

Monograph

Aspectos Metodológicos Relacionados con la Aplicación de la Investigación sobre el Análisis de Tiempo-Movimiento

Justin W L Keogh y Bryan P Dobson

Institute of Sport and Recreation Research New Zealand, Division of Sport and Recreation, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand.

RESUMEN

Algunos profesionales del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento procuran fijar como objetivo aspectos importantes de un deporte cuando crean programas de entrenamiento para sus atletas, con el fin de prepararlos para los requerimientos específicos de su deporte. Esta puede ser una tarea difícil cuando se trabaja con atletas de deportes de equipo, puesto que la simple observación del juego no permitirá establecer claramente cuales son las demandas físicas impuestas por el deporte. A través del análisis de tiempo-movimiento (TMA), los profesionales pueden estar más capacitados para desarrollar programas de entrenamiento más específicos para sus atletas. Este artículo busca ilustrar la utilidad del TMA pero también identificar los factores que puedan afectar la validez y confiabilidad de esta técnica.

Palabras Clave: análisis de tiempo-movimiento, patrones de movimiento, especificidad del entrenamiento, sistemas de posicionamiento global

INTRODUCCION

El análisis de tiempo-movimiento (TMA) incluye la cuantificación de los patrones de movimiento involucrados en situaciones deportivas, proporcionando de esta manera velocidades, duraciones y distancias de diversos patrones locomotores durante el transcurso de un juego. Los resultados del TMA pueden incrementar la especificidad de los programas para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento ya que proporcionan información valiosa sobre la utilización de los sistemas energéticos y, en algunos casos, acerca de los patrones específicos de movimiento que se utilizan durante el transcurso de un juego (27). De esta manera, mediante la utilización el TMA se han examinado una amplia gama de deportes (evaluando tanto atletas como árbitros). Los ejemplos incluyen el rugby de unión (23), el rugby de liga (24), el hockey sobre césped (19), el hockey sobre hielo (18), el básquetbol (22), el fútbol gaélico (14) y el fútbol (25).

Existen dos métodos principales para llevar a cabo el TMA en el marco deportivo: los sistemas de análisis de video y los sistemas de posicionamiento global (GPS). Si bien en la actualidad los sistemas de análisis de video se suelen utilizar mucho más que los GPS, se espera que en el futuro se incremente la utilización del GPS y que este se vuelva un sistema más común para obtener la información del TMA. Por lo tanto, este artículo busca abordar los siguientes temas con el fin

de que los distintos profesionales puedan utilizar con efectividad la información disponible acerca de los estudios sobre la utilización del TMA de video y de GPS a la hora de diseñar programas de acondicionamiento y, que además, conozcan las limitaciones potenciales de esta técnica a través de: (a) describir los diferentes métodos de TMA; sistemas de video y GPS, (b) evaluar la validez del TMA e identificar los factores que influyen su validez, (c) examinar la confiabilidad del TMA e identificar los factores que influyen su confiabilidad, y (d) proporcionar algunos consejos prácticos para llevar a cabo el TMA e ilustrar la manera en que los profesionales de fuerza y acondicionamiento deben utilizar estos resultados dentro de un marco práctico.

MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE TIEMPO-MOVIMIENTO

Análisis de Tiempo-Movimiento mediante Video

La mayoría de la literatura asociada con el TMA ha utilizado sistemas de video (1, 4, 5, 7, 9, 16, 17, 19, 22, 23, 26). Para los deportes de campo, lo más habitual es la utilización de 1 a 7 cámaras, y la mayoría de estas cámaras se ubican en un punto medio a una altura de 3-20 m y 5-30 m de la línea lateral. En los estudios en los que se realizó el análisis de tiempo-movimiento que involucraron deportes que se llevan a cabo en superficies de juego más pequeñas y generalmente sintéticas (i.e., tenis, básquetbol) la cantidad de cámaras fue similar pero se las ha ubicado a una altura de 1.5-5 m y a una distancia de 2-10 m de la línea lateral.

Para filmar los movimientos de los jugadores, en general se han empleado 2 tipos de ubicación de las cámaras. Lo más común es utilizar de 1 a 4 cámaras, donde cada cámara enfoca a un solo jugador durante un cuarto de juego, medio juego o el juego entero (5, 13, 24). Esto les permite a los observadores realizar un mejor seguimiento de un jugador importante en todo momento, incrementando así la precisión de las medidas, y permitiendo una mejor y más precisa codificación de los distintos patrones de movimiento. Los investigadores que utilizaron este método han propuesto filmar un área pequeña del campo/cancha alrededor del atleta, en lugar de realizar el enfoque total del atleta, y así tener un marco de referencia para la evaluación de los diferentes movimientos. Por ejemplo, Deutsch et al. (4) sugirieron que un radio de 5 m alrededor del jugador era el óptimo para maximizar la proporción del campo visual ocupado por el atleta y poder obtener un marco de referencia de dimensiones adecuadas.

Un segundo enfoque, menos común, para el TMA mediante video implica la utilización de 2 cámaras alineadas con la línea de medio campo (26). Cada una de estas cámaras enfoca una mitad del campo de juego, con una pequeña superposición del campo visual entre las 2 cámaras. Esto permite que se vean los movimientos de todos los jugadores en todo momento durante el transcurso del juego y brinda la posibilidad de poder analizar a todos los jugadores. La ventaja de este método con respecto al que realiza el seguimiento de un solo jugador con cada cámara es que requiere menos tiempo de filmación y análisis que el método anterior. No obstante, dado que cada jugador ocupa menos campo visual, resulta más difícil para los observadores analizar con precisión y codificar los movimientos de los jugadores.

Varios estudios en los que se ha utilizado el TMA también han registrado la frecuencia cardíaca de los jugadores durante la competencia (4, 13, 17, 22). Por lo general la frecuencia cardíaca a través de un monitor de control cardíaco colocado en el pecho del jugador, sujeto por una correa. Algunos estudios también han tomado muestras de sangre para medir los niveles de lactato en sangre (4, 5, 17, 22, 23). Estas muestras de sangre se toman mediante una punción en la yema de los dedos o en el lóbulo de la oreja, y posteriormente son analizadas con un analizador de lactato automático. El monitoreo de estos indicadores fisiológicos puede proporcionar información mucho más valiosa sobre las exigencias metabólicas de cada deporte en comparación con la utilización del TMA solamente y así ayudar a diseñar métodos de entrenamiento y tests adecuados. Sin embargo, dado que los equipos y los jugadores de elite a menudo son reacios o no pueden proporcionar muestras de sangre durante la competencia real, en general los estudios que han utilizado el TMA reúnen dicha información fisiológica durante juegos simulados (22), toman muestras de sangre de competidores de nivel inferior (4, 23), o toman muestras sólo después de la finalización del juego (5). La Tabla 1 muestra un resumen no exhaustivo de diversos estudios que han utilizado el TMA y que son representativos del espectro de puntos analizados y metodologías utilizadas.

Sistema de Posicionamiento Global

El sistema de posicionamiento global (GPS) fue diseñado por primera vez por el Ejército de los Estados Unidos, y estuvo en pleno funcionamiento a mediados de la década de los 90. El GPS permite el seguimiento preciso de un cambio de posición (desplazamiento) de un objeto (por ejemplo, un atleta) en tiempo real por medio del cálculo del desplazamiento entre la señal (satélite) y el receptor (unidad de GPS). Esta estimación utiliza un cálculo de frecuencia Doppler, por medio del cual se mide la diferencia entre el cambio de fase del satélite y la señal que produce el oscilador dentro del receptor. Para obtener más detalles sobre estos cálculos, el lector puede referirse a Witte y Wilson (32). Cuando se pueden recibir 4 o

más señales satelitales de manera simultánea, se puede determinar una ubicación en forma tridimensional.

Recientemente, se ha desarrollado un GPS diferencial (d-GPS) que está comenzando a utilizarse con mayor frecuencia. El sistema d-GPS utiliza 2 unidades en el suelo, 1 unidad base y 1 unidad móvil. La unidad base es fija, con una posición calculada y conocida con anterioridad. La unidad móvil está sujeta al jugador y se utiliza de la misma manera que la unidad receptora del GPS tradicional, sin embargo, lo que se calcula es la distancia desde la unidad base, lo cual incrementa su precisión (32). Esta precisión mayor del d-GPS con respecto al GPS tradicional se debe al hecho de que los errores causados por las condiciones atmosféricas y la geometría del satélite en el GPS tradicional se pueden corregir conociendo la ubicación precisa de la unidad base y suministrándole esta información a la unidad móvil (29).

Con la creación de *hardware* y *software* de GPS específico para el deporte, ha aumentado la utilización del GPS como herramienta para el entrenamiento en los últimos años. En un principio estos sistemas se crearon para los atletas que cubrían una distancia relativamente larga en el entrenamiento, como los corredores de media y larga distancia, piragüistas, remeros y ciclistas. El *software* adjunto permite el análisis de la señal del GPS, que puede proporcionar al atleta información referida a las distancias cubiertas, las velocidades alcanzadas así como también la frecuencia y las duraciones de cualquier esprint que realice. La utilización del GPS en el marco deportivo utiliza los mismos principios para calcular la posición que las unidades de GPS de navegación, con las unidades operando a 1 Hz, es decir, suministrando información de la posición una vez por segundo. La velocidad del receptor (y el sujeto) se calcula midiendo la tasa de cambio de la posición (desplazamiento) en el tiempo (32). Estos sistemas también pueden incluir un monitor de control cardíaco que se coloca en el pecho del individuo, sujeto por una correa, y que transmite la señal de la frecuencia cardíaca al receptor de GPS sujeto al hombro del individuo.

Consistentemente con el creciente uso del GPS para el acondicionamiento deportivo, en los últimos años se ha visto un incremento en la cantidad de literatura que utiliza la tecnología del GPS en estudios de locomoción humana (28-30).

Autor	Deporte	Método	Nivel de Competencia	Juegos analizados	Jugadores analizados	Medición de la Frecuencia Cardíaca (S/N)	Medición del Lactato en sangre (S/N)
Ali y Farrally (1)	Fútbol	Video	Liga Universitaria de Escocia	Varios	21	N	N
Deutsch et al. (4)	Rugby de Unión	Video	Sub-19 de elite	6	24	S	S
Docherty et al. (5)	Rugby de Unión	Video	1ra División Canadiense	5	27	N	S (solo después del juego)
Drust et al. (7)	Fútbol	Video	Primera Liga Inglesa, Internacional	23	23	N	N
Duthie et al. (9)	Rugby de Unión	Video	Mayores de 12	16	47	N	N
Johnston et al. (13)	Hockey sobre césped	Video	1ra División escocesa	1	15	S	N
Keane et al. (14)	Fútbol gaélico	Video	Nacional	8	16	N	N
Krustrup et al. (17)	Arbitraje auxiliar de fútbol	Video	1ra División danesa	22	15	S	S
Lafontaine et al. (18)	Hockey sobre hielo	Video	Universitario-Junior	10	No se estableció específicamente	N	N
Lothian y Farrally (19)	Hockey sobre césped	Video	1ra división inglesa	12	12	N	N
Mayhew y Wegner (21)	Fútbol	Video	Liga norteamericana	5	3	N	N
McInnes et al. (22)	Básquetbol	Video	Práctica-competencia estatal	8	8	S	S
McLean (23)	Rugby de Unión	Video	1ra División escocesa e internacional	5	No se estableció específicamente	N	S (en juegos de 1ra División)
Meir et al. (24)	Rugby de Liga	Video	1ra División australiana	2	8	N	N
Mohr et al. (25)	Fútbol	Video	Primera clase— Profesional regular	2-7 veces cada jugador	42	N	N
Spencer et al. (28)	Hockey sobre césped	Video	Internacional	1	14	N	N

Tabla 1. Estudios representativos del Análisis Tiempo-Movimiento. Nota: Los jugadores analizados representan la cantidad total de los jugadores analizados en los análisis de todos los partidos. La = lactato, S = sí, N = no.

Debido a que el GPS puede permitirles a los investigadores y profesionales recolectar, analizar e interpretar información durante o al término del juego/sesión, no se requiere ninguna codificación de movimiento que insuma mucho tiempo. Esta es una clara ventaja comparada con los sistemas de video. No obstante, aún existen una cantidad de desventajas asociadas al uso del GPS para el TMA. Primero, debido a que se requiere que las unidades de GPS reciban múltiples señales satelitales para calcular la posición, en general no puede utilizarse en interiores o dentro de áreas urbanas muy desarrolladas, en las que los altos edificios interfieren con las señales satelitales. Segundo, una desventaja importante de utilizar GPS es que los atletas deben usar una pequeña unidad receptora del tamaño de un teléfono celular en la parte superior de la espalda sujeta por correas en el hombro. Esto puede limitar su uso en los deportes en los que hay un nivel de contacto relativamente bajo entre jugadores. Tercero, en la mayoría de los deportes se requieren altos niveles de

confiabilidad y altas tasas de muestreo si se pretende que el GPS sea una herramienta válida y confiable para el TMA. Dado en la actualidad la frecuencia de muestreo del GPS es sólo de 1 Hz, la precisión de los sistemas actuales puede ser en cierto modo cuestionable. En especial, el GPS subestimaría la distancia total recorrida en los deportes en los que hay muchos cambios direccionales, por ejemplo, hockey sobre césped y fútbol, o en deportes donde los atletas siguen un camino curvilíneo, por ejemplo, atletas de pista y ciclistas (32). Este error puede atribuirse al hecho de que el GPS funciona de manera más efectiva cuando los movimientos son lineales o con pocos cambios direccionales (32). Está claro que es necesario investigar para comparar directamente la fiabilidad de los sistemas de video y de GPS para el TMA en el marco de los deportes de conjunto. De todas maneras, parecería lógico que la confiabilidad y posiblemente la validez del sistema de GPS pueda ser mayor al sistema de análisis de video porque no es necesario que el observador clasifique los diferentes tipos de movimiento.

VALIDEZ DE LOS ESTUDIOS DE TMA

Determinación de las Categorías de Movimiento

Los estudios que han utilizado el análisis de tiempo-movimiento clasifican el movimiento de cada jugador de interés durante el juego dentro de un conjunto de movimientos diferenciados (4, 5, 9, 19, 22). La definición de las categorías de movimiento difieren ligeramente entre cada estudio de TMA; no obstante, todas incluyen de 3 a 5 movimientos universales, que utilizan todos los investigadores independientemente del deporte que se estudie. Los movimientos son: estar parado (inmóvil), caminar, trotar, correr y esprint.

Varios autores pueden utilizar diferentes definiciones o términos para estos movimientos; sin embargo, la agrupación de estos movimientos es siempre la misma. Varios autores (13, 22) han combinado las categorías “estar parado” y “caminar” como un solo patrón de movimiento. McInnes et al. (22) establecieron que la razón de la combinación de los 2 movimientos fue para incrementar la confiabilidad del análisis del observador y se podría justificar señalando que el costo metabólico de los dos movimientos es similar, al punto de que no afectaría las implicancias del acondicionamiento basadas en los resultados. McInnes et al. (22) también recomendaron que, en investigaciones futuras, las acciones de trotar y correr se puedan considerar como 1 movimiento debido a su similar costo metabólico.

Muchos investigadores también han cuantificado una cantidad de movimientos polivalentes específicos del deporte en su TMA. Por ejemplo, en su TMA de básquetbol, McInnes et al (22) registraron 3 niveles de desplazamiento lateral - bajo, moderado y alto - y estos 3 niveles corresponden a la intensidad del movimiento. La razón por la que se utilizó este movimiento fue debido a que es un patrón locomotor fundamental en básquetbol, en particular cuando se juega en defensiva. Otros ejemplos de movimientos específicos del deporte que se encuentran en la literatura incluyen acciones tales como el ruck, el maul, el scrum, el tackle, levantar y saltar para el rugby de liga (4); y la carrera lateral y en retroceso para el fútbol (7), el fútbol gaélico (14) y el hockey sobre césped (13). Por lo tanto, los investigadores que llevan a cabo un TMA deben tener un conocimiento adecuado del deporte si desean seleccionar los movimientos apropiados específicos del deporte. Si no se evalúan los distintos patrones de movimiento específicos del deporte, se puede comprometer la validez de cualquier estudio de TMA.

Método Deutsch para la Medición de la Distancia Recorrida

Además de los problemas con la identificación de patrones de movimiento, existen algunas cuestiones con respecto a intentar medir la verdadera distancia cubierta mediante el análisis de video. Esto refleja el hecho de que a menudo los jugadores no se encuentran perpendiculares a la cámara, problema al que se refiere como error de paralaje (15). Para solucionar este problema y medir con más precisión la distancia, Deutsch et al. (4) desarrollaron un sistema único. Antes de que filmaran los partidos de rugby de unión, fue necesario que los jugadores seleccionados determinaran su velocidad promedio en cada patrón de movimiento. Esto se logró haciendo que los jugadores realizaran acciones de esprint, carrera, trote y caminata sobre una distancia determinada mientras se les tomaba el tiempo utilizando luces de cronometraje. Por cuestiones de confiabilidad, se llevaron a cabo 3 pruebas de cada patrón locomotor, cada uno en 2 sesiones de evaluación separadas. Por consiguiente, cuando se identificó la duración de cada patrón locomotor individual durante el juego, se pudo calcular la distancia cubierta en cada patrón utilizando la fórmula: distancia = velocidad × tiempo.

La validez y confiabilidad de este método se establecieron con anterioridad al análisis utilizando un juego simulado de 20 minutos, donde se compararon las marcas de las distancias conocidas en el campo con las distancias calculadas utilizando el método previamente descrito. Las categorías de movimiento analizadas incluyeron estar parado, caminar, trotar, pasear, esprint y movimientos auxiliares (en retroceso y lateral). Para el cálculo de la distancia total cubierta, Deutsch et al. (4) consideraron que la validez (correlación [r] = 0.738-0.939) y la precisión (coeficiente de variación [CV] = 1.74 - 4.94%)

fueron altas. Para la distancia promedio se hallaron niveles de validez ($r = 0.446-0.982$) y precisión ($CV = 1.88-4.86\%$) relativamente similares. Interesantemente, los niveles más bajos de validez y precisión se observaron para la distancia promedio y la distancia total cubierta durante los movimientos auxiliares. Los resultados de esta investigación sugieren que mientras que el método Deutsch et al. (4) puede ser muy apropiado para cuantificar el tiempo y/o la distancia cubierta al estar parado y al moverse hacia adelante, es necesario continuar trabajando para incrementar la validez y confiabilidad de este método a fin de cuantificar los movimientos laterales y en retroceso en deportes de equipo tales como el rugby de unión.

Cuestiones de Representatividad

Una limitación potencial de los estudios de TMA que en general no se conoce en la literatura es que debido al pequeño tamaño de la muestra de juegos y jugadores analizados existe cierta vulnerabilidad al sesgo de los resultados como consecuencia de diferencias en cada juego individual. Esto puede ocurrir debido al estilo diferente (plan de juego) de todos los equipos dentro de una competencia y al hecho de que todos los equipos tenderán a variar su plan de juego habitual de un juego a otro. Es probable que los cambios en el plan de juego reflejen variaciones en las condiciones ambientales (en deportes al aire libre) y las fortalezas y debilidades que se perciben del rival. Por lo tanto, es posible que los resultados de cualquier estudio individual de TMA no describan con precisión al deporte debido al hecho de que el juego que se analiza en particular y/o los equipos que juegan no representan las características del deporte como un todo. Para evitar la potencial consecuencia de cualquier variación en los resultados, sería aconsejable incrementar el tamaño de las muestras de juegos y jugadores. Sin embargo, debido a que la característica del TMA es que insume mucho tiempo, esto rara vez se lleva a cabo. Esta cuestión de representatividad yace en el seno de la validez de los estudios que utilizaron el análisis de tiempo-movimiento para su deporte en particular. La validez es nula si los resultados poseen un sesgo significativo, al punto de que las implicancias para el acondicionamiento se vean afectadas de manera negativa. Por lo tanto, es necesario conocer las limitaciones de tales estudios para evitar un uso incorrecto de los resultados dentro de un marco práctico.

Si bien es probable que existan algunas diferencias en los patrones de movimiento de cada jugador individual entre los juegos, es más probable que existan diferencias sustanciales en los patrones de movimiento entre las posiciones dentro de un único juego. Una cantidad de estudios de TMA han hecho frente a esta cuestión dividiendo a los jugadores en una diversidad de grupos por posición (4, 5, 10, 24). Por ejemplo, en el rugby de unión se han identificado importantes diferencias de posición en las duraciones del patrón de movimiento (4) y en el tiempo dedicado a las tareas específicas del deporte (10). Dichos resultados tienen consecuencias significativas para el desarrollo de un plan de acondicionamiento específico para cada posición de juego.

Otra posible cuestión que afecta a la representatividad de la información es el nivel (estándar) de competencia desde el cual se obtuvo la información. No obstante, muy pocos estudios de TMA en verdad han comparado directamente los movimientos de los jugadores de diferentes niveles en el mismo estudio. De los estudios que han presentado dicha comparación, se han observado relativamente pocas diferencias entre los grupos (3, 5). Por ejemplo, Deutsch et al. (3) no encontraron diferencias significativas en trabajo total, la frecuencia de trabajo y la duración de los períodos de recuperación cuando compararon a *forwards* pertenecientes al rugby de unión de categorías elite y sub elite. Sin embargo, si se observaron diferencias significativas en la frecuencia de trabajo y en la duración de los períodos de recuperación entre los *backs* de los grupos de elite y sub-elite (3). Sin embargo, los *backs* del grupo sub-elite en verdad completaron más períodos de trabajo y tuvieron períodos de recuperación más breves que los *backs* del grupo elite. Si bien estos resultados parecen algo sorprendentes, los atletas de sub-elite con aspiraciones a jugar en el nivel de elite pueden intentar basar su entrenamiento de acondicionamiento en la literatura del TMA para niveles de juego más elevados. Este enfoque puede permitirles desarrollar los atributos físicos que se requieren para jugar en el nivel superior.

Índice Trabajo/Pausa

Los análisis de tiempo-movimiento con frecuencia permiten el cálculo del índice trabajo/pausa. Este es en cierto modo un procedimiento subjetivo por el cual una cantidad de patrones locomotores se definen como períodos de “pausa”, y los demás se consideran períodos de “trabajo”. Por ejemplo, en la mayoría de los estudios de TMA (4, 13, 19, 21, 23) se ha identificado a las acciones de estar parado, caminar y trotar como períodos de recuperación (o pausa), y las de correr y esprint como períodos de trabajo. Donde se ven períodos de pausa adyacentes (por ejemplo, un período de caminata seguida de un período de quedarse parado), éstos se evalúan y consideran como 1 período de recuperación. Un enfoque similar se aplica cuando se producen 2 períodos de trabajo de manera consecutiva. Por consiguiente, se puede calcular la cantidad total y la duración de cada uno de los períodos de trabajo y de recuperación. Es posible que debido a que el índice trabajo/pausa se entiende e interpreta con tanta facilidad, muchos autores la hayan utilizado como una, sino la más importante, de las conclusiones y fundamentos de sus sugerencias para el acondicionamiento (2, 8, 11, 13, 14, 19-21, 23).

Confiabilidad de los Estudios de TMA

La información acerca de la confiabilidad de las mediciones realizadas es imprescindible para cualquier investigación o evaluación (12). Por lo tanto, cuando la confiabilidad de los métodos de evaluación no está establecida, ya sea dentro del estudio o en la literatura previa, los resultados deben considerarse con cierta cautela.

Debido a las similitudes entre algunos patrones de movimiento, por ejemplo, al trotar o correr, es evidente que la mayoría de los estudios de TMA de video necesitan utilizar alguna forma de criterio subjetivo en cuanto a la clasificación de cada movimiento individual. Esto hace que la decisión de codificar de manera precisa cada movimiento se lleve a cabo exclusivamente según la interpretación del/los observador/es. Es probable que la interpretación de los patrones locomotores definidos por cada individuo difieran ligeramente, lo cual afectaría la confiabilidad de los resultados entre los observadores. Debido a que habitualmente se utiliza 1 observador para todo el TMA en cada investigación, siendo una excepción el estudio de Mayhew y Wegner (21) en el que se utilizaron 2 observadores, esto en sí no afectará los resultados de un estudio individual. Sin embargo, la comparación de los resultados entre los estudios debe hacerse con cierta cautela puesto que no se ha establecido la confiabilidad inter-observador y pueden existir diferencias en las definiciones de cada categoría de movimiento entre los estudios.

El único estudio específico referente a la confiabilidad del TMA fue llevado a cabo por Duthie et al. (8). Duthie et al. (8) evaluaron la confiabilidad intra-evaluador del análisis de un solo observador de los mismos juegos, con el nuevo análisis llevado a cabo 1 mes después del análisis inicial. La confiabilidad se cuantificó utilizando el error típico de medición (ETM) y el tamaño del efecto (TE) para las siguientes variables: frecuencia, tiempo total en cada movimiento y duración promedio de cada movimiento. El ETM se definió como la desviación estándar (DE) de la diferencia entre dos medias, dividido por la $\sqrt{2}$, y expresado como un porcentaje de la media. Los niveles de confiabilidad buenos, moderados y pobres se definieron como $<5\%$, $5-9.9\%$, y $>10\%$, respectivamente, tal como lo sugirieron McInnes et al. (22). El TE se calculó, utilizando la transformación logarítmica de los datos, como la diferencia de las medias dividida por la DE de los resultados observados. Los resultados de los parámetros estadísticos se identificaron como trivial (<0.2), pequeños ($0.2-0.5$), moderados ($0.6-1.1$), o grandes (>1.2), en base a las escalas propuestas por Drinkwater et al. (6). Duthie et al. (8) hallaron un ETM moderado para las 5 categorías de movimiento con respecto al tiempo total, la frecuencia, y la duración promedio de los movimientos. El EMT de los movimientos individuales variaron entre el 4.3 y el 13.6%. El TE fue trivial para el tiempo total y la duración de los movimientos, mientras que el TE para la frecuencia estuvo entre trivial y moderado. En base a estos resultados, Duthie et al. (8) concluyeron que la confiabilidad intra-examinador de este método fue moderadamente alta.

A pesar de que el estudio de Duthie et al. (8) es el único dedicado exclusivamente a evaluar la confiabilidad del TMA, existen otros estudios que han evaluado la confiabilidad de su metodología como un componente de sus respectivos estudios. McInnes et al (22) calcularon el error del método (ME), definido como coeficiente de variación de las diferencias entre medidas repetidas y la correlación intra-clase (ICC) para cada movimiento en su porcentaje de tiempo vivo, duración promedio y frecuencia. El ME varió de 3.9-11.8% mientras que todas excepto 2 de las ICC variaron de $r = 0.86-1.00$, las excepciones fueron la frecuencia de carrera ($r = 0.80$) y el porcentaje de tiempo vivo empleado en estar parado/caminar ($r = 0.68$). Aunque Walmsley y Amell (31) han establecido que una $ICC > 0.75$ representa niveles apropiados de confiabilidad, McInnes et al. (21) consideraron la confiabilidad de sus mediciones como moderadamente alta. Sin embargo, McInnes et al. (21) sugirieron que pudieron haber incrementado más la confiabilidad agrupando los movimientos de trotar y correr en un único patrón de movimiento.

Los otros estudios que han evaluado la confiabilidad (4, 21) han reportado niveles moderados de confiabilidad intra-examinador utilizando observadores "experimentados" (20-70 horas de análisis previo). Sin embargo, no se ha llevado a cabo ninguna forma de evaluación de la confiabilidad inter-examinador en la literatura del TMA. La investigación futura puede sacar provecho de los estudios que valoren la confiabilidad inter-examinador puesto que es esto imprescindible para evaluar la validez del TMA.

Aplicaciones del TMA y Recomendaciones para Futuras Investigaciones

La información que se puede obtener del TMA puede resultar muy útil para desarrollar planes de acondicionamiento específicos del patrón metabólico y de movimiento. La información proporcionada por el índice trabajo/pausa, las distancias de esprint, la duración de los períodos de recuperación así como también la cantidad de cambios de dirección y movimientos auxiliares deberían permitirle al profesional del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento crear un plan de acondicionamiento que prepare a los atletas de manera más específica para su deporte y posición en particular. No obstante, los estudios de TMA tienen varias limitaciones potenciales, en su mayoría relacionadas con la validez y la confiabilidad de las mediciones. Para hacer frente a estas inquietudes es posible que los investigadores necesiten utilizar categorías de patrones de movimiento más constantes y utilizar definiciones más claras y objetivas para cada una de estas categorías. Dado que el método Deutsch parece más válido y confiable que otros métodos de video, este método puede formar las bases para la recopilación de datos y métodos de análisis para futuros estudios de TMA que utilicen filmaciones en video. Para disminuir el efecto de las cuestiones de representatividad que se discutieron previamente, sería útil que los investigadores incrementaran el tamaño de las muestras y compararan atletas de diferentes niveles y grupos posicionales.

La razón por la que aún no se han realizado dichos estudios es que es necesario dedicar una gran cantidad de tiempo para el análisis de la información obtenida con TMA de video. Como consecuencia, cuando sea más sencillo disponer de sistemas de seguimiento en base al uso de GPS, es probable que se realicen estudios de TMA de mayor escala, capaces de utilizar mayores tamaños de muestras e incluyan comparaciones de jugadores de diferentes posiciones y niveles de juego. No obstante, en este momento el TMA de GPS parece tener limitaciones de confiabilidad y en el tamaño de la muestra para los deportes de gran velocidad y aún es limitado para los deportes que se realicen al aire libre con mínimo contacto físico. De esta manera, en el futuro inmediato el análisis de video puede continuar siendo más común que el de GPS para la mayoría de los deportes. Futuros estudios de TMA que incluyan GPS o video también deberían reportar la validez y/o confiabilidad de sus resultados para que el lector tenga un método más objetivo con el cual comparar múltiples estudios.

Al leer literatura de TMA, los profesionales deberían conocer estas cuestiones y la manera en que las mismas puedan haber afectado los resultados de un estudio en particular. Al utilizar los resultados de estos estudios para diseñar programas de entrenamiento más específicos, los profesionales deberían tener en cuenta la variación (rango) de los valores informados para los índices de trabajo/pausa, las distancias de esprint y las duraciones (27). Taylor (27) sugiere esto porque habitualmente hay mucha diferencia alrededor de los valores promedio para tales variables. De esta manera, si bien la distancia promedio de esprint para un deporte en particular puede ser de 15 m, aún puede ser necesario que los atletas realicen muchos esprints de 5 m y 30 m en la mayoría de los partidos. Por lo tanto, tener un plan de acondicionamiento que prepare a los atletas para tal rango sería de mayor beneficio que utilizar sesiones de entrenamiento que sólo sean diseñadas utilizando valores promedio. Utilizar el rango y no sólo los valores promedio solucionaría, en cierta medida, la cuestión de representatividad que se abordó en la sección anterior de este artículo. Un programa de acondicionamiento basado alrededor del rango de los resultados del TMA en lugar de los promedios, tal como lo recomienda Taylor (27), debería permitirles a los jugadores estar acondicionados de manera adecuada para hacer frente a los diversos requerimientos de sus deportes y a las variaciones observadas en los requerimientos de movimiento entre los juegos.

REFERENCIAS

1. Ali, A., and M. Farrally (1991). A computer-video aided time motion analysis technique for match analysis. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 31:82-88
2. Coutts, A.J., and P.R.J. Reaburn (2000). Time and motion analysis of the AFL field umpire. *J. Sci. Med. Sport.* 3:132-139
3. Deutsch, M.U., G.A. Kearney, and N.J. Rehrer (2002). A comparison of competition work rates in elite club and Super 12 rugby. In: Science and Foot-ball IV: Proceedings of the Fourth World Congress of Science and Football. W. Spinks, T. Reilly, and A. Murphy, eds. London: Routledge, pp. 161-166
4. Deutsch, M.U., G.J. Maw, D. Jenkins, and P. Reaburn (1998). Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. *J. Sports Sci.* 16:561-570
5. Docherty, D., H.A. Wegner, and P. Neary (1988). Time-motion analysis related to the physiological demands of rugby. *J. Hum. Movement Stud.* 14:269-277
6. Drinkwater, E.J., W.G. Hopkins, M.J. McKenna, P.H. Hunt, and D.B. Pyne (1940). Modelling age and secular differences in fitness between junior basketball players. *J. Sports Sci. In press*
7. Drust, B., T. Reilly, and E. Rienzi (1998). A motion analysis of work-rates pro-files of elite professional soccer players. *J. Sports Sci.* 16:460
8. Duthie, G., D. Pyne, and S. Hooper (2003). The reliability of video based time motion analysis. *J. Hum. Movement Stud.* 44:259-272
9. Duthie, G., D. Pyne, and S. Hooper (2005). Time motion analysis of 2001 and 2002 super 12 rugby. *J. Sports Sci.* 23:523-530
10. Eaton, C., and K. George (2006). Position specific rehabilitation for rugby union players. Part I. Empirical movement analysis data. *Phys. Ther. Sport.* 7:22-29
11. Higgs, C (1990). Wheelchair racquetball: A preliminary time motion analysis. *Adapt. Phys. Act. Q.* 7:370-384
12. Hopkins, W.G (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 30:1-15
13. Johnston, T., J. Sproule, T. Mc-Morris, and A. Maile (2004). Time-motion analysis and heart rate response during elite male field hockey: Competition versus training. *J. Hum. Movement Stud.* 46:189-203
14. Keane, S., T. Feilly, and N. Hughes (1993). Analysis of work rates in Gaelic football. *Aust. J. Sci. Med. Sport.* 25:100-102
15. Knudson, D.V., and C.S. Morrison (1997). Videotape replay within qualitative analysis. In: Qualitative Analysis of Human Movement. D.V. Knudson and C.S. Morrison, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 163-179
16. Krstrup, P., and J. Bangsbo (2001). Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: Effect of intense intermittent exercise training. *J. Sports Sci.* 19:881-891
17. Krstrup, P., M. Mohr, and J. Bangsbo (2002). Activity profile and physiological demands of top-class soccer assistant refereeing in relation to training status. *J. Sports Sci.* 20:861-871
18. Lafontaine, D., M. Lamontagne, and K. Lockwood (1998). Time-motion analysis of ice-hockey skills during games. In: ISBS 98: XVI International Symposium on Biomechanics in Sports. H.J. Riehle and M. Vieten, eds. Kon-stanz, Germany: International Society for Biomechanics of Sports, pp. 481-484

19. Lothian, F. , and M. Farrally (1994). A time-motion analysis of women's hockey. *J. Hum. Movement Stud.* 26:255-265
20. Mayhew, S.R., and H.A. Wegner (1985). Time-motion analysis of professional soccer. *J. Hum. Movement Stud.* 11: 49-52
21. McInnes, S.E., J.S. Carlson, C.J. Jones, and M.J. McKenna (1995). The physiological load imposed on basket-ball players during competition. *J. Sports Sci.* 13:387-397
22. McLean, D.A (1992). Analysis of the physical demands of international rugby union. *J. Sports Sci.* 10:285-296
23. Meir, R., D. Arthur, and M. Forrest (1996). Time and motion analysis of professional rugby league: A case study. *Str. Cond. Coach.* 1-5
24. Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci.* 21:519-528
25. Spencer, M., S. Lawrence, C. Rechichi, D. Bishop, B. Dawson, and C. Goodman (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *J. Sports Sci.* 22:843-850
26. Taylor, J (2003). Basketball: Applying time motion data to conditioning. *Strength Cond. J.* 25(2):57-64
27. Terrier, P. , Q. Ladetto, B. Merminod, and Y. Schutz (2001). Measurement of mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Med. Sci. Sports. Exerc.* 33:1912-1918
28. Terrier, P. , and Y. Schutz (2005). How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *J. Neuroengineering Rehabil.* 2:28-38
29. Terrier, P. , V. Turner, and Y. Schutz (2005). GPS analysis of human locomotion: Further evidence for long-range correlations in stride-to-stride fluctuations of gait parameters. *Hum. Movement Sci.* 24:97-115
30. Walmsley, R.P., and T.K. Amell (1996). The application and interpretation of intraclass correlations in the assessment of reliability in isokinetic dynamometry. *Isokinet. Exerc. Sci.* 6:117-124
31. Witte, T.H., and A.M. Wilson (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *J. Biomech.* 37:1891-1898

Cita Original

Bryan P. Dobson and Justin W. L. Keogh. Methodological Issues for the Application of Time-Motion Analysis Research. *Strength and Conditioning Journal*, 29(2):48-55, 2007.