

Más allá de la “distancia” semanal: cómo optimizar la medición de la carga de entrenamiento en corredores

“¿Cómo saben los límites de carga en los puentes?
Conducen camiones cada vez más grandes hasta que se rompe,
luego pesan el último camión y reconstruyen el puente”.

Bill Watterson, Calvin y Hobbes

¹College of Health Sciences, University of Memphis, Memphis, TN. ²Menrva Research Group, Schools of Mechatronic Systems Engineering and Engineering Science, Simon Fraser University, Surrey, Canada. ³Department of Physical Therapy, University of British Columbia, Vancouver, Canada. ⁴School of Physical Therapy and Rehabilitation Science, University of Montana, Missoula, MT. ⁵Canadian Sport Institute Pacific, Victoria, Canada. Los autores certifican que no tienen afiliaciones ni participación financiera en ninguna organización ni entidad con un interés financiero directo en el tema o los materiales discutidos en el artículo. Correspondencia para el Dr Max R. Paquette, College of Health Sciences, University of Memphis, ^{171b}Elma Roane Fieldhouse, Memphis, TN ³⁸¹⁵². E-mail: mrpquette@memphis.edu copyright ©²⁰²⁰ Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy®

Antecedentes

Cuantificar la distancia total de carrera es valioso, ya que comprende algunos aspectos de las cargas mecánicas/neuromusculares, cardiovasculares y perceptuales/psicológicas que contribuyen al estrés del entrenamiento y es parcialmente predictivo del éxito en las carreras de fondo. Sin embargo, la distancia recorrida es sólo un aspecto que contribuye al estrés del entrenamiento.

Pregunta clínica

El propósito de este comentario es resaltar ¹ los problemas que surgen al utilizar únicamente la distancia de carrera para cuantificar el entrenamiento de carrera y el estrés del entrenamiento, ² la importancia de enfoques alternativos para cuantificar y monitorear el estrés del entrenamiento, ³ factores moderadores (modificadores de la medida del efecto) de las cargas de entrenamiento, y ⁴ los desafíos de monitorear el estrés del entrenamiento para evaluar los riesgos de lesiones.

Resultados clave

El estrés del entrenamiento está influenciado por factores de carga de entrenamiento externos (es decir, aplicación de carga mecánica) e internos (esfuerzo fisiológico/psicológico). Algunos factores de carga externos comúnmente utilizados en el running incluyen el volumen y el ritmo, mientras que los factores de carga internos fisiológicos incluyen la calificación de la sesión del esfuerzo percibido, la frecuencia cardíaca o el nivel de lactato en sangre. La distancia de carrera por sí sola podría ocultar enormemente el estrés de entrenamiento acumulado en diferentes días de entrenamiento y, en última instancia, tergiversar el estrés de entrenamiento general. Con una tecnología portátil emergente y novedosa que cuantifica las métricas de carga externa más allá del volumen o el ritmo, el futuro del monitoreo del entrenamiento debería tener un énfasis cada vez mayor en las métricas biomecánicas de carga externas, junto con las métricas de carga internas (fisiológicas/psicológicas).

Aplicación clínica

Puede resultar difícil cambiar la obsesión de la cultura de la carrera por distancia semanal, pero los métodos avanzados y emergentes para cuantificar el entrenamiento de carrera discutidos en este comentario mejorarán, con la confirmación de la investigación, el seguimiento del entrenamiento y la estratificación del riesgo de lesiones. *J Orthop Sports Phys Ther* 2020;50⁰:564-569. Publicación electrónica del 1 de agosto de 2020. doi:10.2519/jospt.2020.9533

Palabras clave

Adaptaciones, biomecánica, monitorización, fisiología, corredores.

Cualquiera que haya pasado tiempo con corredores de larga distancia ha escuchado inevitable y repetidamente la pregunta: "¿Cuántos kilómetros corres por semana?" y las semanas de "alto kilometraje" generalmente se consideran una medida de éxito. La capacidad de cuantificar de manera fácil y precisa la distancia recorrida mediante la adopción generalizada de la tecnología de GPS solo ha solidificado el "amor por el kilometraje" a largo plazo de corredores y entrenadores. La distancia recorrida suele ser la única métrica de entrenamiento recopilada. Cuantificar la distancia total de carrera es valioso, ya que comprende algunos aspectos de las cargas mecánicas/neuromusculares, cardiovasculares y perceptuales/psicológicas que contribuyen al estrés del entrenamiento y es parcialmente predictivo del éxito en las carreras de fondo^{38,40}. Sin embargo, correr distancias es sólo un aspecto que contribuye al estrés del entrenamiento. En este comentario, pretendemos abordar 4 cuestiones:

1. Por qué es un problema confiar únicamente en la distancia de carrera para cuantificar la carga de entrenamiento de carrera
2. Enfoques alternativos para cuantificar y monitorear la carga de entrenamiento
3. Factores moderadores (modificadores de medida del efecto) de la carga de entrenamiento
4. El desafío para entrenadores, fisioterapeutas y corredores de cuál es la mejor manera de monitorear la carga de entrenamiento y sus implicaciones para el rendimiento y el riesgo de lesiones.

Por qué es un problema confiar únicamente en la distancia para cuantificar y monitorear el entrenamiento de los corredores

Históricamente, los corredores y entrenadores solo se han basado en la distancia semanal para cuantificar y monitorear el entrenamiento de carrera. Sin embargo, es cada vez más evidente que la distancia recorrida no debe ser la única métrica de entrenamiento, ya que a menudo puede tergiversar y subestimar significativamente el estrés del entrenamiento y la adaptación resultante, y en los corredores, a diferencia de otros deportistas de resistencia, rara vez se tienen en cuenta otros factores críticos que contribuyen al estrés general del entrenamiento^{33,39}. En cualquier deporte, el estrés del entrenamiento^{2,7,19} está influenciado por factores de carga tanto externos (aplicación de carga mecánica) como internos (respuestas fisiológicas/psicológicas a la carga externa)²³. Desafortunadamente, muchos términos relacionados con el entrenamiento están mal definidos y/o se usan de manera inapropiada, tanto en la literatura científica como en artículos de divulgación. La **Tabla 1** proporciona definiciones de términos relacionados con el entrenamiento, utilizados en este comentario.

Al correr, algunos factores de carga externos comúnmente utilizados incluyen el volumen, en distancia o minutos, y el ritmo, mientras que los factores de carga internos incluyen la calificación de la sesión de esfuerzo percibido (sRPE, sesión rating of perceived

exertion), la frecuencia cardíaca o el nivel de lactato en sangre. Aquí es importante diferenciar el término “carga fisiológica interna”, que es más común en las ciencias aplicadas al deporte y la fisiología, de “carga tisular interna (o mecánica)”, que es más utilizado por especialistas en biomecánica y fisioterapeutas (fuerza, tensión, deformación y rigidez). Por ejemplo, los mismos 10 km de distancia de carrera pueden dar como resultado aproximadamente un 14 % más de golpes de pie por sesión y aproximadamente un 6 % más de fuerzas de reacción vertical máximas acumuladas del suelo cuando el corredor está fatigado que cuando está fresco **Tabla 2**. Este aumento en la carga externa, a pesar de correr la misma distancia, y en un día en el que el corredor/entrenador podría, en realidad, buscar un menor estrés de entrenamiento, puede acumularse en diferencias reales en el estrés de entrenamiento

experimentado por el corredor ³³. De manera similar, indicar un trabajo basado únicamente en el ritmo de carrera, por ejemplo, 4:30 min/km, también puede ser una medida engañosa del estrés del entrenamiento, ya que la variabilidad individual, basada principalmente en el sRPE o la fatiga, puede resultar en ¹ diferentes respuestas de carga interna y ² estrés de entrenamiento variable y adaptaciones de entrenamiento a largo plazo ³³. Además, parece difícil estimar la carga externa de las extremidades inferiores por kilómetro únicamente a partir de la distancia y el ritmo ²². En consecuencia, cada vez más entrenadores programan deliberadamente el volumen de entrenamiento en minutos (duración) en lugar de distancia, y utilizan métricas de carga internas (por ej., sRPE - calificación de la sesión de esfuerzo percibido) para cuantificar mejor el estrés del entrenamiento ³⁷.

Tabla 1

Definiciones de métricas utilizadas para cuantificar el entrenamiento de carrera

MÉTRICA	DEFINICIÓN	EJEMPLO	UNIDAD
Estrés de entrenamiento ^{3,9,20}	Término general para describir el estrés fisiológico que resulta directamente de las sesiones de entrenamiento.	Carga externa, carga interna fisiológica, carga interna del tejido y cargas de trabajo	Ver más abajo
Estrés diario	Término general para describir el estrés fisiológico/psicológico resultante de factores ajenos al entrenamiento	Estrés laboral, familiar/relaciones, sueño y financiero	Escalas y cuestionarios analógicos visuales
Carga externa ²⁵	Término global utilizado para definir las tensiones físicas mecánicas aplicadas a un deportista	<ul style="list-style-type: none"> • Duración • Distancia • Paso • Fuerzas de reacción del suelo • Tiempo de contacto • Aceleración máxima tibial o sacra • Número de pasos • Otras variables biomecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Minutos • Millas o kilómetros • Minutos por milla o por kilómetro • Newtons por peso corporal • Segundos • Unidades de gravedad • Pasos • Variable
Carga interna fisiológica ^{17,18,25}	Término global utilizado para definir las tensiones fisiológicas y psicológicas en respuesta a cargas externas y al estrés diario	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo percibido (sRPE) • Ritmo cardíaco • Variabilidad del ritmo cardíaco • Lactato en sangre • Otras variables fisiológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Escalas: 6-20 ó 0-10 • Latidos por minuto • Variabilidad en el intervalo de tiempo entre latidos • Milimoles • Variable
Carga interna de tejido	Término global utilizado para definir las cargas internas aplicadas sobre el tejido musculoesquelético en respuesta a cargas externas	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés • Tensión • Fuerza • Rigidez • Módulo de Young 	<ul style="list-style-type: none"> • Pascales • Sin unidades • Newtons • N/deformación (mm)
Carga de entrenamiento ¹⁸	Término específico definido como el producto de las cargas externas e internas fisiológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Duración × sRPE • Aceleración tibial máxima × sRPE • Número de pasos × sRPE 	Unidades arbitrarias para todos

Abreviaturas: sRPE, sesión rating of perceived exertion (*calificación de la sesión del esfuerzo percibido*)

Enfoques alternativos para cuantificar la carga de entrenamiento en corredores

En las últimas décadas, la combinación de sRPE y volumen de entrenamiento (duración) ha proporcionado enfoques alternativos para cuantificar el estrés del entrenamiento en los atletas. El impulso de entrenamiento¹⁵⁻¹⁷ y la carga de entrenamiento¹⁶, que incorporan el sRPE (normalmente en una escala analógica visual de 0-10) y la duración de la sesión, se utilizan con mayor frecuencia para cuantificar el estrés del entrenamiento en los atletas^{17, 25, 37}. Más recientemente, el término “carga de entrenamiento”⁵ se ha utilizado en la literatura sobre entrenamiento y ciencias del deporte para describir en general la combinación de varias cargas fisiológicas externas e internas en las sesiones de entrenamiento.

Una de las principales limitaciones para medir la carga de entrenamiento externa es que no tiene en cuenta cómo se sienten los corredores durante una sesión de entrenamiento determinada, que no sólo está influenciada por la carga externa del entrenamiento en sí mismo, sino también por la capacidad del corredor de recuperarse y el estrés diario (por ej., sueño, enfermedad, relaciones, etc.)^{30, 37}. De esta manera, la interpretación de la distancia de carrera de forma aislada es una cuantificación demasiado simplificada del estrés de entrenamiento de un corredor debido a que no se tienen en cuenta las respuestas psicobiológicas/fisiológicas del atleta (cargas de entrenamiento internas) que están influenciadas por el estrés diario^{23, 27, 33}. Debido a que el sRPE se correlaciona con la concentración de lactato en sangre¹¹, se puede considerar una medida individualizada de intensidad y, a menudo, es el medio más práctico y preferido para cuantificar la carga de entrenamiento interna^{37, 38}. Sin embargo, acoplar métricas externas (por ej., distancia, ritmo, potencia, impacto acumulativo) e internas (sRPE, frecuencia cardíaca, lactato en sangre) para cuantificar la carga de entrenamiento **Tabla 1** proporciona una cuantificación aún más completa del estrés del entrenamiento^{16, 18, 23, 24, 33}.

Ya que es un desafío indicar cargas de entrenamiento debido a la variabilidad de la respuesta de carga interna

de un corredor entre sesiones, se usa comúnmente el volumen de carrera semanal para indicar el entrenamiento, ya que es específico y fácil de entender. Los entrenadores pueden prescribir cualitativamente la carga interna prevista con instrucciones como “fácil”, “esfuerzo duro” o “esfuerzo submáximo”, o incluso utilizar una calificación aceptada del descriptor de esfuerzo percibido (“algo difícil”). Sin embargo, sin monitorear las cargas internas experimentadas por un corredor, es difícil cuantificar la respuesta general al entrenamiento. Por lo tanto, las cargas de entrenamiento, incluidas la carga externa y la carga fisiológica interna, son valiosas para cuantificar y monitorear el entrenamiento de carrera a lo largo del tiempo, para comprender verdaderamente el estrés general del entrenamiento.

Independientemente de la variable específica utilizada por los profesionales, las comparaciones del estrés de entrenamiento actual (es decir, estrés agudo/fatiga) en relación con el estrés de entrenamiento en ciclos de entrenamiento anteriores (estrés crónico o condición física acumulada) también son fundamentales para comprender la adaptación al entrenamiento^{2, 7}. El concepto de cuantificar la fatiga actual (aguda) en comparación con la condición física acumulada (crónica) se propuso hace más de 40 años⁷, pero se ha popularizado más recientemente con la relación de carga de trabajo aguda-crónica. A pesar de los actuales desacuerdos y preocupaciones con respecto a su uso para predecir o evitar lesiones deportivas²⁶, esta relación se puede utilizar para cuantificar la fatiga actual en relación con la condición física acumulada o la fatiga de cualquier métrica de entrenamiento.

Independientemente de su capacidad, o incapacidad, para predecir riesgos de lesiones, comparar la carga de entrenamiento aguda con la carga de entrenamiento crónica puede ayudar a explicar los efectos fisiológicos agudos del estrés del entrenamiento actual en relación con la condición física. Por lo tanto, monitorear el estrés del entrenamiento utilizando una proporción de estrés agudo y condición física también puede ayudar a mejorar los resultados del entrenamiento¹⁶, aunque es fundamental realizar investigaciones para validar este enfoque con el fin de monitorear la respuesta al entrenamiento. Las investigaciones futuras deberían

examinar cómo se pueden utilizar diferentes métricas de carga de entrenamiento externas e internas que buscan una mayor especificidad (por ejemplo, específicas de superficie y/o de intensidad) para cuantificar el estrés

del entrenamiento en corredores de distancia, y cómo estas métricas se relacionan con la adaptación al entrenamiento, la fatiga, riesgo de lesiones y/o resultados de rendimiento.

Tabla 2

Escenarios hipotéticos de recorridos de 10KM con cargas estimadas

PARAMETRO	CARRERA DE RECUPERACIÓN DE 10KM (FRESCO)	CARRERA DE RECUPERACIÓN DE 10KM (MUY CANSADO)	10 REPETICIONES DE PISTA DE 1KM CON CLAVOS RIGIDOS
Cargas externas ^a			
Duración (volumen), min:s	37:30	43:20	27:30
Ritmo, min:s/km	3:45	4:20	2:45
Cadencia, pasos/min	180	177b	198c
Pasos estimados, n	6750	7669	5445
vGRF Máxima estimada, PC d	3,1	2,9	3,3
vGRF Acumulada estimada, PC	20925	22240	17969
FTA Máxima estimada, Pce	10,0	9,1	11,5
FTA Acumulada estimada, PC	67500	70970	62618
Cargas internas			
RPE (1-10)	2	5	9
Frecuencia cardíaca estimada, % máximo	70	80	.95
Lactato sanguíneo estimado, mmol/L	2,5	4,5	≥10
Cargas de entrenamiento, UA			
Duración x RPE	75	217	248
GRF acumulado x RPE (/1000)	42	111	162
FTA x RPE acumulado (/1000)	135	355	564
<p>Abreviaturas: FTA, fuerza del tendón de Aquiles; UA, unidad arbitraria; PC, peso corporal; GRF, (<i>ground reaction force, fuerza de reacción del suelo</i>); RPE, (<i>rating of perceived exertion, calificación del esfuerzo percibido</i>); vGRF, fuerza de reacción vertical del suelo.</p> <p>aLas métricas se estimaron a partir de datos biomecánicos publicados. bDatos de Chan-Roper et al (9) (aproximadamente un 1,7% menos de cadencia con fatiga). cDatos de Hanley y Bissas (21) (cadencia de los atletas durante la carrera del Campeonato Mundial de 10000 m). dDatos de Arampatzis et al (1) (vGRF máximo estimado a diferentes velocidades de carrera). eDatos electrónicos de Dorn et al (13). Las fuerzas musculares estimadas del gastrocnemio y el sóleo se sumaron para estimar el pico de FTA. Las fuerzas máximas para cada velocidad probada se utilizaron para construir una regresión para estimar la máxima FTA a las velocidades presentadas en esta tabla.</p>			

Factores moderadores emergentes de las cargas de entrenamiento de carrera

Un área prometedora de investigación emergente para cuantificar las cargas de entrenamiento puede ser la suplantación de métricas convencionales de cargas de entrenamiento externas e internas ^{20, 31, 34} **Tabla 2** con métricas biomecánicas, que podrían mejorar las estimaciones del estrés de entrenamiento en corredores. Estas métricas biomecánicas podrían actuar como factores moderadores (modificadores de la medida del efecto) de las cargas externas e internas e influir en la fuerza de su relación con las métricas de

carga de entrenamiento. En comparación con los deportes de equipo y otros deportes de resistencia (por ej., ciclismo y natación), las carreras de larga distancia implican superficies de carrera variables (calle, montaña o pista), a menudo sobre terreno ondulado (colinas versus llano), con cambios constantes en calzado o patrón de pisada dependiendo del entrenamiento o las necesidades competitivas (zapatillas con clavos durante el entrenamiento en pista versus zapatillas con amortiguación para las carreras de resistencia en senderos). La distribución y la magnitud de las fuerzas musculares, tendinosas, óseas y articulares están muy influenciadas por estas diferentes condiciones de carrera. Combinar la cuantificación de estas fuerzas

internas con las métricas más tradicionales de cargas de entrenamiento internas y externas se está volviendo factible con los recientes avances tecnológicos.

La aparición de tecnología portátil tanto comercial como de investigación (por ejemplo, unidades de medición inercial) presenta una oportunidad para el monitoreo continuo (paso a paso) de los factores biomecánicos durante la carrera. Los sensores portátiles pueden cuantificar diversos datos biomecánicos, como el choque tibial, el ángulo de pisada, el tiempo de contacto con el suelo y la rigidez de las piernas, entre otros ^{12, 33, 41}, para permitir una cuantificación más precisa del estrés del entrenamiento. La incorporación de datos biomecánicos de dispositivos portátiles brindará un mayor conocimiento sobre cómo cambia la mecánica de carrera en diferentes entornos, estados de fatiga, tipos de calzado y superficies de carrera, en el transcurso de un programa de entrenamiento ^{33, 36}.

Se requiere una investigación sustancial para determinar las mejores prácticas y la validez para la integración de datos biomecánicos en la cuantificación del entrenamiento en carrera. En primer lugar, actualmente no está claro qué variable(s) biomecánica(s) podría(n) ser la más útil en el seguimiento de los corredores. Por ejemplo, incorporar la fuerza de reacción vertical máxima acumulada del suelo experimentada por los corredores durante las sesiones de entrenamiento puede mejorar la capacidad predictiva de los estudios epidemiológicos de lesiones de carrera que anteriormente se han basado casi exclusivamente en ¹ un único análisis biomecánico de referencia y ² el volumen de carrera durante los periodos de entrenamiento. Sin embargo, la fuerza de reacción del suelo es una carga global que experimenta el corredor y proporciona poca información sobre cargas anatómicas específicas (por ejemplo, la fuerza del tendón de Aquiles). En segundo lugar, se desconocen las mejores prácticas para clasificar las cargas de entrenamiento derivadas de datos biomecánicos. Actualmente se desconoce si el análisis de datos biomecánicos de forma continua o categórica (por ejemplo, magnitud de choque tibial resultante alta, baja y media) ⁴ mejora las capacidades predictivas de los datos biomecánicos. Por último, aún no se ha determinado la ponderación

adecuada de las métricas biomecánicas frente a otras métricas de carga de entrenamiento. Es decir, no está claro si una métrica biomecánica debe ponderarse igualmente con el volumen de carrera y el sRPE (es decir, el número total de pasos multiplicado por la magnitud de la métrica biomecánica multiplicado por el sRPE) al estimar el estrés total del entrenamiento (ejemplos hipotéticos en la **Tabla 2**). Estas tres incógnitas requerirán una investigación sustancial antes de la adopción y el uso generalizado de estos datos por parte de entrenadores y fisioterapeutas.

Monitoreo del entrenamiento de carrera y lesiones relacionadas con la carrera

Es importante considerar la multitud de factores que pueden causar una lesión relacionada con la carrera. Un marco propuesto recientemente para la etiología de las lesiones relacionadas con la carrera destaca la importancia de evaluar la diferencia entre ¹ las cargas acumulativas aplicadas a estructuras anatómicas específicas durante una sesión de carrera, y ² la capacidad de carga de estructuras atómicas específicas que pueden modificarse durante una sesión de carrera ³. Específicamente, una lesión relacionada con la carrera ocurre cuando la carga acumulada de la estructura específica de una sesión de carrera excede la capacidad de carga específica de la estructura. Aunque se ha vuelto cada vez más factible medir las cargas externas acumuladas experimentadas durante una sesión de carrera mediante tecnología portátil (ver **Tabla 2**), es un desafío evaluar con precisión las cargas tisulares internas específicas de la estructura y la capacidad tisular experimentada por el sistema musculoesquelético. Es importante destacar que estos marcos para la etiología de las lesiones relacionadas con la carrera también deben aplicarse a las diferencias individuales de los atletas en la capacidad de carga (p. ej., densidad ósea, resistencia ósea y rigidez de los tendones), lo que ciertamente también influirá en los resultados predictivos del modelo para el desarrollo de lesiones relacionadas con la carrera. Dada la complejidad de la capacidad de carga específica de una estructura, no sorprende que la distancia de carrera por

sí sola sea una guía insuficiente al prescribir programas de entrenamiento para prevenir lesiones relacionadas con la carrera ^{6, 35}. La relación entre la carga acumulada y el daño tisular acumulado (por ejemplo del hueso) no es lineal. Por lo tanto, las medidas de daño acumulativo pueden ser más ventajosas que la carga acumulativa al evaluar el riesgo de lesiones en los corredores ¹⁴.

Considerar la relación entre las cargas aplicadas y el daño tisular resultante derivado de los modelos de prueba de materiales informará mejor a los algoritmos utilizados para determinar las cargas tisulares específicas de la estructura y el daño causado por cargas externas. Por ejemplo, Kiernan y colegas ²⁸ utilizaron un acelerómetro ajustado a la cintura para estimar la fuerza de reacción vertical máxima del suelo experimentada durante las sesiones de entrenamiento de carrera. Sumar la fuerza máxima de reacción vertical del suelo por golpe de pie durante una sesión de entrenamiento y modelar la susceptibilidad del tejido al daño por cargas aplicadas derivadas de la investigación de pruebas de materiales ¹⁴ produjo una métrica de "daño" acumulativo por sesión de entrenamiento. Los corredores que experimentaron lesiones tuvieron una mayor fuerza de reacción vertical máxima acumulada en el suelo durante una temporada competitiva, en comparación con los corredores que terminaron la temporada sin lesiones. Estos nuevos métodos y hallazgos son intrigantes, pero requieren verificación en poblaciones más grandes y diferentes de corredores antes de que estas métricas puedan ser implementadas en el seguimiento diario para ayudar a reducir el riesgo de lesiones relacionadas con la carrera.

Además, el uso de métricas de carga externa (por ej., fuerzas de reacción del suelo) como sustituto de las cargas tisulares internas (por ej., fuerzas del hueso tibial) puede ser un error. La fuerza máxima de reacción vertical del suelo es responsable de sólo el 20 al 30% de la fuerza máxima del hueso tibial durante la carrera, mientras que las fuerzas musculares son las que más contribuyen ²⁹. Sin embargo, estos datos sugieren que la combinación de la biomecánica obtenida de dispositivos portátiles con estimaciones del daño tisular puede ser prometedor para identificar corredores que están en riesgo de sufrir una lesión relacionada con la

carrera y para una mejor caracterización del estrés de entrenamiento periférico (por ej., músculos, tendones y huesos). Con el tiempo, los dispositivos portátiles pueden proporcionar estimaciones de las cargas de entrenamiento a nivel de tejido, siempre que mejoren su capacidad para estimar la biomecánica de la carrera. Algunos dispositivos portátiles disponibles comercialmente proporcionan estimaciones aceptables de métricas temporoespaciales, choque tibial y fuerza máxima de reacción vertical del suelo durante la carrera, pero otros aún carecen de la validez de criterio aceptable que es necesaria antes de considerar su uso en modelos de predicción de lesiones ³². Por lo tanto, los investigadores y fisioterapeutas actualmente se limitan a estimar las cargas de entrenamiento externas aplicadas a todo el corredor en lugar de considerar sólo el nivel tisular. Aunque la carga de entrenamiento probablemente contribuya al desarrollo de una lesión relacionada con la carrera, las lesiones por sobreuso en los corredores son multifactoriales. Queda por ver si la combinación de carga externa (distancia, duración, pasos, fuerzas de reacción del suelo), carga interna fisiológica (sRPE) y carga tisular interna (estrés, tensión, rigidez), y la adaptación a estas cargas mejorará nuestra capacidad para predecir con precisión las lesiones.

Avanzando

Es probable que las cargas de entrenamiento desempeñen un papel importante a la hora de provocar lesiones relacionadas con la carrera y facilitar adaptaciones óptimas al entrenamiento. Sin embargo, no hay evidencia concluyente sobre la influencia de las cargas de entrenamiento de carrera y los errores de entrenamiento en el desarrollo de lesiones en el running ¹⁰. La ausencia de evidencia podría deberse a que la mayoría de los estudios utilizan la distancia de carrera como única medida de la carga de entrenamiento. Sostenemos que este enfoque no cuantifica adecuadamente el estrés de entrenamiento experimentado por los corredores. Se necesitan enfoques refinados para obtener recomendaciones mejores y más seguras, con el fin de progresar en el entrenamiento de carrera.

Las futuras investigaciones prospectivas sobre las

lesiones relacionadas con la carrera deberían cuantificar e informar adecuadamente las cargas de entrenamiento. Esto puede ser tan simple como los minutos de ejecución por sesión multiplicados por el sRPE, lo que no requiere dispositivos de medición sofisticados. Creemos que el futuro del monitoreo del entrenamiento debería enfatizar las métricas de carga externa biomecánica ¹², junto con métricas de carga interna (fisiológica/psicológica). Incluso con los mejores enfoques de seguimiento, las diferencias en la capacidad de carga tisular de un corredor individual siempre harán que la predicción de lesiones sea difícil de alcanzar. Aunque puede ser difícil cambiar la obsesión de la cultura de la carrera por la distancia semanal, es posible mejorar el seguimiento del entrenamiento de carrera con métodos más avanzados para cuantificar el entrenamiento de running. Una vez que se desarrollen métodos avanzados, educar a los fisioterapeutas y entrenadores será clave para garantizar que estas herramientas y enfoques se utilicen de manera efectiva para mejorar la reducción del riesgo de lesiones y, en última instancia, el rendimiento.

Detalles del estudio

Contribuciones de los autores: Todos los autores contribuyeron al concepto teórico, redacción, edición, creación de tablas y figuras, y revisión de este manuscrito.

Intercambio de datos: No hay datos en este manuscrito.

Participación del paciente y del público: No hubo pacientes involucrados en la investigación.

Referencias

1. Arampatzis A, Brüggemann GP, Metzler V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *J Biomech.* 1999;32:1349-1353. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(99\)00133-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(99)00133-5)
2. Banister EW. Modeling elite athletic performance. In: Green HJ, MacDougall JD, Wenger H, eds. *Physiological Testing of Elite Athletes.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1991:403-424.
3. Bertelsen ML, Hulme A, Petersen J, et al. A framework for the etiology of running-related injuries. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27:1170- 1180. <https://doi.org/10.1111/sms.12883>
4. Besier T. The importance of measuring lower limb cumulative load in sport: a mechanobiological approach. *IMU Research.* February 26, 2018. Available at: <https://imeasureu.com/2018/02/26/measuring-lower-limb-cumulative-load-sport/>
5. Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *Br J Sports Med.* 2016;50:471-475. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095445>
6. Buist I, Bredeweg SW, van Mechelen W, Lemmink KA, Pepping GJ, Diercks RL. No effect of a graded training program on the number of running-related injuries in novice runners: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2008;36:33- 39. <https://doi.org/10.1177/0363546507307505>
7. Calvert TW, Banister EW, Savage MV, Bach T. A systems model of the effects of training on physical performance. *IEEE Trans Syst Man Cybern.* 1976;SMC-6:94-102. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1976.5409179>
8. Casado A, Hanley B, Santos-Concejero J, Ruiz- Pérez LM. World-class long-distance running performances are best predicted by volume of easy runs and deliberate practice of short-interval and tempo runs. *J Strength Cond Res.* In press. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003176>
9. Chan-Roper M, Hunter I, Myrer JW, Eggett DL, Seeley MK. Kinematic changes during a marathon for fast and

- slow runners. *J Sports Sci Med*. 2012;11:77-82.
10. Damsted C, Glad S, Nielsen RO, Sørensen H, Malisoux L. Is there evidence for an association between changes in training load and running-related injuries? A systematic review. *Int J Sports Phys Ther*. 2018;13:931-942.
11. Dantas JL, Doria C, Rossi H, et al. Determination of blood lactate training zone boundaries with rating of perceived exertion in runners. *J Strength Cond Res*. 2015;29:315-320. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000639>
12. Davis JJ, 4th, Gruber AH. Quantifying exposure to running for meaningful insights into running-related injuries. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019;5:e000613. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000613>
13. Dorn TW, Schache AG, Pandy MG. Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. *J Exp Biol*. 2012;215:1944-1956. <https://doi.org/10.1242/jeb.064527>
14. Edwards WB. Modeling overuse injuries in sport as a mechanical fatigue phenomenon. *Exerc Sport Sci Rev*. 2018;46:224-231. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000163>
15. Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:1164-1168. <https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00023>
16. Foster C, Daines E, Hector L, Snyder AC, Welsh R. Athletic performance in relation to training load. *Wis Med J*. 1996;95:370-374.
17. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*. 2001;15:109-115.
18. Foster C, Rodriguez-Marroyo JA, de Koning JJ. Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12:S22-S28. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0388>
19. Fry RW, Morton AR, Keast D. Overtraining in athletes. An update. *Sports Med*. 1991;12:32-65. <https://doi.org/10.2165/00007256-199112010-00004>
20. Gabbett TJ. The training–injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med*. 2016;50:273-280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
21. Hanley B, Bissas A. Biomechanical Report for the IAAF World Championships London 2017 10,000 m Men's. Leeds, UK: Leeds Beckett University; 2018.
22. Hunter JG, Garcia GL, Shim JK, Miller RH. Fast running does not contribute more to cumulative load than slow running. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51:1178-1185. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001888>
23. Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ. Internal and external training load: 15 years on. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14:270-273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
24. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36:1042-1047. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128199.23901.2f>
25. Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci*. 2005;23:583-592. <https://doi.org/10.1080/10802640410400021278>
26. Impellizzeri FM, Woodcock S, McCall A, Ward P, Coutts AJ. The acute-chronic workload ratio-injury figure and its 'sweet spot' are flawed [letter] [preprint]. *SportRxiv*. 2019. Available at: <https://doi.org/10.31236/osf.io/g88yu>
27. Johnston R, Cahalan R, O'Keeffe M, O'Sullivan K, Comyns T. The associations between training load and baseline characteristics on musculoskeletal injury and pain in endurance sport populations: a systematic review. *J Sci Med Sport*. 2018;21:910-918. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.03.001>
28. Kiernan D, Hawkins DA, Manoukian MAC, et al. Accelerometer-based prediction of running injury in National Collegiate Athletic Association track athletes. *J Biomech*. 2018;73:201-209. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.04.001>
29. Matijevich ES, Branscombe LM, Scott LR, Zelik KE. Ground reaction force metrics are not strongly

correlated with tibial bone load when running across speeds and slopes: implications for science, sport and wearable tech. *PLoS One*. 2019;14:e0210000. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210000>

30. Matos S, Clemente FM, Brandão A, et al. Training load, aerobic capacity and their relationship with wellness status in recreational trail runners. *Front Physiol*. 2019;10:1189. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01189>

31. Meeuwisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clin J Sport Med*. 2007;17:215-219. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3180592a48>

32. Moore IS, Willy RW. Use of wearables: tracking and retraining in endurance runners. *Curr Sports Med Rep*. 2019;18:437-444. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000667>

33. Napier C, Ryan M, Paquette MR, Menon C. Session RPE in combination with training volume provides a better estimation of training responses in runners. *J Athl Train*. In press.

34. Nielsen RO, Bertelsen ML, Møller M, et al. Training load and structure-specific load: applications for sport injury causality and data analyses. *Br J Sports Med*. 2018;52:1016-1017. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097838>

35. Nielsen RO, Cederholm P, Buist I, Sørensen H, Lind M, Rasmussen S. Can GPS be used to detect

deleterious progression in training volume among runners? *J Strength Cond Res*. 2013;27:1471-1478. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182711e3c>

36. Paquette MR, Miller RH. Reconciling new with old injury paradigms and the need to dig deeper – comment on Nigg et al. [letter]. *Curr Issues Sport Sci*. 2018;3:105. https://doi.org/10.15203/CISS_2018.105

37. Saw AE, Main LC, Gastin PB. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2016;50:281-291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>

38. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:147-155. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>

39. Tran J, Rice AJ, Main LC, Gastin PB. Development and implementation of a novel measure for quantifying training loads in rowing: the T2minute method. *J Strength Cond Res*. 2014;28:1172-1180. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000248>

40. Vickers AJ, Vertosick EA. An empirical study of race times in recreational endurance runners. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2016;8:26. <https://doi.org/10.1186/s13102-016-0052-y>

41. Willy RW. Innovations and pitfalls in the use of wearable devices in the prevention and rehabilitation of running related injuries. *Phys Ther Sport*. 2018;29:26-33. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.10.003>