

Original

Caracterización cinemática 3D del gesto técnico del remate en jugadoras de voleibol



J.L. Garrido-Castro^{a,*}, J. Gil-Cabezas^a, M.E. da Silva-Grigoletto^a, A. Mialdea-Baena^b
y C. González-Navas^a

^a Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba (IMIBIC), Córdoba, España

^b Federación Andaluza de Voleibol, Córdoba, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 14 de agosto de 2015

Aceptado el 22 de febrero de 2016

On-line el 6 de septiembre de 2016

Palabras clave:

Cinemática

Voleibol

Rendimiento deportivo

R E S U M E N

Objetivo: Caracterizar cinemáticamente el gesto técnico del remate en voleibol en un grupo de jugadoras experimentadas de categoría sénior utilizando un sistema de captura y análisis del movimiento tridimensionalmente.

Método: Se utilizó un sistema de captura de movimiento con cinco cámaras de alta velocidad (100 Hz). Se definió un modelo de marcadores de 27 marcas reflectantes.

Resultados: Se analizaron 38 parámetros cinemáticos, entre ellos: tiempos entre eventos, posición del centro de masas, velocidades y altura del remate. Se describieron parámetros como tiempo de vuelo, velocidad de impulsión vertical, salida del balón y rango de movimientos en brazo ejecutor, entre otros, con valores cercanos a los publicados por otros autores.

Conclusiones: El presente estudio ha permitido definir un protocolo y modelo de informe como herramienta para el entrenamiento personalizado en función de las deficiencias observadas y para prevenir posibles lesiones a medio/largo plazo.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Tridimensional kinematic characterization of female volleyball spike

A B S T R A C T

Objective: Characterize the kinematic parameters in a group of experienced women senior class volleyball players using a 3D motion capture and analysis system.

Method: A motion capture system connected to five high-speed cameras (100 Hz) was used. A marker set was defined using 27 reflective marks.

Results: Thirty eight kinematic parameters were analyzed: time between events, centre of mass, speed, height of spike. Many parameters were described as flight time, vertical impulsion speed, ball speed after spiking and range of movement in executor arm, among others, with similar values to those published by other authors.

Conclusions: This study has defined a protocol and a custom report as tool for personalized training according to deficiencies detected and to prevent injuries at medium/long term.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords:

Kinematics

Volleyball

Sport performance

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: cc0juanl@uco.es (J.L. Garrido-Castro).

Caracterização cinemática tridimensional do gesto técnico do ataque em jogadores de voleibol

R E S U M O

Palavras-chave:
Cinemática
Voleibol
Rendimento desportivo

Objetivo: Caracterizar cinematicamente o gesto técnico do ataque em voleibol em um grupo de jogadoras experientes de categoria sênior utilizando um sistema de captura e análise do sistema de movimento tridimensional.

Método: Foi utilizado um sistema de movimento com cinco câmeras de alta velocidade (100 Hz). Foi definido um modelo de marcadores reflexivos com 27 marcadores definido.

Resultados: Foram analisados 38 parâmetros cinemáticos, entre eles: tempos entre eventos, posição do centro de massas, velocidade e altura do ataque. Foram descritos parâmetros como o tempo de vôo, velocidade de impulsão vertical, saída da bola e amplitude de movimento do braço executor, entre outros, com valores próximos aos publicados por outros autores.

Conclusão: O presente estudo permitiu definir um modelo de protocolo e relatório como uma ferramenta para treinamento personalizado em função das deficiências observadas e para prevenir possíveis lesões a médio/longo prazo.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La técnica es uno de los factores más influyentes y determinantes para el rendimiento deportivo. La técnica del remate dentro del voleibol es una de las más importantes para decidir la evolución del juego en este deporte. Se pueden producir más de 100 remates en un partido por parte de una sola jugadora y del éxito de su ejecución depende en gran parte el resultado del punto. Su dificultad radica en la necesidad de combinar las habilidades de salto con carrera previa y golpeo con grandes exigencias coordinativas en el aire. El remate debe tener una técnica depurada en cuanto a que se deben realizar los movimientos adecuadamente para lograr una economía de esfuerzo, racionalidad del movimiento y evitar lesiones. Una revisión de la literatura sobre voleibol revela las diferentes fases y la técnica de ejecución¹⁻³.

Existen diversas alternativas técnicas, a la hora de registrar el movimiento de los deportistas, realizando su gesto técnico. Una de las más novedosas es la captura del movimiento utilizando fotogrametría tridimensional (3D) basada en cámaras sincronizadas de alta velocidad. A través de la obtención de varias secuencias de vídeo a partir de varias fuentes de imagen, y una vez sincronizadas y calibradas estas, los sistemas de captura de movimiento basados en vídeo, permiten obtener multitud de información cinemática derivada de la posición de los objetos como: velocidades, aceleraciones, ángulos, distancias, etc. con una precisión que no puede ser alcanzada sin este tipo de sistemas. Una vez conocemos las posiciones de las marcas, podemos calcular la posición y velocidad del centro de masas a partir de los parámetros inerciales definidos por de Leva⁴ entre otros autores. En nuestro estudio se ha utilizado un sistema denominado UCOTrack[®] el cual ya ha sido descrito y validado para el análisis de la movilidad humana^{5,6}.

La caracterización del gesto técnico del remate en voleibol, obtenido a través de una serie de parámetros cuantitativos de la cinemática del movimiento, puede ayudar a formar a jóvenes atletas que están comenzando a aprender cómo realizar, de forma correcta y lo más eficiente posible, el golpeo del remate, teniendo como objetivo adicional el evitar lesiones deportivas de un gesto técnico mal ejecutado. El objetivo del presente estudio ha sido el análisis cinemático de tres jugadoras sênior experimentadas mediante captura y análisis de movimiento en 3D para obtener estos parámetros cinemáticos con un nivel de precisión muy alto.

Método

Sujetos

Tres jugadoras de voleibol experimentadas (edad 23.75 ± 3.21 años, altura 1.71 ± 0.07 m, peso 74.25 ± 8.54 kg), las cuales juegan en diferentes equipos de superliga y liga nacional, participaron en el estudio. Todas las jugadoras fueron diestras. Todas ellas cumplieron un documento de consentimiento informado antes de iniciar los ensayos. El estudio contó con la aprobación del Comité Ético del Instituto Maimónides de Investigación Biomédica.

Diseño experimental

Las medidas cinemáticas han sido obtenidas a través de vídeos en alta velocidad utilizando un sistema de captura de movimiento (UCOTrack[®], Córdoba, España). Se utilizaron cinco cámaras de vídeo (Basler acA640-100gc, Ahrensburg, Alemania) de alta velocidad (100 Hz) como fuentes de vídeo conectadas a un ordenador central. Las cámaras fueron distribuidas alrededor del punto de remate entre ocho y doce metros de distancia y a una altura de 1.40 m. Se colocaron sistemas de iluminación en cada cámara para conseguir un mayor realce de las marcas.

Se utilizó un cubo de calibración de 1.6 m de lado para que el sistema, usando la técnica de Transformación Lineal Directa (*Direct Linear Transformation*), pudiese reconstruir la posición 3D de los marcadores.

Se utilizaron 27 marcas reflectantes de 25 mm de diámetro recubiertas de material reflectante y adheridas a la piel del sujeto mediante velcro adhesivo. En las zonas donde el sudor pudiese despegar el velcro se utilizó un espray adhesivo utilizado para *kinesiotaping*.

La ubicación de las marcas se muestra en la [figura 1](#).

Se define, asimismo, una marca para el balón la cual será seguida manualmente mediante interpolación por esplines cúbicos para completar la trayectoria indicando tan solo la posición cada cinco fotogramas.

El sistema proporciona de cada marca, y en cada instante de tiempo, información cinemática completa (posición, velocidad y aceleración). Además, para cada segmento definido por varias marcas proporciona: ángulos, distancias, velocidad angular y aceleración angular. A partir de las posiciones de las marcas, se calcula la posición y velocidad del centro de masas de la jugadora. A las

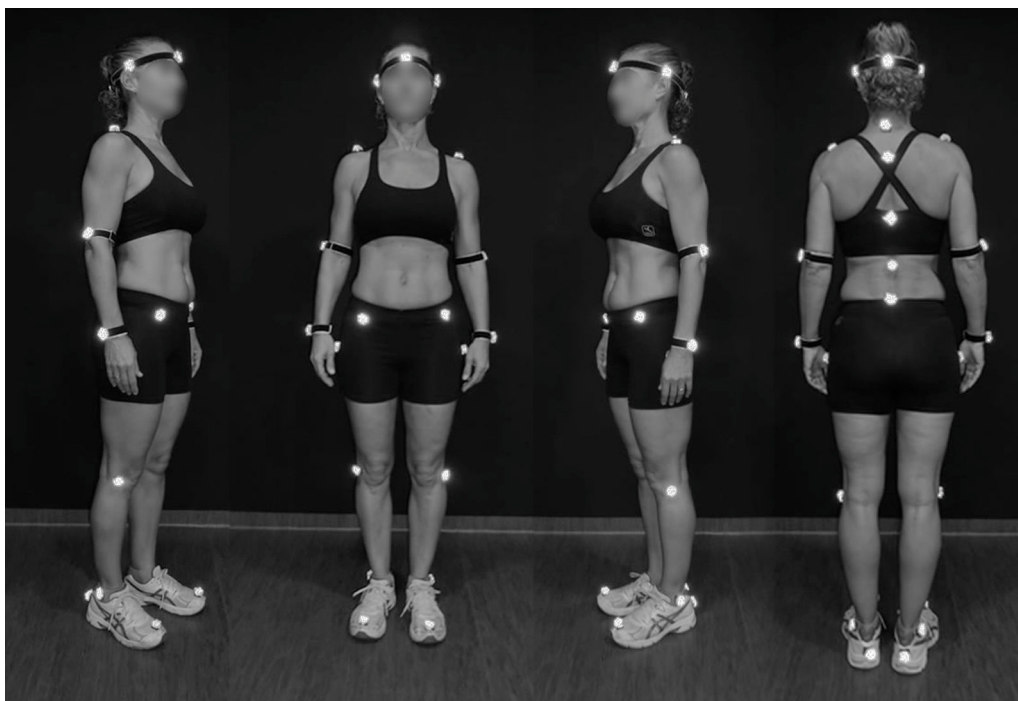


Figura 1. Set de marcadores utilizado en el estudio: 4 marcadores en la cabeza (occipucio, frente, lóbulos izquierdo y derecho), 2 en los hombros (acromio clavicular), 2 en codos (epicóndilo lateral), 2 en muñecas, vertebra C7, inferior a C7 10 cm, vertebra L5, superior a L5 10 cm, intermedia C7-L5, 2 en caderas (cresta ilíaca superior), 2 trocánter, 2 rodillas (epicóndilo lateral), 2 tobillos, 2 talones y 2 punta del pie (inicio segundo metatarsiano).

posiciones de marcadores originales se le aplicó un filtro *Butterworth* paso-bajo de 5 Hz para suavizar el ruido ocasionado por la digitalización del movimiento.

Se realizaron las mediciones en instalaciones del Instituto Municipal de Deportes del Ayuntamiento de Córdoba. Se dispusieron las cámaras, tal y como se ha comentado anteriormente, se realizó la calibración y se iniciaron los ensayos. Se sometió a las jugadoras a un periodo de calentamiento general y específico de remate de diez minutos de duración. Se les pusieron los marcadores reflectantes y se fueron colocando en posición para realizar el remate. El colocador utilizado fue en todos los casos el mismo, colocando el balón por zona cuatro.

Se realizaron y grabaron cinco remates con éxito. Se entendió el éxito del remate cuando la pelota llegase al campo contrario por encima de la red y cayese al final de la pista, en cualquier posición válida después de la zona de remate. Posteriormente, en el posproceso, se selecciona un remate por jugadora, el mejor de ellos, en función de la velocidad de salida del balón.

Las diferentes fases en el gesto técnico del remate están bien definidas en la literatura⁷⁻⁹. Podemos hablar de una carrera de aproximación, la batida (dividida en una fase de impulso de frenado y otra de aceleración), el vuelo (preparación al golpeo y caída). Para cada remate, analizando fotograma a fotograma la secuencia del remate, se estudiaron los instantes temporales de cada uno de los eventos.

Si bien, hubiese sido deseable establecer procedimientos de cálculo automatizado del inicio/fin de cada una de las fases, en base a la información cinemática de los marcadores y el centro de masas, tal y como algunos autores del presente estudio hicieron para el apoyo en caballos¹⁰, el reducido número de deportistas para establecer un procedimiento validado de determinación de estos eventos lo ha impedido. Por esto hemos utilizado la estimación visual para determinar cada una de las fases.

Se han definido variables temporales evaluando, en segundos, la duración de cada fase y el porcentaje de tiempo, respecto a la duración total de las diferentes fases. El *marker set* elegido nos ha

permitido calcular la posición del centro de masas del deportista. Para el cálculo del centro de masas se utilizaron los parámetros inerciales definidos por de Leva⁴ para mujeres. A partir de la posición de este centro de masas, se ha calculado la posición y velocidad, en metros por segundo, en diversos eventos temporales. Asimismo se siguió la trayectoria del balón, permitiendo identificar su altura, velocidad y orientación en el tiempo. Analizando la posición de los marcadores en el brazo rematador, se pudieron calcular diversas velocidades y ángulos de este. Finalmente, también fueron analizados ángulos y distancia de la posición de los pies y flexión de rodillas para cada una de las jugadoras analizadas.

Análisis estadístico

De cada uno de los parámetros cinemáticos se registraron los valores obtenidos por cada jugadora. Se utilizó Microsoft Excel[®] y SPSS[®] versión 14 para el tratamiento estadístico. Se calcularon valores medios y desviaciones típicas de cada uno de ellos. Además se analizó la diferencia entre cada una de las jugadoras expresadas en coeficientes de variación (cociente entre la desviación típica y el valor medio).

Resultados

Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en la [tabla 1](#).

Las medidas cinemáticas obtenidas del gesto técnico tuvieron pocas diferencias entre las jugadoras con coeficientes de variación inferiores al 20%. Tan solo el ángulo de doble apoyo de los pies, el desfase entre la máxima altura y la altura del impacto en segundos y el ángulo de salida vertical de balón superaron estos umbrales de variabilidad.

La evolución de la velocidad del centro de masas, de uno de los ensayos registrados, puede verse en la [figura 2](#). Se indica la velocidad total, horizontal y vertical. Asimismo se indica cuándo se producen los eventos de batida, despeque y remate.

Tabla 1
Resultados cinemáticos obtenidos por las 3 jugadoras sometidas al estudio

	J1	J2	J3
<i>Duración de fases</i>			
Carrera aproximación (s)	1.34	1.25	1.77
Batida (s)	0.35	0.44	0.37
Batida (%)	36.84	44.44	39.78
Impulso frenado (s)	0.21	0.31	0.23
Impulso frenado (%)	22.11	31.31	24.73
Impulso aceleración (s)	0.14	0.13	0.14
Impulso aceleración (%)	14.74	13.13	15.05
Vuelo (s)	0.60	0.55	0.56
Vuelo (%)	63.16	55.56	60.22
Preparación golpeo (s)	0.32	0.31	0.28
Preparación golpeo (%)	33.68	31.31	30.11
Golpeo-Caída (s)	0.28	0.24	0.28
Golpeo-Caída (%)	29.47	24.24	30.11
<i>Preparación</i>			
Velocidad total en batida (m/s)	2.49	2.98	3.48
Velocidad horizontal en batida (m/s)	2.38	2.80	2.77
Velocidad vertical en batida (m/s)	0.61	0.87	0.57
Velocidad total en despegue (m/s)	3.34	3.43	3.56
Velocidad horizontal en despegue (m/s)	2.15	2.02	2.12
Velocidad vertical en despegue (m/s)	2.54	2.62	2.53
Velocidad total máxima (m/s)	3.92	3.82	4.22
Velocidad horizontal máxima (m/s)	3.61	3.63	3.75
Velocidad vertical máxima (m/s)	3.26	3.02	3.18
<i>Impacto del balón</i>			
Altura balón impacto (m)	2.64	2.59	2.40
Velocidad de salida del balón (m/s)	21.13	17.24	16.97
Ángulo salida balón vertical (°)	15.40	27.61	6.46
Ángulo salida balón sagital (°)	75.56	57.27	80.19
Altura salto (m)	0.60	0.56	0.47
Altura impacto (m)	0.58	0.55	0.47
Desfase máxima altura (seg.)	0.07	0.03	0.03
Distancia recorrida hasta impacto CM (m)	0.75	0.73	0.68
<i>Brazo rematador</i>			
Velocidad de la mano en impacto (m/s)	14.15	13.25	14.11
Ángulo antebrazo en impacto (°)	84.98	79.08	99.95
Rango angular antebrazo derecho hasta impacto (°)	105.71	113.14	102.41
Tiempo de giro (s)	0.08	0.07	0.06
Velocidad angular antebrazo en impacto (rad/s)	20.14	20.33	24.16
Ángulo codo en impacto (°)	142.82	136.47	131.87
Rango angular codo hasta impacto (°)	74.87	66.40	59.99
Velocidad angular codo en impacto (rad/s)	20.19	27.17	17.64
Ángulo hombro-muñeca en remate (°)	72.25	79.82	74.22
<i>Pies</i>			
Ángulo de doble apoyo entre pies (°)	2.78	42.07	0.07
Ángulo de doble apoyo respecto fondo (°)	35.63	26.50	40.39
Longitud último paso (m)	0.45	0.86	0.77
Longitud penúltimo paso (m)	1.58	1.69	1.38
<i>Rodillas</i>			
Máxima flexión en frenado (°)	109.49	87.16	102.00
Máxima flexión en caída (°)	120.44	139.35	140.55

J1: jugadora número 1; J2: jugadora número 2; J3: jugadora número 3.

Además de los resultados cinemáticos, el sistema ha aportado videos en alta velocidad y animaciones en 3D que han permitido un análisis personalizado del gesto técnico de las jugadoras.

En la figura 3 se muestra un diagrama de alambres proporcionado por el sistema UCOTrack® para analizar las distintas fases del gesto técnico. Se indican además las diferentes fases analizadas.

Discusión

El objetivo de este estudio ha sido caracterizar el gesto técnico del remate en voleibol para obtener una herramienta que nos permita analizar los diferentes parámetros cinemáticos de los movimientos involucrados en el mismo.

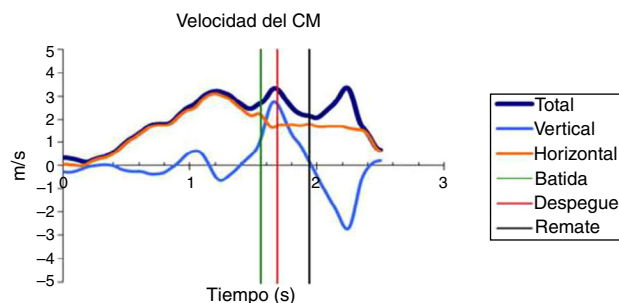


Figura 2. Velocidad del centro de masas.

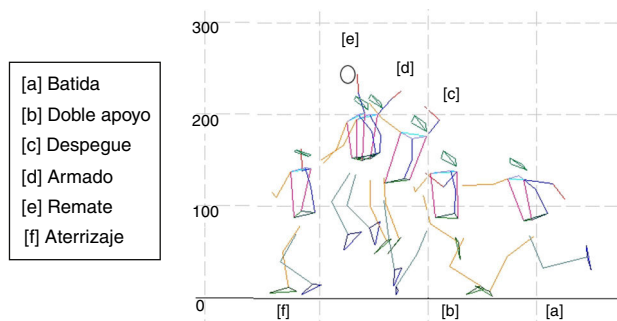


Figura 3. Diagrama de alambres generado por el sistema con indicación de los diferentes eventos analizados.

Las relativamente pocas diferencias observadas implican que la biomecánica del remate se mantuvo muy similar entre las jugadoras y que los resultados cinemáticos podrían ser utilizados para monitorizar la eficacia de los entrenamientos y como valores objetivos a conseguir por las jugadoras noveles. Se obtienen resultados similares entre las jugadoras participantes del estudio y diversos estudios referenciados en bibliografía, ya que controlan el gesto técnico en gran medida.

En primer lugar, se ha analizado la duración de cada una de las fases que componen el gesto técnico del remate. Sabiendo la duración de cada fase y la velocidad de cada marca aportada por el sistema, se han calculado las velocidades del centro de masas en cada fase. Los valores obtenidos son muy similares a los que aparecen en la literatura como los estudios de Kuhlmann et al.¹¹ y Chen et al.¹².

En cuanto a la velocidad del balón, existen diversos estudios, algunos de ellos realizados utilizando otras tecnologías de medida, sobre categoría femenina como los de Ferris et al.¹³, Reeser et al.¹⁴ y Chen et al.¹⁵. Los dos primeros utilizaron pistola de radar de velocidad y los terceros utilizaron el sistema de video para medir la velocidad del balón, tal y como hemos hecho en nuestro estudio. Nuestros resultados son muy similares a los obtenidos en estos estudios. El hecho de utilizar el video para evaluar la velocidad del balón nos ha permitido también conocer otros parámetros importantes, además de la altura del impacto, la orientación espacial del vector de velocidad del balón después del impacto, algo imposible de conocer con la pistola de radar de velocidad.

Un aspecto importante, detectado en la técnica del remate, es la diferencia temporal entre el punto en el que alcanzan la máxima altura y el punto del remate. Kuhlmann et al.¹⁶, en un estudio sobre diez jugadores masculinos profesionales observaron 0.02 s de tiempo de desfase entre máxima altura e impacto, una cantidad algo inferior a los 0.04 s de nuestro estudio en jugadoras profesionales. Una diferencia pequeña que debería ser mejorada en el grupo de jugadoras analizadas para una mejor eficacia del remate. En cuanto a la distancia recorrida por el centro de masas en el salto, Chen et al.¹⁵ obtuvieron distancias de 34.5 ± 7.4 cm sobre jugadoras

universitarias, bastante inferiores a las obtenidas en nuestro estudio (72.0 ± 3.6 cm) y creemos que puedan ser debidas a una diferencia en el método de cálculo de esta distancia y sobre todo al nivel de juego de las participantes en el estudio (jugadoras universitarias versus jugadoras profesionales de superliga femenina).

Respecto al brazo rematador (derecho en este caso, al ser todas las jugadoras diestras), se ha analizado la velocidad lineal de la mano en el impacto con resultados similares a los obtenidos por Chen et al.¹⁵.

Otro de los resultados analizados fue el movimiento del antebrazo, consiguiendo valores aproximados a los de Liu et al.¹⁷. El ángulo de los pies en la batida fue estudiado por Kuhlmann et al.¹⁶ los cuales llegaron a la conclusión de que no fue determinante en la altura del salto. Esta estrategia de girar algo el pie izquierdo fue utilizada por las jugadoras expertas y parece proporcionar un mejor frenado, que una mayor altura en el salto. Ciapponi et al.¹⁸, utilizando plataformas de fuerza, también observaron diferencias en el apoyo entre varios grupos de jugadores, concluyendo que este hecho permite, a los jugadores, una mejor conversión de velocidad horizontal en vertical. Para este parámetro se ha detectado cierta variabilidad entre las jugadoras.

Por último, se analizó la flexión de rodillas en la batida y en la caída. La flexión media en la batida fue de 99.6° ; valor muy similar al publicado por Chen et al.¹²: 103.4° . Es necesario indicar que el ángulo inicial medio de la rodilla en reposo obtenido, debido a la posición de los marcadores, es de 165° , no de 180° . Por tanto, esta flexión sería de alrededor de 65° respecto al ángulo inicial. El valor de la flexión de rodilla en la caída puede ser un buen indicador de patrones lesivos que puedan afectar a los ligamentos de la rodilla^{19,20}.

Una de las limitaciones del presente estudio es el establecimiento manual del inicio y fin de cada una de las fases del remate. En base a la información cinemática obtenida, tal vez fuese posible establecer un proceso automatizado, basado en un algoritmo que analizase dicha información y que objetivase la detección de cada una de las fases. Sin duda un tema interesante para futuros estudios basados en el protocolo de medida expuesto en nuestro estudio.

Dado el bajo número de sujetos no se ha podido inferir una correlación directa entre los diferentes parámetros cinemáticos y medidas de eficacia del remate como la velocidad de salida del balón y la altura del remate. También hubiese sido deseable obtener, al menos, tres mediciones por deportista para tener una mejor idea de la variabilidad en el gesto técnico.

En conclusión, los resultados del presente trabajo muestran un protocolo y una tecnología que podrían ser muy útiles, ya que aportan información cuantificable del gesto técnico completo en el remate en voleibol con gran precisión. Esta información aportaría un feedback en las jugadoras muy valioso a través de información objetiva y cuantitativa y un análisis cualitativo de los videos en alta velocidad que servirá a sus entrenadores para valorar el gesto técnico, la eficacia del entrenamiento individualizado y la detección de movimientos lesivos, si bien se necesitarían futuros estudios incidiendo en cada uno de estos aspectos basándose en el protocolo descrito.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Financiación

El presente artículo ha sido elaborado dentro un proyecto financiado por el Consejo Superior de Deportes titulado “Análisis cinemático tridimensional del remate en voleibol: comparación entre jugadoras sénior y cadetes como herramienta para la formación y mejora del rendimiento” (Referencia: 024/SAL10/12)

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Maxwell T. A cinematographic analysis of the volleyball spike of selected top-calibre female athletes. *Volleyball Tech J*. 1982;7:43–54.
- Gutierrez M, Ureña A, Soto V. Biomechanical analysis of the hit in the volleyball spike. *J Hum Mov Stud*. 1994;26:35–49.
- Coleman SG, Benham AS, Northcott SR. A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike. *J Sports Sci*. 1993;11:295–302.
- De Leva P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J Biomech*. 1996;29:1223–30.
- Castro JL, Medina-Carnicer R, Galisteo AM. Design and evaluation of a new three-dimensional motion capture system based on video. *Gait Posture*. 2006;24:126–9.
- Garrido-Castro JL, Medina-Carnicer R, Schiottis R, Galisteo AM, Collantes-Estevez E, Gonzalez-Navas C. Assessment of spinal mobility in ankylosing spondylitis using a video-based motion capture system. *Man Ther*. 2012;17:422–6.
- Bellendier J. Ataque de rotación en el voleibol, un enfoque actualizado. *Revista digital*, Buenos Aires. 2002;8 [consultado 8 Abr 2016]. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd51/ataque.htm>.
- Araya C. Análisis biomecánico de la fase del golpe en el remate de voleibol. *Revista digital*, Buenos Aires. 2010;14 [consultado 8 Abr 2016]. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd142/analisis-bomecanico-del-remate-de-voleibol.htm>.
- Mann M. The biomechanics of the volleyball spike/attack. *Sport Biomech*. 2008;1–20.
- Galisteo AM, Garrido-Castro JL, Miró F, Plaza C, Medina-Carnicer R. Assessment of a method to determine the stride phases in trotting horses from video sequences under field conditions. *Wien Tierärztl Monatsschr*. 2010;97:65–73.
- Kuhlmann C, Roemer K, Milani T, editors. Aspects of three dimensional motion analysis of the volleyball spike in high level competition. 25 International Conference on Biomechanics in Sports. Ouro Preto, Brasil. 23-27 de Agosto de 2007.
- Chen P, Huang C, Shih S, editors. Differences in 3D kinematics between genders during volleyball spike. 23rd edition of the Congress of the International Society of Biomechanics. London. 3-7 de julio de 2011.
- Ferris DP, Signorile JF, Caruso JF. The relationship between physical and physiological variables and volleyball spiking velocity. *J Strength Cond Res*. 1995;9:32–6.
- Reeser JC, Fleisig GS, Bolt B, Ruan M. Upper limb biomechanics during the volleyball serve and spike. *Sports Health*. 2010;2:368–74.
- Chen Y, Huang C, editors. Kinematical analysis of female volleyball spike. 26 International Conference on Biomechanics in Sports. Seoul, Korea. 14-18 de julio de 2008.
- Kuhlmann C, Roemer K, Milani T, editors. Different approach techniques in volleyball spike. 2008 Annual Meeting (NACOB). Ann Arbor, Michigan, USA. 5-9 de agosto de 2008.
- Liu L, Lui G, Sue C, Huang C, editors. The application of range of motion (ROM) and coordination on volleyball spike. 26 International Conference on Biomechanics in Sports. Seoul, Korea. 14-18 de julio de 2008.
- Ciapponi TM, McLaughlin EJ, Hudson JL, editors. The volleyball approach: An exploration of balance. XIIIth International Symposium on Biomechanics in Sports. Thunder Bay, Ontario, Canada. 18-21 de julio de 1995.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *Am J Sports Med*. 2005;33:492–501.
- Salci Y, Kentel BB, Heycan C, Akin S, Korkusuz F. Comparison of landing maneuvers between male and female college volleyball players. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004;19:622–8.