

Monograph

Análisis Cinemático del Lanzamiento en el Line-Out en el Rugby Unión de Categoría Internacional de Elite

Mark G Sayers

School of Health and Sports Science University of the Sunshine Coast, Australia.

RESUMEN

El *line-out* del rugby de unión es un aspecto clave del juego e implica que los jugadores de ambos equipos se disputen el balón luego de que el mismo haya sido lanzado desde la línea de banda. Los *line-outs* acertados requieren que el balón sea arrojado de manera precisa a las manos de un compañero del equipo que esté saltando y/o elevado (aproximadamente 3-3.5 m del suelo) a distancias de entre 5-18 m. La investigación previa ha sugerido considerables diferencias inter- e intra-individuo en las técnicas de lanzamiento de los jugadores de nivel internacional. En consecuencia, este proyecto ha investigado las interrelaciones entre la precisión y las características del saque de banda de tres jugadores de rugby de la elite internacional, y luego ha analizado si las mismas cambiaban para los lanzamientos de mayor longitud. Se desarrollaron datos tridimensionales (3D) a partir de secuencias de video (50 Hz) de tres jugadores de nivel internacional de elite para 30 lanzamientos en tres distancias (6 m, 10 m y 15 m). Los resultados mostraron diferencias notables entre los sujetos en muchas variables en cada una de las fases claves del lanzamiento. Sin embargo, diferentes variables tales como el grado de flexión del tronco al final del *backswing* y en el lanzamiento del balón, junto con el ángulo de flexión del codo en el lanzamiento del balón permanecieron constantes cuando la longitud del mismo aumentaba. Todos los participantes exhibieron altos niveles de consistencia en los patrones de movimiento en todas las distancias de lanzamiento. Los hallazgos indicaron que estos lanzadores de *line-out*, de alto rendimiento, compartieron varias características comunes que proporcionarán guías útiles para el desarrollo de programas de entrenamiento.

Palabras Clave: biomecánica, análisis del movimiento, rugby de unión, lanzamiento

INTRODUCCIÓN

En el rugby de unión (rugby) el *line-out* es un aspecto de juego único del deporte. Se produce cuando el balón es lanzado de vuelta al campo de juego luego de que éste haya cruzado la línea lateral. Aunque las reglas de juego de la Federación Internacional de Rugby (IRB) permiten numerosas variantes, una formación de *line-out* estándar incluye al menos dos jugadores de ambos equipos parados en dos líneas perpendiculares a la línea lateral, a 2 m del primer jugador y 5 m de la línea lateral. Luego, un solo jugador lanza el balón por el espacio entre las dos filas. La acción del saque de banda adoptada por la mayoría de los jugadores es un lanzamiento con las dos manos por encima de la cabeza arrojando el balón sobre su eje longitudinal durante el trayecto (a diferencia del fútbol, las reglas del rugby no regulan la técnica del lanzamiento). Un lanzamiento se considera *legal* cuando el balón recorre un mínimo de 5 m y es lanzado en forma imparcial (IRB, 2010).

La necesidad de lanzar el balón al medio durante el *line-out* ha dado como resultado que los equipos utilicen una variedad

de técnicas y tácticas para superar al rival y ganar la posesión del balón. Uno de los métodos más comunes implica que uno o dos jugadores (levantadores) sujeten a un saltador por los muslos y lo eleven bien alto para interceptar el balón. Esto ha dado como resultado que la mayoría de los saques laterales sean atrapados aproximadamente a 3-3.5 m del suelo, aunque esta altura varía en relación a la altura del saltador y la estatura y la habilidad de los levantadores. Los lanzamientos hacia el frente del *line-out* recorren en general de 5 a 7 m, mientras que los lanzamientos hacia el fondo recorren aproximadamente de 15 a 18 m.

En el rugby de nivel internacional existen aproximadamente 34 *line-outs* por juego, aunque la cantidad exacta varía de manera considerable entre los partidos (IRB, 2007). A pesar de la importancia del *line-out* en el rugby de unión, los análisis biomecánicos del mismo se han reportado con poca frecuencia. De hecho, solo en el último tiempo se han presentado análisis de la biomecánica del lanzamiento en el *line-out* en la literatura científica (Griffiths y Hughes, 2005; Sayers, 2005; Trewartha et al., 2008). El primer proyecto publicado que reportó la cinemática del lanzamiento en el *line-out* incluyó seis jugadores de nivel internacional que lanzaron hacia el frente, al medio y al fondo del *line-out* (Sayers, 2005). Además de identificar numerosas diferencias visuales en las técnicas de lanzamiento de estos jugadores, este investigador destacó la importancia de incrementar la inclusión del miembro inferior cuando se lanza a una distancia mayor. Sin embargo, este artículo no incluyó una medición de la precisión del lanzamiento en el análisis, haciendo que sea difícil sacar conclusiones sobre la efectividad del lanzamiento.

En un estudio posterior, Trewartha et al. (2008) intentaron abordar esta cuestión incluyendo una simple medición de la precisión del lanzamiento en un minucioso análisis cinemático de tres jugadores de diferentes habilidades (de club, internacional junior e internacional senior). Un hallazgo clave de esta investigación incluyó el alto nivel de consistencia en diferentes variables espacio-temporales para el competidor internacional senior. Estos investigadores sugirieron que los patrones consistentes del movimiento del miembro superior (tanto en el ritmo como en el rango de movimiento), en especial en el hombro y el codo, fueron elementos claves para mejorar la precisión de la acción del lanzamiento. La utilización de un solo competidor de nivel internacional por parte de estos investigadores representó una clara limitación de este proyecto, pues se cuestiona si estos datos pueden aplicarse en todos los lanzadores de *line-out* de alto rendimiento.

La medición de la precisión del lanzamiento que utilizaron Trewartha et al. (2008) se calculó mediante el registro de la distancia del balón desde el objetivo, una marca en el tablero de baloncesto. Aunque este es un método aceptado para evaluar la precisión en los deportes tradicionales con objetivos (e.g. arquería, tiro), no es un método funcional para el lanzamiento en el *line-out*, pues le otorga igual importancia a la precisión sin tener en cuenta la posición relativa hacia el objetivo. Por ejemplo, los lanzamientos no pueden atraparse si solo van ligeramente más elevados que las manos del saltador, mientras que los lanzamientos que son a 0,4 m demasiado bajos tienen la posibilidad de ser interceptados por el rival. Claramente se requiere una medición más funcional de la precisión del lanzamiento del *line-out* que tenga en cuenta los requerimientos específicos del deporte e incluyan un saltador y levantadores.

Por consiguiente, el objetivo de este proyecto ha sido determinar qué posiciones y movimientos corporales constituyen los elementos claves de la acción de lanzamiento en el *line-out* en un grupo de jugadores internacionales. Para abordar esta cuestión el presente estudio analizó en primer lugar si los lanzadores del *line-out* compartían alguna similitud en la técnica de lanzamiento durante una tarea específica de precisión. Luego, los análisis se enfocaron en determinar si la precisión del lanzamiento y la técnica estaban influenciadas por el lanzamiento hacia el frente, el medio o atrás del *line-out*.

MÉTODOS

Los participantes fueron tres jugadores de nivel internacional de alto perfil de un equipo de rugby clasificado a nivel mundial por la IRB (primeros 2) (edad = 26.3 ± 2.9 años, masa corporal = 103.3 ± 5.0 kg, altura = 1.82 ± 0.07 m, mano lanzadora = derecha). Cada participante tenía 10, 52 y 33 participaciones internacionales respectivamente en el momento de la prueba. Los protocolos de prueba requirieron que los sujetos realizaran 30 lanzamientos (5 series de 6 lanzamientos) hacia un saltador sostenido por dos levantadores a tres distancias marcadas (6m □ Frente, 10 m □ Medio, 15 m □ Atrás) con orden aleatorio entre y dentro de las pruebas. No hubo saltadores rivales para ninguna de las pruebas. Los participantes realizaron una entrada en calor tradicional (e.g. trote liviano y ejercicios de movilidad de la parte superior del cuerpo) y varios minutos de ejercicios de práctica antes de comenzar la adquisición de los datos.



Figura 1. Imagen de ejemplo (cuadro de video digital único) que muestra a un saltador de saque de banda atrapando un balón con el sistema de resultados de la precisión incluido como superposición.

La precisión del lanzamiento se cuantificó al completar la prueba utilizando una escala de cinco puntos: (1) el balón no fue atrapado, o hubiera requerido que el saltador moviera las manos en el equivalente de 4 diámetros del balón; (2) El saltador atrapó el balón teniendo que mover las manos en el equivalente de 3 diámetros del balón; (3) El saltador atrapó el balón teniendo que mover las manos en el equivalente de 2 diámetros del balón; (4) El saltador atrapó el balón teniendo que mover las manos en el equivalente de 1 diámetro del balón; y (5) El saltador atrapó el balón sin tener que mover las manos. Para mejorar la confiabilidad de este sistema se crearon imágenes a partir de cuadros de video individuales de cada atrapada del balón. Luego, se superpuso un objetivo similar a un *blanco de tiro* por encima de las manos del saltador utilizando un programa de edición de fotos estándar (Figura 1). El objetivo de tiro al blanco se distorsionó para hacer que los resultados de la precisión fueran más funcionales, pues el lanzador no atrapó los lanzamientos que solo fueron de un diámetro de balón demasiado alto.

Datos Cinemáticos

Antes de la prueba, se marcaron veintidós puntos de referencia en el cuerpo con una cinta reflectante a fin de crear un modelo del cuerpo simple de 14 segmentos. Las ubicaciones de los puntos de referencia se limitaron a los extremos proximales y distales de los miembros, con marcadores adicionales sujetos a la pelvis, la cabeza y la columna vertebral. Los sitios específicos en los miembros izquierdos y derechos fueron los extremos distales del calzado adyacentes al 1^{er} y el 5^{to} metatarso, el maléolo lateral, el epicóndilo femoral lateral, los trocánteres mayores, los márgenes laterales de los procesos del acromion, el epicóndilo humeral lateral y los procesos estiloides del radio. Los sitios adicionales fueron las dos espinas iliacas antero-superiores, los procesos espinosos de la 7^{ma} vértebra cervical (C7) y la 2^{da} sacra (S2), y la base y el ápice del cráneo. Se sujetaron dos puntos de referencia en cada extremo del balón a lo largo de su eje longitudinal. Se creó un modelo de la pelvis en base a los marcadores ubicados en las espinas iliacas antero-superiores, la S2 y los trocánteres mayores. Se modeló la columna vertebral desde los marcadores de la C7 y la S2, junto con los de los procesos del acromion. El modelado simple de terminales de los miembros superiores e inferiores limitó la descripción y estos segmentos a 4 grados de libertad.

Los datos se recopilaron utilizando tres videocámaras digitales JVC (GR-DV900) que operaron a 50 Hz. Una cámara estaba situada directamente detrás de los lanzadores, mientras que las otras dos cámaras se encontraban aproximadamente a 8 m

delante del lanzador y a 5 metros de cada lado de la trayectoria del lanzamiento. Cada cámara se sincronizó desde el punto del lanzamiento del balón. Después de la captura de datos, se digitalizaron todos los puntos de referencia utilizando el programa de análisis de movimiento APAS (Ariel Dynamics Inc. EUA) para cada cuadro desde el comienzo de la acción del lanzamiento hasta arrojar el balón. A fin de tener en cuenta los potenciales errores de las terminales, se digitalizaron 10 cuadros adicionales a cada lado de la acción del lanzamiento, borrando estos datos después del proceso de emparejamiento. Se ha demostrado que el programa APAS desarrolla datos cinemáticos lineales y angulares precisos y confiables (Klein y DeHaven, 1995; Wilson et al., 1997). Los datos tridimensionales transformados se emparejaron utilizando un filtro digital de paso bajo Butterworth de 7 Hz. Luego, se estableció un sistema global coordinado con su origen en la línea de banda, el eje Y en la dirección del recorrido del balón, el eje X a la derecha y el eje Z orientado de manera vertical.

La orientación de la pelvis y el tronco se registró con inclinación anterior, inclinación lateral y rotaciones axiales, definidas utilizando los cálculos angulares de Euler como rotaciones angulares alrededor de los ejes X, Y y Z del sistema global coordinado. Los análisis del desplazamiento angular y los datos de la velocidad para los miembros superiores e inferiores se limitaron a los movimientos en flexión/extensión (alrededor del eje X) y abducción/aducción (alrededor del eje Y). La flexión y la aducción se definieron como rotaciones positivas del segmento distal alrededor de los ejes X e Y del segmento proximal respectivamente. El desplazamiento lineal y los datos de velocidad para el centro de la masa (CoM) se calcularon en relación con los tres planos de movimiento (CoM_x , CoM_y , CoM_z) en cada una de las fases claves del lanzamiento. La velocidad resultante del lanzamiento del balón se calculó como la resolución del vector de dos cuadros antes y después del lanzamiento del balón.

El lanzamiento se dividió en dos fases: *backswing* y lanzamiento hacia adelante. El comienzo del *backswing* se definió como el que se produce al inicio del movimiento hacia atrás del balón desde la posición de preparado del lanzador, terminando la fase cuando el balón deja de moverse hacia atrás ($0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en dirección a Y). El lanzamiento hacia adelante comenzaba al finalizar el *backswing* y continuaba hasta arrojar el balón. En cada evento se identificaron los datos cinemáticos lineales y angulares y para cada fase se calcularon los datos de velocidad máxima y mínima lineal y angular. Para los propósitos de esta investigación los datos posteriores al lanzamiento del balón no se han analizado.

Análisis Estadísticos

La estadística descriptiva para cada variable cinemática se calculó utilizando procedimientos estándar. Las desviaciones estándar (DE) para cada lanzamiento se utilizaron como una medición de la consistencia del movimiento y se normalizaron por medio de una transformación de registros previa al análisis. Se utilizó el tamaño del efecto (ES) (nivel de confianza del 95%) para determinar las diferencias entre los lanzadores y las distancias de lanzamiento, pues los tamaños de muestra relativamente pequeños impidieron la utilización de las herramientas estadísticas comparativas estándar (Cohen, 1988). Los descriptores de la magnitud de las diferencias del ES se basaron en los que sugirió Hopkins (2002). Las múltiples comparaciones utilizadas en este análisis significaron que el análisis se limitó a aquellas variables que reportaron grandes diferencias de ES.

RESULTADOS

Precisión del Lanzamiento y Cinemática del Balón

Los resultados mostraron que el Lanzador 3 (T3) fue el lanzador más preciso después del Lanzador 2 (T2), luego el Lanzador 1 (T1). Los análisis del ES indicaron que los resultados de la precisión no difirieron notoriamente entre las distancias del lanzamiento ($ES < 0.2$). Los análisis de los datos de precisión de DE mostraron que el T3 también fue el lanzador más consistente y el T1 fue el menos consistente. A pesar de todo, los resultados promedio de la precisión para cada sujeto indicaron que podían lanzar el balón dentro del diámetro de dos balones del objetivo sin tomar en consideración la distancia del lanzamiento.

Las velocidades del lanzamiento del balón no solo difirieron de manera considerable por el participante ($ES > 1.2$) sino también por la longitud del lanzamiento ($ES > 3.0$). Los lanzamientos hacia el frente del saque de banda tuvieron velocidades de lanzamiento más lentas ($8.31 \pm 0.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) que las registradas para los lanzamientos hacia el medio ($9.31 \pm 0.59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), que una vez más fue más lenta que los lanzamientos hacia atrás del saque de banda ($10.36 \pm 0.66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Asimismo, el análisis mostró diferencias en la posición lateral y vertical del balón (en relación con el CoM) al final del *backswing* entre los lanzadores ($ES > 2.7$). Todos los jugadores mostraron altos niveles de consistencia con esta variable, con los valores de DE que variaron de 0.01 m a 0.03 m para los lanzadores más y menos precisos respectivamente.

Cinemática del Brazo Lanzador

Los resultados mostraron marcadas diferencias entre los lanzadores en la manera en que orientaron los segmentos del brazo tanto al final de la fase del *backswing* como en el lanzamiento del balón (Tabla 1). Notoriamente, los ángulos de flexión del hombro y el codo variaron de manera significativa entre los lanzadores en ambas posiciones, pero no cambiaron de manera significativa en el lanzamiento del balón para los lanzamientos de mayor longitud. Por el contrario, se hallaron diferencias significativas en la orientación del hombro en estas posiciones de lanzamiento entre los lanzadores y la longitud del lanzamiento. Sin importar la orientación del brazo en cada una de las posiciones claves del lanzamiento, los lanzadores demostraron altos niveles de consistencia del movimiento. Por ejemplo, los ángulos de flexión del hombro al final del *backswing* fueron de 154 grados (± 2) para el T1 y de 143 grados (± 3) y 148 grados (± 5) para el T2 y el T3 respectivamente. De manera similar, a pesar de las diferencias en los ángulos medios del codo entre los lanzadores, la DE en los ángulos del codo en el final del *backswing* y en el lanzamiento del balón varió entre los participantes por solo 1 a 6 grados.

El análisis de las velocidades angulares máximas durante la fase de lanzamiento hacia adelante también mostró claras diferencias entre los participantes para todas las variables del brazo (Tabla 2). Las diferencias en la cinemática del lanzamiento entre los participantes también son representativas de los datos de la velocidad angular máxima durante el lanzamiento hacia adelante (Tabla 2). La Figura 2 presenta las velocidades de extensión máxima del codo durante el lanzamiento hacia adelante para todos los lanzadores en todas las distancias, y muestra que el T3 en general extendió su articulación más lentamente durante el lanzamiento hacia adelante que los otros dos participantes. El análisis por medio de la distancia de lanzamiento reveló que las velocidades de extensión del codo en general disminuyeron para los lanzamientos más largos. Por el contrario, las velocidades de extensión del hombro fueron mayores para los lanzamientos hacia atrás del *line-out* en comparación con aquellos hacia el frente.

Variable	Comparación por Lanzador			Comparación por Longitud		
	T1-T2	T1-T3	T2-T3	Frente-Medio	Frente-Atrás	Medio-Atrás
Al Final del Backswing						
Ángulo de rotación de la pelvis					L	
Ángulo de flexión del tronco		VL				
Rotación de la parte superior del tronco		VL		VL	VL	L
Ángulo de flexión del hombro	VL	VL		-L	-VL	-L
Ángulo de abducción del hombro	VL	VL	-L			
Ángulo de flexión del codo	-VL	-VL	VL	-L	-VL	-L
En el Lanzamiento del Balón						
Ángulo de rotación de la pelvis	-L	-VL	-L			
Ángulo de flexión del tronco		VL	VL			
Rotación de la parte superior del tronco		VL	VL			
Ángulo de flexión del hombro	VL	VL	VL	-VL	-VL	
Ángulo de abducción del hombro	L	L	L	-L		
Ángulo de flexión del codo	L	VL	VL			

Tabla 1. Resumen de los resultados del análisis del Tamaño del Efecto (ES) para los datos cinemáticos angulares seleccionados al final del *backswing* y en el lanzamiento del balón. Los datos se resumieron para enumerar solo las comparaciones que registraron un ES grande o muy grande (Hopkins 2002), dejando en blanco las que registraron un ES insignificante, pequeño o mediano. L = grande, VL = muy grande. * Los valores negativos indican que el primer grupo es más pequeño que el segundo (e.g. los valores para el T2 son

más pequeños que para el T3).

Variable	Comparación por Lanzador			Comparación por Longitud		
	T1-T2	T1-T3	T2-T3	Frente-Medio	Frente-Atrás	Medio-Atrás
Velocidades Lineales						
CoM _x						
CoM _y	VL		-VL*	-VL	-VL	-VL
CoM _z	L	VL	VL		-L	
Velocidades Angulares	-VL					
Flexión plantar del tobillo	VL	-VL			-VL	-VL
Extensión de la rodilla		VL			-VL	-VL
Extensión de la cadera				-VL	-VL	-L
Rotación de la pelvis	-L	VL	VL	L		
Flexión del tronco		VL				
Rotación de la parte superior del tronco						
Extensión del hombro	-VL		VL		-L	
Aducción del hombro	-L		L			
Extensión del codo	VL	VL	VL	-VL	-L	

Tabla 2. Resumen de los resultados del análisis del Tamaño del Efecto (ES) para los datos cinemáticos lineales y angulares máximos durante la fase de lanzamiento hacia adelante. Los datos se resumieron para enumerar solo las comparaciones que registraron un ES grande o muy grande (Hopkins 2002), dejando en blanco las que registraron un valor de ES insignificante, pequeño o mediano. L = grande, VL = muy grande. * Los valores negativos indican que el primer grupo es más pequeño que el segundo (e.g. los valores para el T2 son pequeños que para el T3).

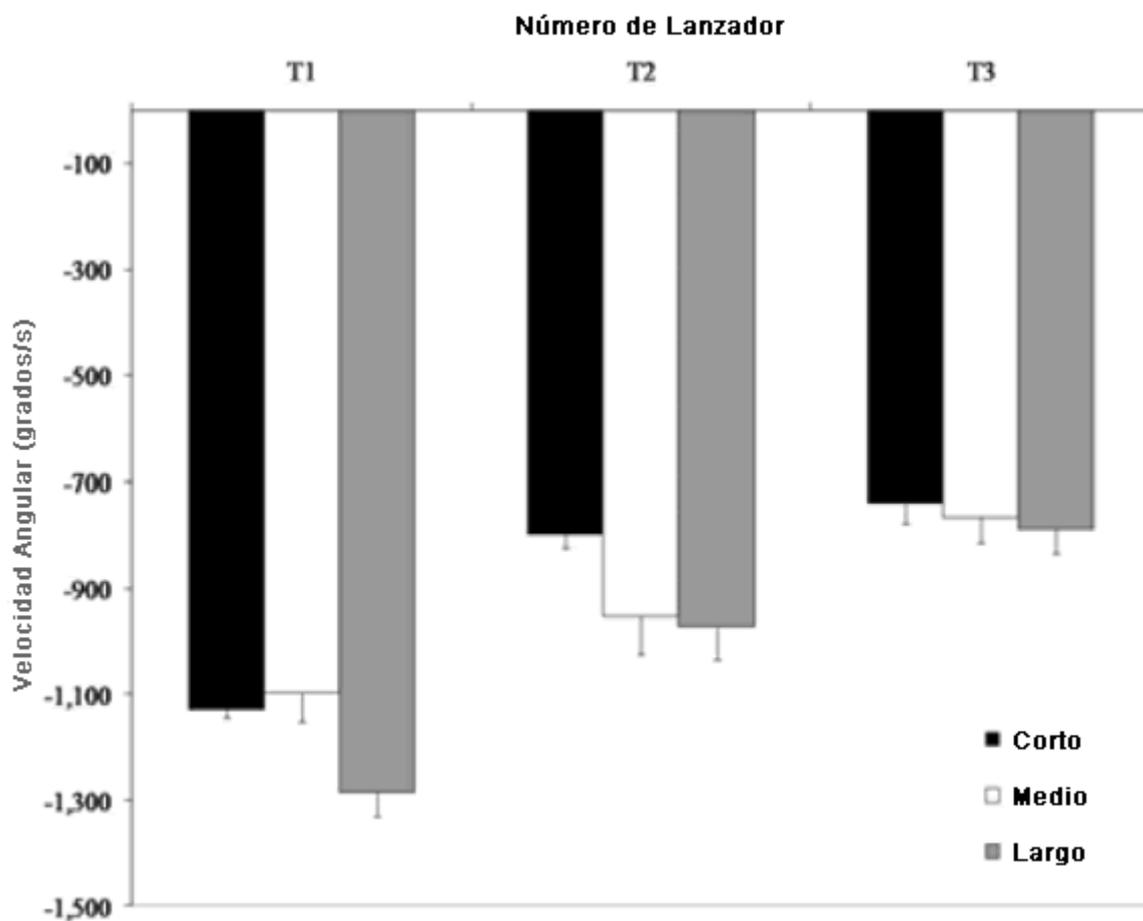


Figura 2. Velocidades medias de extensión máxima del codo del brazo lanzador para los tres participantes en cada distancia de lanzamiento. Los análisis de ES indicaron diferencias de muy grandes a grandes en los valores medios entre los participantes y entre las distancias de lanzamiento.

Cinemática de la Pelvis, el Tronco y el CoM

En contraste con los hallazgos para los segmentos del brazo se advirtieron varias diferencias no significativas para la orientación de la pelvis y el tronco en los lanzamientos de mayor longitud, en particular al arrojar el balón (Tabla 1). Interesantemente, la orientación del tronco alrededor de los ejes X y Z varió marcadamente entre los participantes tanto al final de la fase del *backswing* como en el lanzamiento del balón. Por el contrario, el grado de rotación axial de la pelvis (en el eje Z) fue similar entre los lanzadores al final del *backswing*, pero muy diferente en el lanzamiento del balón.

El lanzador más preciso tenía la pelvis casi en posición neutral en el lanzamiento del balón, mientras que los otros lanzadores habían rotado la pelvis hacia adelante en casi 40 grados. El grado de rotación del tronco y la pelvis al final del *backswing* fue afectado por la distancia, rotando el lado derecho de la pelvis y el tronco más hacia atrás para los lanzamientos más largos. Ninguna de las variables de la pelvis o el tronco en el lanzamiento del balón se vio influenciada por la distancia del lanzamiento. Sin importar las diferencias, cada lanzador varió su ángulo de flexión del tronco por menos de 3 grados en el lanzamiento del balón durante el transcurso de los 30 lanzamientos, los lanzadores flexionaron el tronco menos de 10 grados durante la fase del lanzamiento hacia adelante. Las velocidades máximas de rotación axial de la parte superior del tronco no difirieron mayormente entre los lanzadores ni para cada distancia de lanzamiento. De manera similar, la velocidad máxima de flexión del tronco solo difirió entre el T1 (202 ± 23 gr·s⁻¹) y el T3 (92 ± 20 gr·s⁻¹). Sin embargo, las velocidades máximas de rotación pélvica difirieron entre los lanzadores y aumentaron notablemente entre los lanzamientos hacia el frente y medio del *line-out*. La estabilidad relativa de la orientación del tronco para los lanzamientos de mayor longitud también se refleja en las velocidades consistentes del CoM_x en el lanzamiento del balón en todos los lanzamientos. Los análisis indicaron que ambas velocidades de CoM_y y CoM_z al arrojar el balón tendieron a aumentar con la mayor longitud del lanzamiento. A pesar de todo, estas velocidades fueron menores a 0.5 m/s para el CoM_y y menores a 0.05 m/s para las velocidades del CoM_z indicando que el CoM se mantuvo relativamente estable a lo largo de toda la acción

del lanzamiento.

Cinemática del Tren Inferior

Los datos de la velocidad angular del tren inferior reflejaron una tendencia hacia un incremento en el índice de extensión en cada una de las articulaciones claves de la pierna para cada incremento subsiguiente en la distancia del lanzamiento (Tabla 2). Se advirtieron diferencias marcadas entre los lanzadores para la flexión plantar máxima del tobillo y las velocidades de la extensión de la rodilla, mientras que el índice de flexión de la cadera permaneció relativamente constante entre los participantes ($ES < 0.4$).

DISCUSIÓN

Las velocidades máximas de lanzamiento del balón reportadas aquí son al menos el 10% más lentas que las velocidades de lanzamiento registradas cuando a los participantes se les pidió que lanzaran hacia un objetivo fijo (Trewartha et al., 2008). Este simple hallazgo sugiere que la utilización de objetivos estáticos en el entrenamiento del lanzamiento del *line-out* puede ser contraproducente para el rendimiento efectivo. Se ha planteado la hipótesis de que el protocolo de evaluación de la precisión utilizado en este proyecto es más aplicable al rendimiento en el campo que las pruebas tradicionales con objetivos, y una vez que el protocolo sea sujeto a los análisis de confiabilidad deberían adoptarse de manera uniforme por parte de los entrenadores y científicos.

Las numerosas diferencias significativas en las técnicas de lanzamiento adoptadas por los tres lanzadores coinciden con los resultados de estudios previos en los que se han observado considerables diferencias inter-individuales entre jugadores de nivel internacional (Sayers, 2005; Trewartha et al., 2008). No obstante, los altos niveles de consistencia del movimiento demostrados por estos lanzadores significaron que aún las ligeras diferencias en la orientación del miembro entre los participantes dieron como resultado hallazgos estadísticamente significativos. A pesar de todo, existieron varias similitudes funcionales en las acciones del lanzamiento de estos lanzadores de *line-out* de alto rendimiento que podrían utilizarse para crear un modelo de rendimiento. Por ejemplo, aunque cada lanzador ubicó el balón en una posición ligeramente diferente (en relación con el COM), al final del *backswing* hubo una mínima variación en esta posición entre los lanzamientos. De manera similar, todos los lanzadores lograron ángulos muy consistentes en las articulaciones del codo (flexión) y del hombro (flexión y abducción) tanto al final del *backswing* como al momento del lanzamiento del balón. Además, el tronco se mantuvo casi erguido durante el lanzamiento y cualquier rotación del plano transversal se produjo con una mínima flexión o extensión del tronco. No es el caso para el lanzamiento en otros reglamentos del fútbol, como el pase del mariscal de campo en el fútbol americano (Rash y Shapiro, 1996), o el saque de fútbol (Kollath y Schwirtz, 1988; Lees et al., 2005).

De modo interesante, los jugadores de baloncesto también han demostrado que adoptan un ángulo recto y consistente del tronco al arrojar el balón, sin importar la distancia del lanzamiento (Elliott, 1992; Miller y Bartlett, 1996). Hay varias ventajas claves en el logro de una posición consistente y relativamente vertical del tronco durante el lanzamiento del balón en estos deportes. Primero, un tronco erguido estable ayudará a concentrarse en el objetivo, colaborando para reducir al máximo los movimientos de la cabeza. Luego, la consistencia en la orientación del tronco al lanzar significa que los movimientos en el hombro y el codo también pueden mantenerse consistentes. Por ejemplo, si la flexión del tronco se incrementa en el lanzamiento para un lanzamiento en particular debe haber movimientos compensatorios de flexión y abducción en los hombros a fin de lograr el mismo ángulo de lanzamiento del balón (adoptando una posición del codo similar). Aunque ha sido el tema de debate (Bartlett et al., 2007), la constancia de los patrones de movimiento es común en los deportes de lanzamiento de precisión (Etnyre, 1998) y también parece haber un factor clave para determinar la eficacia del saque de banda.

Un área de gran interés en este proyecto incluyó los métodos adoptados por estos lanzadores de *line-out* de alto rendimiento para lanzar el balón de manera precisa en las tres longitudes de lanzamiento diferentes. Por ejemplo, al final del *backswing* numerosas variables cambiaron con el incremento en la longitud del lanzamiento, pero en el momento del lanzamiento solo los ángulos de flexión y abducción del hombro mostraron cambios significativos. De manera similar, para los lanzamientos más largos los participantes rotaron la parte superior del tronco más atrás al final del *backswing* pero aún así lanzaron el balón con el tronco relativamente en ángulo recto con respecto al objetivo. El resultado neto de estas acciones es poder mantener la posición de lanzamiento crucial con un incremento en el rango de movimiento durante el cual el balón puede acelerarse para lograr velocidades de lanzamiento más rápidas. Los cambios en la orientación del hombro al arrojar el balón puede ser una función de ligeros incrementos en el ángulo de lanzamiento del balón, que es sabido que se producen en los saques de banda más largos (Trewartha et al., 2008). El proceso de los movimientos crecientes del plano transversal del tronco para los saques de banda más largos tiene como posible consecuencia problemas de precisión, y los entrenadores deberían considerarlo con cautela.

Este estudio concuerda con investigaciones previas que han sugerido que los lanzadores de *line-out* tienden a incrementar la distancia aumentando la intervención del miembro inferior (Sayers, 2005; Trewartha et al., 2008). Existen claras ventajas en utilizar las piernas y el tronco para desarrollar la velocidad del balón en los lanzamientos más largos, dejando que los segmentos más distales se concentren en la precisión. El lanzador más preciso (T3) tuvo incrementos relativamente grandes en las velocidades de extensión del hombro durante el lanzamiento hacia adelante en todas las distancias de lanzamiento, con incrementos proporcionalmente más pequeños en las velocidades de extensión del codo. Por el contrario, el lanzador menos preciso (T1) tuvo exactamente el perfil opuesto, recayendo en gran medida en incrementos en la velocidad de extensión del codo para los saques de banda más largos. De manera similar, el T1 tendió a incrementar el índice del ángulo de flexión plantar para los lanzamientos más largos, mientras que el lanzador más preciso (T3) tuvo las velocidades de flexión plantar más lentas y tendió a incrementar la velocidad de extensión de la rodilla para los lanzamientos más largos. La estrategia de incrementar la intervención de las piernas a fin de aumentar la distancia del lanzamiento es similar a las técnicas incluidas en el lanzamiento de baloncesto (Elliott, 1992; Miller y Bartlett, 1996). Por lo tanto, aunque la acción del brazo para el saque de banda de alguna manera parece única del deporte, el resto de la acción del lanzamiento tiene fuertes similitudes con el lanzamiento de baloncesto y deberían entrenarse de tal manera.

CONCLUSIÓN

Este estudio comparó la compleja cinemática 3D de tres jugadores de rugby internacional de elite durante una nueva tarea de precisión específica de *line-out*. La evaluación de la precisión del lanzamiento en el *line-out* utilizando la metodología reportada en el presente estudio proporcionó una medición funcional del rendimiento que fue fácil de administrar. Los resultados de los análisis cinemáticos mostraron que varios aspectos técnicos eran comunes a cada uno de los lanzadores y al parecer fueron factores determinantes de la técnica de lanzamiento eficaz. Un aspecto importante de esta investigación incluyó las pequeñas diferencias intra-individuo en la orientación del cuerpo demostradas por cada lanzador en todas las fases claves del lanzamiento, sin importar la distancia del mismo. Los resultados de este estudio pueden ser de ayuda para los preparadores a fin de diseñar programas de entrenamiento proporcionando un modelo de rendimiento simple. No obstante, este proyecto debería extenderse para incluir una población más grande de lanzadores de *line-out* de alto rendimiento antes de crear un modelo más definitivo.

Puntos Clave

- Un aspecto clave de esta investigación ha sido la evaluación de la precisión del lanzamiento utilizando una tarea de lanzamiento funcional que imitaba el desempeño normal.
- Aunque se produjeron diferencias individuales en la técnica de lanzamiento, varios aspectos técnicos del lanzamiento fueron comunes a cada uno de estos jugadores internacionales de elite.
- Los participantes tendieron a ser extremadamente consistentes en la manera en que ubicaron el balón al final del *backswing*, y tuvieron ángulos muy consistentes en las articulaciones del codo (flexión) y del hombro (flexión y abducción) al final del *backswing* y al momento del lanzamiento del balón.
- Además, los lanzadores mantuvieron el tronco casi erguido durante el lanzamiento con una flexión o extensión mínima del tronco, sin importar la distancia del lanzamiento.
- Para lanzar a distancias mayores los participantes tendieron a incrementar la intervención de las piernas.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo de los jugadores internacionales que participaron de este proyecto.

REFERENCIAS

1. Bartlett, R., Wheat, J. and Robins, M (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? . *Sports Biomechanics* 6(2), 224-243
2. Cohen, J (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd edition. Lawrence Earlbaum Associates, Hillsdale, NJ*
3. Elliott, B (1992). A kinematic comparison of the male and female two-point and three-point jump shots in basketball. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport* 24, 111-117
4. Etnyre, B.R (1998). Accuracy characteristics of throwing as a result of maximum force effort. *Perceptual and Motor Skills* 86, 1211-1217
5. Griffiths, I.W. and Hughes, G (2005). Kinematic analysis of rugby union lineout throw. (Abstract). *Journal of Sports Sciences* 23(2),

6. Hopkins, W.G (2002). A scale of magnitudes for effect statistics. *A New View of Statistics*. Available from URL: <http://sportsoci.org/resource/stats/effectmag.html>
7. IRB (2007). Rugby World Cup 2007 - Statistical Review and Match Analysis Retrieved 5th April, 2008. from <http://www.irb.com/mm/document/newsmedia/0/071026ctirba>
8. IRB (2010). Laws of the Game - Rugby Union (Law 19 - Touch and Lineout) Retrieved 1st December, 2010. from URL: http://www.irblaws.com/downloads/EN/law_19_en.pdf
9. Klein, P.J. and DeHaven, J.L (1995). Accuracy of three-dimensional linear and angular estimates obtained with the ariel performance analysis system. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 76, 183-189
10. Kollath, E. and Schwirtz, A (1988). Biomechanics of the soccer throw-in. In: *Science and Football 1*. Eds: Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W.J. London: E & FN Spon. 460-467
11. Lees, A., Kemp, M. and Moura, F (2005). A biomechanical analysis of the soccer throw-in with a particular focus on the upper limb motion. In: *Science in Football V*. Ed: Reilly, T., Cabri, J. and Araújo, D. New York: Routledge. 89-94
12. Miller, S. and Bartlett, R (1996). The relationship between basketball shooting kinematics, distance and playing position. *Journal of Sports Sciences* 14(3), 243-253
13. Rash, G.S. and Shapiro, R (1996). A three-dimensional dynamic analysis of the quarterback's throwing motion in American football. *Journal of Applied Biomechanics* 11(4), 443-459
14. Sayers, M (2005). A three dimensional analysis of lineout throwing in rugby union. In: *Science in Football V*. Eds: Reilly, T., Cabri, J. and Araújo, D. New York: Routledge. 95-102
15. Trewartha, G., Casanova, R. and Wilson, C (2008). A kinematic analysis of rugby lineout throwing. *Journal of Sports Sciences* 26(8), 845-854
16. Wilson, D.J., Smith, B.K. and Gibson, J.K (1997). Accuracy of reconstructed angular estimates obtained with the Ariel performance analysis system. *Physical Therapy* 77, 1741-1746

Cita Original

Mark G.L. Sayers. Kinematic Analysis of Line-Out Throwing in Elite International Rugby Union. *Journal of Sports Science and Medicine* (2011) 10, 553 - 558