

MECÁNICA DE EJECUCIÓN DEL REMATE EN VOLEIBOL

MECHANICS OF THE SPIKE EXECUTION IN VOLLEYBALL

Valadés Cerrato, David¹; Palao Andrés, José Manuel²; Bermejo Frutos, Javier³

¹Departamento de Biomédicas II, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad de Alcalá; ²Departamento de Actividad Física y Deporte.

Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Murcia;

³Universidad Católica San Antonio de Murcia

Fecha de recepción: 08-02-13

Fecha de aceptación: 02-04-13

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar la mecánica de realización del remate de voleibol. Se realiza una descripción de las diferentes fases del remate (carrera de aproximación, batida, golpeo, y caída) y de los principios mecánicos que intervienen en la realización de cada fase del remate. A partir de esta información se puede comprender el porqué de la realización de los diferentes movimientos del remate. Esta información puede servir de guía a los entrenadores de voleibol a la hora de realizar el análisis y diagnósticos de la técnica de ejecución del remate en sus jugadores y jugadoras

Palabras clave

Biomecánica, técnica, voleibol, ataque.

Abstract

The purpose of this study was to study the mechanics of the spike in volleyball. A description of the different phases of the spike (run-up, take-off, hit, and fall) and the mechanical principles involved in the execution of each phase of the spike was carried out. This information helps to understand the reasons for the different movements that are executed in the spike. This information can help to guide coaches' analysis and diagnosis of the spike in their players.

Key Works

Biomechanics, technique, volleyball, attack

Introducción

El rendimiento en el deporte está condicionado por aspectos motores, psicológicos, fisiológicos, etc. A nivel motor, la actuación del deportista está determinada principalmente por dos criterios: a) el reglamento, que establece que se puede hacer y cómo (ej. espacio, tiempo, competidores, materiales, interacciones, y metas); y b) los principios mecánicos de la física (mecánica newtoniana), que son leyes universales e invariables que rigen el movimiento (ej. cuando se lanza un balón hacia arriba, por muy alto que se lance, al final siempre volverá a caer al suelo por acción de la fuerza de la gravedad y el tiempo empleado en subir y bajar estará determinado por las características aerodinámicas del objeto).

El voleibol es un deporte de red en el cual el móvil de juego no puede ser adaptado y se juega con una barrera física (red). La existencia de una red condiciona la ejecución de los movimientos, ya que esta debe ser superada para hacer que el balón contacte con el campo del equipo contrario. Por ello, las acciones realizadas próximas a la red son las que más importancia tienen sobre el resultado del juego. El remate es la acción técnica a través de la cual que se consigue el mayor porcentaje de puntos (Palao, Santos, & Ureña, 2004; Zhang, 2000). El estudio de su técnica se puede realizar desde dos perspectivas a nivel mecánico y a nivel de efecto en el juego. El presente trabajo aborda el estudio del remate a través de la biomecánica deportiva, con objeto de incrementar la comprensión de la mecánica de los movimientos de este gesto (qué hace, por qué lo hace, y cómo afecta al resultado) (Hughes & Bartlett, 1992).

La efectividad del remate de voleibol, a nivel mecánico, está determinada por dos aspectos: a) la altura del golpeo del balón; y b) la velocidad de salida del balón tras el golpeo (Coleman, Benham, & Northcott, 1993; Forthomme, Croisier, Ciccarone, Crielaard, & Cloes, 2005; Guo & Li, 2000; Gutiérrez, Ureña, & Soto, 1994; Hernández, 1992; Vint & Hinrichs, 2004a). Esto traducido a la competición supone que cuanto mayor sea la altura a la que se produce el golpeo del balón, mayor será la posibilidad de superar el bloqueo, y cuanto más fuerte se golpee al balón, menor será el tiempo de reacción del que disponga el equipo contrario para interceptar su trayectoria (Bowman, 2001; Valadés, Palao, Femia, Padial, & Ureña, 2004; Vint & Hinrichs, 2004b).

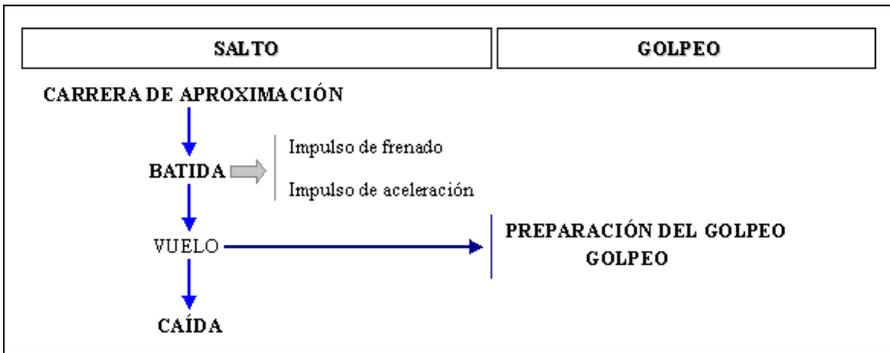


Figura 1. Esquema de las fases del remate de voleibol (Valadés et al., 2004).

El remate es un movimiento complejo (Liu, Liu, Sue, & Huang, 2008; Wedaman, Tant, & Wilkerson, 1988), que combina tres acciones (Lucas, 2000): a) una carrera de aproximación, b) un salto vertical, y c) un golpeo en suspensión. Se trata de un movimiento secuencial (Alexander & Seaborn, 1982; Prsala, 1982) que se realiza a gran velocidad de ejecución de 0.6-0.8 s (Liu et al., 2008). A nivel de biomecánica, se utiliza la división del gesto en diferentes fases temporales. En la bibliografía existen referencias a divisiones del gesto en: tres fases (aproximación, salto, y golpeo) (Lucas, 2000), cuatro fases (aproximación, preparación, golpeo, y aterrizaje) (Abendroth-Smith & Kras, 1999; Cisar & Corbelli, 1989; Coleman et al., 1993; Kuhlmann, Roemer, & Milani, 2007; Prsala, 1982; Shahbazi, Mirabedi, & Gaeini, 2007), y cinco fases (aproximación, impulso de frenado de batida, impulso de aceleración de batida, golpeo, y aterrizaje) (Chen, Huang, & Shih, 2011; Coleman et al., 1993; Gutiérrez, Santos, & Soto, 1992; Reeser, Fleisig, Bolt, & Ruan, 2010). Chen et al. (2011) determinan la división en aproximación, batida, vuelo, armado para el golpeo, y aterrizaje. En este artículo se utiliza una división básica en cuatro fases principales con dos subfases en la batida y el vuelo (figura 1).

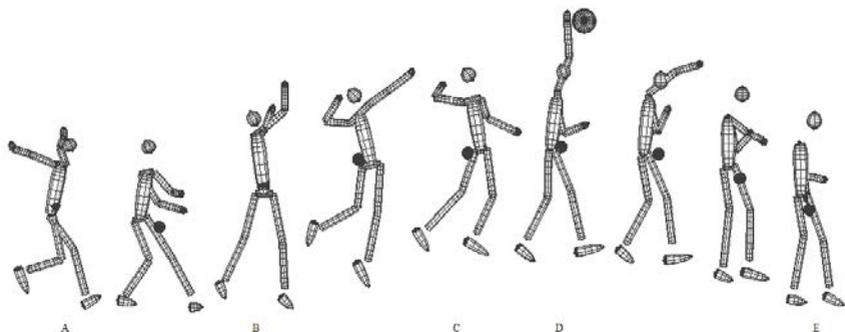


Figura 2. Secuencia de la acción técnica del remate de voleibol en un modelo reconstruido de segmentos articulados (adaptado de Reeser et al., 2010).

Leyenda: Carrera de aproximación (A); Batida (AB); Vuelo “preparación del golpeo” (BC); Vuelo “Aceleración del brazo y golpeo” (CD); Caída (DE).

1. Carrera de aproximación

La realización de la carrera de aproximación a velocidad sub-máxima (50-60% de la velocidad máxima de carrera) previa a un salto vertical incrementa la altura de elevación del centro de masas (CM) del deportista en relación a un salto sin carrera (Dapena & Chung, 1988; Saunder, 1980). Este aspecto ha sido corroborado por diferentes estudios que han encontrado correlación positiva entre la velocidad de carrera y la altura de salto en el remate de voleibol (Kuhlmann, Roemer, & Milani, 2009; Tillman, Hass, Brunt, & Bennett, 2004; Vint & Hinrichs, 2004b). La explicación teórica del beneficio de realizar una carrera previa es que cuando el jugador de voleibol realiza la aproximación, genera una cierta cantidad de fuerza que depende de la cantidad de velocidad horizontal de avance del CM. Al contactar con los pies en el suelo al inicio de la batida se produce una flexión de rodillas para amortiguar la fuerza (fase negativa), la musculatura del muslo se elonga, y se activa el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA). A través de este mecanismo, cuando se produce un elongamiento muscular previo a una contracción concéntrica explosiva, la fuerza que es capaz de generar el músculo se incrementa por almacenamiento de energía en los componentes elásticos de músculo. De esta forma, cuanto mayor sea la cantidad de velocidad horizontal en la aproximación (mayor energía y mayor carga muscular en la batida), mayor posibilidad de elevarse más alto en el salto y golpear el balón de una forma más eficaz (Chen & Huang, 2008; Ciapponi, McLaughlin, & Hudson, 1995; Coutts, 1982; Dusault, 1986; Enoka, 1971; Kuhlmann, Roemer, & Milani, 2011; Neal & Sidney-Smith, 1992; Prsala, 1982; Ridway, 1991; Shahbazi & Mirabedi, 2008; Vint & Hinrichs, 2004b). La efectividad de la carrera de aproximación del remate de voleibol se mide en términos mecánicos tomando como referencia dos aspectos: a) la velocidad horizontal del CM, y b) la altura del CM al inicio de la batida (Liu, Huang, & Huang, 2001; Wagner, Tilp, Von Duvillard, & Mueller, 2009).

En relación a la velocidad horizontal del CM, para lograr una velocidad rápida de aproximación, el jugador utiliza tres o cuatro pasos de carrera (Enoka, 1971; Saunder, 1980). No se ha encontrado correlación entre el número de pasos de carrera de aproximación y el incremento en la velocidad horizontal del CM (Hsieh, Cascarina, & Pingatore, 2010; Khayambashi, 1986). Esto puede deberse a que el número de pasos que realiza el jugador esté determinado por la temporalidad de las acciones previas al golpeo del balón en el remate (recepción y colocación). En cuanto a las características del último paso previo a la batida (paso amplio con avance rápido del CM vs paso corto con avance lento del CM) no existe consenso en la literatura especializada. Shahbazi et al. (2007) no encontraron diferencias en la altura del salto al ejecutar uno u otro tipo de aproximación, Sin embargo, Liu et al. (2001) encontraron mayor fuerza de impulso durante la batida al ejecutar el último paso más amplio y con mayor avance horizontal del CM, tal como la literatura especializada indica. En relación a la altura del CM, al final de la carrera se produce un descenso que coincide con la ejecución del último paso. Este descenso sirve para que el cuerpo llegue en la posición adecuada para la realización de la batida.

La forma de aproximación del jugador a la zona de batida condiciona la ejecución del gesto. Este aspecto va a depender de la zona del campo por la cual el deportista vaya a realizar su ataque y la lateralidad del rematador (Figura 3). Este aspecto va a influir en la forma de realizar el golpeo y la forma de realizar el gesto para enviar el balón hacia diferentes trayectorias. Un jugador diestro, cuando remate por la izquierda de campo (zona 4), realizará una carrera de aproximación de aproximadamente 45-60 grados respecto a la red. En cambio, cuando remate por la derecha (zona 2), realizará una carrera más o menos recta, de unos 60-90 grados. Un jugador zurdo invierte el desplazamiento (Haley, 1992).

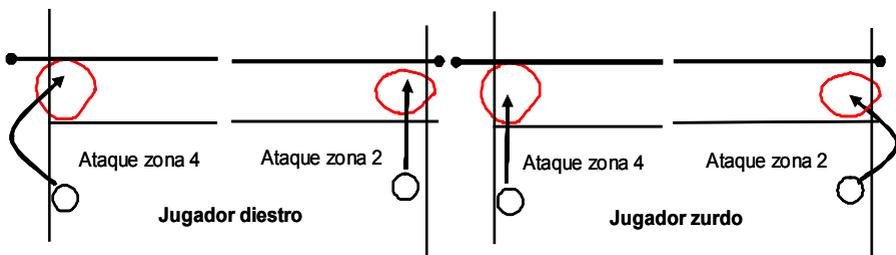


Figura 3. Trayectoria de desplazamiento de un jugador diestro y otro zurdo para realizar un ataque por la zona 4 y por la zona 2 (Valades et al., 2004).

2. Batida

La batida es una fase importante del remate, ya que va determinar la altura de golpeo, que es un factor determinante en la efectividad del gesto (Kuhlmann et al., 2007). La eficacia de esta

fase no sólo depende de la habilidad técnica del jugador, sino que en su ejecución entran en juego aspectos de tipo físico (niveles de fuerza en la extremidad inferior), los patrones motores asimilados (coordinación neuromuscular), y las características personales del deportista (Cook, Burton, Kiesel, Rose, & Bryant, 2010). En la batida se busca realizar una secuencia de movimientos y acciones que minimicen la carga y maximicen la producción de fuerza (Harris, 2012). La altura que alcanza el CM al final de la batida está determinada por la velocidad vertical del CM y por la gravedad (Vint & Hinrichs, 2004a, b), desechando la resistencia del aire y la intervención de fuerzas externas. La gravedad es una fuerza constante y que no es posible modificar (fuerza de atracción hacia la tierra de 9.8 m/s^2 , dirección vertical, y sentido hacia abajo). En relación a la velocidad vertical del CM al final de la batida, esta variable tiene una correlación positiva con la altura de salto (Coleman et al., 1993). Cuanto mayor sea la cantidad de velocidad vertical del CM generada al final de la batida, mayor será la altura de salto.

La batida se divide en dos fases: a) impulso de frenado (fase de contracción muscular excéntrica) y b) impulso de aceleración (fase de contracción muscular concéntrica) (Kovalev, 1978). Durante el impulso de frenado, se produce un descenso del CM en el último paso se produce por el incremento de la flexión de rodilla, los brazos se llevan hacia atrás, y se retrasa el tronco con respecto al CM. La realización de la contracción excéntrica de la musculatura extensora del tren inferior en esta fase de impulso de frenado implica una acumulación de energía (estiramiento del músculo), lo que permite crear un mayor impulso positivo, y una mayor aceleración en la fase de impulso de aceleración (Cavagna, Dusman, & Margaria, 1968; Coutts, 1982; Devita & Skelly, 1992; Komi & Bosco, 1978; Stienen, Blange, & Schneer, 1978). En la fase de impulso de aceleración se realiza una extensión de las articulaciones, el tronco se lleva hacia adelante arriba, y se elevan de forma simultánea los dos brazos.

La acción de los brazos durante la batida es importante tanto en el impulso de frenado como en el de aceleración. La acción de balanceo de los brazos hacia atrás durante la primera fase de la batida aumenta la carga muscular y desciende la altura del CM. La acción de balanceo de los brazos hacia delante y hacia arriba en la segunda fase de la batida ayuda al salto por el principio de acción reacción y eleva la posición del CM al final de la batida (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996; Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988). La no utilización de los brazos en la batida disminuye en un 54% la velocidad vertical del CM del jugador durante el salto (Feltner, 2004). La acción de los brazos finaliza (bloqueo de los mismos y preparación del golpeo) al final de la fase de batida, al perder el contacto con el suelo (Ashby & Heegaard, 2002).

La batida se puede realizar de dos formas: a) saltando con una pierna (apoyo simple) y b) saltando con dos piernas (apoyo doble) (Huang, Liu, & Sheu, 1999; Saunder, 1980; Selinger & Ackerman, 1985; Vint & Hinrichs, 1996). La batida con una pierna es más común en las mujeres (Selinger & Ackerman, 1985), siendo su frecuencia de uso entorno a un 16% (Tillman et al, 2004). En la literatura revisada no queda claro con cuál de las dos técnicas se obtiene una mayor altura de salto. Saunder (1980) encontró que la batida con una pierna permite producir mayor

cantidad de velocidad vertical del CM al final de la batida, por tanto, una mayor altura de salto. Este posicionamiento es contrario a los hallazgos de trabajos posteriores como los de Selinger & Ackerman (1985), Vint & Hinrichs (1996), Huang et al. (1999), y Gutiérrez, Campos, & Navarro (2009). Vint & Hinrichs (1996) y Gutiérrez et al. (2009) no encontraron diferencias en la altura de vuelo en relación a la forma de salto (un pie vs dos pies). Por otro lado, Vint & Hinrichs (1996) identificaron diferentes estrategias para conseguir mayor elevación en función del tipo de batida realizada (apoyo simple o con apoyo doble). En la batida con una pierna indica que es posible incrementar la altura de batida del CM por elevación de la pierna libre (elevación de la posición relativa del CM). Con la batida con dos pies señala que se logra una mayor altura de salto (0,09 m en su estudio), debido a la relación que existe entre la tensión muscular del miembro inferior, la velocidad vertical al inicio de la batida, y la velocidad horizontal de carrera. Huang et al. (1999) encontraron diferencias a nivel cinemático y establecen que el remate con apoyo simple, en relación al apoyo doble, presenta mayor velocidad de aproximación, mayor velocidad del balón, menor altura de vuelo, y menor tiempo de ejecución del remate.

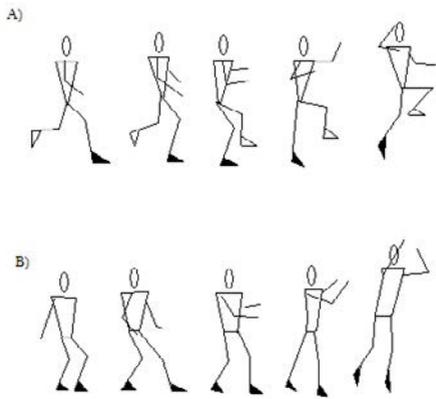


Figura 4. Ejemplo de batida con una pierna (a) y con dos piernas (b) utilizando un modelo segmentario para la reconstrucción del jugador (adaptado de Huang et al., 1999).

En relación a la batida con doble apoyo, existen dos formas de ejecución: a) con apoyo de pies alternativo (AA) y b) con apoyo de pies simultáneo (AS) (Coutts, 1982; Huang, Hu, Huang, Sheu, & Tsue, 2002). Coutts (1982) encontró que cuando se realiza una batida de pies alternativa, el tiempo de ejecución aumenta, mientras que el impulso de absorción o frenado disminuyen. En el estudio de Ciapponi et al., (1995) encontraron que las jugadoras de mayor nivel utilizaban la batida de apoyos alternativos, logrando mejor conversión de la velocidad horizontal en vertical con un tiempo de apoyo más largo que las jugadoras de menor nivel, que utilizaban la técnica de apoyo simultáneo. En esta misma línea, Huang et al. (2002) con una

muestra de hombres y mujeres, encontraron igualmente un tiempo de apoyo significativamente mayor en la batida alternativa respecto a la de apoyo simultáneo, y mayor altura de salto (AA: 46.6 ± 10.3 cm; AS: 46.1 ± 8.9 cm), aunque estas diferencias no fueron significativas. A nivel cinemático, Gutiérrez et al. (2009), con estudiantes participantes en ligas universitarias, también encuentran menor velocidad horizontal en el salto en la batida alternativa, aunque en este caso la altura de salto con dicha técnica fue inferior que al usar la batida simultánea.

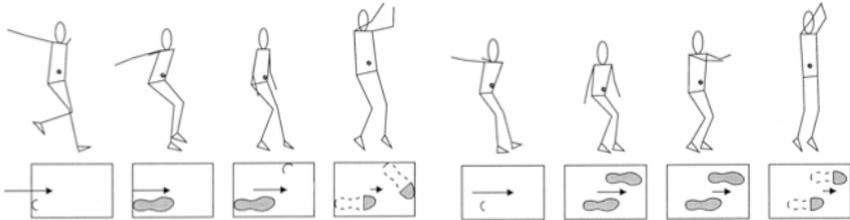


Figura 5. Ejemplo de batida con apoyo alternativo (izquierda) y apoyo simultáneo (derecha) en la ejecución del remate de voleibol (tomado de Ciapponi et al., 1995).

La zona del campo donde se realiza la batida condiciona la ejecución del gesto. Si el remate se realiza desde la zona zaguera del campo (línea de tres metros), el jugador a nivel mecánico tiene un menor ángulo de incidencia vertical sobre el campo contrario, tiene un rango más amplio para superar el bloqueo, y ofrece una referencia temporal más difícil juzgar por parte del bloqueador (momento en el cual realizar el salto) (adaptado de Huang et al., 1999). En el remate desde zona zaguera el segundo apoyo se realiza más separado del primer apoyo por lo que el jugador tiene mayor cantidad de velocidad horizontal, menor tiempo entre el final de la batida y el contacto con el balón, menor cantidad de tiempo en el armado, y mayor velocidad del CM del brazo dominante (Chen & Huang, 2008; Masumura, Marquez, Endo, & Ae, 2008). El remate zaguero es más empleado en categoría masculina que en categoría femenina (30-35% vs 15-18%), principalmente cuando el colocador está en zona delantera (Palao, Santos, & Ureña, 2004).

3. Vuelo

En la fase de vuelo del salto, se realiza el golpeo del balón (Figura 2). Se trata de un golpeo por encima de la cabeza en el que el objetivo es transferir la mayor cantidad de fuerza de la mano al balón (Fleisig, Barrentine, Escamilla, & Andrews, 1996; Meister, 2000) y enviar el balón al campo contrario y/o hacer que el adversario no pueda controlar la pelota. La fase de golpeo se subdivide a su vez en dos fases: a) fase de armado o preparatoria, y b) fase de golpeo o balanceo hacia delante (Chung, Choi, & Shin, 1990; Coleman et al., 1993; Huang, 1998; Liu et al., 2008; Maxwell, 1982; Prsala, 1982).

a) Fase de Preparación del golpeo (armado)

El armado del brazo como movimiento previo al golpeo se puede realizar de dos formas (Bowman, 2001; Coleman et al., 1993; Huang, 1998; Maxwell, 1982; Plawinski, 2008; Selinger & Ackerman, 1985): a) elevando el brazo (armado de arquero) y b) balanceando el brazo (armado circular). A nivel mecánico, el remate de arquero presenta mayor altura de salto (Bowman, 2001; Maxwell, 1982; Selinger & Ackerman, 1985), hay que tener en cuenta que la altura de golpeo se correlaciona de forma positiva con la altura de salto y también con la velocidad de salida del balón (Coleman et al., 1993; Forthomme et al., 2005). Esta técnica de armado, es la comúnmente más empleada por los jugadores de voleibol, posiblemente debido al hecho de que permite mayor altura de salto. Sin embargo, no se han encontrado diferencias significativas en relación a la velocidad salida del balón tras el golpeo empleando ambas técnicas (Coleman et al., 1993), aunque algunos autores consideran que el armado circular es más adecuado para ataques fuertes y para jugadores de los extremos de la red (Bowman, 2001; Maxwell, 1982; Selinger & Ackerman, 1985), además esta técnica presenta menor riesgo de lesión (Huang, 1998).

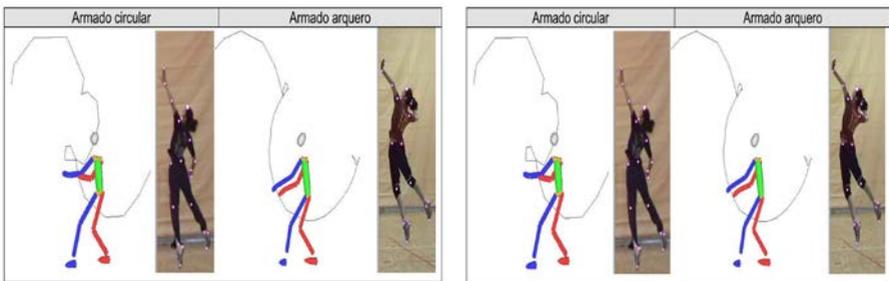


Figura 6. Trayectorias de la mano durante en la ejecución del remate de voleibol con armado arquero (izquierda) y armado circular (derecha) (Valadés, 2005).

b) Fase de golpeo

Tras la realización de la fase de armado, se inicia la fase de golpeo con la rotación del tronco, extensión de hombro-codo, y flexión de muñeca. Esta acción crea una cadena cinética que transfiere la energía generada desde los grandes músculos proximales a los músculos distales (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988). La acción que realiza el brazo en el remate es similar al movimiento que se produce en un látigo, desde la empuñadura hasta la punta. A medida que se aleja el segmento (tronco, brazo, antebrazo, y mano) se reduce el tiempo de contribución (tiempo desde que se inicia el movimiento hasta que se consigue la máxima velocidad angular) (Wedaman et al., 1988). El giro del tronco al final del movimiento favorece el incremento de la velocidad del balón (Masumura, Marquez, & Ae, 2009). Esta transferencia de energía mediante las acciones segmentarias encadenadas se denomina *cadena cinética secuencial*. El

éxito de esta cadena cinética en el golpeo depende de la capacidad de coordinación de todos los impulsos parciales, y se basa en el principio de conservación del momento cinético.

En la realización de la cadena cinética del golpeo, se produce una correlación entre la velocidad angular del hombro y del codo con: la velocidad de la mano (Chung et al., 1990) y la velocidad de salida del balón (Coleman et al., 1993; Reeser et al., 2010). A nivel muscular, hay correlación positiva entre la fuerza concéntrica que es capaz de generar el hombro-codo dominante y la velocidad del balón (Forthomme et al., 2005). Al realizar el movimiento del brazo de golpeo se produce una elevación del hombro de golpeo y descenso del otro hombro, con objeto de incrementar la altura de contacto (Tilp, Wagner, & Muller, 2008; Wagner et al., 2009). Durante la ejecución de la cadena cinética es importante la participación del ciclo estiramiento acortamiento que se produce entre la fase armado (estiramiento) y la fase de golpeo (acortamiento).

El objetivo de la fase de golpeo es provocar la mayor velocidad de salida del balón (Bowman, 2001), siendo este aspecto el mayor predictor del rendimiento del remate (Forthomme et al., 2005). Este objetivo se rige bajo la segunda ley de Newton, que determina que la aceleración de un objeto depende de la fuerza que actúa sobre el objeto y de la masa del objeto. Esto significa que la cantidad de fuerza que utilice el jugador para golpear el balón afectará a la rapidez de desplazamiento del balón. Si el jugador golpea el balón fuerte, este se desplazará rápido. Se puede calcular la fuerza del impulso a partir de la segunda ley de Newton ($F = \Delta m \cdot v / \Delta t$) (Shahbazi-Moghddam & Khanzadeh, 1998).

Cuando se produce el golpeo del balón durante la ejecución de un remate de voleibol, el brazo actúa como una palanca. La potencia se encuentra en la inserción del deltoides en la tuberosidad deltoidea, la resistencia está en el peso del miembro superior, y el punto de apoyo está en la articulación del hombro (articulación glenohumeral). Por tanto, se define como una palanca de tercer grado o palanca de potencia. La fuerza aplicada es mayor que la obtenida en el movimiento. Cuando se contrae el músculo se mueve una palanca muy grande (brazo, antebrazo, y mano) (Julián, Moreno, & Moreno, 2005).

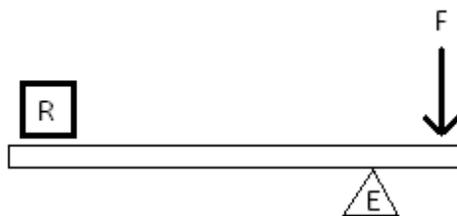


Figura 7. Representación esquemática y simplificada de una palanca de tercer género o palanca de potencia aplicada al remate de voleibol. Leyenda: F = fuerza; R = resistencia; E = eje de rotación.

Al golpear la pelota, el jugador busca que el balón adquiera una rotación hacia delante (Baudin, Gervais, & Wu, 2004). De esta forma, disminuyen la cantidad de desplazamiento horizontal en relación a un remate en la que pelota no lleva giro (cae antes al suelo). Este aspecto se produce como consecuencia de un fenómeno denominado efecto Magnus. Este efecto se produce en cuerpos de sección circular y que llevan movimientos de rotación en su desplazamiento. El efecto Magnus permite golpear el balón a mayor velocidad, desde una mayor altura por encima de la red, y con menores ángulos de salida (Howard, 1996), al acortarse la parábola que describe el balón. El efecto Magnus, se basa en el principio de Bernoulli (cuando la velocidad del aire se reduce, aumenta la presión y viceversa), y se produce por diferencias de presión en un objeto que se desplace por un flujo de aire (Blazevich, 2007). La rotación del balón sobre su propio eje hacia delante hace que en la parte superior se produzca un incremento de presión, ya que la rotación del balón se produce en la dirección opuesta a la que se mueve el aire sobre su superficie (Figura 8). En la parte inferior se produce menor presión, ya que la rotación se produce en la misma dirección a la que se mueve el aire sobre la superficie de la pelota. La diferencia de presión (Kao, Sellens, & Stevenson, 1994).

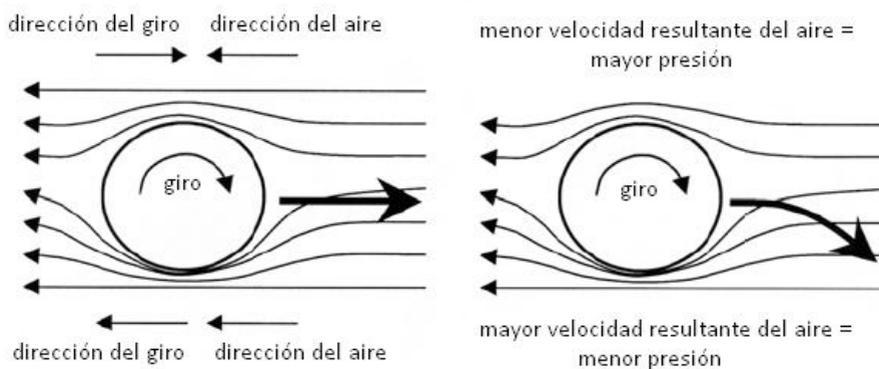


Figura 8. Representación del efecto Magnus que se produce en el balón de voleibol al ejecutar un remate visto desde una perspectiva lateral (modificado de Blazevich, 2007).

Para provocar que el balón gire hacia delante, el golpeo debe realizarse fuera del eje de rotación del balón, con la mano abierta y envolviendo la pelota. Esta acción puede realizarse de dos formas: a) golpeando primero con el talón de la mano y la palma de la mano en la parte media del balón y posteriormente los dedos envolviendo por encima la pelota (Howard, 1996), y b) realizando el contacto primero con los dedos por encima del balón y después con la palma de la mano en la parte media (Baudin et al., 2004). Los estudios encontrados en la bibliografía no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ambas formas de producir (velocidad angular del balón) (Baudin et al., 2004).

4. Caída

En la fase de caída se produce la absorción de la energía cinética generada durante el vuelo (Dufek & Zhang, 1996). Esta energía puede representar hasta cinco veces el peso del deportista (Adrian & Laughlin, 1983). Con el objeto de reducir la sobrecarga y evitar la aparición de lesiones, se recomienda: a) caer con los dos pies al mismo tiempo para mantener mejor el equilibrio y evitar las lesiones por elongación de ligamentos (Kovacs et al., 1997; Márquez, Masumura, & Ae, 2008) y b) amortiguar el impacto mediante una flexión de las articulaciones implicadas de tobillo, rodilla, y cadera (Tillman et al., 2004). Cuanto mayor es el nivel de los deportistas, mayor es la capacidad para disminuir las fuerzas de impacto que se generan sobre las articulaciones en la recepción del salto tras el remate (Cheng, Mao, Fong, & Hong, 2005). La caída del remate es el mecanismo de lesión más común en el voleibol (Briner & Kacmar, 1997).

Conclusiones

El presente trabajo describe la forma de ejecutar el remate en voleibol, revisando y explicando los principios mecánicos implicados en su ejecución. El modelo de ejecución descrito aquí busca aportar una base de referencia para analizar y evaluar la técnica empleada por los jugadores. Desde la comprensión teórica de la razón de los distintos movimientos, los entrenadores pueden realizar de forma más adecuada el análisis y la priorización de los aspectos a tratar en sus intervenciones o propuesta de trabajo con sus jugadores. El presente trabajo describe las fases de carrera de aproximación, batida, salto, golpeo, y caída, y aporta los criterios para su comprensión.

Referencias

- Abendroth-Smith, J., & Kras, J. (1999). More B-BOAT. The volleyball spike. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 70(3), 56-59.
- Adrian, M., & Laughlin, C. (1983). Magnitude of ground reaction forces while performing volleyball skills. En: *Biomechanics VIII-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 903-914.
- Alexander, M., & Seaborn, S. (1980). A kinesiological analysis of the spike in volleyball. *Volleyball Technical Journal*, 5(3), 65-69.
- Ashby, B., & Heegaard, J. (2002). Role of arm motion in the standing long jump. *Journal of Biomechanics*, 35(12), 1631-1637.

- Baudin, J., Gervais, P., & Wu, T. (2004). An examination of the biomechanical factors that produce spin on a volleyball in the skill of spiking. *Proceedings of: XX Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Ottawa: Canada, pp. 134.
- Blazevich, A. (2007). *Sports Biomechanics. The basics: optimizing human performance*. London: A&C Black Publishers, pp. 177-182.
- Bobbert, M. F., & Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249-262.
- Bobbert, M., Gerritsen, K., Litjens, M., & Van Soest, A. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11), 1402-1412.
- Bowman, J. A. (2001). *Effect of two volleyball arm swings on post-impact ball velocity*. Doctoral Thesis. State University of New York. New York: USA.
- Briner, W., & Kacmar, L. (1997) Common injuries in volleyball: Mechanisms of injury, prevention and rehabilitation. *Sports Medicine*, 24(1), 65-71.
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 21-32.
- Chen, P., Huang, C., & Shih, S. (2011). Differences in 3D kinematics between genders during volleyball spike. *Proceedings of the Congress of the International Society of Biomechanics*. Bruselas: Bélgica.
- Chen, Y., & Huang, C. (2008). Kinematical analysis of female volleyball spike. *Proceedings of: XXVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Seoul: Korea, pp. 617-620.
- Cheng, E. Y., Mao, D., Fong, D. T., & Hong, Y. (2005). Comparison of landing maneuvers between skillfull and unskillfull female volleyball players. *Proceedings of: XXIII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Beijing: China, pp. 696-698.
- Chung, C., Choi, K., & Shin, I. (1990). Three dimensional kinematics of the striking arm during the volleyball spike. *Korean Journal of Sports Sciences*, 2, 124-151.
- Ciapponi, T., McLaughlin, E., & Hudson, J. L. (1995). The volleyball approach: an exploration of balance. *Proceedings of: XIII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Thunder Bay: Canada, pp. 282-285.

- Cisar, C. J., & Corbelli, J. (1989). The volleyball spike: a kinesiological and physiological analysis with recommendations for skill development and conditioning programs. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 11(1), 4-8.
- Coleman, S., Benham, A., & Northcott, S. (1993). A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike. *Journal of Sports Sciences*, 11(4), 295-302.
- Cook, G., Burton, L., Kiesel, K., Rose, G., & Bryant, M. F. (2010). *Movement: Functional Movement Systems: Screening, Assessment, Corrective Strategies*: On Target Publications.
- Coutts, K. (1982). Kinetic differences of two volleyball jumping techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(1), 57-59.
- Dapena, J., & Chung, C. S. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(3), 290-302.
- Devita, P., & Skelly, W. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 108-115.
- Dufek, J., & Zhang, S. (1996) Landing models for volleyball players: A longitudinal evaluation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36(1), 35-42.
- Dusault, C. (1986). A backward shaping progression of the volleyball spike approach and jump. *Volleyball Technical Journal*, 8(2), 33-41.
- Enoka, R. M. (1971). The effects of different lengths of run-up on the height to which a spiker in volleyball can reach. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 4(3), 5-15.
- Feltner, M. E. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly Exercise and Sport*, 75(3), 216-30.
- Fleisig, G., Barrentine, S., Escamilla, R., & Andrews, J. (1996). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine*, 21(6), 421-437.
- Forthomme, B., Croisier, J. L., Ciccarone, G., Crielaard, J. M., & Cloes, M. (2005). Factors correlated with volleyball spike velocity. *American Journal of Sport Medicine*, 33(10), 1513-1519.

- Guo, R., & Li, Y. (2000). Kinematic analysis of spiking in elite volleyball players during competition. *Proceedings of: XVIII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Hong Kong: China.
- Gutiérrez, M., Campos, J., & Navarro, E. (2009). A comparison of two landing styles in a two-foot vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 325-331.
- Gutiérrez, M., Santos, J., & Soto, V. (1992). *Análisis biomecánico del remate en voleibol*. Madrid: Federación Española de Voleibol.
- Gutiérrez, M., Ureña, A., & Soto, V. (1994). Biomechanical analysis of the volleyball. *Journal of Human Movement Studies*, 26, 35-49.
- Haley, M. (1992). Remate. En Bertucci, B (Ed). *Guía de Voleibol de la Asociación de Entrenadores Americanos de voleibol*. Barcelona: Paidotribo (pp. 101-111).
- Harris, M. (2012). *The relationships between fundamental movement patterns, spike jump technique, and overuse pain in collegiate volleyball player*. Doctoral Thesis. Faculty of Graduate Studies, Experimental Medicine. University of British Columbia. Vancouver: Canada.
- Hernández, L. (1992). *La técnica*. En COE (Ed). *Voleibol* (pp. 59-132). Madrid: COE.
- Howard, R. E. (1996). *An understanding of the fundamental techniques of volleyball*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Hsieh, C., Cascarina, S., & Pingatore, J. (2010). Kinetic effect of a four-step and step-close approach in a volleyball spike jump for female athletes. *Proceedings of: XXVIII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Marquette, MI: USA.
- Huang, C., Liu, G., & Sheu, T. (1999). Kinematic analysis of the volleyball back row jump spike. *Proceedings of: XVII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Perth: Australia, pp. 49-52.
- Huang, E. (1998). A study of two kinds of arm-swinging motion in the front spike of Chinese women's volleyball team players. *Proceedings of: XVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Konstanz: Alemania.
- Huang, K., Hu, L., Huang, C., Sheu, T., & Tsue, C. (2002). Kinetic and kinematic differences of two volleyball-spiking jumps. *Proceedings of: XX Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Cáceres: España, pp. 148-151.

- Hughes, M., & Bartlett, R. (2002). The use of performance indicators in performance analysis. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 739-754.
- Julián, J. A., Moreno, A., & Moreno, P. (2005). Estudio de la relación entre la eficacia de las acciones de primer contacto y la eficacia del ataque en voleibol masculino de alto nivel. *Kronos*, 8, 57-61.
- Kao, S. S., Sellens, R. W., & Stevenson, J. M. (1994). A Mathematical Model for the Trajectory of a Spike Volleyball and its Coaching Application. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(2), 95-109.
- Khayambashi, K. (1986). Effects of approaches and takeoffs on the vertical jump in volleyball. *Snipes Journal*, 9, 1-7.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stores elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*, 10(4), 261-265.
- Kovacs, I., Tihanyi, J., DeVita, P., Racz, L., Barrier, J., & Hortobagyi, T. (1997). Foot placement modifies kinematics and kinetics during drop jumping. *Medicine and Science In Sports and Excercise*, 31(5), 708-716.
- Kovalev, V. D. (1978). Loading-the key to jumping in volleyball. *Soviet Sports Review*, 16(2) (Michael Yessis, publisher).
- Kuhlmann, C. H., Roemer, K., & Milani, T. L. (2009). Elite outside hitters in volleyball do not meet their individual possible maximum impact height in spike jumps. *Proceedings of: XXVII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Limerick: Irlanda.
- Kuhlmann, C. H., Roemer, K., & Milani, T. L. (2011). Lowering velocity of the center of mass during the approach affects jump height in volleyball spike jumps. *Proceedings of: XXIX Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Oporto: Portugal, pp. 101-104.
- Kuhlmann, C., Roemer, K., & Milani, T. L. (2007). Aspects of a three dimensional motion analysis of the volleyball spike in high level competition. *Proceedings of: XXV Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Ouro Preto: Brasil, pp. 47-50.
- Liu, G. C., Huang, G. C., & Huang, C. (2001). Effects of different approach lengths of the last stride on volleyballer run up vertical jumps. *Proceedings of Oral Sessions: XIX*

International Symposium on Biomechanics in Sports. San Francisco, CA: University of San Francisco.

- Liu, L., Liu, G., Sue, C., & Huang, C. (2008). The application of range of motion (ROM) and coordination on volleyball spike. *Proceedings of: XXVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Seoul: Korea, pp. 690-693.
- Lucas, J. (2000). *Recepción, colocación y ataque en voleibol*. Barcelona: Paidotribo.
- Márquez, W. Q., Masumura, M., & Ae, M. (2008). A pilot study on how world-class male volleyball players land after a spike. *Proceedings of: XXVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Seoul: Korea, pp. 664.
- Masumura, M., Marquez, W. Q., & Ae, M. (2009). Front and pipe spikes in female elite volleyball players: implications for the improvement of pipe spike techniques. *Proceedings of: XXVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Limerick: Irlanda.
- Masumura, M., Marquez, W. Q., Endo, T., & Ae, M. (2008). A biomechanical analysis of pipe spike motion for elite male volleyball players in official games. *Proceedings of: XXVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Seoul: Korea, pp. 723-726.
- Maxwell, T. (1982). A cinematographic analysis of the volleyball spike of selected top-calibre female athletes. *Volleyball Technical Journal*, 7(1), 43-54.
- Meister, K. (2000). Injuries to the shoulder in the throwing athlete. Part one. *American Journal of Sports Medicine*, 28(2), 265-275.
- Neal, R. J., & Sydney-Smith, M. (1992). The effects of footfall pattern and passing height on ground reaction forces in netball. *The Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(3), 73-78.
- Palao, J. M., Santos, J. A., & Ureña, A. (2004). Effect of team level on skill performance in volleyball. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 4(2), 50-60.
- Plawinski, M. P. (2008). *An analysis of the different spike attack arm swings used in elite levels of men's volleyball*. Tesis doctoral. School of Kinesiology and Health Studies. Queen's University. Kingston, Ontario: Canada.

- Prsala, J. (1982). Improving your spiking in volleyball. *Volleyball Technical Journal*, 7(2), 57-64.
- Reeser, J., Fleisig, G., Bolt, B., & Ruan, M. (2010). Upper Limb Biomechanics During the Volleyball Serve and Spike. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 2(5), 368-374.
- Ridway, M. E. (1991). Spiking technique of elite and recreational female volleyball players. *Proceedings of: IX Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Ames, Iowa: USA, pp. 35-38.
- Saunders, H. (1980). *A cinematographical study of the relationship between speed of movement*. Doctoral Thesis. Texas A&M University: College Stations.
- Selinger, A., & Ackerman, J. (1985). *Arie Selinger's power volleyball*. New York: St Martin Press.
- Shahbazi, M. M., & Khanzadeh, S. (1998). A Simple mathematical model for estimating force and torque to the wrist, elbow and shoulder in serving, spiking and blocking in volleyball. *Proceedings of: XVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Konstanz: Alemania.
- Shahbazi, M. M., & Mirabedi, A. (2008). Correlations between jump height and velocity components of different approach strides in power spiking. *Proceedings of: XXVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Seoul: Korea, pp. 600-602.
- Shahbazi, M. M., Mirabedi, A., & Gaeini, A. A. (2007). The volleyball approach: an exploration of run-up last stride length with jump height and deviation in landing. *Proceedings of: XXV Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Ouro Preto: Brasil, pp. 574-577.
- Stienen, G., Blange, T., & Schneer, M. (1978). Tension response of frog sartorius muscle to quick ramp-shaped shortenings and some effects of metabolic inhibition. *European Journal of Physiology*, 376(2), 97-104.
- Tillman, M., Hass, C., Brunt, D., & Bennett, G. (2004). Jumping and landing techniques in elite women's volleyball. *Journal of Sport Science and Medicine*, 3(1), 30-36.
- Tilp, M., Wagner, H., & Muller, E. (2008). Differences in 3D kinematics between volleyball and beach volleyball spike movements. *Sports Biomechanics*, 7(3), 386-397.

- Valadés, D. (2005). *Efecto de un entrenamiento del tren superior, basado en el ciclo estiramiento-acortamiento sobre la velocidad del balón en el remate de voleibol*. Tesis Univ. Granada. Accesible en: <http://hdl.handle.net/10481/583>.
- Valadés, D., Palao, J. M., Femia, P., Padial, P., & Ureña, A. (2004). Análisis de la técnica básica del remate de voleibol. *Rendimientodeportivo.com*, nº 8.
- Vint, P., & Hinrichs, R. (1996). Differences between one-foot and two-foot vertical jump performances. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(3), 338-358.
- Vint, P., & Hinrichs, R. (2004a). Deterministic Factors of Overall Ball Contact Height During High-Outside Front Row Volleyball Attacks. *Proceedings of: XXII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Ottawa: Canada, pp. 139-142.
- Vint, P., & Hinrichs, R. (2004b). Factors related to the development of ball speed and to the incidence of one-legged landings in the front-row volleyball attack. *Proceedings of: XXII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Ottawa: Canada, pp. 135-138.
- Wagner, H., Tilp, M., Von Duvillard, S. P., & Mueller, E. (2009). Kinematic analysis of volleyball spike jump. *International Journal of Sports Medicine*, 30(10), 760-765.
- Wedaman, R., Tant, C., & Wilkerson, J. (1988). Segmental coordination and temporal structure of the volleyball spike. *Proceedings of: VI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Bozeman, Montana: USA, pp. 577-586.
- Zhang, R., (2000). How to profit by the new rules. *The Coach*, 1, 9-11.