PubliCE, (PubliCE) 2009

Monograph

Biomecánica del Saque de Tenis: Consecuencias para el Entrenamiento de Fuerza

Todd S Ellenbecker[2], E. Paul Roetert[1] y Machar Reid[3]

[1]*United States Tennis Association, Boca Ratón, Florida.*
[2]*Physiotherapy Associates Scottsdale Sports Clinic, Scottsdale, Arizona.*
[3]*Tennis Australia, Melbourne, Australia.*

RESUMEN

El diseño de programas de entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento específicos para el tenis ha recibido una atención significativa, en especial durante los últimos 25 años. Mucha de la investigación disponible se basa en el conocimiento de las exigencias fisiológicas del tenis. Pero menos se sabe acerca de la relación entre los golpes reales (saques, derechas y reveses) y los métodos específicos de entrenamiento necesarios para alcanzar un desempeño óptimo con estos golpes. En realidad, la mayoría de la literatura específica sobre la biomecánica del tenis se ha concentrado en las áreas de rendimiento, estrés físico y diseño del equipamiento. El presente artículo tiene como objetivo analizar el golpe más importante del juego, el saque, y los ejercicios específicos del entrenamiento de la fuerza recomendados para ayudar a optimizar el rendimiento con dicho golpe.

Palabras Clave: biomecánica, tenis, saque

INTRODUCCION

Si bien existe literatura específica relacionada con la biomecánica y el rendimiento del tenis (13, 15, 16, 26, 30) así como también con las exigencias fisiológicas del deporte (3, 17, 19, 27) y el diseño de programas de entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento (4, 5, 20, 21, 29, 31, 32), los estudios que combinan estas áreas son escasos. El presente artículo se enfoca en el diseño de ejercicios específicos de tenis sobre la base de las exigencias físicas del saque de tenis.

SAQUE

La técnica del saque de tenis ha recibido más atención en la literatura que los demás golpes, probablemente porque es el golpe más fácil para estudiar, pues se inicia desde una posición fija y es el único sobre el que el jugador tiene control total. Como puede observarse en la Figura 1, el saque incluye una sumatoria de fuerzas, secuenciadas en gran medida de manera proximal a distal (piernas, tronco y brazo/raqueta). Esto requiere una secuencia de movimientos coordinados con el ritmo adecuado de cada segmento (11).

Flexión/Extensión de la Rodilla

Las Figuras l b-c presentan la flexión de rodilla requerida para iniciar las fuerzas de reacción del suelo, representando el primer paso del eslabón cinético del golpe. Existe una creciente cantidad de investigaciones sobre las fuerzas de reacción contra el suelo producidas por los jugadores de tenis (2, 13, 37). Por ejemplo, Girard et al. (15) han realizado electromiogramas de la extremidad inferior y han determinado los perfiles de la fuerza de reacción del suelo que caracterizan al saque de tenis y hallaron que el saque de los jugadores de elite se distinguía del de los jugadores de nivel inferior por patrones de coordinación neuromuscular más refinados. De hecho, los investigadores y entrenadores han sostenido de manera sistemática la importancia de la flexión de la rodilla para el saque, a tal punto que la flexión de 110° a 120° se ha convertido en la regla de referencia habitual. Asimismo el trabajo contemporáneo ha subrayado la importancia de la extensión de la rodilla para el desarrollo de altas velocidades del saque (25). De hecho, Elliott (10) halló que los saques de potencia requieren que los segmentos de la cadena cinética se muevan de manera coordinada comenzando con las fuerzas de reacción del suelo y el movimiento de la pierna, llevando a una rotación externa del brazo de aproximadamente 170°. Parecería evidente e intuitivo (es decir, los jugadores que flexionan sus rodillas deben posteriormente extenderlas), sin embargo los entrenadores y especialistas del acondicionamiento físico a menudo lo observan de otro modo. De forma significativa, en Federer, uno de los mejores sacadores, se observa una flexión y una extensión de rodilla agresiva en ambas piernas (Figura 1d). Esto respalda el valor de la prescripción de ejercicios de cadena cerrada que promuevan una potente extensión de la articulación de la rodilla, pero hacia un movimiento más secuencial de la extremidad inferior (tobillo, rodilla y cadera), como parte de un programa de fuerza y acondicionamiento avanzado. En estos ejercicios, como con el saque, los músculos gastrocnemio, soleo, cuádriceps y glúteos actúan inicialmente en forma excéntrica (fase de preparación), luego de manera concéntrica (fase de aceleración) y por último, otra vez de manera excéntrica (conclusión/ fase de toma de contacto con el suelo).

Se ha demostrado que las fuerzas de reacción del suelo transferidas a través de la cadena cinética aportan entre el 50 y el 60% de la fuerza total desde los segmentos proximales de la cadena (19). Kibler determinó que durante el saque de tenis se produjo alrededor del 51% de la energía cinética en el tronco/piernas con la contribución del 13% del hombro, 12% del codo y 15% de la muñeca (19).

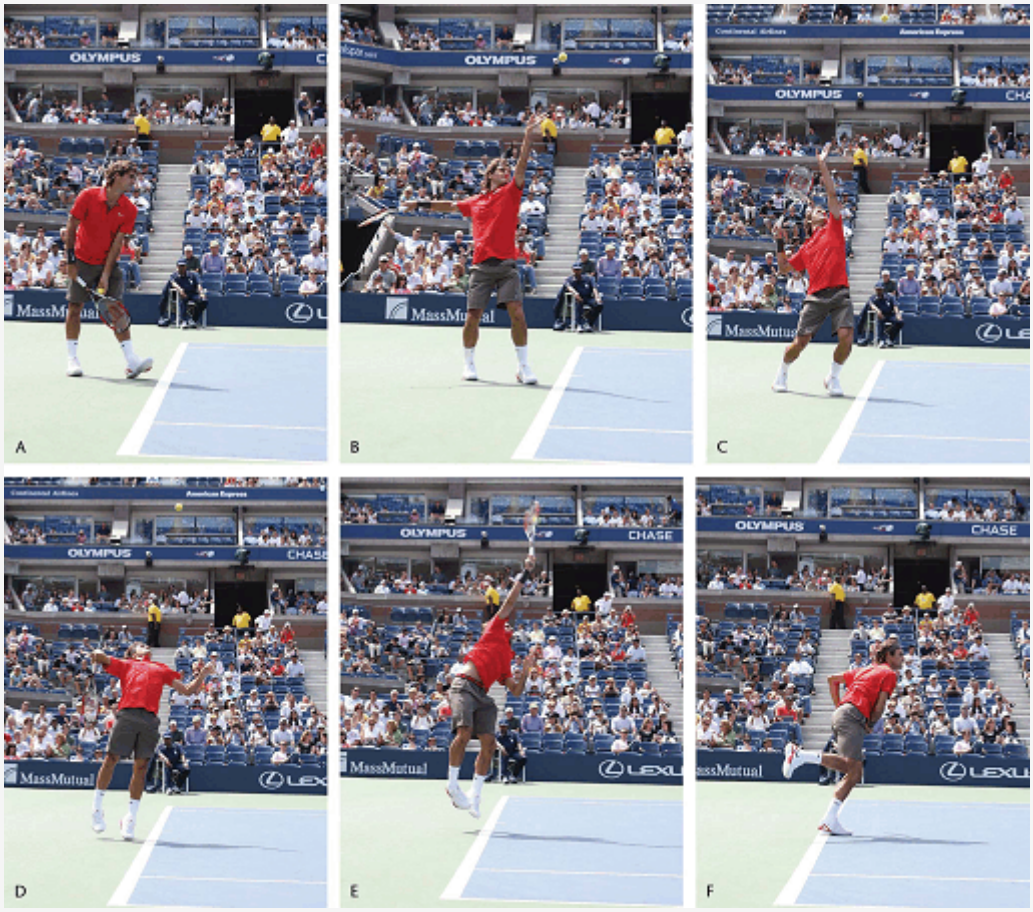

Figura 1. *Movimiento secuencial del saque de tenis.*

Rotación de la Cadera y el Tronco

Las figuras Fc-e muestran la rotación de la cadera y el tronco, que representa el siguiente eslabón de la secuencia. En particular, la Figura 1c ilustra la posición preparatoria o de lanzamiento común a muchos sacadores de elite. La alineación de los hombros rota más allá de la de las caderas en el plano transversal, creando un ángulo de separación horizontal de ~ 20° (27). Similarmente a la manera en que la flexión de rodilla coloca al cuádriceps en estiramiento excéntrico en preparación para el *drive* concéntrico explosivo a través del movimiento hacia adelante para impactar, esta rotación horizontal ayuda a generar la respuesta del ciclo de estiramiento-acortamiento con la musculatura del tronco. La inclinación vertical exagerada de los hombros (flexión lateral) en comparación con las caderas, en el caso de Federer, lo ayuda a realizar la flexión lateral durante el *swing* hacia adelante, una forma de rotación del tronco que se incrementa con el incremento en la velocidad del saque (1). El grado en el cual Federer rota en el plano sagital se vuelve evidente en la Figura 1d, al iniciar el movimiento de su pierna hacia adelante y arriba. Desde la perspectiva del entrenador de la fuerza y acondicionamiento, conocer estos 3 tipos de rotación del tronco y su participación en el saque es clave. A menudo, se malinterpreta el aspecto de que la preparación del jugador sólo necesita abordar la rotación en los planos transversales y sagitales, sin embargo la importancia de la flexión lateral del tronco para el saque es tal que también requiere de entrenamiento. Aquí, se puede trazar un paralelismo con los ejercicios característicos para el entrenamiento de la estabilidad del núcleo corporal, que de manera predominante entrenan la acción explosiva del tronco a través de los planos transversales y sagitales. La inclusión de ejercicios de estabilidad para el núcleo corporal con acciones en los planos transversal, frontal y sagital es una parte importante del diseño de un programa comprehensivo para el entrenamiento de la fuerza y acondicionamiento en el tenis.

En vista de este papel prominente del tronco en los golpes del tenis, un núcleo corporal fuerte es claramente importante desde ambos puntos de vista, el rendimiento y la prevención de lesiones. Roetert et al. (33) identificaron un desequilibrio de fuerza entre los músculos del área abdominal y de la parte inferior de la espalda. Los músculos abdominales trabajan para acelerar y estabilizar el tronco durante el saque (Figuras 1b-e), mientras que los músculos de la parte inferior de la espalda desaceleran y estabilizan el tronco la finalizar el movimiento (Figura 1f). Kovacs et al. (24) establecieron que el entrenamiento para el tenis requiere del entendimiento no sólo de los aspectos de la aceleración del movimiento (como se describe anteriormente con respecto al tronco) sino también de la necesidad de la desaceleración específica del tenis. Debido al desequilibrio antero-posterior mencionado en los jugadores de tenis como al desequilibrio potencial entre los lados izquierdo y derecho, es necesario incorporar una serie de ejercicios para la región inferior de la espalda (incluyendo ejercicios para el erector espinal izquierdo y derecho) a los programas de entrenamiento junto con los ejercicios abdominales. El entrenamiento de las características temporales y de fuerza del transverso del abdomen, del multífido lumbar y del diafragma también puede ayudar a brindar una base sobre la que pueden contraerse de manera efectiva otros músculos. Asegurar que un programa de estabilidad del núcleo no enfatice por demás la musculatura abdominal o flexora del tronco es importante en vista de este conocido desarrollo desproporcionado del tronco.

Dado que las fuerzas se transfieren desde el tronco hasta el brazo, se comienza a ver una integración de la generación de la fuerza proximal y el movimiento distal (rotación de eje largo), un movimiento definido por la estabilización escapular conjunta, la rotación glenohumeral y la pronación del antebrazo (20), creando un movimiento compuesto.

Rotación del Hombro

En las Figuras 1d-f se puede observar la vigorosa rotación interna del hombro que contribuye a una alta velocidad resultante de la cabeza de la raqueta. De hecho, durante la fase de aceleración del saque de tenis, la velocidad angular de la rotación interna del hombro puede alcanzar valores mayores a 2,500 (º/s) (14). La magnitud de esta rotación interna puede apreciarse de manera indirecta a través de las posiciones en las que el hombro y el brazo se encuentran en la Figura 1d. Estas posiciones son extremas y proporcionan información valiosa acerca de la cinética de la articulación del hombro, donde la carga de la articulación está relacionada con la velocidad del saque (27, 35). Asimismo se sabe que la forma en que los tenistas realizan el *backswing* afecta la activación de la musculatura del hombro (18, 29) y el perfil de la carga sobre la articulación del hombro (10), que luego tiene consecuencias para el diseño del programa de fuerza y acondicionamiento.

Los músculos de la parte frontal del cuerpo (pectorales, abdominales, cuadriceps y bíceps) actúan como aceleradores primarios de la parte superior del brazo y por lo tanto de la rotación de la raqueta para el impacto, mientras que los músculos de la parte posterior del cuerpo (manguito rotador, trapecio, romboide y los extensores de la espalda) actúan para desacelerar este sistema de miembro superior-raqueta al final del movimiento (9). Los resultados de tests isocinéticos permiten identificar los desequilibrios resultantes entre la fuerza de los rotadores externos e internos del lado dominante

del cuerpo (6, 8). Elliott et al. (11) indicaron que el entrenamiento debe llevarse a cabo de tal manera que los músculos que rodean estas articulaciones se fortalezcan en ambos patrones de movimiento, excéntrico y concéntrico a fin de ayudar a proteger de lesiones a la región (7).

Por último, también se debe realizar el acondicionamiento de los músculos responsables del control de la pronación del antebrazo y la flexión de la muñeca, las acciones más distales de la articulación en la secuencia del *swing* hacia delante, para mantener el rendimiento en acciones repetidas de alta velocidad. Los ejercicios apropiados para el fortalecimiento de la muñeca y el antebrazo incluyen los curls de muñeca para la flexión/extensión y la desviación radial y cubital, así como también las rotaciones del antebrazo para la pronación y supinación realizadas con un contrapeso (barra con peso en un solo extremo).

APLICACION DE LA MECANICA DEL TENIS AL ENTRENAMIENTO

La información presentada con anterioridad en este artículo proporciona el marco para el desarrollo de los programas de fuerza y acondicionamiento específicos del tenis.

El objetivo de esta última sección del artículo será discutir y recomendar ejercicios para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento de los músculos clave que se utilizan durante el saque de tenis y que mejorarán la capacidad de los jugadores para acelerar en forma explosiva y que promoverán el rendimiento óptimo de este gesto deportivo. Como se ha discutido previamente, estos ejercicios brindan un estímulo de entrenamiento para todo el cuerpo, pues el tren inferior, el tronco y las extremidades superiores forman eslabones dentro de la cadena cinética del movimiento. Dado que va más allá del alcance de este artículo proporcionar una lista completa y una discusión sobre los ejercicios de fuerza y acondicionamiento para el tenis, se refiere al lector a 2 referencias para un desarrollo más extensivo de este tema (23, 30).

La Figura 2a-c muestra un ejercicio corporal total al denominado frecuentemente como empuje de sentadilla con balón medicinal, que puede utilizarse dentro o fuera de la cancha con un balón medicinal. Este ejercicio simula la flexión de la rodilla y la extensión posterior que utilizan los jugadores de elite durante el saque y enfatiza el concepto de la precarga excéntrica del cuadriceps seguida de la extensión explosiva de la rodilla. Además del trabajo que se realiza con el tren inferior, el jugador extiende de manera explosiva la cadera y la parte inferior de la espalda mediante la activación de la musculatura glútea y erectora espinal. Se recomiendan múltiples grupos de ejercicios con énfasis en el posicionamiento correcto del cuerpo, como se ilustra en la figura, y la coordinación (y por lo tanto la suma) de los segmentos de la parte inferior del cuerpo, el tronco y la parte superior del cuerpo para lanzar el balón medicinal tan alto y en línea recta hacia el aire como sea posible.

Figura 2. *(a) Empuje de sentadilla con balón medicinal (comienzo). (b) Empuje de sentadilla con balón medicinal (mitad). (c) Empuje de sentadilla con balón medicinal (finalización).*

Una de las regiones clave del cuerpo que requiere énfasis en el jugador de tenis es el núcleo. Como se mencionó con anterioridad, el entrenamiento del núcleo debería abarcar los 3 planos: sagital, frontal y transversal. Un ejemplo de una

secuencia de ejercicios del núcleo que abarca estos planos incluye el abdominal con pase de balón medicinal (sagital), las rotaciones de tronco con balón medicinal sobre balón equilibrio (transversal), el ejercicio denominado “tabla lateral” (frontal) y el ejercicio denominado “tabla lateral” con remo unilateral simultáneo. De modo significativo, estos 4 ejercicios también brindan un estímulo de entrenamiento, con patrones de movimiento que simulan muy bien el saque de tenis.

El abdominal con pase de balón medicinal (figura 3) utiliza un balón medicinal y un compañero e implica que el jugador realice un abdominal con el balón medicinal mientras que le pasa el balón a un compañero a fin de proporcionar una sobrecarga de manera concéntrica a los músculos abdominales.

Figura 3. *Abdominal con pase de balón medicinal.*

Al regresar a la posición inicial, el jugador toma el lanzamiento de devolución de parte del compañero proporcionando una sobrecarga excéntrica a los abdominales al desacelerar de vuelta hacia la posición inicial del ejercicio. Este ejercicio puede realizarse con muchas variantes, incluyendo la utilización de un balón de equilibrio para proporcionar una superficie de entrenamiento inestable, así como también la inclusión de un componente diagonal o rotacional para tensionar la musculatura oblicua.

La Figura 4 muestra el ejercicio de rotación con balón medicinal que ubica al jugador en una posición de sentado sobre un balón de equilibrio. El jugador, junto con su compañero, realiza lanzamientos rotacionales enfatizando la precarga de la musculatura del tronco, seguido de inmediato por la aceleración explosiva del balón de vuelta hacia el compañero. Se pueden utilizar lanzamientos de derecha o de revés en forma diagonal o en línea recta.

Las Figuras 5 y 6 muestran ejercicios de tabla lateral y tabla lateral con remo unilateral. Estos ejercicios comprometen de manera crítica importantes músculos que estabilizan el tronco y las extremidades inferiores y superiores. El atleta adopta la posición de tabla lateral como en la ilustración, asegurando la correcta alineación del cuerpo, sin que se produzca el descenso de la región media del mismo. Al descansar sobre el codo, el atleta utiliza altos niveles de estabilización escapular además de la activación de la musculatura del núcleo y de los glúteos, requerida para estabilizar el resto del cuerpo. La Figura 6 muestra una variante en la que se realiza el remo unilateral mientras el cuerpo permanece en la posición de tabla estabilizada.

Figura 4. *Rotación de sentado del balón medicinal.*

La investigación reciente ha examinado el rango de movimiento (excursión) del tronco y la velocidad angular del tronco durante la realización de ejercicios del núcleo en los atletas (36). Se ha hallado que ejercicios similares a los abdominales con rotación y los lanzamientos de balón medicinal en posición de sentado utilizan una rotación diferencial de 50 a 60°, que es similar a la rotación utilizada durante el lanzamiento por encima de la cabeza en las actividades deportivas. Además, las velocidades utilizadas durante estos ejercicios fueron aproximadamente del 50% de la velocidad de la pelvis y la parte inferior del torso utilizada en el lanzamiento. Asimismo investigaciones adicionales también guían al profesional de fuerza y acondicionamiento en el ritmo adecuado de los ejercicios del núcleo en el programa de entrenamiento. Comúnmente se cree que el entrenamiento del núcleo, y para esta cuestión el entrenamiento del manguito rotador y el escapular, no deberían realizarse antes del entrenamiento de destreza (por ejemplo, el entrenamiento en la cancha) debido a la fatiga de la musculatura estabilizadora clave.

Figura 5. *Tabla lateral.*

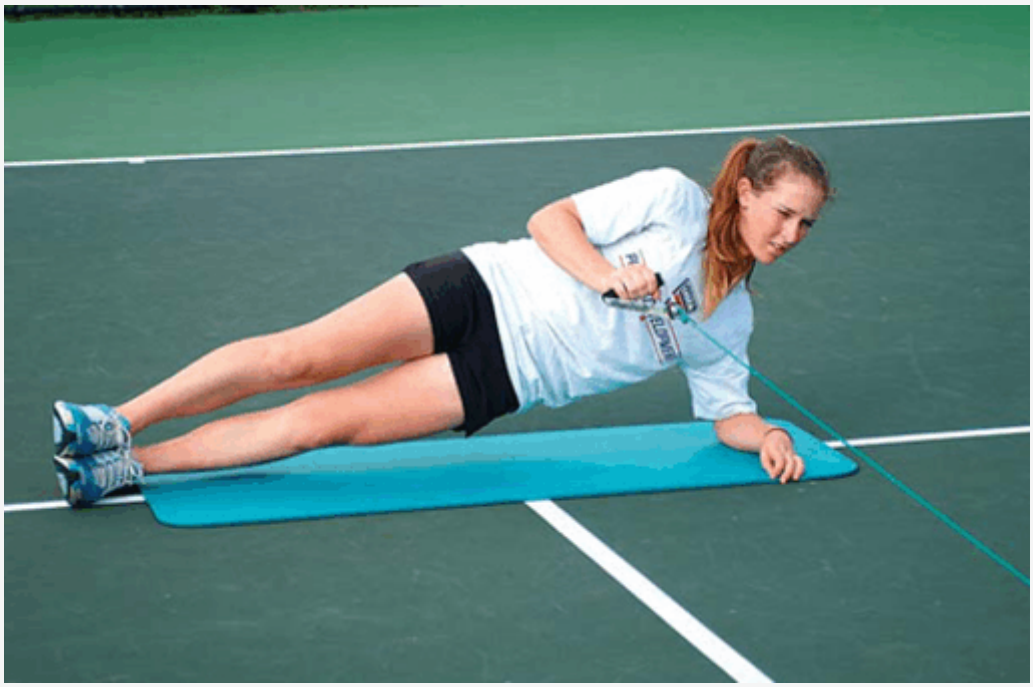

Figura 6. *Tabla lateral con remo unilateral.*

La investigación ha respaldado el concepto de realizar ejercicios para el núcleo corporal al final de la sesión en lugar de llevarlos a cabo al principio. Navalta y Hrncir (26) han demostrado que la realización de ejercicios para el núcleo corporal durante un período de recuperación después del entrenamiento en verdad puede servir para utilizar el lactato como combustible y ayudar a la recuperación del jugador de tenis de elite tras un período prolongado de entrenamiento en la cancha. Por lo tanto, al beneficio de la activación muscular del núcleo y el entrenamiento de la fuerza pueden adicionarse el incremento del *clearance* de lactato y la facilitación de la recuperación, subrayando que se prefiere esta secuencia para estos importantes ejercicios en un programa para jugadores de tenis.

Para la extremidad superior, la investigación biomecánica ha identificado la poderosa activación muscular concéntrica requerida para producir la aceleración de la cabeza de la raqueta en el saque. Esto incluye la rotación interna explosiva del hombro, la pronación del antebrazo y la flexión de la muñeca. Para simular esta porción de movimiento del saque, se puede utilizar un ejercicio pliométrico contra la pared 90/90, teniendo como objetivo una rotación interna rápida del hombro y la flexión de la muñeca para lanzar el balón medicinal hacia la pared de manera explosiva (Figura 7). Mientras que este ejercicio activa los músculos subescapular, dorsal ancho, pectoral mayor y redondo mayor, es decir la musculatura clave que produce la rotación del hombro, también carga los flexores y pronadores de la muñeca (25). Es muy importante señalar que este ejercicio se enfoca en el desarrollo de la fuerza de rotación interna. La investigación ha demostrado repetidas veces que los jugadores de tenis tienen niveles muy elevados de fuerza de rotación interna del hombro y que en el hombro dominante a menudo se encuentra presente un desequilibrio específico del tenis, mientras que los rotadores internos están demasiado desarrollados en relación con el manguito rotador posterior (rotadores externos) (6, 8).

Figura 7. *Ejercicio pliométrico 90/90 ejecutado contra la pared.*

Se debe tener cuidado de asegurar que los ejercicios de rotación interna como el ejercicio pliométrico 90/90 ejecutado contra la pared se utilicen sólo entre jugadores con óptimo equilibrio muscular de rotación externa/interna.

Por último, para mejorar la explosividad muscular de la porción distal de la extremidad superior, se recomienda el golpe pliométrico de muñeca además de ejercicios de curl estándar para la muñeca a fin de proporcionar un rápido estímulo de entrenamiento concéntrico y excéntrico. Este ejercicio (Figura 8) consiste en que el jugador se ubique en posición de sentado con un pequeño balón medicinal del tamaño de una mano. Se arroja con rapidez el balón utilizando un solo movimiento de flexión de muñeca (el codo permanece inmóvil en una flexión de aproximadamente 90°) hacia el suelo por lo cual el jugador atrapa el balón y con rapidez lo regresa al suelo utilizando un movimiento del tipo de golpe.

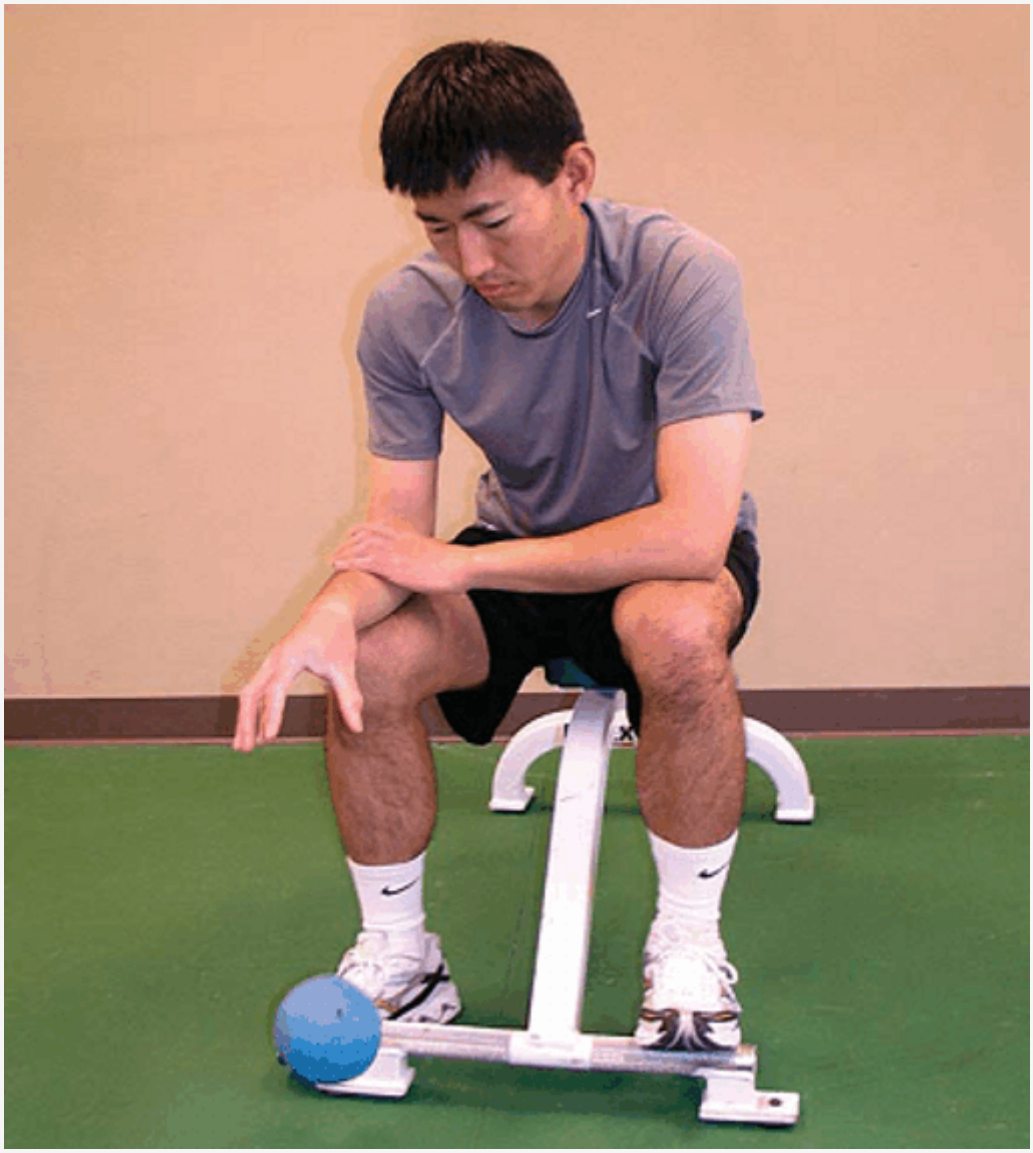

Figura 8. *Golpe pliométrico de muñeca.*

CONCLUSION

El presente artículo ha resumido las variables biomecánicas claves inherentes al saque de tenis de nivel de elite. Ha resaltado los patrones claves de movimiento y activaciones musculares del saque, y al hacerlo ha proporcionado el marco para los ejercicios recomendados para el jugador de tenis. La inclusión de estos ejercicios de entrenamiento claves en el programa de fuerza y acondicionamiento del jugador de tenis puede asegurar el desarrollo de los músculos claves responsables del desarrollo de la fuerza y la transferencia en el saque de tenis de nivel de elite.

REFERENCIAS

1. Bahamonde RE (2000). Changes in angular momentum during the tennis serve. *J Sports Sci, 18: 579-592*
2. Bahamonde R and Knudson D (2000). Ground reaction torces of two types of stances and tennis serves. *Med Sci Sports Exerc 5(33): s102*

3. Bergeron MF and Keul J (2002). The physiological demands of tennis. In: Tennis. Renstrom PA, ed. Oxford, United Kingdom. *An IOC Medical Commission Publication, pp. 46-53*
4. Chandler TJ (1995). Exercise training for tennis. *Clin Sports Med 14: 33-46*
5. Deutsch E, Deutsch SL, and Douglas PS (1988). Exercise training for competitive tennis. *Clin Sports Med 7: 41 7-427*
6. Ellenbecker TS (1992). Shoulder internal and external rotation strength and range of motion of highly skilled júnior tennis players. *Isokinet Exerc Sci 2: 1-8*
7. Ellenbecker TS, Davies GJ, and Rowinskl M (1988). Concentric versus eccentric strengthening of the rotator cuff: Objective data versus functional test. *Am J Sports Med 16(1): 64-69*
8. Ellenbecker TS and Roetert EP (2003). Age speciflc isokinetic glenohumeral internal and external rotation strength in elite júnior tennis players. *J Sci Med Sport 6(1): 63-70*
9. Ellenbecker TS and Tiley C (2001). Training muscles for strength and speed. *In: World-Class Tennis Technique. Roetert EP and Groppel JL, eds. Champaign, IL, Human Kinetics, pp. 61-83*
10. Elliott B (2003). The development of raequet speed. *In: Biomechanics of Advanced Tennis. Elliott B, Reid M, and Crespo M, eds. London, England: The International Tennis Federation, pp. 102*
11. Elliott B, Fleisig G, Nicholls R, and Escamilla R (2003). Technique effeets on upper imb loading in the tennis serve. *J Sci Med Sport 6(1): 76-87*
12. Elliott B, Reid M, and Crespo M (2003). Biomechanics of Advanced Tennis. *London, England: The International Tennis Federation, pp. 11-12*
13. Elliott B and Wood GA (1983). The biomechanics of the foot-up and foot-back tennis service techniques. *Aust J Sports Sci 3: 3-6*
14. Fleisig G, Nicholls R, Elliott B, and Escamilla R (2002). Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. *Sports Biomech 2(1): 51-71*
15. Girard O, Micallef JP, and Millet GP (2005). Lower-imb activity during the power serve in tennis: Effeets of performance level. *Med Sci Sports Exerc 37: 1021 -1 029*
16. Groppel JL (1986). The biomechanics of tennis: An overview. *Int J Sport Biomech 2: 141-155*
17. Groppel JL and Nirschl RP (1986). A mechanical and electromyographical analysis of the effeets of various joint counterforce braces on the tennis player. *Am J Sports Med 14: 195-200*
18. Groppel JL and Roetert EP (1992). Applied physiology of tennis. *Sports Med 14: 260-268*
19. Kibler WB (2009). The 4000-watt tennis player: Power development for tennis. *Med Sci Tennis 14(1): 5-8*
20. Kibler W, Chandler J, Shapiro R, and Conuel M (2007). Muscle activation in coupled scapulohumeral motions in the high performance serve. *Br J Sports Med 41: 745-749*
21. Kovacs MS (2004). Energy speciflc training for tennis. *Strength Cond J 26: 10-13*
22. Kovacs MS (2007). Tennis physiology: Training the competitive athlete. *Sports Med 37: 1-11*
23. Kovacs MS, Chandler WB, and Chandler TJ (2007). Tennis Training: Enhancing On-Court Performance. *Vista, CA: Raequet Tech Publishing*
24. Kovacs MS, Roetert EP, and Ellenbecker TS (2008). Efflcient deceleration: The forgotten factor in tennis-speciflc training. *Strength Cond J 30(6): 58-69*
25. Morris M, Jobe FW, Perry J, Pink M, and Healy BS (1989). Electromyographic analysis of elbow function in tennis players. *Am J Sports Med 1 7: 241-247*
26. Navalta JW and Hrncir SP (2007). Core stabilization exercise enhance lactate clearance following high-intensity exercise. *J Strength Cond Res 21: 1305-1309*
27. Reid M, Elliott B, and Alderson J (2008). Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Med Sci Sports Exerc 40: 308-315*
28. Roetert EP, Brody H, Dillman CJ, Groppel JL, and Schultheis JM (1995). The biomechanics of tennis elbow: An integrated approach. *Clin Sports Med 14: 47-57*
29. Roetert EP and Ellenbecker TS (2002). Strength training, flexibility training and physical conditioning. *In: Tennis. Renstrom PA, ed. Oxford, United Kingdom: An IOC Medical Commission Publication, pp. 103-123*
30. Roetert EP and Ellenbecker TS (2007). Complete Conditioning for Tennis. *Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 2*
31. Roetert EP, Ellenbecker TS, Chu DA, and Bugg BS (1997). Tennis-speciflc shoulder and trunk strength training. *Strength Cond J 19(3): 31-39*
32. Roetert EP and Groppel JL (2001). World Class Tennis Technique. *Champaign, IL: Human Kinetics, vi-vii*
33. Roetert EP, McCormickT, Brown SW, and Ellenbecker TS (1996). Relationship between Isokinetic and functional trunk strength in elite júnior tennis players. *Isokinet Exerc Sci 6: 15-30*
34. Roetert EP, Piorkowski PA, Woods RW, and Brown SW (1995). Establishing percentiles for júnior tennis players based on physical fltness testing results. *Clin Sports Med 14: 1-21*
35. Seeley MK, Uhl TL, McCrory J, McGinn P, Kibler WB, and Shapiro R (2008). A comparison of muscle activations during traditional and abbreviated tennis serves. *Sports Biomech 7: 248-259*
36. Stodden DF, Campbell BM, and Moyer TM (2008). Comparison of trunk kinematics in trunk training exercises and throwing. *J Strength Cond Res 22: 112-118*
37. Van Gheluwe B and Hebbelinck M (1986). Muscle action and ground reaction torces in tennis. *Int J Sport Biomech 2: 88-99, 1986*

Cita Original

E. Paul Roetert, Todd S. Ellenbecker and Machar Reid. Biomechanics of the Tennis Serve: Implications for Strength Training. Strength and Conditioning Journal, 31(4): 35-40 (2009).