

Gómez-Carmona, C.D.; Rojas-Valverde, D.; Oliva-Lozano, J.M.; Pino-Ortega, J. (202x) Chronotropic and cardiac autonomic responses to one-week competitive period in speed motorcycling. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. XX (XX) pp. XXX-XXX
Http://cdeporte.rediris.es/revista/XXXX

DOI:

ORIGINAL

RESPUESTA CRONOTRÓPICA Y CARDÍACA AUTÓNOMA EN MOTOCICLISMO. UN ESTUDIO DE CASO

CHRONOTROPIC AND CARDIAC AUTONOMIC RESPONSES IN SPEED MOTORCYCLING. A CASE STUDY

Gómez-Carmona, C.D.¹; Rojas-Valverde, D.^{2,3}; Oliva-Lozano, J.M.⁴ y Pino-Ortega, J.⁵

¹ Personal Investigador con contrato Pre-Doctoral (FPU/MCIU). Grupo de Optimización del Entrenamiento y el Rendimiento Deportivo (GOERD). Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal. Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Extremadura (España) cdgomezcarmona@unex.es

² Estudiante de Doctorado, Grupo de Avances en Entrenamiento Deportivo y Acondicionamiento Físico (GAEDAF), Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Extremadura, Cáceres (España)

³ Investigador Asociado, Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte (CIDISAD). Profesor en Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida. Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica) drojasv@una.cr

⁴ Personal Investigador con contrato Pre-Doctoral (FPU/MCIU). Centro de Investigación en Salud. Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Almería (España) jol908@ual.es

⁵ Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Grupo de Investigación BioVetMed & SportSci. Profesor en Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Departamento de Actividad Física y Deporte. Universidad de Murcia (España) josepinoortega@um.es

FINANCIACIÓN

Los autores Carlos D. Gómez Carmona (FPU17/00407) y José M. Oliva Lozano (FPU18/04434) son beneficiarios de las ayudas del programa de Formación del Profesorado Universitario del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Código UNESCO / UNESCO code: 5899 Otras especialidades pedagógicas (Educación Física y Deporte).

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 17. OTRAS (Análisis de las exigencias deportivas) / OTHER (Sport demands analysis)

Recibido 17 de Diciembre 2020 **Received** December 17, 2020

Aceptado 5 de agosto de 2021 **Accepted** August 5, 2021

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar la respuesta cronotrópica y cardíaca autónoma de un piloto de motociclismo durante la 7ª prueba del Campeonato de Europa FIM-CEV Repsol Moto2 mediante frecuencia cardíaca media (FC_{MEDI}) y ratio simpático-parasimpático (RS-Ps). El efecto y relaciones de las sesiones, vueltas y segmentos del circuito fue analizado mediante MANOVA con post-hoc Bonferroni y r de Pearson. Se encontró bajo efecto de los segmentos en RS-Ps ($p<.01$; $\omega_p^2=0.03$), y alto efecto de sesiones ($p<.01$; $\omega_p^2=0.72$), vueltas ($p<.01$; $\omega_p^2=0.95$) e interacción sesiones-vueltas ($p<.01$; $\omega_p^2=0.62$) en FC_{MEDI} . Además, se halló una tendencia de incremento de FC_{MEDI} respecto a sesiones ($r=.315$; $p<.01$) y vueltas ($r=.280$; $p<.01$). No se encontraron correlaciones significativas con RS-Ps. La FC_{MEDI} puede utilizarse como un indicador de fatiga durante la competición, mientras que el RS-Ps indicaría el estrés significativo del piloto en segmentos específicos del circuito, siendo ambas variables importantes para mejorar el rendimiento del piloto.

PALABRAS CLAVE: Estrés, frecuencia cardíaca, motociclismo, carga interna.

ABSTRACT

The purpose of the present study was to analyze the chronotropic and cardiac autonomic response of a motorcyclist during the 7th race week of the FIM-CEV Repsol Moto2 European Championship through heart rate (HR_{AVG}) and sympathetic-parasympathetic ratio (RS-Ps). The effect and relationships of sessions, laps and track segments were analyzed by MANOVA test with Bonferroni post-hoc and Pearson's r . A low effect of the segments in RS-Ps ($p<.01$; $\omega_p^2=0.03$), and high effect of the sessions ($p<.01$; $\omega_p^2=0.72$), laps ($p<.01$; $\omega_p^2=0.95$) and the interaction between sessions and laps ($p<.01$; $\omega_p^2=0.62$) in HR_{AVG} were found. Also, a tendency of increasing HR_{AVG} was found with sessions ($r=.315$; $p<.01$) and laps ($r=.280$; $p<.01$). No significant correlations were found with RS-Ps. While HR_{AVG} can be used as fatigue index during motorcycling competition, RS-Ps indicates the significant rider's stress at specific segments of the track, being important both variables to improve the riders' performance.

KEYWORDS: Stress, heart rate, motorcycling, internal load

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el análisis de la carga externa e interna en deportistas, así como de otros factores relacionados con el rendimiento, es necesario para comprender las dinámicas de un deporte específico (Bartlett et al., 2017; McLaren et al., 2018). El motociclismo de velocidad es considerado como un deporte de alta complejidad ya que las altas velocidades alcanzadas en la motocicleta suponen un estrés notable para el deportista junto al riesgo inminente de accidente o muerte (Jamson & Chorlton, 2009; Talib et al., 2015). Por ejemplo, las acciones bruscas de frenada, asociadas en más del 40% de los casos a una velocidad de salida superior a 260 km/h, provocan aceleraciones superiores a 10 m/s^2 con una carga mecánica corporal elevada (D'Artibale et al., 2018). En consecuencia, se han realizado mejoras tecnológicas en la motocicleta, potenciando el rendimiento y la seguridad de los conductores, que ahora compiten con mejor equipamiento (Kim et al., 2018).

Hasta la fecha, las investigaciones relacionadas con el rendimiento del piloto son escasas. Concretamente, se han estudiado variables contextuales como la condición física (Gutierrez et al., 2002; Mateo-March et al., 2013; Rodríguez-Pérez et al., 2013), la psicología (Gil Moreno de Mora, 2015; Mateo-March et al., 2013) y la fatiga (Gil Moreno de Mora, 2015). Por tanto, el estudio de la respuesta interna (por ejemplo, a través de la frecuencia cardíaca) del piloto durante la competición podría enriquecer el conocimiento actual y conducir al desarrollo de metodologías de entrenamiento alternativas en términos de prescripción de la carga o protocolos de recuperación considerando la carga interna (Morosi et al., 2015; Pino-Ortega et al., 2019).

En este sentido, la frecuencia cardíaca se ha utilizado previamente como indicador de intensidad de la carga interna (Corcoba-Magaña et al., 2017; Sanna et al., 2017; Talib et al., 2015). Este indicador fisiológico refleja la carga física global en la práctica deportiva y aumenta durante la práctica del motociclismo debido al esfuerzo físico, psicológico y la fatiga (Corcoba-Magaña et al., 2017), la velocidad alcanzada, el tráfico en carrera o las diferentes pistas (Corcoba-Magaña et al., 2017), así como la prevalencia de contracciones isométricas durante la competición (Konttinen et al., 2007). Además, la variabilidad de la frecuencia cardíaca también puede ser un indicador de estrés en el motociclismo (Corcoba-Magaña et al., 2017) que permite comprender la carga del piloto y su respuesta autónoma a la complejidad, variación del entorno de carrera y condiciones tales como las curvas, la posición en la moto, los adelantamientos, las frenadas o la velocidad.

Recientes estudios han informado que la frecuencia cardíaca puede alcanzar una media de 150 latidos por minuto (lpm) en las pruebas de simulación competitiva de motociclismo de Enduro (Sanna et al., 2017) o 168 lpm en pilotos de Supermoto (Morosi et al., 2015). Además, el motociclismo no competitivo parece ser menos exigente ya que en un estudio se observaron demandas inferiores a nivel de frecuencia cardíaca (~105 lpm) (Talib et al., 2015). Sin embargo, estos datos no se pueden extrapolar al motociclismo de velocidad debido a las diferencias existentes entre disciplinas. Por tanto, la falta de evidencia en términos de análisis de carga

interna del piloto sugiere la necesidad de nuevos enfoques científicos para el motociclismo de velocidad.

Además, en la actualidad, el uso de sensores inerciales portátiles ha facilitado la recogida de datos sobre las demandas físicas en situaciones de entrenamiento y competición en tiempo real (Cummins et al., 2017). Por ejemplo, los sensores inerciales podrían ser un ejemplo de cómo el uso de la telemetría permite la cuantificación de la frecuencia cardíaca como indicador de carga de forma no invasiva, sin poner al piloto en riesgo o situaciones de cierta vulnerabilidad (Rojas-Valverde et al., 2019). Consecuentemente, considerando las respuestas autónomas producidas durante el entrenamiento y la competición, el objetivo de este estudio fue investigar la respuesta cronotrópica a través de la frecuencia cardíaca durante una semana competitiva en motociclismo de velocidad.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Diseño de estudio

Un piloto europeo profesional fue evaluado durante una semana competitiva del Campeonato de Europa de Moto2 FIM CEV Repsol. La frecuencia cardíaca media y la ratio simpático-parasimpático se midieron durante ocho sesiones de entrenamiento y competición. Concretamente, estas variables fueron analizadas en tres escenarios contextuales: tipo de sesión, vueltas y segmentos del circuito.

2.2. Participantes

Un piloto de nivel europeo en la categoría masculina participó voluntariamente en esta investigación (edad: 19,2 años; altura: 172,5 cm; peso: 69,3 kg). El piloto contaba con una experiencia de más de cinco años en competición y no padecía ninguna limitación física o lesión musculoesquelética que pudiera afectar el rendimiento durante la competición. Antes del inicio de esta investigación, el piloto fue completamente informado de las pruebas a realizar y se obtuvo su consentimiento informado por escrito. La investigación se ajustó al código de ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki, Séptima Edición) y fue aprobada por la Comisión de Bioética de la Universidad de Murcia (Código Reg. 2061/2018).

2.3. Instrumentos

Características antropométricas. Se evaluó la altura y el peso corporal del piloto. Específicamente, la altura se midió al 0,5 cm más cercano durante una inhalación máxima utilizando un estadiómetro de pared (SECA, Hamburgo, Alemania). El peso corporal se obtuvo con un monitor de composición corporal segmentario de 8 electrodos modelo BC-601 (TANITA, Tokio, Japón).

Carga interna y posicionamiento. Para registrar la frecuencia cardíaca, se colocó un dispositivo inercial WIMU PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España) en la parte delantera de la moto donde se recibían los datos del monitor de frecuencia cardíaca GARMIN® (Garmin Ltd., Olathe KS, Estados Unidos) gracias a la tecnología Ant+-. La frecuencia de muestreo fue de 4 Hz, siendo el proceso analizado y detallado previamente (Molina-Carmona et al., 2018). Respecto al posicionamiento, el dispositivo posee un sensor de navegación por satélite (GNSS) con una frecuencia de muestreo de 10 Hz, siendo su validez y fiabilidad analizada previamente (Bastida Castillo et al., 2018). Los datos de frecuencia cardíaca y posicionamiento están sincronizados en el tiempo para su posterior análisis.

2.4. Variables

Carga interna. La carga interna se considera como el estrés y la respuesta fisiológica frente a un estímulo y puede medirse mediante telemetría de frecuencia cardíaca (FC) (McLaren et al., 2018). En el presente estudio se analizaron dos variables dependientes de la telemetría cardíaca: frecuencia cardíaca promedio (FC_{MEDIA}) y relación simpático-parasimpático (RS-Ps). FC_{MEDIA} se define como el número de latidos por minuto realizados por el corazón durante la actividad, mientras que RS-Ps es la relación entre la actividad simpática y parasimpática que refleja el equilibrio autónomo a través de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y se calcula como el cociente entre el Stress Score (actividad simpática) y el eje transversal SD1 (actividad parasimpática) (Manso, 2013). En relación con el RS-Ps, se crearon cuatro grupos por un algoritmo de agrupamiento de k-medias de todos los datos recopilados en las sesiones de la semana de carrera siguiendo la metodología empleada en investigaciones previas (Fernández-Leo et al., 2020; García-Rubio et al., 2015): (a) bajo (0-89), (b) moderado (89-165), (c) alto (166-373), and (d) muy alto (por encima de 374).

Variables contextuales. Se han considerado para el análisis diferentes variables contextuales que podrían influir en el rendimiento del motorista: (a) sesión ($n = 8$), considerada como cada periodo de tiempo o vueltas que el piloto está en pista y se divide en los entrenamientos libres 1 (FP1), entrenamientos libres 2 (FP2), entrenamientos libres 3 (FP3), entrenamientos libres 4 (FP4), entrenamientos libres 5 (FP5), clasificatorios 1 (Q1), clasificatorios 2 (Q2) y carrera; (b) vuelta ($n = 12$ a 22), cada vez que el piloto completa la distancia total de la pista y es variable en cada sesión (FP1, $n = 19$; FP2, $n = 22$; FP3, $n = 20$; FP4, $n = 16$; FP5, $n = 21$; Q1, $n = 12$; Q2, $n = 22$; Raza, $n = 13$); (c) segmento ($n = 20$), pequeña sección de la pista creada en relación con las indicaciones técnicas del entrenador del piloto y los puntos específicos de frenada y aceleración del piloto.

2.5. Procedimiento

La evaluación del rendimiento del piloto se realizó durante la séptima semana de carrera del Campeonato de Europa FIM CEV Repsol Moto2 que se había disputado en el "Circuito de Automovilismo de Albacete" (Albacete, España). La semana de la

carrera fue entre el 13 y el 16 de octubre de 2018. Se analizaron un total de ocho sesiones y su distribución se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Periodización de las sesiones en la semana de carrera.

Tipo de sesión	Día	Nº	Sesión	Tiempo
Entrenamiento libre	Jueves (13/10/2018)	1	Entrenamiento libre 1 (FP1)	9:00 (40 min)
		2	Entrenamiento libre 2 (FP2)	11:30 (40 min)
		3	Entrenamiento libre 3 (FP3)	14:00 (40 min)
	Viernes (14/10/2018)	4	Entrenamiento libre 4 (FP4)	11:15 (40 min)
		5	Entrenamiento libre 5 (FP5)	14:20 (40 min)
Clasificatorios	Sábado (15/10/2018)	6	Clasificación 1 (Q1)	10:45 (40 min)
		7	Clasificación 2 (Q2)	14:10 (40 min)
Carrera	Domingo (16/10/2018)	8	Carrera 1 (R1)	11:00 (13 vueltas)

Esta pista tiene una longitud total de 3550 m y se distribuye en 14 curvas (8 curvas a derecha y 6 curvas a izquierda). Las características técnicas de esta pista están disponibles en <https://www.circuitoalbacete.es/circuito/caracteristicas-tecnicas/>. Para el posterior análisis, la pista se dividió en 20 segmentos en relación a las indicaciones técnicas del entrenador del piloto y los puntos específicos de frenado y aceleración del piloto: (1) T-C1, línea de salida a la curva 1; (2) C1, curva 1; (3) C2, curva 2; (4) C3, curva 3; (5) C4, curva 4; (6) C5, curva 5; (7) C6, curva 6; (8) T-C7, tramo recto a curva 7; (9) C7, curva 7; (10) T-C8, tramo recto a curva 8; (11) C8, curva 8; (12) C9, curva 9; (13) T-C10, tramo recto a curva 10; (14) C10, curva 10; (15) T-C11, tramo recto a curva 11; (16) C11-12, curvas 11 y 12; (17) C13, curva 13; (18) T-C14, tramo recto a curva 14; (19) C14, curva 14; y (20) C14-M, curva 14 hasta meta (ver Figura 1 para más detalles). Para este proceso se utilizó el software SPRO™ (RealTrack Systems, Almería, España) a través del monitor GIS.

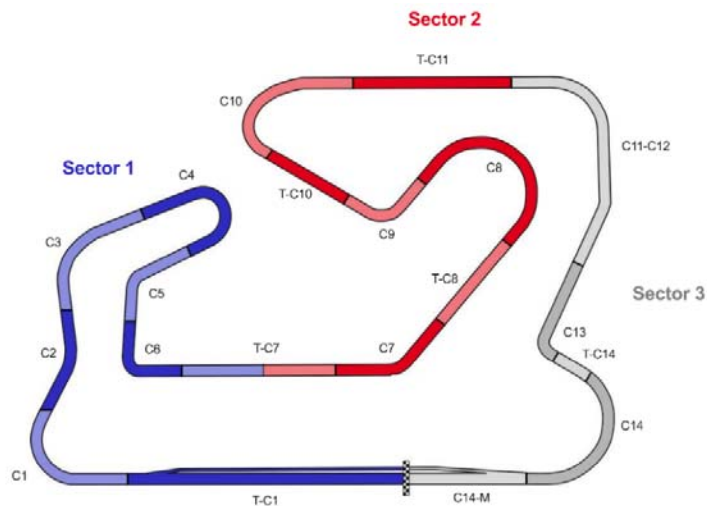


Figura 1. Segmentos del circuito diseñados en relación con las indicaciones del entrenador y la conducción del piloto. Los colores representan los sectores: (1) azul; (2) rojo; y (3) gris.

Treinta minutos antes de comenzar las sesiones, la banda de frecuencia cardíaca y los dispositivos inerciales se colocaron correctamente. La banda de frecuencia cardíaca se colocó en el pecho del piloto, a la altura de la apófisis xifoides. Por otro lado, el dispositivo inercial se colocó en el habitáculo de la moto, debajo del

carenado y en la parte trasera del cuadro de mandos. La ubicación del dispositivo inercial fue determinada con el fin de permitir una mejor transmisión de datos de frecuencia cardíaca (frente al pecho) y de la señal GPS (el carenado de fibra de vidrio con un grosor inferior a 1 cm protegía el dispositivo y permitía perfectamente el seguimiento GPS).

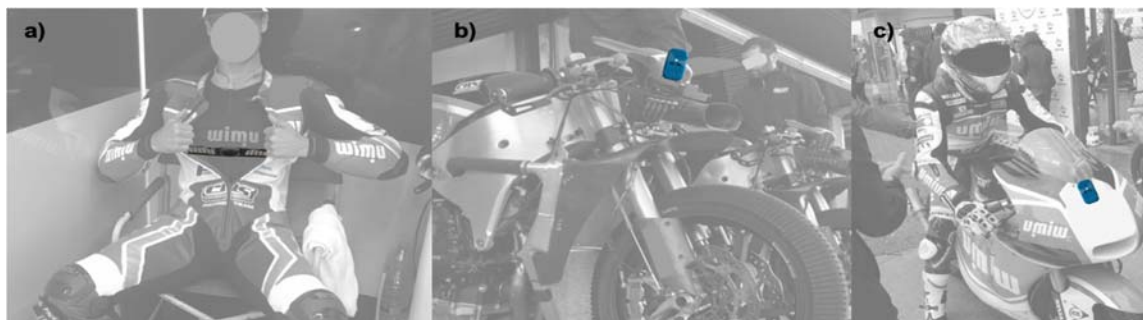


Figura 2. Ubicación de (a) la banda de frecuencia cardíaca en el piloto y (b, c) el dispositivo inercial en la cabina de la motocicleta.

Una vez colocados los dispositivos, previo al inicio de la sesión, los datos fueron monitorizados en tiempo real con el software SVIVO™ para verificar el perfecto funcionamiento de los dispositivos. Cuando el piloto terminó cada sesión, tuvo un período de descanso de 15 minutos antes de quitar la banda de frecuencia cardíaca y el dispositivo inercial de la motocicleta. Todos los datos de las variables se recopilaron a lo largo de las pruebas con la frecuencia de muestreo de los sensores. Posteriormente, los datos se descargaron, se promediaron en cada segmento para su análisis posterior y se descargaron en una hoja de cálculo de Excel mediante el software SPRO™.

2.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo (media y desviación estándar; $M \pm DE$) para caracterizar la muestra. La distribución de los datos y la homogeneidad de la varianza se calcularon mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene, obteniendo una distribución paramétrica (Field, 2013). Por tanto, se realizó una prueba MANOVA entre variables independientes (sesiones, vueltas y segmentos) y variables dependientes (RS-Ps y FC_{MEDI}). Las comparaciones por pares se obtuvieron con la corrección de Bonferroni. El tamaño del efecto se calculó con ω_p^2 y se interpretó como: $> 0,01$ (bajo); $> 0,06$ (moderado) y $> 0,14$ (alto) (Cohen, 1988).

Finalmente, se realizó un análisis de correlaciones para identificar el grado de asociación entre las variables independientes (sesiones, vueltas y segmentos) y variables dependientes (RS-Ps y HR_{AVG}) mediante el coeficiente de correlación de Pearson, interpretado como: insignificante ($r < 0,10$), bajo ($0,10 < r < 0,30$), moderado ($0,30 < r < 0,50$), alto ($0,50 < r < 0,70$), muy alto ($0,70 < r < 0,90$), casi perfecto ($r > 0,90$) y perfecto ($r = 1,00$) (Field, 2013). El nivel de significancia se

estableció en $p < 0,05$. El análisis de datos se realizó mediante el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS Statistics, versión 24, IBM Corporation, Armonk, NY, Estados Unidos) y los gráficos fueron diseñados con GraphPad Prism (versión 7, GraphPad Software, San Diego, CA, Estados Unidos).

3. RESULTS

En primer lugar, se encontró un efecto de los segmentos del circuito en la RS-Ps ($F=3.86$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.03$ bajo). También, los resultados mostraron un efecto significativo de las sesiones ($F=792.86$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.72$ alto), vueltas ($F=2083.18$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.95$ alto) e interacción de sesiones y vueltas en la FC_{MEDI} ($F=41.99$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.62$ alto). En cambio, no se encontraron efectos en la RS-Ps en función de la sesiones y en la FC_{MEDI} en función de los segmentos del circuito. Finalmente, tampoco se encontraron efectos significativos de la interacción entre las sesiones y los segmentos, y entre las vueltas y los segmentos en ninguna de las variables de carga interna ($F<1.50$; $p>0.09$; $\omega_p^2=0.00$).

Respecto al efecto de los segmentos en RS-Ps, diferencias estadísticas fueron encontradas en todas las sesiones entre T-C10 y T-C14 con respecto al resto de segmentos (T-C10 > T-C14 > resto de segmentos). En el análisis por sesiones se encontraron diferencias por segmentos en FP2 ($F=2.78$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.07$ moderado; T-C10 = T-C14 = C2 > resto de segmentos), FP3 ($F=2.94$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.08$ moderado; T-C10 = T-C14 > resto de segmentos), Q2 ($F=4.38$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.13$ moderado; T-C10 = C-14 > T-C11 > resto de segmentos) y en carrera ($F=2.78$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.05$ bajo; T-C10 = T-C14 > resto de segmentos) (véase Figura 3 para más detalles).

Posteriormente, en la Figura 4 se muestra el efecto de las sesiones y las vueltas en la FC_{MEDI} . En las comparaciones por pares, se aprecian diferencias entre sesiones ($p<0.01$; Q2 > Q1 = FP5 = FP4 = FP3 = Carrera > FP2 > FP1). Finalmente, en la tabla 2 se muestra el análisis correlacional entre las variables contextuales y las variables de carga interna. Se encontró una tendencia de incremento de la FC_{MEDI} con correlaciones moderadas a lo largo de las sesiones durante el fin de semana de competición ($r=.315$; $p<0.01$) y a lo largo del número de vueltas que el piloto estaba en pista por sesión ($r=.280$; $p<0.01$), siendo las correlaciones bajas con los segmentos del trazado ($r=.101$; $p<0.05$). En cambio, no se encontraron correlaciones significativas entre la RS-Ps con sesiones, segmentos y vueltas.

Tabla 2. Análisis correlacional entre la carga interna y las variables contextuales analizadas en el presente estudio.

	RS-Ps	FC_{MEDI}
Sesiones	-.029	.415**
Vueltas	.033	.380**
Segmentos	.043	.101*

Note. RS-Ps: Ratio simpático-parasimpático; FC_{MEDI} : Frecuencia cardíaca media. *Correlación significativa al nivel $p<0.05$; **Correlación significativa al nivel $p<0.01$.

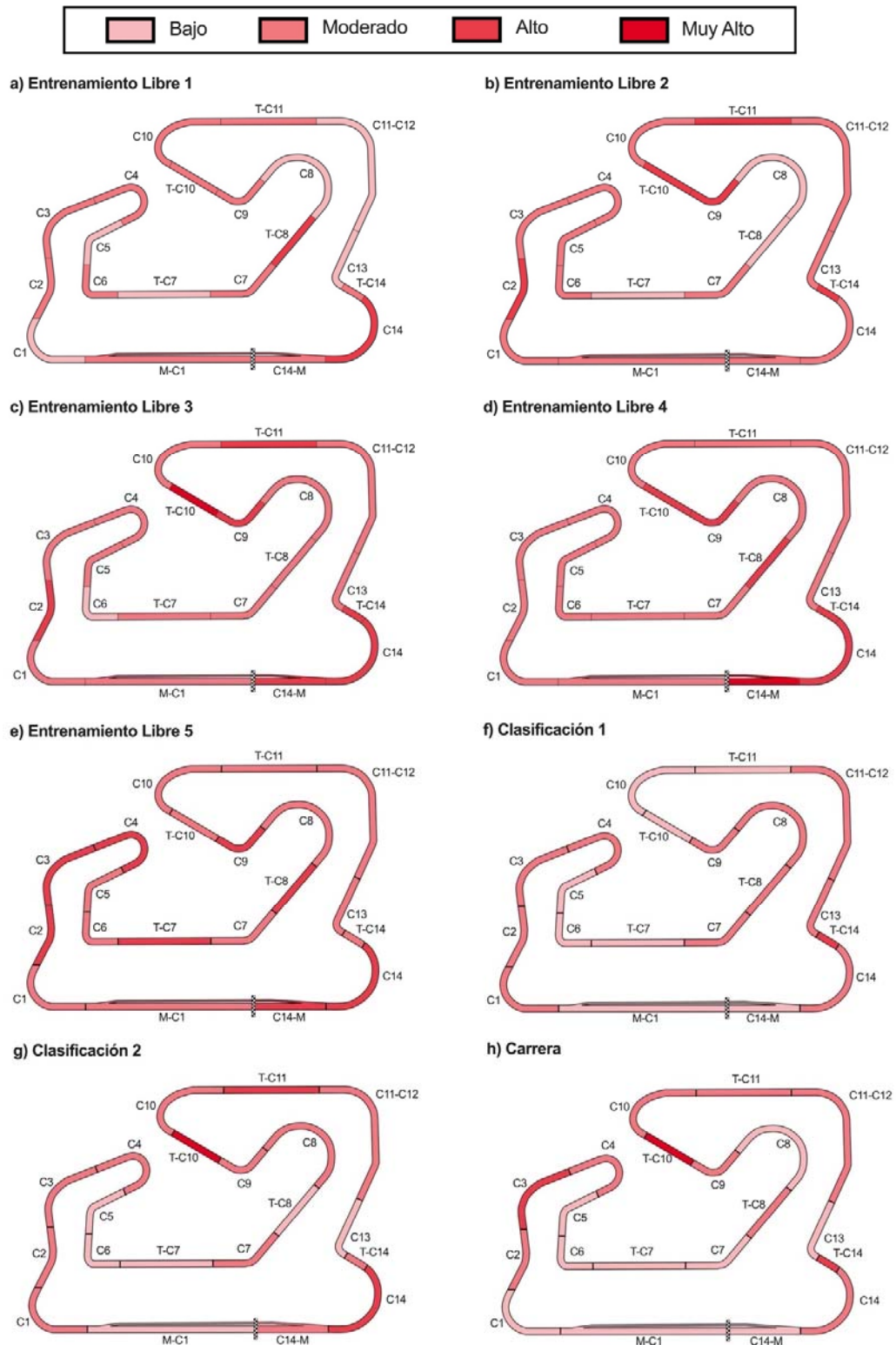


Figura 3. Dinámica de la RS-Ps en cada uno de los segmentos del circuito en cada una de las sesiones durante el fin de semana de competición.

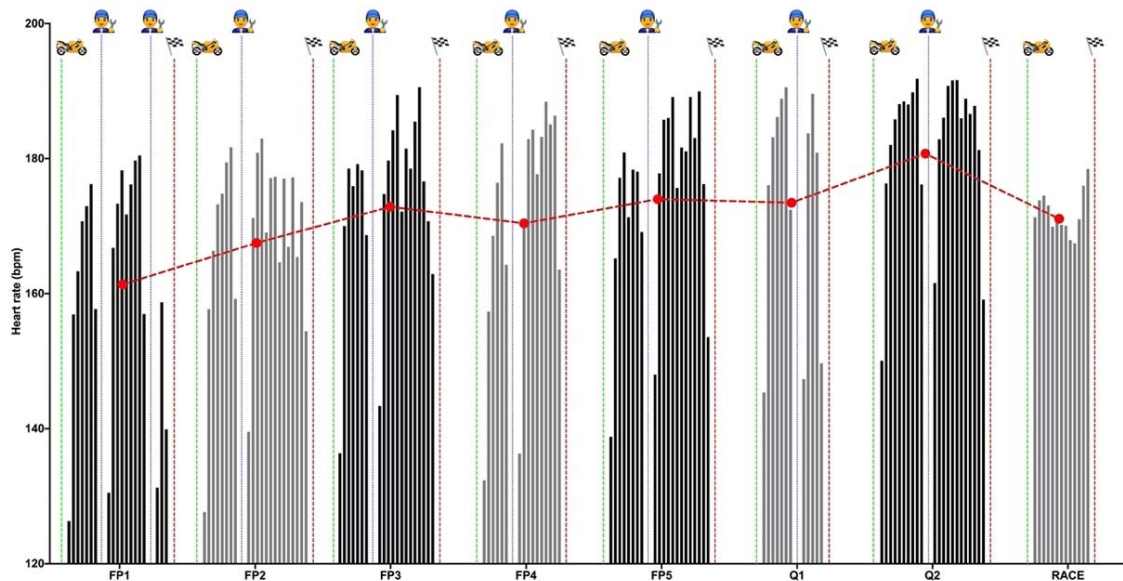


Figura 4. Dinámica de FC_{MEDIA} entre vueltas y sesiones.

inicio de la sesión, parada técnica, final de la sesión.

4. DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue investigar la respuesta cronotrópica a través de la frecuencia cardíaca durante una semana competitiva en motociclismo de velocidad y su variación según variables contextuales. Los principales hallazgos de este estudio fueron que FC_{MEDIA} estuvo significativamente influenciada por las vueltas y las sesiones mientras que RS-Ps fue influenciada por los segmentos específicos del circuito. Además, se encontró una correlación moderada entre la FC_{MEDIA} y el paso de las sesiones a lo largo de la semana de competición.

Según el conocimiento de los autores, este es el primer estudio que analiza las RS-P en el motociclismo. Las diferencias en RS-Ps entre segmentos de la pista fueron mayores que en el resto de segmentos específicamente en T-C10 y T-C14. Estas partes de la pista, una de las cuales pertenece a la recta anterior a la última curva antes de cruzar la línea de meta, provocaron las mayores RS-Ps. Estos resultados sugieren que el piloto está expuesto a niveles más altos de estrés simpático y es necesario entrenar las demandas fisiológicas de estos segmentos (Naranjo-Orellana et al., 2015). Sin embargo, se encontraron diferencias moderadas entre segmentos en FP2 ($F=2.78$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.07$; T-C10 = T-C14 = C2 > resto de segmentos), FP3 ($F=2.94$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.08$; T-C10 = T-C14 > resto de segmentos), and Q2 ($F=4.38$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.13$; T-C10 = C-14 > T-C11 > resto de segmentos). Cabe destacar que se encontraron diferencias bajas en la carrera final ($F=2.78$; $p<0.01$; $\omega_p^2=0.05$; T-C10 = T-C14 > resto de segmentos). Este cambio en la respuesta RS-Ps del piloto podría deberse a un fenómeno de adaptación después de las sesiones de entrenamiento y calificación (Vanrenterghem et al., 2017).

Sin embargo, no se encontró ningún efecto significativo de vueltas o sesiones en RS-Ps. Dado que el RS-Ps puede ser una alerta temprana de fatiga (Naranjo-Orellana et al., 2015) estos resultados llevan a la conclusión de que, a pesar de que RS-Ps es un indicador de estrés significativo del ciclista en segmentos específicos de la pista, no parece ser un indicador de fatiga aguda.

Cuando se trata de FC_{MEDI} , se observe un alto efecto de dos variables contextuales (sesiones y vueltas). Por ejemplo, hubo diferencias significativas en FC_{MEDI} entre sesiones ($p < 0.01$; $Q2 > Q1 = FP5 = FP4 = FP3 = Race > FP2 > FP1$). A partir de estos resultados, se extraen dos conclusiones principales. En primer lugar, las sesiones de calificación requerían una FC_{MEDI} más alta que en la carrera, lo que podría estar relacionado con el aumento de la agresividad en el estilo de conducción durante la sesión de calificación para lograr una mejor posición de salida (Tomida, 2005). Sin embargo, hay varias investigaciones sobre las respuestas de la frecuencia cardíaca en el motociclismo que no están de acuerdo con esta conclusión, ya que se encontró que la FC_{MEDI} en carrera (175-195 lpm) fue mayor que en las sesiones de calificación (160-190 lpm) (Brearley et al., 2014; D'Artibale et al., 2007; D'Artibale et al., 2008; Filaire et al., 2007).

En segundo lugar, la menor FC_{MEDI} fue encontrada en los entrenamientos libres. Los entrenamientos libres dan a los pilotos la oportunidad de acostumbrarse a la pista, adaptar la moto, planificar estrategias de carrera y estas sesiones no están programadas con la finalidad de obtener una calificación o puesto en competición (D'Artibale et al., 2007). Por tanto, una FC_{MEDI} baja ha sido encontrada en esta investigación y en investigaciones previas en sesiones de práctica libre (Brearley et al., 2014, 2014; D'Artibale et al., 2007; D'Artibale et al., 2008) debido a no tener una presión externa por los dos factores expuestos anteriormente, calificación o clasificación.

Además, se encontraron diferencias en FC_{MEDI} entre vueltas ($F=2083.18$; $p < 0.01$; $\omega_p^2=0.95$). Una investigación previa encontró diferencias entre tres partes de una carrera, encontrando un incremento de las demandas en FC_{MEDI} al final de la carrera (D'Artibale et al., 2008). También, se encontró una interacción de las vueltas con las sesiones a lo largo de la competición. ($F=41.99$; $p < 0.01$; $\omega_p^2=0.62$). Esto implica que el estado de fatiga podría explicarse por cambios en FC_{MEDI} ya que se encontraron diferencias entre vueltas y sesiones pero no entre segmentos. Quizás la prevalencia de la posición isométrica del ciclista en la motocicleta aumenta las demandas de frecuencia cardíaca (Kontinen et al., 2007) y los días consecutivos de entrenamiento no permiten un proceso de recuperación óptimo. Sin embargo, es importante mencionar que la respuesta fisiológica puede depender de la propia pista y debe considerarse como una variable contextual adicional en estudios futuros.

En cuanto a las limitaciones del estudio, cabe mencionar que estos resultados se han obtenido en un solo piloto, aunque el mismo es de nivel élite y compite en la segunda máxima categoría del motociclismo internacional. Además, los datos se recopilaron durante un período competitivo de una semana, siendo los resultados

obtenidos específicos del nivel competitivo y del circuito de estudio. La mayor fortaleza del presente estudio es realizar la primera aproximación desde el conocimiento científico al análisis de la respuesta cronotrópica y cardíaca autónoma en motociclismo, ya que la investigación hasta la fecha es limitada, lo que dificulta la discusión adicional de los resultados de este estudio. Además, en el contexto del entrenamiento deportivo, hay que tener en cuenta que puede haber limitaciones metodológicas en el cálculo de variables relacionadas con la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Calderón et al., 2020). Por lo tanto, se necesitan estudios futuros que consideren las limitaciones mencionadas para tener una mejor comprensión de las respuestas cronotrópicas y cardíacas autónomas del piloto de motociclismo en períodos competitivos.

5. CONCLUSIONES

Las variables contextuales como el segmento del circuito, las vueltas o la sesión tuvieron un efecto significativo en los parámetros de carga interna del piloto de motociclismo. Específicamente, se observan grandes diferencias en FC_{MEDIA} según las vueltas y la sesión, mientras que RS-Ps se ve afectado por segmentos de pista específicos. Sin embargo, no se encontraron efectos significativos de vueltas o sesiones en RS-Ps.

En este sentido, la presente investigación nos indica que la FC_{MEDIA} puede ser un indicador de utilidad para la detección de la fatiga intra e inter-sesión a lo largo de un periodo competitivo en motociclismo, el cual puede ser tenido en cuenta para la planificación de las tandas y las vueltas por tanda con el fin de optimizar el rendimiento del piloto a lo largo de la semana de competición. Por otra parte, el RS-Ps se encontró como un indicador del estrés del piloto en segmentos específicos de la pista, por lo que su información puede ser de relevancia para la identificación de los puntos críticos en el trazado y adoptar estrategias para la reducción del mismo, combinando esta información con modificaciones telemétricas en la motocicleta así como instrucciones técnicas por parte del entrenador respecto a la trazada del piloto. Por tanto, la aplicación de ambas variables en la monitorización del piloto de motociclismo en competición pueden ser de utilidad para la mejora del rendimiento físico y técnico del piloto, así como de la seguridad y el rendimiento competitivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bartlett, J. D., O'Connor, F., Pitchford, N., Torres-Ronda, L., and Robertson, S. J. (2017). Relationships Between Internal and External Training Load in Team-Sport Athletes: Evidence for an Individualized Approach. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 230–234. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0791>
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., De la Cruz Sánchez, E., and Pino-Ortega, J. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time-motion analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 18(4), 450–457. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1427796>

- Brearley, M., Norton, I., Kingsbury, D., and Maas, S. (2014). Responses of elite road motorcyclists to racing in tropical conditions: A case study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 887–890. PubMed. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0409>
- Calderón, F. J., Cupeiro, R., Peinado, A. B., and Lorenzo-Capella, I. (2020). Variabilidad de la frecuencia cardiaca y ejercicio. ¿Fundamentación fisiológica? *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 20(78), 299–320. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.78.008>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Erlbaum.
- Corcoba-Magaña, V., Muñoz-Organero, M., and Pañeda, X. G. (2017). Prediction of motorcyclist stress using a heartrate strap, the vehicle telemetry and road information. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(5), 579–593. <https://doi.org/10.3233/AIS-170452>
- Cummins, C., McLean, B., Halaki, M., and Orr, R. (2017). Positional Differences in External On-Field Load During Specific Drill Classifications Over a Professional Rugby League Preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 764–776. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0789>
- D'Artibale, E., Laursen, P. B., and Cronin, J. B. (2018). Profiling the physical load on riders of top-level motorcycle circuit racing. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1061–1067. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1355064>
- D'Artibale, E., Tessitore, A., and Capranica, L. (2008). Heart rate and blood lactate concentration of male road-race motorcyclists. *Journal of Sports Sciences*, 26(7), 683–689. PubMed. <https://doi.org/10.1080/02640410701790779>
- D'Artibale, E., Tessitore, A., Tiberi, M., and Capranica, L. (2007). Heart rate and blood lactate during official female motorcycling competitions. *International Journal of Sports Medicine*, 28(8), 662–666. PubMed. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964889>
- Fernández-Leo, A., Gómez-Carmona, C. D., García-Rubio, J., and Ibáñez, S. J. (2020). Influence of Contextual Variables on Physical and Technical Performance in Male Amateur Basketball: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1193.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4th ed.). SAGE.
- Filaire, E., Filaire, M., and Le Scanff, C. (2007). Salivary cortisol, heart rate and blood lactate during a qualifying trial and an official race in motorcycling competition. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(4), 413–417. PubMed.
- García-Rubio, J., Gómez, M. Á., Cañadas, M., and Ibáñez, J. S. (2015). Offensive Rating-Time coordination dynamics in basketball. Complex systems theory applied to Basketball. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(2), 513–526. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868810>
- Gil Moreno de Mora, G. (2015). *Análisis de los indicadores de la percepción subjetiva de la fatiga, en pilotos de pruebas deportivas de motociclismo Rally-Raid Dakar* [Doctoral Thesis]. Universitat de Lleida.
- Gutierrez, J. A., Vives, J., and Puig, A. (2002). Control metabólico de las cargas de

- trabajo en motociclismo de velocidad. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 37(140), 19–24. [https://doi.org/10.1016/S1886-6581\(02\)76033-7](https://doi.org/10.1016/S1886-6581(02)76033-7)
- Jamson, S., and Chorlton, K. (2009). The changing nature of motorcycling: Patterns of use and rider characteristics. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(4), 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.04.002>
- Kim, S., Ro, Y. S., Shin, S. D., Song, K. J., Hong, K. J., and Jeong, J. (2018). Preventive effects of motorcycle helmets on intracranial injury and mortality from severe road traffic injuries. *The American Journal of Emergency Medicine*, 36(2), 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.07.044>
- Kontinen, T., Häkkinen, K., and Kyröläinen, H. (2007). Cardiopulmonary loading in motocross riding. *Journal of Sports Sciences*, 25(9), 995–999. <https://doi.org/10.1080/02640410600944584>
- Manso, J. M. G. (2013). Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca al control del entrenamiento deportivo: Análisis en modo frecuencia. *Arch Med Deporte*, 30(1), 43–51.
- Mateo-March, M., Rodríguez-Pérez, M. A., Costa, R., Sánchez-Muñoz, C., Casimiro-Andújar, A. J., and Zabala, M. (2013). Efecto de un programa de intervención sobre el estrés percibido, autoestima y rendimiento en jóvenes pilotos de motociclismo de elite. *Revista de Psicología Del Deporte*, 22(1). <http://www.redalyc.org/html/2351/235127552042/>
- McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R., and Weston, M. (2018). The Relationships Between Internal and External Measures of Training Load and Intensity in Team Sports: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(3), 641–658. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0830-z>
- Molina-Carmona, I., Gomez-Carmona, C. D., Bastida Castillo, A., and Pino-Ortega, J. (2018). Validez del dispositivo inercial WIMU PRO™ para el registro de la frecuencia cardíaca en un test de campo. *Sport-TK: Revista Euroamericana de Ciencias del Deporte*, 7, 81–86.
- Morosi, C., La Torre, A., and Sartor, F. (2015). Heart rate responses to twelve laps Supermoto race simulation in motorcyclists. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(12), 1565–1570.
- Naranjo-Orellana, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., de Hoyo, M., and Domínguez-Cobo, S. (2015). Two new indexes for the assessment of autonomic balance in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 452–457. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0235>
- Naranjo-Orellana, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., De Hoyo, M., and Domínguez-Cobo, S. (2015). Heart rate variability: A follow-up in elite soccer players throughout the season. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 881–886. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1550047>
- Pino-Ortega, J., Bastida-Castillo, A., Oliva-Lozano, J. M., Rojas Valverde, D., Reche-Soto, P., and Gómez-Carmona, C. D. (2019). Comparación de dos métodos de detección para el registro de la frecuencia cardíaca: Banda torácica vs camiseta técnica. *Retos*, 36(36), 469–473.
- Rodríguez-Pérez, M. A., Casimiro-Andújar, A. J., Sánchez-Muñoz, C., Mateo-March, M., and Zabala-Díaz, M. (2013). Training habits of young international elite motorcyclists. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad*

- Física y del Deporte*, 13(51), 615–625.
- Rojas-Valverde, D., Gómez-Carmona, C. D., Gutiérrez-Vargas, R., and Pino-Ortega, J. (2019). From big data mining to technical sport reports: The case of inertial measurement units. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000565. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000565>
- Sanna, I., Pinna, V., Milia, R., Roberto, S., Olla, S., Mulliri, G., and Crisafulli, A. (2017). Hemodynamic Responses during Enduro-Motorcycling Performance. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01062>
- Talib, M. F. M., Ma'arof, M. I. N., Rashid, H., Ahmad, I. N., Fauzi, W. M. S. W., Omar, A. R., and Jaafar, R. (2015). The explorations in defining motorcycling fatigue: A pilot study. *Jurnal Teknologi*, 76(7), Article 7. <https://doi.org/10.11113/jt.v76.5725>
- Tomida, Y. (2005). Injuries in elite motorcycle racing in Japan. *British Journal of Sports Medicine*, 39(8), 508–511. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.013722>
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., and Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: A novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports Medicine*, 47(11), 2135–2142. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>

Número de citas totales / Total references: 33 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 2 (6,06%)