

Trabajo Fin de Grado

Revisión Bibliográfica

Termorregulación en ciclistas

Ciencias de la Actividad Física y el Deporte



Miguel Hernández

Universidad Miguel Hernández

Curso 2015-2016

Alumno: Andrés Milián Camós

Tutor Académico: Raúl López Grueso

Índice

1. Contextualización	3
2. Metodología	4
2.1 Palabras Clave	4
2.2 Criterios de inclusión	4
2.3 Selección de la literatura	5
3. Revisión Bibliográfica	5
4. Discusión	7
5. Conclusiones	10
6. Planteamiento de Intervención	10
7. Bibliografía	12

1. Contextualización

A día de hoy, el ciclismo es considerado el deporte más practicado en España (Lopez, P., 2016) y esto se ve reflejado todos los fines de semana donde se ven gran cantidad de cicloturistas circulando por las carreteras con mero fin recreativo o, por otro lado, con busca del rendimiento deportivo.

En el mundo de la competición, los ciclistas deben estar acostumbrados a realizar etapas de 200km y muchas veces de forma consecutiva. Pero hay que tener en cuenta que no solo están expuestos a los kilómetros y pendientes que presenta la carretera, sino que también se encuentran expuestos a las condiciones climáticas de la zona que pueden ser muy variadas debido a que la temporada tiene una duración de 9 meses y por lo tanto los ciclistas están obligados a competir y entrenar en todas las estaciones del año. De todas formas, la UCI intenta que esto afecte de la menor forma posible intentando coincidir las competiciones con las estaciones de Primavera y Verano de cada continente. Sin embargo, los ciclistas se ven obligados a correr de igual forma en temperaturas tan bajas como pasa durante el Giro de Italia a mitades de Mayo, como encontrarse con 40 grados como en el caso de la Vuelta a España a finales de Agosto.

Por último, hay que tener en cuenta que el ciclista está realizando ejercicio físico, por lo que se llevaran a cabo una serie de actividades metabólicas las cuales permitan rendir encima de la bicicleta. Además, que esas reacciones también producen calor (Burton, Stokes, & Hall, 2004), y si sumamos las reacciones internas a la temperatura ambiental conlleva a un cambio de la temperatura corporal. Entonces, ¿existe algún mecanismo por el cual nuestro cuerpo sepa controlar y mantener estable nuestra temperatura interna?

Hipótesis

Se sabe que existen una serie de estrategias durante y después del ejercicio para mantener la temperatura corporal estable y que sin una adecuada eliminación/disipación, la producción de calor por medio de la activación muscular provoca un aumento de la temperatura corporal (Kay, Taaffe, & Marino, 1999; B Nielsen et al., 1993), pudiendo llegar a una temperatura crítica ($>40^{\circ}\text{C}$), que varía dependiendo de la zona de medición (Gonzalez-Alonso et al., 1999).

También hay que tener en cuenta que no todas se pueden utilizar, debido a que hay algunas que varían más debido a la influencia de factores (Gonzalez-Alonso et al., 1999). Por ello, Caputa considero que la razón principal para poner fin al ejercicio es la elevada temperatura hipotalámica independientemente de la temperatura corporal (Caputa, Feistkorn, & Jessen, 1986). Conociendo esto, se ha podido observar que incrementos por encima de esta temperatura no puede ser tolerada durante largos periodos de tiempo (Cheuvront & Haymes, 2001; Bodil Nielsen, Strange, Christensen, Warberg, & Saltin, 1997; Noakes, 2000) provocando una reducción en la capacidad de activación central (Cheuvront & Haymes, 2001; Kay & Marino, 2000; McArdle, Katch, & Katch, 2001; Nybo & Nielsen, 2001a; Tucker, Rauch, Harley, & Noakes, 2004) y una obstaculización de la contracción muscular (Gonzalez-Alonso et al., 1999; Nybo & Nielsen, 2001a).

Como limitante del rendimiento se ha podido observar que no ha sido fruto de la presencia de lactato o la falta de sustrato (Tucker et al., 2004), sino debido a la hipertermia que provoca una reducción de la presión arterial en el cerebro y consecuentemente una pérdida de riego sanguíneo en el cerebro y por lo tanto una menor presencia de sustrato y de oxígeno (Nybo & Nielsen, 2001).

2. Metodología

2.1 Palabras Clave

Palabras usadas en la búsqueda de artículos:

- Termorregulación (thermoregulation)
- Ciclismo (cycling)
- Potencia (power output)
- Temperatura (temperature)
- Rectal
- Piel (skin)
- Pastilla (pill)
- Esofagica (oesophageal)
- Entrenados (trained)

2.2 Criterios de inclusión

Para llevar a cabo esta revisión se han considerado únicamente los estudios que han cumplido estos criterios:

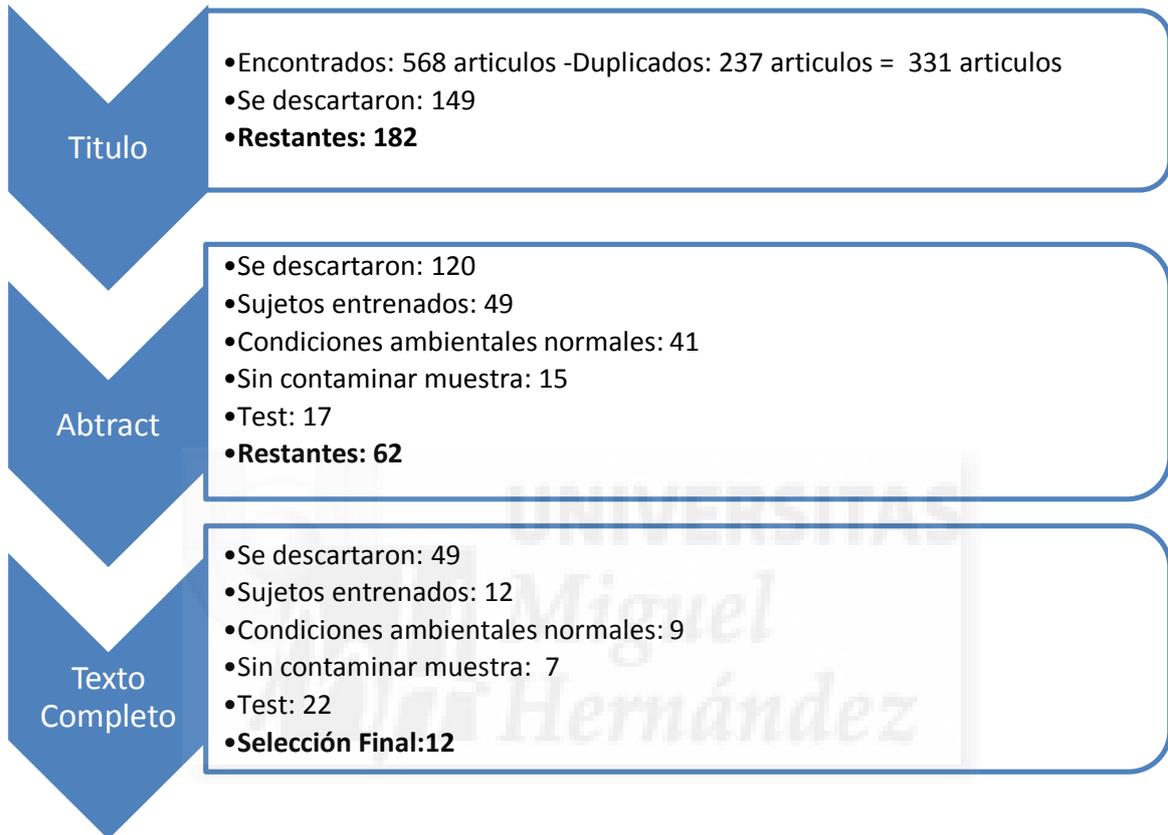
- Midan la temperatura corporal.
- Realizadas en ciclistas.
- Sujetos entrenados (amateurs).
- Hombres.
- Sujetos testados bajo condiciones ambientales normales (20-28º) (Cheuvront & Haymes, 2001; Coyle & Montain, 1992; Hargreaves & Febbraio, 1998; Kay & Marino, 2000; Marino, Kay, Cannon, Serwach, & Hilder, 2002; Tattersson, Hahn, Martini, & Febbraio, 2000; Yoshida et al., 1997).
- Ausencia de procesos previos al testado que puedan alterar la condición del sujeto como son el pre enfriamiento o el precalentamiento.
- Test de intensidad mantenida (TT).
- Fecha de publicación posterior a 2004.

2.3 Selección de la literatura

Para esta revisión bibliográfica se ha utilizado como fuente principal la base de datos "Pub Med", aunque también se utilizó Pro Quest y Google Académico para obtener artículos de apoyo.

Resultado de la búsqueda

La búsqueda de artículos ha seguido un proceso de descarte el cual se desarrolla a continuación:



3. Revisión Bibliográfica

*Se muestra en la siguiente pagina

Abreviaturas:

Significativo (*), aumenta (↑), desciende (↓) potencia aeróbica máxima (PAM), pico decremento (P↓), pico incremento (P↑), potencia (PO), coeficiente de correlación (r), porcentaje de la duración del test (%TT), humedad (RH), ratio incremento (RI), percepción subjetiva del esfuerzo (RPE), temperatura ambiental (T), temperatura esofágica (Te), temperatura piel (Tp), temperatura pastilla (Tpa), temperatura rectal (Tr), viento (W).

Autor y Año	Objetivo	Muestra	Método	Intervención		Resultados
				Condiciones	Test	
Goulet et al. 2008	Rendimiento entre hidratación elevada previa al ejercicio o una euhidratación.	n=6 36,5 años	Tr-YSI tele-thermometer. 15cm	T 26°C RH 55%	2h 65% PAM con 5X2min 80%PAM (Rec:8min)	-Tr ↑ entre 0-20%TT
Peiffer & Abbiss 2011	Efecto de T sobre PO	n=9 35 años	Tr- (Grant Instruments, Cambridge, UK)	T 22°C RH 40% W 32km/h	40km TT	-Tr- ↑* entre 25-40%TT - Tr y Pot. (r=-0.93), (-) en el 90%TT ↑ PO
Tucker et al. 2004	Efecto T sobre PO	n=10 24,7 años	Tr-(YSI409AC, Yellow Spring, Ohio, USA) 10cm Tp- pecho, muslo, frente, pantorrilla (Ramanathan, 1964)	T 15°C W 10km/h RH 60%	20km TT	-PO const. del 10-90%TT y en el último 10%TT ↑* -Tr ↑ 0.07°C /km -Tp const. muslo y pantorrilla, frente ↑ de 30 a 34 y pecho 28 a 30°C de 0 al 50%TT
Watson et al. 2005	Efecto sustancias sobre el rendimiento, T calurosos y templados	n=9 22,7 años	Tr-(Gram Corporation LT-8 A, Saitama, Japan) Tp-4 zonas: pecho, brazo, muslo, pantorrilla (Ramanathan, 1964)	T 18°C RH 50-60%	60min.55%PAM y 30min TT	-Tp- ↑* creando una meseta en el 30%TT. -Tr ↑ en ambos test
Tucker et al. 2006	Regulación la intensidad del ejercicio con RPE fijo.	n=8 23,4 años	Tr-(YSI409AC, Yellow Spring, Ohio, USA) 10cm Tp- pecho, muslo, frente, pantorrilla. Formula (Mitchell & Wyndham, 1969)	T 25°C W 10km/h RH 60%	16RPE, Se termina → baja del 70% PO inicial	-Tr- ↑ * hasta 25%. -Tp const. 0-100%TT -PO ↓ lineal r=0,97 -Correlación (-) entre Tr y PO
Hettinga et al. 2007	Determinar el efecto del calor sobre la "gross-efficiency"	n=10 23,5 años	Tr-(YSI 701, Yellow Spring Instrument, Dayton, USA) Tp- 14 zonas ISO 9886	T 16°C W 6,2km/h	60% PAM 20min	-Tr ↑ a medida que avanza el test -Tp const. y ↑ Muy poco
Castle et al. 2012	Comparación del rendimiento entre T caluroso y normal.	n=7 20 años	Tr-(Libra Medical, Reading, UK) 10cm Tp- 4 zonas: pecho, brazo, muslo y pantorrilla (Ramanathan, 1964)	T 22°C RH 43%	30min. TT	-Tr ↑ lineal 0-100%TT +1°C -Tp ↑ lineal 0-100%TT (31°C - 34°C) -PO ↑, (-) ultimo 5%TT ↑*.
Che Jusoh et al. 2015	Evaluar la fiabilidad de realizar un test de laboratorio	n=8 41 años	Tr-(Covidien, Mon-a-Therm, Minneapolis, Minnesota, USA) 10cm Tp-4zonas: pecho, brazo, muslo y pantorrilla (Ramanathan, 1964).	T 26°C W 20km/h	45min a 55% PAM Y 15min. TT	- Tr ↑ 37,1 C° -38,4°C (45min) y 38,4°C -39,1°C (15min) -Tp const. 33°C
Levels et al. 2012	Efecto Tp sobre PO durante 7,5km.	n=13 24 años	Tr-(YSI401, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH, USA) 10cm Tp 4zonas: cuello, escápula derecha, espinilla derecha, mano izquierda Eq: (ISO9886, 2004) Tpa	T 15°C RH 50%	7.5km TT	-Tr ↑ 0-100%TT -Tp const. incluso ↓. -Tpa ↑ 0-100%TT -PO ↑ lineal ascendente, (-) ultimo 10%TT donde ↑*.
Ravanelli et al. 2014	Comparar métodos de medición Tcore	n=8 26 años	Tr-T-type (copper/constantan) thermocouple probes (Mon-a-therm®, Mallinckrodt Medical, St. Louis, MO, USA). 12cm Te Tp-4zonas: pecho, brazo, muslo y pantorrilla. (Ramanathan, 1964)	T 25°C	16 RPE hasta PO (-) 70% con respecto la inicial	- Tp P↓ en el 5%TT, y ↑ a partir del 35%TT -Tes ↑ 0-100%TT, (-) ↓ de 50-70%TT, P↑ 20%TT -Tr ↑ 0-100%TT, P↑ 40%TT -r – entre PO y Tr
Mündel et al. 2014	Comparar tres de los métodos Tcore	n=8 26 años	Tr- (Grant Instruments, Shepreth, UK) 10 cm Tpa Te- (Mekjavic & Rempel, 1990)	T 21°C W 1,8km/h RH 33%	60min 65% PAM	-Te ↑ (0-20%) y (75-85%), resto const. -Tp ↑ (0-45%) resto const. -Tr A (0-90%) resto const. Análisis estadístico: Tr, Tpa y Te r muy elevada y un CV% muy bajo. Pero la mayor similitud se encuentra entre la Tr y Tpa.
Goodall et al. 2015	Investigar fatiga neuromuscular con carga constante, cond. cálidas.	n=7 24,9 años	Tpa	T 18°C RH 20%	Carga constante	-Tpa ↑

4. Discusión

Tras la búsqueda de artículos, debo puntualizar que existen algunos artículos con una temperatura más baja de lo citado en los criterios de inclusión, ya que, si no los hubiese tenido en cuenta, el número de artículos se hubiera visto reducido drásticamente. Y como en el caso de (Levels, De Koning, Foster, & Daanen, 2012), la temperatura de 15°C es considerada como una temperatura ambiental normal.

Por otro lado, se ha observado que más del 90% de los artículos encontrados (Castle, Maxwell, Allchorn, Mauger, & White, 2012; Che Jusoh, Morton, Stannard, & Mündel, 2015; Goulet, Rousseau, Lamboley, Plante, & Dionne, 2008; Hettinga et al., 2007; Levels et al., 2012; Mündel, Carter, Wilkinson, & Jones, 2014; Peiffer & Abbiss, 2011; Ravanelli, Cramer, Molgat-Seon, Carlsen, & Jay, 2014; Tucker, Marle, Lambert, & Noakes, 2006; Tucker et al., 2004; Watson et al., 2005), han utilizado el sistema por medio de la vía rectal como uno de los métodos de medición de la temperatura corporal.

Esto nos ha permitido realizar una buena observación de los resultados de este método y obtener la conclusión de que no existen diferencias entre los valores que proporciona el sensor de medición durante el test, a pesar de tratarse de modelos diferentes y estar sometido a condiciones ambientales distintas. Por ello, podemos afirmar que en todos los test mantienen la misma tendencia, ascendente en todo momento y de forma más pronunciada entre el 0 y 20-25% de la duración del test, al igual que la temperatura del core no se ve influida por los factores externos.

Además, se ha podido ver que no todos los sensores se han colocado a la misma profundidad, algunos se han colocado a 10 centímetros (Castle et al., 2012; Che Jusoh et al., 2015; Levels et al., 2012; Mündel et al., 2014; Tucker et al., 2006, 2004), a 12 centímetros (Ravanelli et al., 2014), incluso a 15 centímetros (Goulet et al., 2008) y que a pesar de esta diversidad, no se han visto diferencias entre los valores de la temperatura rectal, además de contar con la evidencia de otro estudio (Lee, Wakabayashi, Wijayanto, & Tochihara, 2010), el cual afirmaba, que no existían diferencias significativas entre la colocación del sensor entre 4 y 19 centímetros de profundidad.

En la comparación de distintos métodos de medición de la temperatura del core, ha habido una serie de artículos (Levels et al., 2012; Mündel et al., 2014; Ravanelli et al., 2014) donde han comparado 2, o incluso 3, de los métodos más utilizados. Como es el caso del medidor por vía rectal, vía esofágica o bien por medio de la ingesta de un sensor, más conocido como pastilla, por vía oral. Obviamente, se han observado diferencias entre los métodos de medición, pero sin llegar a ser significativas y no en todos los test por igual, es decir, que por lo general los métodos han mantenido la misma linealidad durante toda la prueba.

Table 1

Relación entre las medidas de la temperatura corporal central.

	r	CV (%)
$T_{pa} - T_e$		
20°C	0,87	0,56
35°C	0,89	0,60
Total	0,86	0,60
$T_{pa} - T_r$		
20°C	0,92	0,45
35°C	0,91	0,52
Total	0,92	0,48
$T_r - T_e$		
20°C	0,81	0,70
35°C	0,90	0,56
Total	0,84	0,63

Coefficiente de correlación (r) y coeficiente de variación (CV, %) para gastro-intestinal o pastilla (T_{pa}), esofágico (T_e) y rectal (T_r) temperatura durante test de bici en 20 y 35°C.

Nota: Modificada de (Mündel et al., 2014)

Además, en el artículo de (Mündel et al., 2014), se ha llevado a cabo un análisis estadístico entre estos tres sistemas de medición que ha respaldado esta afirmación (Tabla 1). Por lo que estos tres métodos muestran un coeficiente de correlación (r) muy elevado y un porcentaje de coeficiente de variación (CV) casi inexistente, que se traduce en que son prácticamente idénticos. Pero también se observa que esa similitud es más fuerte entre los medidores de temperatura rectal y los que se llevan a cabo de la ingesta de una pastilla, por lo que podemos concluir que los 3 métodos muestran valores muy parecidos. Por lo tanto, puede utilizarse cualquiera de ellos en sustitución del otro, pero que preferiblemente debe hacerse mediante el medidor de temperatura rectal o el de pastilla.

Por desgracia, no podemos decir lo mismo del sensor de la temperatura de la piel. Existe también una mayoría, en artículos que miden temperatura rectal y temperatura de la piel (Castle et al., 2012; Che Jusoh et al., 2015; Hettinga et al., 2007; Levels et al., 2012; Ravanelli et al., 2014; Tucker et al., 2006, 2004; Watson et al., 2005), donde son bastante evidentes las diferencias entre las mediciones. Mientras que la rectal mostraba la misma tendencia en todos los test, la temperatura de la piel se comportaba de una forma muy distinta.

Podríamos afirmar que estas diferencias son debido a los distintos modelos utilizados, pero en este caso, nos encontramos con 4 estudios (Castle et al., 2012; Che Jusoh et al., 2015; Ravanelli et al., 2014; Watson et al., 2005), los cuales colocan los sensores en las mismas 4 zonas y utilizan la misma fórmula. Por lo que las diferencias no solo pueden ser debidas al sistema empleado, sino que la piel está expuesta al entorno y esto hace que el valor dependa más de otros factores (Gonzalez-Alonso et al., 1999) como son la temperatura ambiental, la humedad, el viento y su velocidad, etc. En los test se puede observar claramente que no existe

una unanimidad a la hora de establecer las condiciones ambientales, si esto fuera así, posiblemente el valor mostraría una misma tendencia en todas las pruebas. Hay que tener en cuenta otro factor que es interno al individuo y que por lo tanto es individualizado, se trata de la capacidad termorreguladora del sujeto para disipar ese calor que irradia el organismo hacia el exterior.

Por último, se ha podido observar una relación entre la temperatura del core medida por medio de cualquiera de los 3 sistemas mencionados anteriormente citados y los valores de potencia (Castle et al., 2012; Che Jusoh et al., 2015; Goodall et al., 2015; Goulet et al., 2008; Hettinga et al., 2007; Levels et al., 2012; Peiffer & Abbiss, 2011; Ravanelli et al., 2014; Tucker et al., 2006, 2004; Watson et al., 2005).

Hay que tener en cuenta que no todos los test han utilizado el mismo protocolo, y por lo tanto, no se refleja igual en la gráfica. Por un lado, hemos encontrado que varios test (Castle et al., 2012; Levels et al., 2012; Peiffer & Abbiss, 2011; Ravanelli et al., 2014; Tucker et al., 2006, 2004), donde se debía mantener un RPE constante o realizar un TT, y donde en la mayoría se podía observar esa correlación negativa, ese aumento de la temperatura corporal significaba un descenso en la capacidad de producir potencia (Figura 1 y 2).



Figura 1 Evolución la potencia y la temperatura del core con respecto al tiempo en un test TT.

Nota: Modificada de Tucker et al. (2006).

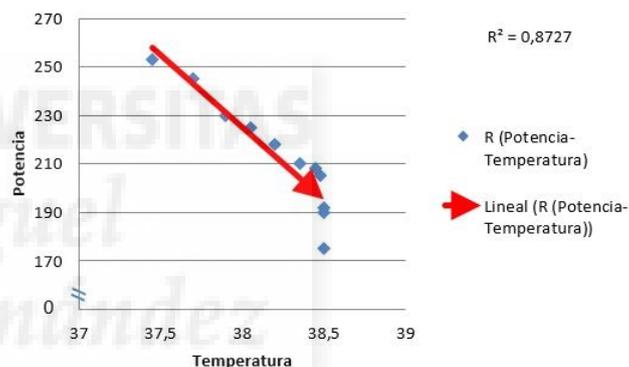


Figura 2 Relación entre el aumento de la temperatura del core y el descenso de la potencia en un test TT.

Nota: Modificada de Tucker et al. (2006).

Sin embargo, en los test que obligaban a mantener una potencia durante un tiempo (Che Jusoh et al., 2015; Goulet et al., 2008; Hettinga et al., 2007; Watson et al., 2005), esta correlación negativa no se presentaba, como se puede apreciar en (Figura 3 y 4). A pesar de que los valores de potencia se mantenían muy parecidos, la temperatura del core seguía aumentando. Por ello el valor de R^2 es tan bajo, debido a esa baja correlación entre ambos valores. Hay que tener en cuenta también que los test no eran muy prolongados y la potencia a mantener no era muy elevada, como por ejemplo, 55% de la Potencia Aeróbica Máxima (PAM) en el test de (Che Jusoh et al., 2015). Si llega a ser un test de 2-3h probablemente que esa intensidad no se podría mantener y veríamos que la potencia empezaría a bajar para no llegar a esa temperatura crítica.

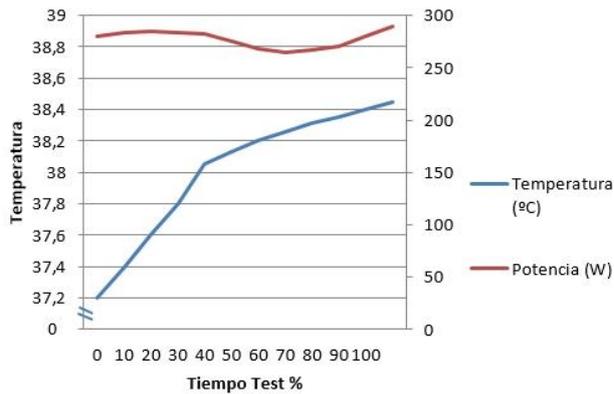


Figura 3 Evolución de la potencia y la temperatura del core con respecto al tiempo en un test de potencia mantenida.

Nota: Modificada de Watson et al. (2005)

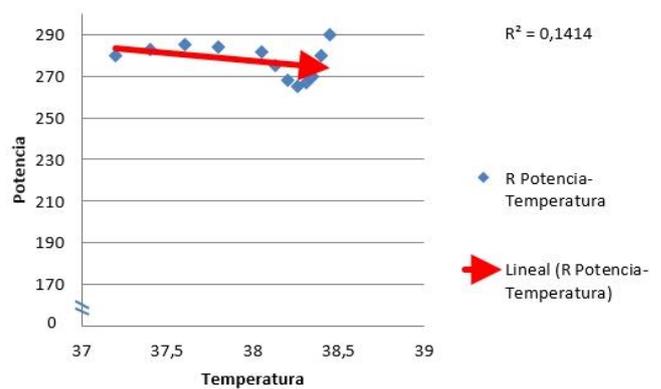


Figura 4 Relación entre el aumento de la temperatura del core y la potencia en un test de potencia mantenida.

Nota: Modificada de Watson et al. (2005)

5. Conclusiones

- Existe una similitud entre los de la temperatura rectal entre sus distintos modelos/métodos empleados.
- Se aprecia una elevada correlación en los valores de la temperatura del core obtenida por medio del sensor rectal, esofágico o pastilla.
- Sin embargo, los valores de la temperatura de la piel muy dispares entre las distintas mediciones.
- Se observa una relación entre los valores de temperatura rectal y los valores de potencia.

6. Planteamiento de Intervención

Sujetos: 20 ciclistas entrenados, que compitan a nivel amateur y con una edad de entre 18 y 25 años.

Material: para este test utilizaremos un cicloergómetro eléctrico (Lode Excalibur, Groningen, the Netherlands). La temperatura del core se medirá por vía rectal (Libra Medical, Reading, UK), y la temperatura de la piel (iButtons), el cual mide la temperatura a partir de cuatro zonas (pecho, brazo, muslo y pantorrilla) y utilizando la formula Ramanathan (1964).

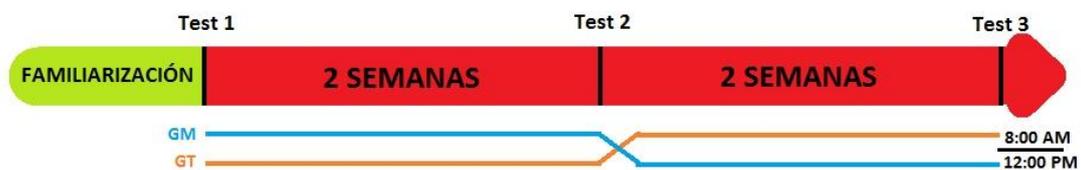
Condiciones: el test se lleva a cabo en laboratorio bajo temperatura ambiental normal (20-28°C) (Cheuvront & Haymes, 2001; Coyle & Montain, 1992; Hargreaves & Febbraio, 1998; Kay & Marino, 2000; Marino et al., 2002; Tatterson et al., 2000; Yoshida et al., 1997) y con la humedad ambiental que disponga la sala ya que los test se realizaran sobre la misma hora del día y época del año. Además, se dispondrá de un ventilador con una velocidad de 5km/h.

Protocolo: se llevará a cabo un test de 20km a recorrer en el menor tiempo posible. Dicho test se realizará 3 veces manteniendo las mismas condiciones y con un intervalo entre test y test de 2 semanas. Una semana previa a la realización del primer test, los sujetos dispondrán de una sesión de familiarización.

Durante el periodo de observación, los 20 sujetos se distribuirán en 2 grupos, donde tras la realización del primer test (Test 1), un grupo (GM) realizará su entrenamiento a primera hora de la mañana (8:00 AM) y el otro grupo (GT) sobre el mediodía (12:00 PM). Ambos grupos realizarán la misma cantidad de kilómetros semanales (500-600km) y a intensidades similares. Al terminar las 2 primeras semanas, se llevará a cabo el segundo test (Test 2), y a continuación

se llevará a cabo un cruce entre los grupos con respecto a la hora de entrenamiento (el grupo GM pasará a entrenar a mediodía y el grupo GT pasará a entrenar a primera hora de la mañana). Se volverá a dejar 2 semanas y se volverá a realizar una medición (Test 3).

Esta propuesta se lleva a cabo debido a que tras la observación de que la temperatura obtenida a través de la piel no se relaciona con otros valores correspondientes a métodos de medición de la temperatura del core, como es el caso de la medición de la temperatura rectal. Y visto que, este sistema de medición de la temperatura está muy influenciado por las condiciones ambientales. Se ha decidido indagar en el caso de que, si neutralizáramos los factores externos al individuo, que diferencia podría existir entre los valores de la temperatura del core y de la piel, en sujetos que han entrenado en distinta franja horaria del día.



7. Bibliografía

- Burton, D. A., Stokes, K., & Hall, G. M. (2004). Physiological effects of exercise. *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain*, 4(6), 185–188.
- Caputa, M., Feistkorn, G., & Jessen, C. (1986). Effects of brain and trunk temperatures on exercise performance in goats [published erratum appears in *Pflugers Arch* 1986 Apr;406(4):436]. *Pflugers Archive*, 406(2), 184–189.
- Castle, P. C., Maxwell, N., Allchorn, A., Mauger, A. R., & White, D. K. (2012). Deception of ambient and body core temperature improves self paced cycling in hot, humid conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 112(1), 377–385.
- Che Jusoh, M. R., Morton, R. H., Stannard, S. R., & M??ndel, T. (2015). A reliable preloaded cycling time trial for use in conditions of significant thermal stress. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(S1), 296–301.
- Cheuvront, S. N., & Haymes, E. M. (2001). Thermoregulation and marathon running: biological and environmental influences. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(10), 743–762.
- Coyle, E. F., & Montain, S. J. (1992). Carbohydrate and fluid ingestion during exercise: are there trade-offs? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(6), 671–678. Retrieved from
- Gonzalez-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T., & Nielsen, B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 86(3), 1032–1039. Retrieved from
- Goodall, S., Charlton, K., Hignett, C., Prichard, J., Barwood, M., Howatson, G., & Thomas, K. (2015). Augmented supraspinal fatigue following constant-load cycling in the heat. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(S1), 164–172.
- Goulet, E. D. B., Rousseau, S. F., Lamboley, C. R. H., Plante, G. E., & Dionne, I. J. (2008). Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2 h of cycling in a temperate climate. *Journal of Physiological Anthropology*, 27(5), 263–271.
- Hargreaves, M., & Febbraio, M. (1998). Limits to exercise performance in the heat. *International Journal of Sports Medicine*, 19 Suppl 2(1), S115–S116.
- Hettinga, F. J., De Koning, J. J., de Vrijer, A., Wüst, R. C. I., Daanen, H. A. M., & Foster, C. (2007). The effect of ambient temperature on gross-efficiency in cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 101(4), 465–471.
- Kay, D., & Marino, F. E. (2000). Fluid ingestion and exercise hyperthermia: implications for performance, thermoregulation, metabolism and the development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 18(2), 71–82.
- Kay, D., Taaffe, D. R., & Marino, F. E. (1999). Whole-body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions. *Journal of Sports Sciences*, 17(12), 937–44.
- Lee, J. Y., Wakabayashi, H., Wijayanto, T., & Tochihara, Y. (2010). Differences in rectal temperatures measured at depths of 4-19 cm from the anal sphincter during exercise and rest. In *European Journal of Applied Physiology* (Vol. 109, pp. 73–80).

- Levels, K., De Koning, J. J., Foster, C., & Daanen, H. A. M. (2012). The effect of skin temperature on performance during a 7.5-km cycling time trial. *European Journal of Applied Physiology*, 112(9), 3387–3395.
- López, P. (19 de Abril de 2016). El deporte más practicado en España no es el “runing” es el ciclismo. *El español*. Recuperado de: http://www.elespanol.com/deportes/ciclismo/20160418/118238526_0.html
- Marino, F. E., Kay, D., Cannon, J., Serwach, N., & Hilder, M. (2002). A reproducible and variable intensity cycling performance protocol for warm conditions. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 5(2), 95–107.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. I. (2001). *Exercise physiology : energy, nutrition, and human performance*. Unknown Journal (Vol. 2009).
- Mündel, T., Carter, J. M., Wilkinson, D. M., & Jones, D. A. (2014). A comparison of rectal, oesophageal and gastro-intestinal tract temperatures during moderate-intensity cycling in temperate and hot conditions. *Clinical Physiology and Functional Imaging*.
- Nielsen, B., Hales, J. R. S., Strange, S., Christensen, N. J., Warberg, J., & Saltin, B. (1993). Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *Journal of Physiology*, 460(1), 467–485.
- Nielsen, B., Strange, S., Christensen, N. J., Warberg, J., & Saltin, B. (1997). Acute and adaptive responses in humans to exercise in a warm, humid environment. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 434(1), 49–56.
- Noakes, T. D. (2000). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(3), 123–145.
- Nybo, L., & Nielsen, B. (2001a). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 91(3), 1055–1060.
- Nybo, L., & Nielsen, B. (2001b). Middle cerebral artery blood velocity is reduced with hyperthermia during prolonged exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 534(Pt 1), 279–286.
- Peiffer, J. J., & Abbiss, C. R. (2011). Influence of environmental temperature on 40 km cycling time-trial performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(2), 208–220.
- Ravanelli, N. M., Cramer, M. N., Molgat-Seon, Y., Carlsen, A. N., & Jay, O. (2014). Do greater rates of body heat storage precede the accelerated reduction of self-paced exercise intensity in the heat? *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2399–2410.
- Tatterson, A. J., Hahn, A. G., Martini, D. T., & Febbraio, M. A. (2000). Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(2), 186–193.
- Tucker, R., Marle, T., Lambert, E. V., & Noakes, T. D. (2006). The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. *The Journal of Physiology*, 574(3), 905–915.
- Tucker, R., Rauch, L., Harley, Y. X. R., & Noakes, T. D. (2004). Impaired exercise performance in

the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment.
Pflugers Archive - European Journal of Physiology, 448(4), 422–30.

Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., Piacentini, M. F., Loooverie, R., & Meeusen, R. (2005). Acute dopamine/noradrenaline reuptake inhibition enhances human exercise performance in warm, but not temperate conditions. *The Journal of Physiology*, 565(Pt 3), 873–83.

Yoshida, T., Nagashima, K., Nose, H., Kawabata, T., Nakai, S., Yorimoto, A., & Morimoto, T. (1997). Relationship between aerobic power, blood volume, and thermoregulatory responses to exercise-heat stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(7), 867–873.

