

## Maximal Fat Oxidation by Heart Rate Variability in Physically Active Subjects

Sebastián Sáez-Olivares<sup>1</sup>, Johanna Pino-Zúñiga<sup>2</sup>,  
Mariela Olivares-Gálvez<sup>2</sup> and Jorge Cancino-López<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Sciences, Universidad Mayor, Chile, <sup>2</sup> Centre for Nutrition and Bariatric Surgery, Clínica Las Condes, Chile, <sup>3</sup> Exercise Science Laboratory, School of Kinesiology, Finis Terrae University, Chile

### Abstract

**Introduction:** the objective of this study is to identify the intensity of the maximal fat oxidation point (Fatmax) and its relationship to the first heart rate variability threshold (HRVT1). **Subjects and methods.** 23 subjects (10 M; 13 W), BMI  $24.3 \pm 3.1$  kg/m<sup>2</sup>, age  $32 \pm 10$  years, physically active ( $\geq 600$  METS minute-week), performed an incremental step test on a cycloergometer.  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , HRV and fat oxidation were recorded for each stage. Measurements of central tendency, mean contrast, correlation coefficient and Bland-Altman plot analysis were used for the statistical analysis. **Results.** The values for Fatmax vs. HRVT1 were  $48.7 \pm 7.1$  vs.  $55.4 \pm 9.2$  % $\dot{V}O_{2peak}$ ,  $68 \pm 34$  vs.  $84 \pm 39$  Watts,  $112 \pm 14$  vs.  $125 \pm 11$  bpm and  $1.25 \pm .49$  vs.  $1.41 \pm .54$  L · min<sup>-1</sup>; all intensities presented significant differences ( $p < .01$ ) and correlations higher than .8 were identified for W and  $\dot{V}O_2$ . The SD1 value in Fatmax was  $5.56 \pm 2.8$  ms. Fatmax was at 84.2; 90.5 and 90.5% of the load in W, HR and  $\dot{V}O_{2peak}$  of HRVT1, respectively. The value of 84.2% HRVT1 and SD1 = 5.56 in intensity of watts did not present significant differences ( $p > .05$ ), correlations higher than .8, a bias of  $\approx 3W$  and a good level of agreement with the values of Fatmax. **Conclusion:** there is correlation between HRVT1 and Fatmax in the  $\dot{V}O_2$  and Watts variables. The watts load of Fatmax can be identified using this relationship.

**Keywords:** heart rate variability threshold, indirect calorimetry, oxygen consumption, Fatmax

### Introduction

The maximal fat oxidation point (Fatmax) is defined as the intensity at which the maximal fat oxidation (MFO) rate in absolute values ( $g \cdot min^{-1}$ ) occurs (Randell et al., 2017), expressed as percentages of the maximum rate of oxygen consumption ( $\dot{V}O_{2max}$ ). Exercise performed at this intensity is presented as an

\* Correspondence:  
Jorge Cancino-López ([jcancino@uft.cl](mailto:jcancino@uft.cl)).

## Màxima oxidació de greix a través de variabilitat de la freqüència cardíaca en subjectes físicament actius

Sebastián Sáez-Olivares<sup>1</sup>, Johanna Pino-Zúñiga<sup>2</sup>,  
Mariela Olivares-Gálvez<sup>2</sup> i Jorge Cancino-López<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Facultat de Ciències, Universitat Major, Xile, <sup>2</sup> Centre de Nutrició i Cirurgia Bariàtrica, Clínica Las Condes, Santiago de Xile, <sup>3</sup> Laboratori de Ciències de l'Exercici, Escola de Kinesiologia, Universitat Finis Terrae, Santiago de Xile

### Resum

**Introducció.** L'objectiu d'aquest estudi és identificar la intensitat del punt de màxima oxidació de greixos (Fatmax) i la seva relació amb el primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca (UVFC1). **Subjectes i mètodes.** 23 subjectes (10 homes; 13 dones), IMC  $24.3 \pm 3.1$  kg/m<sup>2</sup>, edat  $32 \pm 10$  anys, físicament actius ( $\geq 600$  METS minut-setmana), van realitzar un test incremental per graons en cicloergòmetre. Es va registrar el  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , VFC i l'oxidació de greix per a cada etapa. Per a l'anàlisi estadística es van usar mesures de tendència central, contrastació de mitjanes, coeficient de correlació i anàlisi de gràfics de Bland-Altman. **Resultats.** Els valors per a Fatmax vs. l'UVFC1 van ser de  $48.7 \pm 7.1$  vs.  $55.4 \pm 9.2$  % $\dot{V}O_{2pic}$ ,  $68 \pm 34$  vs.  $84 \pm 39$  Watts,  $112 \pm 14$  vs.  $125 \pm 11$  lpm i  $1.25 \pm .49$  vs.  $1.41 \pm .54$  L · min<sup>-1</sup>, totes les intensitats van presentar diferències significatives ( $p < .01$ ) i es van identificar correlacions superiors a .8 per a W i  $\dot{V}O_2$ . El valor de SD1 en Fatmax va ser  $5.56 \pm 2.8$  ms. El Fatmax es va situar al 84.2; 90.5 i 90.5% de la càrrega en W, FC i  $\dot{V}O_{2pic}$  de l'UVFC1 respectivament. El valor de 84.2%UVFC1 i SD1 = 5 en intensitat de watts no van presentar diferències significatives ( $p > .05$ ), correlacions superiors a .8, un biaix de  $\approx 3W$  i bon nivell d'acord amb els valors de Fatmax. **Conclusió.** Existeix correlació entre UVFC1 i el Fatmax en les variables de  $\dot{V}O_2$  i Watts. En utilitzar aquesta relació es pot identificar la càrrega en watts del Fatmax.

**Paraules clau:** llindar de variabilitat de la freqüència cardíaca, calorimetria indirecta, consum d'oxigen, Fatmax

### Introducció

El punt de màxima oxidació de greixos (Fatmax) es defineix com la intensitat on ocorre la màxima taxa d'oxidació de greix en valors absoluts (MFO) ( $g \cdot min^{-1}$ ) (Randell et al., 2017), expressant-se com a percentatges del màxim consum d'oxigen ( $\dot{V}O_{2max}$ ). L'exercici realitzat en a aquesta intensitat es presenta com una

\* Correspondència:  
Jorge Cancino-López ([jcancino@uft.cl](mailto:jcancino@uft.cl)).

alternative for people who do not tolerate high-intensity exercise (Lazzer et al., 2011), showing benefits in lipid metabolism, insulin sensitivity and fat mass reduction (Lazzer et al., 2011; Tan et al., 2016; Venables & Jeukendrup, 2008). MFO and Fatmax are identified by means of indirect calorimetry (Frayn, 1983), indirectly delivering the oxidation of specific substrates; an exhaled gas analyser device is required for this calculation. Fatmax is correlated with the first ventilatory threshold (VT1) (Gmada et al., 2013) and the lactate threshold (LT) (San-Millán & Brooks, 2017) just before these physiological thresholds; these thresholds are homonymous and interchangeable (Pallarés et al., 2016) for identifying the transition from the aerobic to the aerobic-anaerobic stage.

In incremental exercise, changes in the autonomic nervous system are identified and a withdrawal of the parasympathetic nervous system (PSNS) and an increase in the sympathetic nervous system (SNS) (Michael et al., 2017) are observed. Heart rate variability (HRV) is a method of estimating the level of SNS and PSNS activity by means of the mathematical analysis of the variations in heartbeat (RR intervals) (Task Force, 1996). There are two thresholds in incremental exercise HRV analysis which separate three exercise stages, and the first heart rate variability threshold (HRVT1) is an alternative method for determining VT1 and LT (Grannell & De Vito, 2017; Karapetian et al., 2008; Sales et al., 2011).

As Fatmax is very useful for exercise programming in populations that cannot achieve high exercise intensities but are looking to reduce body fat, improve fat metabolism or as a way to improve performance, determining Fatmax prior to individual training programming is relevant. However, the measurement method and procedure require costly equipment and invasive techniques. Considering these situations, and the possible relationship between the parameters associated with Fatmax and heart rate variability for use as a non-invasive, lower-cost technique, the objective of this study was to determine the correlation between heart rate variability and Fatmax in physically active adults.

alternativa per a les persones que no toleren exercici d'alta intensitat (Lazzer et al., 2011), reportant beneficis en el metabolisme lipídic, sensibilitat a la insulina i disminució de la massa grassa (Lazzer et al., 2011; Tan et al., 2016; Venables i Jeukendrup, 2008). La identificació de la MFO i Fatmax es realitza per mitjà de calorimetria indirecta (Frayn, 1983) lliurant de manera indirecta l'oxidació de substrats específics, per a aquest càlcul es requereix un equip analitzador de gasos espirats. El Fatmax es troba correlacionat amb el primer llindar ventilatori (VT1) (Gmada et al., 2013) i el llindar de lactat (UL) (San-Millán i Brooks, 2017) situant-se poc abans d'aquests llindars fisiològics, aquests llindars són homònims i intercanviables (Pallarés et al., 2016) per a la identificació de la transició de fase aeròbica a aeròbica-anaeròbica.

En exercici incremental s'identifiquen canvis en el sistema nerviós autònom observant-se una retirada del sistema nerviós parasimpàtic (SNPS) i un augment en el sistema nerviós simpàtic (SNS) (Michael et al., 2017). La variabilitat de la freqüència cardíaca (VFC) és un mètode que estima el nivell d'activitat SNS i SNPS per mitjà de l'anàlisi matemàtica de les variacions batec a batec (intervals RR) (Task Force, 1996). En l'anàlisi de VFC en exercici incremental s'exhibeixen dos llindars diferenciant tres fases d'exercici, sent el primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca (UVFC1) exposat com un mètode alternatiu per a la determinació de VT1 i UL (Grannell i De Vito, 2017; Karapetian et al., 2008; Sales et al., 2011).

Com el Fatmax és de gran utilitat per a la programació d'exercicis en poblacions que no poden utilitzar intensitats d'exercici elevades, que busquen reduir greix corporal, millorar metabolisme dels greixos o una forma de millorar rendiment, resulta rellevant determinar Fatmax previ a la programació individual de l'entrenament. No obstant això, el mètode i procediment de mesurament implica un equipament costós i tècniques invasives. Tenint en consideració aquestes situacions i la possible relació que existeix entre els paràmetres associats al Fatmax amb la variabilitat de la freqüència cardíaca per a la seva utilització com a tècnica no invasiva i de menor cost, l'objectiu d'aquest estudi va ser determinar la correlació entre la variabilitat de la freqüència cardíaca i el Fatmax en adults físicament actius.

## Methodology

### Subjects

Twenty-three subjects participated in the study, 10 men and 13 women, with the physiological and anthropometric characteristics shown in Table 1. The subjects were selected by convenience sampling from the Center of Nutrition and Bariatric Surgery at Clínica Las Condes in Santiago de Chile based on compliance with the inclusion criteria of body mass index (BMI) under 30 (kg/m<sup>2</sup>), being over 18 years old, physically active (Salas et al., 2016) and not presenting associated diseases.

The subjects had fasted for at least 6 hours prior to the test, had not drunk coffee or tea for at least 4 hours, had not been physically active for the previous 24 hours and had not taken medication or drugs for at least 12 hours prior to the assessment.

The people who met the criteria were informed of the purpose of the study and they signed an informed consent form if they were prepared to allow the examination data to be used for it. The study was approved by the Clinic's ethics committee and conformed to the standards for the use of research with human subjects as stated in the Declaration of Helsinki.

### Anthropometric Measurements

The subjects were weighed on an electronic scale (Seca, model 769, Germany) with an accuracy of 100 g. Height was measured with a measuring rod (Seca, model 220, Germany) with an accuracy of 1 mm. Body mass index (BMI) was determined by means of the Quetelet equation (kg/m<sup>2</sup>).

### Quantification of Physical Activity Level

Physical activity was obtained through the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) validated and translated into Spanish in its short version (Crespo et al., 2015). Subjects were classified as physically active if they performed  $\geq 600$  MET-minute/week when vigorous and moderate physical activities were added together (Salas et al., 2016).

### Test Protocol, Determination of Maximum Values and Thresholds

The test was performed on a cycloergometer (Lode; Corival, Groningen, The Netherlands) starting with

## Metodologia

### Subjectes

Van participar de l'estudi vint-i-tres subjectes, 10 homes i 13 dones, de característiques fisiològiques i antropomètriques que es mostren en la taula 1. Els subjectes van ser seleccionades per conveniència del Centre de Nutrició i Cirurgia Bariàtrica de la Clínica Las Condes Santiago de Xile segons el compliment dels criteris d'inclusió d'índex de massa corporal (IMC) sota 30 (kg/m<sup>2</sup>), ser major de 18 anys, ser físicament actius (Salas et al., 2016) i no presentar malalties associades.

Els subjectes estaven en dejú d'almenys 6 hores sense haver consumit cafè o te almenys 4 hores abans del test, sense haver realitzat activitat física durant les 24 hores abans, i sense haver consumit fàrmacs o drogues almenys 12 hores abans de l'avaluació.

Les persones que complien amb els criteris eren informades de l'objectiu de l'estudi i si estaven disposats a la utilització de les dades de l'examen per a aquest estudi i la seva signatura del consentiment informat. L'estudi va comptar amb l'aprovació del comitè ètic de la Clínica i s'ajustava a les normes per a l'ús de recerca amb subjectes humans, tal com indica la Declaració d'Hèlsinki.

### Mesures antropomètriques

Els subjectes van ser pesats en una bàscula electrònica (Seca, model 769, Alemanya) amb precisió de 100 g. La talla es va mesurar amb un tallímetre (Seca, model 220, Alemanya) amb precisió d'1 mm. L'índex de massa corporal (IMC) es va determinar per mitjà de l'equació de Quetelet (kg/m<sup>2</sup>).

### Quantificació del nivell d'activitat física

L'activitat física es va obtenir per mitjà del qüestionari internacional d'activitat física validat i traduït a l'espanyol (IPAQ) en la seva versió curta (Crespo et al., 2015). Els subjectes van ser classificats com físicament actius si realitzaven  $\geq 600$  MET-minut/setmana entre la suma de les activitats físiques vigoroses i moderades (Salas et al., 2016).

### Protocol del test, determinació de valors màxim i llindars

El test es va realitzar en cicloergòmetre (Lode; Corival, Groningen, The Netherlands) iniciant amb

1 minute of taking baseline factors followed by 3 minutes of warm-up at 20% of maximum theoretical power (WTmax). The increases were 10% of WTmax (Jones et al., 1985) every 5 minutes until a stable respiratory exchange ratio (RER) value of 1.0 was achieved, and thereafter the stages were reduced to 1 minute until voluntary fatigue was reached. Jones's criteria were used for the maximal indicators (Jones et al., 1985). The volume of oxygen consumed ( $\dot{V}O_2$ ) and carbon dioxide produced ( $\dot{V}CO_2$ ) were recorded by an exhaled gas analyser device (Cortex, Metamax 3b, Germany). RR intervals were recorded with a Polar RS800 heart rate monitor (Kempele, Finland) validated for electrocardiographic records (Hernando et al., 2016). The average in litres per minute of the last minute of the test was used for peak oxygen consumption ( $\dot{V}O_{peak}$ ). Ventilatory threshold 1 (VT1) was determined by identifying the lowest point before increase of ventilatory oxygen equivalent ( $VE/\dot{V}O_2$ ) and the inflection point between  $\dot{V}O_2$  and  $\dot{V}CO_2$  by means of the V-slope methodology (Beaver et al., 1986).

### Indirect Calorimetry

Indirect calorimetry was calculated in the last 2 minutes of each 5-minute step (Brun et al., 2011) based on Frayn's stoichiometric equations (Frayn, 1983): fat oxidation in grams per minute (g/min) =  $1.67 \times \dot{V}O_2 - 1.67 \times \dot{V}CO_2$ . For the determination of the maximal fat oxidation point (Fatmax), the step with the highest fat oxidation value was identified and linked to the value of  $\dot{V}O_2$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\% \dot{V}O_{2peak}$ , load in Watts (W) and heart rate (bpm) of the mean of the last minute of the respective step (Achten et al., 2002).

### Heart Rate Variability

The RR interval record was extracted and filtered using the Polar Protrainer 5® program to be analysed with HRV 2.0 Kubios Software (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Kuopio, Finland).

The SD1 values of the Poincaré plot of the last minute of each step were analysed to determine the first HRV threshold. The criteria were: intensity, where the difference between the values of two consecutive stages is less than 1 millisecond; inflection point less than 3 milliseconds, and/or the combination

1 minut de presa de paràmetres basals seguit de 3 minuts d'escalfament al 20% de la potència teòrica màxima (WTmax). Els augments van ser del 10% de la WTmax (Jones et al., 1985) cada 5 minuts fins a arribar a un valor del coeficient respiratori (RER) estable d'1.0 posterior a això les etapes es redueixen a 1 minut fins a la fatiga voluntària. Per als indicadors de maximalitat es van adoptar els criteris de Jones (Jones et al., 1985). Es va registrar el volum d'oxigen consumit ( $\dot{V}O_2$ ) i el diòxid de carboni produït ( $\dot{V}CO_2$ ) a través d'un equip analitzador de gasos espirats (Cortex, Metamax 3b, Alemanya). Els intervals RR van ser registrats amb un pulsòmetre Polar RS800 (Kempele, Finlàndia) validat per a registres electrocardiogràfics (Hernando et al., 2016). Per al consum pic d'oxigen ( $\dot{V}O_{pic}$ ) es va utilitzar la mitjana en litres per minut de l'últim minut del test. El llinard ventilatori 1 (VT1) es va determinar a través de la identificació del punt més baix abans d'augmentar de l'equivalent ventilatori d'oxigen ( $VE/\dot{V}O_2$ ) i del punt d'inflexió entre el  $\dot{V}O_2$  i  $\dot{V}CO_2$  per mitjà de la metodologia V-slope (Beaver et al., 1986).

### Calorimetria indirecta

Es va realitzar el càlcul de calorimetria indirecta en els últims 2 minuts de cada graó de 5 minuts (Brun et al., 2011), segons les equacions estequiomètriques de Frayn (Frayn, 1983): Oxidació de greixos en grams per minut (g/min) =  $1.67 \times \dot{V}O_2 - 1.67 \times \dot{V}CO_2$ . Per a la determinació del punt de màxima oxidació de greixos (Fatmax), es va identificar el graó amb el valor més alt d'oxidació de greixos i li ho vinculo la valor de  $\dot{V}O_2$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\% \dot{V}O_{2pic}$ , càrrega en Watts (W) i freqüència cardíaca (lpm) de la mitjana de l'últim minut del graó respectiu (Achten et al., 2002).

### Variabilitat de la freqüència cardíaca

El registre d'intervals RR va ser extret i filtrat amb el programa Polar Protrainer 5®, per a ser analitzat amb el programari Kubios HRV2.0 (Biosignal Analysis and Medical ImagingGroup, Kuopio, Finlàndia).

Per a la determinació del primer llinard de VFC es van analitzar els valors del SD1 del gràfic de Poincaré de l'últim minut de cada graó. Els criteris van ser: intensitat, on la diferència entre els valors de dues etapes consecutives és inferior a un 1 mil·lisegon, punt d'inflexió inferior a 3 mil·lisegons i/o la combinació

of the two previous criteria (Sales et al., 2011; Grannell & De Vito, 2017).

### First HRV Threshold and Fatmax

The percentage mathematical relationship between the first HRV threshold and Fatmax was identified using the  $\text{Fatmax}/\text{HRVT1} \cdot 100$  equation to identify the average percentage in which Fatmax occurs in relation to HRVT1. Subsequently, a mathematical correction was made to the intensity values of the first HRV threshold according to the percentage variation between them. In addition, the average value of SD1 was identified when Fatmax occurred and the values closest to this average were searched for within each test. These two methods were used for the load variables in watts and heart rates due to their accessibility.

### Statistical Analysis

The normality of the sample was confirmed with the Shapiro-Wilk test. In the parametric analysis, Student's paired sample t-test and the Pearson correlation coefficient were performed. The Wilcoxon test and Spearman's rank correlation coefficient were performed in the non-parametric analysis. All data were represented as mean  $\pm$  SD and the value of  $p < .05$  was adopted. A Bland-Altman plot analysis was used to identify agreement and bias between methods (Bland & Altman, 1986) with 95% confidence intervals. The SPSS statistical software version 19.0 was used (IBM, Company).

## Results

The anthropometric and physiological values of the sample are shown in Table 1. After the normality test in the deltas of the intensities it transpired that the VT1-HRVT1 ( $\dot{V}O_2$ ), Fatmax-HRVT1 (W and  $\dot{V}O_2$ ) and Fatmax-84.2% HRVT1 (W) variables did not fit as the normality curve and were therefore analysed using non-parametric tests. When Fatmax was expressed as a percentage of HRVT1, the values were  $84.2 \pm 31.4\%$ ,  $90.5 \pm 11.2\%$ ,  $90.5 \pm 23.4\%$  for load (W), heart rate (bpm) and  $\dot{V}O_2$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ), respectively, and the average value of SD1 in Fatmax was 5.56 ms. The average values of VT1, Fatmax, HRVT1, SD1 = 5.56 and %HRVT corrected by the percentage

dels dos criteris anteriors (Sales et al., 2011; Grannell i De Vito, 2017).

### Primer llindar de VFC i Fatmax

Es va identificar la relació matemàtica percentual entre el primer llindar de VFC i Fatmax, per a això, es va usar l'equació  $\text{Fatmax}/\text{UVFC1} \cdot 100$  i així identificar el percentatge mitjà en què ocorre Fatmax en relació amb l'UVFC1. Posterior a això, es va realitzar una correcció matemàtica en els valors d'intensitat del primer llindar de VFC segons el percentatge de variació entre aquestes. A més, es va identificar el valor mitjà de SD1 quan ocorria el Fatmax, amb aquest valor es va procedir a buscar dins de cada test els valors més pròxims a aquesta mitjana. Aquests dos mètodes van ser realitzats per a les variables de càrrega en Watts i freqüències cardíaca atesa la seva accessibilitat.

### Anàlisi estadística

La normalitat de la mostra es va comprovar amb el test de Shapiro-Wilk. En l'anàlisi paramètrica es va realitzar el test  $t$  de Student per a mostres en parells i coeficient de correlació de Pearson. En l'anàlisi no paramètrica es va realitzar test de Wilcoxon i coeficient de correlació de Spearman. Totes les dades van ser representades com la mitjana  $\pm$  DE i es va adoptar com a valor de  $p < .05$ . Per a identificar l'acord i biaix entre mètodes es va utilitzar l'anàlisi de gràfics de Bland-Altman (Bland & Altman, 1986) amb intervals de confiança al 95%. Va ser utilitzat el programari estadístic SPSS versió 19.0. (IBM, Company).

## Resultats

Els valors antropomètrics i fisiològics de la mostra s'expressen en la taula 1. Posterior a la prova de normalitat en els deltas de les intensitats es identifica que les variables de VT1-UVFC1 ( $\dot{V}O_2$ ), Fatmax-UVFC1 (W i  $\dot{V}O_2$ ) i Fatmax-84.2%UVFC1 (W) no es van acomodar com la corba de normalitat per tant per a elles es va realitzar anàlisi amb proves no paramètriques. En expressar el Fatmax com a percentatge de l'UVFC1 els valors van ser de  $84.2 \pm 31.4\%$ ,  $90.5 \pm 11.2\%$ ,  $90.5 \pm 23.4\%$  per a càrrega (W), freqüència cardíaca (lpm) i  $\dot{V}O_2$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) respectivament i el valor faig una mitjana de de SD1 en Fatmax va ser de 5.56 ms. Els valors mitjans de VT1, Fatmax, UVFC1, SD1 = 5.56 i %UVFC corregit pel

Table 1  
Descriptive characteristics of the subjects (n = 23)

Age (years)	32 ± 10
Weight (kg)	67.2 ± 11.9
Height (cm)	165.7 ± 9.7
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.3 ± 3.1
METS minute/week	1842 ± 1078
VO <sub>2</sub> peak (L · min <sup>-1</sup> )	2.58 ± .95
VO <sub>2</sub> peak (ml/kg/min)	39.9±13.4
HRmax (bpm)	174 ± 11
Wmax (W)	202 ± 73

Expressed as mean ± SD; BMI: body mass index; METS: metabolic equivalents; VO<sub>2</sub>peak: peak oxygen consumption; HRmax: maximum heart rate; Wmax: maximum watt load.

according to the intensity variable are shown in Table 2. Table 3 describes the relationships between the VT1, Fatmax, HRVT1, SD1 = 5.56 and %HRVT variables. It can be seen that in the first column of data describing the p-values for the differences between means there are only significant differences in the HR ( $p \leq .01$ ),  $\dot{V}O_2$  ( $p \leq .01$ ) and W ( $p \leq .01$ ) variables which compare Fatmax with HRVT1. Significant correlations were identified between VT1 and HRVT1 in Watts ( $\rho = .71$ ,  $p \leq .05$ ) and oxygen consumption ( $\rho = .84$ ,  $p \leq .05$ ), Fatmax and HRVT1 in Watts ( $\rho = .8$ ,  $p \leq .05$ ) and oxygen consumption ( $\rho = .84$ ,  $p \leq .05$ ), Fatmax and SD1=5.56 in W ( $r = .84$ ,  $p \leq .05$ ) and heart rate ( $r = .55$ ,  $p \leq .05$ ) and Fatmax and 84.2% HRVT1 for watts ( $\rho = .8$ ,  $p \leq .05$ ). Figure 1 shows that there is good agreement for load in watts and heart rate in the 84.2% HRVT1(a), 90.5% HRVT1 (c) and SD1 = 5.56 (b,d) methods, and the differences between methods are within the confidence intervals, except in one case for 84.2% HRVT1(a), 90.5% HRVT1 (c) and SD1=5.56 (b).

Table 2  
Averages of first ventilatory threshold, first heart rate variability threshold, Fatmax, SD1 value = 5.56 and correction percentages for first heart rate variability threshold

		Load (W) Càrrega (W)	HR (bpm) FC (lpm)	VO <sub>2</sub> (L · min <sup>-1</sup> ) VO <sub>2</sub> (L · min <sup>-1</sup> )	%VO <sub>2</sub> peak %VO <sub>2</sub> pic
VT1	VT1	88 ± 39	126 ± 16	1.55 ± .58	60.5 ± 7.1
HRVT1	UVFC1	84 ± 39	125 ± 11	1.41 ± .54	55.4 ± 9.2
Fatmax	Fatmax	68 ± 34	112 ± 14	1.25 ± .49	48.7 ± 7.1
SD1 = 5.56	SD1 = 5.56	67 ± 35	111 ± 79	1.22 ± .48	50.6 ± 10.2
%HRVT1	%UVFC1	71 ± 33	113 ± 10	1.28 ± .49	50.2 ± 8.4

Values expressed as mean ± SD; VT1: first ventilatory threshold; HRVT1: first heart rate variability threshold; SD1: Poincaré plot width value; %HRVT1: correction percentages for the first heart rate variability threshold.

Taula 1  
Característiques descriptives dels subjectes (n= 23)

Estat (anys)	32 ± 10
Pes (kg)	67.2 ± 11.9
Talla (cm)	165.7 ± 9.7
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24.3 ± 3.1
METS minut/setmana	1842 ± 1078
VO <sub>2</sub> pic (L · min <sup>-1</sup> )	2.58 ± .95
VO <sub>2</sub> pic (ml/kg/min)	39.9±13.4
FCmax (lpm)	174 ± 11
Wmax (W)	202 ± 73

Expressats com a mitjana ± DE; IMC: índex de massa corporal; METS: taxa metabòlica basal; VO<sub>2</sub>pic: Consum pico d'oxigen; FCmax: freqüència cardíaca màxima; Wmax: càrrega de watts màxima.

percentatge segons variable d'intensitat s'expressen en la taula 2. En la taula 3 es descriuen les relacions entre les variables de VT1, Fatmax, UVFC1, SD1 = 5.56 i %UVFC, S'aprecia que en la primera columna de dades es descriuen els valors  $p$  per a les diferències entre mitjanes només existeixen diferències significatives en les variables d'FC ( $p \leq .01$ ),  $\dot{V}O_2$  ( $p \leq .01$ ) i W ( $p \leq .01$ ), que comparin Fatmax amb l'UVFC1. S'identifiquen correlacions significatives entre VT1 i UVFC1 en Watts ( $r = .71$ ,  $p \leq .05$ ) i consum d'oxigen ( $\rho = .84$ ,  $p \leq .05$ ), Fatmax i UVFC1 en Watts ( $\rho = .8$ ,  $p \leq .05$ ) i consum d'oxigen ( $\rho = .84$ ,  $p \leq .05$ ), Fatmax i SD1=5.56 en W ( $r = .84$ ,  $p \leq .05$ ) i freqüència cardíaca ( $r = .55$ ,  $p \leq .05$ ) i Fatmax i 84.2%UVFC1 per a Watts ( $\rho = .8$ ,  $p \leq .05$ ). La figura 1 mostra que existeix un bon acord per a la càrrega en watts i freqüència cardíaca en els mètodes de 84.2%UVFC1(a), 90.5%UVFC1 (c) i SD1 = 5.56 (b,d), les diferències entre mètodes es troben dins dels intervals de confiança exceptuant per un cas per a 84.2%UVFC1(a), 90.5%UVFC1 (c) i SD1 = 5.56 (b).

Taula 2  
Mitjanes de primer llindar ventilatori, primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca, Fatmax, valor de SD1= 5.56 i percentatges de correcció per al primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca

Valors expressats com a mitjana ± DE; VT1: primer llindar ventilatori; UVFC1: primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca; SD1: valor de l'ample del gràfic de Poincaré; %UVFC1: Percentatges de correcció per al primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca.

Table 3  
Relationships between first ventilatory threshold, first heart rate variability threshold, Fatmax, SD1 value = 5.56 and correction percentages for first heart rate variability threshold

Taula 3  
Relacions primer llindar ventilatori, primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca, Fatmax, valor de SD1= 5.56 i percentatges de correcció per al primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca

		T-test - Wilcoxon T test - Wilcoxon	r - rho r - rho	Systematic bias Biaix sistemàtic
W - VT1 vs. HRVT1	W-VT1 vs. UVFC1	.53	.71**	-4.0 ± 29,9
$\dot{V}O_2$ - VT1 vs. HRVT1 #	$\dot{V}O_2$ - VT1 vs. UVFC1 #	.94	.84**	-.14 ± .34
HR - VT1 vs. HRVT1	FC - VT1 vs. UVFC1	.69	.39 <sup>ns</sup>	-1.3 ± 15.4
W - Fatmax vs. HRVT1 #	W - Fatmax vs. UVFC1 #	.01	.80**	15.8 ± 23.9
$\dot{V}O_2$ - Fatmax vs. HRVT1 #	$\dot{V}O_2$ - Fatmax vs. UVFC1 #	.01	.84**	.16 ± .33
HR - Fatmax vs. HRVT1	FC - Fatmax vs. UVFC1	.00	.34 <sup>ns</sup>	12.3 ± 14.0
W - Fatmax vs. SD1=5.56	W - Fatmax vs. SD1=5.56	.78	.84**	2.8 ± 20.8
HR - Fatmax vs. SD1=5.56	FC - Fatmax vs. SD1=5.56	.71	.55**	2.7 ± 13.2
W - Fatmax vs. 84.2% HRVT1 #	W - Fatmax vs. 84.2% UVFC1 #	.21	.80**	2.1 ± 21.5
HR - Fatmax vs. 90.5% HRVT1	FC - Fatmax vs. 90.5% UVFC1	.88	.35 <sup>ns</sup>	.5 ± 13.6

r: Pearson correlation coefficient; rho: Spearman's rank correlation coefficient; n.s.: statistically non-significant; VT1: first ventilatory threshold; HRVT1: first heart rate variability threshold; HR: heart rate; W: work in watts;  $\dot{V}O_2$ : oxygen consumption in litres per minute. # Tests where a non-parametric analysis was performed.  
\* $p \leq .05$ . \*\* $p \leq .01$ .

r: coeficient correlació de Pearson; rho: coeficient correlació de Spearman; n.s.: estadísticament no significatiu; VT1: primer llindar ventilatori; UVFC1: primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca; FC: freqüència cardíaca; W: treball en watts;  $\dot{V}O_2$ : consum d'oxigen en litre per minut; # Proves on es va realitzar anàlisi no paramètrica.  
\* $p \leq .05$ . \*\* $p \leq .01$ .

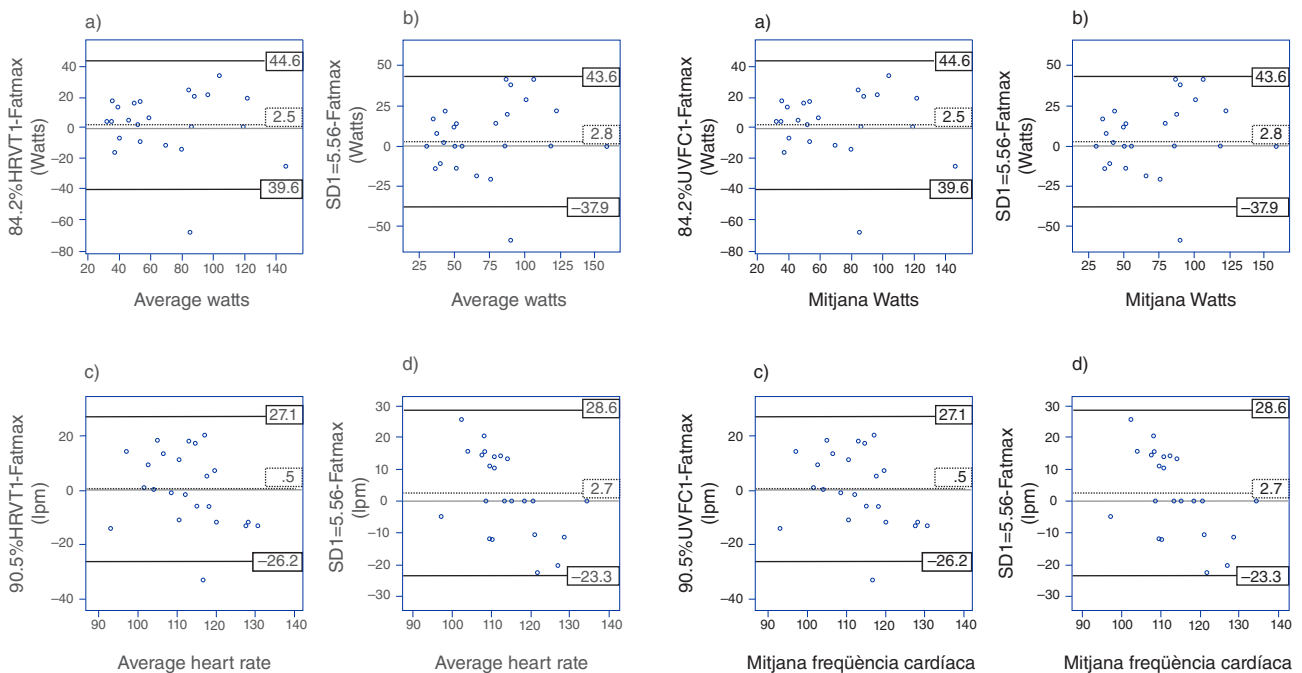


Figure 1. Bland-Altman plot analysis a) watts for 84.2% HRVT1 and Fatmax; b) watts for SD1= 5.56 and Fatmax; c) Heart rate for 90.5% HRVT1, and d) Heart rate for SD1: 5.56 and Fatmax.

Dotted line for systematic bias, continuous line for 95% confidence intervals and gray continuous line for 0 value in differences between methods.

Figura 1. Anàlisi de gràfics de Bland-Altman a) Watts per a 84.2%UVFC1 i Fatmax, b) Watts per a SD1 = 5.56 i Fatmax, c) freqüència cardíaca per a 90.5%UVFC1 i d) freqüència cardíaca per a SD1 = 5.56 i Fatmax.

Línia discontinua per al biaix sistemàtic, línia contínua per a intervals de confiança al 95% i línia contínua color gris per a valor 0 en les diferències entre mètode.

## Discussion

This study constitutes a breakthrough in research which relates the variables of vagal modulation and the oxidation of specific substrates and is the first to relate HRVT1 and Fatmax. It also provides two alternative methods for the determination of Fatmax by means of HRV indexes in physically active healthy people.

With regard to the objective of identifying the relationship between HRVT1 and Fatmax, HRVT1 presents significant differences with Fatmax ( $p \leq .05$ ), a positive bias in all variables and significant correlations only in W ( $r = .8$ ) and  $\dot{V}O_2$  ( $\rho = .84$ ). Therefore, it cannot be said that HRVT and Fatmax are physiological events that occur at the same time; only in W and  $\dot{V}O_2$  can a relationship that tends to overestimate the value (15.8 W and  $.16 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , respectively) be confirmed. The bias and significant difference data confirm that HRVT1 presents systematically higher values than Fatmax, which confirms previous studies regarding the correlation between these variables and the location of Fatmax before the aerobic-anaerobic transition (Gmada et al., 2013; San-Millán & Brooks, 2017).

When Fatmax is expressed as a percentage of HRVT1, it is very close to the latter, with values of  $84.2 \pm 31.4\%$ ,  $90.5 \pm 11.2\%$ ,  $90.5 \pm 23.4\%$  for load (W), heart rate (bpm) and  $\dot{V}O_2$  ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ), respectively. In the method using the percentage where Fatmax occurs, there are no significant differences ( $p > .05$ ) for the load in watts with a significant correlation greater than .8, and in all cases except one they were within the 95% confidence intervals. So in this case 84.2% of HRVT1 for watts could be asserted as a method for Fatmax identification, qualified by a systematic overestimation bias of 2.5 W. By contrast, in heart rate this method did not obtain a significant correlation, so it would be ruled out as an independent alternative method to obtain good agreement and not present significant differences with the indirect calorimetry method.

The SD1 average when Fatmax occurred was 5.56 ms, and this average value, in terms of time, precedes the 3 ms reference value for HRVT1 (Grannell & De Vito, 2017; Sales et al., 2011) this coincides with the abovementioned phenomenon when Fatmax is less than VT1 and LT. There are no significant differences ( $p > .05$ ) in watts in this method,

## Discussió

Aquest estudi es presenta com un avanç en recerca que relaciona les variables de modulació vagal i l'oxidació de substrats específics, sent est el primer a relacionar l'UVFC1 i el Fatmax, a més de generar dos mètodes alternatius per a la determinació del Fatmax mitjançant índexs de VFC en persones sanes físicament actives.

En relació amb l'objectiu d'identificar la relació entre UVFC1 i Fatmax, l'UVFC1 presenta diferències significatives amb Fatmax ( $p \leq .05$ ), un biaix positiu en totes les variables i correlacions significatives solo en W ( $r = .8$ ) i  $\dot{V}O_2$  ( $\rho = .84$ ). Per tant no es pot afirmar que el UVFC i Fatmax són successos fisiològics que ocorren al mateix temps, només en W i  $\dot{V}O_2$  es pot confirmar una relació que tendeix a sobreestimar el valor (15.8 W i  $.16 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Les dades de biaix i diferències significatives confirmen que l'UVFC1 presenta valors sistemàticament superiors al Fatmax, la qual cosa confirmen estudis anteriors respecte a la correlació entre aquestes variables i la ubicació del Fatmax abans de la transició aeròbica-anaeròbica (Gmada et al., 2013; San-Millán i Brooks, 2017).

En expressar el Fatmax com a percentatge de l'UVFC1 s'aprecia que està molt pròxim a aquest amb valors de  $84.2 \pm 31.4\%$ ,  $90.5 \pm 11.2\%$ ,  $90.5 \pm 23.4\%$  per a càrrega (W), freqüència cardíaca (lpm) i  $\dot{V}O_2$  ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) respectivament. En el mètode que utilitza el percentatge on ocorre el Fatmax s'observa que no existeixen diferències significatives ( $p > .05$ ) per a la càrrega en watts amb una correlació significativa major a .8 i en tots els casos, exceptuant-ne un, es van trobar dins dels intervals de confiança al 95%. Per tant en aquest cas si que es podria afirmar que el 84.2% de l'UVFC1 per a watts com un mètode per a la identificació del Fatmax, amb l'excepció d'un biaix de sobreestimació sistemàtica de 2.5 W. Però aquest mètode en freqüència cardíaca no va obtenir una correlació significativa, per tant es descartaria com un mètode alternatiu independent de posseir un bon acord i no presentar diferències significatives amb el mètode de calorimetria indirecta.

La mitjana de SD1 en ocórrer Fatmax va ser de 5.56 ms, aquest valor mitjà se situa temporalment abans que el valor de referència de 3 ms de l'UVFC1 (Grannell & De Vito, 2017; Sales et al., 2011), això coincideix amb el fenomen ja exposat com quan el Fatmax és menor que el VT1 i UL. En aquest mètode no s'aprecien diferències significatives ( $p > .05$ ) en watts, amb



with a correlation of  $.84$  ( $p < .01$ ) and only one case outside the 95% confidence intervals. No significant differences ( $p > .05$ ) are observed either for heart rate, correlations of  $.55$  ( $p < .01$ ) and all cases are within the 95% confidence intervals. It can therefore be affirmed that in both watts and heart rate the 5.56 value in SD1 could be used for Fatmax identification with the qualification of an overestimation of 2.8 W or 2.7 bpm. However, HRV values vary according to physical fitness or overweight (Bellenger et al., 2016; Espinoza-Salinas et al., 2015), and as the product of non-probability sampling, the values of 5.56 ms could only be extrapolated to a sample with characteristics similar to the study sample.

Although this study did not seek to corroborate concordance but rather to analyse the association between HRVT1 and VT1, it must be verified in the intensities of studies since the intention is to replicate the relationships in VT1 or LT and Fatmax. On this point, it coincides with the results of previous studies (Grannell & De Vito, 2017; Karapetian et al., 2008) as no significant differences are found in watts, heart rate and  $\dot{V}O_2$ . However, there are only significant correlations in terms of watts and  $\dot{V}O_2$  which may be the result of the 5-minute steps which are outside the HRVT1 protocol, where they are from 1 to 3 minutes per step. Therefore, heart rate in this study would not be a fully valid parameter since it does not present good correlation. In this case, the relationships that are extracted as a result of heart rate would not be comparable to the relationship between VT1 and Fatmax (Gmada et al., 2013) but rather due to a direct relationship it may occur with HRVT1 and Fatmax in which no significant correlations were found in any variable, possibly as a result of the foregoing except in  $SD1 = 5.56$ .

These data suggest, first of all, that HRVT1 can be used as an alternative method for the identification of VT1 with a 5-minute step protocol in the W and  $\dot{V}O_2$  variables. The important variables were load in watts and heart rate due to their accessibility, and the results suggest that 84.2% of the first threshold as assessed by HRV or the value closest to  $SD1 = 5.56$  in the load values in watts can be used to identify the maximal fat oxidation point in a population of physically active people. Therefore, the results permit a low-cost and low-complexity assessment of maximal fat oxidation using heart rate variability in incremental intensity exercise. This

una correlació de  $.84$  ( $p < .01$ ) i només un cas fora dels intervals de confiança al 95%. Per a freqüència cardíaca tampoc s'observen diferències significatives ( $p > .05$ ), unes correlacions de  $.55$  ( $p < .01$ ) i tots els casos dins dels intervals de confiança al 95%. Per tant es podria afirmar que tant en watts com en freqüència cardíaca el valor 5.56 en SD1 es podria utilitzar per a la identificació del Fatmax amb l'excepció d'una sobreestimació de 2.8 W o 2.7 lpm. No obstant això, els valors de VFC varien segons aptitud física o excés de pes (Bellenger et al., 2016; Espinoza-Salinas et al., 2015) i producte d'un mostreig no probabilístic els valors de 5.56 ms només es podrien extrapolar a una mostra de característiques semblants a la mostra de l'estudi.

Si bé aquest estudi no va buscar corroborar la concordança si no analitzar l'associació entre l'UVFC1 i el VT1, però es fa necessari verificar-lo en les intensitats d'estudis atès que es busca replicar les relacions en VT1 o UL i Fatmax. En aquest punt, el treball coincideix amb els resultats d'estudis anteriors (Grannell i De Vito, 2017; Karapetian et al., 2008) al no trobar diferències significatives en watts, freqüència cardíaca i  $\dot{V}O_2$ . No obstant això només existeixen correlacions significatives a nivell de Watts i  $\dot{V}O_2$  podent ser producte dels graons de 5 minuts atès que no es fiten als protocol per a l'UVFC1 sent aquests d'1 a 3 minuts per graó. Per tant, la freqüència cardíaca en aquest estudi no seria un paràmetre totalment vàlid atès que no posseeix bona correlació. Per tant les relacions que s'extreuen producte de la freqüència cardíaca no faria un símil al fenomen entre VT1 i Fatmax (Gmada et al., 2013) sinó més aviat per relació directa pugui ocórrer amb l'UVFC1 i Fatmax, en la qual no es van trobar correlacions significatives en cap variable, possiblement producte de l'anteriorment exposat exceptuant-se en  $SD1 = 5.56$ .

Les nostres dades suggereixen primer que l'UVFC1 pot ser utilitzat com un mètode alternatiu per a la identificació de VT1 amb un protocol de graons de 5 minuts en les variables de W i  $\dot{V}O_2$ . Les variables d'importància van ser càrrega en watts i freqüència cardíaca donat la seva accessibilitat, en els resultats oposats suggereixen que utilitzar el 84.2% del primer llindar valorat per VFC o el valor més pròxim a  $SD1 = 5.56$  en els valors de càrrega en watts pot ser utilitzat per a la identificació del punt de màxima oxidació de greixos en una població de persones físicament actives. Per tant, els resultats oposats permeten realitzar una valoració de baix cost i complexitat de la màxima oxidació de greix utilitzant la variabilitat de la freqüència cardíaca en un exercici

study represents a breakthrough in the understanding of fat oxidation versus HRV in physically active healthy people, a somewhat unexplored topic since the direct physiological relationship between these two variables would not be explained. The influence of lactate as a lacto-hormone counter-regulator of lipolysis (Ahmed et al., 2010) and its appearance in blood related to the withdrawal and stabilisation of the parasympathetic nervous system (Karapetian et al., 2008) would mean that following the stabilisation of a low parasympathetic system value the rate of fat oxidation should fall. This process is evidenced in this paper with an average Fatmax value of SD1 above the HRVT1 reference value, which would explain that in order to achieve maximal fat oxidation there must be at least a low expression of parasympathetic activity, which is contrasted with evidence of the stimulation of the sympathetic system as a determining factor in the increase in fat oxidation (Zeng et al., 2015).

The limitations stemmed from the presence of people who did not minimally meet the criteria and others who did competition-level athlete training and the non-expression of the classic kinematics of the fat oxidation curve in all subjects. Considering the above, an analysis of the interaction of the sympathetic-parasympathetic system using HRV would be useful for a more comprehensive explanation of fat oxidation in incremental exercise in different populations, and thus explain the time and the internal, external or training conditions where the assertion of the “high sympathetic and low parasympathetic system” leads to a rise in fat oxidation.

## Conclusion

The results of this study suggest that there is a correlation between the first heart rate variability threshold and the point of maximal fat oxidation in the oxygen consumption and watts load variables in physically active healthy adults. This relationship can be used to identify the load in watts at the point of maximal fat oxidation with good concordance.

Further research is needed to confirm the data obtained and to determine whether there are direct physiological processes between the autonomic nervous system and fat oxidation in incremental exercise.

d'intensitat incremental. Aquest estudi representa un avanç en l'enteniment de l'oxidació dels greixos versus VFC en persones sanes i físicament actives, havent-se estudiat molt poc aquest tema atès que no s'explicaria la relació fisiològica directa entre aquestes dues variables. Les influències del lactat com lactohormona contra reguladora de la lipòlisis (Ahmed et al., 2010) i la seva aparició en sang relacionada amb una retirada i estabilització del sistema nerviós parasimpàtic (Karapetian et al., 2008), es traduirien en el fet que posteriorment a l'estabilització d'un valor sota del sistema parasimpàtic hauria de baixar la taxa d'oxidació de greix. Aquest fenomen s'aconsegueix evidenciar en la mostra amb un valor de Fatmax mitjana de SD1 major que el valor de referència de l'UVFC1, explicaria que per a aconseguir la màxima oxidació de greix es fa necessari ben bé una baixa expressió d'activitat parasimpàtica, que es contraposa amb evidència de l'estimulació del sistema simpàtic com un factor determinant en l'augment en l'oxidació de greixos (Zeng et al., 2015).

Les limitacions procedien de l'existència de persones que complien els criteris de forma mínima, així unes altres que realitzaven entrenament d'atletes amb nivell competitiu i la no expressió de la cinemàtica clàssica de la corba oxidació de greixos en tots els pacients. Tenint en compte el que s'ha dit, seria beneficiós per a una explicació més completa de l'oxidació del greix en exercici incremental en diferents poblacions, l'anàlisi de la interacció del sistema simpàtic-parasimpàtic a través de la VFC i així es podria dilucidar el moment i les condicions internes, externes o d'entrenament que l'asseveració del “sistema simpàtic elevat i parasimpàtic baix” procedeix a una alça en l'oxidació dels greixos.

## Conclusió

Els resultats del treball suggereixen que existeix correlació entre el primer llindar de variabilitat de freqüència cardíaca i el punt de màxima oxidació de greixos en les variables de consum d'oxigen i càrrega en watts en adults sans físicament actius. En utilitzar aquesta relació es pot identificar la càrrega en watts en el punt de màxima oxidació de greixos amb una bona concordança.

Cal fer més més recerca per a confirmar les dades obtingudes i precisar si existeixen processos fisiològics directes entre el sistema nerviós autònom i l'oxidació dels greixos en exercici incremental.

## Acknowledgments

We would like to thank the participants in the study for having provided their examination data for the advancement of science, as well as the university faculty, the medical staff at the Center for Nutrition and Bariatric Surgery at the Clínica Las Condes for their constant support, and our families for their sacrifices and efforts in our professional training.

## Conflict of Interests

No conflict of interest was reported by the authors.

## Agraïments

Agraïm a les persones participants en l'estudi haver proporcionat les seves dades de l'examen per a l'avanç de la ciència, així com també al personal docent de la universitat, al personal mèdic del Centre de Nutrició de Cirurgia Bariàtrica de la Clínica Las Condes pel seu suport constant, i a les nostres famílies pels seus sacrificis i esforços en la nostra formació professional.

## Conflicte d'interessos

Les autories no han comunicat cap conflicte d'interessos.

## References

- Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 92-97. doi:10.1097/00005768-200201000-00015
- Ahmed, K., Tunaru, S., Tang, C., Müller, M., Gille, A., Sassmann, A., ... Offermanns, S. (2010). An autocrine lactate loop mediates insulin-dependent inhibition of lipolysis through GPR81. *Cell Metabolism*, 11(4), 311-319. doi:10.1016/j.cmet.2010.02.012
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60(6), 2020-2027. doi:10.1152/jappl.1986.60.6.2020
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1461-1486. doi:10.1007/s40279-016-0484-2
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1(8476), 307-310. doi:10.1016/S0140-6736(86)90837-8
- Brun, J.-F., Romain, A.-J., & Mercier, J. (2011). Maximal lipid oxidation during exercise (Lipoxmax): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties. *Science & Sports*, 26(2), 57-71. doi:10.1016/j.scispo.2011.02.001
- Crespo-Salgado, J. J., Delgado-Martín, J. L., Blanco-Iglesias, O., & Aldecoa-Landesa, S. (2015). Guía básica de detección del sedentarismo y recomendaciones de actividad física en atención primaria. *Atención Primaria*, 47(3), 175-183. doi:10.1016/j.aprim.2014.09.004
- Espinoza-Salinas, A., Zafra-Santos, E., Pavez-Von Martens, G., Cofré-Bolados, C., Lemus-Zúñiga, J., & Sánchez-Aguilera, P. (2015). Análisis de variabilidad del ritmo cardíaco y su relación con la sensibilidad insulínica en pacientes obesos y con sobrepeso. *Revista Médica de Chile*, 143(9), 1129-1135. doi:10.4067/S0034-98872015000900005
- Frayn, K. N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 55(2), 628-634. doi:10.1152/jappl.1983.55.2.628
- Gmada, N., Marzouki, H., Sassi, R. H., Tabka, Z., Shephard, R., Brun, J.-F., & Bouhlel, E. (2013). Relative and absolute reliability of the crossover and maximum fat oxidation points and their relationship to ventilatory threshold. *Science & Sports*, 4(28), e99-e105. doi:10.1016/j.scispo.2012.04.007

## Referències

- Grannell, A., & De Vito, G. (2017). An investigation into the relationship between heart rate variability and the ventilatory threshold in healthy moderately trained males. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. doi:10.1111/cpf.12437
- Hernando, D., Garatachea, N., Almeida, R., Casajús, J. A., & Bailón, R. (2016). Validation of heart rate monitor Polar RS800 for heart rate variability analysis during exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi:10.1519/JSC.0000000000001662
- Jones, N. L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T., & McCartney, N. (1985). Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *The American Review of Respiratory Disease*, 131(5), 700-708. doi:10.1164/arrd.1985.131.5.700
- Karapetian, G. K., Engels, H. J., & Gretebeck, R. J. (2008). Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *International Journal of Sports Medicine*, 29(8), 652-657. doi:10.1055/s-2007-989423
- Lizzer, S., Lafortuna, C., Busti, C., Galli, R., Agosti, F., & Sartorio, A. (2011). Effects of low- and high-intensity exercise training on body composition and substrate metabolism in obese adolescents. *Journal of Endocrinological Investigation*, 34(1), 45-52. doi:10.1007/BF03346694
- Michael, S., Graham, K. S., & Davis, G. M. (2017). Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals-A review. *Frontiers in Physiology*, 8, 301. doi:10.3389/fphys.2017.00301
- Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Eliás, V. E., & Mora-Rodríguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLOS ONE*, 11(9), e0163389. doi:10.1371/journal.pone.0163389
- Randell, R. K., Rollo, I., Roberts, T. J., Dalrymple, K. J., Jeukendrup, A. E., & Carter, J. M. (2017). Maximal fat oxidation rates in an athletic population. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(1), 133-140. doi:10.1249/MSS.0000000000001084
- Salas, C., Cristi-Montero, C., Fan, Y., Durán, E., Labraña, A. M., Martínez, M. A., ... Alvarez, C. (2016). Ser físicamente activo modifica los efectos nocivos del sedentarismo sobre marcadores de obesidad y cardiometabólicos en adultos. *Revista Médica de Chile*, 144(11), 1400-1409. doi:10.4067/S0034-98872016001100005
- Sales, M. M., Campbell, C. S. G., Morais, P. K., Ernesto, C., Soares-Caldeira, L. F., Russo, P., ... Simões, H. G. (2011). Noninvasive method to estimate anaerobic threshold in individuals with type 2 diabetes. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 3(1), 1. doi:10.1186/1758-5996-3-1

San-Millán, I., & Brooks, G. A. (2017). Assessment of metabolic flexibility by means of measuring blood lactate, fat, and carbohydrate oxidation responses to exercise in professional endurance athletes and less-fit individuals. *Sports Medicine*. doi:10.1007/s40279-017-0751-x

Tan, S., Wang, J., Cao, L., Guo, Z., & Wang, Y. (2016). Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(3), 225-230. doi:10.1111/cpf.12217

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996).

Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354-381.

Venables, M. C., & Jeukendrup, A. E. (2008). Endurance training and obesity: Effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(3), 495-502. doi:10.1249/MSS.0b013e31815f256f

Zeng, W., Pirzgalska, R. M., Pereira, M. M. A., Kubasova, N., Barateiro, A., Seixas, E., ... Domingos, A. I. (2015). Sympathetic neuro-adipose connections mediate leptin-driven lipolysis. *Cell*, 163(1), 84-94. doi:10.1016/j.cell.2015.08.055

**Article Citation | Citació de l'article**

Sáez-Olivares S., Pino-Zúñiga, J., Olivares-Gálvez, M., & Cancino-López, J. (2019). Maximal Fat Oxidation by Heart Rate Variability in Physically Active Subjects. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 138, 111-122. doi:10.5672/apunts.2014-0983.es.(2019/4).138.09