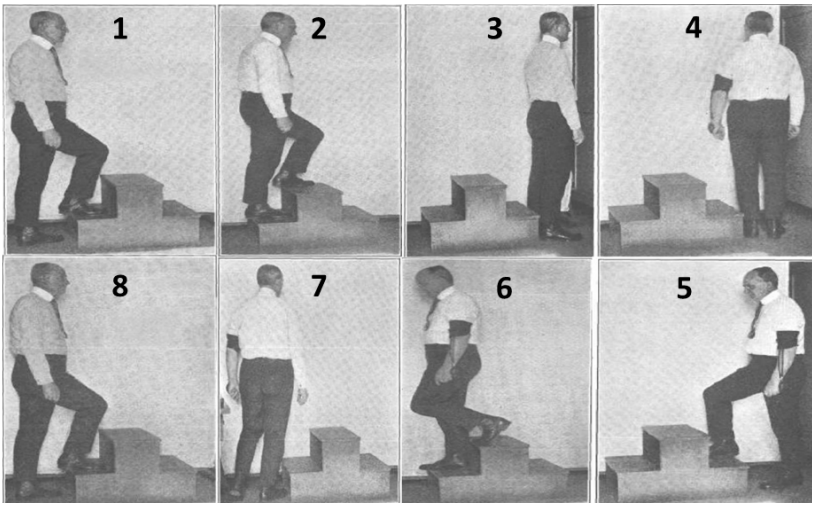


Figura 2.2. Imagen del manuscrito Master y Oppenheimer (1929). *A simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals.* Muestra la serie de subida y bajada del escalón y los giros hacia la izquierda y derecha para evitar el mareo.

científica al estudio del ser humano en acción. Publicó más de 100 artículos y contribuyó a muchos textos de fisiología del ejercicio…"

En 1939 Robinson regresó a la Universidad de Indiana con un nombramiento en el departamento de Fisiología, donde creó un programa de investigación de prestigio nacional en Fisiología del ejercicio y ambientes extremos, investigaciones en las que él mismo se implicaba con frecuencia (Figura 3.1).

En 1937 publicó junto a Edwards y Dill un artículo especial titulado *"New records in human power"*[19] en el que estudiaron a cinco atletas de élite internacional y los compararon con sujetos no entrenados. En el grupo de atletas estaban: Don Lash, récord mundial en las 2 millas; Glenn Cunnin-

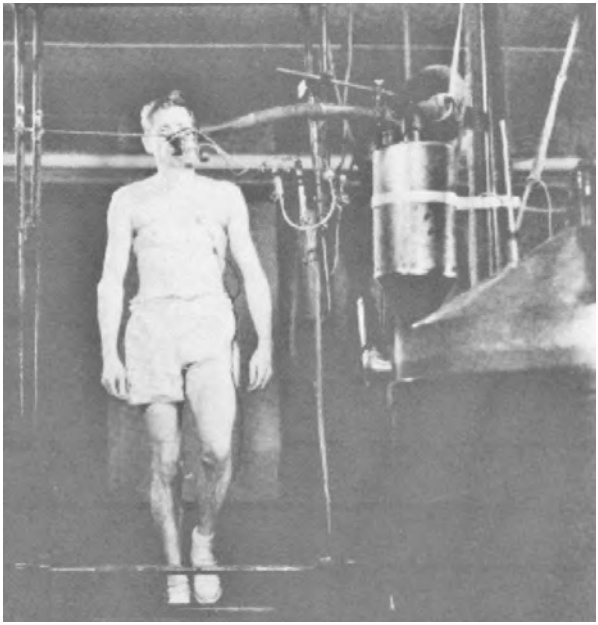


Figura 3.1. Sid Robinson en un tapiz rodante durante una medición de consumo de oxígeno en el Laboratorio de Fatiga de Harvard en 1938. Imagen tomada de: blogs.bmj.com/bjsm/2016/03/20/retrospective-part-i-american-pioneers-in-distance-running-research/ Con autorización de Phil Sparling, Profesor Emérito del Instituto de tecnología de Georgia.

También estudió los valores de FC a diferentes edades durante un ejercicio a carga constante consistente en una caminata a 5,6 km/h con una pendiente del 8,6%. Los niños de 6 años (n=7) presentaron una FC media de 170 l.p.m; los de 8 a 12 años (n=10) 160 l.p.m; los sujetos de 20 a 29 años (n=13) 141 l.p.m y, por último, 7 sujetos con edades entre 59 y 71 mostraron una FC media de 134 l.p.m. Para Robinson esta información permitía identificar una disminución gradual de la FC con la edad y él atribuía las altas FC observadas en los sujetos jóvenes a una mayor estimulación simpática. Igualmente, Robinson señala que los niños más pequeños muestran una disminución de la FC media durante la última parte del trabajo, con una media de 9 latidos en los últimos dos minutos.

Con respecto al ejercicio de carácter máximo, Robinson observó que los jóvenes alcanzaban valores sorprendentemente altos de FC en comparación con las personas mayores. En la Figura 3.2 se observa la relación inversa

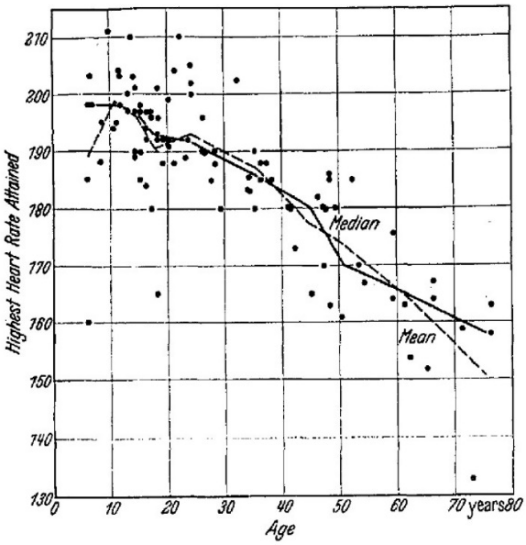


Figura 3.2. Imagen del manuscrito original de Sid Robinson: *"Experimental studies of physical fitness in relation to age",* 1938. Se muestran los valores máximos de FC alcanzados durante un ejercicio exhaustivo en relación con la edad.

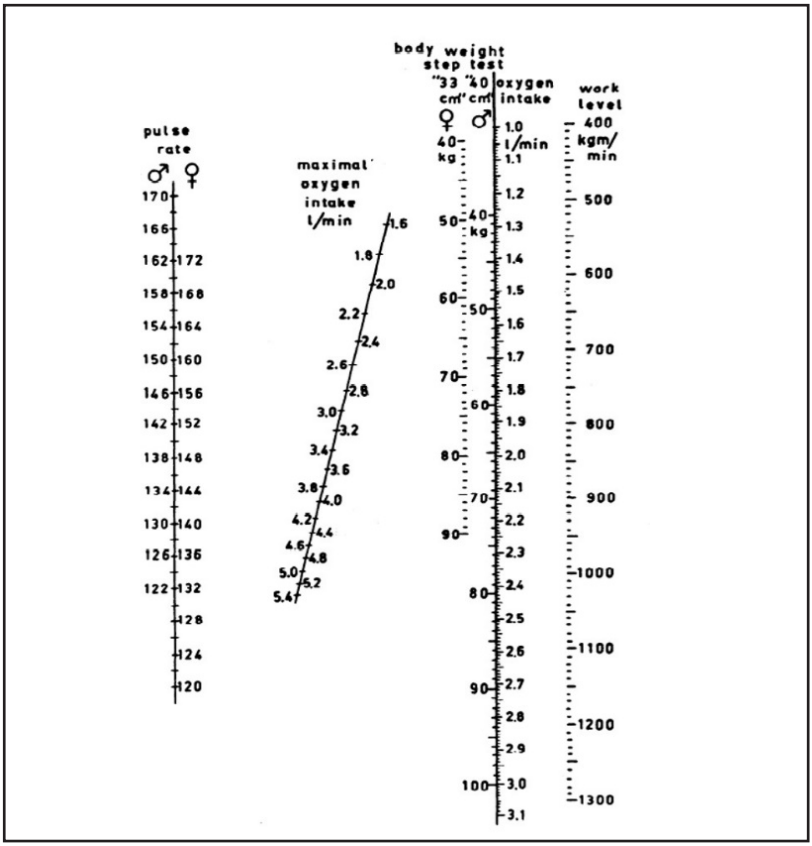


Figura 4.3. Del manuscrito original de Åstrand y Ryhming: *"A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal works",* del año 1954. Se muestran los valores de FC y consumo de oxígeno durante una prueba sub-máxima (prueba de ciclo o prueba del escalón). En experimentos donde el consumo de oxígeno no está determinado, puede estimarse leyendo horizontalmente desde la escala de "peso corporal" (prueba del escalón) o escala de "nivel de trabajo" (prueba de ciclo) a la escala de "consumo de oxígeno".

línea de identidad. Son muchos los estudios que pueden encontrarse en la literatura en los que se evidencia que el SD1 presenta un comportamiento idéntico a la RMSSD. La idea principal aportada por Tulppo y colaboradores[32] es que el diámetro transversal SD1 se comporta de forma proporcional al estímulo parasimpático, mientras que el longitudinal SD2 lo hace de forma inversamente proporcional al simpático. De esta forma, mientras que una reducción del estímulo parasimpático se acompañará de una reducción de SD1, un aumento del estímulo simpático se acompañará de un acortamiento de SD2. Por tanto, durante el ejercicio (que están presentes estas dos circunstancias) observaremos una reducción global de la nube.

La Figura 6.2 (A) muestra la representación del grafico de dispersión de Poincaré con sus diámetros transversal (SD1) longitudinal (SD2) a través de la línea de identidad. La Figura 6.2 (B) muestra el cambio de forma de la nube al pasar del reposo al ejercicio.

Tulppo propuso la utilización del cociente SD1/SD2 como un indicador de la relación entre las ramas simpática y parasimpática del SNA. Sin embargo, los resultados de este cociente resultaban muy contradictorios, debido a que ambas variables evolucionan en el mismo sentido de aumento o disminución[12].

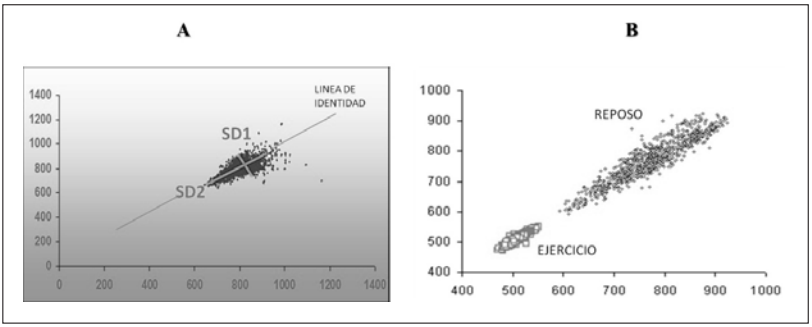


Figura 6.2. Muestra la representación del grafico de dispersión de Poincaré con sus diámetros transversal (SD1) longitudinal (SD2) a través de la línea de identidad, así como el cambio de forma de la nube al pasar del reposo al ejercicio. Tomado de: Naranjo-Orellana, J. (2018). Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca. Fundamentos y aplicaciones a la actividad física y el deporte. Sevilla: Fénix Editora. (Con permiso del autor).

La frecuencia cardiaca en la valoración del deportista: un recorrido por la historia

La frecuencia cardiaca es con toda seguridad la variable más utilizada para tener una aproximación a la magnitud de un esfuerzo físico. Es también de las más antiguas.
Sin embargo, resulta poco conocido el contexto en el que esta variable comenzó a utilizarse y poca gente conoce cómo y cuándo se inició este hábito tan extendido actualmente o las dificultades que supuso incluso ponerse de acuerdo en los valores normales.
Este libro no solo analiza minuciosamente la utilidad concreta que la frecuencia cardiaca tiene y ha tenido en la valoración funcional de un deportista, sino que recoge un trabajo de varios años en el que, a partir de artículos originales que arrancan en 1912, los autores realizan con toda rigurosidad una reconstrucción histórica de los principales hitos que fueron teniendo lugar en la utilización de la frecuencia cardiaca.
El texto irá guiando al lector a través del contexto establecido por las dos guerras mundiales o el desarrollo de las escuelas europeas y norteamericanas en Fisiología del Ejercicio, junto al papel jugado por grandes personalidades como Tuttle, David Dill, Sid Robinson, Lucien Brouha, Per-Olof Åstrand o Irma Ryhming, entre muchos otros.
Se trata de un texto imprescindible para tener un mejor conocimiento de la utilidad y los límites de la frecuencia cardiaca y de su historia, íntimamente ligada a la propia historia de la Fisiología del Ejercicio.