

Predicción del rendimiento en ciclismo de montaña

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
Curso académico 2018-2019



Trabajo final de grado

Alumno: Jose Luis Lucas Illán
Tutores académicos: Diego Pastor Campos
Jose Manuel Sarabia Marín

Índice

1. Introducción	3
2. Método	5
2.1 Procedimiento de revisión (metodología).....	5
2.2 Métodos de cuantificación de la carga de entrenamiento	6
2.3 Predicción del entrenamiento	7
2.4 Características y diseño.....	7
2.5 Planificación del entrenamiento.....	7
3. Resultados.....	9
3.1 Carga de Entrenamiento	9
3.2 Resultados de la revisión bibliográfica.....	10
3.2.1 Conclusiones de los estudios	10
3.4 Evolución del rendimiento	12
3.5 Predicción del rendimiento	12
3.6 Varibilidad de la FC	13
4. Discusión	13
5. Conclusiones	14
6. Bibliografía	14



1. Introducción

El ciclismo de montaña o Mountain bike es una disciplina del ciclismo que se practica en la montaña. Surgió a finales de los años 70 en San Francisco (California, EEUU) donde grupos de jóvenes modificaban sus bicicletas para realizar descensos por la montaña. A partir de este momento empezaron a crear bicicletas con cuadros y una serie de componentes diferentes para hacerlas más duraderas y posibilitar ascender pendientes más empinadas. Es un deporte que ha evolucionado de forma vertiginosa, tanto que hoy se practica en más de 200 países en sus diversas modalidades y en Atlanta 1996 se convirtió en deporte olímpico. De las diferentes modalidades que se practican, en Europa el denominado XC o Cross Country es la dominante, esta disciplina se realiza en un circuito el cual hay que dar una serie de vueltas con diversas zonas de subida y bajadas técnicas, además también es muy popular la modalidad de XCM o maratón en que no se practica en un circuito y prima realizar mayores distancias en un recorrido sin tantas zonas técnicas. Las bicicletas también han avanzado mucho, desde los cuadros de aluminio a los actuales de carbono, pasando por las ruedas de 29" de diámetro y la transmisión con un único plato y hasta 12 piñones en el cassette.

Con respecto al entrenamiento y cómo controlar la carga de cada sesión también se ha avanzado mucho, lo primero que deberíamos saber es por qué monitorizar la carga de entrenamiento, ya que de esta forma podemos determinar si hay una adaptación al entrenamiento, prevenir el sobreentrenamiento, o evitar las posibles lesiones relacionadas con la actividad entre otras. Para monitorizar la carga de entrenamiento existen dos grandes grupos: los que miden la carga interna como podría ser la frecuencia cardíaca, el lactato, el consumo de oxígeno o la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE por sus siglas en inglés), y podemos encontrar los que miden la carga externa con variables tales como la velocidad, la potencia, la distancia o el tiempo. De entre todas ellas deberemos seleccionar cual se adapta mejor a nuestras necesidades, además de la facilidad de uso y el gasto económico que conlleva.

Una vez que hemos monitorizado la carga de nuestras sesiones de entrenamiento llega el turno de cuantificar dicha carga, y esto es ver el estrés fisiológico que el entrenamiento nos supone y las adaptaciones que podemos obtener para así planificar la temporada y llegar a las competiciones en el mejor estado de forma posible. Para ellos existen diversos modelos de cuantificación ya sea con carga interna o externa. Nosotros vamos a utilizar un modelo de carga externa, el Training Stress Score (TSS por sus siglas en inglés) y cuatro modelos de carga interna (Lucia's TRIMP, Edwards TRIMP, Banister TRIMP, individual TRIMP, session RPE), las siglas TRIMP hacen referencia a "Training Impulse", todos ellos miden la carga de forma objetiva, menos el sRPE que lo hace de forma subjetiva. El TSS es una carga de entrenamiento que tiene en cuenta la duración y la intensidad del entrenamiento basado en la potencia ejercida, 1h al umbral funcional de potencia (FTP por sus siglas en inglés) equivale a 100 puntos de carga. Además, se puede utilizar para entender patrones calculando medias a corto y largo plazo para reflejar la fatiga y la forma física. En general un modelo TRIMP calcula el esfuerzo físico utilizando la frecuencia cardíaca máxima, en reposo y media durante un ejercicio. Banister (como se citó en Borresen y Lambert, 2009) desarrolló el método TRIMP y lo utilizó para cuantificar la carga interna. Edwards (como se citó en Halson, 2014) propuso un método basado en zonas para el cálculo de la carga de entrenamiento, el tiempo empleado en cinco zonas arbitrarias predefinidas se multiplica por coeficientes arbitrarios del 1 al 5 para cuantificar la carga, las zonas propuestas se basan en la frecuencia cardíaca máxima con un 10% de ancho cada zona desde el 50% hasta el 100%. Por otro lado, Lucia (como se citó en Borresen y Lambert, 2009) propuso un método el cual está basado en tres zonas determinadas por los umbrales ventilatorios, en este método la duración en cada una de las zonas de frecuencia cardíaca (zona 1: por debajo del umbral aeróbico; zona 2: entre el umbral aeróbico y el anaeróbico; zona 3: por encima del umbral anaeróbico) se multiplica por un coeficiente (k)

diferente a cada zona ($k=1$ para la zona 1, $k=2$ para la zona 2, y $k=3$ para la zona 3) y al final se suman las puntuaciones. (Manzi, Iellamo, Impellizzeri, D'Ottavio, y Castagna, 2009) defendían el TRIMP individualizado (iTRIMP) el cual reduce los problemas asociados con las zonas arbitrarias y las ponderaciones genéricas, ya que este método se basa en la frecuencia cardíaca propia del individuo y la respuesta del lactato en la sangre al ejercicio incremental. Por último, el índice de esfuerzo percibido sRPE propuesto por Foster (como se citó en Wallace, Slattery, y Coutts, 2014) está basado en la evaluación subjetiva que el propio atleta realice de la sesión de entrenamiento de acuerdo a la escala de la categoría (CR-10) de Borg (1985), y muestra una correlación con la frecuencia cardíaca por lo que podemos hacernos una idea del estrés fisiológico que está soportando.

Existen modelos matemáticos de entrenamiento para analizar y optimizar el entrenamiento físico. Se diseñaron como un método para estudiar la dinámica de los cambios en el rendimiento físico a lo largo del tiempo. El modelo más utilizado considera que la respuesta de rendimiento a una sesión de trabajo son los resultados combinados de los efectos negativos (fatiga) y positivos (mejora de la forma física) de una sesión de entrenamiento, siendo ambos componentes modelados de la misma forma. El rendimiento es el equilibrio entre estos componentes negativo y positivo.

El modelo de señal secundaria asume que la ganancia de rendimiento después de una sola sesión de entrenamiento alcanza su máximo varios días después del ejercicio, ya que la señal secundaria continúa estimulando las adaptaciones dentro del cuerpo. El uso de respuestas dependientes de la señal secundaria nos permite formular modelos que pueden distinguir entre la fatiga aguda que contrarresta el rendimiento y la inadaptación a las cargas de entrenamiento excesivas. (Busso, 2017) planteó cuatro modelos diferentes de señales secundarias asumiendo que el aumento en los resultados de la transformación de la señal secundaria al estímulo primario es la dosis de entrenamiento. Estos modelos fueron los siguientes: Modelo T con producción de rendimiento dependiente de la señal, Modelo TI se suma el proceso de inhibición al Modelo T que reduce la producción de rendimiento, Modelo TF añadiendo el proceso de fatiga al Modelo T que reduce el rendimiento con el tiempo y Modelo TIF añadiendo los procesos de inhibición y fatiga al Modelo T. Los modelos fueron testados en seis sujetos en un cicloergómetro durante un periodo de 15 semanas. El objetivo de este estudio fue verificar la capacidad de un modelo de señal secundaria para ajustar los cambios de rendimiento con el entrenamiento. El análisis estadístico muestra que los modelos probados nos permiten relacionar los cambios en el rendimiento de cada sujeto. Sin embargo, la comparación de los indicadores de ajuste indica que el Modelo TI es el más útil de los cuatro probados.

Con respecto a las problemáticas que podemos encontrarnos a la hora de utilizar los diferentes modelos, en primer lugar, sería necesario que el sujeto realice una prueba de esfuerzo para determinar sus umbrales y frecuencia cardíaca, esto puede ser costoso pero nos será de gran ayuda para utilizar los modelos TRIMP con precisión y además poder utilizar el iTRIMP. Por otro lado, el TSS en nuestro caso se utiliza una estimación que nos da la aplicación con los datos del GPS y pulsómetro, para que esta medida fuera más precisa haría falta un potenciómetro pero su coste es muy elevado. En cuanto al sRPE habría que enseñar a los usuarios a identificar el esfuerzo en la escala correctamente.

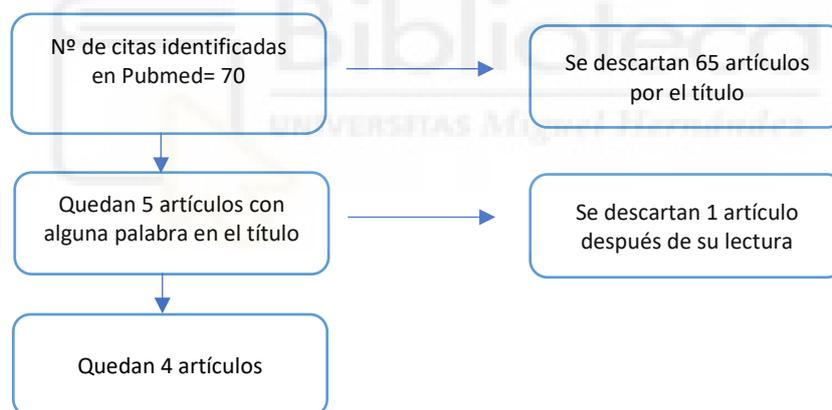
El objetivo de este trabajo final de grado es comparar las diferentes formas de cuantificar la carga de entrenamiento y ver cual se adapta y predice mejor el rendimiento en la disciplina de ciclismo de montaña, para ello se llevará a cabo un periodo de entrenamiento de 10 semanas. Cada semana se realizará un test en rodillo de 10' además de las sesiones de entrenamiento normales. Se realizará una prueba de esfuerzo al principio del periodo de entrenamiento. Al final de las 10 semanas se comprobará con los tests si el sujeto ha mejorado comparando la distancia realizada en los 10'. Para monitorizar la carga se utilizará un medidor

de frecuencia cardíaca y el RPE, además todas las mañanas se medirá la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Por otro lado, para cuantificar la carga de entrenamiento se utilizará: LTRIMP, ETRIMP, bTRIMP, iTRIMP, TSS, sRPE.

2. Método

2.1 Procedimiento de revisión (metodología)

Se realizó una búsqueda bibliográfica para intentar encontrar artículos relacionados con la cuantificación de la carga de entrenamiento en ciclismo de montaña. Para la búsqueda de dichos artículos se utilizó la base de datos PubMed siguiendo los criterios que establece la guía PRISMA (Urrútia y Bonfill, 2010). Para realizar la búsqueda se utilizaron las palabras “cycling”, “cyclist”, “training load”, “TRIMP”, “mountain biking” cruzándolas mediante los operadores booleanos AND y OR. La primera vez se cruzaron los términos “cycling” y “training load” con el operador OR con la finalidad de encontrar todos los artículos posibles que hicieran referencia a cualquiera de estos dos términos. De esta forma se encontraron 56564 resultados. A continuación, se cambió el operador por el AND, y se obtuvieron 57 resultados. Posteriormente se cruzaron las palabras “cycling” y “trimp” con el operador AND con lo que se obtuvieron 13 resultados. Finalmente se cruzó la palabra “mountain biking” con las palabras “training load” y “trimp” y no se encontró ningún resultado. De los 57 resultados encontrados utilizando la palabra “training load” y los 13 encontrados utilizando la palabra “trimp” se obtuvieron finalmente 5 artículos la mayoría comunes en ambas búsquedas.



Al final del proceso de búsqueda obtenemos los siguientes cuatro artículos:

- *Analysing a cycling grand tour: Can we monitor fatigue with intensity or load ratios?* (Sanders et al. 2018).
- *Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists* (Rodríguez-Marroyo, Villa, García-López y Foster, 2012).
- *Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists* (Sanders et al. 2018).
- *Relationship Between Various Training Load Measures in Elite Cyclists during Training, Road Races and Time Trials* (van Erp, Foster y Koning, 2018).

2.2 Métodos de cuantificación de la carga de entrenamiento

El primer paso para cuantificar la carga sería monitorizarla, para ello vamos a utilizar una banda de frecuencia cardíaca conectada a un dispositivo con GPS, y una escala con el RPE. Una vez que hemos monitorizado la carga de nuestras sesiones de entrenamiento llega el turno de cuantificar dicha carga. Para ellos existen diversos modelos de cuantificación ya sea con carga interna o externa.

En los modelos de carga externa nos encontramos el TSS, que es un modelo de carga que tiene en cuenta la duración y la intensidad del entrenamiento basado en la potencia ejercida, 1h al umbral funcional de potencia (FTP por sus siglas en inglés) equivale a 100 puntos de carga. Al estar el FTP tan implicado en el cálculo del TSS, es evidente que la estimación del FTP deberá ser lo más acertada posible. Además, se puede utilizar para entender patrones calculando medias a corto y largo plazo para reflejar la fatiga y la forma física. En nuestro caso al no contar con un potenciómetro la carga del TSS nos la estima la aplicación Training Peaks al subir los datos del entrenamiento.

En los modelos de carga interna vamos a utilizar por un lado diferentes modelos TRIMPs para cuantificar la carga gracias a la frecuencia cardíaca y por otro lado vamos a cuantificar la carga de forma subjetiva con la escala de sRPE.

El primer método TRIMP fue creado por Banister en 1991, en él se tiene en cuenta la intensidad del ejercicio calculada por el método de reserva de la frecuencia cardíaca y la duración del ejercicio. La FC promedio de la sesión de entrenamiento se ponderó de acuerdo con la relación entre la FC y el lactato sanguíneo como se observó durante el ejercicio incremental y luego se multiplicó por la duración de la sesión. Banister utilizó este modelo TRIMP para cuantificar la carga de entrenamiento en deportes de resistencia y conocer las relaciones dosis-respuesta del entrenamiento, ya que Banister planteó la hipótesis de que cada entrenamiento producía tanto fatiga como una mejora física. Al final el rendimiento es el resultado del nivel de condición física que un sujeto tenga, menos la fatiga acumulada.

En 1993, Edwards (como se citó en Halson, 2014) propuso un nuevo modelo TRIMP basado en zonas para el cálculo de la carga de entrenamiento, el tiempo empleado en cinco zonas arbitrarias predefinidas se multiplica por coeficientes arbitrarios del 1 al 5 para cuantificar la carga, las zonas propuestas se basan en la frecuencia cardíaca máxima con un 10% de ancho cada zona desde el 50% hasta el 100%. Pero esto tiene un problema, y es que esas 5 zonas son unos límites predefinidos y no concuerdan con ningún umbral metabólico o fisiológico, por lo que según su método en la zona 5 la adaptación al entrenamiento es 5 veces mayor que en la zona 1.

Lucia (como se citó en Borresen y Lambert, 2009) en 2003 propuso otro modelo TRIMP el cual está basado en tres zonas determinadas por los umbrales ventilatorios, en este método la duración en cada una de las zonas de frecuencia cardíaca (zona 1: por debajo del umbral aeróbico; zona 2: entre el umbral aeróbico y el anaeróbico; zona 3: por encima del umbral anaeróbico) se multiplica por un coeficiente (k) diferente a cada zona (k=1 para la zona 1, k=2 para la zona 2, y k=3 para la zona 3) y al final se suman las puntuaciones. Igual que pasaba con Edwards este tipo de ponderación implica que el ejercicio a alta intensidad sea 3 veces más exigente que el ejercicio a baja intensidad. Ya que aunque esté basado en los umbrales ventilatorios, si por ejemplo tenemos el VT2 al 80% de la FCmax, una sesión mucho más intensa al 95% tendría la misma ponderación que una al 80% y si el entrenamiento fuera al 79% ya correspondería a una ponderación menor.

En 2009 se propuso el TRIMP individualizado (iTRIMP) el cual reduce los problemas asociados con las zonas arbitrarias y las ponderaciones genéricas, ya que este método se basa en la frecuencia cardíaca propia del individuo y la respuesta del lactato en la sangre al ejercicio incremental. De esta forma al no tener una ponderación arbitraria como en el caso de Edwards

y Lucia, y cada sujeto tendría su propia ponderación, con este método se superaría muchas de las limitaciones anteriores.

Por último, el índice de esfuerzo percibido sRPE está basado en la evaluación subjetiva que el propio atleta realice de la sesión de entrenamiento de acuerdo con la escala de la categoría (CR-10) de Borg (1985), se calcula multiplicando la intensidad seleccionada en la escala por el tiempo de la sesión de entrenamiento. Además, este método muestra una correlación con la frecuencia cardíaca por lo que podemos hacernos una idea del estrés fisiológico que está soportando.

2.3 Predicción del entrenamiento

Como he comentado anteriormente existen modelos matemáticos de entrenamiento para analizar y optimizar el entrenamiento físico. Estos se diseñaron como un método para estudiar los cambios en el rendimiento físico a lo largo del tiempo. El modelo más utilizado considera que la respuesta de rendimiento a una sesión de trabajo son los resultados combinados de los efectos negativos (fatiga) y positivos (mejora de la forma física) de una sesión de entrenamiento, siendo ambos componentes modelados de la misma forma. El rendimiento es el equilibrio entre estos componentes negativo y positivo.

(Busso, 2017) planteó cuatro modelos diferentes de señales secundarias: T, TI, TF y TIF. Utilizando un Excel con los modelos T y TI, se realizará un análisis estadístico para ver si los modelos probados nos permiten relacionar los cambios en el rendimiento de cada sujeto y con cada modelo de cuantificación de la carga. De esta forma podremos comprobar si existe alguna forma de predecir el rendimiento y de esta forma ajustar las cargas de entrenamiento para llegar al mejor nivel posible a una competición.

2.4 Características y diseño

El objetivo de este trabajo final de grado es comparar las diferentes formas de cuantificar la carga de entrenamiento y cual se adapta y predice mejor el rendimiento en la disciplina de ciclismo de montaña, para ello se llevará a cabo un periodo de entrenamiento de 10 semanas. Antes de comenzar se realizó una prueba de esfuerzo para saber los datos del sujeto: (22 años, 173cm altura, masa corporal 67kg y VO_2max $55ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) además de saber dónde se encuentran sus umbrales ventilatorios. Todos los lunes durante el periodo de 10 semanas se realiza un test en rodillo que consta de 10' de calentamiento y 10' al máximo posible, además de realizar otras 3 sesiones de entrenamiento más a la semana. Al final de las 10 semanas se comprobará si el sujeto ha mejorado comparando la distancia realizada en los tests en rodillo gracias a un sensor de velocidad colocado en la rueda. Para monitorizar la carga se utilizará un medidor de frecuencia cardíaca de la marca Garmin y el RPE, además todas las mañanas se medirá la variabilidad de la frecuencia cardíaca con la aplicación HRV4 Training. Por otro lado, para cuantificar la carga de entrenamiento se utilizará: LTRIMP, ETRIMP, bTRIMP, iTRIMP, TSS, sRPE. Todos estos datos se extraen del dispositivo Garmin y se copian a un Excel en el cual calculamos la carga de las diferentes formas, además de poder realizar un seguimiento de los entrenamientos.

2.5 Planificación del entrenamiento

Durante el periodo de entrenamiento de 10 semanas se ha seguido una dinámica en las sesiones de entrenamiento. Todos los lunes a la misma hora se realizaba el test de rodillo que contaba con 10min de calentamiento y 10min al máximo posible. Durante el resto de la semana se realizaban otras 3 sesiones de entrenamiento de unas 2h de duración

aproximadamente. La mayoría de los entrenamientos se realizaban en el monte de Banejúzar al cual hay unos 25min de trayecto hasta llegar desde mi población. Por lo que al final entre ida y vuelta nos queda aproximadamente 1h de entrenamiento en el monte. Las subidas son de unos 5min, pero tienen una gran inclinación por lo que al final acabamos la sesión con unos 500m de desnivel acumulado. A continuación, se adjunta un calendario con los días que se ha realizado un entrenamiento:

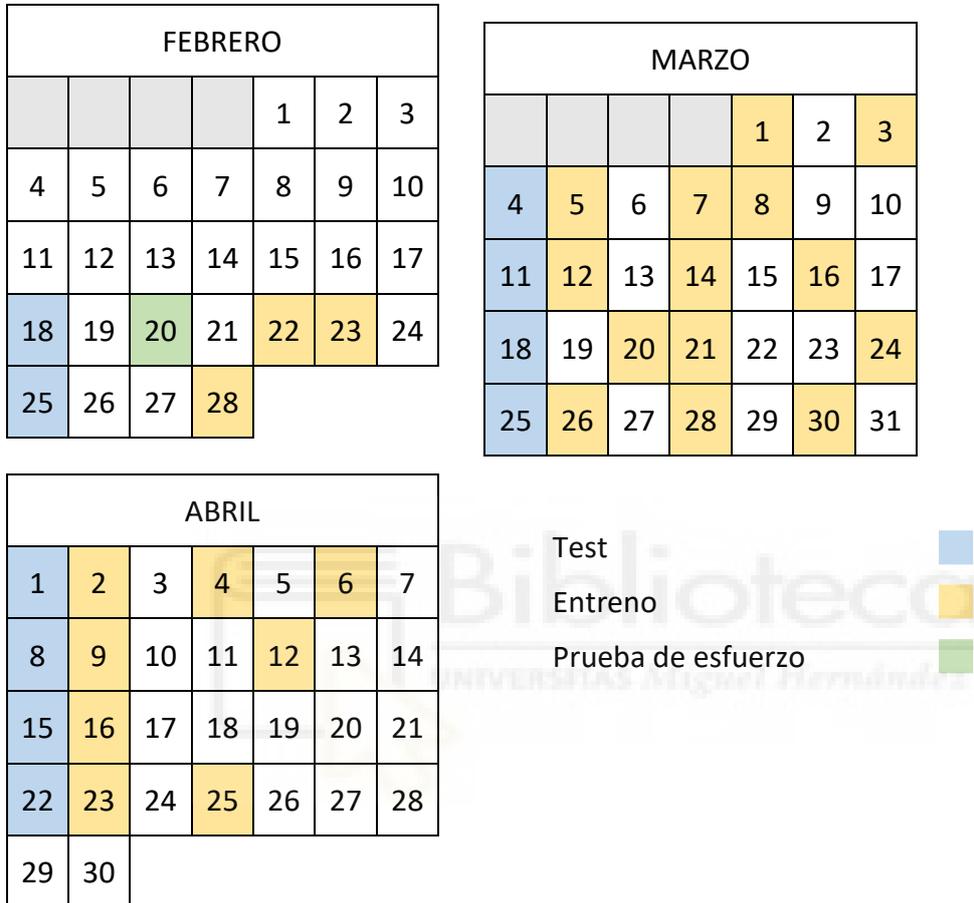
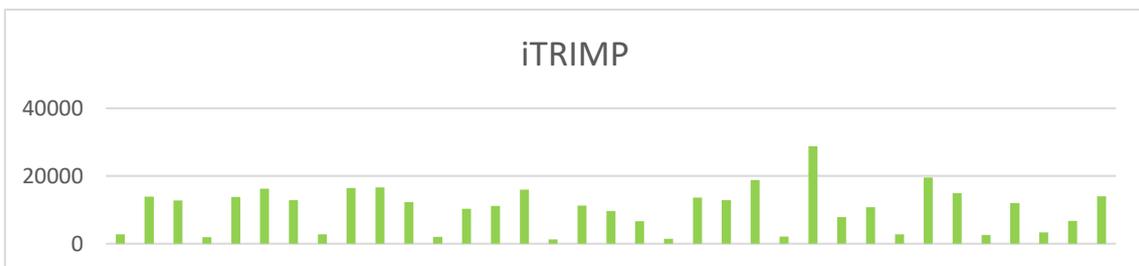
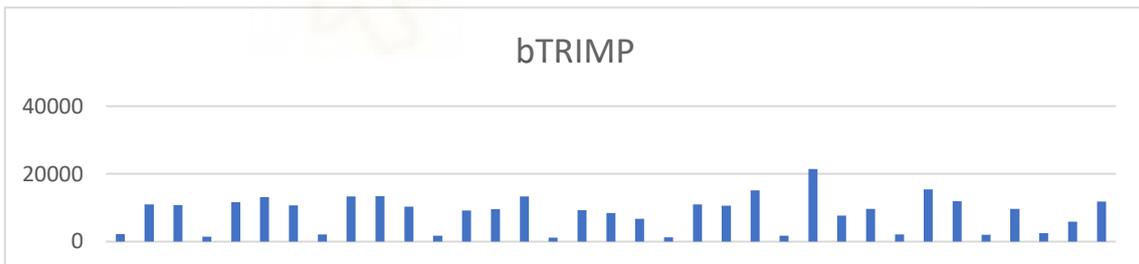
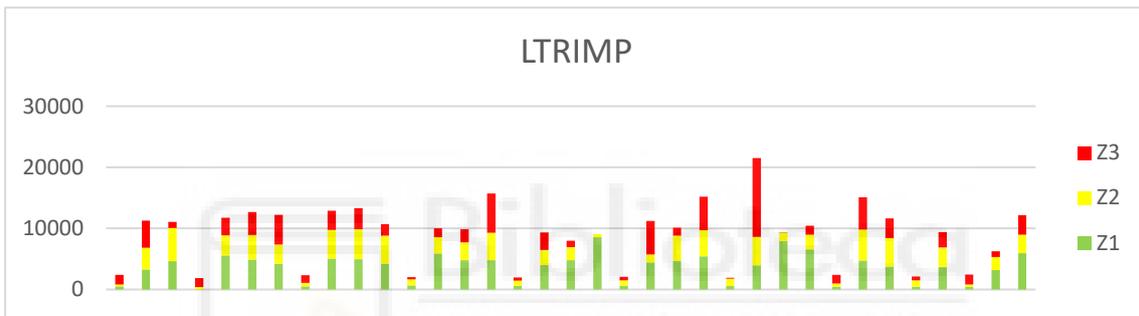
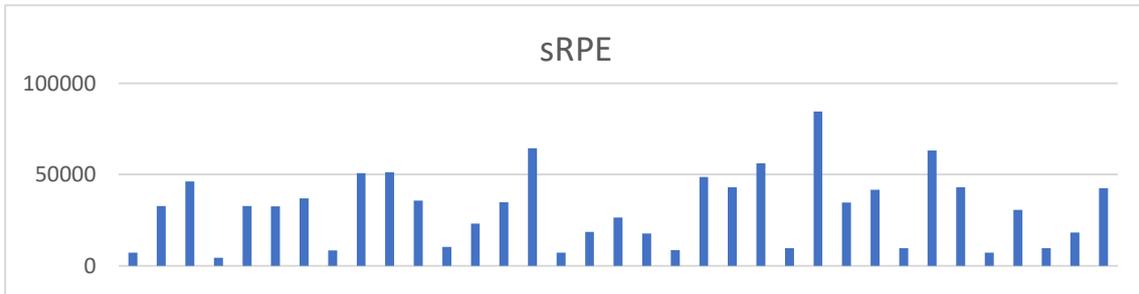


Figura 1. Calendario de entrenamiento

3. Resultados

3.1 Carga de Entrenamiento

A continuación, se adjuntan los gráficos correspondientes a la carga de entrenamiento durante el período de entrenamiento de diez semanas con los diferentes métodos de cuantificación:



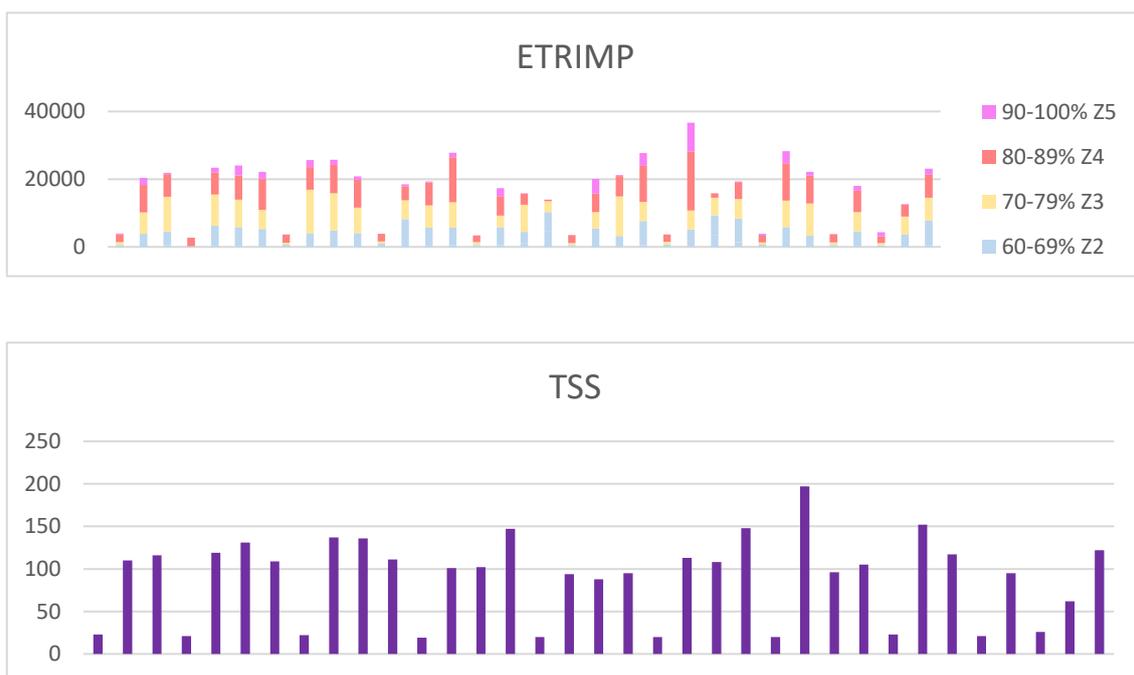


Figura 2. Cuantificación de la carga con las distintas variables

3.2 Resultados de la revisión bibliográfica

El perfil de los participantes de los diversos estudios era similar, ya que en todos los casos eran ciclistas profesionales o de un alto nivel. En el artículo de (Sanders, Abt, Hesselink, Myers, & Akubat, 2017) el tamaño muestral era de 12 participantes (media \pm SD, edad 29 ± 4.5 años, masa corporal 72.2 ± 5.3 kg, y $VO_2\max$ 75 ± 6 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) y los datos de entrenamiento fueron recogidos durante el Giro d'Italia y la Vuelta a España de 2016, además se recogió los datos de las 2 semanas anteriores para obtener una línea basal. En otro artículo también de (Sanders et al., 2018) participaron 15 ciclistas masculinos (media \pm SD, edad 22 ± 2.5 años, altura 187.7 ± 4.2 cm, masa corporal 74.2 ± 4.7 kg) los datos de entrenamiento fueron recogidos durante 10 semanas en el periodo de pretemporada que consistía en entrenamientos de baja intensidad y altos volúmenes. Por otro lado, (van Erp, Foster y Koning, 2018) presentaron un artículo con una muestra de 21 ciclistas profesionales con un promedio de potencia máxima en 20min (413 ± 32 W o 5.55 ± 0.8 W/Kg) los datos fueron recogidos durante 4 años. Finalmente, (Rodríguez-Marroyo, Villa, García-López y Foster, 2012) contaban con 12 ciclistas profesionales (media \pm SEM: edad 25 ± 1 años, altura 175 ± 3 cm, masa corporal 65.9 ± 2.0 kg, y $VO_2\max$ 78.5 ± 1.7 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Se comparó en dos temporadas consecutivas en carreras de 5, 7 y 21 días.

3.2.1 Conclusiones de los estudios

En el artículo *Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists* (Sanders et al. 2018). Los resultados de este estudio apoyan el uso de un método de carga-entrenamiento que integre características fisiológicas individuales (es decir, relación HR-lactato sanguíneo, umbral funcional de potencia), en lugar de valores de intensidad de ejercicio o factores arbitrarios de ponderación.

La relación más fuerte que se observó entre la carga de entrenamiento y los cambios en variables de capacidad aeróbica submáxima fueron para el iTRIMP y TSS, donde se explicó el 56% al 65% de la varianza. Las relaciones dosis-respuesta con cambios en el rendimiento no

fueron tan fuertes como las variables aeróbicas, con los resultados que muestran iTRIMP y luTRIMP como las relaciones más sólidas.

En el artículo *Analysing a cycling grand tour: Can we monitor fatigue with intensity or load ratios?* (Sanders et al. 2018). Este estudio examinó si las relaciones de intensidad y carga basadas en RPE, y los datos de HR y PO durante el entrenamiento y competición en bicicleta proporcionaban información diferente o adicional en comparación con datos sueltos de intensidad o carga. Se observó como en una gran vuelta con el paso de las semanas la carga relacionada con el RPE aumentaba mientras que los valores relacionados con la frecuencia cardíaca máxima y media disminuían.

Los cambios observados en los ratios no se reflejaron en medidas de carga solitaria que sugieren que los ratios puedan proporcionar información adicional valiosa al monitorizar atletas.

A continuación, en el estudio *Relationship Between Various Training Load Measures in Elite Cyclists during Training, Road Races and Time Trials* (van Erp, Foster y Koning, 2018), se encontraron correlaciones casi perfectas entre todas las relaciones analizadas durante las sesiones de entrenamiento, independientemente de en qué se basó la carga de entrenamiento. Para las carreras, la relación entre kJ gastado vs TSS y sRPE vs kJ gastado resultó ser casi perfecta mientras todas las demás relaciones eran muy largas. En cambio para las contrarreloj se encontró una correlación perfecta entre LuTRIMP vs kJ gastado, TSS vs kJ gastado y TSS vs LuTRIMP.

La carga de entrenamiento basada en RPE (sRPE), HR (LuTRIMP) y PO (kJ gastados y TSS) son medidas fiables para medir la carga en el entrenamiento, las carreras y las contrarrelojes en ciclistas profesionales. Sin embargo, la diferencia entre el TSS es inesperadamente mayor en comparación con las otras medidas.

Finalmente, el artículo que nos quedaría sería *Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists* (Rodríguez-Marroyo, Villa, García-López y Foster, 2012). El objetivo de este estudio fue analizar la carga de competición usando el RPE durante diferentes carreras de ciclismo profesional para comprobar su validez en comparación con la carga de competición basada en la frecuencia cardíaca.

El TRIMP_{HR} más alto ($p < 0.05$; ES = 1.00) se encontró en carreras de 5 y 7 días. Sin embargo, cuando se analiza por TRIMP_{RPE}, el valor más alto ($p < 0.05$; ES = 0.73) se observó en carreras de 21 días.

En conclusión, este estudio mostró que el RPE se pueda utilizar para cuantificar la carga durante carreras de ciclismo profesional. Este método puede ser una herramienta útil y no invasiva para que los entrenadores monitoricen y controlen la carga de entrenamiento en ciclistas.

3.4 Evolución del rendimiento

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los tests semanales realizados:

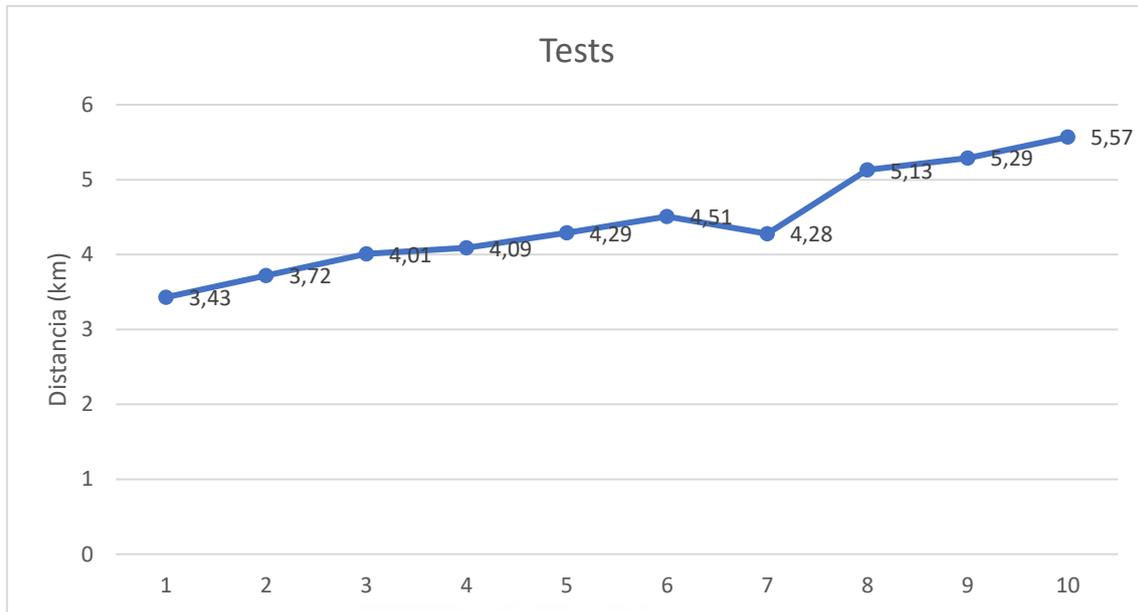


Figura 3. Evolución del rendimiento

3.5 Predicción del rendimiento

Para cuantificar la carga de entrenamiento se ha utilizado el bTRIMP, LTRIMP, ETRIMP, iTRIMP, sRPE y el TSS. El periodo de entrenamiento constaba de 10 semanas en el cual se ha realizado el ajuste a las últimas 4 para así intentar predecir el entrenamiento. En la figura 4 se muestra una tabla con los valores de ajuste y predicción obtenidos con los diferentes modelos de cuantificación de la carga tanto con el Modelo T y el Modelo TI propuesto por (Busso, 2017).

	Ajuste		Predicción	
	Model T	Modelo TI	Modelo T	Modelo TI
bTRIMP	0.91	0.90	-0.60	-0.89
LTRIMP	0.91	0.89	-0.50	-0.83
ETRIMP	0.86	0.87	-1.43	-1.30
iTRIMP	0.91	0.81	0.02	-0.89
sRPE	0.87	0.70	-0.79	-0.08
TSS	0.91	0.89	-0.21	-2.56

Figura 4. Ajuste y predicción de los diferentes modelos

Como se puede observar en la tabla los valores obtenidos en el ajuste son muy buenos en todos los modelos de cuantificación, sin embargo, a la hora de predecir el rendimiento ninguno obtiene valores significativos. El iTRIMP es el único que obtiene valores positivos y por tanto el que mejor predice el rendimiento, y lo hace en el Modelo T. En la figura 5 podemos observar la carga de entrenamiento cuantificada con el iTRIMP (columnas en gris), el

resultado obtenido en los tests (puntos azules) y el rendimiento que predice el Modelo T (línea naranja).

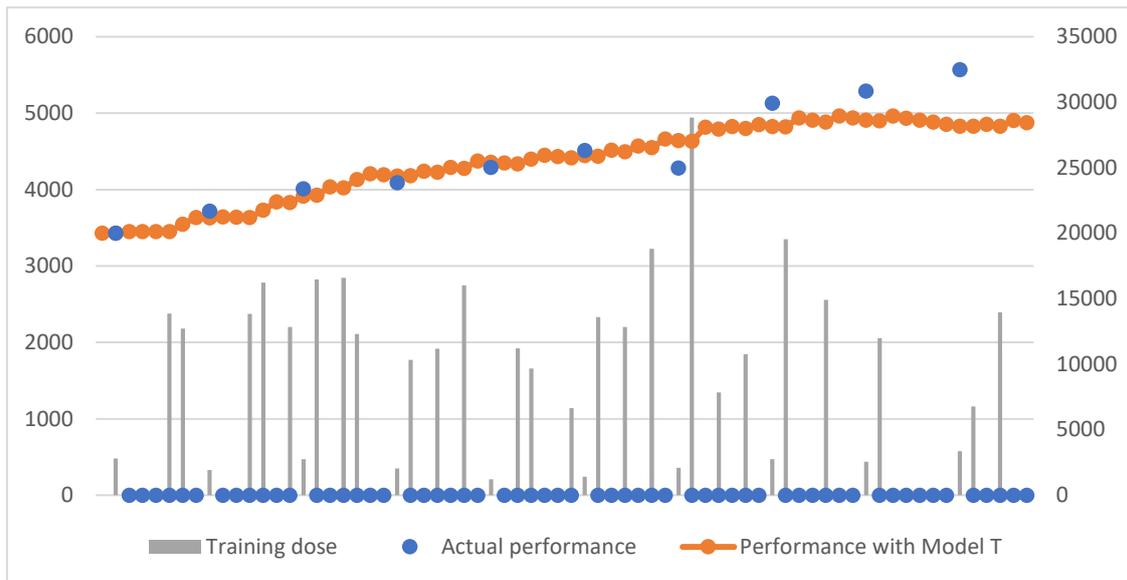


Figura 5. Predicción del iTRIMP con el modelo T

3.6 Varibilidad de la FC

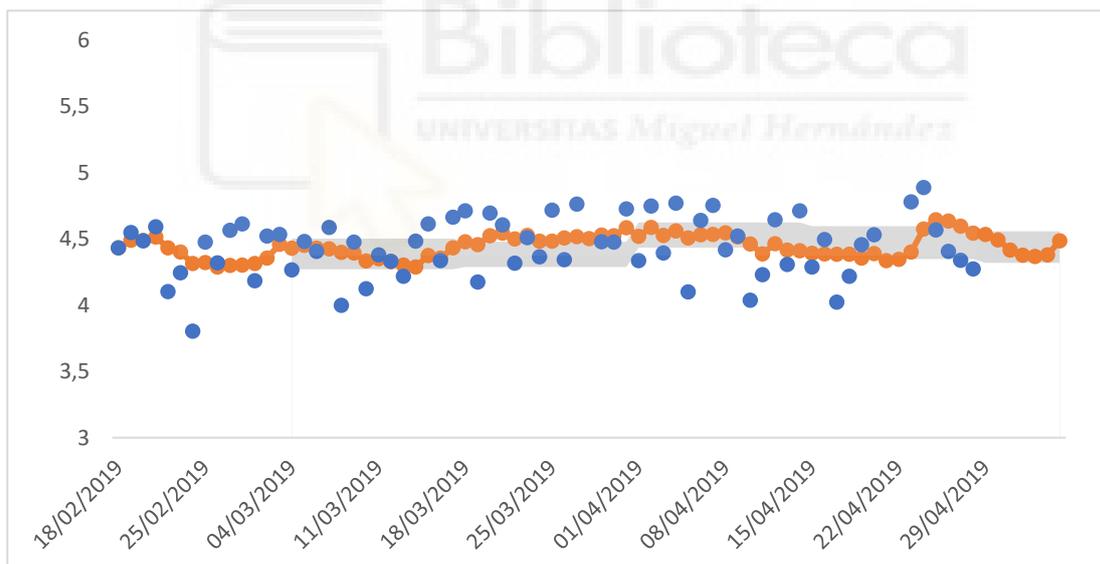


Figura 6. HRV durante las 10 semanas de entrenamiento

4. Discusión

A raíz de los resultados obtenidos al comparar los diferentes métodos de cuantificación de la carga y ver cual se ajusta y predice mejor el rendimiento en la disciplina de ciclismo de montaña nos surge la siguiente pregunta: ¿Por qué unos modelos se ajustan mejor que otros?, pues esto es debido a que cada modelo cuantifica la carga de una forma diferente, ya sea dividiendo la intensidad de entrenamiento en zonas de frecuencia cardíaca, con una escala subjetiva, con la potencia obtenida, o con los umbrales de lactato.

En nuestro caso el modelo iTRIMP es el que mejor se ajusta y predice el rendimiento, y tiene sentido ya que es un modelo individualizado a cada sujeto y depende de los umbrales de lactato de este. El siguiente que mejor se ajusta sería el TSS, aunque este predice peor el rendimiento. Pero el TSS un modelo de cuantificación desarrollado para ciclistas basado en la potencia ejercida. Además, la disciplina de ciclismo de montaña es muy parecida al ciclismo de carretera, salvo por mayores cambios de intensidad en la primera, y una intensidad más constante en la segunda. Otros modelos como el sRPE pueden no ser tan precisos ya que lo más importante es que el sujeto sepa distinguir las intensidades para utilizar la escala, y otro problema es que en deportes de larga duración, al multiplicar el valor de la escala por el tiempo obtenemos valores de carga muy elevados debido a los grandes volúmenes de entrenamiento, y sin embargo puede ser que una sesión con series a gran intensidad obtenga una menor puntuación al tener menos volumen.

Por otro lado, el periodo de entrenamiento han sido sólo 10 semanas con un test a la semana, por lo que al final el número de datos es limitado en comparación al estudio realizado por (Busso, 2017) en el cual los ciclistas realizaban 2-3 tests semanales para medir el rendimiento durante 15 semanas el cual estaba dividido en diferentes periodos. En cambio, mi planificación ha sido muy uniforme en cuanto a volumen y frecuencia de entrenamiento, aumentando la intensidad progresivamente. Se realizó un tapering bajando el volumen y la frecuencia de entrenamiento, y de esta forma llegar al último test en la mejor forma posible. En la figura 5 se puede observar cómo al realizar el tapering disminuyó la fatiga.

Además, se ha producido un gran aprendizaje en la realización del test, ya que se realizaba en un rodillo de rulos en el cual tienes que mantener el equilibrio en todo momento y las intensidades a las que se había utilizado anteriormente eran muy inferiores a las utilizadas en el test, de ahí que haya tanta diferencia en las primeras semanas. Habría que ver cuando ha finalizado el aprendizaje y los resultados son sólo de la mejora en el rendimiento del sujeto.

5. Conclusiones

En conclusión, con el periodo de entrenamiento realizado, los datos obtenidos y los diferentes modelos para cuantificar la carga de entrenamiento, no podemos confirmar que el modelo propuesto por (Busso, 2017) para predecir el rendimiento funcione correctamente, ya que con la mayoría de los modelos utilizados se ajusta bien, pero a la hora de predecir el rendimiento no funciona con ninguno. Como hemos comentado anteriormente no sabemos si es por culpa del modelo o por cualquiera de los factores comentados, como puede ser el aprendizaje en el test, la falta de datos, o que no es la misma disciplina.

6. Bibliografía

- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The Quantification of Training Load , Effect on Performance. *Sports Med*, 39(9), 779–795.
- Busso, T. (2017). From an indirect response pharmacodynamic model towards a secondary signal model of dose-response relationship between exercise training and physical performance. *Scientific Reports*, 7, 1–11.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44, 139–147.
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., D'Ottavio, S., & Castagna, C. (2009). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(11), 2090–2096.

- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, G., García-López, J., & Foster, C. (2012). Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclist. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (8)
- Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M. K. C., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15 (5), 668–675.
- Sanders, D., Heijboer, M., Hesselink, M. K. C., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Analysing a cycling grand tour: Can we monitor fatigue with intensity or load ratios? *Journal of Sports Sciences*, 1–7.
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511.
- Van Erp, T., Foster, C., Koning, J. J. (2018). Relationship between various training load measures in elite cyclists during training, road races and time trials. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20.

