

Análisis cinemático de la fases de doble apoyo y de salto, del remate por la zona 4 de los jugadores de la selección masculina de voleibol de antioquia, categoría mayores.

**Gustavo Ramón Suárez¹
Andrés Zapata Carmona²**

RESUMEN

Se analizaron 13 jugadores de la selección mayores masculina de Antioquia con el objeto de establecer algunos parámetros cinemáticos durante la fase de apoyo, y la fase de salto. Se utilizó una cámara de video marca Panasonic S-VHS M9000, un escalímetro calibrado y el programa Kinematrix para el análisis de los fotogramas. Se encontró que en la posición de doble apoyo, la mayoría de los voleibolistas generan un valgo de rodillas que a largo plazo puede generar problemas en los ligamentos laterales internos y lesiones del menisco externo. En la fase de ascenso, el movimiento de los dos tobillos es similar, no así el de las rodillas, de las cuales la correspondiente a la pierna atrasada es la que mayor acción mecánica produce. Los análisis mostraron una

estructura de movimiento de carácter alterno que recarga el trabajo sobre el miembro inferior que queda atrasado. Se encontró una correlación aceptable entre el ángulo de la velocidad resultante en el momento del despegue y la altura que logra el centro de gravedad en el momento del remate ($r = 0.50$); una correlación inversa entre la velocidad horizontal al final de la fase de apoyo y la altura que logra el centro de gravedad en el momento del remate ($r = -0.63$).

PALABRAS CLAVES

Análisis cinemático, Salto Alto,

ABSTRACT

13 volleyball male players from Antioquia's major category team were selected for being studied. Our purpose was to establish some kinematics parameters during

¹ Docente del Instituto Universitario de Educación Física. Universidad de Antioquia. Investigador principal. Doctor en Biomecánica. Grupo de Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

² Docente del Instituto Universitario de Educación Física. Universidad de Antioquia. Coinvestigador. Especialista en Entrenamiento Deportivo. Grupo de Investigación en de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

double support jump phase. We used a Panasonic S-VHS M9000 Camera, a calibrated scalemeter and the Kinematrix program, in order to obtain images. We have found that most of them put the knees in a valgus position, which could produce some problems in the medial ligament and injuries in the external rnenisc. During elevation phase, the movement of both ankles was similar but the knees one was different. The advanced knee (right knee) produced a movement of continuous extension while the delay knee (left knee) produced a movement of a very little extension. The angle of resultant velocity at the end of the double support had a right correlation with the gravity center height ($r = 0.50$). The resultant of the horizontal velocity had an inverse correlation with the gravity center height ($r = -0.63$).

KEY WORDS

Analysis Kinematics, High jump

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En las últimas décadas los análisis biomecánicos de las diferentes técnicas deportivas ha tomado un papel relevante. En el campo de la natación, se han diseñado nuevos vestidos que disminuyen la fricción con el agua. En el campo del atletismo, las técnicas de salto alto y largo han evolucionado a expensas de los estudios biomecánicos.

El voleibol es un deporte en el cual, el ataque en forma de remate es una

de las principales acciones del juego. Llama la atención que en la literatura no se encuentren muchos estudios relacionados con la acción mecánica. Feltner ME y col., (2004) estudiaron la influencia del movimiento de los brazos y encontraron que la velocidad vertical del centro de masa se disminuye en un 54% cuando no se emplean los brazos. Van Soest AJ y col. (1985) estudiaron las diferencia entre saltos con un sola pierna y con dos piernas, en diez voleibolistas experimentados y encontraron que el salto con una sola pierna era el 58% del salto con las dos piernas. En nuestro medio no se reportan estudios biomecánicos al respecto.

Dada la importancia del remate dentro de la estructura del juego, no se conoce la estructura cinemática del remate de nuestros jugadores, estructura que permite establecer parámetros de entrenamiento de la saltabilidad, de preparación física entre otros. De las diferentes fases del remate, la fase de doble apoyo es quizá la mas relevante pues es la que permite generar en última instancia las fuerzas necesarias para lograr la mayor altura y control del salto. Por esta razón se plantean preguntas como: ¿Cuál es la duración de la fase de doble apoyo?, ¿Cuál es el rango de movimiento de las rodillas y del tobillo, durante dicha fase?, ¿A qué velocidad se realizan estos movimientos?, ¿Cuál es la altura a la cual se golpea el balón en el remate, en situación real de remate?, ¿Cuál es la elevación del centro de gravedad?, ¿Qué relación existe entre las velocidad de

ejecución del movimiento y la altura del remate?, ¿Qué riesgos articulares genera el movimiento durante la fase de doble apoyo del remate?.

El grupo de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte del Instituto de Educación Física de la Universidad de Antioquia, en su línea de investigación en biomecánica ha venido diseñando programas de software para el análisis de movimiento y uno de ellos es «Kinematrix», programa que permite calcular coordenadas de los segmentos corporales, ángulos de las articulaciones y centro de gravedad. Luego de este proceso, se decidió aplicarlo al estudio del remate en voleibol, con este estudio se deseaba iniciar un proceso de investigación biomecánica en este deporte con el ánimo de conocer los aciertos y las falencias de los movimientos técnicos ejecutados por los jugadores.

LOS OBJETIVOS DEL TRABAJO FUERON:

- Establecer la estructura temporal de la fase de doble apoyo del remate por la zona 4
- Determinar la altura real de salto en el momento del remate y así como la altura de elevación del centro de gravedad (h_{max}).
- Medir los valores angulares del tobillo y de la rodilla durante la fase de doble apoyo.

- Analizar factores de riesgo articular de la rodilla en la fase de doble apoyo.
- Calcular la velocidad angular de estas dos articulaciones.
- Calcular el centro de gravedad de cada sujeto.
- Analizar las variaciones espacio temporales producidas en el desplazamiento del centro de gravedad.
- Establecer la correlación entre la altura del salto y la elevación del centro de gravedad, con las variaciones generadas en los movimientos de las rodillas.

METODOLOGÍA

Población y muestra: Se estudiaron 13 sujetos integrantes de la selección antioqueña de la categoría mayores. Los sujetos fueron escogidos intencionalmente y participaron de manera voluntaria.

Parámetros inerciales: Para el cálculo del centro de gravedad se utilizaron los parámetros inerciales de DeLeva (1995) (Cuadro 1).

Sistema de referencia: Se utilizó un altímetro de 1.50 metros previamente calibrado.

Captura de imágenes: Para la filmación se utilizó un cámara Panasonic S-VHS M9000; para la captura de las imágenes se utilizó el programa Kinematrix, el cual descompone el video en 30 campos por segundo, siendo este el intervalo de tiempo entre fotogramas.

Segmento	Peso de los segmentos relativo al peso total del cuerpo (% de 1)		localización del vector CU de los segmentos corporales, expresado como porcentaje de la distancia total, a partir del punto proximal	
	Hombres	Mujeres	Nombres	Mujeres
Cabeza-Cuello	0.0694	0.0688	59.76	58.94
Tronco	0.4346	0.4257	44.86	41.51
Brazo	0.0271	0.0255	57.72	57.54
Antebrazo	0.0162	0.0138	45.74	45.59
Mano	0.0061	0.0056	79.00	74.74
Muslo	0.1416	0.1478	40.95	36.12
Pierna	0.0433	0.0481	44.59	44.16
Pie	0.0137	0.0129	4-4.15	40.14

Cuadro 1. Parámetros para la localización del vector centro de gravedad, propuestos por DeLeva (1996).

Delimitación de puntos anatómicos de referencia: Se utilizaron los criterios de DeLeva (1996).

Digitalización puntos anatómicos de referencia: el programa

Kinetnatrix tiene un orden para la digitalización de los puntos de referencia; el cual se muestra en el cuadro 2.

Punto N°	Denominación	Punto N°	Denominación
1	Punta de pie derecho	10	Punta de pie izquierdo
2	Talón derecho	11	Talón izquierdo
3	Tobillo derecho	12	Tobillo izquierdo
4	Rodilla derecha	13	Rodilla derecha
5	Cadera derecha	14	Cadera derecha
6	Hombro derecho	15	Hombro izquierdo
7	Codo derecho	16	Codo izquierdo
8	Muñeca derecha	17	Muñeca izquierdo
9	Falange distal 3 dedo Mano derecha	18	Falange distal 3 dedo Mano izquierda
19	Supraesternal	20	Vértex

Cuadro 2. Orden para la digitalización de los puntos anatómicos.

SELECCIÓN, DEFINICIÓN Y CÁLCULO DE LAS VARIABLES

- Estructura temporal de las fases:

Fase de doble apoyo: Tiempo transcurrido en el cual los dos pies están apoyados en el suelo.

Angulo de los tobillos durante la fase de doble apoyo: Angulo

formado por los vectores del pie (Punta de pie → talón) y pierna (Rodilla → Tobillo) . Para el cálculo del ángulo se utilizó el teorema del coseno (Gutiérrez, 1999).

Angulo de las rodillas: Angulo formado por los vectores del muslo (Cadera → Rodilla) y pierna (Rodilla → Tobillo).

Para el cálculo del ángulo se utilizó el teorema del coseno (Gutiérrez, 1999).

- Velocidad angular de las rodilla durante la fase de doble apoyo: Se utilizaron los valores entre fotograma y fotograma para calcular la velocidad media de cada intervalo ((Fotograma final - Fotograma inicial) / tiempo entre fotograma). Con estos datos se calculó la velocidad media de toda la fase (Gutiérrez, 1999).
 Centro de gravedad: Se utilizó el protocolo de DeLeva (1996) para el cálculo del centro de gravedad (Gutiérrez, 1999) .

- Distancia horizontal y vertical recorrida por el centro de gravedad durante la fase de doble apoyo: Con base en las coordenadas X e Y del centro de gravedad al final de la fase y al inicio de la misma, se calculó la distancia recorrida en los mismos ejes (Gutiérrez, 1999).

- Velocidad del centro de gravedad durante la fase de doble apoyo: Con las coordenadas del

centro de gravedad, se calculó la velocidad media entre dos fotogramas. Con estos valores se calculó el promedio de velocidad de toda la fase (Gutiérrez, 1999) .

Procedimiento

Se solicitó autorización a la Liga Antioqueña de Voleibol y al respectivo entrenador para la realización del estudio, luego de exponer los objetivos de la misma. Posteriormente se citaron a una práctica en el coliseo Yesid Santos, donde luego de un calentamiento de diez minutos se procedió a filmar para cada jugador, una serie de 10 remates por la zona 4. De los diez remates se escogieron tres para ser digitalizados y procesados, de los cuales se tomó el mejor. La captura y digitalización de las imágenes se hizo con el programa Kinematrix, diseñado en el Instituto Universitario de Educación Física. Los datos finales fueron procesados en Excel bajo ambiente de Windows.

	Prom	DS	CV	Min.	Max.
Fase de doble apoyo	0,18	0,03	18	0,133	0,23

Cuadro 3. Medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión para la fase de doble apoyo. (Prom = media; D5 = desviación estándar; Min. = mínimo; Max máximo).

RESULTADOS

Estudio temporal de las fases:

Como se puede apreciar en el cuadro 3, el grupo presentó una moderada variación (CV = 18) con respecto al tiempo de la fase de doble apoyo, con valores que oscilaron entre 0.133 y 0.23 segundos.

- Altura del salto y altura del centro de gravedad (hmax)

El cuadro 4 resume los hallazgos con respecto a estas variables. La altura promedio alcanzada por este grupo de voleibolistas fue de 3.00

m., siendo un grupo homogéneo para esta variable (CV = 5) . La máxima altura fue de 3.33 y la mínima de 2.82. Si se comparan estos datos con los valores promedio de equipos de talla internacional como Cuba, en donde el promedio de salto con ambas manos es de 3.75 in, podemos apreciar que están muy por debajo de dichos equipos. En cuanto a la altura del centro de gravedad fue en promedio de 0.93, con un valor máximo de 1.03 m y un mínimo de 0.74 ni. Estos valores, conocidos como detente, clasifican al grupo como de muy bueno.

	Prom	DS	CV	Min.	Max
Altura del salto (ni)	3,00	0,15	5	2,82	3,33
h rmax (rn)	0,93	0,10	11	0,744	1,03

Cuadro 4. Medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión para la altura del salto y la máxima elevación del centro de gravedad (hmax)_ (Prom -= media; DS = desviación estándar; Min. = mínimo; Max = máximo).

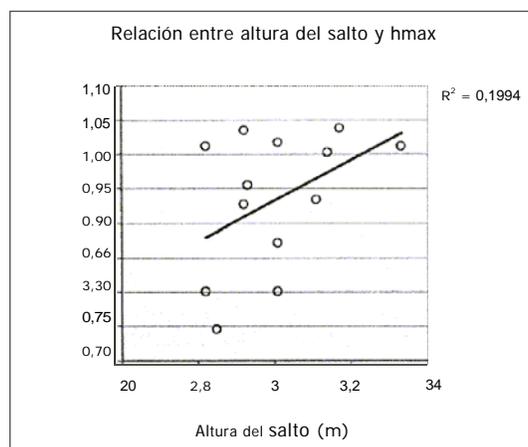


Gráfico 1. Relación entre la altura del salto y la altura del centro de gravedad (hmax)

Llamó la atención que al correlacionar estas dos variables, mediante el producto momento de Pearson, el valor de la r fue de 0.45 (Gráfico 1) con una r^2 de 0.199, indicando una correlación baja. Aunque la correlación es débil, para este grupo los tres que mas saltaron fueron los que mas elevaron el centro de gravedad (Gráfico 1).

- Angulo de los tobillos

Como se puede apreciar en el gráfico 2, la tendencia media (P50) del grupo fue a iniciar con un ángulo de 90° y continuar incrementándolo hasta un valor cercano a los 155° , es decir, a realizar una extensión que le genera una fuerza ascensional a expensas de la contracción del tríceps sural.

El tobillo izquierdo inicia en valores cercanos a 152° y tiende a disminuir hasta la mitad de la fase con valores de 120° ; posteriormente la tendencia

fue a incrementar el ángulo hasta valores cercanos a 150° . A diferencia del tobillo derecho, durante la primera mitad de la fase de doble apoyo el tobillo izquierdo realiza una flexión que le sirve para trasladar el peso del cuerpo hacia delante mientras que en la segunda mitad el movimiento generado es el de una extensión que permite generar una fuerza ascensional, en unión con el tobillo derecho.

La diferencia en los movimientos generados por los tobillos puede ser explicada por el hecho de que la estructura de movimiento de los pies fue la de colocar primero un pie (el derecho) y luego el otro (izquierdo) a una distancia de 0.29 m (en promedio) en un ritmo alterno. Al no situarse los dos pies a la misma distancia, los ángulos que se logran en cada uno de ellos no pueden ser iguales, así como tampoco su acción mecánica.

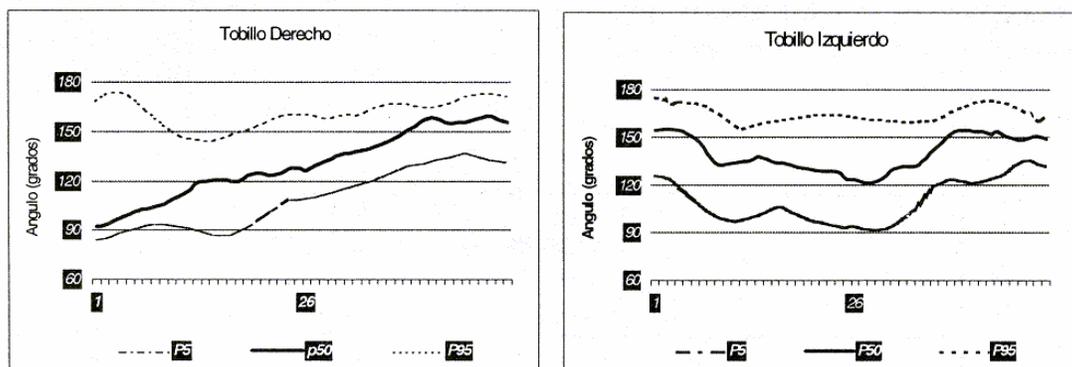


Gráfico 2. Variaciones angulares de los tobillos durante la fase de doble apoyo. (P5 = percentil 5; P50 = percentil 50; P95 = percentil 95)

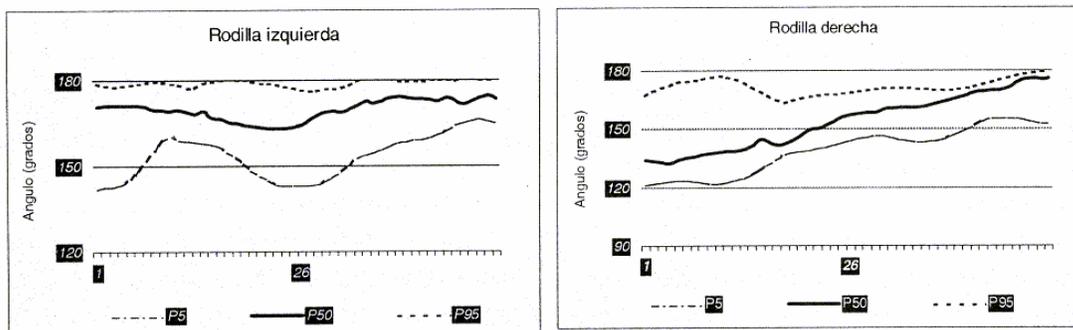


Gráfico 3. Valores angulares de las rodillas, durante la fase de doble apoyo.

- Angulo y velocidad angular de las rodillas.
 En el gráfico 3 y en el cuadro 5 se resumen los hallazgos relacionados con el ángulo al inicio y al final (en grados) tanto de la rodilla izquierda como de la derecha. También se anexan los valores de las velocidades angulares. Como se puede apreciar en el gráfico 3, la rodilla derecha inició con un ángulo de 137° y finalizó con un ángulo de 174°, mientras que la izquierda inició con 162° y finalizó con 171°. Llama la atención que el rango articular propuesto por Ivoilov (1988) está entre 110°-115°, rango que es mucho menor que el encontrado para el grupo estudiado. A semejanza de lo que ocurrió con el tobillo, la tendencia de la rodilla

derecha fue a incrementar su ángulo (extensión) durante toda la fase, mientras que la izquierda tendió a realizar una ligera disminución durante la primera mitad de la fase (flexión) y a un aumento (extensión) durante la segunda mitad.

Esta discrepancia en las acciones articulares de las rodillas se genera debido a que los dos miembros inferiores no llegan simétricos al apoyo sino de manera alterna, las acciones realizadas por cada una de las rodillas es diferente. Como consecuencia de estas acciones, es la rodilla derecha la que genera la mayor parte de la fuerza ascensional en esta fase, a expensas de la contracción de los cuádriceps femorales.

	Rodilla derecha			Rodilla izquierda		
	Prom	DS	CV	Prom	DS	CV
Vel angular media (Rad/s)	3,645	2,006	55	0,778	1,64	211
Vel angular media (Rev/s)	0,58	0,319	55,03	0,124	0,26	211,1

Cuadro 5. Medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión de la velocidad angular de las rodillas en la fase de doble apoyo. (Prom = media; DS = desviación estándar; CV = coeficiente de variación).

La velocidad angular media de la rodilla derecha fue mucho mayor que la de la rodilla izquierda. Es de resaltar el hecho de que existieron muchas variaciones en los sujetos para esta variable pues el coeficiente de variación fue de 55% para la rodilla derecha y 211% para la izquierda.

Al relacionar la velocidad angular de

la rodilla derecha con la altura del salto así como con la altura del centro de gravedad no se encontraron correlaciones significativas (Gráfico 4). Llama la atención esta ausencia de correlación pues a mayor velocidad angular de la rodilla, debería generarse una mayor altura del salto o elevación del centro de gravedad, pues esta última depende de la primera.

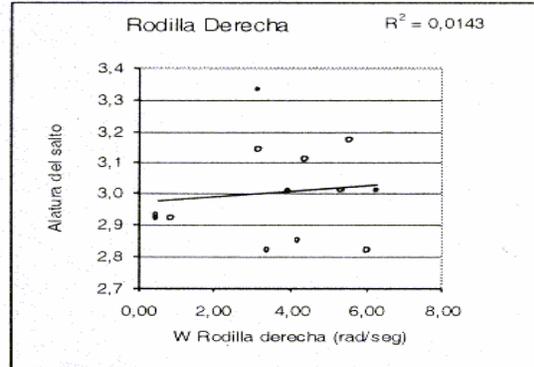
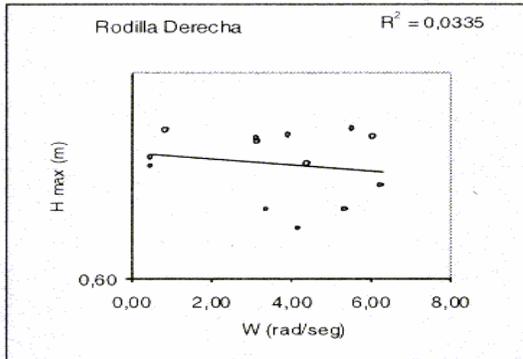


Gráfico 4. Correlación entre la velocidad angular de la rodilla derecha y la altura del salto como la altura del centro de gravedad.

-Posiciones de riesgo generadas en las rodillas.

En la Figura 1 se presenta un ejemplo de la posición observada en la mayoría de los jugadores analizados,

-Posiciones de riesgo generadas en las rodillas.

En la Figura 1 se presenta un ejemplo de la posición observada en la mayoría de los jugadores analizados.

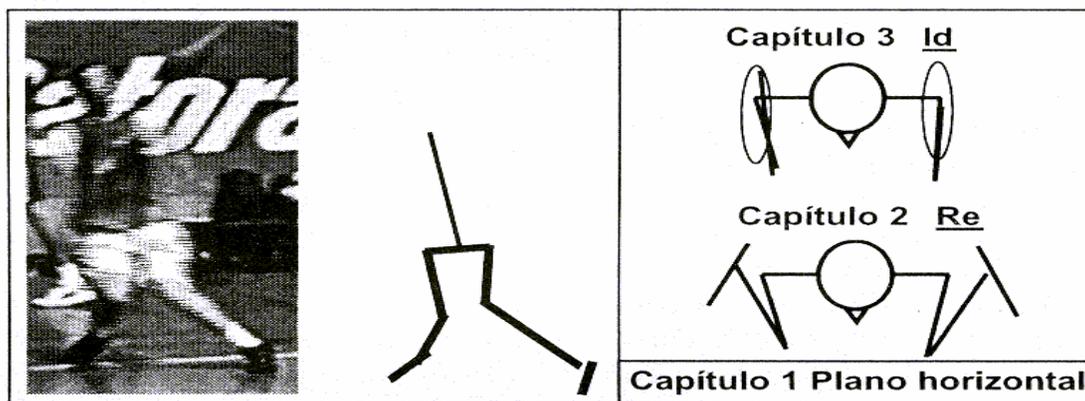


Figura 1. En el lado izquierdo, un ejemplo de colocación en valgo de las rodillas de uno de los jugadores analizados. En el lado derecho, la proyección ideal en el plano horizontal de los segmentos de los miembros inferiores, comparados con los reales.

De los 13 jugadores analizados, tan solo tres de ellos (23%) colocaron las rodillas tal que la prolongación del eje mecánico del pie se corresponda con el del muslo, analizados en el plano horizontal (Figura 1). Los restante jugadores (77%) no alinearon los ejes del muslo y del pie de manera que su posición genera una elongación de los ligamentos laterales internos con una aproximación de los

cóndilos femorales externos y su respectivo platillo tibial, de manera que los meniscos externos quedan atrapados y con un alto riesgo de lesión.

- **Centro de gravedad:** variables espaciales y espacio temporales.

En el cuadro 6 se resumen los hallazgos relacionados con la variable centro de gravedad, analizado solamente en la fase de doble apoyo.

	Promedios				Desviacion estandar				Coeficiente Variacion			
	x	y	R	Ang	x	y	R	Ang	x	y	R	Ang
Distancia (m)	0,29	0,44	0,53		0,08	0,09	0,09		27	20	18	
Vel media (m/s)	1,65	2,47	3,09	56	0,42	0,42	0,76	8,84	25	17	24	16
Vel inicio (m/s)	2,32	1,02	2,74	23	0,49	1,13	0,56	22,79	21	111	20	98
Vel final (m/s)	1,20	3,52	3,78	70	0,52	1,07	0,93	12,23	43	31	25	18
Vel maxima (m/s)	2,45	3,78	4,13	57	0,64	0,83	0,98	7,00	26	22	24	12

Cuadro 6. Medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión, para las variables relacionadas con el centro de gravedad. (x = variación en el plano horizontal; y = variaciones en el plano vertical; R = resultante; Ang = Angulo (en grados); vel = velocidad; m/s = metros / segundo).

El centro de gravedad se desplazó en promedio, en el plano horizontal 0.29 m; en el plano vertical, 0.44 m; la resultante final fue de 0.53 in. En esta variable, el grupo no fue homogéneo, presentando mayor variación en el desplazamiento. A este respecto no se encuentran valores promedio en la literatura.

La velocidad horizontal inicial fue de 2.32 m/s; su velocidad final, 1.20 m/s y la media, de 1.65 m/s. Como era de esperar, la velocidad horizontal debe disminuir para evitar un desplazamiento horizontal innecesario. Por su parte, la velocidad vertical inicial fue de 1.02

m/s; su velocidad final, 3.52 m/s y la media, de 3.78 m/s. Al contrario de la velocidad horizontal que debe disminuir, la velocidad vertical debe aumentar para lograr un mayor alcance vertical (h max), como fue lo encontrado para los voleibolistas analizados.

La velocidad horizontal resultante fue de 2.74 m/s; su velocidad final, 3.78 m/s y la media, de 3.09 m/s. En este caso, la velocidad resultante incrementó (comparando la velocidad inicial con la final) aunque la velocidad máxima 4.13 m/s no fue lograda al final de la fase, que es la eficiencia máxima esperada.

El ángulo de la velocidad resultante fue de 23° al inicio y de 70° al final. Teóricamente, el ángulo final de la velocidad resultante debería ser lo mas cercana a 90° para lograr una máxima eficiencia, pero dado que es un movimiento parabólico que se genera a partir de una carrera de impulso con los componentes horizontal y vertical, el ángulo ideal no puede ser de 90° pues es imposible eliminar el componente horizontal de la velocidad. En este caso, el ángulo de 70° para la velocidad resultante al final de la fase refleja un buen intento para este movimiento.

En general se puede decir que el

grupo presenta una gran variación en los datos como lo indican los valores del coeficiente de variación mayores de 12%. A este respecto, llama la atención la gran variación que presenta el grupo en el valor de la velocidad vertical al inicio de la fase (CV = 111) y la menor variación del ángulo de la velocidad máxima (CV = 12%).

Dada la dependencia de la altura del salto y la altura del centro de gravedad con las velocidades logradas, se realizaron diferentes correlaciones entre estas variables. Los resultados se muestran en el cuadro 7.

	h salto	h max		h salto	h max
V Prom X	-0,13	-0,57	Vi X	0,14	-0,24
V Prom Y	-0,12	-0,31	Vi Y	-0,51	-0,51
V Prom R	-0,58	-0,53	Vi R	-0,01	-0,38
V Max X	-0,10	-0,28	Vf X	-0,23	-0,63
V Max Y	-0,30	-0,15	Vf Y	0,18	0,13
VR Max	-0,38	-0,38	Vf R	0,12	0,00
			Ang Vf R	0,19	0,50

Cuadro 7. Coeficientes de correlación producto momento de Pearson para las velocidades del centro de gravedad y la altura del salto (h salto) — altura del centro de gravedad (h max). (V = velocidad; prom = promedio; X = plano horizontal; Y = plano vertical; R = Resultante; Vi = velocidad inicial; Vf = velocidad final; max = velocidad máxima; Ang = ángulo)

Llamaron la atención los siguientes hechos. Primero, la correlación de 0.50 entre el ángulo de la velocidad final resultante con la altura del centro de gravedad (h max); segundo, la correlación entre la velocidad final en el plano

horizontal Vf X y h max, la cual fue de -0.67 y tercero, que la correlación con la velocidad final en el plano vertical (Vf Y) y h max fue de 0.13. Esto hechos pueden interpretarse como que para lograr una mayor altura del centro de gravedad se

requiere que el componente horizontal sea mínimo (correlación inversa), que el ángulo de salida sea lo más próximo a 90° (correlación directa) y aunque la correlación con la velocidad final en Y no mostró una buena correlación, para acercarse más al ángulo a 90° se debe incrementar más la velocidad vertical.

Por otra parte, del mismo cuadro 7 se puede establecer que la máxima altura lograda en el momento del salto no depende de las acciones generadas por la acción de los miembros inferiores si no más bien de variables antropométricas.

DISCUSIÓN.

La estructura del movimiento del remate y en especial la fase de doble apoyo, se caracterizó por una alternancia en la colocación de los miembros inferiores, en lo que se conoce vulgarmente como un movimiento de «uno - dos», de manera que el primer pie apoyado (el pie derecho) queda retrasado con respecto al segundo en apoyo (pie izquierdo), el cual queda adelantado. Esta posición de los pies en la fase de doble apoyo constituye una cadena cinemática cerrada asimétrica.

Para la mayoría de los jugadores, la rodilla del pie adelantado fue colocada inicialmente en un ángulo promedio 137° mientras que la izquierda lo fue en un ángulo de 162°. Es decir, mientras el miembro que hace el tiempo uno del uno-dos se coloca en una moderada flexión, el miembro del tiempo dos, se coloca

casi extendido. Esta estructura de movimiento hace que solo se pueda emplear la fuerza propulsora de las rodillas con su extensión en los momentos finales de la fase, con una deficiente utilización de la acción mecánica de la rodilla izquierda.

Algo similar a lo anterior ocurre con la acción de los tobillos, pues al ser utilizada la estructura uno-dos, los rangos de movimiento de estas articulaciones son diferentes. A diferencia de las rodillas, la tendencia en el tobillo izquierdo es a disminuir el ángulo durante la primera mitad de la fase para luego incrementarlo durante la segunda mitad. En este caso, los dos tobillos actúan casi igual en la segunda mitad de la fase. Es decir, la acción mecánica de los tobillos genera una acción similar durante la segunda mitad de la fase de doble apoyo.

Dadas las correlaciones entre la velocidad del centro de gravedad y las acciones verticales producidas durante el salto, se puede afirmar que la altura del centro de gravedad tiene una gran relación con el ángulo de la velocidad resultante en el momento final de la fase de doble apoyo. Para este grupo y en particular para la estructura de movimiento, sería recomendable utilizar más la acción extensora de la rodilla izquierda modificando la estructura «uno-dos» por una que tienda a ser más simultánea y/o que la separación de los dos pies sea menor y/o que la colocación del miembro que hace el «dos» se realice con una flexión de la rodilla.

La colocación de las rodillas durante la fase de doble apoyo genera riesgos para la estructura interna de la misma rodilla. Se debe intentar modificar la tendencia al valgo y cambiarla por una en la cual los ejes mecánicos del muslo, pierna y pie queden paralelos al ser analizados en un plano horizontal.

La velocidad angular promedio de la rodilla derecha fue de 3.6 rad/seg o lo que es lo mismo, 0.5 rev/seg. Esta debería ser la velocidad a la cual se deben generar movimiento de preparación física con sobrecarga. En este sentido, llama la atención la ausencia de máquinas de sobrecarga que puedan controlar el tiempo en el cual se realiza el movimiento, pues no se trata de hacer movimientos lentos con una alta sobrecarga (entrenamiento de la fuerza máxima) sino entrenamiento con una carga tal que le permita moverse a velocidades cercanas o similares a la cual se realiza el movimiento. En otros términos, el entrenamiento debe ser de potencia más que de fuerza; debido a esto, se debe tener en cuenta la velocidad a la cual se produce el entrenamiento pues la potencia es igual a fuerza por velocidad.

CONCLUSIONES:

En el grupo de integrantes de la Liga Antioqueña de voleibol:

- El tiempo promedio de fase de doble apoyo fue de 0.18 seg, (± 0.03)
- La altura promedio del remate fue de 3.00 m (± 0.15 m)

(0.50). Las demás correlaciones no

- La altura promedio de elevación del centro de gravedad fue de 0.93 m (± 0.10 m)

- El ángulo promedio del tobillo derecho al inicio de la fase de apoyo fue de 90° y al final, de 152° . Los del tobillo izquierdo fueron: 151° al inicio, 120° en la parte media y 150° al final.

- El ángulo promedio de la rodilla derecha al inicio de la fase de apoyo fue de 120° y al final, de 175° . Los de la rodilla izquierda fueron: 162° al inicio, y 171° al final.

- El 77% de los sujetos colocan sus rodillas con una tendencia al valgo.

- La velocidad angular promedio de la rodilla derecha fue de 3.6 rad/s y la de la izquierda fue de 0.7 rad/s.

- En promedio, el desplazamiento del centro de gravedad fue de 0.29 m; el vertical, de 0.44 m y el resultante, de 0.53m.

- La velocidad final en el eje horizontal del centro de gravedad fue de 1.20 m/s; en el eje vertical, de 3.52 m/s y la velocidad resultante, de 3.7 m/s. El ángulo promedio de la velocidad resultante fue de 70° .

- Las correlaciones más significativas entre las velocidades del centro de gravedad y el salto fueron: la Velocidad horizontal al final de la fase con la altura máxima del centro de gravedad (-0.63); el ángulo de la velocidad resultante y la altura máxima del centro de gravedad

fueron significativas.

RECOMENDACIONES:

- Realizar un estudio comparativo entre la estructura de movimiento «uno-dos» con otro de carácter simultáneo, con el ánimo de determinar cuál genera más efectividad en la altura del remate.
- Corregir la tendencia al valgo de rodillas durante la fase de doble apoyo con el ánimo de prevenir lesiones estructurales de las rodillas.

BIBLIOGRAFÍA

FELTNER ME, Bishop FJ, PEREZ CM, Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. En: Res Q Exert Sport. 75(3), (2004), 216-30.

GUTIÉRREZ, M. Biomecánica deportiva. Madrid, Síntesis 1999.

IVOILOV, A. V. Voleibol: Ensayos biomecánicas y Metodología del Entrenamiento. La Habana, Científico Técnica, 1988.

LEVA, P de. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. En: Journal of Biotnechanics. 29 (9) 1996, 1223-1230.

VAN Soest, A.J., ROEBROECK, M.E., BOBBERT, MF., HUIJING, P.A., van INGEN Schenau, G.J. A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps. En: Med Sci Sports Exert. 17(6) (1985), 635-639.