

EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DEL SAQUE DE TENIS DE CAMPO EJECUTADO POR ATLETAS PARTICIPANTES EN EL TORNEO INTERNACIONAL FUTURE.

Marco Gómez

Instituto Nacional de Deportes
Federación Venezolana de Tenis de Mesa

Mihai Zissu

Instituto Nacional de Deportes
Universidad Pedagógica Experimental Libertador –
IPC

Resumen

Se efectuó una evaluación biomecánica a diez (10) atletas de la especialidad de Tenis de Campo, en el marco del Torneo Internacional Future, realizada en las instalaciones del Centro Nacional de Tenis en Santa Rosa de Lima. Se analizaron características técnicas y biomecánicas fundamentales de la Fase Activa del Saque que influyen en la obtención del objetivo de la destreza. Se emplearon los procedimientos del Método Videográfico, a través del cual se grabaron las ejecuciones con dos cámaras de videos, una colocada lateralmente, perpendicularmente al plano sagital del movimiento, y la otra en el plano frontal (vista anterior). Se utilizaron los sistemas computarizados Hu-m-an 5.0 para la captura y cuantificación de las principales variables. Se empleó el protocolo del Análisis Mixto (cualitativo y cuantitativo) de los resultados para la determinación de las fortalezas y debilidades de las ejecuciones. Se concluyó que el saque, ejecutado por los atletas evaluados, en su mayoría no tuvo la eficacia esperada, ya que no se logró el punto directo, además de no obtener la ventaja correspondiente. La cantidad de movimiento lineal total del sistema atleta-raqueta antes del impacto fue baja. También se encontró que el valor de la cantidad de movimiento angular alrededor del eje de la cadera fue bajo pero muy superior a la cantidad de movimiento alrededor del eje del hombro correspondiente al miembro superior ejecutor. La velocidad Lineal de la raqueta en el instante del choque con la pelota fue similar a valores de atletas de nivel internacional

Descriptores: tenis de campo, biomecánica, saque, cantidad de movimiento lineal, cantidad de movimiento angular.

BIOMECHANIC EVALUATION OF THE FIELD TENNIS SERVE, EXECUTED BY TEN ATHLETES WHO PARTICIPATED IN THE INTERNATIONAL FUTURE TOURNAMENT

Marco Gómez, Mihai Zissu

Instituto Nacional de Deportes Instituto Nacional de Deportes
Ministerio de Educación y Deporte Universidad Pedagógica Experimental
Federación Venezolana de Tenis de Mesa Libertador - IPC

Abstract

Ten (10) Tennis athletes were biomechanically analyzed during the International Future Tournament, at the National Tennis Center in Santa Rosa de Lima in Caracas, Venezuela. Fundamental technical and biomechanical characteristics relating to the active phase of the Serve movement were analyzed.

Video Graphic Method was used, and the executions of the athletes were recorded with two Sony camcorders, one placed laterally (side view), perpendicularly to the sagittal plane of the movement, and the other one perpendicularly to the frontal plane (front view). The Human 5.0 System was used for video capture, digitizing process and quantification of the main variables. Mixed Analysis protocol (qualitative and quantitative) of the results for the determination of the strengths and weaknesses of the executions was applied. It was concluded that the serve motion, as executed by the evaluated athletes, in its majority did not have the required effectiveness: players did not win a direct point off their service, neither were they able to use it for obtaining a good advantage in play. The total lineal momentum of the system athlete-racket before the impact was low. Additionally, the findings indicate that the value of the angular momentum around the axis of the hip was low, but very superior to the one around the shoulder corresponding to the superior executing arm axis. The lineal velocity of the racket at the moment of ball impact was similar to values of international level players.

Key words: tennis, biomechanics, serve, lineal momentum, angular momentum.

INTRODUCCIÓN

El saque, es el único movimiento en el cual el jugador de tenis de campo tiene control total sobre la sincronización, la velocidad, la dirección y la rotación de la pelota, sin ninguna influencia del opositor. Es también uno de los movimientos (golpes) más complejos del tenis y requiere años de práctica para realizarlo con eficacia durante una competencia, y por este motivo ha recibido mucha atención por parte de los investigadores de todo el mundo. Parte de este interés puede deberse al continuo esfuerzo por identificar los factores asociados para mejorar la velocidad. Existen varios aspectos como las características de los materiales (raqueta, pelota) y la del jugador que pueden influir en la habilidad de realizar un servicio a alta velocidad. Sin embargo, reporta Tennis Magazine (1997), que “la potencia en el saque no proviene de la utilización de raquetas más largas sino de la técnica del jugador y de su fortaleza física”.

Por otro lado, no existe una técnica única en el saque de tenis, pero para ser efectivo se deben poseer ciertas características mecánicas fundamentales que son comunes en la mayoría de los jugadores que tienen buenos saques. (ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001)

Esta destreza es muy compleja para ser evaluada en base a la simple observación por parte de los entrenadores. La velocidad con que se desarrolla dificulta visualizar ciertos detalles de la ejecución, para ello el análisis biomecánico cuantitativo ofrece información adicional sobre aspectos invisibles de la coordinación del movimiento humano. Dichos análisis pretenden ayudar con información precisa la vista del entrenador en la difícil tarea de identificar errores y descubrir las soluciones apropiadas.

El saque, desde el punto de vista mecánico, se define como una acción de interacción entre dos objetos: raqueta – pelota, el cual se denomina choque o colisión, en el cual el objetivo principal se centra en la proyección de la pelota con la mayor velocidad posible y en la dirección adecuada para obtener el punto (Zissu y Gómez, 2005). Las acciones de los atletas previamente al choque con el implemento se pueden analizar por fases, delimitadas por posiciones en los instantes extremos. Según bibliografía (www.itftennis.com; www.aplenotenis.com.ar; ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001) se pueden identificar varias fases y posiciones fundamentales:

Posición de Inicio o de Espera:

Los pies se colocan separados mas que el ancho de los hombros (aproximadamente 25 a 40 cm.), el pie adelantado (no correspondiente al MSE) debe estar a 45° con respecto a la línea de fondo, el pie posterior (correspondiente al MSE) debe estar paralelo a línea de fondo, el tronco deber estar aproximadamente perpendicular a la red y con una distribución del peso corporal inicial según las características de cada jugador. (Los jugadores como Pete Sampras transfieren lentamente el peso a su pie trasero). (Manual del entrenador s/n)



Gráfico 1. Posición de inicio o espera (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001).

Elevación de la Pelota (Ball Toss):

Se lanza la pelota hacia arriba, en frente y ligeramente a un lado del pie preferente, a una distancia similar al largo del miembro superior extendido, al mismo tiempo en forma sincronizada, la raqueta es llevada atrás hasta que el codo llegue a la altura del hombro. La preferencia individual del jugador y el tipo de saque alteran ligeramente la colocación de la pelota a la izquierda o a la derecha del pie adelantado.



Gráfico 2. Elevación de la Pelota (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001).

Flexión de Rodillas:

Los jugadores pueden adoptar bien el estilo de saque del “pie atrasado” o el del “pie adelantado”. Algunos jugadores llevan el miembro inferior atrasado de atrás hacia adelante (técnica del pie adelantado). Al emplear esta técnica hay que asegurarse de que el pie atrasado no se coloque delante del pie adelantado, ya que impediría el “timing” correcto de la rotación de las caderas. Esta técnica produce una acción de golpe “hacia arriba y hacia fuera”, mientras que otros jugadores dejan el pie de atrás cerca de su posición original para desplazarse hacia arriba y hacia delante. Un impulso eficaz junto con la rotación de tronco se lleva a cabo para ayudar a llevar la raqueta abajo y atrás, aumentando la distancia del movimiento de la raqueta a la pelota. (ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001)



Gráfico 3. Flexión de Rodillas (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001).

Movimiento hacia el instante del Impacto:

Este es una secuencia de movimientos coordinados (cuadro 1) producidos por los elementos clave de velocidad de raqueta, altura de impacto y trayectoria de raqueta.

En las primeras fases del movimiento hacia atrás de los miembros superiores, cuando estos se mueven en sincronía, nunca debe ir “abajo juntos ni arriba juntos” (ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001). El miembro superior ejecutor-raqueta impulsa ligeramente al miembro superior contrario-pelota para crear una inclinación y alineación de los hombros junto con la raqueta-brazo-codo. Esto aumenta la rotación de tronco. Un movimiento de la raqueta atrás completo y amplio puede contribuir a un mejor ritmo y a reducir la carga que soporta el hombro, ya que involucra un mayor movimiento de rotación. La raqueta se desplaza, desde el nivel de la espalda, rápidamente hacia arriba, intentando golpear la pelota en el punto más alto que se pueda alcanzar. Por este motivo, es conveniente lanzar la pelota un tanto más alto que donde pretende ser golpeada para así tener el tiempo necesario para preparar la acción. La posición del miembro superior ejecutor con respecto al tronco no debe ser mayor a 100° para evitar lesiones.

Cuadro 1 (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001)

Secuencia del movimiento de impacto

Movimiento coordinado: La secuencia que se crea normalmente desde el suelo hacia arriba es la siguiente:		
Segmento en Rotación	Articulación movida	Contribución a la Velocidad de Raqueta al Impactar
Impulso de piernas y rotación del tronco	velocidad del hombro	10-20%
+		
Elevación y flexión del brazo	velocidad del codo	≈ 10%
+		
Extensión del antebrazo, pronación y rotación interna del brazo	velocidad de la muñeca	≈ 40% (Fundamentalment rotación interna del brazo)
+		
Flexión de la mano	velocidad de la raqueta	≈ 30%



Grafico 4. Posición antes del Impacto (iniciar fase activa) (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001).

Instante del Impacto:

“El punto de impacto real variará dependiendo del estilo y del tipo de saque que se realice. Para un saque liftado (plano) de un jugador diestro, la pelota se impactará más hacia la izquierda. El alineamiento de los hombros está más cerca de la vertical que de la horizontal. Esto permite la rotación interna del tronco/hombros para generar velocidad de la raqueta en el impacto”. (ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001)

- Rotación de “hombro sobre hombro” (acción de columpio) (Elliott,s/f)), que es una rotación del eje de los hombros en el plano transverso en el sentido contrario al de la acción del golpe, genera cantidad de movimiento y prepara al cuerpo para el impacto.
- Rotación hacia adelante (acción de salto mortal) permite al jugador producir el momentum que se traslada desde el tronco al brazo y finalmente a la raqueta. Los jugadores que mantienen sus hombros relativamente paralelos a la pista durante el impacto han de bajar su posición de impacto para ganar así el máximo beneficio de los grandes rotadores internos del tronco/hombro.

La pelota se eleva aproximadamente en línea con el pie adelantado para que el miembro superior ejecutor y la raqueta no estén en una línea recta, y así ganar altura sin eliminar el efecto de la rotación interna anterior al impacto. Existe una gran relación entre la altura del impacto del saque y el éxito del mismo. Los jugadores de alta competición, por lo general, impactan la pelota justo después de que comience a caer. (ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001)



Gráfico 5. Instante del Impacto (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001).

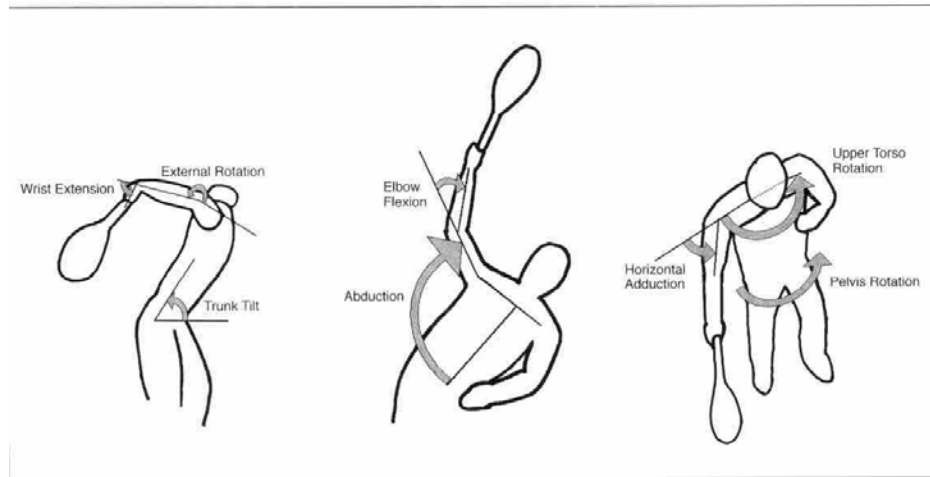


Gráfico 6. Movimiento del tren superior durante las fases de moviendo hacia el contacto e instante del impacto. (Tomado de Sport Biomechanics Vol 2 (1) 2003)

El Acompañamiento:

La rotación interna del brazo y la pronación del antebrazo continúan durante la primera fase del acompañamiento. Estas acciones son necesarias para dejar que la raqueta se desacelere gradualmente y no pare bruscamente, para que ese esfuerzo recaiga sobre el cuerpo completar así la acción de acompañamiento.



Gráfico 7. Acompañamiento (tomado de “ITF Coaching & Sports Science Review”, 2001).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las Características Biomecánicas de la Fase Activa del Saque de Tenis de Campo ejecutado por atletas de sexo masculino.

Objetivos Específicos

- Describir las características biomecánicas de proyección de la pelota.
- Cuantificar la Cantidad de Movimiento Lineal total en el instante del choque en el Saque y determinar la contribución de las diferentes partes del cuerpo para el logro del mayor nivel de este factor en el contacto.
- Cuantificar la Cantidad de Movimiento Angular total en el instante del choque en el Saque alrededor de los diferentes ejes de rotación.
- Determinar las posibles debilidades cometidos por las atletas en la fase activa del Saque
- Presentar recomendaciones a los entrenadores para mejorar el nivel de eficacia mecánica de la destreza.

METODOLOGÍA

La Evaluación que se realizó se enmarca en una Investigación de Campo, con un diseño descriptivo de caso, a través de un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Los sujetos del estudio fueron diez (10) atletas masculinos de alto rendimiento participantes en el Torneo Internacional Future realizado en las instalaciones del Centro Nacional de Tenis de Venezuela en Santa Rosa de Lima en el año 2005. Para la recolección y análisis de los datos se utilizó el método videográfico básico y computarizado. El procesamiento de los resultados se realizó utilizando el Sistema Computarizado Hu-m-an 5.0. Para la aplicación práctica del Método Mixto (cualitativo – cuantitativo) en este estudio se siguieron una serie de pasos que a continuación se presentan:

Video-grabación de las Atletas en condiciones de competencia durante el Torneo Internacional Future 2005. Se grabaron las ejecuciones con una (1) cámara de video, una colocada lateralmente perpendicularmente al plano sagital del movimiento. La cámara se colocó a una distancia horizontal de 10 metros respectivamente desde el borde más cercano de

la línea de fondo de la cancha. Se grabaron dos (2) sets de cada atleta en la competencia individual para analizarles el saque. Posteriormente a la video-grabación, se observó la destreza para ubicarla dentro de los parámetros establecidos y seleccionar el mejor intento de cada atleta.

La cuantificación de las variables se realizó a través del Sistema Computarizado Hu-m-an 5.0, que permitió la digitalización directa en pantalla de los puntos seleccionados en función al modelo espacial (anatómico) de veintiún puntos anatómicos y catorce segmentos corporales, así como también tres (3) puntos de referencia de la raqueta y uno del centro geométrico de la pelota.

Variables del Estudio

Para la investigación se seleccionaron variables de la ejecución de los sujetos, la raqueta y la pelota durante la Fase Activa del Saque, desde su inicio (la posición inicial de la fase activa) hasta el final (instante del choque), en las cuales se cuantificaron y evaluaron:

Características de Proyección de la Pelota después del Choque

- Velocidad inicial de proyección
- Velocidad inicial horizontal de proyección
- Velocidad vertical de proyección
- Angulo de proyección
- Altura de proyección (superficie del suelo)

Cantidad de Movimiento Lineal

- Cantidad de movimiento lineal total en el instante de l choque con la pelota
- Cantidad de movimiento lineal de la mano ejecutora
- Cantidad de movimiento lineal del antebrazo ejecutor
- Cantidad de movimiento lineal de la raqueta

Cantidad de Movimiento Angular Alrededor del Eje de la Caderas

- Velocidad Angular alrededor del eje de las caderas-raqueta
- Momento de Inercia

Cantidad de Movimiento Angular Total alrededor del Eje del Hombro

- Velocidad Angular alrededor del eje del hombro-raqueta
- Momento de Inercia

RESULTADOS

La fase activa del golpe engloba las acciones del sistema atleta – raqueta que persigue el impacto de la pelota para proyectarla hacia el lado contrario de la cancha con la finalidad de lograr el punto. La sucesión de movimientos de estas acciones, desde su comienzo (posición inicial fase activa), deben garantizar la colocación del cuerpo en una optima posición, con la finalidad de lograr la efectividad técnica–mecánica de la ejecución. La fase activa del golpe finaliza en el instante del choque con la pelota o momento de impacto, el cual es el instante en que ambos cuerpos (raqueta-pelota) se encuentran durante la ejecución. En la siguiente sección

se presentan una serie de selectas características biomecánicas del movimiento de la raqueta, así como las características de proyección de la pelota y dos de las variables Cinéticas principales para el logro del objetivo de esta técnica, como lo son, la Cantidad de Movimiento Lineal de los segmentos de la cadena biocinémica que participa en la acción y la Cantidad de Movimiento Angular sobre dos diferentes ejes de rotación (caderas y hombro MSE), los cuales intervienen directamente en el logro de la velocidad de la pelota.

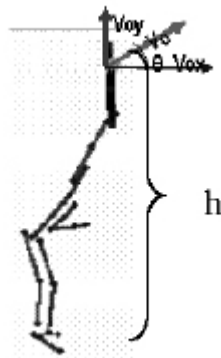


Gráfico 8. Características de proyección de la pelota en el Saque. Nota. V_{oy} = velocidad inicial vertical de proyección; V_{ox} = velocidad horizontal inicial de proyección; V_o = velocidad inicial de proyección; h = altura de proyección; θ = ángulo de proyección.

Cuadro 2
Características de Proyección de la Pelota después del Choque

SUJETOS	Velocidad Inicial de Proyección (m/s)	Velocidad Inicial Horizontal de Proyección (m/s)	Velocidad Inicial Vertical de Proyección (m/s)	Ángulo de Proyección (°)	Altura de Proyección con respecto a la superficie del suelo(m)
1	31,57	31,51	-2,00	-3,63	2,79
2	28,20	28,19	-0,74	-1,50	2,59
3	33,22	33,08	-3	-5,18	2,80
4	29,00	28,92	-2,30	-4,35	2,90
5	37,85	37,71	-3,21	-4,86	2,63
6	32,54	32,49	-1,80	-3,17	2,68
7	28,80	28,79	-0,89	-1,77	1,89
8	30,32	30,06	-2,30	-4,38	2,70
9	30,82	30,75	-2,13	-3,96	2,71
10	31,10	31,01	-2,40	-4,43	2,69
Media	31,34	31,25	-2,08	-3,72	2,64
Desviación Típica	2,80	2,77	0,79	1,24	0,28
Valor Mínimo	28,2	28,19	-3,21	-5,18	1,89
Valor Máximo	37,85	37,71	-0,74	-1,50	2,90
Rango	9,65	9,52	2,47	3,68	1,01

El valor medio de la variable **Velocidad Inicial de Proyección** de la pelota fue de 31,34 m/s (94,02 Km/h) con una desviación típica de 2,80m/s, que indica que los valores están dispersos entorno a la media, donde el valor mayor fue obtenido por el Sujeto 5 (37,85 m/s) y el menor, por el Sujeto 2, con un valor de 28,20 m/s.

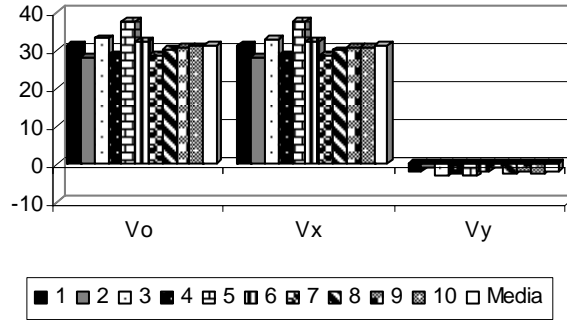


Gráfico 9. Velocidad horizontal, vertical e inicial de proyección en el Saque.

En relación a la **Velocidad Inicial Horizontal y Vertical de Proyección**, la media de la velocidad inicial horizontal de proyección fue de 31,25 m/s (D.T.= 2,77 m/s) y la vertical fue de -2,08 m/s. En ambas velocidades se observa que los datos no se encuentran agrupado entorno a la media.

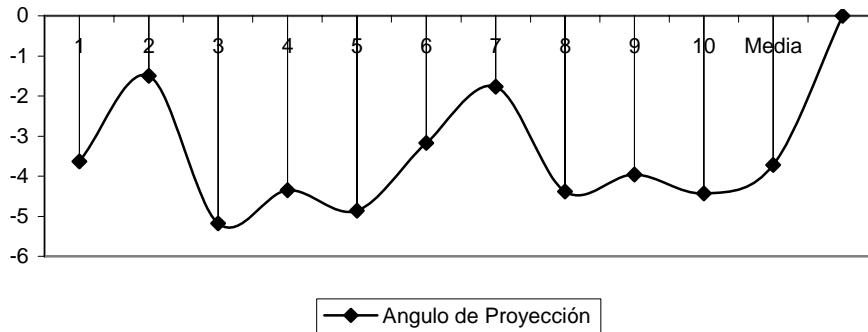


Gráfico 10. Angulo de proyección.

En cuanto a la variable **Ángulo de Proyección** (Cuadro 2 y Gráfico 10), se observa que la media del grupo (-3,72°). El Sujeto 3 posee el registro del valor mínimo (-5,18°), el valor máximo lo obtuvo el Sujeto 2 con un registro de -1,50 grados considerándose alto para este tipo de destreza.

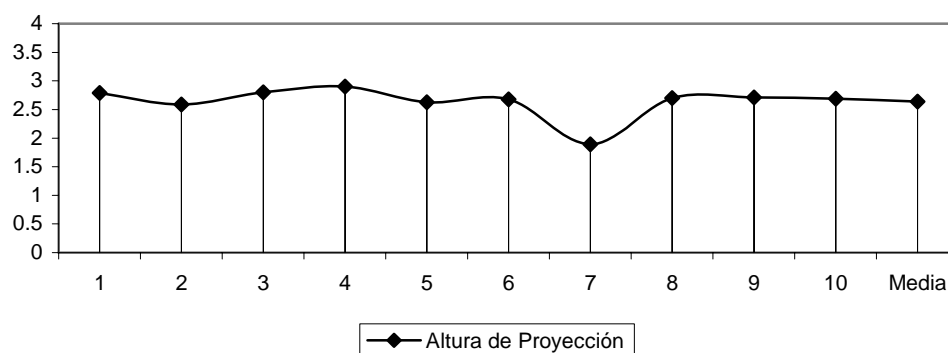


Gráfico 11. Altura de proyección.

En el Cuadro 2 y Gráfico 11, se presentan los resultados de la variable **Altura de Proyección**, donde la media grupal (2,64 m), la distribución de los datos está entorno a la media, tal como lo refleja la desviación típica (0,28 m), el valor máximo lo obtuvo el Sujeto 4 con un valor de 2,90 metros, , el valor mínimo lo presentó el Sujeto 7 (1,89 m).

Cantidad de Movimiento Lineal Total del Sistema Atleta-Raqueta en el Instante del Choque con la Pelota en el Saque

Es el producto entre la masa del jugador-raqueta y la velocidad lineal de dicha masa.

En el cuadro 3, se visualizan los resultados de esta variable donde el valor medio de la **Cantidad de Movimiento Total** en el instante del impacto fue de 66,68 kg m/s. El registro de los resultados demuestra una dispersión en relación a la media (D.T.= 22,21 kg m/s).

El valor mayor lo logró el Sujeto 6 (92,64 kg m/s) al igual que el Sujeto 1 (92,64). El valor menor lo registró el Sujeto 10 (32,18 kg m/s).

Cuadro 3

Cantidad de Movimiento Lineal Total y Segmental del Saque.

SUJETOS	Cantidad de Movimiento Total (kg m/s))	Cantidad de Movimiento de la Mano (kg m/s)	Cantidad de Movimiento del Antebrazo (kg m/s)	Cantidad de Movimiento del Brazo (kg m/s)	Cantidad de Movimiento del Tronco (kg m/s)	Cantidad de Movimiento de la raqueta (kg m/s)
1	92,64	6,20	10,11	10,00	59,07	7,26
2	59,17	2,67	4,27	3,99	44,22	4,02
3	73,26	3,76	7,58	8,26	45,57	8,09
4	92,01	4,14	9,24	9,85	58,19	10,59
5	60,44	3,10	7,77	7,33	33,54	8,69
6	97,72	3,44	8,10	7,60	68,41	10,17
7	39,71	1,35	3,17	3,52	27,34	4,34
8	57,46	4,26	9,64	8,99	26,36	8,21
9	62,26	3,49	6,08	5,09	40,01	7,59
10	32,18	2,46	6,18	4,43	11,83	7,28
Media	66,68	3,49	7,21	6,91	41,45	7,62
Desviación Típica	22,21	1,29	2,28	2,46	17,35	2,14
Valor Mínimo	97,72	6,20	10,11	10,00	68,41	10,59
Valor Máximo	32,18	1,35	3,17	3,52	11,83	4,02
Rango	65,54	4,85	6,94	6,49	56,58	6,57

Nota. Kg. m/s = kilogramos metros/segundos

Cantidad de Movimiento Lineal Segmental del Sistema Atleta-Raqueta en el Instante del Choque con la Pelota en el Saque

La cantidad de movimiento lineal segmental es el producto de la masa del segmento por la velocidad de su centro de gravedad en la dirección del movimiento hacia la pelota.

En los resultados cantidad de movimiento de los diferentes segmentos se observa que el tronco ($X= 41,45$ Kg m/s.), fue el segmento que mas apporto, especialmente por su significativa masa (50,7 % del total del cuerpo). El Sujeto 6 (68,341 kg m/s) posee el valor mayor.

El brazo ($X=6,91$ kg m/s), el antebrazo ($X= 7,21$ kg m/s), la mano ($X= 3,49$ kg m/s), y raqueta ($X= 7,28$ kg m/s) son segmentos que aportan en forma similar cantidad de movimiento.

Todos los datos en cada uno de los segmentos están agrupados entorno a la media, exceptuando los valores del segmento tronco (D.T.= 17,35 kg m/s) que se encuentran muy dispersos

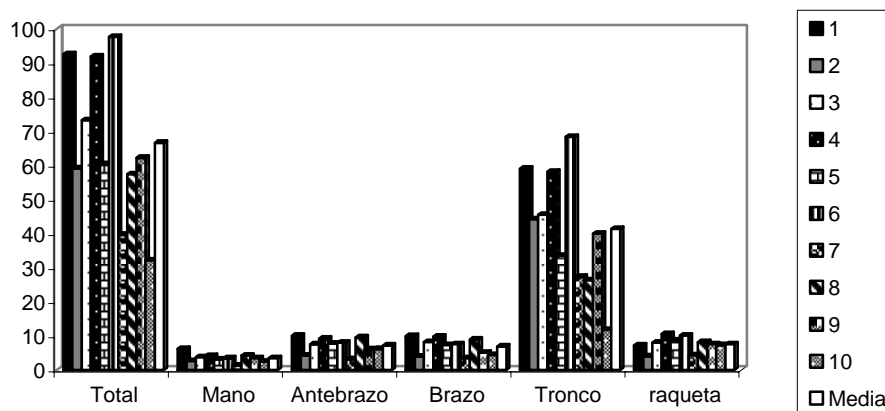


Gráfico 12. Cantidad de Movimiento Lineal Total y Segmental del Saque

Cantidad de Movimiento Angular del Saque.

La cantidad de movimiento angular es el producto del momento de inercia por la velocidad angular ($L = I \times \omega$). **El momento de inercia** ($I = \sum(m \cdot r^2)$) representa la resistencia de los cuerpos a la aceleración angular, esta depende de la masa y la distribución de la misma con respecto al eje de giro.

La velocidad angular se puede definir como la proporción del desplazamiento angular/rotatorio por el radio, en una dirección específica, durante un tiempo dado (Lopategui, 2001).

La cantidad de movimiento angular influye en la obtención de mayor cantidad de movimiento lineal, velocidad del sistema atleta – raqueta y, por ende, velocidad periférica de la pelota después del impacto.

Cantidad de Movimiento Angular del Sistema Atleta-Raqueta en el Instante del Saque Alrededor del Eje de las Caderas

La incorporación del tronco a la cadena biocinématica que se utiliza en el saque, es de suma importancia, el tronco es el segmento más grande del cuerpo (50,7% del peso total del cuerpo), por ende, puede generar mayor momento de inercia y mayor cantidad de movimiento angular, además de que aumenta el radio de acción, lo que ayuda al aumento de la velocidad periférica de la pelota después del impacto, ya que la velocidad lineal en el extremo de la palanca (tronco-raqueta) es directamente proporcional a la longitud de su radio de rotación.

El cuadro 4 expresa la cantidad de movimiento total alrededor del eje de las caderas con un valor medio de $90,32 \text{ Kg m}^2/\text{s}$ (D.T.=41,00), que es un valor bajo para el tipo de destreza. Se observa que el valor mayor lo obtuvo el Sujeto 1 ($161,59 \text{ Kg m}^2/\text{s}$) y el menor, el Sujeto 7 ($29,98 \text{ Kg m}^2/\text{s}$).

Cuadro 4

Cantidad de Movimiento Angular Alrededor del Eje de las Caderas.

SUJETOS	Cantidad de Movimiento Total (Kg m ² /s)	Momento de Inercia (Kg m ²)	Velocidad Angular (Rad/s)
1	161,59	10,29	15,70
2	106,14	7,52	14,12
3	124,13	6,31	19,69
4	131,37	8,57	15,33
5	64,36	6,41	10,04
6	97,66	5,60	17,44
7	29,98	4,36	6,87
8	48,66	3,54	13,75
9	66,95	5,76	11,63
10	72,35	5,95	12,16
Media	90,32	6,43	13,67
Desviación Típica	41,00	1,96	3,70
Valor Mínimo	29,98	3,54	6,87
Valor Máximo	161,59	10,29	19,69
Rango	131,61	6,75	12,81

Nota. Kg. m²/s = kilogramos metros al cuadrado/segundos; Kg m² = kilogramos metros /segundos; Rad/s= radianes/segundos.

En cuanto al **Momento de Inercia**, el valor de la media 6,43 (Kg m²) se considera bajo, motivado principalmente a las diferentes flexiones en las articulaciones del hombro, codo y muñeca en el instante del choque, los cuales no se encontraron suficientemente alejados del eje de giro.

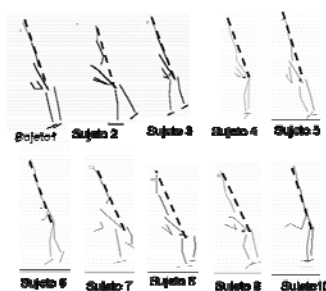


Gráfico 13. Esquemas de postura ilustrando radio sobre el eje de la cadera en el instante del impacto

El resultado (13,67 Rad/s) de la **Velocidad Angular** alrededor del eje del tronco-quet, es bajo, motivado principalmente a inclinaciones inadecuadas (hiperextensión del tronco en el eje frontal) de la mayoría de los sujetos. Estas acciones en el plano frontal (grafico 14) fueron de excesiva amplitud e intensidad.

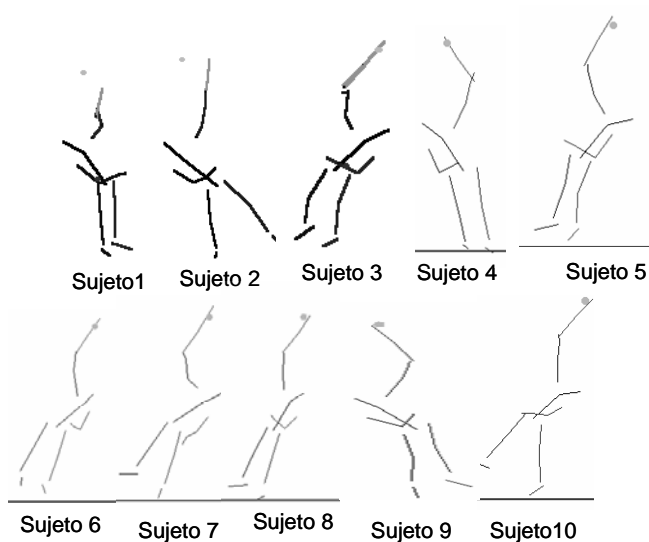


Gráfico 14. Esquemas de postura ilustrando inclinación de tronco en plano frontal

Cuadro 5

Cantidad de Movimiento Angular Alrededor del Eje del Hombro-Raqueta.

SUJETOS	Cantidad de Movimiento Total (Kg m ² /s)	Momento de Inercia (Kg m ²)	Velocidad Angular (Rad/s)
1	11,15	0,40	28,13
2	11,80	0,36	32,32
3	12,58	0,37	34,18
4	16,13	0,57	28,29
5	16,94	0,60	28,23
6	20,39	0,66	30,89
7	10,94	0,46	23,79
8	15,88	0,77	20,62
9	6,95	0,44	15,86
10	8,45	0,47	17,97
Media	13,12	0,51	26,03
Desviación Típica	4,15	0,14	6,21
Valor Mínimo	20,39	0,77	34,18
Valor Máximo	6,95	0,36	15,86
Rango	13,44	0,41	18,32

Nota. Kg. m²/s = kilogramos metros al cuadrado/segundos; Kg m² = kilogramos metros /segundos;
Rad/s= radianes/segundos.

El valor de la media de la **Cantidad de Movimiento Angular alrededor del eje del hombro** (13,12 Kg m²/s) fue menor que sobre el eje de la cadera (90,32 Kg m²/s), motivado principalmente al bajo aporte del momento de inercia de 0,51 Kg m² (eje hombro) en relación al eje de las caderas (6,43 Kg m²). Esto sucede a pesar de que se había alcanzado una buena

velocidad angular alrededor del eje del hombro (26,03 Rad/s), mayor que en el eje de la cadera (13,67 Rad/s).

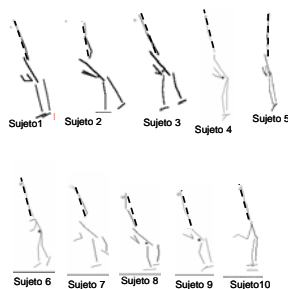


Gráfico 15. Esquemas de postura ilustrando radio sobre el eje del hombro en el instante del impacto.

DISCUSIÓN

1. **Velocidad Inicial de Proyección:** Se observa que la mayoría de los resultados estuvieron por debajo de la media (6 de 10). El resultado de la velocidad inicial de proyección de la pelota fue bajo, al compararlo con el valor de 72,66 m/s (217,99 (Km/h), reportado por Noffal (1997), de atletas de alta competencia internacional. Estos resultados se traducen en una debilidad, ya que, si el objetivo primordial del servicio es lograr un punto y tal como escribe Brody en la revista ITF Coaching & Sport Science Review (2003), “las posibilidades de ganar el punto cuando el primer servicio entra, aumentan conforme lo hace la velocidad del mismo”. Se visualiza que el resultado obtenido por el grupo posee una velocidad por debajo del valor de un segundo servicio de atletas de elite mundial.
2. La **Velocidad Inicial Horizontal y Vertical de Proyección**, se puede observar que la componente horizontal presenta un valor mayor que la vertical, tal como se recomienda para el logro de una trayectoria descendente de la pelota. El valor de la velocidad inicial vertical puede ser considerado aceptable en el caso de los sujetos 3, 6, y 8, y la velocidad inicial horizontal, en general, está muy por debajo de los valores óptimos.
3. En cuanto a la variable **Angulo de Proyección** la media es aceptable, ya que, si se busca una velocidad máxima horizontal ideal para esta destreza y un vuelo rasante, el ángulo de proyección debe ser por debajo de cero grados (0°), esto para evitar una trayectoria de vuelo alta que trae como consecuencia mayor tiempo en el aire de la pelota y facilita la recepción u ofensiva del contrario, El Sujeto 3 registro el valor mínimo lo que constituye un ángulo de proyección adecuado y por ende, facilita el logro del objetivo de la destreza por la característica rasante de vuelo.

4. En la **Altura de Proyección** la mayoría de sujetos estuvieron por encima o igual a la media. Sin embargo, estos valores no se encuentran dentro de los parámetros óptimos requeridos para esta técnica, ya que lo ideal es que el impacto se ejecute a una altura significativamente superior a la altura de la malla (red); atletas de talla mundial impactan la pelota a una altura de 2,85 m (Yandell, 2002); el Sujeto 4 posee 2,90 metros en esta variable lo que indica un excelente nivel vertical de impacto.

5. En la **Cantidad de Movimiento Total, los sujetos 6 y 1** obtuvieron valores por encima del resto del grupo, gracias al aporte significativo del segmento tronco a la suma total de esta variable, por otro lado el Sujeto 10 obtuvo un valor bajo debido principalmente a un movimiento lento del miembro superior ejecutor y raqueta, y a la falta de movimiento del tronco, que no aporta cantidad de movimiento al sistema. En conclusión, la cantidad de movimiento lineal total en el instante del impacto fue relativamente reducida, por el poco aporte de todos los segmentos de la cadena biocinemática que participa en la acción del golpe. Los segmentos del miembro superior ejecutor y la raqueta aportaron poca cantidad de movimiento, por un lado, por la reducida velocidad angular de cada uno de ellos en el instante del choque con la pelota, y por otro, por la poca cantidad de masa de cada uno de estos segmentos.

6. **Cantidad de Movimiento Lineal Segmental del Sistema Atleta-Raqueta**, se observa que el segmento tronco fue el segmento que más aportó, especialmente por su significativa masa (50,7 % del total del cuerpo), los demás segmentos aportaron en porcentajes similares especialmente por su velocidad antes del impacto, ya que, las masas de estos segmentos es relativamente reducida en comparación con el tronco. La mano, a pesar de que avanza con la mayor velocidad hacia la pelota tienen un aporte relativamente reducido por su poca masa.

. El Sujeto 6 logró la mayor cantidad de movimiento total en el instante del choque (97,72 Kg m/s), principalmente por el aporte del movimiento del tronco hacia la dirección del golpe (68,41 Kg m/s).

7. **Cantidad de Movimiento Angular del Sistema Atleta-Raqueta en el Instante del Saque Alrededor del Eje de las Caderas**, se observa que hay una simetría en el valor de los resultados 50% por encima y por debajo de la media. En cuanto a los componentes de esta variable:

a.- **Momento de inercia:** Únicamente el resultado del Sujeto 1 (10,29 (Kg m²)) se acerca a valores de atletas de alto rendimiento internacional, el cual posee el mejor resultado en la Cantidad de movimiento angular alrededor del eje de las caderas y buena velocidad de proyección de la pelota (31,66 m/s), mientras mayor es el momento de inercia mayor será la velocidad periférica de la pelota, ya que, en la relación del movimiento lineal y angular, a mayor radio aumenta la velocidad lineal periférica del objeto.

b.- **Velocidad Angular:** fue baja por las acciones de los sujetos que son utilizados para realizar un golpe excéntrico que produce la rotación de la pelota para el logro del efecto Magnus y, de esta forma, lograr una trayectoria curvilínea para asegurar la validez del saque dentro de la cancha contraria. Estos tipos de movimientos son típicos para el segundo saque en tenis, ya que, el primer saque persigue más traslación que rotación, una alta velocidad en el plano sagital y una gran cantidad de movimiento. Por otro lado, la trayectoria de desplazamiento del tronco fue mayor en el plano frontal que en el sagital (dirección de vuelo de la pelota).

8. **Cantidad de Movimiento Angular alrededor del eje del hombro**, es menor al del eje de las caderas , pero con una velocidad angular mayor gracias a la poca masa que hay que lograr rotar, sin embargo, el valor del momento de inercia, es bajo, debido principalmente a la poca masa de la cadena biocinématica (brazo-antebrazo-mano.-raqueta) que interviene en la acción y por las diferentes flexiones observadas en las articulaciones, lo que disminuye el radio de acción y por ende, el momento de inercia; sin embargo, esta distribución cercana de la masa al eje de giro (hombro) ayudo al aumento de la velocidad angular de la ejecución.

CONCLUSIONES

El saque, ejecutado por los atletas no tuvo la eficacia esperada, ya que, no se logro el punto el cual es el objetivo principal de esta destreza, sin embargo, es un buen segundo servicio para este tipo de nivel competitivo.

En relación a las **Características Biomecánicas de Proyección de la Pelota** después del Impacto, se determinó que: la velocidad inicial de proyección de la pelota en las ejecuciones de los sujetos del estudio puede se considerada muy baja, en comparación con los parámetros de los deportistas de alto rendimiento internacional; el ángulo de proyección de la pelota fue demasiado amplio y la altura de proyección de la pelota fue significativamente reducida, hecho que influyó negativamente en el logro de óptimas proyecciones de la pelota después del impacto.

Tomando en consideración que la velocidad de la pelota depende principalmente de la cantidad de movimiento lineal total en la dirección del vuelo de la pelota, se determinó en este estudio que en el instante del impacto el valor fue bajo.

La cantidad de movimiento angular es otra característica cinética que influye en la obtención de mayor cantidad de movimiento lineal, velocidad del sistema atleta – raqueta y, por ende, velocidad de la pelota después del impacto. El valor de la cantidad de movimiento angular alrededor del eje de la cadera fue bajo y muy por debajo del valor de la cantidad de movimiento angular alrededor del eje de las caderas. En ambos casos, la cantidad de movimiento angular fue reducido, debido principalmente a la poca velocidad angular de la cadena biocinématica del sistema atleta-raqueta.

RECOMENDACIONES

Aplicar una metodología en el proceso del entrenamiento que asegure cambiar la estructura del movimiento para lograr mayor velocidad periférica de la raqueta, que es un factor importante en el logro de mayor velocidad de la pelota después del Impacto. Para lograr esto se recomienda mejorar la estructura del movimiento del saque para que se ajusten a los principios biomecánicos:

Modificar la dirección del movimiento hacia la pelota, haciendo énfasis en el movimiento en el plano sagital, con un golpe concéntrico hacia la pelota, que asegure una traslación de muy alta velocidad, utilizando todos los torques que producen los movimientos de los segmentos de la cadena biocinématica del sistema MI-tronco-MSE-raqueta.; minimizar el movimiento en el plano frontal que produce la rotación de la pelota, ya que este le reduce velocidad de traslación a la pelota hacia la cancha del contrario.

Realizar el saque comenzando con los miembros inferiores más separados y con la punta de los pies en dirección a la malla.

Mejorar la fuerza y la potencia en los diferentes grupos musculares que aseguran mayores torques que determinan el movimiento de rotación de los segmentos participantes en el golpe: miembros inferiores, tronco, miembro superior ejecutor.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Elliott, B, Fleisig, G, Nicholls, R, & Escamilla, R (2003). *Technique effects on upper limb loading in the tennis serve*. Journal of Science and Medicine in Sport 6 (1): 76-87.

Bahamonde, R. (2000). Change in angular momentum during the tennis serve. Journal of Sports Science, 18, 579-592

Elliott, Escamilla, Fleisig and Nicholls (s/f). *Kinematics used by word class tennis players to produce high –velocity serve*. Sports Biomechanics Vol. 2 (1) 51-71

Manual de Entrenadores S/F . *Tecnica*

ITF Coaching & Sports Science Review. (2001). [Documento en base electrónica].

Disponible:<http://www.itftennis.com>.

http://www.itftennis.com/shared/medialibrary/pdf/original/IO_2617_original.PDF

Tennis Magazine,(1997). [Documento en base electrónica]. Disponible

www.revolutionarytennis.com [Consulta: 2006, Marzo 16).