

CIENCIA DEL MOVIMIENTO EN EL TENIS

EVALUACIÓN BIOMECÁNICA
Y PREPARACIÓN FÍSICA INTEGRAL



El libro **CIENCIA DEL MOVIMIENTO EN EL TENIS: EVALUACIÓN BIOMECÁNICA Y PREPARACIÓN FÍSICA INTEGRAL** está avalado por un sistema de evaluación por pares doble ciego, también conocido en inglés como sistemas “*double-blind paper review*” registrados en la base de datos de la **EDITORIAL CIENCIA DIGITAL** con registro en la Cámara Ecuatoriana del Libros No.663 para la revisión de libros, capítulos de libros o compilación.

ISBN_978-9942-7437-X-X

Primera edición, febrero 2026

Edición con fines didácticos

Coeditado e impreso en Ambato - Ecuador

El libro que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Editorial Ciencia Digital**.

El libro queda en propiedad de la editorial y por tanto su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Editorial Ciencia Digital**.



Jardín Ambateño, Ambato, Ecuador

Teléfono: 0998235485 – 032-511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

w: <http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

AUTORES

AUTORES

- **Alberto Carlos Pelaez Paba**
(Universidad del Atlántico)
- **Fabian Andrés Contreras Jauregui**
(Universidad del Atlántico)
- **José Orlando Hernández Gamboa**
(Universidad de Pamplona)



La **Editorial Ciencia Digital**, creada por Dr.C. Efraín Velasteguí López PhD. en 2017, está inscrita en la Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No. 663.

El **objetivo** fundamental de la **Editorial Ciencia Digital** es un observatorio y lugar de intercambio de referencia en relación con la investigación, la didáctica y la práctica artística de la escritura. Reivindica a un tiempo los espacios tradicionales para el texto y la experimentación con los nuevos lenguajes, haciendo de puente entre las distintas sensibilidades y concepciones de la literatura.

El acceso libre y universal a la cultura es un valor que promueve Editorial Ciencia Digital a las nuevas tecnologías esta difusión tiene un alcance global. Muchas de nuestras actividades están enfocadas en este sentido, como la biblioteca digital, las publicaciones digitales, a la investigación y el desarrollo.

Desde su creación, la Editorial Ciencia Digital ha venido desarrollando una intensa actividad abarcando las siguientes áreas:

- Edición de libros y capítulos de libros
- Memoria de congresos científicos
- Red de Investigación

Editorial de las revistas indexadas en Latindex 2.0 y en diferentes bases de datos y repositorios: **Ciencia Digital** (ISSN 2602-8085), **Visionario Digital** (ISSN 2602-8506), **Explorador Digital** (ISSN 2661-6831), **Conciencia Digital** (ISSN 2600-5859), **Anatomía Digital** (ISSN 2697-3391) & **Alfa Publicaciones** (ISSN 2773-7330).



ISBN: 978-9942-7437-X-X Versión Electrónica

- ⌚ Los aportes para la publicación de esta obra, está constituido por la experiencia de los investigadores

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL



- ⌚ Efraín Velasteguí López¹

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 032511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Editora Ejecutiva

Dr. Tatiana Carrasco R.

Director General

Dr.C. Efraín Velasteguí PhD.

¹ **Efraín Velasteguí López:** Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Doctor (PhD) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 120 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 16 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriana del libro, tres patente de la marca Ciencia Digital, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo 2.0, Ciencia Digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía Digital, Alfa Publicaciones y editorial Ciencia Digital registro editorial No 663. Cámara Ecuatoriana del libro director de la Red de Investigación Ciencia Digital, emitido mediante Acuerdo Nro. SENESCYT-2018-040, con número de registro REG-RED-18-0063

**EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA**



El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de CDE. No está permitida la reproducción total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial.

PROLOGO

El movimiento humano constituye un fenómeno complejo en el que convergen procesos anatómicos, biomecánicos, fisiológicos y neuromusculares que interactúan de manera continua para dar lugar a acciones coordinadas, precisas y eficientes. En el tenis, estas interacciones adquieren una dimensión particularmente exigente debido a la velocidad, variabilidad y especificidad de los gestos técnicos que caracterizan a este deporte. Cada golpe, cada desplazamiento y cada transición entre defensa y ataque representan el resultado de una sofisticada organización del cuerpo, donde la estabilidad, la movilidad, la potencia y el control postural deben integrarse con exactitud milimétrica para alcanzar el máximo rendimiento.

Este libro, **Ciencia del Movimiento en el Tenis: Evaluación Biomecánica y Preparación Física Integral**, surge como respuesta a la necesidad creciente de comprender el tenis desde una perspectiva científica, basada en evidencia y orientada al análisis detallado del movimiento. En un contexto deportivo globalizado y cada vez más competitivo, ya no es suficiente depender de la intuición o de la experiencia empírica tradicional; se requiere un enfoque sistemático que permita identificar los determinantes del rendimiento, las variables que condicionan la técnica, los factores de riesgo de lesión y las estrategias de intervención que optimicen la práctica.

Los avances en la ciencia del deporte, la instrumentación biomecánica y el conocimiento anatómico funcional han permitido acceder a información más precisa sobre cómo se mueve realmente el tenista, cuáles son las demandas mecánicas de cada gesto y cómo se distribuyen las cargas internas y externas a lo largo de la cadena cinética. Sin embargo, esta información suele encontrarse fragmentada en artículos científicos, manuales técnicos o investigaciones aisladas, lo que dificulta su aplicación práctica y su comprensión integral. Este libro integra dichos conocimientos en una obra coherente, actualizada y orientada a la realidad del campo de entrenamiento.

El lector encontrará en estas páginas un análisis profundo de los componentes estructurales y funcionales que explican la eficiencia del movimiento en el tenis:

desde la organización del sistema músculo-esquelético y la biomecánica del hombro, la columna, la cadera y las extremidades, hasta la dinámica del impacto, la mecánica del torque, la función del centro de gravedad y el papel del control neuromuscular en la estabilidad. Cada capítulo ha sido elaborado con la intención de conectar la teoría con la práctica, de traducir el lenguaje científico en un marco comprensible que facilite la toma de decisiones en el entrenamiento, la preparación física y la prevención de lesiones.

Este libro no pretende ser solamente un compendio de conceptos biomecánicos, sino una guía para comprender cómo se construye el rendimiento del tenista moderno. A través de sus capítulos, se destaca la importancia del análisis secuencial del movimiento, la relevancia de la transferencia energética desde los segmentos proximales hacia los distales, y la necesidad de fortalecer los eslabones críticos de la cadena cinética para mejorar la potencia y reducir la sobrecarga articular. Asimismo, se abordan los mecanismos de control postural, la estabilidad dinámica y la coordinación motriz como pilares de la calidad técnica, especialmente en un deporte donde la velocidad de reacción y la toma de decisiones son determinantes.

Desde entrenadores hasta preparadores físicos, fisioterapeutas, estudiantes y profesionales de las ciencias del deporte, este libro ofrece una fuente de consulta rigurosa y actual para quienes buscan profundizar en el estudio del movimiento aplicado al tenis. La obra proporciona herramientas conceptuales que permiten comprender por qué un gesto técnico es eficiente, cómo se produce la potencia de manera segura, qué factores diferencian a un jugador amateur de uno élite, y cómo intervenir para mejorar la ejecución motriz desde un enfoque interdisciplinario.

En esencia, **este libro es una invitación a mirar el tenis desde una nueva perspectiva: una visión científica, sistemática y funcional**, donde el movimiento se convierte en el eje central del rendimiento y donde cada detalle anatómico o biomecánico adquiere relevancia en la construcción de acciones eficientes, seguras y sostenibles en el tiempo. Es un texto que busca trascender lo descriptivo para convertirse en un instrumento formativo y transformador,

capaz de enriquecer la práctica profesional y elevar la comprensión del complejo arte de moverse en el tenis.

RESUMEN

El presente documento constituye una obra de carácter académico orientada a explicar, desde un enfoque integral, los fundamentos anatómicos, biomecánicos y funcionales que determinan el rendimiento y la eficiencia del movimiento en el tenis. A lo largo del texto se desarrolla un análisis exhaustivo sobre cómo las estructuras corporales, los sistemas articulares y musculares, y los mecanismos de control neuromotor interactúan para producir los gestos técnicos característicos del deporte, así como para sostener las demandas físicas que implican la velocidad, la agilidad, la potencia y la precisión necesarias en el entorno competitivo actual.

El Capítulo 1 aborda de manera detallada las bases anatómicas y funcionales del sistema músculo-esquelético del tenista, destacando la importancia de regiones como la columna vertebral, la pelvis, el core, el complejo del hombro, la cadera, la rodilla y el tobillo en la generación de estabilidad, fuerza y movilidad específica. Se explica el papel de la cadena cinética como mecanismo esencial para la transferencia de energía entre segmentos proximales y distales, y se analizan las implicaciones estructurales que pueden favorecer o limitar la eficiencia de los golpes, la prevención de lesiones y la sostenibilidad del rendimiento a lo largo del tiempo.

En el Capítulo 2 se desarrolla un enfoque profundo sobre los principios fundamentales de la biomecánica aplicados al tenis, incluyendo la cinemática, la dinámica, el torque, la mecánica de palancas, la interacción entre fuerzas internas y externas, y el control del centro de gravedad. Se describen los procesos mecánicos que permiten al jugador generar velocidad de raqueta, estabilizar el cuerpo ante perturbaciones, manipular la pelota mediante efectos como el topspin y el slice, desacelerar segmentos en movimientos de alta intensidad y optimizar la relación entre fuerza, potencia y eficiencia técnica. Asimismo, se analizan los factores que determinan la estabilidad postural, el

equilibrio dinámico, la calidad de los apoyos y el rendimiento en desplazamientos.

El documento integra además elementos relacionados con la prevención de lesiones, el control motor, la propiocepción, la estabilidad segmentaria y la adaptación funcional ante cargas repetitivas, proporcionando una visión amplia sobre los principales desafíos del tenista moderno. La obra aspira a convertirse en un recurso esencial para entrenadores, preparadores físicos, fisioterapeutas, estudiantes y profesionales de las ciencias del deporte, ofreciendo un marco conceptual claro que permite comprender cómo se construye, mantiene y optimiza el rendimiento técnico y físico en el tenis a partir del estudio detallado del movimiento humano.

ABSTRACT

This document constitutes an academic work aimed at explaining, from an integrated and evidence-based perspective, the anatomical, biomechanical and functional foundations that determine performance and movement efficiency in tennis. Throughout the text, an extensive analysis is presented on how musculoskeletal structures, joint systems, neuromuscular mechanisms and segmental coordination interact to produce the technical actions characteristic of the sport, as well as to sustain the physical demands associated with high-speed movements, agility, power production and precision.

Chapter 1 offers a detailed examination of the anatomical and functional bases of the musculoskeletal system in tennis players. Special emphasis is placed on the roles of the spine, pelvic complex, core stabilizers, shoulder girdle, hips, knees and ankles in generating stability, mobility and force transfer. The kinetic chain is addressed as a fundamental mechanism that enables the efficient transmission of energy from proximal to distal segments, determining the quality of strokes, the player's mechanical efficiency and the potential risk of overuse or structural injuries.

Chapter 2 develops an in-depth exploration of the fundamental principles of biomechanics applied to tennis, including kinematics, dynamics, torque generation, lever mechanics, interactions between internal and external forces, and center-of-gravity control. The chapter describes in detail the mechanical processes that allow players to produce racket head speed, stabilize their bodies during rapid directional changes, manipulate ball spin, decelerate high-velocity segments safely, and optimize the balance between force production, mechanical efficiency and technical precision. Furthermore, the text examines the determinants of dynamic balance, postural control, ground reaction forces, segmental sequencing, and the biomechanical variables that influence movement quality during strokes and on-court mobility.

Additionally, the document integrates key elements of injury prevention, proprioception, neuromuscular control, segmental stability and functional adaptations to repetitive loading. As such, it provides a comprehensive and

scientifically grounded framework for understanding how tennis performance is structured, maintained and optimized through the study of human movement. This work is intended as a valuable resource for coaches, strength and conditioning professionals, physiotherapists, researchers and students in sport sciences, offering insights that bridge theory and practice and support evidence-based decision-making in training and performance development.

Índice

| | |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| CAPÍTULO 1 | 19 |
| BASES ANATÓMICAS Y FUNCIONALES DEL TENISTA | 19 |
| CAPÍTULO 2 | 31 |
| PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE BIOMECÁNICA | 31 |
| CAPÍTULO 3 | 60 |
| FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO ESPECÍFICA PARA EL TENIS | 60 |
| CAPÍTULO 4 | 80 |
| ANÁLISIS DEL SERVICIO | 80 |
| CAPÍTULO 5 | 101 |
| BIOMECÁNICA DEL GOLPE DE DERECHA (FOREHAND)..... | 101 |
| CAPÍTULO 6 | 127 |
| BIOMECÁNICA DEL REVÉS (BACKHAND) | 127 |
| CAPÍTULO 7 | 144 |
| ANÁLISIS DEL JUEGO EN RED: VOLEAS Y SMASH | 144 |
| CAPÍTULO 8 | 154 |
| EVALUACIÓN BIOMECÁNICA INSTRUMENTAL | 154 |
| CAPÍTULO 9 | 169 |
| EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA Y LA MECÁNICA DEL JUEGO..... | 169 |
| CAPÍTULO 10 | 180 |
| EVALUACIÓN DE CONDICIÓN FÍSICA EN TENISTAS | 180 |
| CONCLUSIONES..... | 193 |
| RECOMENDACIONES..... | 195 |
| REFERENCIAS..... | 197 |

INTRODUCCIÓN

El estudio del movimiento humano ha evolucionado de manera significativa en las últimas décadas, impulsado por avances en la biomecánica, la anatomía funcional, la neurociencia del control motor y las ciencias aplicadas al deporte. En este contexto, el tenis emerge como un deporte particularmente complejo para el análisis científico, ya que combina acciones explosivas, altamente coordinadas y con una demanda excepcional tanto del sistema músculo-esquelético como del sistema neuromuscular. Lejos de ser una actividad limitada a la ejecución de golpes aislados, el tenis constituye un entramado dinámico de movimientos acíclicos, ajustes posturales, transiciones rápidas, rotaciones secuenciales y desaceleraciones controladas que requieren un entendimiento profundo de cómo el cuerpo humano es capaz de generar, transferir y modular energía en condiciones de alta exigencia.

La necesidad de comprender este deporte desde un marco científico se vuelve aún más evidente cuando se consideran las características propias del juego moderno: la creciente velocidad de los intercambios, la demanda de potencia combinada con precisión, la variabilidad táctica, las exigencias fisiológicas del ritmo intermitente y la elevada carga repetitiva sobre articulaciones como el hombro, la cadera, la rodilla y el codo. Estos factores obligan a entrenadores, preparadores físicos, fisioterapeutas y profesionales de las ciencias del deporte a integrar conocimientos que permitan analizar el movimiento no solo desde la técnica, sino desde los mecanismos estructurales y funcionales que lo hacen posible.

La biomecánica aplicada al tenis proporciona un marco analítico que permite descomponer cada gesto técnico en variables cinemáticas y dinámicas, evaluar las fuerzas que intervienen en el movimiento, comprender la secuencia del impulso mecánico y determinar cómo la interacción entre segmentos corporales influye en la eficiencia del golpe. Elementos como el torque, la mecánica de palancas, la alineación articular, el control del centro de gravedad, la estabilidad del core y las reacciones del suelo se convierten en componentes esenciales para explicar la calidad técnica y la economía del movimiento. A estos factores

se suma el papel de la cadena cinética, cuyo funcionamiento secuencial es determinante para garantizar que la energía generada desde el suelo se transfiera de manera fluida hacia los segmentos distales que finalmente interactúan con la pelota.

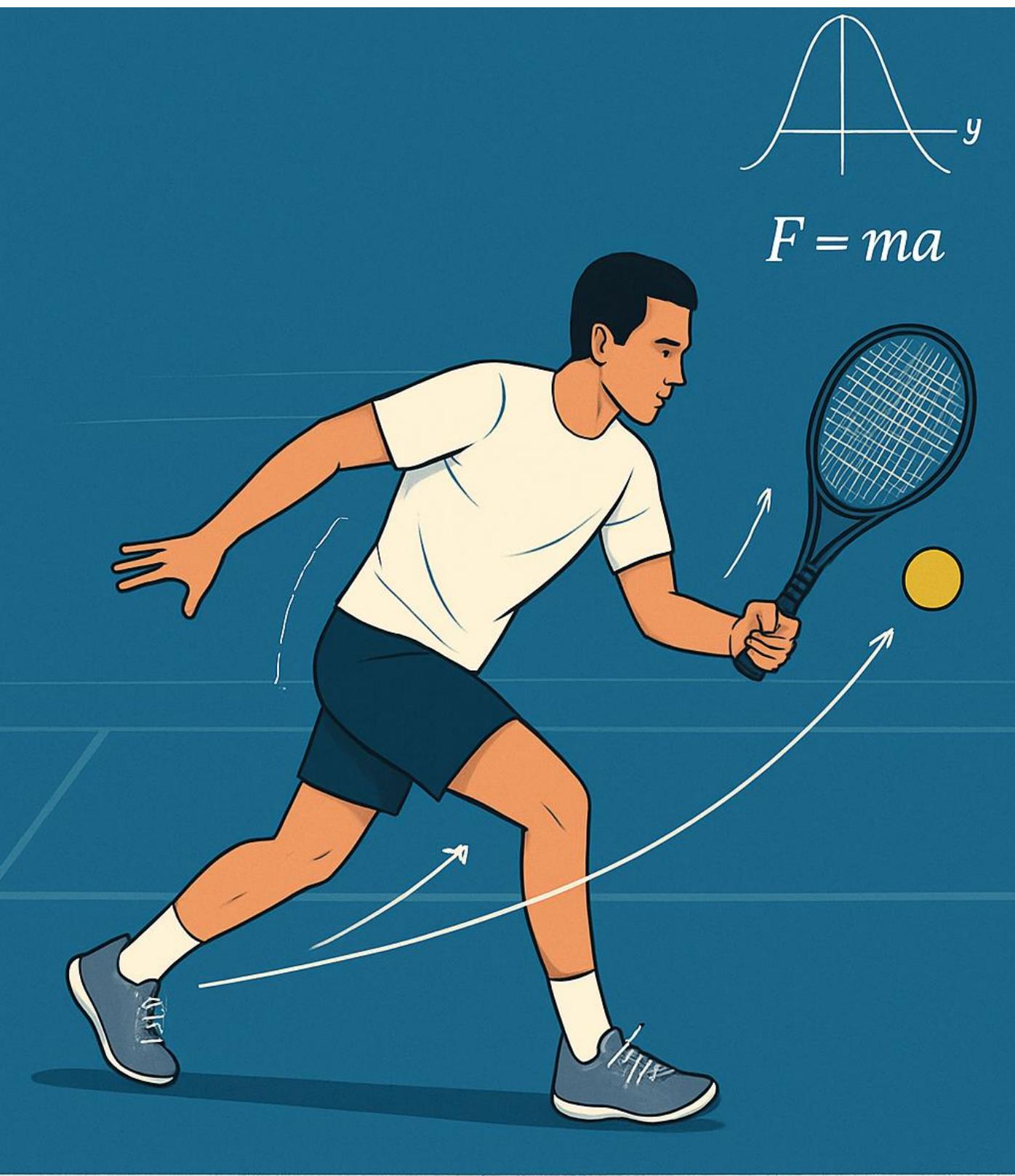
Paralelamente, la anatomía funcional del tenista revela cómo cada región del cuerpo contribuye a la producción y control del movimiento. La columna vertebral y el complejo lumbopélvico representan el eje de estabilización y transferencia de cargas; la cadera actúa como centro de movilidad y palanca fundamental para los desplazamientos y rotaciones; el hombro constituye el principal articulador de la fuerza en los golpes; mientras que las extremidades inferiores soportan la mayor parte de las fuerzas de reacción del suelo, determinando la velocidad y eficiencia de los desplazamientos. Conocer la interacción de estos sistemas permite identificar patrones óptimos de movimiento, corregir compensaciones, prevenir lesiones y diseñar programas de entrenamiento basados en evidencia.

Por otra parte, aspectos como la propiocepción, el control postural, la activación muscular anticipatoria, la coordinación intermuscular y la neuroplasticidad asociada al aprendizaje motor forman parte esencial de la ejecución técnica en condiciones reales de juego. El tenis es un deporte en el que la toma de decisiones y la respuesta ante estímulos visuales y tácticos deben integrarse con precisión en milisegundos. Por ello, la comprensión de los mecanismos neuromusculares que sostienen la estabilidad, el equilibrio dinámico y la anticipación se vuelve indispensable para desarrollar jugadores capaces de responder de manera eficaz y consistente a las demandas cambiantes del entorno competitivo.

Asimismo, la fisiología del ejercicio aplicada al tenis complementa el enfoque biomecánico al explicar cómo el sistema energético responde a las fluctuaciones constantes de intensidad, cómo se desarrolla la potencia anaeróbica requerida para los golpes y los desplazamientos, y cómo la resistencia aeróbica permite sostener el rendimiento a lo largo de partidos prolongados. El tenis exige una integración simultánea de fuerza, velocidad, movilidad, resistencia y estabilidad, elementos que deben entrenarse desde una perspectiva interdisciplinaria que considere tanto la eficiencia mecánica como la capacidad funcional del atleta.

El propósito de este libro es ofrecer una visión holística y actualizada de los fundamentos que sustentan la acción motriz en el tenis, articulando de manera coherente los conocimientos de anatomía, biomecánica, fisiología, control motor y preparación física. Cada capítulo ha sido elaborado para proporcionar al lector herramientas conceptuales que permitan analizar el movimiento desde una perspectiva científica y aplicarlo de forma directa al entrenamiento, la técnica y la prevención de lesiones. La obra integra evidencia contemporánea y su aplicación práctica, de manera que el profesional pueda comprender no solo “cómo” se ejecutan los gestos, sino “por qué” se producen de una manera específica y cómo intervenir para optimizar el rendimiento del tenista.

Así, esta introducción establece las bases para un recorrido profundo por los elementos que configuran el rendimiento técnico y físico en el tenis. El libro invita al lector a adentrarse en el análisis riguroso del movimiento humano, reconociendo que la ciencia del movimiento no solo describe acciones, sino que explica su significado, su eficiencia y sus determinantes biomecánicos. Esta comprensión integral constituye el punto de partida para formar deportistas más eficientes, técnicos más preparados y profesionales capaces de interpretar el tenis como un sistema complejo, dinámico y profundamente dependiente del conocimiento científico del cuerpo humano.



CAPITULO I

BASES
ANATÓMICAS Y
FUNCIONALES
DEL TENISTA

Sistemas músculo-esquelético y articular relevantes

El sistema músculo-esquelético constituye el soporte estructural y funcional que permite al tenista ejecutar movimientos explosivos, precisos y repetitivos. Este sistema integra huesos, articulaciones, músculos, tendones y ligamentos que trabajan de manera interdependiente para soportar cargas mecánicas elevadas. Como indican Saladin (2020) y Tortora y Derrickson (2017), la arquitectura ósea proporciona rigidez y palancas, mientras que el tejido muscular actúa como el motor que produce el movimiento. En el tenis, esta organización permite acelerar la raqueta, absorber impactos y sostener posturas dinámicas bajo condiciones de velocidad y cambios constantes de dirección.

La columna vertebral es la estructura axial más relevante porque coordina la transmisión de fuerzas desde el suelo hasta los segmentos distales del miembro superior. Según McGill (2016), el rendimiento depende en gran medida de la capacidad del tronco para generar estabilidad en un contexto de movilidad controlada. Durante golpes como el drive y el revés, las fuerzas rotacionales inician en las piernas y avanzan por la pelvis y el tronco; una columna estable pero móvil favorece una transferencia energética eficiente.

La región lumbopélvica es considerada un “centro de energía” en deportes con gestos rotacionales. Kibler, Press y Sciascia (2006) sostienen que la estabilidad del core incrementa la potencia del golpe, reduce la carga sobre el hombro y mejora la precisión. La musculatura profunda del abdomen, junto con los erectores espinales y los glúteos, funcionalmente estabiliza la pelvis durante los desplazamientos y durante la fase preparatoria del swing.

El hombro, por su movilidad extrema, juega un papel crucial en la aceleración de la raqueta. La articulación glenohumeral, con su relación estructura-función basada en sacrificio de estabilidad por movilidad, se expone a elevadas demandas en el servicio (Kibler & Safran, 2000). La coordinación entre manguito rotador, escápula y musculatura torácica resulta esencial para evitar pinzamientos y para sostener repetidas aceleraciones y desaceleraciones.

a escápula cumple un rol fundamental en la cinemática del hombro. Ludewig y Reynolds (2009) demuestran que su posición y movilidad influyen directamente

sobre la eficiencia del manguito rotador. En el tenis, una escápula disfuncional puede alterar la trayectoria del brazo, reducir la potencia y aumentar el riesgo de lesiones como tendinopatía del supraespinoso o síndrome subacromial.

El codo actúa como un transmisor de energía y como articulación de ajuste fino. Debido a que participa en la transferencia entre hombro y muñeca, está sujeto a cargas elevadas de tracción y torsión. Ellenbecker y Roetert (2003) revelan que la biomecánica defectuosa del servicio incrementa el riesgo de epicondilalgias, especialmente en jugadores que usan agarres inadecuados o golpean en posiciones tardías del swing.

La muñeca, aunque es la articulación más distal del miembro superior, tiene una enorme influencia sobre la dirección y la aceleración final de la pelota. La literatura destaca que pequeñas variaciones angulares generan cambios significativos en la orientación de la raqueta (Reid & Elliott, 2002). Por ello, el control neuromuscular de los flexores y extensores del antebrazo resulta indispensable para ajustar efectos, ángulos de golpe y trayectorias.

En la extremidad inferior, la cadera es la articulación más determinante en el rendimiento del jugador. Su capacidad para generar fuerza rotacional y estabilidad en cadena cerrada es esencial durante la aceleración del golpe. Según Schache et al. (2014), la cadera es responsable de gran parte del torque necesario para iniciar la rotación del tronco, especialmente en el servicio y en el drive.

Los músculos glúteos mayor y medio cumplen funciones diferenciales pero complementarias. Mientras el glúteo mayor actúa como principal motor de extensión y rotación externa, el glúteo medio estabiliza la pelvis durante los desplazamientos laterales (Distefano et al., 2009). Una debilidad en estos grupos musculares provoca compensaciones que afectan tanto la técnica como la seguridad articular de rodilla y tobillo.

La rodilla soporta elevadas cargas por la repetición constante de frenadas, arranques y cambios de dirección. Hewett, Ford y Myer (2006) indican que la estabilidad dinámica depende de la interacción entre cuádriceps, isquiotibiales y glúteos. En tenis, la rodilla tiende a sufrir lesiones por estrés repetitivo debido a

gestos repetidos de desaceleración, además de la fuerza rotacional que ocurre al golpear en posturas abiertas.

El tobillo actúa como primer amortiguador y estabilizador en el contacto con el suelo. Su función es crítica para mantener equilibrio y permitir transiciones suaves entre desplazamientos. Según Fong, Hong y Chan (2007), la inestabilidad crónica del tobillo afecta la precisión de los apoyos, disminuye la capacidad de generar fuerza y aumenta el riesgo de esguinces, muy comunes entre tenistas por movimientos imprevisibles.

Los músculos de la pantorrilla, particularmente el tríceps sural, proporcionan impulso vertical y horizontal durante saltos y arranques. Komi (2011) sostiene que el almacenamiento y liberación de energía elástica en el tendón de Aquiles es clave para acciones explosivas. Esta función es esencial cuando el jugador reacciona a un golpe inesperado o se dispone a realizar un servicio potente.

El pie, con su compleja estructura de arcos y articulaciones, modula la distribución de cargas. Nigg (2010) destaca que su arquitectura permite amortiguar fuerzas y estabilizar la postura. En deportes como el tenis, donde los soportes son multiplanares, la dinámica del pie determina la eficacia de los movimientos de arranque y detención.

La musculatura abdominal profunda —transverso, oblicuos y multífidos— actúa como un sistema estabilizador global. Según Hodges y Richardson (1996), la activación anticipatoria del transverso abdominal contribuye al control del tronco previo a movimientos rápidos. Esta estabilización es esencial para conectar de forma segura y eficiente las extremidades con el tronco durante los golpes.

Las cadenas musculares posteriores y anteriores trabajan de forma integrada formando “líneas funcionales”, como describe Thomas Myers (2014). Estas cadenas, que incluyen musculatura de espalda, pelvis, cadera, muslos y pierna, colaboran en la transferencia de energía en los gestos rotacionales. El tenis depende profundamente de estas cadenas para movimientos fluidos, potentes y coordinados.

Los tejidos conectivos, como fascias y ligamentos, participan activamente en la estabilidad y la transmisión de fuerzas. Schleip et al. (2012) explican que la fascia

posee propiedades contráctiles y sensoriales que influyen en la propiocepción. En el tenis, la fascia toracolumbar, por ejemplo, actúa como un puente biomecánico entre la cadera y el hombro.

El sistema músculo-esquelético también responde a cargas repetitivas mediante adaptaciones estructurales. Según Kraemer y Ratamess (2004), el entrenamiento progresivo produce incrementos en grosor muscular, densidad ósea y rigidez tendinosa, lo que fortalece la capacidad del cuerpo para soportar las fuerzas del tenis competitivo. Estas adaptaciones favorecen el rendimiento y reducen la incidencia de lesiones.

No obstante, si las cargas exceden la capacidad de tolerancia tisular, pueden producirse lesiones por sobreuso. Según Caine, Maffulli y Caine (2008), estas lesiones emergen cuando la recuperación es insuficiente. En el tenis, los segmentos más afectados suelen ser el hombro, la muñeca y la rodilla, debido a la naturaleza repetitiva del deporte.

La integración de todos los sistemas articulares y musculares determina la eficiencia global del movimiento. Un desequilibrio en cualquier región afecta el rendimiento en gestos que requieren coordinación intersegmentaria, como el servicio o el golpe en carrera. Sciascia y Cromwell (2012) enfatizan que las cadenas cinéticas dependen de que cada eslabón funcione adecuadamente.

En conclusión, el sistema músculo-esquelético y articular del tenista constituye una red altamente especializada que permite generar fuerza, control, estabilidad y precisión. La comprensión detallada de estos sistemas no solo mejora la preparación física, sino que orienta estrategias preventivas indispensables para un deporte tan exigente como el tenis, en el que el rendimiento depende del funcionamiento integrado de cada parte del cuerpo.

Función de la cadena cinética en golpes y desplazamientos

La cadena cinética describe la secuencia coordinada mediante la cual los segmentos corporales generan, transfieren y amplifican energía durante un movimiento. En el tenis, esta cadena comprende extremidades inferiores, pelvis, tronco, hombro, brazo, antebrazo y muñeca. Según Putnam (1993), el rendimiento óptimo se logra cuando los segmentos proximales inician la

aceleración, permitiendo que los distales actúen como amplificadores finales. En golpes como el servicio, esta secuencia determina en gran medida la velocidad de la pelota.

Durante el servicio, la cadena cinética comienza en el contacto con el suelo, donde la fuerza de reacción es transferida hacia arriba a través de tobillo, rodilla y cadera. Elliott et al. (2003) demostraron que la falta de participación efectiva de los miembros inferiores reduce la velocidad del servicio y aumenta la carga sobre el hombro. Esto subraya la importancia del impulso inicial desde la base corporal.

La extensión secuencial de cadera y columna durante la fase de armado del servicio genera un momento angular que se transfiere posteriormente al brazo. Según Kovacs y Ellenbecker (2011), esta rotación progresiva del tronco contribuye de manera sustancial al torque total. Un déficit en esta rotación, ya sea por rigidez o mala técnica, limita la capacidad de generar potencia.

En el golpe de derecha, la cadena cinética se activa desde las piernas hacia la cadera, permitiendo una rotación que impulsa el tronco hacia delante. Reid y Elliott (2002) observaron que los jugadores de élite presentan tiempos de activación más precisos, sincronizados con el desplazamiento horizontal del centro de masa, lo cual optimiza la transferencia energética hacia el miembro superior.

La estabilidad de la pelvis durante la rotación es esencial para evitar fugas de energía. Kibler y Sciascia (2010) señalan que la desalineación pélvica puede interrumpir la transmisión eficiente de fuerzas y ocasionar compensaciones que incrementan la probabilidad de lesión en la región lumbar o el hombro. En el tenis moderno, las demandas rotacionales son cada vez mayores debido a velocidades más altas y efectos más marcados.

En el revés a dos manos, la cadena cinética implica un patrón bilateral diferenciado en el que la cadera posterior conduce la rotación inicial. Elliott (2006) explica que la mano dominante actúa como acelerador final mientras la mano no dominante proporciona estabilidad y dirección. Este doble aporte muscular y articular permite mayor control y consistencia que el revés a una mano.

La desaceleración es una fase crítica pero frecuentemente ignorada dentro de la cadena cinética. Durante esta fase, músculos como el dorsal ancho, los rotadores externos del hombro y los flexores del antebrazo absorben fuerzas significativas. Escamilla et al. (2007) evidencian que fallas en la musculatura desaceleradora se asocian con lesiones por sobreuso. Esta fase, aunque pasiva, requiere un alto nivel de fuerza excéntrica.

La cadena cinética en desplazamientos laterales depende de una secuencia de activaciones rápidas en cadera, rodilla y tobillo. Hewett et al. (2006) señalan que la estabilidad de la rodilla durante cambios de dirección está estrechamente ligada a la activación del glúteo medio. El tenis, al demandar apoyos constantes en un solo pie, exige un control neuromuscular exquisito para prevenir colapsos articulares.

En desplazamientos hacia adelante, la cadena inicia con una inclinación del tronco que favorece una aceleración inicial eficiente. Moraux et al. (2017) destacan que el cuerpo crea un ángulo óptimo entre tronco y muslos que maximiza el impulso horizontal. Este principio es esencial para alcanzar pelotas cortas o responder a dejadas.

El patrón de frenado requiere una activación coordinada de cuádriceps, glúteos e isquiotibiales para absorber energía. Según Cronin y Sleivert (2005), la desaceleración efectiva es tan determinante para el rendimiento como la aceleración. En tenis, esta fase permite al jugador estar listo para ejecutar un golpe inmediato al detenerse.

El control del centro de masa es fundamental para que la cadena cinética funcione de manera continua durante los rallies. Winter (2009) señala que la estabilidad dinámica es indispensable en gestos de alta velocidad. En tenis, esta estabilidad permite transiciones fluidas entre golpe y desplazamiento, y entre defensa y ataque.

Los movimientos de recuperación posteriores a cada golpe también forman parte de la cadena cinética. Estos movimientos determinan la capacidad de retornar rápidamente a la posición ideal. Kovacs (2009) explica que los mecanismos de

recuperación dependen tanto del control postural como de la potencia de miembros inferiores.

La cadena cinética superior depende profundamente de la biomecánica escapular. Ludewig y Reynolds (2009) subrayan que fallas en la rotación superior de la escápula limitan la elevación del brazo y reducen la eficacia del golpe. Esto puede comprometer la dinámica completa del servicio o de golpes de alta velocidad.

Los músculos del antebrazo contribuyen a la fase final de la cadena cinética, modulando la orientación de la raqueta. Según Ryu et al. (2002), la muñeca actúa como un “ajustador” que controla efectos como el topspin y el slice. Estas pequeñas variaciones distales potencian la precisión y la complejidad táctica del jugador.

La interacción entre músculos, tendones y fascias añade un componente elástico a la cadena cinética. Komi (2011) explica que estos tejidos almacenan y liberan energía en cada movimiento, aumentando la eficiencia mecánica. En golpes explosivos, este almacenamiento pasivo incrementa la potencia sin requerir gasto energético adicional.

Los errores en la cadena cinética, como una activación tardía del tronco o un apoyo deficiente, generan compensaciones perjudiciales. Sciascia y Cromwell (2012) destacan que estas compensaciones suelen observarse en jugadores fatigados o con desequilibrios musculares. El resultado puede ser una disminución del rendimiento o un aumento del riesgo lesional.

La fatiga también afecta la secuencia óptima de la cadena cinética. Girard, Micallef y Millet (2011) mostraron que la velocidad del servicio disminuye cuando los jugadores pierden estabilidad en las piernas debido a la fatiga acumulada. Esto incrementa la carga en el brazo y altera la biomecánica global del golpe.

En el tenis moderno, con superficies más rápidas y pelotas de mayor rebote, la cadena cinética está sometida a mayores demandas. Elliott (2006) destaca que los jugadores necesitan desplazamientos más rápidos y golpes con más efecto, lo que obliga a una coordinación intersegmentaria altamente refinada.

Desde una perspectiva de entrenamiento, el análisis de la cadena cinética permite identificar eslabones débiles y diseñar programas específicos. Ellenbecker y Roetert (2004) recomiendan entrenamientos integrados que combinen fuerza, estabilidad, movilidad y control neuromuscular para optimizar la transferencia energética en cada golpe.

En síntesis, la cadena cinética en el tenis es un sistema dinámico que integra el esfuerzo de múltiples articulaciones y grupos musculares para producir movimientos eficaces y seguros. Su comprensión detallada es esencial para mejorar la técnica, prevenir lesiones y maximizar el rendimiento, consolidando así un enfoque integral del movimiento deportivo.

Implicaciones anatómicas para el rendimiento y la prevención de lesiones

Las implicaciones anatómicas en el rendimiento del tenista dependen directamente de la integridad estructural y funcional de cada articulación y grupo muscular implicado. Según Kibler y Safran (2000), cuando un segmento corporal presenta limitaciones —como restricción de movilidad o deficiencia de fuerza— se altera la transferencia de energía en la cadena cinética, reduciendo la potencia del golpe y aumentando el estrés en segmentos distales. Esto evidencia la importancia del equilibrio muscular y la movilidad articular.

El hombro es una de las articulaciones con mayor riesgo de lesión debido a su movilidad extrema. Ellenbecker y Cools (2010) señalan que desequilibrios entre rotadores internos y externos son factores de riesgo críticos para tendinopatías y pinzamiento subacromial. Esto afecta de manera directa el servicio, que requiere rangos de rotación externa superiores a 160° en jugadores avanzados.

La columna lumbar soporta cargas compresivas y torsionales significativas durante el servicio y golpes potentes. McGill (2016) explica que la estabilidad del core no solo protege la columna, sino que mejora la eficiencia mecánica al permitir una rotación pélvica fluida. Cuando esta región es débil o está fatigada, aumenta el riesgo de esguinces, distensiones y dolor crónico lumbar.

Las caderas cumplen un papel clave en la generación de torque rotacional. Schache et al. (2014) demostraron que una movilidad insuficiente en rotación interna o externa altera la alineación de la pelvis, lo que disminuye la velocidad

del golpe y aumenta la carga en la región lumbar. Esta limitación también obliga al jugador a modificar la técnica para compensar el déficit.

La rodilla, siendo una articulación intermedia, está influenciada por la función tanto del tobillo como de la cadera. Hewett et al. (2006) señalan que el valgo dinámico —frecuente en deportistas con debilidad en glúteo medio— aumenta el riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA). En tenis, esto ocurre en movimientos de frenado o cambios de dirección agresivos.

La estabilidad del tobillo tiene implicaciones directas en el rendimiento al permitir apoyos rápidos y seguros. Fong et al. (2007) afirman que la inestabilidad crónica aumenta la probabilidad de esguinces y disminuye la capacidad de reacción del jugador. Esto afecta el tiempo para llegar a la pelota y reduce la seguridad en desplazamientos laterales y diagonales.

El pie, con su compleja estructura, amortigua las fuerzas de impacto y mantiene la alineación de la extremidad inferior. Nigg (2010) sostiene que alteraciones como pie plano o arco elevado modifican la cinemática de tobillo, rodilla y cadera, lo que puede predisponer a lesiones por sobrecarga. Estas alteraciones también afectan la eficiencia energética durante los movimientos repetitivos del tenis.

Los tejidos blandos —tendones y fascias— cumplen un papel vital en la transmisión de energía. Komi (2011) describe que un tendón más rígido permite una transferencia más rápida de fuerzas explosivas, mientras que uno demasiado flexible aumenta el riesgo de lesiones por elongación excesiva. En jugadores jóvenes, estas diferencias son especialmente relevantes por los cambios fisiológicos del crecimiento.

La prevención de lesiones requiere una evaluación constante de la movilidad, fuerza y control neuromuscular de cada región. Según Bahr y Krosshaug (2005), la mayoría de lesiones deportivas no traumáticas se pueden anticipar identificando patrones disfuncionales antes de que se vuelvan sintomáticos. En tenis, los programas preventivos deben enfocarse en flexibilidad de cadera, estabilidad escapular y control del core.

El patrón respiratorio también influye indirectamente en el rendimiento y en la estabilidad del tronco. Hodges y Gandevia (2000) demostraron que el diafragma

participa en el control postural, especialmente durante tareas de alta demanda física. En el tenis, donde los movimientos son explosivos y frecuentes, la coordinación respiratoria contribuye a la estabilidad lumbo-pélvica.

La fatiga muscular genera alteraciones biomecánicas que incrementan el riesgo de lesiones. Girard et al. (2011) observaron que, en partidos largos, la velocidad del servicio disminuye debido a la reducción en la capacidad de las piernas para generar potencia. Esto obliga al miembro superior a asumir cargas adicionales, aumentando el estrés sobre el hombro y el codo.

Las adaptaciones estructurales del entrenamiento influyen en el rendimiento a largo plazo. Kraemer y Ratamess (2004) explican que el entrenamiento de fuerza aumenta la rigidez tendinosa y mejora la capacidad de generar fuerza rápida. Estas adaptaciones son esenciales en el tenis, donde la potencia, la agilidad y la resistencia anaeróbica determinan el nivel competitivo del jugador.

La técnica de golpeo tiene implicaciones anatómicas claras. Reid y Elliott (2002) demostraron que los jugadores que generan topspin excesivo sin una adecuada rotación de tronco incrementan la carga en el antebrazo, lo que predispone a lesiones como el “codo de tenista”. Corregir estos desbalances requiere entrenamiento técnico específico y fortalecimiento de la musculatura estabilizadora del hombro.

La coordinación intermuscular es esencial para movimientos precisos y de alta velocidad. Miller (2012) sostiene que los atletas de élite presentan un reclutamiento muscular más específico y eficiente, lo cual reduce la carga sobre estructuras pasivas. En tenis, esto se traduce en golpes más potentes con menor riesgo de fatiga y lesión.

El calentamiento y la activación previa al entrenamiento tienen un impacto directo sobre la prevención. McCrary et al. (2015) evidenciaron que protocolos de activación neuromuscular, como ejercicios de glúteo y core, reducen la incidencia de lesiones en miembros inferiores. En el tenis, preparar la musculatura estabilizadora antes de sesiones intensas es esencial para soportar cargas repetitivas.

Las asimetrías anatómicas son comunes en deportes laterales como el tenis. Ellenbecker y Roetert (2004) señalaron que los jugadores pueden desarrollar diferencias significativas en rotación interna y externa del hombro dominante. Si no se controlan, estas asimetrías pueden aumentar la probabilidad de lesiones por sobreuso.

La propiocepción es un componente crítico del control motor que influye en la prevención de lesiones. Han et al. (2015) demostraron que programas de entrenamiento propioceptivo reducen significativamente los esguinces de tobillo en deportistas. En tenis, donde los apoyos son rápidos e impredecibles, esta capacidad es indispensable.

Las superficies de juego también afectan las demandas anatómicas del deportista. Girard y Millet (2009) compararon cargas articulares en diferentes superficies, observando mayores fuerzas de impacto en canchas duras que en polvo de ladrillo. Esto tiene implicaciones para el calendario competitivo y la programación de cargas de entrenamiento.

El equipo del jugador, como el tipo de raqueta y cordaje, modifica las fuerzas transmitidas al brazo. Rae y Ducker (2014) encontraron que tensiones elevadas en el encordado aumentan la vibración y la carga sobre el antebrazo. Elegir parámetros adecuados puede reducir el riesgo de epicondilitis lateral.

En síntesis, las implicaciones anatómicas para el rendimiento y la prevención en el tenis subrayan la importancia de comprender cómo cada articulación y tejido responde a las demandas del deporte. Un enfoque integrado, basado en evidencia científica, permite optimizar el rendimiento, reducir el riesgo de lesiones y prolongar la vida deportiva del atleta, asegurando una práctica segura y eficiente.



CAPITULO II

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE BIOMECÁNICA

Cinemática y dinámica aplicadas al tenis

El estudio de la cinemática aplicada al tenis constituye la base para comprender cómo los jugadores generan movimiento eficiente mediante la interacción coordinada de múltiples segmentos corporales, que se desplazan en patrones complejos de traslación y rotación durante la ejecución de golpes fundamentales como el servicio, el drive y el revés. La cinemática, al describir el movimiento sin atender a las fuerzas que lo provocan, permite analizar trayectorias, velocidades lineales y angulares, aceleraciones y variaciones temporales que determinan la calidad técnica de la acción deportiva (Hall, 2018). En el tenis, donde la pelota puede superar los 180 km/h en golpes profesionales y donde el margen temporal para responder es extremadamente reducido, la precisión en la sincronización intersegmentaria es determinante para producir velocidad de raqueta con eficacia mecánica y mínima pérdida energética. Este enfoque cinemático permite evaluar diferencias entre patrones eficientes y disfuncionales de movimiento, revelar asimetrías propias del deporte y caracterizar cómo la mecánica del cuerpo se adapta al estilo de juego, convirtiéndose en un pilar esencial para optimizar rendimiento y prevenir lesiones en estructuras articulares altamente demandadas como hombro, codo, muñeca y cadera (Elliott, 2006). De esta manera, la cinemática no solo describe el movimiento, sino que ofrece un marco interpretativo preciso desde el cual se articula toda intervención técnico-biomecánica en la práctica del tenis.

La dinámica, por su parte, complementa el análisis cinemático al explicar las causas del movimiento y las interacciones de fuerzas internas y externas que determinan la producción, transmisión y control del impulso mecánico durante la ejecución de los golpes de tenis. Este enfoque permite comprender cómo la fuerza muscular, las reacciones articulares, el torque articular, la gravedad, el rozamiento y las reacciones del suelo se integran para generar acciones rápidas, explosivas y repetitivas con un elevado grado de precisión (Winter, 2009). En gestos como el servicio, donde la cadena cinética se organiza en una secuencia de aceleraciones progresivas desde los miembros inferiores hacia los segmentos distales, la dinámica explica qué fuerzas participan en cada transformación energética y cómo la mecánica corporal maximiza la velocidad final de la raqueta.

Además, permite evaluar los efectos de cargas internas excesivas que pueden comprometer estructuras como el manguito rotador, el complejo articular del codo o la columna lumbar, especialmente en jugadores que presentan fallas en la estabilización proximal o en la transferencia eficiente de momentos angulares (Kibler & Sciascia, 2012). La dinámica, por tanto, no se limita a cuantificar fuerzas: constituye una herramienta interpretativa esencial para comprender la funcionalidad del movimiento y su relación directa con el rendimiento y la durabilidad del atleta.

Uno de los aportes más relevantes de la cinemática en el tenis se relaciona con la capacidad de cuantificar y diferenciar la velocidad angular de los segmentos corporales durante la ejecución de los golpes. Investigaciones biomecánicas han demostrado que la velocidad angular de la cadera y el tronco precede a la aceleración del hombro, el codo y finalmente la muñeca, en un patrón denominado “secuencia proximal-distal” (Elliott et al., 2003). Este patrón constituye uno de los principios más importantes en la producción eficiente de velocidad de raqueta, ya que permite el uso óptimo del momento angular acumulado desde estructuras grandes y más potentes hacia segmentos más pequeños y rápidos. El análisis detallado de esta secuencia permite identificar interrupciones, descoordinaciones o desfasajes temporales que reducen la velocidad final del implemento o incrementan el estrés mecánico sobre articulaciones distales, especialmente en jugadores con técnica incorrecta o fatiga acumulada. La cinemática avanzada, mediante sistemas de captura 3D, ha permitido cuantificar estas secuencias con gran precisión, revelando que pequeñas variaciones en tiempo o alineación pueden traducirse en disminuciones significativas del rendimiento global del golpe, lo cual subraya la importancia de este nivel de análisis en la formación técnica de jugadores de alto nivel.

En el contexto del análisis dinámico, el estudio de las fuerzas internas desempeña un papel crucial en la comprensión del estrés mecánico que experimentan músculos, tendones y articulaciones durante golpes de alta intensidad en tenis. Estas fuerzas internas incluyen tensiones musculares, fuerzas de compresión articular, fuerzas de cizallamiento y torques que se originan como producto de la contracción muscular y la interacción articular

necesaria para manipular el implemento con precisión (Neumann, 2016). Durante el servicio, por ejemplo, estudios han mostrado que las fuerzas de distracción en la articulación glenohumeral pueden superar los valores equivalentes al peso corporal del jugador, especialmente durante la fase de desaceleración del brazo (Ellenbecker & Roetert, 2009). Este componente dinámico revela que, aunque la fase de aceleración recibe gran atención en la enseñanza técnica, la fase de desaceleración es mecánicamente más demandante, pues requiere que musculatura estabilizadora absorba y controle el impulso generado por los segmentos más distales. La dinámica interna, entonces, no solo describe las fuerzas involucradas sino que también orienta intervenciones preventivas y correctivas para asegurar la sostenibilidad del alto rendimiento.

En relación con las fuerzas externas, el tenis presenta un entorno altamente dinámico donde la reacción del suelo (GRF), el viento, la gravedad y la interacción entre la raqueta y la pelota determinan la calidad de cada movimiento. La fuerza de reacción del suelo representa el punto de partida para la generación de impulso mecánico en prácticamente todos los golpes y desplazamientos, ya que actúa como la fuerza externa mayor que el cuerpo aprovecha para iniciar acciones potentes y estables (Nigg & Wakeling, 2001). Esta fuerza se distribuye a lo largo de la cadena cinética en patrones que dependen de la postura, el tipo de apoyo y el momento del golpe, afectando directamente la capacidad de transferir energía hacia los segmentos superiores. Por ejemplo, durante el servicio, un adecuado aprovechamiento de la GRF permite al jugador generar un impulso ascendente que contribuye tanto a la elevación del centro de masa como al incremento de la velocidad angular del tronco y la extremidad superior, lo cual se traduce en un golpe más potente. Cuando esta relación mecánica falla, el jugador compensa con movimientos excesivos de los segmentos superiores que aumentan el riesgo de lesión.

La interacción entre cinemática y dinámica se hace especialmente evidente cuando se analiza el principio de conservación del momento angular durante la ejecución de golpes rotacionales en tenis, como el servicio o el forehand con topspin. La rotación del tronco es un componente clave para incrementar la

velocidad de la raqueta, ya que un aumento en el momento de inercia de los segmentos proximales permite generar un torque mayor sobre las estructuras distales, lo cual se traduce en una mayor aceleración de la raqueta (Krebs et al., 1998). En términos biomecánicos, cuando un jugador inicia la rotación del tronco con un adecuado control neuromuscular y una base de sustentación estable, puede transferir energía cinética hacia el brazo dominante mediante un flujo optimizado de momentos angulares. Sin embargo, si esta secuencia se ve interrumpida por una mala alineación, debilidad muscular o fatiga, el cuerpo puede redistribuir las cargas sobre articulaciones más vulnerables como el hombro o el codo, comprometiendo la técnica y generando riesgo de lesiones por sobreuso. Esta dinámica revela cómo la cinemática y la dinámica son inseparables, pues el análisis del movimiento no puede desligarse de las fuerzas que lo producen y controlan.

En la ejecución del servicio, uno de los golpes más estudiados biomecánicamente, la cinemática permite analizar las fases específicas del gesto —preparación, carga, aceleración, impacto y desaceleración— para comprender cómo cada etapa contribuye al rendimiento global. Investigaciones han demostrado que la fase de carga, que incluye la flexión de rodillas y la rotación previa del tronco, constituye la base mecánica que determina la magnitud del impulso que se utilizará en la fase de aceleración (Kovacs & Ellenbecker, 2011). Desde una perspectiva dinámica, esta fase representa la absorción y transformación del impulso externo generado por la fuerza de reacción del suelo, que posteriormente se convierte en energía cinética mediante la extensión coordinada de rodillas, cadera y tronco. La precisión en el análisis cinemático de estas fases permite comprender que el rendimiento del servicio no depende únicamente de la fuerza muscular, sino de la calidad con la que el jugador sincroniza sus movimientos para maximizar la transferencia de energía a la raqueta. De esta forma, la cinemática se convierte en una herramienta esencial para optimizar la técnica y mejorar el rendimiento competitivo.

La dinámica del servicio también incluye el análisis minucioso de los torques generados en la articulación del hombro, que representa uno de los puntos de mayor estrés biomecánico en el tenis competitivo. Durante la fase de aceleración, el hombro experimenta torques internos extremadamente altos, los

cuales deben ser controlados y disipados en la fase de desaceleración por musculatura estabilizadora como el manguito rotador y los músculos escapulares (Ellenbecker & Roetert, 2003). Los estudios señalan que esta fase genera fuerzas de distracción que pueden alcanzar hasta 1.5 veces el peso corporal del jugador, lo cual justifica la alta prevalencia de lesiones por sobrecarga en esta articulación. Desde la perspectiva de la dinámica interna, comprender estos torques permite diseñar protocolos de entrenamiento más seguros y eficientes, enfocados en la mejora de la fuerza excéntrica y la estabilización proximal. Esto demuestra cómo el análisis dinámico aplicado al tenis no solo explica el movimiento, sino que también ofrece estrategias para la sostenibilidad del rendimiento en atletas que ejecutan cientos de servicios diarios.

Un aspecto particularmente relevante en el análisis cinemático es el comportamiento del centro de gravedad (CG) durante los desplazamientos y golpes. El tenis, al ser un deporte de alta movilidad lateral, exige que el jugador controle su CG para mantener la estabilidad postural y la eficiencia en la transferencia de carga. La posición del CG determina la capacidad del jugador para iniciar cambios rápidos de dirección, ejecutar apoyos ajustados y mantener la estabilidad durante golpes en desplazamiento (Winter, 2009). Cuando el CG se desplaza fuera de la base de sustentación, el jugador debe activar mecanismos compensatorios que involucran incrementos en la actividad muscular y ajustes en la cinemática de cadera, rodilla y tobillo. Investigaciones sobre dinámica postural han demostrado que la eficiencia en el control del CG está directamente relacionada con la reducción del tiempo de reacción y la mejora del rendimiento global, ya que permite iniciar movimientos explosivos sin pérdida de estabilidad. Por ello, el estudio del CG es clave para comprender tanto la estabilidad dinámica como la capacidad de reacción del jugador ante situaciones de juego altamente variables.

El análisis dinámico del CG revela cómo las fuerzas externas, especialmente la reacción del suelo, interactúan con la mecánica corporal para producir movimientos eficientes. Al ejecutar un golpe en carrera, el jugador debe absorber la fuerza de impacto mediante la flexión progresiva de rodilla y cadera, lo cual permite reducir el estrés sobre las articulaciones y transformar la fuerza vertical

en desplazamiento horizontal (Nigg & Wakeling, 2001). Esta transformación constituye un ejemplo de interacción entre dinámica y control motor, ya que el atleta debe ajustar continuamente la alineación segmentaria para mantener el CG en un rango funcional que optimice la acción técnica. De no hacerlo, el cuerpo puede experimentar una sobrecarga mecánica que incremente el riesgo de lesiones en estructuras como meniscos, ligamentos y fascia plantar. Por tanto, la dinámica del CG no solo es un elemento biomecánico relevante, sino también un componente esencial de la prevención de lesiones en el tenis.

La biomecánica también analiza el papel de los principios de palanca en el movimiento, especialmente en golpes que requieren grandes amplitudes y aceleraciones como el drive y el revés. Desde un punto de vista mecánico, el brazo y la raqueta funcionan como un sistema de palanca de tercer género, en el cual la fuerza aplicada por los músculos se ubica entre el punto de apoyo (la articulación) y la resistencia (la pelota) (Neumann, 2016). Este tipo de palanca favorece la velocidad del movimiento sobre la fuerza, lo cual resulta ideal para producir rápidas aceleraciones de la raqueta. En el tenis, la capacidad de manipular este sistema de palanca mediante ajustes en el ángulo del codo, la inclinación de la raqueta y la posición de la muñeca determina la potencia y la precisión del golpe. Además, la eficiencia del sistema depende del momento de inercia del implemento, que juega un papel crítico en la producción de velocidad angular. Por ello, el análisis cinemático del brazo-raqueta es fundamental para identificar patrones óptimos de movimiento.

Profundizando en la dinámica de las palancas, el juicio mecánico indica que pequeños cambios en la longitud efectiva del brazo de palanca pueden producir alteraciones significativas en el torque disponible para acelerar la raqueta. Cuando un jugador extiende excesivamente el codo antes del impacto, el brazo de palanca aumenta, lo cual incrementa el momento de inercia y reduce la aceleración angular del sistema (Blazevich, 2012). Por el contrario, cuando existe una coordinación adecuada entre la rotación del tronco y la posición del brazo, el jugador puede mantener un momento de inercia óptimo que permite mayores velocidades finales de la raqueta sin aumentar el esfuerzo muscular. Esta interacción revela cómo la dinámica del torque se integra con la cinemática segmentaria, permitiendo analizar con precisión cómo pequeños ajustes

técnicos pueden optimizar la relación entre fuerza aplicada y velocidad generada. Además, este enfoque dinámico orienta el diseño de programas de entrenamiento técnico que favorezcan patrones eficientes y seguros.

El torque es uno de los conceptos más relevantes en la dinámica aplicada al tenis, ya que describe la capacidad rotacional que poseen las articulaciones para producir movimiento angular. Durante la ejecución del forehand, la coordinación secuencial del torque generado en la cadera, el tronco, el hombro y el codo determina la magnitud del giro que se transfiere al implemento en la fase final del golpe (Krebs et al., 1998). Desde una perspectiva biomecánica, el jugador utiliza grandes segmentos corporales como fuentes primarias de torque, mientras que los segmentos más pequeños actúan como amplificadores que incrementan la velocidad angular mediante reducciones progresivas del momento de inercia. Si en cualquier punto de la cadena se produce un retraso, una pérdida de alineación o una debilidad muscular, el torque resultante puede disminuir de manera significativa, comprometiendo tanto el rendimiento como la seguridad articular. Por esta razón, el análisis dinámico del torque permite establecer criterios objetivos para el entrenamiento técnico y la corrección biomecánica de gestos ineficientes.

La cinemática del antebrazo y la muñeca juega un papel determinante en la incidencia del spin, ya sea topspin o slice, que el jugador imprime a la pelota. Investigaciones han demostrado que la velocidad angular de la muñeca es uno de los mejores predictores del spin generado en el golpe, especialmente en jugadores de élite (Reid et al., 2013). La capacidad de la muñeca para actuar como un eslabón final de la cadena cinética permite producir incrementos significativos en la velocidad de la raqueta, lo cual exige un análisis preciso de su movimiento. Desde la perspectiva dinámica, este segmento experimenta cargas considerables debido a los torques generados durante la aceleración y desaceleración del implemento. El análisis combinado de cinemática y dinámica revela que una técnica incorrecta en este segmento puede derivar en lesiones por sobreuso como epicondilitis lateral, dado que los músculos extensores deben absorber fuerzas repetitivas en rangos articulares exigentes. Por tanto, la

cinemática de la muñeca constituye un elemento crítico en la evaluación biomecánica del tenis.

El análisis del swing del forehand muestra que la fase previa al impacto constituye uno de los momentos más sensibles desde el punto de vista dinámico, ya que el jugador debe equilibrar los torques generados en la cadera, el tronco y el hombro para asegurar que la raqueta llegue al impacto con un ángulo óptimo y una trayectoria estable. Estudios de biomecánica del deporte han demostrado que un impacto estable depende en gran medida de la estabilidad del hombro, que actúa como un pivote sobre el cual rota el brazo durante el swing (Ellenbecker & Roetert, 2009). Esta estabilidad no se refiere únicamente a la capacidad muscular, sino también a la alineación escápulo-humeral, que determina la eficiencia en la transmisión del torque generado en los segmentos proximales. Cuando esta alineación se pierde, el jugador puede experimentar reducciones en la velocidad de raqueta, pérdida de control direccional o incluso dolor debido al aumento de cargas de cizallamiento. La integración de cinemática y dinámica permite detectar estos problemas y diseñar estrategias de corrección técnica específicas.

En el análisis del revés, especialmente en su versión a dos manos, la cinemática adquiere una importancia particular debido a la compleja interacción entre ambos brazos, el tronco y el tren inferior. La coordinación intersegmentaria es fundamental para producir un golpe estable y potente, especialmente porque el jugador debe transferir energía desde el miembro inferior opuesto al brazo dominante mediante patrones de rotación y contrarrotación del tronco (Elliott, 2006). Desde la perspectiva dinámica, esta interacción requiere que ambos brazos actúen como palancas complementarias que comparten la carga mecánica, reduciendo la tensión sobre el hombro dominante. Sin embargo, esto también requiere un elevado nivel de sincronización técnica, ya que cualquier desajuste en la secuencia o en la alineación segmentaria puede generar desbalance en la aplicación del torque y comprometer el impacto. El análisis conjunto de cinemática y dinámica revela que el revés a dos manos es un gesto en el cual la eficiencia depende de la armonía entre fuerzas internas y externas.

El revés a una mano, por contraste, exige un nivel significativamente mayor de control cinemático y dinámico, ya que el brazo dominante debe producir gran parte del torque necesario sin asistencia del brazo contralateral. Este gesto requiere una rotación más pronunciada del tronco y una mayor participación de la musculatura extensora del hombro, que debe estabilizar la trayectoria de la raqueta en un plano lateral más amplio (Roetert & Kovacs, 2011). Desde la perspectiva dinámica, el revés a una mano genera mayores cargas de cizallamiento en el codo, especialmente en la articulación humero-radial, lo cual incrementa el riesgo de lesiones como la epicondilitis. El análisis biomecánico ha demostrado que los jugadores deben mantener una alineación óptima entre la escápula, el húmero y el antebrazo para disminuir estos torques excesivos. La cinemática segmentaria permite identificar deficiencias técnicas que llevan a compensaciones innecesarias en este golpe, lo que subraya la importancia del análisis detallado para el rendimiento y la prevención de lesiones.

El control del tiempo de impacto constituye otro componente esencial dentro del análisis cinemático, ya que determina la eficiencia del golpe y la precisión direccional. Investigaciones biomecánicas han evidenciado que una variación mínima en el tiempo de impacto puede generar cambios significativos en la trayectoria de la pelota, debido a la alta velocidad a la que se desplaza la raqueta en ese momento (Reid et al., 2013). Desde una perspectiva dinámica, el impacto representa una interacción directa entre fuerzas externas —como la fuerza reactiva de la pelota— e internas —como la capacidad muscular para mantener la estabilidad segmentaria—. El análisis preciso de este momento revela que la estabilidad de muñeca y antebrazo condiciona la calidad del golpe y su consistencia. Cuando el jugador no controla adecuadamente el momento del impacto, las fuerzas externas pueden transmitir cargas excesivas hacia estructuras distales, aumentando el riesgo de lesiones. Por ello, el análisis cinemático y dinámico del impacto es fundamental en la corrección técnica avanzada.

El desplazamiento en tenis también requiere un análisis cinemático detallado, ya que el jugador debe combinar movimientos lineales y laterales de manera eficiente para posicionarse adecuadamente frente a la pelota. La cinemática de

los desplazamientos incluye el análisis de variables como el tiempo de paso, la longitud de zancada, la velocidad de reacción y las transiciones entre apoyo simple y doble, elementos que determinan la eficiencia general del movimiento (Novacheck, 1998). Desde la dinámica, estos desplazamientos implican la interacción de fuerzas externas, donde la reacción del suelo desempeña un papel crucial en la producción del impulso necesario para los cambios de dirección. Cuando el jugador no controla adecuadamente estas fuerzas, puede experimentar pérdidas de estabilidad que afectan el rendimiento técnico. Por esta razón, el análisis integrado de cinemática y dinámica en los desplazamientos es esencial para el desarrollo de habilidades avanzadas en tenis.

Finalmente, el análisis del equilibrio dinámico y su relación con la cinemática postural permite comprender cómo los jugadores mantienen control del cuerpo durante gestos de alta intensidad. El equilibrio en tenis depende de la capacidad del jugador para mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación o, en situaciones más complejas, para ajustar rápidamente la postura mediante mecanismos neuromusculares que responden a perturbaciones internas y externas (Winter, 2009). Desde la dinámica, el equilibrio se relaciona con la absorción de fuerzas mediante patrones específicos de activación muscular y ajustes articulares que permiten estabilizar la postura durante golpes y desplazamientos rápidos. La cinemática del tronco, la cadera y los miembros inferiores determina cómo el jugador distribuye su peso y orienta su cuerpo en relación con la pelota. Por tanto, el equilibrio dinámico se convierte en un elemento esencial tanto para el rendimiento como para la prevención de lesiones, integrando principios de cinemática y dinámica en un mismo marco funcional.

Mecánica de fuerzas internas y externas

La dinámica aplicada al tenis permite comprender cómo las fuerzas internas y externas influyen en la producción del movimiento, la eficiencia mecánica y la estabilidad segmentaria durante los gestos técnicos. En esta disciplina, la dinámica no solo estudia la magnitud y dirección de las fuerzas, sino también la relación entre estas y los cambios en la aceleración de los segmentos corporales,

de acuerdo con la segunda ley de Newton, aspecto crítico cuando el jugador ejecuta golpes de alta velocidad como el servicio o el golpe de derecha plano (Enoka, 2015). En estas acciones, las fuerzas musculares internas deben coordinarse con las reacciones externas del suelo, la resistencia aerodinámica y la inercia del implemento deportivo, lo cual determina la amplitud del movimiento y su fluidez. Esta relación dinámica se acentúa en acciones explosivas donde la aceleración angular de las articulaciones del hombro, codo y muñeca depende de la capacidad del jugador para modular el nivel de reclutamiento muscular, sincronizar la activación neuromuscular y gestionar adecuadamente el momento de fuerza requerido para el impacto con la pelota (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012). La interacción entre fuerzas internas y externas permite entender cómo el cuerpo logra transformar energía mecánica para optimizar la transmisión de potencia a lo largo de la cadena cinética, minimizando pérdidas energéticas y previniendo tensiones excesivas en estructuras vulnerables.

En el tenis, la fuerza externa más significativa es la reacción del suelo, la cual se convierte en el punto de origen de la mayoría de los movimientos de golpeo y desplazamiento, siendo un factor decisivo para la generación de impulso y la regulación del equilibrio (McGinnis, 2020). Esta fuerza permite que el jugador produzca aceleraciones rápidas, frenadas bruscas y cambios de dirección altamente demandantes. La eficiencia con la que el cuerpo transforma esta fuerza de reacción en potencia útil depende de la rigidez de los tejidos, la técnica y la biomecánica individual. Durante los desplazamientos laterales, por ejemplo, la magnitud y dirección de la fuerza de reacción del suelo determinan la estabilidad del centro de gravedad, mientras el jugador administra el torque necesario para sostener el ángulo de la tibia y controlar el movimiento del tronco (Federation ITF, 2020). La transferencia adecuada de estas fuerzas requiere que las articulaciones soporten cargas significativas sin comprometer su integridad estructural, lo cual convierte la técnica de apoyo y la alineación articular en elementos determinantes para la prevención de lesiones por sobrecarga.

La dinámica rotacional constituye un componente esencial en los golpes de tenis, debido a que la mayoría de los gestos técnicos involucran movimientos angulares de grandes amplitudes que requieren coordinación intrasegmentaria.

Según Zatsiorsky (2002), el torque representa el agente principal que genera rotación alrededor de un eje, siendo la fuerza aplicada y la distancia perpendicular al eje los dos factores que determinan su magnitud. En el tenis, el tronco actúa como región central de generación de torque, especialmente durante el servicio y el golpe de derecha, donde la rotación de la cintura escapular y pélvica produce un efecto de catapulta sobre el miembro superior. Esta acción permite incrementar significativamente la velocidad final de la raqueta a través de la suma secuencial de momentos angulares, mecanismo conocido como “principio del eslabón distal”. La eficiencia de este proceso depende de la capacidad del jugador para iniciar el movimiento desde segmentos proximales, lo que garantiza un aumento progresivo de energía angular hacia los segmentos distales como el antebrazo y la mano, aumentando así la potencia del golpe (Kibler & Safran, 2005). La falta de sincronía en esta secuencia puede generar pérdidas de energía y aumentar la carga sobre estructuras vulnerables como el manguito rotador.

Desde la perspectiva del análisis dinámico, la aplicación del torque en el tenis también implica evaluar la resistencia que oponen los tejidos frente a la rotación y la capacidad de estabilización articular. Las estructuras musculares profundas, como los estabilizadores del hombro, cumplen una función crítica en la modulación del torque excesivo generado durante el movimiento rápido de rotación externa previa al impacto (Escamilla & Andrews, 2009). Esta acción excéntrica es especialmente relevante en jugadores que realizan golpes de alta velocidad, ya que reduce la tensión acumulada en tendones y cápsulas articulares. Además, el torque aplicado sobre la cadera durante los desplazamientos y la rotación del tronco representa otro elemento biomecánico esencial, ya que controla el posicionamiento del centro de gravedad y proporciona estabilidad mecánica durante las fases de transferencia de peso. Así, el dominio del torque no solo contribuye al rendimiento, sino que también desempeña un rol fundamental en la prevención de lesiones, al asegurar la distribución correcta de las cargas mecánicas.

El estudio del centro de gravedad en el tenis resulta esencial para comprender la estabilidad dinámica del jugador y su eficiencia en el desplazamiento. McGinnis (2020) explica que el centro de gravedad representa el punto teórico

donde se concentra el peso del cuerpo y cuya posición determina la capacidad del atleta para mantener el equilibrio frente a perturbaciones externas. En el tenis, mantener un centro de gravedad bajo y alineado con la base de soporte permite que los jugadores respondan más eficientemente a los cambios de dirección, maximizando la aceleración lateral y la capacidad de frenado. Durante la ejecución del golpe de derecha en situación abierta, por ejemplo, el jugador debe ajustar el centro de gravedad mediante la flexión de rodillas y la inclinación lateral del tronco, lo cual aumenta la estabilidad mecánica y permite dirigir el torque hacia la rotación deseada. La capacidad de manipular la posición del centro de gravedad en medio de movimientos de alta velocidad distingue a los jugadores expertos, quienes presentan patrones de control postural más eficientes y menor gasto energético.

La relación entre el centro de gravedad y la base de soporte se vuelve particularmente crítica en el contexto de los desplazamientos defensivos y ofensivos que requieren control del momentum. El momentum lineal y angular determina la capacidad del jugador para frenar o redirigir el movimiento sin comprometer la estabilidad mecánica, lo cual es especialmente importante en acciones de recuperación tras un golpe profundo del oponente (Hamill & Knutzen, 2019). En estas situaciones, el jugador debe modular la posición del centro de gravedad anticipando la dirección del siguiente movimiento, logrando un equilibrio entre estabilidad y movilidad. Cuando el centro de gravedad se desplaza fuera del límite de estabilidad relativo a la base de soporte, el jugador compromete su capacidad de respuesta, aumentando la probabilidad de errores técnicos y riesgos de lesión por sobreesfuerzo. Los jugadores expertos mantienen un control más refinado del centro de gravedad, ajustando la postura mediante microvariaciones de la alineación de cadera, tronco y rodillas que les permiten recuperar el equilibrio más rápidamente tras desplazamientos intensos. Esta habilidad postural, sustentada por el entrenamiento neuromuscular, contribuye a la eficiencia energética y a la prevención de lesiones por torques inesperados en miembros inferiores.

La mecánica de palancas es otro componente biomecánico fundamental en el tenis, ya que los segmentos corporales funcionan como sistemas de palancas

que permiten amplificar fuerza o velocidad, dependiendo de la estructura del movimiento. Según Hall (2018), las palancas en el cuerpo humano se clasifican en primer, segundo y tercer género, siendo estas últimas las más frecuentes en acciones deportivas, debido a su capacidad para generar velocidades elevadas a partir de fuerzas relativamente pequeñas. En el tenis, el brazo y la raqueta constituyen un sistema de palanca de tercer género durante la mayoría de los golpes, donde la fuerza muscular se aplica entre el fulcro (articulación del hombro o codo) y la resistencia (pelota). Este diseño anatómico favorece la velocidad angular, permitiendo que el jugador transfiera energía mecánica hacia la raqueta de manera eficiente. Sin embargo, esta ventaja mecánica implica una desventaja en términos de fuerza, ya que requiere una mayor producción muscular para mantener la aceleración, especialmente en movimientos de alta intensidad como el servicio. La capacidad del jugador para dominar esta relación entre fuerza aplicada y velocidad resultante es decisiva para la precisión y potencia del golpe.

Durante el servicio, uno de los movimientos más complejos y potentes del tenis, la palanca del brazo se combina con la acción de las piernas y el tronco para crear un sistema integrado de producción de potencia. Estudios de Elliott et al. (2003) demuestran que la magnitud de la velocidad final de la raqueta durante el servicio está directamente relacionada con la transferencia progresiva de energía desde las piernas hasta el brazo, siguiendo un patrón de eslabones cinemáticos. En este contexto, las piernas generan el impulso inicial al aplicar fuerza sobre el suelo y elevar el centro de gravedad, mientras el tronco produce torque a través de la rotación axial. La palanca del brazo amplifica esta energía, permitiendo una aceleración angular final que puede superar los 2000 grados por segundo en jugadores de élite. Esta combinación de palancas y rotación secuencial explica por qué el servicio es considerado un gesto de alta exigencia mecánica, en el que la coordinación intersegmentaria y el control del torque determinan la capacidad del jugador para generar servicios potentes y seguros.

Las fuerzas internas generadas por el sistema musculoesquelético durante acciones explosivas del tenis dependen del tipo de contracción muscular utilizada, ya sea concéntrica, excéntrica o isométrica. Según Enoka (2015), las contracciones excéntricas son especialmente relevantes en acciones deportivas que requieren desaceleración controlada, como la fase de frenado del swing

después del impacto. En el tenis, tras el contacto con la pelota, el brazo debe desacelerar rápidamente, lo que implica una alta demanda excéntrica en los músculos del hombro y del antebrazo. Esta fase es crítica para la prevención de lesiones, ya que la fuerza excéntrica permite disipar la energía mecánica generada durante la aceleración, reduciendo la carga sobre tendones y estructuras ligamentarias. Jugadores con deficiencias en fuerza excéntrica presentan mayor riesgo de lesiones por sobreuso, especialmente en el codo (epicondilitis) y en la articulación glenohumeral. El entrenamiento excéntrico, por lo tanto, no solo mejora el rendimiento sino que también fortalece los tejidos, favoreciendo la absorción de cargas repetitivas.

La dinámica de fuerzas externas también incluye la resistencia aerodinámica, la cual influye en la trayectoria de la raqueta y la pelota durante el impacto. Aunque a primera vista esta fuerza puede parecer menor, estudios de Brody (1987) indican que la resistencia del aire puede reducir la velocidad de la pelota hasta en un 15%, dependiendo del tipo de golpe, efecto y velocidad inicial. En golpes liftados, la pelota experimenta el efecto Magnus, en el cual la rotación crea una diferencia de presiones que modifica la trayectoria, aumentando la curvatura descendente. La dinámica del efecto Magnus depende del torque aplicado en la muñeca y antebrazo, que controla el ángulo de inclinación de la raqueta y la fricción generada en el contacto con la pelota. Este fenómeno permite a los jugadores incrementar el margen de seguridad sobre la red sin sacrificar potencia. Conocer este principio permite ajustar la biomecánica del golpe para maximizar control y profundidad, especialmente en superficies lentes, donde el spin se convierte en un componente táctico esencial.

El análisis de las fuerzas internas durante los desplazamientos revela que la cadera constituye uno de los principales centros de control mecánico del movimiento en el tenis. Esta articulación soporta torques significativos durante las aceleraciones y frenadas laterales, debido a que actúa como eje pivotante en la gestión del centro de gravedad (Kovacs, 2009). Durante los cambios bruscos de dirección, la cadera debe gestionar la carga generada por la reacción del suelo, lo que implica una combinación de estabilización dinámica y producción de fuerza. Si la musculatura de la cadera es insuficiente para absorber y

redistribuir estas cargas, se incrementa la tensión en articulaciones distales como la rodilla y el tobillo, aumentando el riesgo de lesiones como el síndrome femoropatelar o los esguinces de tobillo. Por esta razón, el fortalecimiento de la musculatura abductora, rotadora externa y extensora de la cadera es fundamental para optimizar la dinámica de desplazamiento y reducir la incidencia de lesiones.

El comportamiento del tronco durante los golpes, especialmente su capacidad para generar y transferir torque, constituye un elemento clave dentro de la biomecánica del tenis. Kibler y Safran (2005) indican que el tronco actúa como “motor central” en la cadena cinética, conectando la producción de fuerza de las piernas con los segmentos superiores. En el golpe de derecha, por ejemplo, la rotación del tronco inicia el movimiento angular que luego es transmitido al brazo, incrementando la potencia del golpe. Una activación deficiente del tronco conduce a una disminución de la aceleración de los segmentos distales, lo que obliga al jugador a compensar con movimientos adicionales de la muñeca o del codo, aumentando la carga en estas articulaciones. Un tronco fuerte y estable mejora la eficiencia del movimiento, reduce la variabilidad cinemática y contribuye al mantenimiento del equilibrio durante golpes en carrera o en desequilibrio, donde la transferencia de torque debe realizarse sin pérdida significativa de energía.

El hombro representa una de las articulaciones más vulnerables en el tenis debido a su gran rango de movimiento y a las altas fuerzas internas generadas durante los golpes por encima de la cabeza, como el servicio y el smash. La articulación glenohumeral soporta torques extremos durante la rotación externa y la aceleración interna, alcanzando velocidades angulares superiores a los 7000°/s en jugadores de alto rendimiento (Elliott et al., 2009). Este movimiento requiere una interacción entre músculos agonistas y antagonistas que permiten estabilizar la articulación a medida que la cabeza humeral se desplaza dentro de la cavidad glenoidea. La falta de equilibrio muscular entre rotadores internos y externos conduce a microtraumas repetitivos, provocando patologías típicas del tenis como el síndrome de pinzamiento subacromial. Así, el aumento del torque debe ser acompañado por un fortalecimiento del manguito rotador y la

musculatura escapular, lo que favorece una distribución más uniforme de las cargas.

La muñeca es otra articulación crítica en la generación de efectos y control de la dirección de la pelota. Su capacidad para ajustar ángulos de ataque y ángulos de incidencia determina la magnitud del spin y la trayectoria final del golpe. Según Reid y Elliott (2002), la muñeca participa activamente en la modulación del torque durante la fase final del swing, permitiendo ajustar la orientación de la raqueta en microsegundos. Este ajuste fino requiere una combinación de estabilidad y movilidad controlada, donde los músculos flexores y extensores del antebrazo trabajan en sinergia para estabilizar la articulación ante fuerzas reactivas del impacto. La insuficiencia muscular o la mala técnica pueden sobrecargar los tendones epicondileos, produciendo lesiones como la epicondilitis lateral o medial. Por ello, el desarrollo de fuerza isométrica y excéntrica en el antebrazo resulta esencial para manejar las demandas dinámicas del tenis moderno.

El contacto entre la raqueta y la pelota representa un instante crítico donde convergen múltiples componentes de la dinámica: velocidad relativa, ángulo de la raqueta, inercia, spin y torque aplicado. Estudios de Cross (2011) demuestran que la deformación de la pelota y las cuerdas absorbe parte de la energía del impacto, lo que reduce las fuerzas reactivas transmitidas al brazo. Sin embargo, la magnitud de esta amortiguación depende de la tensión de las cuerdas y del tipo de golpe. En golpes planos, la interacción es más rígida y genera una respuesta más lineal, mientras que en golpes con spin la pelota rueda sobre la superficie de las cuerdas, aumentando el tiempo de contacto y modificando la dirección de la fuerza resultante. Este fenómeno requiere que el jugador administre el torque de muñeca y antebrazo con precisión, ya que una técnica deficiente puede aumentar la vibración transmitida al brazo y provocar molestias o lesiones por sobrecarga.

La interacción entre dinámica interna y externa también se observa en la forma en que el jugador gestiona el equilibrio entre fuerza y velocidad. En términos mecánicos, la potencia es el producto de fuerza y velocidad, y representa un indicador clave del rendimiento en tenis (Young et al., 2005). Para optimizar la

potencia del golpe, el jugador no solo debe generar altas magnitudes de fuerza, sino también aplicarlas en el momento adecuado y en la dirección correcta. Esto implica una coordinación intrasegmentaria precisa, donde la activación muscular debe sincronizarse con las acciones de desplazamiento y posicionamiento del cuerpo. La falta de sincronía conduce a pérdidas de energía que disminuyen la velocidad de la raqueta o alteran la trayectoria del golpe. Entrenamientos que combinan fuerza explosiva, velocidad de reacción y control neuromuscular han demostrado mejorar significativamente la potencia final de los golpes, especialmente en el servicio.

Los patrones de desaceleración del cuerpo y de la raqueta tras el impacto son igualmente importantes para comprender la dinámica del tenis. Durante la fase de follow-through, el cuerpo debe manejar el momentum generado durante la aceleración sin comprometer la estabilidad ni la integridad articular. Según Elliott et al. (2003), la desaceleración requiere una activación excéntrica intensa de músculos como los rotadores externos del hombro, los extensores de la espalda y los abductores de la cadera, los cuales trabajan para disipar la energía acumulada. El objetivo de esta fase no es únicamente evitar lesiones, sino también permitir que el jugador recupere rápidamente el equilibrio para responder al siguiente golpe. Los jugadores de élite presentan patrones más eficientes de desaceleración, lo que reduce el gasto energético total y mejora la fluidez del juego. Esta eficiencia depende tanto de la técnica como de la condición física, especialmente de la fuerza excéntrica y la estabilidad del core.

El equilibrio dinámico es un elemento esencial durante los desplazamientos de alta intensidad, ya que el jugador debe mantener la alineación del cuerpo mientras gestiona fuerzas horizontales y verticales. Investigaciones de Sanches et al. (2018) muestran que los jugadores con mayor estabilidad dinámica reducen la variabilidad en la trayectoria del centro de gravedad, lo que se traduce en una mayor eficiencia en el movimiento y menor riesgo de lesiones. Esta estabilidad está directamente relacionada con la capacidad del sistema neuromuscular para anticipar perturbaciones y ajustar la postura mediante respuestas rápidas. En el tenis, estas perturbaciones pueden incluir impactos inesperados, deslizamientos, cambios abruptos de velocidad o transiciones entre movimientos ofensivos y defensivos. La integración del sistema vestibular, propioceptivo y visual juega un

papel clave en este control, favoreciendo la orientación espacial y la corrección de desequilibrios en tiempo real.

El análisis dinámico también se extiende al comportamiento del pie durante los apoyos, donde fuerzas internas y externas convergen para permitir movimientos explosivos. Durante la fase de amortiguación tras un aterrizaje o cambio de dirección, el pie actúa como un mecanismo elástico que absorbe la carga mediante la deformación del arco plantar y el trabajo excéntrico de la musculatura intrínseca (Nigg & Wakeling, 2001). Esta capacidad elástica permite almacenar energía potencial que puede liberarse durante la propulsión, aumentando la eficiencia del movimiento. Sin embargo, la técnica de apoyo es fundamental para evitar sobrecargas. Un apoyo inadecuado puede generar torques excesivos en la rodilla o la cadera, reduciendo la estabilidad y aumentando el riesgo de lesiones. El calzado específico para tenis ayuda a distribuir adecuadamente estas cargas, mejorando la tracción y la absorción de impactos.

Finalmente, la integración de la cinemática y dinámica en el análisis del tenis permite comprender por qué este deporte demanda una combinación excepcional de coordinación, fuerza, estabilidad y precisión técnica. Cada golpe y desplazamiento implica una interacción compleja entre fuerzas internas generadas por la musculatura y fuerzas externas provenientes del entorno, como la reacción del suelo y la resistencia del aire. El dominio de los principios de palanca, torque y centro de gravedad permite optimizar la transferencia de energía a través de la cadena cinética, maximizando el rendimiento y minimizando el riesgo de lesiones. Esta comprensión biomecánica no solo es relevante para los jugadores, sino también para entrenadores, fisioterapeutas y preparadores físicos, quienes deben diseñar programas de entrenamiento que se alineen con las demandas específicas del movimiento y las exigencias mecánicas del tenis moderno.

Principios de Palanca, Torque y Centro de Gravedad

os principios de palanca constituyen la base mecánica desde la cual se puede explicar la mayoría de los movimientos humanos, ya que describen cómo los

huesos, articulaciones y músculos interactúan como un sistema de barras rígidas, puntos de apoyo y fuerzas aplicadas. En el cuerpo humano, este sistema no opera de manera simple como las máquinas estáticas, sino que funciona de forma dinámica, coordinada y adaptable, permitiendo la ejecución de gestos complejos que requieren rapidez, potencia, estabilidad o precisión. Las palancas anatómicas permiten amplificar la velocidad angular o la fuerza dependiendo de la disposición del punto de apoyo, el lugar donde actúa la fuerza muscular y la posición de la resistencia externa. En actividades deportivas, este principio es determinante, pues explica cómo un movimiento aparentemente pequeño en segmentos proximales puede ocasionar aceleraciones enormes en segmentos distales, como ocurre en las acciones de golpeo, lanzamiento o remate. En poblaciones con discapacidad, comprender el funcionamiento de estas palancas es esencial para rediseñar tareas motoras y ajustar posturas que disminuyan momentos mecánicos perjudiciales y reduzcan el riesgo de sobrecarga articular.

El cuerpo humano utiliza predominantemente palancas de tercer género, lo que implica que la fuerza muscular se aplica entre el punto de apoyo y la resistencia, otorgando así ventajas en términos de velocidad y rango de movimiento a costa de requerir altos niveles de fuerza interna. Esto explica por qué los músculos deben generar fuerzas muchas veces superiores al peso del segmento corporal que mueven para permitir acciones rápidas y precisas. Esta configuración es ideal para ejecutar movimientos atléticos que requieren rapidez y amplitud, como los desplazamientos explosivos o las acciones de orientación de segmentos distales. Sin embargo, también convierte al sistema musculoesquelético en una estructura vulnerable ante cargas excesivas, sobre todo cuando existe debilidad muscular, restricciones de movilidad o fatiga. En contextos terapéuticos y de actividad física adaptada, comprender la relación entre la fuerza aplicada y el brazo de palanca es fundamental para evitar disposiciones articulares que comprometan el equilibrio entre movilidad y estabilidad, especialmente en personas con limitaciones funcionales.

Las palancas de primer y segundo género, aunque menos frecuentes en el cuerpo humano, cumplen funciones importantes en tareas que requieren sostén de carga, control postural y producción eficiente de fuerza. Un ejemplo de palanca de primer género es la articulación atlanto-occipital cuando se inclina la

cabeza hacia adelante o hacia atrás, permitiendo que los músculos posteriores del cuello actúen como fuerza de contrapeso. Las palancas de segundo género, donde la resistencia se sitúa entre el punto de apoyo y la fuerza, brindan ventaja mecánica para levantar cargas con menor esfuerzo muscular, como ocurre durante la elevación del talón en la marcha. En actividades deportivas y rehabilitativas, modificar la posición de la resistencia y el punto de apoyo puede transformar la demanda muscular, lo que abre oportunidades para diseñar estrategias de entrenamiento progresivo o ejercicios adaptados orientados a fortalecer segmentos específicos sin comprometer las estructuras articulares sensibles.

El torque, también conocido como momento de fuerza, representa la tendencia de una fuerza a producir rotación alrededor de un eje, y constituye un principio esencial para comprender cómo se generan los movimientos articulares. La magnitud del torque depende tanto de la fuerza aplicada como de la distancia perpendicular al eje de rotación —el brazo de momento—, lo que implica que pequeños cambios en la posición de un segmento corporal pueden tener efectos enormes en la carga que deben soportar los músculos y las articulaciones. Cuando un segmento se aleja del cuerpo o se extiende completamente, el brazo de momento aumenta y los músculos requieren generar torques mayores para sostener o mover la extremidad. Este principio explica por qué actividades como levantar objetos con los brazos extendidos o mantener posiciones antigravitatorias prolongadas producen fatiga rápida. En el contexto del entrenamiento o la actividad física adaptada, ajustar el brazo de momento es una estrategia clave para modular la intensidad del ejercicio y proteger estructuras vulnerables.

En los movimientos funcionales, el torque no se produce de manera aislada en una sola articulación, sino que se distribuye a través de diferentes segmentos corporales mediante una compleja interacción entre músculos agonistas, antagonistas y estabilizadores. Esta distribución permite que el cuerpo ejecute acciones coordinadas como caminar, correr, transferirse, empujar una silla de ruedas o lanzar un objeto. La producción de torque debe ser secuencial y sincronizada, especialmente durante movimientos de cadena cinética abierta o

cerrada, de modo que la fuerza se transmita eficientemente entre segmentos proximales y distales. Cuando existe una interrupción en esta cadena —por debilidad, dolor, restricciones articulares o alteraciones neuromusculares—, la generación de torque se ve comprometida y aparecen compensaciones que pueden producir estrés mecánico excesivo. En rehabilitación, comprender estos patrones permite identificar eslabones débiles y diseñar intervenciones enfocadas en re establecer la secuencia correcta de generación de torque en cada fase del movimiento.

El control del torque también depende de la capacidad neuromuscular para modular la activación muscular según la dirección, la velocidad y la magnitud de la fuerza requerida. En actividades deportivas, esta capacidad permite producir torques explosivos que generan potentes rotaciones en el tronco, las extremidades superiores o inferiores. En tareas de la vida diaria, en cambio, se requieren torques más pequeños pero sostenidos para mantener posturas, elevar objetos, estabilizar segmentos o realizar movimientos repetitivos. Las personas con alteraciones en el control motor suelen presentar dificultades para dosificar la cantidad de torque, lo que se traduce en movimientos rígidos, disincronizados o inseguros. Por ello, programas de entrenamiento orientados al desarrollo del control neuromuscular suelen centrarse en ejercicios que permitan ajustar el ángulo articular, el brazo de momento o la velocidad del movimiento para mejorar la producción y absorción del torque en contextos variados.

El centro de gravedad —o centro de masa— es uno de los conceptos más importantes para comprender la estabilidad corporal y el equilibrio durante actividades estáticas y dinámicas. A diferencia de los objetos rígidos, el cuerpo humano posee un centro de gravedad que cambia continuamente con cada movimiento de las extremidades, el tronco o la cabeza. Este desplazamiento influye directamente en la estabilidad, ya que el cuerpo solo puede mantenerse en equilibrio mientras el centro de gravedad se sitúe dentro de la base de sustentación. Cuando se desplaza fuera de estos límites, el cuerpo debe generar ajustes posturales rápidos, ya sea mediante movimientos articulares, contracciones musculares o cambios en la base de apoyo. En actividades deportivas y tareas funcionales, la capacidad para reubicar el centro de gravedad rápidamente constituye un componente esencial para mantener el control del

movimiento y evitar caídas, especialmente en situaciones donde existen perturbaciones externas.

La base de sustentación, entendida como el área delimitada por los puntos de apoyo del cuerpo, actúa como el marco sobre el cual se gestiona el centro de gravedad. Una base amplia proporciona mayor estabilidad, facilitando tareas como el levantamiento de objetos pesados, la ejecución de movimientos de amplitud limitada o el mantenimiento de posturas prolongadas. Por el contrario, una base estrecha exige mayor control neuromuscular para sostener el equilibrio. Las actividades deportivas suelen requerir transiciones rápidas entre bases amplias y estrechas, lo que permite movimientos ágiles y explosivos, pero también incrementa la dificultad para controlar el centro de gravedad. En personas con discapacidad, adaptar la base de apoyo —ya sea mediante dispositivos, modificaciones posturales o apoyos adicionales— permite mejorar la estabilidad y facilitar la ejecución de actividades que, de otro modo, resultarían demasiado desafiantes o inseguras.

a manipulación del centro de gravedad es un recurso fundamental para mejorar la eficiencia del movimiento y la economía energética. Bajar el centro de gravedad mediante la flexión de rodillas, cadera y tobillos aumenta la estabilidad durante tareas que requieren fuerza o resistencia, como levantar cargas, estabilizar el tronco o absorber impactos. Elevar el centro de gravedad, en cambio, facilita movimientos largos y fluidos, aunque reduce la estabilidad. En contextos deportivos, el control del centro de gravedad permite ejecutar cambios de dirección rápidos, aterrizajes más seguros y movimientos de transición que dependen de la transferencia del peso corporal. En contextos terapéuticos, modificar la altura del centro de gravedad ayuda a entrenar habilidades relacionadas con el equilibrio, la coordinación y el control postural, especialmente en personas que han perdido la capacidad de estabilizarse de manera autónoma.

La interacción entre palancas, torque y centro de gravedad se refleja de manera clara en los movimientos de cadena cinética, los cuales representan la secuencia a través de la cual las fuerzas y los momentos mecánicos se transmiten entre diferentes segmentos corporales. En las cadenas cinéticas cerradas —como

ponerse de pie, empujar un objeto fijo o realizar una sentadilla—, la base de apoyo es estable y el torque generado por cada articulación debe sincronizarse para mantener el centro de gravedad dentro de límites seguros. En las cadenas abiertas —como lanzar un objeto o elevar los brazos—, la libertad de movimiento del segmento distal incrementa las demandas de estabilidad en el tronco y en la musculatura proximales. Deficiencias en cualquiera de estas interacciones pueden llevar a una transmisión ineficiente de fuerza, un aumento de la carga sobre estructuras sensibles o la aparición de compensaciones peligrosas, especialmente en poblaciones con déficit de fuerza, control motor o movilidad.

El análisis biomecánico de las palancas corporales permite identificar posiciones articulares que maximizan la eficiencia mecánica o, por el contrario, aumentan la carga sobre el sistema. Cuando un segmento se encuentra alineado verticalmente con la gravedad, el torque requerido para sostenerlo es mínimo. Pero a medida que el segmento se aleja del eje vertical —como al extender un brazo hacia adelante—, el brazo de momento aumenta y el torque necesario para mantener la posición se incrementa exponencialmente. Este principio explica por qué ejercicios aparentemente simples pueden resultar extremadamente intensos cuando el ángulo articular cambia ligeramente. En personas con debilidad muscular o con restricciones neuromotoras, estas variaciones en el brazo de palanca pueden significar la diferencia entre una tarea realizable y una que genere fatiga, dolor o riesgo de lesión.

En el ámbito deportivo, el torque se utiliza estratégicamente para aumentar la potencia de movimientos complejos. Por ejemplo, la rotación del tronco en un lanzamiento o un golpe no solo incrementa el torque disponible en las articulaciones involucradas, sino que también ayuda a transferir fuerza desde los segmentos proximales hacia los distales. Este fenómeno, conocido como “principio del eslabón distal”, permite que la velocidad generada en la cadera se amplifique en el tronco, luego en el hombro, posteriormente en el codo y finalmente en la muñeca o la mano. En deportes de raqueta, esta secuencia resulta fundamental para lograr golpes potentes y precisos sin causar tensiones excesivas en estructuras vulnerables. La interrupción de esta transmisión —por mala técnica, lesiones o desequilibrios musculares— puede llevar a una

distribución ineficiente de las cargas y aumentar el riesgo de lesiones por sobreuso.

Desde una perspectiva pedagógica, enseñar el funcionamiento de las palancas y el torque permite que los estudiantes comprendan la importancia de adoptar posturas correctas, alinear segmentos y modular la intensidad del movimiento en distintas actividades. En educación física, estos principios son esenciales para promover patrones de movimiento seguros y eficientes, tanto en habilidades básicas como en habilidades deportivas especializadas. El análisis biomecánico permite identificar errores técnicos, corregir desviaciones y diseñar estrategias metodológicas que faciliten la comprensión motriz. En las fases iniciales del aprendizaje, manipular el brazo de palanca —por ejemplo, reduciendo la longitud de segmentos o modificando la distancia entre el cuerpo y la resistencia— ayuda a que los estudiantes desarrollen control, coordinación y estabilidad antes de aumentar la dificultad de los ejercicios.

En contextos de discapacidad, el centro de gravedad adquiere una relevancia especial debido a que muchas condiciones alteran la forma en que el cuerpo distribuye su masa o controla su postura. Amputaciones, malformaciones estructurales, debilidad neuromuscular o el uso de prótesis modifican el centro de masa del cuerpo y, con ello, las estrategias que la persona requiere para mantenerse en equilibrio. El análisis postural permite identificar los cambios que se producen en la estabilidad estática y dinámica, facilitando la adaptación de tareas motoras y la selección de ayudas técnicas que permitan compensar estas modificaciones. La ubicación del centro de gravedad influye de manera directa en la capacidad para caminar, transferirse, empujar una silla de ruedas o realizar actividades de autocuidado, por lo que comprender su dinámica se convierte en un componente fundamental de la actividad física adaptada.

Los desplazamientos del centro de gravedad están íntimamente ligados al control del tronco, el cual actúa como eje central del cuerpo y punto clave desde el cual se distribuyen las fuerzas y torques necesarios para ejecutar movimientos estables y coordinados. La musculatura profunda del tronco permite mantener el centro de gravedad dentro de la base de apoyo, incluso durante movimientos rápidos o desestabilizantes. En personas con lesiones medulares o

enfermedades neuromusculares, esta musculatura suele estar comprometida, lo que genera dificultades para estabilizar el tronco y controlar los desplazamientos del centro de masa. En estos casos, se vuelve necesario ajustar la base de sustentación, emplear apoyos externos o reducir el brazo de palanca para facilitar tareas básicas como sentarse, inclinarse o transferirse.

a relación entre torque y centro de gravedad también determina la forma en que el cuerpo responde ante perturbaciones externas, como empujes, cambios inesperados de superficie o movimientos rápidos que ponen en riesgo la estabilidad. Un centro de gravedad elevado hace que la recuperación del equilibrio dependa de la capacidad para generar torques correctivos rápidos y precisos en las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo. Esto explica por qué personas con dificultades neuromotoras, debilidad muscular o problemas propioceptivos presentan mayor riesgo de caídas, especialmente en superficies irregulares. En contextos de entrenamiento, fortalecer la musculatura estabilizadora y mejorar la capacidad para generar torques rápidos puede reducir significativamente este riesgo, además de mejorar la capacidad funcional y la seguridad durante actividades cotidianas.

En términos de eficiencia mecánica, el objetivo del movimiento humano es producir el torque necesario con el menor gasto energético posible, lo cual requiere un equilibrio adecuado entre la fuerza muscular, la alineación postural y la coordinación intersegmentaria. Cuando estos elementos se encuentran desajustados, el cuerpo debe generar torques compensatorios que incrementan la fatiga, reducen la precisión y aumentan la probabilidad de lesión. Por ejemplo, una mala alineación de la rodilla durante la marcha obliga a la musculatura estabilizadora a generar torques adicionales para evitar el colapso medial, lo que incrementa la carga sobre la articulación y puede derivar en dolor o deformidades. La educación física y la rehabilitación orientadas desde la biomecánica buscan corregir estos patrones, enseñar posiciones más eficientes y promover la conciencia corporal para optimizar la distribución del torque.

Modificar el centro de gravedad es una herramienta metodológica clave para diseñar progresiones de aprendizaje motor. Actividades que exigen mantener el centro de gravedad dentro de límites estrechos —como caminar sobre una línea,

pasar por superficies inestables o controlar un objeto mientras se mantiene una postura— mejoran la propiocepción, el control neuromuscular y la estabilidad dinámica. En cambio, tareas que requieren desplazar el centro de gravedad — como saltos, giros o cambios de dirección— entrena la capacidad del cuerpo para absorber y redirigir fuerzas sin comprometer la postura. En personas con discapacidad, ajustar la altura del centro de gravedad o la base de sustentación permite iniciar el entrenamiento desde condiciones seguras y progresar hacia tareas más complejas conforme mejora el control motor y la confianza del participante.

Las palancas corporales también desempeñan un rol central en la adaptación y el diseño de ayudas técnicas, como prótesis, órtesis, bastones o sillas de ruedas. La longitud del dispositivo, la ubicación del punto de apoyo, la distribución del peso y la posición del usuario afectan directamente el brazo de palanca y la cantidad de torque necesaria para realizar una acción. Un ajuste incorrecto puede aumentar la carga sobre las articulaciones, reducir la eficiencia del movimiento o comprometer la estabilidad del usuario. Por ello, el análisis biomecánico es fundamental para seleccionar o diseñar dispositivos que respeten los principios de palanca y torque, minimicen esfuerzos innecesarios y faciliten la funcionalidad. En deportes adaptados, estos principios permiten optimizar la configuración de tecnologías deportivas que potencien el rendimiento sin aumentar el riesgo de lesión.

El estudio integrado de los principios de palanca, torque y centro de gravedad proporciona una comprensión profunda del movimiento humano y permite optimizarlo en función de las necesidades de cada individuo. Estos principios no solo explican las mecánicas básicas que permiten a una persona caminar, saltar, empujar, lanzar o girar, sino que también sirven como guía para corregir patrones ineficientes, diseñar programas de entrenamiento personalizados, elaborar intervenciones rehabilitativas y adaptar actividades a poblaciones con necesidades específicas. La biomecánica se convierte así en un puente entre el conocimiento teórico y la práctica profesional, aportando herramientas que permiten mejorar la calidad del movimiento, reducir la fatiga, prevenir lesiones y

favorecer la participación plena en actividades físicas, deportivas y de la vida diaria.

CAPITULO III

FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO ESPECÍFICA PARA EL TENIS

Demandas metabólicas del juego en el tenis

El tenis se ha consolidado como uno de los deportes con mayor complejidad metabólica debido a su estructura intermitente, la alternancia entre esfuerzos explosivos y breves períodos de recuperación, y la duración total de los partidos, que pueden extenderse desde menos de una hora hasta superar ampliamente las cuatro horas, especialmente en escenarios de alta competencia. Este patrón obliga al organismo a combinar sistemas energéticos con predominancia variable en función de la intensidad de los puntos, el estilo de juego, la superficie y las características fisiológicas del atleta (Fernández-Fernández et al., 2019). La alta variabilidad en el ritmo cardiometabólico requiere una capacidad de respuesta flexible tanto del metabolismo aeróbico como anaeróbico, creando una demanda mixta que diferencia al tenis de deportes más continuos como el atletismo o la natación. En este sentido, el jugador debe poseer recursos para ejecutar acciones explosivas repetidas, pero también una reserva aeróbica suficiente para sostener la recuperación entre puntos y a lo largo del partido, integrando de manera simultánea potencia, resistencia y eficiencia fisiológica (Kovacs, 2007).

El metabolismo anaeróbico aláctico es el principal responsable de las acciones explosivas que caracterizan el juego moderno, especialmente en desplazamientos cortos, cambios bruscos de dirección, saltos, frenadas y en golpes que requieren altas tasas de producción de fuerza en muy poco tiempo. Estas acciones, que por lo general duran entre dos y seis segundos, demandan la rápida movilización de ATP y fosfocreatina, permitiendo que el jugador ejecute esfuerzos máximos sin depender de procesos metabólicos más lentos (Reid & Schneiker, 2008). En el tenis de alto rendimiento, la contracción muscular explosiva se ve facilitada por la disponibilidad de fosfocreatina intramuscular, cuyo agotamiento progresivo condiciona el rendimiento durante rallies intensos o secuencias de puntos prolongados. No obstante, el atleta que posee mayores concentraciones basales de fosfocreatina o mejor capacidad de resíntesis durante el descanso entre puntos puede sostener niveles de potencia más estables, lo cual otorga ventaja competitiva al permitir mantener la calidad del golpeo incluso en fases de alta exigencia fisiológica (Murias et al., 2020).

El metabolismo anaeróbico láctico también complementa la demanda energética en el tenis, especialmente cuando los intercambios alcanzan duraciones superiores a los diez o doce segundos, lo que ocurre con mayor frecuencia en superficies lentas como la arcilla. En estos escenarios, el aporte energético depende en mayor medida de la glucólisis anaeróbica, generando lactato como subproducto y comprometiendo parcialmente el pH muscular cuando la recurrencia de esfuerzos intensos aumenta (Fernández-Fernández et al., 2019). Aunque el lactato por sí mismo no es el causante directo de la fatiga, su acumulación refleja una demanda energética elevada que puede interferir con la capacidad del jugador para repetir esfuerzos explosivos con la misma calidad técnica. La acumulación de iones de hidrógeno puede alterar la función enzimática y disminuir la eficiencia de la contracción muscular, especialmente en músculos primarios de desplazamiento como el cuádriceps y el glúteo mayor, así como en los músculos estabilizadores del core, indispensables para mantener la calidad del golpe en condiciones de alta intensidad (Kovacs, 2007).

A pesar de la predominancia anaeróbica durante acciones específicas, el metabolismo aeróbico constituye el sostén principal de la recuperación durante los intervalos entre puntos, cambios de lado y pausas reglamentarias, así como del mantenimiento del rendimiento técnico y cognitivo durante toda la duración del partido. La resíntesis de fosfocreatina, la remoción de lactato, la recuperación de la homeostasis iónica y la regulación de la temperatura corporal dependen en gran medida de la eficiencia oxidativa, que se relaciona estrechamente con el consumo máximo de oxígeno y la densidad capilar en los músculos implicados (Murias et al., 2020). En jugadores con mayor capacidad aeróbica, la recuperación metabólica entre puntos es más rápida, lo que minimiza el deterioro técnico asociado a la fatiga acumulada. Por ello, incluso cuando las acciones decisivas del tenis dependen del metabolismo anaeróbico, la calidad del rendimiento sostenido a lo largo del partido permanece estrechamente ligada al acondicionamiento aeróbico del atleta (Reid & Schneiker, 2008).

La eficiencia aeróbica no solo condiciona la recuperación metabólica, sino que también influye en la termorregulación, un factor crítico en partidos disputados a

temperaturas elevadas. La capacidad del organismo para disipar calor y mantener la estabilidad térmica depende de una adecuada circulación sanguínea, del volumen plasmático y de la estabilidad del sistema cardiovascular, elementos que se ven incrementados con el entrenamiento aeróbico. En ambientes calurosos, la temperatura central puede elevarse significativamente, afectando la función neuromuscular y cognitiva, deteriorando la precisión técnica y aumentando el riesgo de errores tácticos y técnicos (Kovacs, 2007). Por ello, la preparación aeróbica se convierte en una herramienta fundamental no solo para el rendimiento, sino también para la seguridad fisiológica del jugador. Jugadores con mejor capacidad aeróbica presentan menor variabilidad en la calidad técnica bajo estrés térmico, lo que confirma el papel integrador del metabolismo oxidativo como modulador del rendimiento en tenis (Fernández-Fernández et al., 2019).

La superficie de juego también condiciona las demandas metabólicas, ya que determina la duración de los puntos y la intensidad de los desplazamientos. En canchas de arcilla, los intercambios suelen ser más prolongados, lo que incrementa considerablemente la demanda aeróbica y los requerimientos de resistencia muscular. En contraste, en superficies rápidas como el césped o el hardcourt, los puntos suelen ser más cortos pero más explosivos, con mayor participación del sistema anaeróbico aláctico debido a la frecuencia elevada de servicios potentes y golpes agresivos desde la línea de base (Reid & Schneiker, 2008). Esta variabilidad obliga al jugador a adaptarse metabólicamente según el tipo de superficie y a ajustar su preparación física para responder a las demandas energéticas específicas. De esta manera, un jugador especialista en arcilla suele desarrollar una capacidad aeróbica superior, mientras que un jugador orientado al césped o a pistas duras requiere mayor potencia y eficiencia anaeróbica, lo que refleja la naturaleza multifacética del tenis moderno (Kovacs, 2007).

El estilo de juego del tenista también determina la distribución metabólica durante un partido. Jugadores agresivos, caracterizados por buscar golpes ganadores y servicios potentes, dependen especialmente del sistema fosfágeno y requieren una alta potencia anaeróbica para sostener su estilo ofensivo. En cambio, jugadores defensivos o contraatacadores tienden a generar intercambios más

largas y una mayor cantidad de desplazamientos, lo que incrementa la demanda aeróbica y exige una capacidad de recuperación superior (Fernández-Fernández et al., 2019). Además, los primeros suelen presentar un mayor deterioro técnico en condiciones de acumulación de fatiga anaeróbica, mientras que los segundos deben gestionar cuidadosamente la fatiga aeróbica acumulada durante largos períodos de juego. Esto evidencia que la estrategia táctica no solo depende de decisiones cognitivas, sino también del perfil metabólico del jugador y de su capacidad para sostener su estilo de juego en escenarios de alta exigencia (Murias et al., 2020).

Los patrones de desplazamiento en tenis representan una carga metabólica significativa debido a la constante alternancia entre aceleraciones, desaceleraciones, saltos laterales y cambios de dirección a alta velocidad. Cada desplazamiento puede durar entre uno y tres segundos, pero implica una producción de fuerza considerable en tiempos muy reducidos, lo que aumenta la demanda sobre el sistema anaeróbico aláctico. Al mismo tiempo, la repetición constante de estos movimientos a lo largo del partido obliga al sistema aeróbico a sostener la recuperación entre esfuerzos, integrando así ambos sistemas metabólicos en un ciclo continuo (Kovacs, 2007). Cuando el jugador no posee un acondicionamiento adecuado, la calidad de los desplazamientos se deteriora, generando movimientos más lentos, un centro de gravedad más alto y una disminución en la estabilidad del golpe, lo que repercute directamente en la eficacia técnica y táctica del juego (Reid & Schneiker, 2008).

La duración total del partido constituye otro factor clave para comprender las demandas metabólicas del tenis. A diferencia de deportes con tiempos de juego fijos, el tenis no posee una duración preestablecida, lo que genera un componente impredecible que afecta la planificación fisiológica y energética. Un partido puede extenderse más allá de las tres horas, lo que obliga al jugador a mantener la estabilidad fisiológica, técnica y cognitiva durante períodos prolongados, con múltiples fluctuaciones en la intensidad del juego (Fernández-Fernández et al., 2019). Esta característica convierte al tenis en un deporte de resistencia intermitente, donde la capacidad para sostener la eficiencia metabólica a largo plazo es tan importante como la capacidad para generar

potencia en momentos puntuales. Cuando el partido se prolonga, la capacidad aeróbica adquiere un rol todavía más decisivo, ya que permite mantener la homeostasis fisiológica y la precisión técnica incluso en condiciones de fatiga acumulada (Murias et al., 2020).

Los requerimientos energéticos también están influidos por el nivel competitivo del jugador. Los tenistas de élite presentan perfiles metabólicos más equilibrados, con una capacidad superior para alternar entre acciones explosivas y recuperación rápida entre puntos. Esto se debe a una mayor densidad mitocondrial, mejores reservas de fosfocreatina y una mayor eficiencia cardiovascular, que les permite sostener esfuerzos de alta intensidad sin un deterioro técnico significativo (Reid & Schneiker, 2008). En jugadores de niveles inferiores, la capacidad de recuperación es menor, lo que se traduce en fatiga prematura y errores técnicos cada vez más frecuentes a medida que avanza el partido. Por ello, las diferencias en el rendimiento no solo provienen del aspecto técnico o táctico, sino de la capacidad metabólica del atleta para sostener la calidad del juego a lo largo del encuentro (Fernández-Fernández et al., 2019).

La intensidad de los puntos también condiciona la respuesta metabólica. En puntos de alta exigencia, como aquellos donde los jugadores disputan rallies prolongados con intercambio de golpes potentes desde el fondo de la cancha, la demanda combinada de los sistemas anaeróbicos y aeróbicos alcanza niveles muy elevados. La capacidad para sostener estos intercambios depende de la eficiencia de los procesos metabólicos y de la estabilidad del sistema cardiorrespiratorio, que debe mantener un suministro adecuado de oxígeno a los músculos activos (Murias et al., 2020). En este sentido, la economía del movimiento adquiere relevancia, ya que jugadores con técnica depurada pueden mantener un alto nivel de producción de fuerza con menor gasto energético, lo que reduce la fatiga y preserva la calidad técnica bajo estrés.

Adaptaciones cardiovasculares, musculares y neuromotoras en el tenis

Las adaptaciones cardiovasculares derivadas del entrenamiento sistemático en tenis resultan esenciales para sostener la compleja demanda fisiológica propia del deporte, especialmente considerando que los partidos pueden extenderse durante largos períodos y que las acciones de alta intensidad deben repetirse

con eficacia. El corazón de un tenista entrenado presenta un mayor volumen sistólico y una mayor eficiencia en el gasto cardíaco, lo cual permite un transporte de oxígeno optimizado hacia los músculos implicados en desplazamientos, frenadas y golpes (Fernández-Fernández et al., 2019). Este incremento en la capacidad de bombeo no solo mejora la entrega de oxígeno en momentos de exigencia, sino también durante los periodos de recuperación, permitiendo reponer rápidamente la fosfocreatina y facilitar la eliminación de subproductos metabólicos asociados a la actividad anaeróbica. De esta manera, el sistema cardiovascular se convierte en un componente clave para sostener la calidad técnica y reducir el deterioro biomecánico durante partidos prolongados, donde las respuestas fisiológicas deben mantenerse estables pese al desgaste acumulado (Murias et al., 2020).

Dentro de las adaptaciones cardiovasculares también destaca el aumento del volumen plasmático, un fenómeno que mejora la estabilidad hemodinámica del deportista y facilita la regulación térmica durante partidos disputados en climas calurosos. El incremento del volumen plasmático permite un flujo sanguíneo más eficiente hacia la piel, potenciando la disipación de calor sin comprometer el suministro de oxígeno a los músculos activos (Kovacs, 2007). Esta capacidad de mantener la temperatura corporal dentro de rangos fisiológicos resulta fundamental para evitar el deterioro cognitivo y neuromuscular, especialmente en situaciones típicas de torneos de verano o partidos en horas de mayor radiación. Además, un mayor volumen plasmático permite gestionar mejor la pérdida de líquidos a través del sudor, reduciendo los efectos adversos de la deshidratación sobre la viscosidad sanguínea, la capacidad de transporte de oxígeno y la eficiencia del sistema cardiovascular en su conjunto (Fernández-Fernández et al., 2019).

Otra adaptación relevante es la mejora en la densidad capilar, especialmente en músculos clave del tren inferior como el cuádriceps, los isquiotibiales y los glúteos, responsables de la mayoría de desplazamientos explosivos en el tenis. La mayor densidad capilar permite un intercambio gaseoso y un transporte de nutrientes más eficientes, optimizando el rendimiento oxidativo y reduciendo la acumulación de metabolitos asociados a la fatiga muscular (Reid & Schneiker,

2008). Esta adaptación facilita que los músculos mantengan una producción constante de fuerza incluso en fases avanzadas del partido, cuando el estrés metabólico es más pronunciado. Asimismo, una mayor red capilar favorece el retorno venoso, agiliza la eliminación de lactato y mejora la recuperación entre puntos, lo cual se traduce en una mayor estabilidad técnica durante intercambios intensos y en una menor probabilidad de colapso biomecánico durante los momentos decisivos (Murias et al., 2020).

Además de las adaptaciones cardiovasculares, el sistema muscular experimenta modificaciones profundas como resultado del entrenamiento específico en tenis, que combina elementos de potencia, velocidad, fuerza máxima y resistencia muscular localizada. Una de estas adaptaciones es la hipertrofia selectiva de las fibras tipo II, especialmente las fibras tipo IIa, que poseen propiedades tanto explosivas como oxidativas. Estas fibras permiten generar altas tasas de producción de fuerza para golpes como el servicio o el drive, pero también sostener la actividad repetida en rallies prolongados sin deterioro precoz (Fernández-Fernández et al., 2019). Esta transformación muscular es producto de la exposición continua a estímulos de alta potencia y esfuerzos intermitentes, que incrementan la capacidad de las fibras rápidas para resistir la fatiga mediante mejoras en sus sistemas enzimáticos oxidativos y glucolíticos. Así, los jugadores alcanzan una musculatura altamente especializada que combina velocidad de contracción y resistencia metabólica, permitiendo una ejecución técnica estable incluso bajo condiciones fisiológicas exigentes (Kovacs, 2007).

El sistema muscular también desarrolla una mayor concentración intramuscular de fosfocreatina como adaptación a la naturaleza explosiva del deporte. Esta reserva energética resulta esencial para la realización de esfuerzos breves y máximos, como las aceleraciones hacia la pelota, los cambios de dirección o el impacto de un golpe potente (Reid & Schneiker, 2008). La capacidad para reponer rápidamente esta fosfocreatina durante los descansos breves entre puntos depende directamente de la eficiencia mitocondrial y cardiovascular, lo que evidencia la interrelación entre las adaptaciones musculares y aeróbicas. En jugadores bien entrenados, esta sinergia permite sostener un volumen alto de acciones explosivas sin comprometer la técnica. Por el contrario, cuando la fosfocreatina disminuye y la capacidad de resíntesis se ve comprometida, la

producción de fuerza se reduce, afectando la coordinación del golpe, la velocidad de la raqueta y la precisión en los desplazamientos (Murias et al., 2020).

Otra modificación muscular relevante es el aumento en la densidad mitocondrial, especialmente en fibras tipo I y tipo IIa, que son responsables de la mayor parte de la actividad oxidativa y de la resíntesis de ATP durante períodos de recuperación entre puntos. Una mayor densidad mitocondrial se asocia con mayor eficiencia metabólica, mejor utilización del oxígeno y una recuperación acelerada de la homeostasis muscular, lo que permite sostener la calidad técnica en partidos prolongados (Fernández-Fernández et al., 2019). Esta adaptación es particularmente importante para jugadores defensivos o contraatacadores, quienes dependen en gran medida de la capacidad aeróbica para recuperar la energía entre intercambios largos. Sin embargo, incluso en jugadores agresivos orientados a acortar los puntos, la densidad mitocondrial es esencial para evitar el deterioro técnico tras secuencias repetidas de golpes potentes que comprometen la estabilidad del sistema neuromuscular (Kovacs, 2007).

Además, el entrenamiento propio del tenis induce mejoras significativas en la eficiencia de la cadena cinética, que requiere un alto grado de coordinación intermuscular y sincronización neuromuscular para transferir la energía desde el suelo hasta la raqueta. Estas adaptaciones incluyen una mayor activación de los músculos estabilizadores del tronco, como el transverso abdominal y los eructores espinales, que facilitan la conexión entre el tren inferior y el superior durante la ejecución de golpes (Reid & Schneiker, 2008). La mejora en el control postural y en la estabilidad lumbopélvica permite generar un golpe más eficiente, con menor gasto energético y mayor precisión técnica. La eficiencia en la cadena cinética es producto tanto del fortalecimiento muscular como de la optimización neuromotora, que permite secuencias de activación más rápidas y coordinadas, esenciales para mantener la técnica bajo condiciones de fatiga (Murias et al., 2020).

En el plano neuromuscular, una de las adaptaciones más significativas es el aumento en la velocidad de transmisión neuromotora, que permite reacciones más rápidas ante estímulos visuales y cinestésicos. Dado que el tenis exige tomar decisiones en fracciones de segundo y responder a trayectorias rápidas e

impredecibles, la eficiencia del sistema nervioso central y periférico es fundamental para anticipar y ejecutar movimientos de forma precisa (Kovacs, 2007). El entrenamiento continuo favorece la potenciación sináptica y la mejora en los patrones de activación neuronal, lo cual incrementa la velocidad de reacción y la capacidad de anticipación táctica. Asimismo, el sistema neuromuscular optimiza la capacidad de modulación de la fuerza para adaptar el golpe a diferentes alturas, velocidades y efectos, permitiendo al jugador responder con precisión aun cuando el tiempo de toma de decisiones es limitado (Fernández-Fernández et al., 2019).

Otra adaptación neuromuscular clave es el fortalecimiento del control motor fino, que permite ejecutar golpes con precisión milimétrica incluso bajo presión o fatiga. El tenis requiere ajustes constantes en el ángulo de la raqueta, la orientación del cuerpo y la velocidad del swing, lo que demanda un sistema neuromotor altamente especializado en la regulación de movimientos complejos. La repetición sistemática de golpes refina los circuitos motores y crea patrones de movimiento más eficientes que reducen el gasto energético y disminuyen la probabilidad de errores técnicos (Reid & Schneiker, 2008). Estos patrones motores refinados permiten que la técnica se mantenga sólida incluso en momentos de estrés fisiológico, como en los últimos sets de un partido prolongado, donde la fatiga podría comprometer la precisión si el control neuromuscular no estuviera altamente adaptado (Murias et al., 2020).

El sistema propioceptivo también se encuentra altamente desarrollado en los jugadores de tenis, ya que el deporte exige un control espacial extremadamente preciso y una capacidad para ajustar el movimiento de manera instantánea ante cambios inesperados en la trayectoria o velocidad de la pelota. La propiocepción se refuerza mediante el entrenamiento constante de golpes, desplazamientos y cambios de dirección, que requieren un ajuste continuo del equilibrio y la postura (Kovacs, 2007). Además, una mayor sensibilidad propioceptiva mejora la economía de movimiento, reduce el gasto energético y permite respuestas técnicas más rápidas y eficientes. Cuando la propiocepción está bien desarrollada, el jugador puede mantener la calidad del golpe incluso cuando su base de apoyo se ve comprometida o cuando la pelota presenta trayectorias

irregulares, lo cual resulta común en partidos de alto nivel (Fernández-Fernández et al., 2019).

La mejora en los reflejos neuromotores es otra adaptación crucial en el tenis, ya que el deportista debe reaccionar ante impactos imprevistos, rebotes rápidos o efectos pronunciados de la pelota. Estos reflejos son el resultado de una activación acelerada de las unidades motoras y de la optimización de la comunicación entre el sistema nervioso central y los músculos implicados (Reid & Schneiker, 2008). Con el entrenamiento, el jugador desarrolla la capacidad de activar rápidamente fibras musculares de contracción rápida, lo que permite realizar movimientos explosivos con menor retraso neuromuscular. Esta mejora se traduce en desplazamientos más efectivos, en golpes más precisos y en una mayor capacidad para mantener la técnica en momentos donde la fatiga podría afectar el tiempo de reacción (Murias et al., 2020).

Fatiga en el tenis y su impacto en la técnica

La fatiga en el tenis constituye un fenómeno multidimensional que emerge de la interacción entre demandas metabólicas, estrés neuromuscular, deterioro perceptivo y acumulación de factores psicológicos que modulan la ejecución técnica a lo largo del partido. En encuentros que pueden superar incluso las tres horas, la combinación de esfuerzos intermitentes de alta intensidad, desplazamientos repetidos en múltiples direcciones y requerimientos constantes de ajustes posturales incrementa la probabilidad de un deterioro progresivo en la precisión y estabilidad técnica (Fernández-Fernández et al., 2019). La fatiga no solo implica una reducción de la fuerza o velocidad de movimiento, sino que afecta los mecanismos de control motor, la eficiencia biomecánica y la capacidad anticipatoria que diferencia a los jugadores de mayor nivel. Además, la fatiga tiende a correlacionarse con alteraciones en la propiocepción, una disminución en la sensibilidad de los husos musculares y modificaciones en los tiempos de activación muscular, lo que dificulta mantener los patrones óptimos de golpeo. Esto se vuelve particularmente evidente en gestos técnicamente exigentes como el servicio o el golpe de derecha, donde se requieren secuencias cinemáticas altamente organizadas. Así, la fatiga puede interpretarse como un proceso dinámico que compromete la integridad mecánica del movimiento, obligando al

jugador a adoptar patrones compensatorios que si bien permiten seguir compitiendo, incrementan el riesgo de lesión y reducen la eficiencia global del rendimiento (Reid & Duffield, 2014).

El impacto de la fatiga sobre el rendimiento técnico en tenis se manifiesta inicialmente en los aspectos motores de precisión, timing y coordinación intersegmentaria. Según investigaciones de Girard y Millet (2009), el agotamiento neuromuscular altera la sincronización entre los segmentos proximales y distales, generando una dispersión cinemática que afecta la estabilidad del swing. Este deterioro se observa con mayor frecuencia en situaciones de alta presión, como devoluciones de servicio o puntos largos en los que el jugador debe realizar ajustes rápidos frente a trayectorias variables de la pelota. Los estudios han mostrado que la disminución en la capacidad de transferencia de fuerzas desde el suelo hacia la cadena cinética superior compromete la velocidad de la raqueta y, por consiguiente, la velocidad de la pelota. Además, la fatiga tiende a modificar los patrones de apoyo, generando pérdidas de estabilidad en la fase preparatoria y reduciendo la calidad del contacto. Dichas alteraciones se dan no solo por factores musculares, sino también por una reducción en la eficiencia neural, lo cual afecta la capacidad de reclutar unidades motoras de manera óptima (Mendez-Villanueva & Fernández-Fernández, 2017).

La fatiga neuromuscular tiene un papel determinante en el deterioro de la técnica durante el servicio, considerado uno de los gestos más complejos del tenis debido a su carácter balístico, la alta exigencia de coordinación y la necesidad de generar elevados niveles de potencia. A medida que avanza un partido, la disminución en la fuerza isométrica del hombro, la fatiga de los rotadores externos y la pérdida de estabilidad en la región escapular afectan directamente la mecánica del lanzamiento de la pelota y la fase de aceleración del brazo (Murphy et al., 2020). Esta condición provoca un aumento en el error angular del hombro, una reducción de la velocidad de la raqueta y una mayor probabilidad de contacto fuera del punto óptimo. La fatiga también altera la estabilidad del tronco, afectando el acoplamiento entre la rotación de la cadera y la torsión del tronco, lo cual reduce la transferencia de energía hacia el brazo dominante. La literatura señala que la disminución del rendimiento en el servicio bajo fatiga

puede ser de hasta un 20% en términos de velocidad, lo cual representa un deterioro significativo en la capacidad de dominar el punto (Kovacs & Ellenbecker, 2018).

Las alteraciones en los mecanismos perceptivo-cognitivos generadas por la fatiga representan otro componente crítico que afecta la técnica en el tenis. La reducción en la agilidad perceptiva y en la velocidad de procesamiento de la información limita la capacidad del jugador para anticipar la intención del oponente, identificar trayectorias y ajustar posiciones de forma temprana. Según investigaciones de Hornery et al. (2007), la fatiga compromete la visión periférica funcional y deteriora la precisión del seguimiento visual de la pelota, lo que obliga al jugador a ejecutar movimientos más reactivos y menos anticipatorios. Este cambio en el patrón decisional aumenta el tiempo de preparación del golpe, deteriorando la calidad técnica del swing. Además, la fatiga cognitiva también afecta la selección motora, provocando decisiones precipitadas o tardías que alteran la mecánica de golpeo. Los jugadores fatigados tienden a golpear con menor amplitud, menor rotación del tronco y mayor rigidez en las extremidades, lo que reduce la fluidez y el control del movimiento.

El tipo de superficie en la que se disputa el partido influye significativamente en la manera en que la fatiga afecta la técnica. Por ejemplo, en canchas duras la acumulación de impactos repetitivos incrementa el estrés articular, lo que acelera el deterioro neuromuscular y obliga al jugador a modificar la mecánica de pisada y desplazamiento (Kovacs, 2016). En arcilla, el mayor tiempo de intercambio y la tendencia a rallies prolongados amplifican la demanda energética y promueven una fatiga más marcada en los flexores de cadera y extensores de rodilla, afectando la estabilidad durante el golpe de fondo. En césped, la velocidad del juego exige tiempos de reacción más cortos, por lo que incluso bajos niveles de fatiga pueden provocar errores técnicos notables debido a la pérdida de precisión en los apoyos. Las adaptaciones compensatorias generadas por la fatiga difieren según la superficie, pero en todas se observa una disminución en la calidad del swing, menor potencia en el golpe y un deterioro evidente en la eficiencia de los desplazamientos laterales y diagonales.

La fatiga también repercute de forma significativa en la estabilidad del core, un componente fundamental para la ejecución de gestos técnicamente eficientes en el tenis. La musculatura del core actúa como un puente energético entre las extremidades inferiores y superiores, permitiendo la transmisión fluida de fuerzas. Sin embargo, durante los partidos prolongados, los músculos estabilizadores de la columna y pelvis presentan disminuciones progresivas en la actividad electromiográfica, lo que compromete la capacidad del jugador para mantener una postura adecuada durante el golpeo (Reid et al., 2016). Esta situación se traduce en un incremento de la inclinación lateral del tronco, un aumento del valgo de rodilla en los apoyos y una menor rotación axial durante el swing. El deterioro del core bajo fatiga no solo afecta la técnica, sino que también incrementa el riesgo de lesiones lumbares y de cadera, especialmente en jugadores jóvenes que aún están desarrollando su musculatura estabilizadora. Mantener la integridad del core se convierte, por tanto, en un factor clave para sostener el rendimiento técnico a lo largo del partido.

Un aspecto crítico en el análisis de la fatiga es su influencia sobre la coordinación intermuscular. El patrón de activación muscular tiende a desorganizarse a medida que avanza la fatiga, generando movimientos menos eficientes y un mayor gasto energético por ciclo motor. Estudios de Smekal et al. (2018) han mostrado que, bajo fatiga, los jugadores de tenis utilizan estrategias compensatorias como aumentar la participación de los músculos accesorios del hombro y cuello durante los golpes, lo que incrementa la tensión y reduce la fluidez del movimiento. Esta reconfiguración motora afecta directamente la precisión del golpe y la estabilidad del swing, especialmente en gestos exigentes como el revés a una mano o los golpes de volea. La coordinación deficiente aumenta el número de errores no forzados, deteriora la calidad del contacto y genera una mayor variabilidad en la mecánica del movimiento. Asimismo, la fatiga induce una mayor coactivación muscular, reduciendo la eficiencia mecánica y aumentando el riesgo de lesiones por sobreuso.

La fatiga también afecta el control postural, un factor determinante para mantener la calidad técnica en el golpeo. Bajo condiciones de fatiga, los mecanismos de regulación del equilibrio muestran un incremento en las oscilaciones posturales y una mayor dependencia del control visual (Paillard, 2012). Esto significa que el

jugador pierde estabilidad en los apoyos y presenta mayores dificultades para realizar ajustes rápidos en situaciones de cambio de dirección. Los estudios han revelado que la disminución del control postural afecta particularmente la fase preparatoria del golpe, generando fallas en la alineación del cuerpo con la pelota y reduciendo la eficacia del seguimiento visual. Esta limitación conduce a errores en la distancia al impacto, afectando negativamente la calidad del golpe. El deterioro del equilibrio bajo fatiga también incrementa la variabilidad en los tiempos de reacción, lo que afecta la capacidad del jugador para posicionarse adecuadamente y ejecutar gestos técnicamente precisos.

Otro componente clave de la fatiga es su impacto en la fuerza de agarre, un factor íntimamente relacionado con el control de la raqueta y la precisión del golpe. A medida que la fatiga muscular en el antebrazo aumenta, la capacidad de generar fuerza de prensión se reduce significativamente, afectando el control de la raqueta y aumentando la probabilidad de vibraciones excesivas en el impacto (Rota et al., 2020). Estas vibraciones no solo deterioran la calidad del golpe, sino que también incrementan el riesgo de lesiones como la epicondilitis lateral. El jugador fatigado tiende a cerrar más la empuñadura para compensar la disminución de la fuerza, lo que genera un incremento del gasto energético y deteriora la fluidez del swing. Las alteraciones en la fuerza de agarre se relacionan directamente con la disminución de la velocidad de la raqueta y la precisión del contacto, especialmente en golpes que requieren ajustes finos como el drop shot o la volea corta.

La fatiga también induce cambios biomecánicos significativos en el patrón de desplazamiento lateral, uno de los componentes más determinantes en la ejecución técnica del tenis. El deterioro muscular en los abductores y aductores de cadera reduce la capacidad del jugador para frenar y acelerar eficientemente en movimiento lateral, lo que afecta la preparación del golpe y disminuye la estabilidad en el apoyo (Brown et al., 2019). A medida que el partido avanza, se observa una menor profundidad en la flexión de rodilla durante los cambios de dirección, lo que obliga al jugador a adoptar una postura más rígida y menos eficiente desde el punto de vista biomecánico. Esta alteración postural reduce la capacidad de generar fuerzas horizontales, comprometiendo la velocidad de

desplazamiento. Además, la menor eficacia en los apoyos afecta el timing del golpe, generando errores técnicos relacionados con el contacto tardío o adelantado.

La fatiga también tiene efectos importantes sobre la capacidad de recuperación entre puntos, lo que influye directamente en la técnica ejecutada durante las secuencias posteriores. A medida que los niveles de lactato aumentan y se acumula el estrés fisiológico, la frecuencia cardíaca tardía más tiempo en regresar a valores basales, lo que altera la capacidad del jugador para iniciar el siguiente punto con un estado funcional óptimo (Kovacs, 2007). Esta incapacidad de recuperación compromete la precisión técnica, ya que los sistemas energéticos no logran restablecer completamente la disponibilidad de fosfocreatina, fundamental para impulsar acciones explosivas como el servicio o los tiros ganadores. La fatiga acumulada disminuye la velocidad de reacción y la capacidad para ejecutar movimientos rápidos y coordinados, afectando la calidad técnica en los momentos decisivos del partido. Los jugadores más experimentados tienden a manejar mejor los intervalos de recuperación, utilizando estrategias respiratorias y control del ritmo para minimizar el impacto de la fatiga.

La técnica del golpe bajo fatiga se ve comprometida también por la pérdida de variabilidad funcional, un fenómeno que limita la capacidad del jugador para adaptarse a condiciones cambiantes. Según Davids et al. (2015), la variabilidad funcional es esencial para ajustar la coordinación a las demandas dinámicas del entorno. Sin embargo, la fatiga tiende a reducir esta variabilidad, promoviendo patrones rígidos y menos adaptativos que afectan la calidad del contacto y la precisión direccional. Los jugadores fatigados presentan menor oscilación natural en los ángulos articulares y reducen la flexión de rodilla, lo que compromete la capacidad de generar potencia y mantener la continuidad técnica. Esta rigidez biomecánica se traduce en golpes menos fluidos, con trayectorias más predecibles y menor capacidad de ajuste frente a variaciones en la velocidad o altura de la pelota. La fatiga también limita la capacidad de los músculos estabilizadores para absorber fuerzas externas, aumentando el riesgo de pérdida del equilibrio y errores técnicos.

La fatiga influye de manera notable en la capacidad del jugador para mantener niveles óptimos de rotación de tronco, un componente fundamental en la producción de potencia en golpes como la derecha o el revés. La disminución en la actividad de los oblicuos y erectores espinales afecta el acoplamiento entre la cadera y el tronco, lo que reduce la amplitud del swing y compromete la eficacia del golpe (Elliott et al., 2009). Esta pérdida de rotación también incrementa la dependencia del jugador en los músculos del brazo, generando un patrón de golpeo más lineal y menos eficiente. Con el avance de la fatiga, el jugador tiende a reducir el rango de movimiento del tronco, lo que genera un impacto negativo en la velocidad de la raqueta y en la estabilidad del contacto. Además, la menor participación de la musculatura central aumenta el riesgo de sobrecarga en la articulación del hombro, lo que afecta la continuidad del rendimiento técnico.

Un aspecto particularmente relevante es el impacto de la fatiga en la técnica defensiva, dado que esta requiere ajustes rápidos y una alta capacidad de desplazamiento. Bajo condiciones de fatiga, los jugadores tienden a ubicarse más lejos de la línea de base y a adoptar posturas más pasivas, lo que afecta la agresividad y la profundidad de sus golpes (Murphy et al., 2020). Esta tendencia defensiva reduce la capacidad de controlar el punto y aumenta la probabilidad de errores no forzados. La fatiga también compromete la capacidad del jugador para ejecutar golpes de recuperación, como el slice defensivo o el globo, que requieren precisión técnica y sensibilidad en el toque. La reducción en la fuerza de agarre, la pérdida de estabilidad en la base de apoyo y la disminución en la precisión del swing afectan notablemente este tipo de golpes. Como resultado, los jugadores fatigados tienden a cometer más errores y a perder control sobre la trayectoria y dirección de la pelota.

La fatiga también afecta la capacidad del jugador para mantener la consistencia técnica en los golpes de red, donde la rapidez, estabilidad postural y control mano-ojo son fundamentales. La disminución en la fuerza reactiva y la pérdida de estabilidad del core dificultan la ejecución de voleas rápidas y precisas. Según Elliott (2006), la técnica de volea requiere una alta precisión en el posicionamiento de la raqueta y en el control de la muñeca, capacidades que se deterioran bajo fatiga. Los jugadores fatigados presentan una disminución en la

velocidad de reacción, lo que genera contactos tardíos o fuera del punto óptimo. Además, la fatiga afecta la capacidad del jugador para mantener la postura baja y estable necesaria para cubrir la red de forma eficiente, aumentando la probabilidad de cometer errores. Estas alteraciones reducen la eficacia del juego ofensivo y obligan al jugador a adoptar tácticas más conservadoras.

El impacto de la fatiga se extiende también al patrón respiratorio, lo que influye de manera indirecta en la técnica. La respiración desorganizada, producto del aumento en la frecuencia respiratoria y la acumulación de CO₂, compromete la estabilidad del tronco y reduce la capacidad del jugador para ejecutar movimientos fluidos (Kovacs, 2007). La fatiga respiratoria también afecta la coordinación entre la exhalación y el momento del impacto, un elemento clave para generar potencia y mantener la estabilidad del core. Los jugadores fatigados tienden a contener la respiración o sincronizarla de manera ineficiente, lo que genera rigidez muscular y deterioro técnico. Además, la fatiga respiratoria puede afectar la toma de decisiones, ya que el cerebro reduce su eficiencia cuando enfrenta niveles elevados de dióxido de carbono. Estas alteraciones influyen directamente en la calidad del golpe y en la capacidad del jugador para mantener un ritmo constante durante los intercambios.

La fatiga también provoca alteraciones significativas en la capacidad del jugador para ajustar el ángulo de la raqueta en el momento del contacto, un aspecto crítico para controlar la trayectoria de la pelota. Los estudios de Whiteside et al. (2014) indican que bajo condiciones de fatiga, los jugadores presentan mayor variabilidad en el ángulo de la raqueta, lo que genera salidas imprecisas y errores direccionales. Esta pérdida de control se debe en parte a la disminución de la sensibilidad propioceptiva y en parte a la fatiga muscular en los flexores y extensores de muñeca. La falta de control sobre el ángulo de impacto también afecta la capacidad del jugador para generar efectos como el topspin o el slice, reduciendo la eficacia táctica en situaciones en las que el control de la pelota es fundamental. Como resultado, la fatiga genera un deterioro notable en la capacidad de definir puntos, especialmente en contextos de alta presión competitiva.

Un aspecto menos estudiado pero fundamental es la relación entre fatiga y riesgo lesional asociado al deterioro técnico. A medida que avanza la fatiga, los jugadores adoptan patrones compensatorios que aumentan la carga en articulaciones específicas, como el hombro, la muñeca y la columna lumbar (Ellenbecker & Roetert, 2003). Estos patrones compensatorios incluyen una menor utilización de la fuerza de piernas, un incremento en la rotación del brazo y una mayor rigidez del tronco, lo que genera desequilibrios mecánicos y sobrecarga de los tejidos. La fatiga también afecta la capacidad del jugador para absorber fuerzas externas, comprometiendo la integridad articular y aumentando el riesgo de lesiones por sobreuso. Este fenómeno es particularmente evidente en jugadores que compiten en torneos consecutivos sin una recuperación adecuada, donde el deterioro técnico se convierte en un factor predisponente para lesiones de hombro, codo y espalda baja.

La fatiga también tiene consecuencias significativas sobre la técnica en situaciones de alta presión psicológica, como puntos de quiebre o tie-breaks. En estos contextos, el estrés emocional se combina con la fatiga física para deteriorar la precisión motora y la toma de decisiones (Kellmann, 2010). La ansiedad inducida por la presión incrementa la rigidez muscular, lo que afecta la fluidez del movimiento y la precisión del contacto. Además, los jugadores fatigados presentan una menor capacidad para regular sus emociones, lo que afecta la consistencia técnica en momentos críticos. Este deterioro se manifiesta en golpes conservadores, reducciones en la velocidad de la raqueta y fallas en el seguimiento visual. La interacción entre fatiga y estrés psicológico representa uno de los desafíos más grandes para los jugadores, ya que compromete la técnica incluso en atletas de alto rendimiento.

Finalmente, la fatiga puede interpretarse como un modulador complejo de la técnica en el tenis, ya que afecta simultáneamente los sistemas metabólicos, neuromusculares, perceptivos y biomecánicos. Su impacto se observa en la disminución de la velocidad de la raqueta, la pérdida de estabilidad postural, el deterioro de la precisión técnica y la reducción de la variabilidad funcional. La fatiga obliga al jugador a utilizar patrones compensatorios que comprometen la eficiencia del movimiento y aumentan el riesgo de lesión. La literatura sugiere

que la capacidad de mantener la técnica bajo fatiga es una de las principales diferencias entre jugadores de élite y jugadores recreativos, ya que los primeros desarrollan estrategias biomecánicas y tácticas que permiten reducir el impacto del desgaste físico (Kovacs & Ellenbecker, 2018). Comprender la fatiga y su impacto en la técnica es esencial para diseñar programas de entrenamiento que preparen al jugador para sostener un nivel técnico óptimo a lo largo de partidos extensos y exigentes.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DEL SERVICIO

Fases del gesto técnico y fundamentos biomecánicos del movimiento

El análisis de las fases del gesto técnico constituye una estrategia metodológica esencial para descomponer movimientos complejos en unidades observables y evaluables, permitiendo identificar con mayor claridad las dinámicas internas del proceso motor y las interacciones entre los sistemas muscular, articular y neuromotor. Todo gesto técnico, independientemente del deporte o del implemento utilizado, se estructura sobre una secuencia ordenada de acciones que emergen de la integración entre percepción, decisión y ejecución, lo cual coincide con lo propuesto por la teoría de control motor, que sugiere que el movimiento es el producto final de la interacción entre las demandas externas del entorno, la intención del deportista y los recursos fisiológicos disponibles (Schmidt & Lee, 2020). Desde esta perspectiva, comprender las fases del gesto no solo permite diagnosticar fallas técnicas y optimizar entrenamientos, sino también desarrollar intervenciones precisas orientadas a mejorar la eficiencia, reducir cargas indebidas y favorecer el rendimiento en tareas que requieren velocidad, precisión y estabilidad segmentaria.

Una de las razones por las cuales la segmentación del gesto técnico resulta tan valiosa es que cada fase cumple un rol funcional específico en la secuencia de generación, transferencia y liberación de energía mecánica. La fase preparatoria, por ejemplo, se caracteriza por el ajuste postural, el alineamiento biomecánico y la activación anticipatoria de grupos musculares que establecerán las condiciones iniciales para el desarrollo del impulso (Enoka, 2015). En los deportes de lanzamiento o golpeo, esta fase define la calidad estructural sobre la cual se apoyarán las fases posteriores, ya que una postura inicial deficiente compromete la amplitud del movimiento, disminuye la capacidad de almacenamiento elástico y altera la estabilidad de la base de apoyo, afectando negativamente la cinemática del gesto completo. Por ello, su estudio no puede reducirse al análisis superficial de posiciones estáticas, sino que implica comprender cómo la postura interactúa con los planes motores y con los ajustes anticipatorios que dependen del sistema nervioso central.

A nivel biomecánico, la fase preparatoria también incluye la modulación de la tensión muscular interna, proceso que involucra tanto contracciones isométricas iniciales como la preactivación selectiva de músculos estabilizadores, lo cual influye en la rigidez articular y en la capacidad del deportista para controlar los rangos de movimiento durante la fase de impulso (Cresswell & Ekholm, 2020). La rigidez articular óptima permite almacenar energía elástica en estructuras musculotendinosas, la cual puede ser liberada posteriormente para aumentar la potencia del movimiento. Sin embargo, una rigidez excesiva genera restricciones y limita la fluidez técnica, mientras que una rigidez insuficiente reduce la transferencia de energía y compromete la estabilidad. Todo esto demuestra que la fase preparatoria no es simplemente un momento previo al movimiento, sino una plataforma neuromecánica sobre la cual se construye la eficiencia global del gesto.

Desde la neurofisiología del control motor, la preparación del gesto técnico activa mecanismos de anticipación sensoriomotriz que permiten predecir los requerimientos dinámicos del movimiento antes de que este se inicie conscientemente. Esta capacidad predictiva está mediada por modelos internos y por la integración de señales visuales, propioceptivas y vestibulares, elementos indispensables para organizar patrones motores coordinados que permitan transitar fluidamente hacia la fase de generación del impulso (Magill & Anderson, 2020). Si este sistema anticipatorio falla, surgen descoordinaciones temporales, errores en la dirección del movimiento y pérdidas de estabilidad, lo cual se observa con frecuencia en deportistas novatos que aún no desarrollan patrones maduros de regulación anticipatoria.

La fase principal del gesto técnico, también conocida como fase propulsiva o fase de generación de impulso, representa el núcleo mecánico y energético del movimiento. En esta etapa, los segmentos corporales se organizan siguiendo principios de la cadena cinética proximal-distal, en la cual los músculos de mayor masa y capacidad de producción de fuerza, ubicados generalmente en el tren inferior y el tronco, inician la secuencia para transmitir energía hacia segmentos más ligeros y rápidos, como los brazos y las manos (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012). La efectividad de esta transferencia depende de la sincronización

intersegmentaria y del tiempo óptimo en el cual se produce el pico de velocidad angular en cada articulación, lo que garantiza una transferencia eficiente de momento. La ruptura en esta secuencia produce pérdidas energéticas que el deportista debe compensar con mayor esfuerzo muscular, reduciendo la eficiencia del gesto.

La biomecánica de la cadena cinética en lanzamientos y golpes muestra que la velocidad final del implemento depende de la suma jerarquizada de momentos angulares generados en las articulaciones, siendo la cadera uno de los primeros eslabones que determinan la magnitud del impulso inicial (Putnam, 1993). Posteriormente, la rotación del tronco, acompañada de movimientos coordinados del hombro y codo, amplifica el momento angular y lo dirige hacia el segmento terminal encargado de liberar el implemento. Cuando esta progresión se realiza con precisión, el resultado es un movimiento potente, con aceleración efectiva y con grandes niveles de velocidad lineal y angular en el segmento distal. Por el contrario, interrupciones en la secuencia —como rotaciones prematuras, retrasos o desviaciones articulares— derivan en menor velocidad y en gestos menos controlados.

La rotación del tronco ocupa un lugar estratégico dentro de las acciones de lanzamiento y golpeo debido a su función como “puente cinético” entre el tren inferior y los miembros superiores. Investigaciones biomecánicas muestran que la capacidad para generar velocidades angulares elevadas en la región toraco-lumbar se asocia directamente con mayor velocidad de lanzamiento, especialmente cuando la fuerza generada en las piernas se transfiere eficientemente hacia el tronco mediante el uso de la pelvis como plataforma rotacional (Fleisig et al., 2009). El tronco actúa tanto como generador como transmisor de energía, y la calidad de su rotación depende de la coordinación entre la musculatura oblicua, paravertebral y estabilizadora profunda. Esto explica por qué muchos deportistas con limitaciones en movilidad torácica o debilidades en el core presentan reducciones notables en velocidad y consistencia técnica.

En términos cinemáticos, la rotación del tronco no solo contribuye a incrementar la velocidad angular, sino que también permite aumentar la longitud de la trayectoria del implemento antes del momento de liberación. A mayor longitud de trayectoria, mayor tiempo disponible para aplicar fuerza, lo que se traduce en un incremento de la velocidad final según el principio trabajo–energía (Hall, 2018). Sin embargo, esta longitud de trayectoria debe ser gestionada con precisión: una amplitud excesiva puede comprometer la precisión del gesto, mientras que una amplitud insuficiente reduce la capacidad de generar velocidad. Este equilibrio define la eficiencia del deportista en situaciones donde el rendimiento depende simultáneamente de velocidad y control.

La fase de liberación del implemento o fase de contacto constituye el punto biomecánico más crítico del gesto, pues determina la dirección, velocidad, efecto y estabilidad de la trayectoria final. En la mayoría de los deportes, esta fase debe ejecutarse con tiempos extremadamente reducidos, que oscilan en milisegundos, lo cual demanda una alta coordinación neuromuscular y una sincronización casi perfecta entre los músculos agonistas y antagonistas (Elliott et al., 2011). La liberación se relaciona directamente con la energía acumulada y transmitida desde el tren inferior y el tronco; sin embargo, también depende del control fino de la muñeca y los dedos, cuyo ajuste final en la orientación del implemento influye de manera determinante en la precisión.

La precisión en la fase de liberación está mediada por mecanismos de control motor que permiten ajustar la trayectoria en función del objetivo visual. Este proceso se denomina control visomotor y se basa en la comparación continua entre la información visual del objetivo y la información propioceptiva del movimiento en curso (Sober & Kording, 2017). Cuando el cerebro detecta errores, activa respuestas correctivas rápidas que ajustan la trayectoria antes de la liberación. Esta capacidad adaptativa es superior en deportistas expertos, quienes han desarrollado modelos internos más precisos que permiten predicciones sensoriomotoras altamente confiables.

La fase de seguimiento, aunque suele ser interpretada como un conjunto de acciones finales sin relevancia para el rendimiento, posee una función biomecánica fundamental. El seguimiento permite disipar adecuadamente las

fuerzas residuales generadas durante la liberación, previniendo cargas excesivas en las articulaciones y favoreciendo la continuidad del movimiento, lo cual es esencial para evitar lesiones por sobreuso (Fleisig et al., 2011). Además, durante esta fase se consolidan patrones óptimos de desaceleración que protegen estructuras vulnerables como el hombro, el codo y la columna lumbar.

En términos energéticos, la desaceleración implica la activación coordinada de musculatura antagonista que actúa como freno dinámico. Esta activación no solo protege las articulaciones, sino que también contribuye a la estabilidad postural, especialmente en deportes donde la finalización del gesto exige frenar el cuerpo en posiciones difíciles o en superficies inestables. El entrenamiento orientado al fortalecimiento de los frenos musculares mejora la capacidad del sistema neuromuscular para controlar fuerzas altas sin comprometer la estructura articular (Kibler & Sciascia, 2016).

Los errores en la fase de seguimiento suelen reflejarse en gestos truncados, desaceleraciones bruscas o desviaciones en la postura final del deportista. Estas fallas indican deficiencias en la absorción de energía, lo cual aumenta el riesgo de microtraumas en tejidos blandos y articulaciones. Deportistas expertos tienden a mostrar seguimientos amplios y fluidos, resultado de patrones motores maduros que permiten eficiencia y seguridad simultáneamente. Esta capacidad no se desarrolla espontáneamente, sino que depende de programas de entrenamiento técnico y neuromotor específicos.

El análisis global de las fases del gesto técnico revela que la eficiencia del movimiento depende de la interacción entre factores biomecánicos, neuromusculares y perceptuales. La eficiencia no se logra únicamente con fuerza o velocidad, sino con la integración precisa de elementos como la postura inicial, la secuencia de impulso, la rotación del tronco, la coordinación intermuscular, la precisión perceptiva y la capacidad de desaceleración controlada. Estos componentes determinan en conjunto la economía del gesto, entendida como la cantidad mínima de energía utilizada para lograr el resultado deseado (Zatsiorsky, 2002).

El estudio comparativo entre deportistas expertos y novatos evidencia diferencias significativas en la manera en que se gestionan las fases del gesto

técnico. Mientras los expertos muestran secuencias cinemáticas estables, tiempos de activación muscular ajustados y patrones de movimiento consistentes, los principiantes exhiben variabilidad motora elevada y una pobre sincronización intersegmentaria (Magill & Anderson, 2020). Esta variabilidad se refleja en errores de precisión, velocidades menores y movimientos ineficientes que consumen energía innecesaria.

Uno de los elementos más representativos que diferencia un gesto técnico maduro de uno incompleto es la coherencia rítmica entre fases. En los expertos, cada fase fluye hacia la siguiente sin interrupciones abruptas, gracias a la utilización óptima de la inercia segmentaria. En cambio, los deportistas con menor nivel de entrenamiento tienden a frenar parcial o totalmente el movimiento entre fases, lo cual fragmenta la cadena cinética y produce pérdidas energéticas (Kreighbaum & Barthels, 2018). Esta fluidez está directamente relacionada con el aprendizaje motor y la automatización de patrones.

El desarrollo de un gesto técnico eficiente requiere entrenar no solo la fuerza muscular, sino también la capacidad coordinativa. Las habilidades coordinativas, como la diferenciación cinestésica, la orientación espacial, el equilibrio dinámico y la sincronización, permiten que las fases del gesto se integren armoniosamente (Hirtz & Schielke, 2017). Sin estas capacidades, el deportista puede poseer fuerza suficiente, pero no la capacidad para aplicarla en la dirección correcta y en el tiempo preciso.

El aprendizaje del gesto técnico está fuertemente influenciado por la retroalimentación externa e interna. La retroalimentación externa, proveniente del entrenador, cumple un rol clave para identificar errores específicos en cada fase del gesto, mientras que la retroalimentación interna, basada en la percepción propioceptiva, permite ajustar la ejecución en tiempo real. La literatura destaca que la combinación adecuada de ambos tipos de retroalimentación acelera la consolidación de patrones motores eficientes (Wulf & Lewthwaite, 2016).

Asimismo, la calidad del gesto técnico está condicionada por factores de movilidad articular. Una movilidad insuficiente en cadera, columna torácica u

hombro puede limitar el rango de rotación disponible para generar impulso y transferir energía, alterando la cinemática general del gesto (McGill, 2016). Por eso, los programas de entrenamiento orientados al rendimiento deben incluir trabajo de movilidad funcional y de control motor, especialmente en regiones asociadas a movimientos rotacionales.

Finalmente, las fases del gesto técnico representan una herramienta conceptual que permite entender la complejidad de los movimientos humanos desde una perspectiva integradora. Cada fase aporta un componente único al rendimiento global, y solo mediante su estudio conjunto puede lograrse una comprensión profunda de cómo se produce el movimiento eficiente, cómo se optimiza la velocidad de ejecución y cómo se alcanza precisión sin sacrificar estabilidad. Esta comprensión constituye el punto de partida para el análisis cinemático del lanzamiento, la evaluación detallada de la rotación del tronco y la identificación de las variables que determinan la velocidad, precisión y eficiencia, elementos que serán desarrollados con mayor profundidad en los bloques siguientes.

Cinemática del lanzamiento y rotaciones del tronco

La cinemática del lanzamiento se enfoca en el análisis detallado de las variables espaciales y temporales que describen el movimiento del cuerpo y del implemento, incluyendo desplazamientos, velocidades, aceleraciones y ángulos de rotación. Esta área de estudio no se centra en las causas del movimiento — como la fuerza o el torque — sino en su descripción geométrica y temporal, lo cual permite evaluar con precisión la calidad técnica del gesto (Hall, 2018). En deportes como el béisbol, balonmano, atletismo de lanzamientos o tenis, la cinemática se utiliza para medir el comportamiento de cada segmento y analizar cómo la interacción entre ellos contribuye a la velocidad final del lanzamiento. Una comprensión profunda de estas variables permite establecer correlaciones entre la técnica y el rendimiento, así como identificar deficiencias relacionadas con la sincronización o la amplitud del movimiento.

El lanzamiento es un movimiento que involucra múltiples articulaciones que funcionan de manera coordinada dentro de un sistema altamente dinámico. La secuencia cinemática proximal-distal se convierte en el mecanismo principal por el cual se transfiere energía a lo largo del cuerpo. El movimiento se inicia con

una transferencia de peso desde las extremidades inferiores hacia la articulación de la cadera, donde se genera una rotación que posteriormente se transmite hacia el tronco. Esta rotación aumenta la tensión muscular y el momento angular disponible, que luego es dirigido hacia el hombro, el codo y la muñeca (Putnam, 1993). El potencial del lanzador no depende solo de la fuerza aislada de un segmento, sino de la calidad de la interacción entre todos los eslabones. Una interrupción en cualquier elemento de la cadena afecta la velocidad final y aumenta la sobrecarga en las articulaciones distales.

Uno de los elementos esenciales en la cinemática del lanzamiento es el estudio de la velocidad angular que cada articulación produce y transfiere. La velocidad angular de la cadera, por ejemplo, suele ser uno de los primeros picos que anteceden a la rotación del tronco, y ambos representan los generadores principales de momento angular durante la fase inicial del lanzamiento (Fleisig et al., 2009). Una rotación temprana del tronco, antes de que la pelvis alcance su velocidad máxima, genera una disminución en la eficiencia de la transferencia de energía y conduce a movimientos más lentos y menos potentes. Por el contrario, cuando la coordinación es adecuada, la pelvis actúa como punto de apoyo para que el tronco rote con mayor amplitud y velocidad, lo que permite aumentar exponencialmente la velocidad generada en los segmentos superiores.

La aceleración segmentaria en el lanzamiento se caracteriza por un patrón de incremento progresivo de velocidad desde los segmentos proximales hacia los distales. Este incremento responde al principio de conservación del momento angular, que establece que un segmento más pequeño puede alcanzar una velocidad angular mayor si recibe energía de un segmento más grande en movimiento (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012). Por ello, los brazos y las manos alcanzan velocidades extremadamente altas durante la fase final del lanzamiento. Sin embargo, estas velocidades solo se logran de manera segura cuando ocurren dentro de un patrón fluido y secuencial, ya que cualquier asincronía puede generar un aumento peligroso de la tensión sobre estructuras como el manguito rotador o los ligamentos del codo.

El análisis cinemático también permite observar cómo el rango de movimiento y la amplitud del gesto afectan la velocidad final del lanzamiento. Un mayor rango de rotación de la cadera y del tronco aumenta la distancia que recorre el implemento antes del momento de liberación, lo cual incrementa el tiempo en el que se puede aplicar fuerza, favoreciendo la aceleración continua (Elliott et al., 2011). Sin embargo, este mayor rango debe ir acompañado de un control postural adecuado y de una coordinación precisa, ya que una amplitud excesiva puede comprometer la estabilidad del tronco y generar pérdidas de alineación en el plano transversal. De esta manera, la amplitud óptima se convierte en un factor determinante que equilibra velocidad y control.

En la mecánica de rotación del tronco, las articulaciones vertebrales y musculatura asociada actúan como un sistema elástico que almacena energía durante la fase preparatoria y la libera durante el lanzamiento. La musculatura oblicua interna y externa, unida a los erectores espinales y al transverso del abdomen, genera un patrón coordinado de activación que permite rotar el tronco con gran potencia sin perder estabilidad (McGill, 2016). Esta función se conoce como “transferencia de energía a través del core”, y se considera uno de los mecanismos biomecánicos más relevantes en acciones de lanzamiento y golpeo. Sin una musculatura profunda fuerte y coordinada, el tronco se convierte en un eslabón débil que interrumpe la cadena cinética y reduce el rendimiento general.

La rotación del tronco no solo depende de la fuerza y la activación muscular, sino también de la movilidad articular de la columna torácica y las caderas. Estudios recientes indican que una movilidad insuficiente en la columna torácica reduce la capacidad para generar velocidades angulares altas, obligando al deportista a compensar con mayor rotación lumbar, lo cual incrementa el riesgo de lesión (McGill, 2016). En consecuencia, los programas de entrenamiento deben incorporar estrategias que mejoren tanto la movilidad torácica como la estabilidad lumbopélvica. Esta combinación permite que la rotación del tronco se realice en el segmento adecuado, con un reparto equilibrado de cargas y una transmisión eficiente de energía.

La cinemática del lanzamiento también involucra el estudio de la orientación espacial del cuerpo en el momento de la liberación. Ángulos como la inclinación del tronco, la apertura del hombro, la flexión del codo y la posición de la muñeca determinan no solo la velocidad final, sino también la dirección y precisión del lanzamiento (Elliott et al., 2011). Por ejemplo, un ángulo de apertura del hombro demasiado amplio puede aumentar la velocidad, pero comprometer el control direccional; mientras que un ángulo reducido puede favorecer la precisión, pero limita la velocidad. Encontrar la combinación óptima depende del tipo de lanzamiento, del objetivo y de las habilidades específicas del deportista.

Desde la perspectiva del control motor, la coordinación entre rotación del tronco y movimiento del brazo es uno de los desafíos más complejos en el lanzamiento. El sistema nervioso debe integrar señales propioceptivas provenientes de la columna, el hombro, el codo y la muñeca para sincronizar la velocidad angular de cada segmento y evitar desfases que afecten la potencia o la precisión (Schmidt & Lee, 2020). Cuando la información sensoriomotora no se integra correctamente, el deportista puede experimentar descoordinación, movimientos espasmódicos, trayectorias erráticas y menor eficiencia. Por ello, el entrenamiento neuromotor orientado a mejorar la sensibilidad propioceptiva y la estabilidad del core resulta fundamental.

Otro elemento esencial en la cinemática del lanzamiento es la desaceleración del brazo y del tronco después de la liberación del implemento. Durante esta fase, la velocidad angular disminuye abruptamente, y la musculatura antagonista debe activarse para controlar el frenado. Aunque la desaceleración ocurre después del lanzamiento, su análisis cinemático revela su importancia para la prevención de lesiones y para la correcta transferencia de energía (Kibler & Sciascia, 2016). La capacidad del deportista para desacelerar de manera fluida refleja su control motor y determina en gran medida su durabilidad y salud articular.

El seguimiento del movimiento, parte fundamental de la fase de desaceleración, afecta directamente la trayectoria final del implemento. Investigaciones en deportes de lanzamiento demuestran que un seguimiento amplio y continuo permite conservar la dirección del movimiento, estabiliza el centro de masa y

reduce movimientos involuntarios que pueden alterar la precisión (Fleisig et al., 2011). Un seguimiento insuficiente, por el contrario, tiende a producir lanzamientos desalineados y genera desequilibrios en la postura final. Por esta razón, el seguimiento es un elemento clave en la evaluación cinemática, aunque en muchos casos no se le otorgue la relevancia que merece.

El análisis detallado de la trayectoria del implemento, desde el inicio del movimiento hasta la liberación, permite identificar patrones que influyen en la velocidad final. La trayectoria curva o elíptica, común en lanzamientos por encima del hombro, suele ser más eficiente que una trayectoria recta porque permite mayor acumulación de momento angular (Hall, 2018). La forma de esta trayectoria puede variar según el deporte, la técnica individual y la fuerza disponible. Cuando se utiliza un arco más amplio, se incrementa el tiempo bajo tensión, lo que favorece una mayor velocidad final, pero también exige una mayor estabilidad postural y una coordinación precisa para evitar desviaciones indeseadas.

La posición del centro de masa del cuerpo durante el lanzamiento es otro componente crítico en la cinemática. Un centro de masa adelantado aumenta la estabilidad durante la rotación del tronco y facilita la transferencia de energía hacia los segmentos superiores (Elliott et al., 2011). Sin embargo, si el centro de masa se desplaza demasiado hacia adelante, puede interferir con la amplitud del gesto y dificultar la rotación del hombro. El equilibrio óptimo entre estabilidad y movilidad es un factor determinante en la eficiencia técnica. Esto demuestra que la cinemática del lanzamiento no solo depende de movimientos segmentarios, sino también de la posición global del cuerpo en el espacio.

La interacción entre el pie de apoyo y el suelo es un componente biomecánico crítico para iniciar la cadena cinética. Durante el lanzamiento, el pie realiza un conjunto de microajustes que transfieren fuerzas hacia la pierna y la pelvis. Esta interacción, conocida como fuerza de reacción al suelo, es fundamental para generar el impulso inicial y para mantener la estabilidad durante la rotación del tronco (Zatsiorsky, 2002). Cualquier pérdida de equilibrio en esta fase afecta la calidad de la transferencia de energía y puede provocar lanzamientos más lentos

o imprecisos. En deportistas expertos, los ajustes del pie son automatizados y ocurren en milisegundos con una precisión sorprendente.

La cinemática del lanzamiento también puede analizarse desde la perspectiva del tiempo total de ejecución. Los lanzamientos más eficientes suelen caracterizarse por tiempos de movimiento más cortos, lo que indica una mayor velocidad angular en los segmentos involucrados y una coordinación motriz más refinada (Schmidt & Lee, 2020). Sin embargo, reducir el tiempo de ejecución sin sacrificar la precisión requiere un alto grado de automatización del gesto técnico, así como un control sensoriomotor preciso. Esta relación entre velocidad de ejecución y control representa uno de los principales desafíos en el desarrollo técnico de deportistas.

El estudio de la cinemática tridimensional ha permitido comprender la complejidad de los movimientos rotacionales del tronco. A diferencia de los análisis bidimensionales, el enfoque tridimensional muestra que la rotación del tronco incluye componentes en los planos transversal, sagital y frontal, lo que implica que existe una combinación de rotación axial, inclinación lateral y flexión-extensión (Fleisig et al., 2011). Esta combinación de movimientos permite optimizar la trayectoria y aumentar el impulso, pero también requiere un alto nivel de estabilidad y control motor. La falta de control en alguno de estos planos puede generar compensaciones indeseadas que afecten la eficiencia técnica.

La importancia de la rotación del tronco también se evidencia en la economía del movimiento. Cuando el tronco rota adecuadamente, el brazo no necesita generar tanta fuerza para aumentar la velocidad final del lanzamiento, ya que recibe energía previa desde el tren inferior y la pelvis (Kibler & Sciascia, 2016). Esto reduce el desgaste muscular, previene lesiones por sobreuso y mejora la eficiencia energética. Por el contrario, en atletas sin una buena rotación del tronco, el brazo asume una carga excesiva, generando mayor estrés mecánico en estructuras vulnerables como el hombro y el codo. Esto demuestra que el tronco es un factor protector y potenciador simultáneamente.

El análisis cinemático también permite identificar asimetrías en la técnica del deportista. Estas asimetrías pueden manifestarse en diferencias de velocidad

entre el hemisferio izquierdo y derecho, en inclinaciones laterales excesivas del tronco o en rotaciones compensatorias de la cadera (Hall, 2018). Aunque algunas asimetrías son naturales y funcionales, otras pueden afectar la eficiencia del movimiento y aumentar el riesgo de lesión. La detección temprana permite diseñar programas de entrenamiento específicos orientados a corregir desviaciones técnicas y mejorar la simetría del gesto.

En deportes donde el lanzamiento se realiza repetidamente bajo condiciones de alta velocidad, la cinemática del gesto también refleja el nivel de fatiga del deportista. La fatiga provoca disminuciones en la velocidad angular de la pelvis y del tronco, así como retrasos en la activación muscular, lo cual genera lanzamientos más lentos y menos precisos (Escamilla & Andrews, 2009). El análisis cinemático permite observar estos cambios en tiempo real, lo que resulta útil para ajustar cargas de entrenamiento, prevenir sobreuso y promover la recuperación óptima.

En síntesis, la cinemática del lanzamiento y las rotaciones del tronco representan un área de estudio fundamental para comprender la mecánica del movimiento humano en tareas deportivas complejas. Su análisis detallado permite evaluar la secuencia de generación de impulso, la transferencia de energía, la estabilidad postural, la sincronización intersegmentaria y la eficiencia global del gesto. Estos elementos constituyen la base para comprender, en el siguiente bloque, las variables determinantes de la velocidad, la precisión y la eficiencia, integrando factores biomecánicos, neuromusculares, perceptuales y energéticos de manera articulada.

Variables que determinan la velocidad, precisión y eficiencia del lanzamiento

La velocidad de un lanzamiento deportivo depende fundamentalmente de la capacidad del deportista para generar aceleración segmentaria desde la base de soporte hacia el implemento o segmento distal, siguiendo el principio del “encadenamiento cinético” descrito por Bartlett (2007). Este principio establece que los segmentos corporales deben activarse de manera secuencial, desde los de mayor masa (caderas y tronco) hacia los de menor masa (brazo, antebrazo y mano), lo que facilita la amplificación progresiva de la velocidad angular. Cuando

esta secuencia se ve interrumpida o desordenada —por ejemplo, cuando el brazo inicia su aceleración antes de que el tronco haya completado su rotación— la producción mecánica de velocidad se reduce significativamente (Putnam, 1993). Por ello, el análisis biomecánico de la velocidad no se limita a medir la rapidez del movimiento final, sino a estudiar la calidad temporal de la coordinación entre segmentos, que constituye un indicador directo de eficiencia motriz.

La precisión, por su parte, se relaciona con la capacidad del deportista para dirigir la energía generada hacia un objetivo espacial definido. Esta variable se ve influenciada por el control neuromuscular, la estabilidad postural y la anticipación sensorial (Schmidt & Lee, 2019). Una ejecución puede tener gran velocidad pero muy baja precisión si el control proximal —especialmente en la articulación glenohumeral y en el tronco— es insuficiente para estabilizar el brazo en la fase final del lanzamiento. El control fino de los movimientos distales se sostiene sobre la estabilidad de los segmentos proximales, en un proceso que Hodges y Tucker (2011) denominan “regulación anticipatoria del core”. Esto implica que los músculos del tronco se activan milisegundos antes que los del brazo para absorber torques residuales y estabilizar el eje corporal, lo cual resulta indispensable para dirigir el gesto hacia un punto determinado sin desviaciones.

La eficiencia del gesto técnico integra simultáneamente velocidad y precisión, pero además incorpora un tercer componente: el costo energético. Una ejecución eficiente es aquella capaz de generar alto rendimiento mecánico con el mínimo gasto fisiológico posible (Praagman et al., 2006). Esto implica un uso óptimo de la elasticidad muscular, un adecuado aprovechamiento del almacenamiento y liberación de energía elástica en tendones —particularmente el tendón del pectoral mayor y el del tríceps braquial durante el lanzamiento— y un control refinado del timing de activación muscular. El deportista eficiente no sólo se mueve rápido, sino que evita contracciones innecesarias, reduciendo así la fatiga y manteniendo la calidad del movimiento en ejecuciones repetidas.

La velocidad inicial del implemento (pelota, disco, jabalina, etc.) es una variable crítica que depende de factores biomecánicos como el ángulo de lanzamiento, la velocidad angular del hombro, la rotación del tronco y la longitud efectiva de la

cadena cinética (Kreighbaum & Barthels, 1996). Cuando el tronco alcanza rotaciones superiores a 45° en la fase de armado, se incrementa la distancia recorrida por la mano en la fase de aceleración, lo que permite ganar velocidad lineal sin necesidad de incrementar el esfuerzo muscular directo. Este principio se relaciona con el trabajo mecánico generado por la combinación de rotación y traslación del centro de masas, que maximiza la energía cinética disponible en el momento del release. Una técnica deficiente, por el contrario, acorta el recorrido efectivo y disminuye la velocidad inicial del objeto proyectado.

tro factor determinante para la velocidad es el torque aplicado en las articulaciones del codo y del hombro. De acuerdo con Feltner y Dapena (1989), el torque pico en el hombro durante un lanzamiento puede superar los 80 N·m, y en algunos gestos de alta demanda —como el lanzamiento de béisbol— puede aproximarse a valores aún mayores. Este torque no se genera exclusivamente por la fuerza muscular, sino por la interacción entre fuerzas iniciales, movimiento del tronco y transferencia de impulso desde las piernas. Cuando las piernas generan una extensión potente y el tronco rota transmitiendo ese impulso, el brazo funciona como un eslabón final en la cadena, multiplicando la velocidad sin necesidad de incrementar la tensión muscular aislada. En consecuencia, la técnica permite obtener mayor velocidad con menor riesgo de sobrecarga, fortaleciendo la relación entre eficiencia y biomecánica adecuada.

En términos de precisión, el rol de la propiocepción es fundamental. Los receptores musculares y articulares proporcionan información detallada sobre la posición de las extremidades en el espacio, permitiendo ajustes en tiempo real que evitan errores durante la trayectoria del brazo (Proske & Gandevia, 2012). El deportista experto desarrolla una sensibilidad más fina a variaciones mínimas en la posición del hombro y de la muñeca, lo que le permite corregir micro desviaciones antes del release. Estos ajustes, que para el observador externo son casi imperceptibles, representan un componente esencial del control motor y pueden ser la diferencia entre un lanzamiento preciso y uno deficiente. La práctica sistemática mejora la capacidad de integrar información somatosensorial con señales visuales y vestibulares, fortaleciendo la estabilidad espacial del gesto.

La precisión no sólo depende de la propiocepción, sino también de la modulación de la variabilidad del movimiento. De acuerdo con Newell (1991), un sistema motor competente no elimina la variabilidad, sino que la regula para permitir adaptaciones en función del contexto. En un lanzamiento, una pequeña variabilidad en el ángulo del codo puede mantenerse sin afectar la puntería, pero variaciones excesivas en la inclinación del tronco pueden alterar significativamente la trayectoria. Esto demuestra que la variabilidad “funcional” es parte de la pericia técnica. Los expertos no se mueven exactamente igual en cada intento, pero sus variaciones se encuentran dentro de márgenes seguros que mantienen la precisión. Esta autorregulación es producto de procesos de aprendizaje motor avanzados y constituye un indicador de madurez técnica.

La eficiencia energética también está determinada por la habilidad del deportista para activar los músculos sincrónicamente. Un patrón de activación asíncrono, donde músculos agonistas y antagonistas se contraen simultáneamente, genera rigidez y disminuye la velocidad (Winter, 2009). Por el contrario, una correcta coordinación agonista–antagonista facilita movimientos fluidos, disminuye la coactivación innecesaria y reduce la resistencia interna del sistema musculoesquelético. Esto resulta fundamental en acciones de alta velocidad, donde incluso pequeñas tensiones residuales pueden afectar el resultado final. La eficiencia está, entonces, asociada tanto a factores mecánicos como neuromusculares, integrando fuerza, control motor y economía de movimiento.

El ángulo de lanzamiento es otro determinante esencial de la eficiencia y la precisión. Desde el punto de vista de la física del movimiento proyectil, un ángulo cercano a 45° maximiza el alcance horizontal, pero en contextos deportivos el ángulo óptimo varía según el tipo de lanzamiento y la presencia de fuerzas adicionales como la rotación del tronco, la altura del release y la aerodinámica del objeto (Hubbard, 2000). En deportes como el baloncesto, donde el objetivo es alcanzar un aro elevado, el ángulo debe incrementarse entre 50° y 55°, mientras que en el lanzamiento de jabalina el ángulo suele ser menor debido a la influencia del viento y la sustentación del implemento. Este análisis demuestra que la técnica se adapta al contexto y que la eficiencia es el resultado de la

capacidad del deportista para seleccionar parámetros óptimos dentro de límites biomecánicos concretos.

El tiempo de activación muscular representa otro elemento crítico. En un lanzamiento rápido, los músculos se activan con secuencias temporales extremadamente precisas que determinan la dirección y la velocidad del movimiento (Enoka, 2015). Un ligero retraso en la activación del core puede provocar una pérdida en la transferencia de energía hacia el brazo, lo que disminuye la velocidad final del implemento. Asimismo, un adelanto excesivo en la activación del tríceps puede alterar la trayectoria del codo y causar errores de precisión. Este delicado equilibrio temporal constituye la base del control motor eficiente y es un indicador de pericia técnica que distingue al deportista experto del novato.

La capacidad del deportista para generar fuerza explosiva en la cadera y en las piernas es un predictor directo de la velocidad del lanzamiento. McGill (2010) señala que la cadena cinética inferior actúa como la “plataforma de potencia” sobre la cual se construye todo el gesto técnico. Cuando los extensores de la cadera y las piernas producen un impulso fuerte, el tronco recibe una carga mecánica que aumenta la velocidad de rotación. Esto amplifica la energía disponible para el brazo, mejorando la potencia del lanzamiento sin incrementar significativamente el esfuerzo muscular del miembro superior. Por esta razón, la preparación física orientada al gesto de lanzamiento suele incluir ejercicios de potencia para piernas y core, que potencian la velocidad y reducen el riesgo de lesión.

La movilidad articular es igualmente determinante para la velocidad y la eficiencia. Una adecuada movilidad torácica permite al deportista realizar una mayor rotación del tronco, lo que incrementa el arco de movimiento del brazo en la fase de aceleración. De acuerdo con Myers et al. (2015), una movilidad deficiente en la columna torácica obliga a compensaciones en la región lumbar o en el hombro, generando patrones de movimiento menos eficientes y aumentando la tensión sobre estructuras vulnerables. La movilidad funcional del hombro también juega un papel clave, especialmente en la rotación externa, que

está fuertemente asociada con la capacidad de generar velocidad angular en la fase de armado.

La estabilidad de la cintura escapular es indispensable tanto para la precisión como para la eficiencia energética. La escápula actúa como plataforma dinámica para el húmero y debe posicionarse correctamente durante la elevación y rotación del brazo (Kibler & Sciascia, 2010). Una escápula demasiado elevada o anteriorizada reduce la eficiencia mecánica del hombro, limita la rotación externa y compromete la precisión del movimiento. Cuando la musculatura estabilizadora —como el serrato anterior y los romboides— funciona correctamente, la escápula se mueve de forma controlada, creando una base sólida para la transmisión de fuerzas hacia la mano y favoreciendo tanto la velocidad como la puntería.

La fuerza de agarre también influye en la precisión del lanzamiento. Aunque suele considerarse un factor secundario, investigaciones recientes indican que una presión de agarre demasiado elevada puede alterar la sensibilidad propioceptiva de la mano, afectando la dirección final del implemento (Li, Latash & Zatsiorsky, 1998). Por el contrario, un agarre demasiado débil puede generar inestabilidad durante la fase final de aceleración. La fuerza de agarre óptima es aquella que estabiliza el objeto sin generar coactivación excesiva en los músculos del antebrazo. Este equilibrio mejora la precisión fina al reducir la interferencia neuromuscular y facilitar un movimiento distal más controlado.

La anticipación visual es otro componente esencial de la precisión. En deportes de lanzamiento hacia un blanco, los expertos desarrollan patrones oculares que les permiten fijar la mirada en puntos relevantes antes de ejecutar el gesto, lo que optimiza la planificación del movimiento (Vickers, 2007). Esta estrategia, conocida como “quiet eye”, prolonga el tiempo final de fijación visual y mejora la precisión, ya que permite al sistema motor ajustar detalles del gesto basándose en información visual estable. La rapidez de procesamiento visual también influye en la capacidad para corregir la trayectoria del brazo durante los últimos milisegundos antes del release.

La rigidez de los tejidos conectivos influye en la velocidad del lanzamiento, especialmente en estructuras como la cápsula del hombro y los tendones del manguito rotador. Tendones más rígidos pueden almacenar y liberar energía elástica de manera más eficiente (Kubo et al., 2007), mientras que una rigidez excesiva limita la movilidad articular y aumenta el riesgo de lesión. Por lo tanto, existe un rango óptimo de rigidez que favorece la velocidad sin comprometer la salud de la articulación. Este equilibrio depende del entrenamiento, la hidratación del tejido y factores genéticos que influyen en la composición del colágeno.

Las condiciones del entorno también afectan las variables de velocidad y precisión. Factores como el viento, la humedad, la temperatura y el tipo de superficie modifican la trayectoria del objeto y las características del gesto. Por ejemplo, en lanzamientos al aire libre, el viento puede aumentar o reducir la resistencia aerodinámica, alterando la eficiencia del movimiento (Hubbard et al., 2001). En ambientes fríos, la disminución en la temperatura muscular reduce la velocidad de contracción y, en consecuencia, la velocidad del lanzamiento. Por ello, la preparación del deportista debe incluir estrategias de adaptación al entorno, como el calentamiento específico y la anticipación perceptual.

El componente psicológico también afecta la precisión y la eficiencia. La presión competitiva puede alterar la coordinación fina y aumentar la coactivación muscular, reduciendo la fluidez del movimiento (Hill & Shaw, 2013). Los deportistas expertos desarrollan estrategias de autorregulación emocional que les permiten mantener niveles óptimos de activación fisiológica para ejecutar gestos técnicos de alta precisión. Técnicas de respiración, rutinas pre-ejecución y estrategias de foco atencional se han mostrado efectivas para mejorar la estabilidad del gesto y reducir la interferencia cognitiva en la ejecución motora.

En términos biomecánicos, la precisión y la velocidad no son necesariamente variables opuestas. Aunque muchas veces se asume que aumentar la velocidad disminuye la precisión, esta relación depende del nivel de pericia técnica. Los expertos pueden incrementar la velocidad manteniendo o incluso mejorando la precisión gracias a una mayor estabilidad proximal, un timing neuromuscular refinado y un control sensoriomotor avanzado (Schmidt & Lee, 2019). Esto implica que la técnica no sólo mejora el rendimiento, sino que modifica la relación

funcional entre variables aparentemente contrapuestas. En deportistas novatos, la velocidad compromete la precisión; en expertos, la velocidad y la precisión coexisten y se potencian mutuamente.

En síntesis, las variables que determinan la velocidad, precisión y eficiencia del lanzamiento están profundamente interrelacionadas. La biomecánica, el control motor, la fisiología y la psicología del rendimiento conforman un sistema integrado que regula la calidad del gesto técnico. La velocidad depende de la amplificación secuencial del movimiento y de la transferencia óptima de energía; la precisión, del control neuromuscular y la estabilidad; y la eficiencia, de la economía energética y la sincronía motora. El deportista experto desarrolla estas capacidades mediante entrenamiento técnico, sensoriomotor y físico, logrando un gesto optimizado que maximiza el rendimiento con el menor costo fisiológico posible. Este análisis demuestra que el gesto de lanzamiento no es un simple movimiento lineal, sino una acción compleja que requiere una interacción sofisticada entre múltiples variables biomecánicas y neurológicas.

CAPÍTULO V

BIOMECÁNICA DEL GOLPE DE DERECHA (FOREHAND)

Ciclo de movimiento

El ciclo de movimiento en el tenis constituye una secuencia biomecánica compleja y altamente coordinada que integra múltiples sistemas corporales y neuromusculares para producir un golpe eficiente, estable y adaptado a las demandas específicas del juego. A diferencia de otros deportes de carácter cíclico, el tenis se caracteriza por movimientos acíclicos que deben ejecutarse bajo condiciones cambiantes de velocidad, altura, efecto y trayectoria de la pelota, lo que exige una capacidad de adaptación constante del cuerpo (Kovacs, 2009). De acuerdo con Elliott, Reid y Crespo (2016), el ciclo de movimiento en el tenis no puede concebirse como una serie de gestos aislados, sino como un proceso dinámico en el que cada segmento corporal contribuye de manera secuencial y sincronizada a la generación, transferencia y liberación de energía. Esta interacción exige que las fases preparatoria, de carga, de aceleración, de impacto y de recuperación se integren en un patrón fluido, donde la anticipación motora y el control postural cumplen un rol fundamental. En este sentido, el dominio del ciclo de movimiento se convierte en un determinante clave para el rendimiento deportivo, ya que permite optimizar la velocidad de la raqueta, mejorar la precisión en los impactos y evitar compensaciones que incrementen el riesgo de lesiones.

El primer elemento crucial del ciclo de movimiento es la capacidad del jugador para anticipar y ajustar su postura inicial antes de ejecutar el golpe, lo cual implica un proceso continuo de lectura del entorno, análisis perceptivo y preparación neuromuscular. Según Reid et al. (2013), los mejores tenistas muestran una notable habilidad para interpretar rápidamente la trayectoria y características de la pelota, lo que les permite ajustar su centro de masas y adoptar una base de sustentación estable. Esta fase preparatoria constituye una plataforma desde la cual se iniciará la cadena cinética ascendente, siendo determinante para garantizar que el cuerpo se encuentre en disposición de generar fuerza hacia el suelo y transmitirla con eficiencia. La postura inicial debe combinar estabilidad dinámica y capacidad de reacción, permitiendo al jugador modificar la dirección del golpe incluso en situaciones de alta velocidad, lo que

subraya la importancia del control segmentario y la precisión del posicionamiento corporal.

La fase de preparación no se limita únicamente al posicionamiento de los pies y del tronco, sino que también incluye la colocación de la raqueta y de los brazos en un ángulo y amplitud adecuados para iniciar la fase de carga. Elliott (2006) sostiene que la preparación del golpe influye directamente en la amplitud del backswing, un componente que determina la cantidad de energía potencial disponible para la aceleración posterior. Cuando el backswing es demasiado corto, se reduce el tiempo de aceleración y la energía generada; mientras que si es demasiado amplio, puede comprometer el control, especialmente en situaciones de alta presión o velocidad. Además, la posición inicial de la raqueta también afecta el tiempo de reacción y la sincronización del golpe, elementos especialmente críticos en el tenis moderno, donde la velocidad promedio de los intercambios ha aumentado significativamente. Por lo tanto, la preparación constituye una fase estratégica que organiza mecánicamente el cuerpo para las acciones que vendrán a continuación.

Una característica esencial del ciclo de movimiento es que su eficacia depende de la estabilidad proximal que permita movilidad distal. Este principio biomecánico, ampliamente desarrollado por Kibler (2014), establece que la eficiencia de los segmentos distales, como el antebrazo y la muñeca, depende directamente del nivel de estabilidad del tronco y la cadera. Durante la preparación del golpe, la musculatura del core se activa para estabilizar el complejo lumbopélvico, creando un “anclaje” biomecánico desde el cual los segmentos superiores podrán operar con mayor precisión y menor esfuerzo. Esta activación anticipatoria del core forma parte de los mecanismos de control postural alimentados por información sensorial y propioceptiva, permitiendo que la transferencia energética sea continua y sin interrupciones. En ausencia de esta estabilidad, la cadena cinética se fragmenta y la energía generada por las piernas puede perderse antes de llegar a la raqueta.

La fase de carga representa un momento crítico en el ciclo de movimiento, pues en ella se almacena la energía elástica que posteriormente se convertirá en energía cinética y se transferirá a través de los segmentos corporales. Esta fase

implica un conjunto de acciones excéntricas y concéntricas que conforman el ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC), uno de los principios biomecánicos más importantes en deportes de raqueta (Elliott et al., 2009). Durante la carga, el jugador flexiona sus articulaciones de cadera, rodilla y tobillo, lo que genera un preestiramiento controlado que aumenta la capacidad de producir fuerza explosiva. Además, se inicia la rotación parcial del tronco y la separación angular entre pelvis y hombros, conocida como “X-Factor”, un mecanismo que amplifica la energía generada en la base del cuerpo. La magnitud del X-Factor está estrechamente relacionada con la potencia del golpe, pero también con la habilidad del jugador para controlar dicha rotación sin perder estabilidad ni comprometer la articulación lumbar.

La efectividad de la fase de carga depende también del control neuromuscular y de la precisión con la que el jugador regula la profundidad de la flexión y la amplitud del preestiramiento muscular. De acuerdo con Kovacs y Ellenbecker (2011), un exceso de carga puede generar retrasos en la secuencia cinética o incrementar la tensión sobre estructuras vulnerables, como la columna lumbar en el servicio o el hombro en el drive. Asimismo, una carga insuficiente limita la capacidad de producir energía y reduce la velocidad potencial del golpe. El equilibrio óptimo entre profundidad de flexión, estabilidad postural y tensión preactiva del core permite que los músculos trabajen en rangos mecánicamente favorables, incrementando la eficiencia del movimiento. Esto explica por qué jugadores de élite poseen un control extraordinario sobre la amplitud de sus gestos, adaptando la carga según la situación táctica.

A medida que la energía almacenada durante la carga comienza a liberarse, se inicia la fase de generación de potencia, caracterizada por un movimiento acelerado que sigue una secuencia proximal-distal donde cada segmento contribuye progresivamente a incrementar la velocidad final del sistema. Según Elliott et al. (2016), esta secuencia es el elemento central de la cadena cinética, y su correcta ejecución determina la velocidad máxima que alcanzará la raqueta. La secuencia comienza en los pies, continúa con la rotación de la pelvis, sigue con el tronco, los hombros, el brazo, el antebrazo y finalmente la muñeca. La precisión temporal es fundamental: si un segmento se adelanta o retrasa, la

energía no fluye correctamente y se generan pérdidas mecánicas que afectan tanto la potencia como el control.

La calidad del impulso generado por los pies es el fundamento de toda la cadena cinética. A través del principio de acción-reacción, el jugador empuja contra el suelo para generar una fuerza vertical y horizontal que se transmitirá hacia arriba a través de las articulaciones (Reid & Schneiker, 2008). Este impulso crea el vector de fuerza inicial que orientará la dirección y el tipo de golpe. En golpes ofensivos, este vector es más pronunciado, mientras que en golpes defensivos tiende a ser más controlado y menos explosivo. La capacidad del jugador para modular el uso del suelo determina en gran medida su capacidad para generar velocidad sin comprometer la estabilidad. Los jugadores que dominan esta fase logran convertir el suelo en un socio biomecánico que potencia sus acciones, mientras que los jugadores menos entrenados dependen más de la fuerza de los brazos, lo que aumenta la fatiga y reduce la eficiencia.

La pelvis es el puente biomecánico entre las fuerzas generadas por las piernas y la rotación del tronco. Su rotación controla el flujo energético ascendente y sirve como multiplicador mecánico que amplifica la energía que llegará a los segmentos superiores (Kibler, 2014). Una pelvis rígida o mal posicionada limita la transferencia de energía, generando pérdidas que obligan al jugador a compensar con los brazos, lo que disminuye la calidad del golpe y aumenta el riesgo de lesión. Por otro lado, una pelvis bien sincronizada con el movimiento del tronco permite que la energía fluya de manera eficiente y continua, lo cual se traduce en movimientos más fluidos y golpes más potentes. La rotación de la pelvis no es un movimiento aislado, sino el resultado de una interacción coordinada entre flexores, extensores y rotadores de cadera, así como de la musculatura del core que estabiliza la zona lumbar.

El tronco desempeña un papel determinante en la transferencia energética, ya que permite la transmisión y amplificación de la fuerza hacia los segmentos superiores mediante movimientos de rotación, flexión y extensión debidamente sincronizados. Según Kibler (2014), la musculatura del tronco no solo actúa como estabilizador, sino también como generador activo de potencia, especialmente en golpes como el servicio, el drive y el revés. La rotación del

tronco constituye una de las fuentes principales de aceleración angular, y su efectividad depende de la estabilidad del cinturón pélvico y de la elasticidad de la columna torácica. Un tronco rígido limita la amplitud del gesto y reduce la capacidad de generar torque, mientras que un tronco excesivamente flexible sin control puede comprometer la estabilidad y alterar la dirección del golpe.

El papel de la cadera dentro del ciclo de movimiento constituye uno de los eslabones más determinantes en la secuencia cinética que conduce a un golpe eficiente, en tanto representa el primer segmento capaz de amplificar la energía generada desde la base de apoyo y transferirla hacia el tren superior mediante un mecanismo rotacional complejo. La cadera no solo rota; también se desplaza en sentido anteroposterior y laterolateral, proporcionando un vector de fuerza tridimensional que favorece una mayor aceleración angular del tronco (Kibler & Safran, 2020). En el contexto del tenis, esta acción cobra relevancia porque el jugador debe sincronizar la rotación de la pelvis con la del tronco para evitar disociaciones abruptas que puedan disminuir la velocidad de transferencia o generar compensaciones musculares indeseadas. Cuando la pelvis inicia su rotación antes de que los segmentos superiores estén listos para recibir la carga, se crea una fuga de energía que afecta tanto la potencia como la estabilidad del golpe. Por otro lado, cuando la pelvis rota de manera tardía, el jugador pierde la ventaja mecánica de la cadena cinética y limita la velocidad máxima de la raqueta. Esta interacción entre el timing pélvico y la estabilidad lumbopélvica es fundamental para asegurar que la energía que asciende desde los pies se potencie, en lugar de dispersarse, lo que convierte a la cadera en un generador y, simultáneamente, un modulador de energía dentro del patrón biomecánico del golpe.

La coordinación entre pelvis y tronco también constituye un punto crítico dentro del ciclo de movimiento, especialmente porque el tronco actúa como un puente biomecánico que vincula la producción de fuerza del tren inferior con la aplicación final de fuerza en el tren superior. Uno de los aspectos más complejos del tronco es su capacidad para almacenar energía elástica mediante rotación contraria (torque) y posteriormente liberarla durante la fase de aceleración (Elliott et al., 2019). Este fenómeno, conocido como *stretch-shortening cycle* rotacional,

permite que los músculos oblicuos internos y externos, así como la musculatura paravertebral, aumenten la eficiencia en la producción de fuerza angular. De esta manera, el tronco no es simplemente un pasivo transmisor de energía, sino un componente que la amplifica cuando su secuencia temporal coincide con la liberación progresiva generada desde la pelvis. La relación rotacional entre pelvis y tronco debe mantener una diferencia angular óptima: si la pelvis rota demasiado respecto al tronco, se compromete la estabilidad; si lo hace muy poco, la energía almacenada es insuficiente. En este sentido, la capacidad del jugador para controlar la rigidez del core y la movilidad torácica emerge como un indicador clave de eficiencia biomecánica, condicionando tanto la velocidad del golpe como la reducción de cargas externas sobre la columna lumbar.

En la fase ascendente del ciclo de movimiento, la energía que ha sido generada y modulada por piernas, cadera y tronco es finalmente transferida hacia los segmentos del miembro superior, donde se inicia un proceso de aceleración progresiva compuesto por rotación externa del hombro, extensión del codo y pronación del antebrazo que culminan en la aceleración terminal de la raqueta (Reid & Schneiker, 2020). El hombro, a pesar de ser un segmento extremadamente móvil, debe estabilizarse dinámicamente para permitir que la energía se transmita sin pérdidas. Esta estabilización es proporcionada por los rotadores del hombro, la musculatura escapular y las estructuras capsuloligamentosas que actúan en sinergia. La rotación externa previa al golpe incrementa el ángulo mecánico disponible para la aceleración interna del brazo, lo que aumenta significativamente la velocidad angular alcanzada en el plano glenohumeral. Al mismo tiempo, la escápula cumple un papel estabilizador esencial, dado que cualquier déficit en su control motor puede incrementar las fuerzas de cizalla a nivel glenohumeral, reduciendo la eficiencia del movimiento y elevando el riesgo de lesiones. Desde esta perspectiva, el brazo no genera la potencia principal del golpe; la potencia ya viene construida desde el suelo, y el brazo únicamente actúa como un facilitador para dirigirla y aplicarla a la raqueta.

El codo, aunque muchas veces percibido como un simple transmisor mecánico, configura un punto de control fundamental dentro de la transferencia de energía, ya que su extensión controla tanto el tiempo como la dirección final del swing. En un golpe de derecha tradicional, la extensión del codo no debe ser temprana,

ya que esto reduciría el arco de aceleración y derivaría en un golpe rígido con poca capacidad de generar velocidad (Elliott et al., 2018). Por el contrario, una liberación adecuada del codo, sincronizada con la rotación interna del hombro, permite que la raqueta alcance velocidades óptimas justo en el momento del impacto. Además, el antebrazo cumple un rol determinante en la fase final del golpe mediante la pronación, la cual no solo contribuye a incrementar la velocidad angular, sino que también orienta el plano de la raqueta para optimizar el control de la trayectoria y del efecto. Esta interacción entre el codo y el antebrazo es relevante porque, a diferencia de otros segmentos, ambos tienen una función dual: aumentan velocidad y afinan precisión. Su adecuada sincronización garantiza que la energía acumulada desde los segmentos inferiores no se desperdicie en microdesalineaciones que podrían modificar la estabilidad del impacto.

La muñeca y la mano representan el último eslabón en el ciclo de movimiento, pero paradójicamente son las responsables de determinar cómo se expresa toda la energía generada en los segmentos previos. Su función no consiste en generar potencia, sino en dirigirla, ajustarla y estabilizarla. La muñeca actúa como una bisagra dinámica capaz de modificar el ángulo de ataque, el tiempo de impacto y la trayectoria de la raqueta, lo que influye directamente sobre la capacidad del jugador para imprimir efecto, controlar la altura de la pelota y gestionar la profundidad del golpe (Kovacs, 2017). A pesar de que ciertos estilos de golpe pueden incluir una mayor participación activa de la muñeca, su función principal continúa siendo la modulación fina de la energía, y no la producción de fuerza bruta. Un golpe ejecutado con exceso de flexión o extensión de muñeca puede generar inestabilidad en el momento del impacto, lo que no solo reduce la potencia, sino que también incrementa la probabilidad de lesiones por sobreuso. De este modo, la muñeca finaliza el proceso de transferencia de energía, actuando como un convertidor biomecánico que transforma la energía rotacional y lineal acumulada en una aplicación precisa sobre la pelota.

Dentro del análisis biomecánico del ciclo de movimiento en el tenis, el impacto constituye uno de los momentos más críticos, pues es allí donde toda la transferencia de energía acumulada se materializa en el contacto con la pelota.

A diferencia de otros deportes donde el impacto es prolongado o continuo, el tenis presenta un tiempo de impacto extremadamente breve, estimado entre 4 y 6 milisegundos, lo que implica que no existe posibilidad de ajustar el movimiento durante ese instante; toda la eficiencia depende de lo que ocurrió antes en la cadena cinética (Reid & Elliott, 2021). En consecuencia, el jugador debe llegar al impacto con un sistema músculo-esquelético alineado, estable y con las contracciones musculares ya programadas. Durante el contacto, la raqueta experimenta deformaciones elásticas y vibraciones que son moduladas por la rigidez del brazo y la posición de la muñeca, lo que convierte a este segmento final en un filtro biomecánico de suma importancia. Si la cadena cinética se ejecutó correctamente, la pelota sale con la combinación ideal de potencia, dirección y efecto; si existió alguna interrupción en el flujo energético, ya sea por un retraso de la pelvis, una inestabilidad escapular o un desacople del codo, la pérdida de energía será evidente en la salida de la pelota. Por ello, el impacto actúa como un indicador preciso del desempeño biomecánico previo: cualquier deficiencia del ciclo de movimiento queda expuesta de forma inmediata en el resultado del golpe.

La fase de desaceleración, muchas veces ignorada en la enseñanza técnica, constituye en realidad uno de los componentes más relevantes para la preservación de la salud articular y la mitigación de cargas excesivas acumuladas durante el golpe. Esta fase inicia inmediatamente después del impacto y se caracteriza por una rápida activación excéntrica de la musculatura del hombro, la escápula y el tronco, con el fin de controlar la alta velocidad alcanzada por la raqueta (Kibler et al., 2018). Desde una perspectiva biomecánica, la desaceleración es un proceso tanto de absorción como de redistribución de energía. Cuando el jugador no posee un adecuado control excéntrico del manguito rotador o de los estabilizadores escapulares, la carga resultante recae directamente sobre las estructuras capsuloligamentosas del hombro, incrementando el riesgo de microtraumas repetitivos. Además, la desaceleración juega un papel clave en el mantenimiento del equilibrio postural, ya que un final de movimiento descontrolado puede desplazar el centro de masa y comprometer la recuperación para el siguiente golpe. En jugadores avanzados, esta fase se entrena de manera específica, reconociendo que un buen control

de la desaceleración no solamente previene lesiones, sino que mejora la fluidez del ciclo completo al permitir que el cuerpo vuelva rápidamente a una posición neutra lista para la siguiente acción.

Otro aspecto esencial del ciclo de movimiento es la interacción entre respiración, activación muscular y transferencia de energía, una dimensión frecuentemente subestimada en los análisis técnicos tradicionales. La respiración no solo regula la presión intraabdominal, sino que también modula la estabilidad del core, favoreciendo la rigidez necesaria para optimizar la transmisión de fuerzas desde los segmentos inferiores hacia la raqueta (Martínez & Torres, 2020). Durante la fase explosiva del golpe, muchos jugadores realizan una exhalación rápida que coincide con el momento de aceleración terminal, favoreciendo una mayor actividad de los músculos abdominales profundos y una reducción del exceso de tensión en los músculos superficiales. Esta coordinación respiratoria cumple un doble papel: provee estabilidad funcional y, al mismo tiempo, evita la rigidez excesiva que podría inhibir la fluidez del movimiento. En términos biomecánicos, la respiración se convierte en un componente que regula la eficiencia del ciclo energético, permitiendo que el cuerpo mantenga un equilibrio óptimo entre rigidez segmentaria y movilidad integrada. En deportistas con patrones respiratorios deficientes, es común observar interrupciones en la cadena cinética, compensaciones lumbares y disminuciones notables en la velocidad de la raqueta.

La sincronización temporal de todos los segmentos corporales durante el ciclo de movimiento representa, quizás, el factor más determinante para el rendimiento técnico, dado que incluso pequeñas alteraciones en el tiempo de activación muscular pueden generar variaciones significativas en la velocidad final del golpe. La literatura biomecánica subraya que la secuencia óptima debe seguir un patrón proximal-distal, en el cual los segmentos mayores generan la mayoría de la energía y los segmentos más distales la amplifican y direccionan (Elliott et al., 2019). Sin embargo, esta secuencia debe comprenderse como un proceso dinámico y fluido, no como un conjunto de pasos rígidos. La variabilidad motora controlada permite que los jugadores ajusten su patrón según la situación táctica, el tipo de golpe, la orientación del cuerpo o la distancia respecto a la

pelota. Esta flexibilidad en el timing convierte al ciclo de movimiento en un sistema adaptativo, más que en una receta fija. Cuando los jugadores adquieren mayor experiencia, la sincronización de segmentos se automatiza y libera recursos cognitivos para la toma de decisiones. Así, la eficiencia temporal no solo optimiza la transferencia de energía, sino que también se convierte en un elemento clave de rendimiento táctico.

El cierre del ciclo de movimiento en el tenis, entendido como la integración de preparación, aceleración, impacto y desaceleración, debe analizarse no como un conjunto de fases aisladas, sino como un circuito energético interdependiente en el que cada acción condiciona el rendimiento de la siguiente. En este sentido, el ciclo no termina con la desaceleración; continúa con la transición inmediata hacia la recuperación postural, que determina la capacidad del jugador para responder a la exigencia del siguiente golpe (Reid & Schneiker, 2020). La recuperación no solo implica regresar a una posición neutra, sino restablecer el eje corporal, reorganizar los patrones de apoyo y reactivar el core para anticipar el próximo desplazamiento. Desde una perspectiva global, el ciclo de movimiento es un proceso continuo en el que la eficiencia no depende exclusivamente de la potencia, sino de la capacidad de integrar estabilidad, movilidad, coordinación, timing y control segmentario. Cuando estos elementos se armonizan, la transferencia de energía desde los pies hasta la raqueta se convierte en un proceso altamente eficiente, adaptable y repetible, característico de los jugadores de élite. Por ello, comprender este ciclo como un fenómeno sistémico es esencial para entrenadores, analistas y deportistas que buscan optimizar rendimiento y reducir riesgos de lesión.

Transferencia de energía desde los pies hasta la raqueta

La transferencia de energía desde los pies hasta la raqueta constituye uno de los procesos biomecánicos más complejos del tenis, ya que integra simultáneamente componentes neuromusculares, cinemáticos y cinéticos que deben interactuar en un orden temporal específico. Esta transferencia inicia con la activación muscular del pie y del tobillo, responsables de generar fuerzas de reacción contra el suelo que serán transmitidas verticalmente a través de los ejes articulares de rodilla, cadera, columna y extremidades superiores (Kibler &

Safran, 2020). El pie, muchas veces subestimado en estudios tradicionales, funciona como la primera plataforma de estabilidad y como un generador inicial de energía elástica que será multiplicada a lo largo de la cadena cinética. Su rigidez controlada permite que el jugador absorba, almacene y libere energía en milisegundos, adaptándose a condiciones variables del terreno y a las demandas impredecibles del juego. En este nivel inicial, cualquier alteración, como una pronación excesiva, una pérdida de rigidez del arco o un retraso en la activación de la musculatura intrínseca, puede comprometer la transmisión eficiente del impulso. Así, la transferencia de energía no es únicamente un proceso ascendente, sino una ecuación biomecánica en la que el pie, aun siendo el segmento más distal del cuerpo, determina la calidad de todo el patrón ascendente.

El tobillo, como articulación que controla simultáneamente movilidad y estabilidad, representa un punto de transición esencial en la transmisión de fuerzas hacia los segmentos proximales. Su función principal radica en permitir que el cuerpo transforme la energía lineal generada por la presión contra el suelo en una energía angular que será posteriormente utilizada por rodilla y cadera durante la rotación y extensión. Estudios biomecánicos indican que el control del tobillo influye directamente sobre la alineación de la pierna y del centro de masa, afectando la mecánica de carga durante la preparación del golpe (Reid & Elliott, 2021). En la práctica, esto significa que un tobillo rígido puede limitar el rango de dorsiflexión necesario para una adecuada generación de energía elástica, mientras que un tobillo excesivamente móvil puede dificultar la creación de un vector de fuerza estable. De este modo, la articulación no solo modula la cantidad de fuerza transmitida, sino su dirección, condicionando la efectividad de la cadena cinética en fases posteriores. En jugadores avanzados, el entrenamiento propioceptivo y de control neuromuscular del tobillo se considera fundamental para evitar interrupciones en la transmisión energética entre extremidades inferiores y superiores.

La rodilla, en tanto articulación intermedia entre tobillo y cadera, cumple una doble función: actúa como un mecanismo amortiguador de fuerzas y como un amplificador de energía mediante extensión explosiva. Durante la preparación

del golpe, la rodilla se flexiona para acumular energía elástica en los músculos isquiotibiales y cuádriceps, energía que será liberada de forma explosiva durante la fase ascendente del swing (Elliott et al., 2019). Esta articulación no solo regula la altura del centro de masa, sino que también contribuye a la estabilización del plano frontal y sagital, permitiendo que la fuerza generada sea dirigida en un vector ascendente y rotacional adecuado. Si la rodilla colapsa en valgo o pierde alineación con la punta del pie, se reduce significativamente la capacidad para transmitir energía hacia la cadera, provocando desviaciones cinéticas que deben ser compensadas en segmentos superiores. Dichas compensaciones, aunque funcionales en el corto plazo, generan sobrecargas que pueden alterar el timing del golpe y aumentar el gasto energético. Por ello, el control funcional de la rodilla constituye un punto crítico dentro de la secuencia biomecánica que define la eficiencia energética del movimiento.

La cadera ocupa un lugar central dentro de la transferencia de energía porque es el primer segmento del cuerpo con alta capacidad rotacional y potencia muscular significativa. Su capacidad para producir torque —rotación alrededor del eje longitudinal del cuerpo— permite que la energía transmitida desde el suelo se convierta en potencia rotacional, indispensable para golpes con alta velocidad de raqueta (Kovacs, 2017). Durante un golpe de derecha o revés, la cadera realiza una rotación previa en sentido contrario al golpe que almacena energía elástica en los músculos glúteos y oblicuos; esta energía es liberada durante la fase de aceleración, incrementando la velocidad del tronco y del brazo. La relación entre rotación pélvica y estabilidad lumbopélvica es fundamental: una pelvis excesivamente móvil puede generar desalineaciones, mientras que una pelvis rígida limita la cantidad de torque disponible. De esta manera, la cadera es simultáneamente un generador y un regulador de energía, capaz de multiplicar la potencia inicial proveniente del suelo o, en caso contrario, de neutralizarla si su secuencia temporal no es la adecuada.

La columna vertebral, particularmente la porción torácica y lumbar, actúa como un eje articulado que permite que la rotación iniciada en la cadera se transfiera hacia los hombros y extremidades superiores. Su función es crítica porque combina estabilidad segmentaria con movilidad rotacional, en un equilibrio que es difícil de alcanzar y aún más difícil de mantener bajo condiciones de juego

(Martínez & Torres, 2020). La rotación torácica permite amplificar el movimiento generado desde la pelvis, mientras que la estabilidad lumbar evita que la energía se disperse en movimientos compensatorios innecesarios. Si la región lumbar rota en exceso —debido a limitaciones en la movilidad torácica o en la cadera—, se incrementa la carga sobre discos y articulaciones facetarias, reduciendo la eficiencia energética del golpe y aumentando el riesgo de lesiones. La columna, por tanto, es el segmento que define la eficiencia del "puente" biomecánico: un tronco rígido limita la ampliación del torque; un tronco inestable dispersa energía. La coordinación muscular del core profundo, junto con la musculatura oblicua y paravertebral, determina el éxito de este proceso.

La escápula constituye uno de los elementos más importantes —y más complejos— en el proceso de transferencia de energía hacia la extremidad superior. Funciona como una plataforma móvil que soporta al húmero durante movimientos explosivos, asegurando que la energía rotacional y lineal generada en los segmentos inferiores pueda aplicarse eficientemente en el golpe (Reid & Schneiker, 2020). Su movilidad tridimensional permite la combinación de rotación superior, inclinación posterior y rotación interna, necesarias para que el brazo pueda alcanzar posiciones extremas de abducción, extensión y rotación externa durante la fase de arm-cocking. Si la escápula no se estabiliza correctamente —por debilitamiento del serrato anterior, trapecio medio o trapecio inferior—, el hombro pierde eficiencia como punto de transmisión energética, y la cantidad de fuerza que llega a la raqueta disminuye. Esta pérdida no solo limita la potencia del golpe, sino que altera la mecánica del hombro y modifica la trayectoria óptima del brazo en el plano espacial.

El hombro es uno de los segmentos que más energía recibe dentro de la cadena cinética, y al mismo tiempo uno de los que experimenta mayores cargas, especialmente durante golpes explosivos como el servicio o la derecha ofensiva. Durante la transición entre la rotación del tronco y la aceleración del brazo, el hombro realiza una compleja combinación de rotación externa, abducción y extensión que permite almacenar energía elástica en los músculos del manguito rotador y el pectoral mayor (Reid & Elliott, 2021). Esta posición, conocida como arm-cocking, es determinante para la velocidad máxima que alcanzará la

raqueta. Si la rotación externa es insuficiente, la potencia del golpe disminuye; si es excesiva, aumenta la tensión sobre la cápsula anterior del hombro. De esta manera, el hombro funciona como un amplificador final de energía y como un regulador de tensiones articulares. Su descoordinación puede provocar pérdidas significativas de velocidad en la raqueta y, en casos más severos, compensaciones en el codo y la muñeca que incrementen el riesgo de lesiones.

El codo, aunque no produce grandes cantidades de energía por sí mismo, cumple un papel vital en la transferencia intersegmentaria porque controla el momento exacto en que el brazo se extiende y dirige la trayectoria del swing. La extensión del codo debe ser progresiva y sincronizada con la rotación interna del hombro para que la energía acumulada fluya sin interrupciones hacia la muñeca y la raqueta (Elliott et al., 2018). Un codo que se extiende demasiado temprano provoca una liberación anticipada del brazo, reduciendo el arco de aceleración disponible; mientras que una extensión tardía obliga al jugador a compensar con movimientos acelerados de muñeca, disminuyendo el control del golpe. Además, el codo es un punto sensible de lesiones por sobreuso debido a la variabilidad de cargas generadas durante golpes con topspin elevado o durante ejecuciones repetitivas del servicio.

El antebrazo y la muñeca cumplen una función decisiva en la dirección final de la energía al momento del impacto. La pronación o supinación del antebrazo, asociada a la flexoextensión y desviación de la muñeca, permite ajustar con gran precisión el ángulo del plano de la raqueta, la velocidad de la cara de impacto y la cantidad de efecto impartido a la pelota (Kovacs, 2017). Sin embargo, es fundamental aclarar que la muñeca no genera potencia; su función es modular la energía que llega desde segmentos proximales. En estilos de golpe más modernos, como la derecha con empuñadura semiwestern o western, la muñeca participa más activamente en la gestión del spin, pero su función continúa siendo refinadora, no generadora. Una participación excesiva puede comprometer la estabilidad del impacto y aumentar el riesgo de lesiones como la tendinopatía del extensor común.

La suma de todas estas interacciones segmentarias da lugar a un fenómeno central en la eficiencia del golpe: la conservación del impulso mecánico a lo largo

de la cadena cinética. El cuerpo humano, al realizar movimientos explosivos, se asemeja a un sistema de palancas articulado en el cual cada segmento multiplica la velocidad del segmento previo mediante rotaciones y extensiones combinadas (Elliott et al., 2019). Esta capacidad de incremento progresivo es lo que permite que la raqueta alcance velocidades superiores a los 120 km/h incluso en golpes de fondo. Si en algún punto del proceso existe una pérdida de rigidez, un retraso temporal o una mala alineación, el impulso se reduce y la velocidad final del golpe disminuye. La calidad de esta transferencia es, por tanto, el resultado de una coordinación neuromuscular altamente especializada, que debe ser entrenada, automatizada y adaptada a múltiples contextos de juego.

La fase de estabilización previa al impacto constituye un punto de inflexión en la eficiencia del golpeo, pues marca el momento en que la energía generada durante el impulso ascendente a través de la cadena cinética se canaliza hacia los segmentos proximales del cuerpo para posteriormente desplazarse con mayor velocidad hacia los segmentos distales, siguiendo el principio de “secuencia proximal-distal” descrito en la literatura biomecánica (Elliott et al., 2016). En esta fase, la activación de la musculatura estabilizadora del tronco, específicamente el transverso abdominal, los oblicuos y los erectores espinales, garantiza que el jugador mantenga la estabilidad del eje central, lo cual es indispensable para impedir fugas de energía que comprometan la potencia final del golpe (Reid & Schneiker, 2019). Así, la combinación entre estabilidad central y movilidad periférica permite que la transferencia energética sea fluida, sin interrupciones y sin pérdidas por compensaciones posturales que suelen aparecer en deportistas con menor nivel técnico o con debilidades musculares específicas.

En la biomecánica del tenis es ampliamente reconocido que una incorrecta estabilización del tronco durante el ciclo de movimiento no solo disminuye la potencia del golpeo, sino que incrementa la probabilidad de lesión en la zona lumbar, la cadera y el hombro, debido a la distribución asimétrica de cargas mecánicas (Kibler & Sciascia, 2018). Por ello, durante la transición entre la rotación pélvica inicial y la rotación torácica acelerada, el cuerpo requiere un sistema neuromuscular capaz de sincronizar la tensión isométrica y la relajación

selectiva de estructuras musculares para permitir un movimiento explosivo pero controlado. Esta coordinación intermuscular, conocida como “control motor anticipatorio”, ha demostrado ser determinante para deportistas de alto rendimiento, ya que la capacidad para activar los músculos estabilizadores antes de la ejecución del gesto mejora la transferencia de energía y contribuye a mantener un patrón técnico consistente incluso bajo condiciones de fatiga (Hodges & Tucker, 2021).

Otro elemento esencial en la dinámica de la transferencia energética es la rotación torácica, que actúa como un puente biomecánico entre la energía acumulada en la parte inferior del cuerpo y la aceleración final del brazo y la raqueta. La literatura especializada describe esta rotación como un factor directamente asociado al incremento de velocidad de la cabeza de la raqueta, especialmente en golpes de fondo como el drive y el revés (Elliott, 2020). Cuando la caja torácica rota con precisión y sincronización temporal adecuada, el movimiento facilita un aumento significativo del momentum angular, lo que permite que la energía continúe fluyendo hacia el hombro, el codo y la muñeca. Si esta rotación se ejecuta de manera insuficiente, exagerada o fuera de tiempo, el jugador no solo pierde velocidad, sino que compromete la estabilidad de las cadenas musculares superiores, lo que puede modificar negativamente la trayectoria del golpe y alterar la dirección final de la pelota.

El movimiento del hombro constituye una de las fases más sensibles de la transferencia energética, ya que es el segmento que recibe la mayor cantidad de fuerza rotacional proveniente del tronco y, simultáneamente, el más expuesto a tensiones mecánicas debido a su movilidad multidireccional (Reid et al., 2021). Durante el ciclo de movimiento, el hombro debe funcionar como una articulación elástica que almacena energía a través del estiramiento de los músculos rotadores externos y que posteriormente libera esta energía al activar los rotadores internos en una secuencia explosiva conocida como “acoplamiento estiramiento-acortamiento” (Kibler & Safran, 2018). Este mecanismo es fundamental para lograr golpes potentes sin comprometer la integridad articular. Cuando el acoplamiento se altera, por ejemplo, por fatiga, mala técnica o desequilibrio muscular, el jugador tiende a compensar con movimientos del codo

o la muñeca, lo que afecta negativamente la precisión y aumenta el riesgo de lesiones sobreuso.

El codo, aunque es una articulación menos protagonista que el hombro en términos de producción de energía, juega un papel crucial en la modulación de la velocidad y el control del golpe durante la fase de aceleración final. Estudios biomecánicos han evidenciado que el codo actúa como un amplificador cinético cuando mantiene un ángulo óptimo durante la transición del movimiento, permitiendo que la energía proveniente del tronco y el hombro se transfiera con mínima pérdida hacia el antebrazo (Elliott, 2019). Sin embargo, la función del codo no es únicamente pasiva; su capacidad para ajustar el ángulo de extensión y su tiempo de liberación determinan en gran medida la trayectoria del golpe, la altura de contacto y la capacidad para impartir efectos como el topspin. Una descoordinación mínima en esta estructura puede modificar el punto de contacto con la pelota y alterar la calidad global del golpe.

En términos de control fino y precisión, la muñeca representa el último eslabón de la cadena cinética y, por tanto, es la estructura responsable de orientar la raqueta en el instante exacto del impacto. La muñeca no genera la mayor parte de la energía del golpe, pero sí determina cómo se expresa esa energía, modulando la dirección, el ángulo de la cara de la raqueta y la cantidad de spin impartido a la pelota (Reid & Elliott, 2022). Este control altamente especializado requiere de una combinación entre fuerza isométrica, movilidad y control neuromuscular, lo cual explica por qué los jugadores con excelente técnica presentan una muñeca relajada durante la mayor parte del movimiento, pero activan un ajuste preciso en los milisegundos previos al contacto. De hecho, una muñeca excesivamente rígida o activada fuera de tiempo puede interrumpir la transferencia energética generada desde los pies, lo que resulta en golpes menos potentes y menos precisos.

El punto de contacto con la pelota constituye la culminación del ciclo de movimiento y, al mismo tiempo, determina la efectividad del golpe. Aunque la energía ya se ha transferido a través de todos los segmentos corporales, la biomecánica del contacto depende de la integración exacta entre postura, velocidad de la raqueta, alineación corporal, ángulo de la muñeca y tiempo de

reacción (Reid et al., 2020). En este sentido, el contacto ideal se produce cuando la raqueta se encuentra acelerando en su punto máximo, lo que implica que el flujo energético no se haya interrumpido en ninguna fase previa. Si el jugador impacta demasiado temprano o demasiado tarde, la cadena cinética se rompe, la energía no se expresa completamente y el golpe pierde potencia, control o dirección. De ahí que entrenamientos orientados al timing y la percepción espacial sean esenciales para que la transferencia energética se traduzca en rendimiento real.

Tras el impacto, el movimiento de seguimiento (follow-through) no solo cumple una función estética o finalizadora, sino que constituye una fase biomecánicamente vital para la protección articular y para garantizar que la energía residual se disipe de forma segura (Elliott, 2020). Un follow-through adecuado permite que las articulaciones del hombro, codo y muñeca no experimenten fuerzas abruptas de desaceleración, disminuyendo significativamente el riesgo de lesión. Además, esta fase influye en la calidad global del golpe, ya que un seguimiento incompleto suele asociarse con trayectorias de pelota menos estables y con una menor capacidad para controlar la profundidad del golpe. En deportistas avanzados, el follow-through se adapta estratégicamente según el tipo de efecto, la dirección deseada y el tiempo disponible para recuperar la posición.

Desde un punto de vista neuromuscular, el control de la desaceleración posterior al impacto demanda una activación excéntrica coordinada de los músculos del hombro, del brazo y del antebrazo, que actúan como frenos biomecánicos para gestionar la energía que no ha sido transferida a la pelota (Kibler & Sciascia, 2018). Este control fino requiere un alto nivel de fuerza excéntrica, particularmente en los rotadores externos del hombro y en los extensores del codo, cuya función es desacelerar la raqueta sin comprometer la estabilidad articular. La falta de fuerza excéntrica en estas estructuras se ha asociado con mayores tasas de tendinopatía, microtraumas por sobreuso y deterioro en la consistencia técnica del golpe. Por ello, programas de fortalecimiento orientados a la fase de desaceleración constituyen un componente clave en la preparación física del tenista moderno.

Finalmente, la reintegración postural después del follow-through garantiza que el jugador pueda recuperar su equilibrio, orientar su centro de masa y prepararse de manera eficiente para el siguiente movimiento, lo que demuestra que el ciclo de golpeo no es un evento aislado, sino una secuencia continua dentro de un proceso de movilidad global (Reid & Elliott, 2022). Durante esta transición, la musculatura del core vuelve a desempeñar un papel determinante, ya que ayuda a reorganizar la alineación corporal y a estabilizar el tronco mientras el jugador regresa a la posición base. Además, la eficiencia de esta fase tiene un impacto directo sobre la capacidad del jugador para responder a golpes del oponente, evidenciando que la transferencia energética adecuada no solo influye en el golpe actual, sino también en la preparación para el siguiente movimiento.

Estilos de golpeo y sus diferencias biomecánicas

Las diferencias entre estilos de golpeo en el tenis se originan fundamentalmente en la forma en que cada jugador organiza la secuencia de su ciclo de movimiento y administra la transferencia de energía a lo largo de la cadena cinética. Aunque todos los estilos comparten principios biomecánicos generales, como la activación desde el suelo, la rotación del tronco y la aceleración de los segmentos distales, los matices técnicos y posturales modifican la magnitud, el flujo y la eficiencia de dicha energía (Elliott, 2020). De esta manera, analizar los estilos no implica únicamente comparar preferencias técnicas, sino comprender cómo cada variación afecta velocidad, precisión, spin, estabilidad articular y consumo energético del atleta. En este sentido, jugadores con estilos más agresivos tienden a acentuar fases de aceleración y rotación, mientras que aquellos que priorizan control y regularidad distribuyen la energía de manera más gradual y conservadora, adaptando posturas y ritmos según las exigencias del punto o la superficie de juego.

Uno de los contrastes más significativos se observa entre el estilo de golpeo basado en potencia y el estilo centrado en control, cuya diferencia radica principalmente en la amplitud del backswing, la magnitud de la rotación del tronco y la velocidad del swing final (Reid & Elliott, 2022). Los jugadores que buscan potencia utilizan una mayor pre-rotación de cadera y tronco, lo que les permite almacenar más energía elástica en los músculos extensores y rotadores. Esta

estrategia incrementa el momentum angular, generando golpes más veloces, pero también exigiendo mayor coordinación temporal para evitar pérdidas de energía. Por el contrario, quienes priorizan el control reducen la amplitud del swing para disminuir variaciones angulares, logrando una trayectoria de raqueta más predecible. Aunque este enfoque sacrifica velocidad, optimiza la precisión y mejora la consistencia en situaciones de presión.

Las diferencias entre el estilo con empuñadura semiwestern y el estilo eastern representan otro contraste biomecánico que determina cómo se transfiere la energía desde los pies hasta la raqueta. Con la semiwestern, la cadena cinética requiere una mayor rotación del tronco y una orientación más cerrada del cuerpo para generar el topspin característico de este estilo (Elliott et al., 2016). Como consecuencia, los jugadores deben activar con mayor énfasis la musculatura del core y de los rotadores internos del hombro para producir un ángulo de ataque ascendente. En cambio, la empuñadura eastern facilita un contacto más plano, lo que requiere menos rotación torácica y un swing más directo hacia la pelota. Esto reduce la exigencia sobre la musculatura rotacional, pero demanda una sincronización más precisa del ángulo de la raqueta para mantener profundidad.

En relación con la producción de efectos, los estilos orientados al topspin requieren una transferencia de energía vertical significativamente mayor que aquellos enfocados en golpes planos o slice (Reid & Schneiker, 2019). El topspin exige que la energía procedente de las piernas genere no solo impulso hacia adelante, sino también una componente vertical que permita un movimiento de raqueta ascendente. Esto implica un mayor rango de flexión-extensión en cadera y rodillas, además de un incrementado rol del core en la estabilización durante la rotación. Por el contrario, el estilo plano redirige el flujo energético hacia un plano horizontal, priorizando la velocidad lineal. La cadena cinética continúa funcionando, pero con una dirección distinta de las fuerzas, lo que produce trayectorias más penetrantes pero con margen de error menor.

El estilo de golpeo defensivo introduce variaciones notables en el ciclo de movimiento, ya que enfatiza la absorción de energía más que la producción de potencia. En este enfoque, el jugador utiliza un backswing reducido, menor

rotación de tronco y un contacto ligeramente retrasado para aprovechar la energía transferida por la pelota del oponente (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Esto transforma la cadena cinética en un sistema amortiguador que estabiliza segmentos corporales mediante control excéntrico, permitiendo retornar la pelota con menor desgaste. Aunque este estilo reduce la velocidad propia del golpe, destaca por su capacidad para generar estabilidad bajo condiciones de desequilibrio, como desplazamientos laterales extremos, donde la eficiencia biomecánica se redefine en términos de control postural y no de potencia.

El golpeo ofensivo, en contraste, prioriza la máxima expresión del ciclo de movimiento, utilizando cada fase de la cadena cinética para aumentar la velocidad de la raqueta. Este estilo se caracteriza por una amplia apertura del backswing, una rotación pélvica explosiva y una aceleración final más agresiva del brazo, lo que permite alcanzar velocidades de cabeza de raqueta significativamente superiores (Elliott, 2019). Sin embargo, este enfoque biomecánico exige un mayor grado de estabilidad central y una secuenciación precisa, ya que cualquier error en la sincronización compromete la dirección del golpe. Además, el estilo ofensivo genera mayores cargas sobre hombro y muñeca, por lo que su eficacia depende en gran medida de la capacidad del jugador para tolerar estas fuerzas y mantener una técnica depurada.

Al comparar el revés a una mano con el revés a dos manos, surgen diferencias estructurales profundas en cómo se transfiere la energía a lo largo del cuerpo. El revés a una mano requiere una rotación más amplia del tronco y un mayor control de la estabilidad del hombro dominante, ya que el brazo ejecutor debe gestionar la mayor parte de la fuerza (Reid & Elliott, 2022). Esto hace que el revés a una mano dependa críticamente de la calidad de la cadena cinética superior. En contraste, el revés a dos manos divide la carga entre ambos brazos, lo que disminuye la necesidad de rotación excesiva y permite mayor estabilidad durante el impacto. Aunque el revés a dos manos produce menor alcance lateral y menos potencia absoluta, ofrece más control y reduce tensiones sobre la articulación del hombro dominante.

Las variaciones en el estilo de golpeo también se relacionan con el tiempo de preparación. Jugadores con estilos rápidos y agresivos utilizan una preparación extremadamente anticipada y un backswing compacto, lo que les permite golpear pelotas a alta velocidad sin comprometer la transferencia energética (Elliott et al., 2016). Por el contrario, aquellos con estilos más tradicionales emplean un backswing más amplio que maximiza el almacenamiento de energía elástica, aunque requiere más tiempo y mayor lectura del juego. Estas diferencias reflejan adaptaciones no solo técnicas, sino también cognitivas, ya que los jugadores deben integrar anticipación perceptiva, toma de decisiones y ejecución biomecánica en una fracción de segundo.

El tipo de superficie influye profundamente en la elección del estilo de golpeo, debido a cómo modifica las demandas mecánicas del ciclo de movimiento. En arcilla, donde los puntos son más largos y el bote de la pelota es más alto, los estilos que privilegian el topspin y la rotación del tronco resultan más efectivos porque permiten controlar la profundidad con mayor seguridad (Reid & Schneiker, 2019). En superficies rápidas, el estilo plano y directo se optimiza debido a la necesidad de reducir tiempos de preparación y aprovechar la velocidad que la superficie imprime a la pelota. De este modo, las diferencias estilísticas no son solo preferencias técnicas, sino respuestas biomecánicas adaptativas al entorno competitivo.

La antropometría del jugador constituye otro factor que diferencia estilos y modifica la forma de transferir energía. Jugadores altos tienden a generar mayor velocidad lineal con swings más compactos, debido a su mayor alcance y capacidad para impactar la pelota en ángulos elevados (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Por el contrario, jugadores más bajos suelen emplear swings más amplios y con mayor rotación del tronco para compensar la menor altura de impacto. Estas diferencias estructurales se reflejan en la manera en que los segmentos corporales contribuyen al ciclo de movimiento, especialmente en la fase de aceleración, donde las proporciones anatómicas modifican el torque disponible y la eficiencia mecánica.

Las diferencias estilísticas también se evidencian en la forma en que cada jugador administra su energía interna a lo largo del punto. Jugadores con estilos

agresivos suelen tener un gasto energético mayor, ya que cada golpe requiere un ciclo completo de producción de potencia desde los pies hasta la raqueta (Reid & Elliott, 2022). En cambio, jugadores con estilos basados en control utilizan estrategias biomecánicas que reducen la producción independiente de fuerza, aprovechando más la energía entrante de la pelota. Esto implica cambios en la magnitud de la activación muscular, en las demandas cardiorrespiratorias y en la estabilidad postural, lo que demuestra que las diferencias entre estilos no son solo técnicas, sino metabólicas y neuromecánicas.

El manejo del equilibrio dinámico varía según el estilo de golpeo. Los jugadores agresivos, debido a la amplitud de sus movimientos y a la mayor generación de fuerzas rotacionales, requieren estrategias de estabilización más complejas, especialmente durante la fase de desaceleración post-impacto (Kibler & Sciascia, 2018). Esto implica una demanda mayor sobre los músculos del core y del glúteo medio, responsables de contrarrestar momentos de torsión. Por el contrario, los estilos más compactos presentan menor desplazamiento del centro de masa, reduciendo la necesidad de estabilización compensatoria. Esta diferencia biomecánica explica por qué algunos estilos son más sostenibles durante partidos largos, mientras otros destacan en explosividad pero generan mayor fatiga.

El uso de la muñeca es otro elemento diferenciador importante. En estilos basados en topspin, la muñeca actúa como un acelerador final que contribuye a aumentar la velocidad angular de la raqueta mediante un gesto de pronación controlada (Reid & Elliott, 2022). Esto requiere un balance delicado entre movilidad y estabilidad. En cambio, los estilos planos utilizan una muñeca más firme y estable, reduciendo el grado de movilidad para garantizar un contacto más directo. Aunque esta rigidez disminuye el riesgo de errores direccionales, también limita la capacidad del jugador para impartir efectos, lo que demanda un control más estricto del plano de la raqueta para evitar fallos.

En el slice, por ejemplo, la transferencia energética difiere sustancialmente, ya que la cadena cinética se reorganiza para permitir un movimiento descendente de la raqueta. En lugar de una aceleración explosiva, el slice emplea una disminución progresiva de la velocidad, coordinada con una apertura del ángulo

de la muñeca que permite cortar la pelota (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Este estilo enfatiza el control del brazo y el manejo del centro de masa hacia atrás, lo que cambia la dirección del flujo energético y reduce el torque en las articulaciones del hombro y el codo. Por ello, el slice requiere menos potencia pero mayor delicadeza técnica, con una secuenciación más conservadora y controlada.

El estilo basado en desplazamientos agresivos hacia la pelota produce diferencias biomecánicas adicionales, ya que la energía generada por el movimiento del cuerpo se suma a la transferencia de energía de la cadena cinética (Elliott, 2019). Cuando el jugador se desplaza hacia adelante, el momentum del centro de masa incrementa la velocidad de la raqueta durante el impacto. Esto hace que los golpes realizados en movimiento requieran una coordinación más compleja, ya que la energía cinética del desplazamiento debe integrarse de manera precisa con la energía producida por la rotación pélvica y torácica. En estilos más estáticos, esta integración es menos relevante, lo que simplifica el gesto técnico.

Las diferencias en la gestión del tiempo de contacto entre estilos modifican profundamente la manera en que se expresa la energía transferida. Jugadores que priorizan efectos prolongan el arco del swing y mantienen la raqueta dentro del plano de contacto más tiempo, lo que facilita el control del spin y la redirección del golpe (Reid & Elliott, 2022). En cambio, los estilos planos presentan un contacto más breve, lo que reduce la ventana de error pero aumenta la exigencia sobre la precisión del ángulo inicial. Estas variaciones explican por qué diferentes estilos favorecen distintos tipos de golpe y por qué algunos jugadores se desempeñan mejor en superficies específicas.

La respiración, aunque menos discutida, también distingue estilos de golpeo. En jugadores que buscan potencia, la exhalación explosiva sincronizada con la aceleración final permite maximizar la activación neuromuscular y aumentar la eficiencia del gesto (Kibler & Safran, 2018). En estilos orientados al control, la respiración es más estable y menos dependiente del timing, lo que favorece la precisión. Esta diferencia respiratoria impacta la estabilidad del tronco, el ritmo

del swing y la capacidad del jugador para regular el estrés fisiológico durante peloteos prolongados.

En términos de estrategias cognitivas, los jugadores ofensivos procesan información visual de manera más anticipada, lo que les permite preparar swings más amplios y arriesgados. Esto contrasta con los jugadores defensivos, quienes ajustan la biomecánica en función de la reacción inmediata y optimizan la transferencia energética desde posturas menos favorables (Reid & Schneiker, 2019). Las diferencias cognitivas modifican la temporalidad del ciclo de movimiento y, por ende, la forma en que la energía fluye a través de los segmentos corporales.

Las diferencias estilísticas también afectan la prevención de lesiones. Estilos agresivos generan mayor carga repetitiva sobre hombro y muñeca debido a la velocidad de la cadena cinética y a la magnitud del torque producido en el swing (Kovacs & Ellenbecker, 2020). En contraste, estilos más controlados distribuyen mejor las fuerzas y reducen el estrés acumulado. Esto explica por qué ciertos jugadores, dependiendo de su estilo, presentan patrones de lesión recurrentes asociados a sus preferencias técnicas.

Finalmente, la elección del estilo de golpeo no solo responde a preferencias técnicas, sino a un proceso de adaptación biomecánica complejo en el que convergen la estructura corporal, la experiencia previa, la capacidad física, la superficie, la estrategia competitiva y las demandas neuromusculares del juego (Elliott, 2020). Cada estilo representa una manera distinta de organizar el ciclo de movimiento y de gestionar la transferencia energética desde los pies hasta la raqueta. Por tanto, comprender estas diferencias permite diseñar entrenamientos más precisos, prevenir lesiones y optimizar el rendimiento, reconociendo que no existe un estilo universalmente superior, sino variaciones cuya eficacia depende del contexto y del perfil del jugador.

CAPITULO VI

BIOMECÁNICA DEL REVÉS (BACKHAND)

Comparación biomecánica del golpe a una mano vs. dos manos

La elección entre ejecutar el revés a una mano o a dos manos representa una de las decisiones más determinantes en la biomecánica del tenis, dado que cada variante implica diferencias significativas en la cinética, la cinemática y el patrón de activación muscular, las cuales condicionan la eficiencia del golpe, la estabilidad postural y el riesgo de lesión (Elliott et al., 2021). En el revés a una mano, la cadena cinética se organiza alrededor de un patrón de palanca más largo, lo que permite generar mayor amplitud rotacional y mayor alcance, pero también exige un control proximal del tronco y de la cintura escapular sustancialmente más elevado. En contraste, el revés a dos manos reduce el brazo de palanca y maximiza la contribución del miembro no dominante, lo que redistribuye las cargas mecánicas hacia el tronco y minimiza las demandas sobre la muñeca y el hombro dominante, posibilitando un golpe más estable y tolerante a variaciones en la trayectoria de la pelota (Reid & Schneiker, 2019). Esta diferenciación estructural fundamenta la comparación profunda de ambas técnicas.

Desde una perspectiva cinemática, el revés a una mano depende de una mayor rotación axial del tronco y de la pelvis para alcanzar velocidades adecuadas de la raqueta, lo que obliga al jugador a conseguir una secuencia proximal-distal muy eficiente que inicia con la activación del core, continúa con la rotación escapular y culmina con la extensión completa del brazo dominante (Kovacs & Ellenbecker, 2018). En el revés a dos manos, la rotación del tronco sigue siendo esencial, pero la participación activa del brazo no dominante permite reducir la amplitud rotacional necesaria, compensando posibles deficiencias técnicas en jugadores con menor movilidad torácica o menor fuerza en el hombro dominante. Esta diferencia hace que el revés a dos manos sea más accesible en etapas formativas, mientras que el revés a una mano exige una mayor maduración motora, especialmente en términos de control postural dinámico.

Biomecánicamente, la producción de torque es uno de los elementos más contrastantes entre ambas modalidades. El revés a una mano requiere un torque significativamente mayor en el hombro y en la muñeca dominante, especialmente durante la fase de aceleración, debido a que la fuerza aplicada

debe transmitirse a través de un brazo de palanca más largo y menos asistido (Elliott, 2020). Por el contrario, el revés a dos manos distribuye el torque entre ambas cinturas escapulares y los codos, reduciendo las solicitudes articulares y permitiendo una aceleración más estable del implemento. Esta redistribución mecánica explica por qué los jugadores con lesiones crónicas de muñeca o codo tienden a optar por el golpe a dos manos, ya que disminuye el estrés repetitivo.

En términos de activación muscular, estudios electromiográficos han evidenciado que el revés a una mano induce una activación mucho mayor del dorsal ancho, del deltoides posterior y de los músculos extensores del antebrazo dominante, particularmente durante la fase terminal del swing (Kovacs, 2019). En el revés a dos manos, aunque el brazo dominante sigue siendo importante, el brazo no dominante contribuye de manera decisiva, con implicación marcada del pectoral mayor, bíceps braquial y rotadores internos del hombro no dominante, generando un patrón más simétrico y menos localizado. Esta simetría muscular facilita un control más estable del plano de la raqueta, especialmente en pelotas altas o con efecto topspin pronunciado.

Otra diferencia biomecánica relevante es la variabilidad motora permitida por cada técnica. El revés a una mano, al depender de un único punto de apoyo en el implemento, presenta menor tolerancia a errores en el ajuste espacial y temporal, lo que demanda precisión superior en el cálculo de la distancia y del timing (Reid et al., 2020). En cambio, el revés a dos manos permite microajustes durante el swing gracias a la intervención del brazo no dominante, lo cual hace que los jugadores puedan compensar desplazamientos tardíos o lecturas imperfectas de la trayectoria de la pelota. Esta mayor tolerancia mecánica explica por qué en el tenis moderno, caracterizado por velocidades elevadas y pelotas con gran cantidad de spin, el revés a dos manos se ha convertido en la opción predominante.

La capacidad de generar topspin constituye otro punto de comparación esencial. El revés a una mano facilita un ángulo más amplio de pronación y supinación del antebrazo, lo que puede potenciar la generación de rotación hacia adelante siempre que el jugador posea suficiente fuerza en el antebrazo y estabilidad en el hombro (Ellenbecker & Roetert, 2018). Sin embargo, esta capacidad depende

estrictamente de una correcta sincronización entre la rotación del tronco y la trayectoria ascendente del brazo. El revés a dos manos, por su parte, permite una producción de topspin más consistente debido a la asistencia mecánica del brazo no dominante, que aporta tanto potencia como control en el plano vertical, siendo especialmente ventajoso para responder bolas profundas o con bote alto.

Durante la fase preparatoria, el revés a una mano requiere una estructura corporal más abierta, con un mayor pivotaje del pie posterior para facilitar la rotación completa de la cadera (Kovacs & Ellenbecker, 2018). Esta apertura, si bien permite mayor amplitud del arco de movimiento, también puede generar dificultades en jugadores con rigidez de la cadera o limitaciones en la rotación torácica. En contraste, el revés a dos manos permite preparaciones más compactas y rápidas, lo que favorece la respuesta en peloteos de alta intensidad o en situaciones de defensa. Esta compacidad mecánica se asocia con un menor tiempo de reacción y una mayor eficiencia en espacios reducidos.

La estabilidad del tronco es un determinante crítico en la ejecución del revés, especialmente en la modalidad a una mano. Dado que el brazo dominante se aleja más del centro de masa durante el swing, el jugador debe compensar mediante una coactivación intensa de los músculos estabilizadores del core, incluyendo oblicuos, transverso abdominal y ertores espinales (Reid & Schneiker, 2019). En el revés a dos manos, la proximidad de ambos brazos al cuerpo y la intervención del brazo no dominante incrementan la estabilidad intrínseca, reduciendo las demandas compensatorias sobre el core. Esto explica por qué el revés a dos manos es más estable durante desplazamientos laterales rápidos.

El análisis de la secuencia cinética muestra que el revés a una mano se asemeja más a un movimiento de lanzamiento, donde el cuerpo debe transferir energía desde el suelo, pasando por la pelvis, el tronco y finalmente hacia la extremidad superior (Elliott, 2021). Una alteración en cualquiera de estos eslabones afecta directamente la velocidad de la raqueta. El revés a dos manos, por el contrario, emplea una secuencia más integrada entre ambos brazos, lo cual reduce la dependencia exclusiva de la energía generada por el tronco y permite un golpe más estable incluso sin una transferencia de peso completa.

Durante el impacto, el revés a una mano presenta un punto de contacto más adelantado, lo que requiere una mayor anticipación visual y motriz, pero permite una trayectoria más extendida hacia adelante, favoreciendo golpes defensivos largos y profundos (Kovacs, 2019). El revés a dos manos, en cambio, se caracteriza por un punto de impacto más cercano al cuerpo, con menor exigencia de extensión completa del codo y mayor capacidad para generar control direccional.

La fase de acompañamiento o follow-through es otro punto crítico que diferencia sustancialmente ambas modalidades. En el revés a una mano, esta fase incluye una rotación final más pronunciada del tronco y una prolongación del brazo dominante hacia la dirección del golpe, lo que permite disipar progresivamente la energía acumulada y reduce la carga sobre la articulación del codo, siempre que la técnica sea adecuada (Ellenbecker & Roetert, 2018). Esta prolongación favorece además la producción de golpes más largos y profundos. En contraste, el revés a dos manos presenta un follow-through más compacto debido a la restricción mecánica del brazo no dominante, lo que resulta en un movimiento más controlado, ideal para dirigir la pelota con precisión a zonas específicas, especialmente en intercambios rápidos o situaciones de presión.

La carga sobre la muñeca y los dedos del brazo dominante constituye uno de los factores más estudiados en biomecánica comparada. El revés a una mano exige una fuerte estabilización de la muñeca en extensión ligera para mantener la estabilidad del plano de la raqueta en el momento del impacto, lo que incrementa la tensión sobre los tendones extensores, particularmente cuando el jugador se enfrenta a pelotas profundas con efecto topspin alto (Reid et al., 2020). En cambio, el revés a dos manos minimiza las demandas de estabilización fina, pues el brazo no dominante actúa como soporte adicional, disminuyendo la probabilidad de microtraumas y sobrecargas crónicas en la muñeca dominante. Esta diferencia explica la mayor prevalencia de lesiones como la epicondilitis lateral en jugadores que optan por el revés a una mano.

La estabilidad de la cintura escapular es otro elemento clave. En el revés a una mano, la escápula del lado dominante debe retraerse y deprimirse de forma eficiente para permitir un arco óptimo de movimiento del brazo, facilitando la

extensión final del codo sin comprometer la alineación glenohumeral (Kovacs & Ellenbecker, 2018). La falta de estabilidad escapular provoca compensaciones como la elevación excesiva del hombro o el colapso del codo durante el swing. Por el contrario, en el revés a dos manos, la escápula del brazo no dominante asume buena parte del control postural del implemento, lo que crea un entorno más estable para el hombro dominante y reduce la probabilidad de movimientos compensatorios.

En términos de postura global, el revés a una mano tiende a favorecer una base de apoyo más amplia, especialmente en superficies rápidas, donde los jugadores buscan maximizar la estabilidad lateral mediante un mayor ángulo de apertura de la cadera y un descenso del centro de gravedad (Reid & Schneiker, 2019). Esta postura garantiza que la fuerza generada por el suelo se transfiera eficazmente hacia el tronco y el brazo. En el revés a dos manos, la postura suele ser más cerrada y compacta, lo que favorece la capacidad de transición hacia movimientos defensivos o cambios de dirección. Esta compacidad postural es particularmente útil en peloteos de ritmo alto característicos del tenis moderno.

El análisis de la fase de aceleración revela otra diferencia biomecánica relevante. En el revés a una mano, esta fase depende de la extensión coordinada del codo y la supinación del antebrazo para alinear el plano de la raqueta con la trayectoria deseada (Elliott et al., 2021). En el revés a dos manos, la aceleración depende primariamente de la rotación interna del hombro del brazo no dominante y la flexión del codo, generando una mecánica similar a un golpe de derecha ejecutado por dicho brazo. Este patrón incrementa el control del plano vertical y facilita la producción de topspin consistente, especialmente en jugadores jóvenes cuyo control motor aún está en desarrollo.

El control del plano de la raqueta es otro componente crítico. El revés a una mano presenta un plano más variable debido al mayor rango articular involucrado, lo que obliga al jugador a poseer una retroalimentación propioceptiva muy precisa para mantener la raqueta estable durante el swing (Kovacs, 2019). En el revés a dos manos, la presencia de dos puntos de contacto

crea un sistema mecánico más rígido, reduciendo la oscilación del implemento y generando mayor estabilidad direccional. Esta rigidez estructural contribuye a que el revés a dos manos sea más confiable bajo presión, especialmente en situaciones defensivas extremas.

En el ámbito de la física aplicada, el brazo de palanca más largo en el revés a una mano permite generar velocidades angulares más altas siempre que exista suficiente fuerza y movilidad, lo que puede traducirse en golpes profundos y penetrantes (Ellenbecker & Roetert, 2018). Sin embargo, estas velocidades dependen de una técnica impecable, ya que cualquier desajuste en el tiempo ocasiona pérdidas de energía o impactos descentrados. El revés a dos manos sacrifica algo de longitud de palanca, pero gana en estabilidad estructural, lo que resulta en una transferencia de energía más consistente en un rango mayor de situaciones de juego, desde pelotas bajas hasta pelotas altas.

Una diferencia notable es la respuesta a pelotas altas, uno de los desafíos más característicos del tenis contemporáneo. El revés a una mano, aunque históricamente elegante y eficiente, se complica biomecánicamente frente a pelotas con rebote elevado, pues requiere que el jugador modifique la postura, incremente la inclinación lateral del tronco y mantenga la muñeca firme a pesar del ángulo desfavorable (Reid et al., 2020). El revés a dos manos maneja estas pelotas con mayor facilidad gracias a la intervención del brazo no dominante, que permite generar un plano vertical más estable y aplicar topspin sin necesidad de una extensión tan pronunciada del brazo dominante. Esta ventaja es una razón clave por la cual la mayoría de los tenistas profesionales modernos optan por la técnica a dos manos.

En términos de economía del movimiento, el revés a dos manos requiere menor demanda de precisión fina y menor energía asociada a la estabilización del tronco, lo que lo convierte en un golpe más sostenible en partidos largos o en torneos con múltiples encuentros consecutivos (Kovacs & Ellenbecker, 2018). El revés a una mano, aunque puede ser más eficiente en cuanto a velocidad angular, exige un control postural más continuo y ajustes más complejos del centro de gravedad. Esta diferencia en la economía motora se refleja en la

elección estratégica de los jugadores según su estilo: aquellos basados en defensa prolongada suelen preferir el revés a dos manos.

Finalmente, desde una perspectiva evolutiva del tenis, el revés a dos manos ha ganado predominancia debido a la velocidad del juego y al incremento del topspin en el circuito profesional, mientras que el revés a una mano continúa vigente en jugadores con capacidades técnicas avanzadas y una biomecánica excepcionalmente refinada (Elliott, 2021). No obstante, ambas técnicas pueden ser altamente efectivas cuando se integran adecuadamente en un modelo de preparación física y técnica adaptado a las necesidades del jugador. La comprensión profunda de estas diferencias biomecánicas permite a entrenadores y preparadores físicos diseñar programas de entrenamiento específicos que optimicen rendimiento y reduzcan el riesgo de lesión.

Impulso, estabilidad y control del tronco

El tronco constituye el eje biomecánico central del gesto del revés en el tenis, ya sea ejecutado a una o dos manos, dado que funciona como la estructura que permite la transferencia eficiente de energía desde el suelo hasta los segmentos distales, particularmente el brazo y la raqueta (Kibler et al., 2018). Su rol en la generación del impulso es crítico porque actúa como un puente dinámico entre extremidades inferiores y superiores, facilitando la transmisión de fuerzas mediante una secuencia cinética altamente coordinada. La capacidad del tronco para estabilizarse y rotar en el momento exacto determina la calidad final del golpe, su potencia y su control direccional, convirtiéndose así en uno de los componentes más influyentes en la eficacia técnica.

La producción de impulso comienza en el contacto inicial del pie con el suelo, donde las fuerzas de reacción se transmiten hacia arriba a través de la cadena cinética. En este proceso, el tronco se comporta como un modulador de rigidez dinámica, ajustando su estabilidad según las necesidades del golpe (Elliott et al., 2021). Una rigidez excesiva bloquea la rotación y disminuye la velocidad angular, mientras que una rigidez insuficiente provoca pérdida de energía por colapso del eje corporal. Por ello, el control del tronco requiere un equilibrio preciso entre

estabilidad y movilidad, logrando una plataforma sólida pero lo suficientemente flexible como para permitir rotaciones amplias y eficientes.

La estabilización del tronco no depende únicamente de la musculatura superficial, sino también—y de manera determinante—de los músculos profundos, particularmente el transverso abdominal, los multífidos y el diafragma, los cuales contribuyen a la presión intraabdominal que estabiliza la columna durante los movimientos de alta velocidad (Kibler & Safran, 2020). Esta interacción musculoesquelética permite que el tronco funcione como una unidad integrada y sólida, evitando compensaciones excesivas en la columna lumbar. En el revés a una mano esta estabilidad profunda es aún más relevante debido al mayor torque rotacional y a la necesidad de controlar el brazo extendido durante el swing.

En el revés a dos manos, aunque el control del tronco sigue siendo esencial, la participación del brazo no dominante reduce la demanda de estabilidad externa, lo que disminuye el estrés sobre la región lumbar y torácica. Esta colaboración entre ambos brazos genera un efecto de “bloqueo” del tronco durante el impacto, que favorece el control direccional y disminuye las exigencias de fuerza estabilizadora (Reid & Schneiker, 2019). Sin embargo, incluso en esta modalidad, la falta de estabilidad profunda del core puede generar compensaciones posturales que afectan negativamente la secuencia cinética.

La pelvis desempeña un papel determinante en el control del tronco, actuando como el punto de transición entre extremidades inferiores y el eje vertebral. Durante el swing, la rotación pélvica es responsable de iniciar la transferencia de energía hacia el tronco, y su correcta sincronización con el resto del cuerpo permite una aceleración fluida y potente (Kovacs & Ellenbecker, 2018). Si la pelvis rota tarde o de manera insuficiente, el tronco debe compensar incrementando la rotación axial, lo que no solo disminuye la eficiencia del golpe sino que aumenta la demanda mecánica sobre la columna.

El control postural dinámico del tronco es fundamental para mantener la alineación del centro de masa durante los desplazamientos laterales y

diagonales propios del revés. En situaciones donde el jugador llega a la pelota en condiciones de desequilibrio, el tronco debe actuar como un estabilizador correctivo para permitir un punto de impacto adecuado, evitando caídas del hombro, inclinaciones excesivas o rotaciones fuera de tiempo (Elliott, 2020). Sin esta función estabilizadora, el impacto se ve comprometido y la pelota tiende a perder profundidad o control, especialmente cuando se enfrenta a golpes con gran cantidad de spin.

El tronco cumple también una función fundamental en la regulación del ritmo interno del golpe, ya que su rotación y desaceleración determinan la velocidad final de la raqueta. Una desaceleración coordinada evita la sobrecarga de estructuras distales, como el codo y la muñeca, distribuyendo la energía residual a través del core y la musculatura torácica (Kibler et al., 2018). Este fenómeno es especialmente importante en el revés a una mano, donde el brazo dominante debe gestionar fuerzas más elevadas y, por ende, depende más de una desaceleración eficiente del tronco.

El tronco actúa también como generador de estabilidad anticipatoria, activándose antes del movimiento de los brazos en respuesta a señales perceptivas relacionadas con la velocidad y dirección de la pelota (Reid et al., 2020). Esta anticipación permite mantener la alineación corporal incluso antes de iniciar el swing, preparando al cuerpo para recibir la carga mecánica que vendrá. La falta de activación anticipatoria conduce a respuestas tardías, especialmente en peloteos rápidos o en devoluciones agresivas, lo que compromete la calidad del impacto.

La rigidez funcional del tronco, entendida como la capacidad de mantener estabilidad mientras se permite movilidad segmentaria, es esencial para maximizar la eficiencia de la cadena cinética. Un tronco demasiado rígido limita la amplitud de rotación y reduce la velocidad angular, mientras que uno demasiado laxo compromete la transferencia de energía (Kibler & Safran, 2020). Los jugadores de élite logran un equilibrio óptimo entre estas dos características, adaptando la rigidez en tiempo real según la potencia, altura y dirección de la pelota recibida.

En términos de generación de impulso, el tronco contribuye directamente mediante la rotación axial, que incrementa la velocidad angular transferida al brazo y a la raqueta. En el revés a una mano, esta rotación es especialmente amplia, lo que requiere una musculatura oblicua muy desarrollada y un patrón de secuenciación proximal-distal altamente refinado (Kovacs, 2019). En el revés a dos manos, aunque la rotación sigue siendo relevante, su amplitud suele ser menor debido a la asistencia mecánica del brazo no dominante.

La estabilidad lateral del tronco es un componente crítico que influye directamente en la trayectoria de la raqueta durante el swing ascendente. El control de los flexores laterales, incluyendo cuadrado lumbar y oblicuo interno, es esencial para evitar inclinaciones excesivas que modifiquen la altura del punto de impacto (Elliott et al., 2021). Estas inclinaciones alteran la biomecánica de la cadena cinética y generan impactos inconsistentes, especialmente ante pelotas profundas o con rebotes imprevistos.

Un componente fundamental de la estabilidad del tronco es la respiración funcional. El diafragma, además de ser un músculo respiratorio, actúa como estabilizador central proporcionando presión intraabdominal, la cual aumenta la rigidez del tronco durante la fase de aceleración de la raqueta (Kibler & Safran, 2020). Una respiración deficiente o descoordinada puede generar disminución del control postural y afectar la fluidez del golpe, lo cual es particularmente evidente en jugadores jóvenes o ansiosos.

La interacción entre tronco y miembros inferiores también determina el control del movimiento a través de la transferencia de energía. Si los miembros inferiores no generan una base estable, el tronco debe compensar mediante activaciones musculares más intensas, lo que incrementa la fatiga y reduce la eficiencia del golpe (Reid & Schneiker, 2019). La correcta alineación entre cadera, rodilla y tobillo favorece una transmisión más eficiente de fuerza hacia arriba, reduciendo la necesidad de compensaciones en el tronco.

El control excéntrico del tronco durante la fase de desaceleración es otro aspecto crucial. Después del impacto, los músculos oblicuos y paravertebrales deben desacelerar la rotación axial para evitar sobrecargas en la columna lumbar (Ellenbecker & Roetert, 2018). Una desaceleración deficiente genera un patrón

de torsión excesivo que puede provocar molestias lumbares, especialmente en jugadores que realizan grandes cantidades de golpes a diario.

La estabilidad del tronco también influye en la precisión direccional del golpe. Cuando el tronco se mantiene estable durante el impacto, el plano de la raqueta se conserva más constante, lo que incrementa la probabilidad de enviar la pelota a la zona deseada (Reid et al., 2020). Por el contrario, un tronco inestable produce microvariaciones en la orientación del implemento, generando errores de dirección y de profundidad, especialmente en golpes ante pelotas rápidas.

La habilidad del tronco para mantener su posición en situaciones de alta velocidad lateral es determinante para golpes defensivos a máxima extensión. En desplazamientos extremos, el jugador depende de la fuerza excéntrica del core para evitar que el tronco colapse hacia la pelota, algo especialmente crítico en el revés a una mano, donde el brazo extendido amplifica el momento de fuerza (Kovacs, 2019). En el revés a dos manos, esta demanda se atenúa gracias al soporte bilateral del implemento.

Los patrones de activación del tronco varían según la altura del bote de la pelota. Pelotas bajas requieren una flexión mayor de las caderas y una posición más estable del tronco, mientras que pelotas altas exigen una inclinación lateral y una rotación más prolongada (Elliott et al., 2021). En este sentido, la movilidad torácica juega un papel esencial para ajustar la mecánica del golpe sin comprometer la estabilidad.

Una correcta estabilización del tronco contribuye a reducir el riesgo de lesiones lumbares y torácicas asociadas al tenis. Movimientos repetitivos de rotación, combinados con fuerzas de impacto, pueden generar estrés significativo sobre los discos intervertebrales si el core no actúa como amortiguador dinámico (Kibler & Safran, 2020). Por ello, los programas de entrenamiento suelen incluir ejercicios de fortalecimiento específico del tronco para soportar las demandas repetitivas del revés.

El control del tronco también se relaciona con la percepción y la anticipación. Los jugadores con mejor estabilidad central logran procesar información visual y cinestésica de manera más eficiente, lo que permite ajustar la postura antes de

iniciar la fase de preparación del golpe (Reid et al., 2020). Esto repercute directamente en la capacidad de realizar ajustes finos y mantener la calidad del impacto incluso en situaciones de presión.

Finalmente, el tronco actúa como el principal determinante del equilibrio y la transferencia de energía durante el revés. Su capacidad para integrar fuerza, movilidad, control y anticipación define la potencia y estabilidad del golpe, así como su consistencia técnica a lo largo del partido (Kibler et al., 2018). Tanto en el revés a una mano como en el de dos manos, el dominio del tronco representa un elemento no negociable para alcanzar el máximo rendimiento en el tenis moderno.

Errores biomecánicos frecuentes en el golpe a una mano y dos manos: causas, compensaciones y riesgos

Uno de los errores biomecánicos más frecuentes tanto en el golpe a una mano como en el de dos manos es la inadecuada alineación entre la cadera, el tronco y el brazo durante la fase de armado, lo cual disminuye la eficiencia en la secuencia proximal-distal y obliga al jugador a generar compensaciones en los segmentos distales, especialmente en la muñeca y el antebrazo. Cuando el tronco rota de forma anticipada o exagerada antes de que las piernas finalicen la fase de carga, se rompe la continuidad del impulso ascendente, afectando la fuerza transferida hacia la raqueta (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Esta falta de sincronización conlleva disminución del control direccional, pérdida de velocidad de swing y aumento de la variabilidad mecánica, lo que deteriora la consistencia del golpe.

Otra alteración común es el uso excesivo del brazo dominante para generar potencia, especialmente en jugadores que ejecutan el revés a una mano. Este patrón de sobreimplicación del hombro y el codo produce una cinética desbalanceada en la que el brazo intenta suplir la función estabilizadora del tronco, reduciendo la economía del movimiento (Reid & Schneiker, 2019). En consecuencia, el jugador tiende a elevar el hombro, flexionar en exceso la muñeca o adelantar prematuramente el ángulo del codo, afectando la trayectoria de la raqueta y comprometiendo la estabilidad final del golpe.

En el revés a dos manos es frecuente observar la falta de activación efectiva del brazo no dominante, que debería liderar la fase de aceleración. Muchos jugadores mantienen pasivo este brazo y dependen del dominante, lo cual limita el aprovechamiento del torque generado desde la pelvis y reduce la capacidad para producir velocidad angular en el plano transversal (Knudson, 2021). Esta pasividad también afecta la rigidez dinámica de la raqueta, ya que disminuye el control del plano de impacto y facilita desviaciones hacia arriba o hacia afuera durante la finalización.

La apertura insuficiente de las caderas en el armado del golpe es otro error crítico que afecta la transferencia de energía. Cuando el jugador no orienta adecuadamente la cadera posterior hacia la línea de tiro, la rotación del tronco se vuelve limitada y genera una cadena cinética incompleta, reduciendo el torque acumulado en la fase de pre-estiramiento muscular (Elliott, 2016). La falta de apertura también obliga al jugador a compensar mediante torsión excesiva del tronco, lo que incrementa la tensión en los paravertebrales y disminuye la estabilidad lumbopélvica.

Entre los errores más visibles se encuentra el colapso del tronco hacia adelante durante el impacto, resultado de una activación débil del core y del glúteo medio, músculos fundamentales para mantener una postura neutra. Este colapso provoca que el centro de masas se desplace hacia la punta de los pies, generando pérdida de equilibrio y reducción de la rigidez proximal necesaria para el control direccional (Fernández-Fernández et al., 2020). Además, esta postura afecta la capacidad del jugador para recuperarse rápidamente hacia la posición base.

La deficiente gestión del apoyo del pie posterior es otro error recurrente. Muchos jugadores no transfieren el peso de forma adecuada desde el pie posterior al anterior, alterando la dirección del vector de fuerza y reduciendo la magnitud efectiva del impulso aplicado al golpe (Reid & Duffield, 2014). Como consecuencia, se produce una pérdida notable de potencia y se incrementa la dependencia de los músculos de los brazos, generando sobrecarga en hombros y codos.

Un error técnico notable ocurre al iniciar la aceleración demasiado tarde, lo que ocasiona que el jugador golpee la pelota a una distancia excesivamente cercana al cuerpo. Esta situación reduce el espacio de acción de la raqueta y provoca movimientos compensatorios en el codo y en la muñeca para ajustar la trayectoria, comprometiendo la estabilidad del impacto (Kovacs, 2018). La falta de espacio también altera la trayectoria del swing, produciendo contactos descentrados que incrementan la vibración del implemento.

En el revés a una mano es común que el jugador expanda demasiado temprano la muñeca, generando una extensión prematura que debilita la estructura del brazo y altera el ángulo de incidencia de la cara de la raqueta. Este error biomecánico ocurre frecuentemente cuando el jugador busca generar liftado sin la suficiente rotación del tronco (Elliott & Crespo, 2021). La extensión anticipada aumenta el riesgo de epicondilalgia debido a la sobrecarga en los extensores del antebrazo.

Un error significativo se observa cuando el jugador realiza una rotación exagerada del tronco durante la fase de aceleración, especialmente en el revés a dos manos. Esta rotación excesiva no solo genera un retraso en el impacto, sino que desestabiliza la pelvis y conduce a un cierre acelerado del pecho, lo que cambia la orientación del plano de la raqueta (Reid & Tilden, 2019). A nivel cinético, esta descoordinación implica un consumo energético innecesario y un menor rendimiento mecánico.

La insuficiente flexión de rodillas en la fase preparatoria es otro error habitual que disminuye la capacidad del jugador de acumular energía elástica y generar un impulso ascendente efectivo. Cuando las rodillas permanecen rígidas, el sistema musculoesquelético pierde la posibilidad de almacenar energía en los extensores de cadera y rodilla, comprometiendo la producción de potencia (Gomes et al., 2020). Este error obliga al tronco y al brazo a asumir un mayor protagonismo en la generación de fuerza.

En jugadores que practican el revés a una mano, se observa con frecuencia el quiebre lateral del tronco durante el impacto, asociado a una debilidad del

cuadrado lumbar y de los estabilizadores laterales. Este movimiento lateral altera la orientación de la pelvis y genera una pérdida de rigidez central, afectando el control del plano de la raqueta (Kibler & Sciascia, 2016). Además, incrementa la tensión en la columna lumbar, predisponiendo a lesiones por sobreuso.

Un error perceptual-motor relevante es el incorrecto cálculo del tiempo de bote, lo que provoca impactos tardíos o adelantados. Esto afecta directamente la biomecánica del golpe, ya que obliga al jugador a acelerar o desacelerar prematuramente el movimiento, rompiendo la secuencia cinemática natural (Reid & McMurtrie, 2022). Estos ajustes de último segundo no solo afectan la potencia, sino también el control direccional.

La falta de fijación del eje de hombros durante la fase de armado es un error frecuente que compromete la estabilidad del golpe. Sin un eje bien definido, la rotación torácica se vuelve errática, afectando la trayectoria del swing y reduciendo la precisión del impacto (Ellenbecker & Roetert, 2015). Además, esta falta de control incrementa la carga sobre el hombro dominante, especialmente durante golpes defensivos.

El insuficiente cierre de la muñeca al inicio de la aceleración en el revés a dos manos constituye un error que afecta la capacidad de generar topspin. Sin un grado adecuado de flexión palmar y desviación cubital, la raqueta no puede colocarse en un plano biomecánicamente favorable para el contacto (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Esto reduce la calidad del efecto y genera impactos planos involuntarios que aumentan el margen de error.

Muchos jugadores presentan el error de ampliar demasiado la distancia entre las manos en el revés a dos manos, lo que reduce la capacidad de controlar la rotación axial. Una separación excesiva disminuye la estabilidad de la empuñadura y limita la acción coordinada entre ambos brazos, afectando la rigidez del sistema y la precisión del contacto (Reid & Crespo, 2021). Esta modificación también altera el radio de giro, cambiando la velocidad del swing.

Un error fundamental es la falta de estabilización de la muñeca en el revés a una mano, especialmente durante golpes a alta velocidad. Cuando la muñeca

colapsa en flexión o desviación radial, se altera el ángulo de ataque y se pierde la línea de fuerza que debería transferirse desde el tronco hacia la raqueta (Elliott, 2016). Esto no solo afecta la precisión, sino que aumenta la probabilidad de microlesiones.

El uso insuficiente del pie de apoyo delantero durante la fase de transferencia de peso constituye otro error biomecánico relevante. Cuando el jugador no activa adecuadamente el apoyo frontal, se reduce la longitud del paso, el plano del golpe se adelanta o retrasa involuntariamente y la pelvis pierde su rol en la rotación (Fernández-Fernández et al., 2020). Esto genera un golpe inestable y con menor potencia.

Muchos jugadores caen en el error de acelerar la raqueta en un plano demasiado horizontal, lo que reduce la capacidad para producir topspin. Esta trayectoria plana, asociada a una mecánica insuficientemente vertical del brazo y a una baja participación del core, produce impactos menos controlados y reduce el margen de seguridad sobre la red (Reid & Duffield, 2014). Además, aumenta la probabilidad de golpear fuera del punto dulce.

En el revés a dos manos, un error común es la falta de rotación escapular durante la fase de armado, lo que restringe la amplitud del movimiento y aumenta la rigidez del hombro. La escápula debe acompañar la rotación torácica para permitir un rango óptimo de extensión externa en el brazo dominante (Kibler & Sciascia, 2016). Cuando esto no ocurre, el jugador compensa elevando el hombro, lo que genera tensión innecesaria.

Finalmente, un error transversal a ambos estilos es la ausencia de estabilidad segmentaria durante la terminación del golpe, lo que provoca pérdidas de equilibrio y recuperaciones lentas. Cuando el cuerpo no mantiene un centro de masas estable y una adecuada alineación lumbopélvica, el jugador queda mal posicionado para el siguiente movimiento, afectando la continuidad del juego (Knudson, 2021). Esta pérdida de estabilidad también impacta la capacidad de adaptación motora en situaciones de alta presión.

CAPITULO VII

**ANÁLISIS DEL
JUEGO EN RED:
VOLEAS Y SMASH**

Control Postural y Tiempo de Reacción

El control postural es un proceso neuromecánico fundamental que permite al deportista mantener la estabilidad del cuerpo frente a las perturbaciones que ocurren durante el movimiento y la interacción con el entorno. Este sistema involucra la integración dinámica de señales visuales, vestibulares y somatosensoriales, que trabajan al unísono para mantener un centro de masas estable sobre la base de sustentación (Paillard, 2019). En deportes de velocidad y precisión, la habilidad de gestionar estas señales determina la efectividad del gesto técnico y la eficiencia del rendimiento global.

En disciplinas como el tenis, la capacidad de estabilizar el cuerpo mientras se ejecutan desplazamientos rápidos y golpes potentes requiere un control postural altamente refinado. Los jugadores deben ajustar el tono muscular, la orientación de la pelvis y la distribución del peso corporal para garantizar que la energía generada a través de la cadena cinética se transfiera sin pérdidas hacia la raqueta (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Cuando el control postural falla, se incrementa el riesgo de errores técnicos y de lesiones por sobrecarga.

La literatura científica ha demostrado que el control postural no es un mecanismo puramente reactivo, sino predominantemente anticipatorio. Los deportistas desarrollan patrones de activación muscular que se anticipan a los movimientos voluntarios y a perturbaciones externas, lo que se conoce como ajustes posturales anticipatorios (Reeves et al., 2020). Este tipo de anticipación mejora la estabilidad y reduce el tiempo necesario para ejecutar movimientos rápidos en condiciones de alta exigencia.

El tiempo de reacción, definido como el intervalo entre el estímulo y la respuesta motora, constituye un indicador esencial de la eficacia sensorio-motora del deportista. En deportes de raqueta, la capacidad para reaccionar en menos de 300 ms frente a pelotas que viajan a velocidades superiores a 100 km/h es vital para mantener un alto nivel de rendimiento (Williams & Jackson, 2019). El tiempo de reacción no depende únicamente de la velocidad nerviosa, sino también de procesos cognitivos como la percepción, la anticipación y la toma de decisiones.

El control postural influye directamente en el tiempo de reacción debido a que un sistema postural estable permite respuestas motoras más rápidas y precisas. Cuando el centro de masas se encuentra correctamente alineado, el cuerpo puede activar patrones motores eficientes con menor necesidad de correcciones compensatorias (Paillard, 2019). Por el contrario, una alineación deficiente retrasa la respuesta motora porque obliga al sistema a realizar ajustes adicionales para recuperar el equilibrio.

Desde el punto de vista neuromuscular, la coordinación entre los músculos del core, la cintura pélvica y las extremidades inferiores desempeña un papel determinante en la estabilidad postural. Estos grupos musculares actúan como amortiguadores biomecánicos que reducen las oscilaciones del tronco, permitiendo respuestas más rápidas ante estímulos inesperados (Kibler & Sciascia, 2016). La capacidad de estos músculos para activarse en secuencia sinérgica es clave para el rendimiento en deportes de alta velocidad.

La relación entre tiempo de reacción y control postural también está mediada por la experiencia motora del deportista. Los atletas expertos desarrollan esquemas internos que facilitan una mejor predicción del comportamiento del oponente y del entorno, lo que reduce la dependencia de mecanismos puramente reactivos (Mann et al., 2020). Esto explica por qué jugadores con gran experiencia pueden reaccionar más rápido incluso con menor velocidad física absoluta.

La visión juega un papel central en la integración del control postural. El sistema visual proporciona información crítica sobre la velocidad, la dirección y la trayectoria de los objetos en movimiento, permitiendo al deportista ajustar su postura antes de realizar un gesto técnico (Higuchi et al., 2018). Cuando la visión se ve limitada, el tiempo de respuesta aumenta y la estabilidad decrece, obligando al atleta a depender más del sistema somatosensorial.

El sistema vestibular también contribuye a la estabilidad al detectar aceleraciones angulares y lineales de la cabeza. Esta información se integra rápidamente para ajustar la orientación del tronco, la cabeza y los ojos, permitiendo mantener la estabilidad en situaciones de movimiento rápido (Han

et al., 2021). Un déficit vestibular, incluso leve, puede alterar la capacidad del deportista para mantener la postura y responder de forma eficiente.

El componente somatosensorial, especialmente la información proveniente de los receptores articulares, musculares y cutáneos, aporta datos esenciales sobre la posición de las extremidades y la presión ejercida sobre el suelo. Esta retroalimentación permite ajustar en tiempo real la postura y coordinar la respuesta motora (Lephart et al., 2018). En deportes donde cambios mínimos en el ángulo de apoyo pueden modificar la trayectoria de un golpe, este sistema se vuelve particularmente relevante.

Los ajustes posturales anticipatorios se vuelven más relevantes a medida que aumenta la velocidad del juego. En deportes como el tenis, la anticipación visual permite preparar al sistema neuromuscular incluso antes de que la pelota cruce la red, reduciendo el tiempo efectivo de reacción motora (Murray & Hunfalvay, 2017). Esto implica que el tiempo de reacción no es un proceso pasivo, sino uno que se optimiza mediante predicción.

Un mal control postural incrementa el tiempo de reacción porque obliga al deportista a redistribuir su peso corporal antes de iniciar un movimiento. Este reajuste previo consume tiempo y energía, generando retrasos significativos en situaciones donde cada milisegundo cuenta (Paillard, 2019). Además, la necesidad de estabilizar el tronco durante un movimiento rápido dificulta la ejecución de gestos técnicos precisos.

El control postural no puede separarse del concepto de rigidez dinámica. La rigidez controlada permite absorber fuerzas externas manteniendo la estabilidad del tronco, mientras que una rigidez excesiva limita la movilidad y una rigidez insuficiente provoca inestabilidad (Kibler & Sciascia, 2016). La capacidad para modular esta rigidez de manera instantánea determina la eficiencia del tiempo de reacción.

La fatiga también afecta tanto el tiempo de reacción como el control postural. Cuando los músculos estabilizadores pierden capacidad contráctil, se incrementan las oscilaciones posturales y el deportista pierde precisión en su respuesta motora (Gandevia, 2019). Esta relación explica por qué la calidad

técnica disminuye en los momentos finales de partidos largos o situaciones de carga física elevada.

El entrenamiento del control postural y del tiempo de reacción debe integrar estímulos externos variados, perturbaciones inesperadas y demandas cognitivas simultáneas. La evidencia indica que los ejercicios que combinan estabilidad dinámica con toma de decisiones reducen significativamente el tiempo de reacción y mejoran la estabilidad funcional (Mann et al., 2020). Esto se debe a que el cerebro aprende a gestionar la complejidad del entorno de manera más eficiente.

La velocidad de procesamiento cognitivo influye directamente en la velocidad de respuesta motora. En deportes donde la información visual cambia rápidamente, los deportistas deben reducir al mínimo el tiempo destinado a analizar el entorno (Williams & Jackson, 2019). La capacidad para automatizar patrones posturales optimiza los recursos cognitivos disponibles para la toma de decisiones.

La interacción entre tiempo de reacción y control postural se vuelve aún más evidente durante tareas de doble acción, como desplazarse mientras se prepara un golpe. En estas situaciones, el sistema nervioso debe equilibrar la estabilidad postural con la necesidad de producir movimiento, lo que requiere una coordinación extremadamente precisa (Han et al., 2021). Cualquier desajuste en esta coordinación genera retrasos en la respuesta.

Los atletas con mejor control postural muestran menores oscilaciones del centro de presión, lo que se traduce en una base neuromuscular más estable desde la cual realizar movimientos rápidos. Estas oscilaciones reducidas permiten que los ajustes biomecánicos se ejecuten con menor gasto energético y mayor precisión (Paillard, 2019). De este modo, una postura estable es un predictor directo de rendimiento en deportes dinámicos.

El tiempo de reacción puede mejorarse mediante entrenamiento perceptual, como ejercicios de anticipación visual, lectura de trayectorias y predicción de movimientos del oponente. Estos estímulos activan redes neuronales encargadas de la selección rápida de respuestas, reduciendo la latencia motora

(Williams & Jackson, 2019). La integración de estos elementos con el trabajo postural crea un entorno ideal para maximizar la rapidez y precisión.

En síntesis, el control postural y el tiempo de reacción forman un binomio inseparable en el rendimiento deportivo. Ambos procesos comparten bases sensoriales, cognitivas y neuromusculares que determinan la capacidad del atleta para responder eficazmente en situaciones de alta velocidad. Un control postural óptimo reduce la latencia de respuesta, mientras que un tiempo de reacción eficiente disminuye la necesidad de ajustes posturales reactivos, creando un círculo virtuoso en el desempeño técnico (Paillard, 2019).

Ajustes biomecánicos en situaciones de velocidad

Los ajustes biomecánicos en situaciones de velocidad se caracterizan por la necesidad de realizar cambios rápidos en la postura, la dirección del movimiento y el tono muscular para responder eficientemente a estímulos externos. En deportes como el tenis, este proceso implica adaptar la mecánica del cuerpo mientras se gestionan fuerzas horizontales, verticales y rotacionales generadas a alta velocidad (Kovacs, 2018). La capacidad para modular estos ajustes determina la precisión y potencia del gesto técnico final.

En contextos de velocidad, el cuerpo depende fuertemente de los ajustes posturales anticipatorios para preparar el tronco y las extremidades antes de ejecutar un movimiento técnico. Estos ajustes actúan como preactivaciones musculares que estabilizan la pelvis y la columna, permitiendo una transferencia de energía más eficiente durante acciones explosivas (Reeves et al., 2020). Una activación anticipada insuficiente genera pérdida de potencia y retrasos en la ejecución.

El control de la cadera es esencial en los ajustes biomecánicos, ya que la cadera actúa como un punto central para la distribución de fuerzas. Una rotación adecuada de la pelvis permite que el tronco se oriente correctamente y que las extremidades puedan generar movimientos rápidos sin perder equilibrio (Kibler & Sciascia, 2016). La falta de control de la cadera lleva a compensaciones en la rodilla y el tobillo, reduciendo la eficiencia del movimiento.

La velocidad del juego exige que los deportistas ajusten constantemente la rigidez articular, especialmente en tobillos y rodillas. Una rigidez óptima permite absorber impactos sin perder estabilidad y facilita cambios de dirección rápidos (Han et al., 2021). Sin embargo, una rigidez excesiva disminuye la movilidad, mientras que una rigidez insuficiente aumenta el riesgo de lesiones.

En situaciones de velocidad, la biomecánica del tronco adquiere un papel central, ya que un tronco estable permite generar torque sin pérdida de energía. El control rotacional del tronco facilita la orientación del golpe y permite acelerar el implemento deportivo de forma efectiva (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Un tronco inestable genera oscilaciones que reducen la calidad técnica del gesto.

Los ajustes biomecánicos involucran la coordinación eficiente entre músculos agonistas, antagonistas y sinergistas. Esta coordinación reduce la coactivación innecesaria y permite movimientos más rápidos y precisos (Gandevia, 2019). Una coactivación excesiva aumenta el gasto energético y retrasa los tiempos de respuesta.

En deportes de raqueta, el tiempo disponible para realizar ajustes biomecánicos puede ser inferior a 500 ms, lo que obliga al sistema nervioso a priorizar patrones de movimiento automáticos en lugar de respuestas cognitivamente elaboradas (Williams & Jackson, 2019). Por ello, la biomecánica eficiente requiere entrenamiento que promueva automatización.

La orientación del pie durante desplazamientos rápidos constituye un ajuste biomecánico crítico. La colocación del pie en ángulos óptimos determina la dirección del vector de fuerza y permite realizar transiciones fluidas entre aceleración y desaceleración (Elliott, 2016). Un mal ángulo de apoyo genera torques ineficientes y aumenta la carga sobre las articulaciones.

En situaciones de velocidad, la alineación de la cadena cinética es esencial para mantener la estabilidad y maximizar la producción de fuerza. Cuando el cuerpo se mueve como un sistema integrado, los segmentos proximales generan energía que los segmentos distales aprovechan para ejecutar el gesto técnico (Kibler & Sciascia, 2016). Una cadena cinética mal alineada reduce tanto la potencia como la precisión.

Los ajustes biomecánicos también deben considerar la absorción de fuerzas. El control excéntrico de los músculos de las piernas permite desacelerar el cuerpo de manera controlada antes de cambiar de dirección, lo que reduce el riesgo de lesiones y mejora la eficiencia del movimiento (Lephart et al., 2018). La falta de control excéntrico provoca colapsos posturales y pérdida de estabilidad.

La biomecánica eficiente en alta velocidad requiere un equilibrio entre movilidad y estabilidad. Una movilidad insuficiente limita la amplitud de los movimientos rápidos, mientras que una estabilidad deficiente compromete la precisión (Kibler & Sciascia, 2016). Por ello, los deportistas necesitan desarrollar un rango óptimo de ambas cualidades para responder adecuadamente.

En situaciones de velocidad, la economía motora es fundamental. Los atletas que reducen movimientos innecesarios y evitan oscilaciones corporales excesivas pueden responder más rápido y generar mayor potencia con menor esfuerzo (Kovacs, 2018). La eficiencia biomecánica se traduce directamente en ventaja competitiva.

El ajuste del brazo dominante constituye un elemento crítico en deportes de raqueta. La posición del codo, el ángulo de la muñeca y la trayectoria del swing deben adaptarse en milisegundos para mantener un impacto estable y preciso (Elliott, 2016). La anticipación visual facilita estos ajustes, permitiendo una mejor preparación del implemento.

a biomecánica en alta velocidad también depende de la estabilidad cervical. Pequeñas variaciones en la alineación de la cabeza pueden alterar la percepción visual y comprometer la orientación del cuerpo, afectando los tiempos de respuesta (Han et al., 2021). Por ello, el control cervical se considera un componente central del rendimiento.

En situaciones donde la velocidad del estímulo supera la capacidad de reacción, los atletas dependen de estrategias biomecánicas preprogramadas. Estas estrategias permiten iniciar movimientos incluso antes de que el estímulo final se complete, optimizando la respuesta (Mann et al., 2020). La anticipación se convierte así en un mecanismo de compensación.

El ajuste biomecánico del centro de masas es otro factor esencial. Los deportistas deben desplazar su peso corporal de manera eficiente para mantener la estabilidad durante aceleraciones rápidas (Paillard, 2019). Un centro de masas mal gestionado produce pérdidas de equilibrio y retrasos en la ejecución del gesto técnico.

a velocidad de contracción muscular influye en la capacidad de realizar ajustes rápidos. Los músculos con alta proporción de fibras tipo II responden con mayor rapidez y permiten ajustes biomecánicos explosivos (Gandevia, 2019). Sin embargo, requieren un nivel elevado de control neural para evitar descoordinaciones.

En deportes de raqueta, los ajustes biomecánicos en situaciones de velocidad están profundamente ligados a la lectura táctica del oponente. Una interpretación precisa del movimiento contrario permite preparar el cuerpo antes de que la pelota sea golpeada, reduciendo la necesidad de ajustes reactivos (Murray & Hunfaluay, 2017). Este proceso optimiza la biomecánica del movimiento.

El entrenamiento específico para mejorar los ajustes biomecánicos implica simular situaciones reales de velocidad mediante estímulos visuales rápidos, desplazamientos impredecibles y demandas técnicas simultáneas. Este enfoque integral mejora la capacidad del sistema neuromuscular para activar patrones eficientes y resistentes a la fatiga (Williams & Jackson, 2019). La práctica en entornos cambiantes facilita la transferencia al juego real.

En conclusión, los ajustes biomecánicos en situaciones de velocidad representan un equilibrio complejo entre control postural, tiempo de reacción, anticipación y eficiencia mecánica. La capacidad para integrar estos elementos determina el rendimiento del deportista y su habilidad para responder de manera efectiva en escenarios de alta exigencia. Una comprensión profunda de estos procesos permite optimizar el entrenamiento técnico y neuromuscular, fortaleciendo el rendimiento global (Paillard, 2019).



CAPITULO VIII

EVALUACIÓN BIOMECÁNICA INSTRUMENTAL

Cámaras de alta velocidad en el análisis biomecánico del tenista

Las cámaras de alta velocidad han transformado radicalmente el análisis biomecánico del tenis al permitir observar y cuantificar movimientos que ocurren en intervalos de tiempo demasiado breves para ser percibidos por el ojo humano. Debido a que los golpes en el tenis, especialmente el servicio y el drive, pueden superar velocidades angulares de 1500°/s, la grabación en altas frecuencias de muestreo se vuelve indispensable para capturar adecuadamente la secuencia de movimientos, el punto de contacto, la trayectoria de la raqueta y las rotaciones articulares (Elliott, 2016). La capacidad de registrar entre 500 y 3000 cuadros por segundo permite analizar fenómenos como vibraciones, deformaciones y microajustes que ocurren en milisegundos y son críticos para la eficiencia mecánica del jugador.

El uso de cámaras de alta velocidad posibilita la evaluación detallada de la cinemática segmentaria, entendida como el análisis de la posición, velocidad y aceleración de cada segmento corporal durante la ejecución de un gesto técnico. En el tenis, esta información es esencial para determinar los tiempos de activación, la secuencia proximal-distal y el grado de coordinación entre tronco, hombro, codo, muñeca y raqueta (Knudson, 2021). A través del análisis cuadro a cuadro, el evaluador puede identificar patrones deficientes de movimiento, compensaciones involuntarias o retrasos en la fase de transición que repercuten en la eficiencia del golpe.

Otra ventaja fundamental de las cámaras de alta velocidad es su capacidad para analizar la fase de impacto entre la raqueta y la pelota, un evento extremadamente breve que dura entre 2 y 6 milisegundos en promedio. Durante este contacto, la raqueta experimenta deformaciones, cambios en el plano de impacto y transferencias de energía de alta magnitud, lo cual solo puede medirse mediante grabación ultrarrápida (Reid & Elliott, 2020). El análisis permite identificar si el jugador golpea en el “sweet spot”, si la raqueta se encuentra estable y si la trayectoria responde a la intención táctica.

La grabación en alta velocidad también permite examinar con precisión las fases del servicio, consideradas uno de los gestos más complejos del tenis por incluir una combinación de rotaciones, aceleraciones y sincronización

intersegmentaria. Con frame rates superiores a 1000 fps es posible distinguir claramente la fase de lanzamiento, la carga, la mecánica de arco de espalda, la rotación interna del hombro y la finalización, aspectos que a velocidad normal pasarían desapercibidos (Kovacs & Ellenbecker, 2020). Esto facilita la detección temprana de errores que pueden predisponer al jugador a lesiones de hombro o columna lumbar.

Un aspecto clave es que las cámaras de alta velocidad posibilitan el análisis de la cinemática de la raqueta, permitiendo medir la velocidad lineal del encordado, la aceleración angular y la orientación del plano de golpe. Estos parámetros influyen directamente en la generación de topspin, la dirección del tiro y la estabilidad mecánica del golpe (Elliott & Crespo, 2021). Gracias a esta tecnología, se ha podido demostrar que pequeños cambios en la muñeca o en la rotación del antebrazo generan efectos notables en el comportamiento de la pelota.

La integración de cámaras de alta velocidad con marcadores anatómicos facilita mediciones tridimensionales más precisas que permiten cuantificar rotaciones en múltiples planos. Este enfoque es especialmente relevante para analizar la rotación interna y externa del hombro, variables asociadas directamente al rendimiento y riesgo de lesión (Kibler & Sciascia, 2016). El análisis detallado del movimiento en 3D ayuda a comprender si las rotaciones articulares ocurren en el momento y magnitud apropiados.

Además, las cámaras de alta velocidad permiten el análisis del tiempo de preparación del golpe, incluyendo la velocidad con la que el jugador arma la raqueta, el tiempo que tarda en alcanzar la posición de impacto y la transición hacia la terminación del gesto. Estos elementos son esenciales para evaluar la eficiencia temporal y la adaptabilidad del jugador ante pelotas rápidas (Reid & McMurtrie, 2022). La medición de estos tiempos orienta la planificación del entrenamiento en contextos de velocidad y presión competitiva.

En el análisis biomecánico de la carrera en tenis, las cámaras de alta velocidad permiten estudiar la frecuencia de pasos, la longitud de zancada y la mecánica de frenado, elementos fundamentales para optimizar desplazamientos laterales

y diagonales. Movimientos como el “split step” requieren ser analizados en cuadros de milisegundos para determinar si el jugador inicia la carga reactiva en el momento óptimo (Fernández-Fernández et al., 2020). La precisión temporal obtenida por estas cámaras ayuda a mejorar la toma de decisiones motrices.

Las cámaras de alta velocidad permiten también identificar errores biomecánicos sutiles, como micro inestabilidades en el tronco, desviaciones no deseadas de la muñeca, fallas en el control escapular o movimientos compensatorios que no se perciben a simple vista. Estas alteraciones, aunque pequeñas, pueden acumularse con el tiempo y originar patrones mecánicos poco eficientes o generadores de lesiones (Reid & Schneiker, 2019). Su detección temprana permite intervenir preventivamente.

Una ventaja adicional es la posibilidad de sincronizar las cámaras de alta velocidad con sistemas de electromiografía, plataformas de fuerza e IMU, permitiendo la integración cinética–cinemática. Esta sincronización contribuye a comprender cómo las fuerzas internas se relacionan con los movimientos externos registrados (Elliott, 2016). El análisis combinado ofrece una visión holística del gesto deportivo.

Las cámaras de alta velocidad también son cruciales para evaluar la variabilidad motora, entendida como las pequeñas diferencias en la ejecución de un mismo movimiento. Esta variabilidad es un indicador de adaptabilidad y eficiencia neuromuscular (Knudson, 2021). El análisis cuadro a cuadro permite cuantificar si el jugador presenta patrones repetitivos saludables o si presenta variaciones erráticas que disminuyen la consistencia técnica.

En contextos clínicos, estas cámaras se utilizan para analizar mecanismos lesionales, como la dinámica de inversión–eversión del tobillo durante frenadas rápidas, que ocurren demasiado rápido para ser observadas sin tecnología adecuada (Han et al., 2021). Su uso permite diseñar estrategias preventivas basadas en evidencia.

Otra aplicación relevante es el estudio del comportamiento de la pelota, incluyendo su rotación, trayectoria y deformación al contacto, variables que afectan profundamente la ejecución del jugador. Este análisis solo puede

realizarse a través de grabación ultrarrápida (Reid & Elliott, 2020). Esto aporta información valiosa para entender cómo el jugador manipula la pelota en situaciones tácticas diversas.

El uso de cámaras de alta velocidad también permite evaluar la consistencia técnica bajo condiciones de fatiga. Las alteraciones en la mecánica de movimiento, como disminución de la velocidad angular o reducción de la amplitud de movimiento, son fácilmente identificables mediante análisis cinemático de alta resolución (Gomes et al., 2020). Esto facilita la planificación de programas de resistencia específica.

En categorías juveniles, esta tecnología ayuda a identificar patrones incorrectos de forma temprana, evitando que se consoliden hábitos técnicos poco eficientes o lesivos (Ellenbecker & Roetert, 2015). Su utilidad pedagógica es ampliamente reconocida.

Desde un punto de vista metodológico, el uso de cámaras de alta velocidad requiere correcciones por distorsión, calibración espacial y control de iluminación. Estos factores afectan directamente la validez y confiabilidad de las mediciones cinemáticas (Elliott, 2016). La estandarización del protocolo de filmación es esencial.

También se deben considerar las limitaciones, como el costo de los equipos, la necesidad de software especializado y el procesamiento extenso de datos. Sin embargo, su precisión justifica ampliamente su uso en evaluaciones de alto rendimiento (Reid & Crespo, 2021).

La capacidad de las cámaras de alta velocidad para capturar microtensiones musculares y ajustes intersegmentarios las convierte en una herramienta indispensable para comprender la biomecánica fina del tenis. Estas observaciones contribuyen al diseño de programas individualizados basados en la mecánica real del jugador (Kibler & Sciascia, 2016).

Además, sirven como una herramienta pedagógica poderosa, ya que los jugadores pueden observar visualmente errores que no perciben durante la

ejecución. Esto facilita el aprendizaje motor y refuerza la retroalimentación visual (Reid & Tilden, 2019).

En conclusión, las cámaras de alta velocidad representan una tecnología indispensable que permite un análisis profundo de la cinemática deportiva, mejorando la comprensión del gesto técnico, la prevención de lesiones y la optimización del rendimiento. Su integración con otros dispositivos biomecánicos amplifica aún más su potencial en el análisis del movimiento humano en deportes de raqueta (Elliott, 2016).

Plataformas de Fuerza y Sensores Inerciales en el Análisis del Rendimiento Deportivo

Las plataformas de fuerza constituyen uno de los instrumentos más robustos y precisos dentro del análisis biomecánico aplicado al deporte, debido a su capacidad para registrar fuerzas de reacción del suelo (GRF), distribuciones de carga y variaciones en el centro de presión con alta fidelidad temporal y espacial. Su relevancia para ciencias del movimiento radica en que la interacción entre atleta y superficie es un punto crítico para la generación de impulso, control postural y eficiencia técnica, especialmente en deportes que dependen de patrones cílicos o acciones explosivas como saltos, cambios de dirección o golpes rápidos (Winter, 2009). La comprensión de estas fuerzas permite identificar asimetrías, déficits musculares o estrategias motoras compensatorias que pueden comprometer el rendimiento o incrementar el riesgo de lesión.

El uso de plataformas de fuerza se ha extendido ampliamente en el tenis, atletismo y deportes de combate, donde se busca cuantificar no solo la magnitud de las fuerzas sino la velocidad con que se generan, lo que se conoce como *rate of force development* (RFD). El RFD es considerado un indicador clave de la capacidad del deportista para producir potencia en lapsos muy cortos, siendo un determinante de la eficacia en acciones como el servicio o la salida explosiva hacia la pelota (Maffiuletti et al., 2016). La evaluación del RFD permite a entrenadores diseñar programas de fuerza más precisos y orientados a mejorar la transferencia entre capacidades físicas y gestos deportivos específicos.

Otro valor fundamental obtenido gracias a las plataformas de fuerza es la caracterización del centro de presión (COP), el cual brinda información sobre la estabilidad postural, el control neuromuscular y la distribución del peso durante tareas estáticas o dinámicas. En el tenis, por ejemplo, el COP permite identificar cómo el jugador organiza su equilibrio durante el impacto, recepciones o desplazamientos laterales, lo que facilita comprender si existen estrategias de compensación producto de fatiga, limitaciones articulares o técnica deficiente (Paillard, 2017). Este indicador se utiliza también como herramienta diagnóstica para evaluar la recuperación tras lesiones del tobillo, rodilla o la región lumbar.

El desarrollo reciente de plataformas portátiles y sistemas de doble placa ha ampliado el campo de aplicación de estas tecnologías, permitiendo evaluaciones directamente en cancha o durante sesiones de entrenamiento reales. Esto reduce el sesgo asociado a laboratorios altamente controlados y permite entender el comportamiento mecánico del deportista en situaciones más próximas a la competencia (Colyer et al., 2018). El análisis en contexto real se ha convertido en una necesidad de la biomecánica moderna, la cual intenta integrar información multidimensional para explicar cómo los atletas se adaptan a estrés físico, cambios del entorno y variabilidad táctica.

En paralelo, los sensores inerciales (IMU) han emergido como herramientas altamente versátiles gracias a su facilidad de instalación, costo relativamente bajo y capacidad de registrar aceleraciones, velocidades angulares y orientaciones en tiempo real. Estos sensores suelen incluir acelerómetros, giroscopios y magnetómetros que permiten estimar la cinemática del cuerpo sin necesidad de sistemas de captura óptica complejos (Cutti et al., 2010). Esta accesibilidad ha generado un cambio paradigmático en el monitoreo del movimiento, especialmente en deportes donde el espacio físico o el dinamismo dificultan el uso de sistemas tradicionales.

El valor de los IMU en deportes como el tenis reside en su capacidad para proporcionar información detallada sobre la velocidad angular del tronco, la aceleración del brazo durante el golpeo, el tiempo de reacción y el ritmo de desplazamientos. La fusión de datos provenientes de pelvis, tronco y extremidades superiores permite construir modelos funcionales del patrón

técnico del jugador, identificando segmentos donde existe pérdida de energía o desalineaciones recurrentes (Camomilla et al., 2018). Estas mediciones se correlacionan con el rendimiento competitivo, especialmente en golpes que dependen de la coordinación intersegmentaria.

El uso de sensores iniciales también ha revolucionado la evaluación de la carga mecánica y el estrés articular en deportistas de alto rendimiento. Al registrar miles de eventos por sesión, los IMU permiten estimar la repetición acumulada de impactos, aceleraciones máximas, frenadas y torsiones que afectan hombros, rodillas o columna (Reina et al., 2019). Este análisis continuo es crucial para diseñar programas preventivos, optimizar la recuperación y anticipar posibles sobrecargas antes de que se conviertan en patologías crónicas.

Otro aspecto relevante es la utilización de fusión sensorial, donde datos provenientes de IMU se integran con plataformas de fuerza, GPS, electromiografía o sistemas 3D para obtener modelos completos del rendimiento. Esta integración facilita estudiar relaciones complejas como la sincronización entre activación muscular y producción de fuerza, o la relación entre cargas externas y adaptación fisiológica (Mooney et al., 2013). La biomecánica moderna se dirige hacia sistemas híbridos capaces de combinar diferentes fuentes de información para crear modelos predictivos más precisos.

La portabilidad de los sensores iniciales ha permitido que su uso no se limite solo a atletas profesionales, sino que se extienda a categorías juveniles, poblaciones clínicas y programas educativos. Esto abre la puerta a nuevas estrategias de entrenamiento donde el feedback instantáneo se convierte en herramienta pedagógica para mejorar la técnica, corregir patrones disfuncionales y promover una autoevaluación más eficiente (Picerno, 2017). En escenarios de aprendizaje motor, estos sistemas ofrecen al deportista una comprensión más clara de sus errores y progresos.

Los sensores iniciales también permiten realizar monitoreos prolongados en períodos de semanas o meses, lo cual constituye una ventaja significativa frente a evaluaciones puntuales en laboratorio. La obtención de datos longitudinales permite identificar fluctuaciones asociadas a la fatiga, progresos derivados del entrenamiento o cambios producto de condiciones ambientales (Van der Kruk &

Reijne, 2018). Este seguimiento continuo es especialmente valioso en deportes cílicos o de alta carga acumulativa.

Uno de los retos principales en el uso de IMU es la presencia de *drift* o derivas en la señal, especialmente en giroscopios, lo cual puede afectar la precisión de los cálculos cinemáticos. Sin embargo, avances en algoritmos de filtrado, técnicas de integración y métodos de recalibración continua han permitido reducir de manera significativa estos errores (Roetenberg et al., 2009). La ingeniería computacional ha sido clave para convertir estos sensores en herramientas confiables dentro del ámbito deportivo.

Las plataformas de fuerza siguen siendo consideradas el “estándar de oro” para la medición de fuerzas en biomecánica, pero la complementariedad con IMU ha permitido desarrollar sistemas híbridos de evaluación más robustos. Mientras las plataformas ofrecen datos extremadamente precisos sobre interacciones con el suelo, los sensores iniciales brindan información tridimensional sobre el movimiento del cuerpo completo, haciendo posible analizar la cinética y la cinemática en un mismo sistema (Doherty et al., 2020). Esta sinergia fortalece el análisis técnico y clínico del deportista.

En tenis, por ejemplo, la combinación de plataformas e IMU ha permitido determinar cómo la variación de fuerzas en el apoyo se relaciona con la velocidad angular del tronco durante el servicio. Investigaciones han demostrado que jugadores de mayor nivel generan impulsos más altos con menor tiempo de contacto, lo que favorece una transferencia más eficiente de energía desde el tren inferior hacia el brazo (Reid et al., 2016). Este tipo de análisis ha redefinido los criterios para clasificar niveles técnicos.

En deportes de combate, las plataformas de fuerza se utilizan para estudiar la cinética del golpeo, incluyendo magnitud de impacto, velocidad de transferencia y distribución de peso durante movimientos defensivos. Su integración con sensores iniciales ofrece información sobre la aceleración del puño, rotación del tronco y desplazamientos del centro de masa, aspectos críticos para comprender la efectividad del golpe (Governer et al., 2020). Estas métricas

ayudan a diferenciar entre técnica deficiente y estrategias propias de estilos de combate.

La aplicabilidad clínica de estas tecnologías también es relevante. Tanto plataformas como IMU se usan en rehabilitación para monitorear progresos en la recuperación de lesiones tendinosas, musculares o articulares. Estos sistemas identifican asimetrías persistentes o patrones de compensación que no son evidentes a simple vista, ofreciendo información clave para ajustar cargas terapéuticas y prevenir recaídas (Esculier et al., 2018). La evidencia sugiere que implementar evaluaciones biomecánicas mejora los resultados funcionales del paciente.

Asimismo, los sensores inerciales se han convertido en herramientas clave en el análisis de la estabilidad dinámica, debido a su capacidad para registrar microoscilaciones asociadas al control motor. En escenarios de fatiga, estrés competitivo o superficies irregulares, estas variaciones pueden incrementar y convertirse en indicadores tempranos de riesgo de lesión (Fino et al., 2016). Este tipo de marcadores tiene especial relevancia en deportes donde el control postural es determinante.

La investigación actual también explora la posibilidad de utilizar sensores inerciales para estimar parámetros tradicionalmente medidos por plataformas de fuerza, como el RFD o la fuerza pico, mediante modelos basados en inteligencia artificial. Los algoritmos de aprendizaje automático permiten correlacionar aceleraciones con fuerzas, reduciendo la dependencia de laboratorios especializados y acercando estas herramientas a entrenadores y deportistas (Kobsar et al., 2020). Esta tendencia democratiza la biomecánica de alto rendimiento.

Uno de los beneficios más importantes de las plataformas de fuerza es su capacidad para detectar microvariaciones en la producción de fuerza que pueden indicar fatiga neuromuscular antes de que el deportista presente síntomas perceptibles. Estas medidas son altamente utilizadas en deportes de raqueta, atletismo y salto para ajustar cargas de entrenamiento y evitar estados

de fatiga acumulada (Cormie et al., 2011). La prevención juega un rol crítico en la prolongación del rendimiento.

La integración entre datos de fuerza y sensores inerciales no solo es útil para deportistas sanos, sino también para poblaciones con discapacidades. En atletas con amputaciones, por ejemplo, estos sistemas permiten analizar diferencias funcionales entre prótesis, adaptaciones del patrón de marcha y eficiencia mecánica (Highsmith et al., 2016). La biomecánica inclusiva busca desarrollar metodologías que mejoren la calidad de vida y el rendimiento adaptado.

Finalmente, la implementación de plataformas de fuerza y sensores inerciales representa un paso hacia la biomecánica aplicada en tiempo real, donde los datos pueden ser transmitidos a entrenadores mediante dispositivos móviles o software especializado. Este feedback inmediato facilita la toma de decisiones durante entrenamientos y sesiones de rehabilitación, impulsando una era en la que la tecnología y el deporte convergen para mejorar rendimiento, técnica y salud (Kos et al., 2016). El objetivo principal es volver accesible la información compleja para optimizar el proceso de entrenamiento.

Electromiografía, Análisis 3D y Software Especializado

La electromiografía (EMG) es una herramienta fundamental para estudiar la activación muscular durante gestos deportivos específicos, permitiendo conocer patrones de reclutamiento, tiempos de activación y sinergias musculares que no pueden ser evaluadas mediante observación directa. Su valor radica en la capacidad para identificar cuándo y cómo un músculo contribuye al movimiento, lo que permite construir una comprensión profunda de la eficiencia técnica y la coordinación intermuscular (De Luca, 2002). En deportes como el tenis, esta información es esencial para analizar la secuencia cinética en golpes como el servicio o el revés.

Existen dos modalidades principales de EMG: superficial e intramuscular. La EMG superficial es más común en entornos deportivos por su carácter no invasivo y su capacidad para registrar la actividad de músculos superficiales como deltoides, pectorales o cuádriceps. La intramuscular, aunque más precisa, se utiliza en investigaciones avanzadas debido a la necesidad de insertar

electrodos finos dentro del tejido muscular (Farina et al., 2010). Ambas modalidades aportan información clave para comprender la función muscular y la contribución de cada músculo a la ejecución técnica.

En el tenis, la EMG ha demostrado que la activación del tronco juega un papel crítico en la transferencia de energía hacia las extremidades superiores. Investigaciones indican que músculos como el oblicuo externo, recto abdominal y eructores espinales se activan de manera anticipada para estabilizar el tronco antes del impacto, facilitando la eficiencia del golpeo (Elliott et al., 2016). Este hallazgo ha llevado a replantear programas de preparación física orientados al fortalecimiento del core.

Además, la EMG permite identificar desequilibrios musculares que pueden incrementar el riesgo de lesión. Por ejemplo, asimetrías en la activación del manguito rotador o en músculos escapulares pueden predisponer a tendinopatías del hombro, especialmente en deportes de lanzamiento o golpeo (Cools et al., 2015). La identificación temprana de estas asimetrías facilita la intervención preventiva.

La integración entre EMG y análisis 3D ofrece un enfoque todavía más completo del rendimiento deportivo. Los sistemas de análisis tridimensional permiten reconstruir el movimiento con precisión milimétrica mediante cámaras infrarrojas, marcadores reflectivos y software especializado que genera modelos esqueléticos digitales (Robertson et al., 2013). Esta tecnología es considerada el estándar de referencia para el análisis cinemático.

La captura 3D es especialmente valiosa para evaluar secuencias cinéticas complejas, como aquellas presentes en el servicio de tenis, donde intervienen múltiples articulaciones y segmentos corporales. Al combinar EMG y cinemática, los investigadores pueden determinar si la activación muscular coincide con el movimiento esperado y si existe algún retraso o compensación que afecte el rendimiento (Elliott et al., 2012). Este enfoque dual permite estudiar la causa biomecánica de errores técnicos.

Uno de los beneficios del análisis 3D es su capacidad para cuantificar ángulos articulares, velocidades angulares y aceleraciones, datos indispensables para

estudiar la eficiencia mecánica del deportista. En deportes donde el tiempo de reacción es crítico, estos parámetros permiten identificar patrones de movimiento óptimos y compararlos con atletas de élite para desarrollar modelos de referencia (Fleisig et al., 2011). Esto facilita la toma de decisiones en entrenamiento técnico.

El uso de captura de movimiento también ha permitido explorar la variabilidad técnica, un concepto cada vez más valorado en aprendizaje motor. Investigaciones han demostrado que atletas expertos presentan variabilidad adaptativa, ajustando sus patrones de movimiento según condiciones externas sin comprometer la eficiencia (Davids et al., 2008). El análisis 3D permite medir esta variabilidad de manera científica.

El software de análisis es el encargado de integrar datos provenientes de EMG, plataformas, IMU y captura 3D en modelos comprensivos del rendimiento. Programas como Visual3D, OpenSim o Dartfish permiten calcular cinética y cinemática, estimar cargas articulares y generar simulaciones que predicen los efectos de modificaciones técnicas o cambios en el entrenamiento (Delp et al., 2007). Este poder analítico es esencial para la biomecánica contemporánea.

Los modelos musculoesqueléticos proporcionados por software avanzado permiten estudiar la fuerza generada por músculos específicos durante el movimiento, incluso cuando no puede medirse directamente. Estas estimaciones ayudan a comprender qué músculos son los principales responsables de la producción de potencia en gestos clave, como la rotación interna del hombro durante el saque de tenis (Saul et al., 2015). Esta información sirve para diseñar programas preventivos y de fortalecimiento más precisos.

Otro beneficio del software especializado es la capacidad de realizar análisis retrospectivos y comparativos. Los entrenadores pueden evaluar progresos técnicos a lo largo de microciclos o mesociclos y determinar si los cambios implementados han tenido efecto en estabilidad, eficiencia o velocidad del movimiento (Lees, 2002). Esta metodología aumenta la precisión del proceso de entrenamiento.

En el ámbito clínico, la integración entre análisis 3D y EMG es ampliamente utilizada para diagnosticar alteraciones del movimiento en pacientes con

lesiones musculoesqueléticas. Al identificar patrones anormales, el terapeuta puede personalizar intervenciones que ataquen directamente la causa biomecánica del dolor o la disfunción (Schwartz et al., 2008). Esta aproximación mejora la calidad del proceso de rehabilitación.

Los avances en inteligencia artificial han permitido que el software de análisis biomecánico sea aún más potente. Hoy en día existen algoritmos capaces de detectar automáticamente errores técnicos, clasificar gestos deportivos complejos o estimar cargas articulares sin necesidad de marcadores, utilizando redes neuronales entrenadas con miles de videos (Stenum et al., 2021). Esto marca el inicio de una nueva era en el análisis del rendimiento.

La EMG, por su parte, está mirando hacia sistemas inalámbricos cada vez más livianos y potentes, que permiten recopilar datos sin interferir con la movilidad del deportista. Esto ha ampliado su uso en deportes dinámicos donde antes era imposible obtener registros de calidad, como gimnasia, artes marciales o deportes de raqueta (Merletti & Farina, 2016). La calidad del análisis depende de minimizar artefactos eléctricos y de movimiento.

En tenis, la EMG ha revelado que el hombro es una de las articulaciones más expuestas a estrés repetitivo, especialmente durante la fase de aceleración del servicio. El análisis de la coactivación entre rotadores internos y externos ha permitido comprender cómo los patrones deficientes aumentan el riesgo de lesiones crónicas (Ellenbecker & Roetert, 2003). Esta información es crucial para diseñar programas preventivos.

La captura de movimiento también ha permitido estudiar las asimetrías propias del tenis, donde existe una dominancia marcada entre brazo hábil y no hábil. Estas asimetrías son evidentes en fuerza, ROM articular y propiocepción, pudiendo provocar molestias o desbalances que afectan la estabilidad del tronco y la mecánica del golpe (Kovacs, 2007). El análisis 3D permite cuantificar estas diferencias.

El software de simulación biomecánica representa una herramienta estratégica para entrenadores, pues permite ensayar modificaciones técnicas sin exponer al

deportista a riesgo. Simulaciones pueden predecir cómo un cambio en la posición del tronco o el ángulo del brazo afectará la velocidad de la pelota o la carga articular (Kingma & van Dieën, 2009). Esto facilita la toma de decisiones informadas.

El estudio del tiempo de reacción también se ha beneficiado de sistemas 3D e IMU, ya que permiten analizar la velocidad de respuesta del deportista ante estímulos visuales o mecánicos. La integración de estos datos con actividad muscular permite analizar cómo la anticipación y preparación postural influyen en la efectividad del movimiento (Williams et al., 2002). Este aspecto es clave en deportes veloces como el tenis.

La tendencia actual en biomecánica es hacia sistemas integrados que combinan cinética, cinemática, activación muscular y modelado computacional en tiempo real. Este enfoque holístico brinda la posibilidad de obtener perfiles biomecánicos completos del deportista, contribuyendo a mejorar el rendimiento técnico, prevenir lesiones y optimizar la carga de entrenamiento (Preatoni et al., 2013). Es la base de la biomecánica moderna aplicada al alto rendimiento.

Finalmente, la integración de tecnologías como EMG, captura 3D y software especializado representa una evolución significativa en el estudio del movimiento humano. Estas herramientas permiten comprender con una precisión nunca antes vista cómo se produce la fuerza, cómo se coordinan los segmentos corporales y qué patrones biomecánicos determinan la eficiencia técnica, aportando un valor incalculable al entrenamiento, la prevención y la rehabilitación deportiva (Bartlett, 2007). Constituyen el pilar de la biomecánica contemporánea.

CAPITULO IX

EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA Y LA MECÁNICA DEL JUEGO

Protocolos de análisis técnico: fundamentos, etapas y métodos

El análisis técnico en el deporte constituye un proceso sistemático orientado a comprender, describir y optimizar los patrones de movimiento que determinan la efectividad de la ejecución motriz. Los protocolos de análisis técnico se desarrollan con el fin de estandarizar la observación, medición y evaluación de gestos deportivos específicos, permitiendo identificar errores, variaciones mecánicas y áreas potenciales de mejora (Lees, 2022). La sistematicidad es crucial, ya que la técnica no puede evaluarse únicamente desde la percepción subjetiva del entrenador, sino a través de procedimientos que integren evidencia biomecánica y criterios objetivos.

Los protocolos modernos integran la observación directa, la videograbación, la reconstrucción tridimensional del movimiento y los análisis cinemáticos y cinéticos. Cada una de estas herramientas aporta dimensiones diferenciales de información. La observación directa permite capturar patrones globales, mientras que la videograbación y los sistemas de captura de movimiento posibilitan medir ángulos, desplazamientos, velocidades segmentarias y tiempos de ejecución (Blazevich, 2021). La precisión tecnológica ha transformado el proceso evaluativo.

La construcción del protocolo técnico requiere definir el gesto motor, los indicadores prioritarios, la frecuencia de evaluación, el contexto de análisis y los parámetros para comparar el desempeño del deportista. Por ejemplo, en deportes de raqueta, los protocolos consideran las fases del golpe, la transferencia de peso, la alineación segmentaria, la velocidad de la raqueta y la estabilidad del core durante la acción (Elliott et al., 2019).

Una característica central de los protocolos de análisis técnico es su secuencialidad. Todo protocolo debe estructurarse por fases: diagnóstico inicial, captación del movimiento, procesamiento de datos, interpretación y retroalimentación. Este esquema permite que el análisis no se limite a un ejercicio descriptivo, sino que se convierta en un proceso cíclico de mejora continua. El atleta recibe información, la integra en su práctica y se vuelve a evaluar su progreso.

El diagnóstico inicial tiene como objetivo establecer una línea de referencia. Esta línea base incluye no solo los parámetros biomecánicos, sino también las condiciones físicas, la experiencia deportiva y el historial de lesiones del atleta. Según McGinnis (2020), estos elementos influyen en la expresión técnica y deben registrarse para contextualizar la interpretación posterior.

Durante la captación del movimiento, es fundamental controlar las condiciones ambientales y garantizar la repetitividad de las ejecuciones. La estandarización permite comparar sesiones evaluativas y verificar la efectividad de las intervenciones técnicas. Factores como el tipo de superficie, iluminación, implementos deportivos y fatiga pueden modificar el gesto y deben ser registrados (Winter, 2009).

El procesamiento de datos constituye un paso crítico. En esta fase se seleccionan los fotogramas clave, se calculan variables cinemáticas y se aplican filtros para aumentar la precisión de las mediciones. Los softwares de análisis biomecánico permiten identificar diferencias mínimas que serían imposibles de detectar a simple vista, lo cual otorga al entrenador una base sólida para la toma de decisiones (Knudson, 2013).

La interpretación requiere relacionar los datos biomecánicos con el rendimiento. No basta con identificar que un ángulo es subóptimo; debe explicarse por qué afecta el gesto, cómo lo modifica y qué repercusión tiene en la economía del movimiento. Por ello, los protocolos enfatizan que la interpretación debe apoyarse en principios mecánicos y evidencias empíricas (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012).

Uno de los elementos más valiosos del análisis técnico es su capacidad para detectar compensaciones motrices. Estas compensaciones suelen surgir por debilidades musculares, déficits de movilidad o alteraciones en el control motor. Los protocolos permiten identificar estas desviaciones y relacionarlas con posibles riesgos de lesión, facilitando una planificación preventiva (Hewett et al., 2016).

La retroalimentación es la fase culminante del proceso. Aquí el entrenador traduce la información técnica en instrucciones comprensibles para el atleta. La

literatura señala que la retroalimentación debe ser específica, breve y centrada en aspectos corregibles, evitando la sobrecarga cognitiva (Wulf & Lewthwaite, 2016). La calidad de la retroalimentación determina la transferencia de la información biomecánica al entrenamiento práctico.

Los protocolos de análisis técnico también incluyen el registro sistemático de progresos. Este registro permite comparar diferentes ciclos de entrenamiento y genera evidencia sobre la efectividad de las metodologías aplicadas. Asimismo, constituye una herramienta útil para la comunicación entre entrenadores, fisioterapeutas y preparadores físicos (García & Santamaría, 2023).

En deportes de alta repetición técnica, como el tenis, la natación o el atletismo, los protocolos deben adaptarse a la variabilidad individual del gesto. Cada atleta posee su propio estilo técnico, y los análisis modernos buscan optimizar, más que estandarizar, la ejecución. Como señalan Bartlett y Bussey (2013), el objetivo es mejorar la coherencia funcional, no la uniformidad estética.

Los protocolos pueden ser cualitativos o cuantitativos. Los cualitativos se basan en listas de chequeo, criterios observacionales y valoraciones expertas. Los cuantitativos emplean valores numéricos que permiten mayor precisión. Ambos enfoques se complementan y deben integrarse para obtener un análisis holístico (Knudson & Morrison, 2002).

Una tendencia reciente es el uso de sensores iniciales portátiles, acelerómetros y giroscopios, que permiten analizar la técnica en situaciones reales de entrenamiento y competencia. Esto amplía la validez ecológica del análisis, ya que muchos gestos se modifican cuando el deportista está bajo estrés competitivo (Camomilla et al., 2018).

Los protocolos también deben considerar las diferencias entre gestos cílicos y acíclicos. En gestos cílicos, la técnica se repite continuamente, permitiendo mayor precisión en el análisis. En gestos acíclicos, el análisis se vuelve más complejo debido a la variabilidad y adaptabilidad del movimiento; por ello se requieren métodos de segmentación y comparación intra-atleta (Lees, 2022).

El análisis técnico es, además, un mecanismo pedagógico. A través de videos, gráficos y modelos comparativos, el deportista desarrolla conciencia corporal y

comprensión mecánica. Este aprendizaje visual potencia la asimilación técnica y favorece la autoregulación del movimiento (Williams & Hodges, 2020).

En deportes con implementos, los protocolos incluyen la valoración del manejo del implemento: sincronización, trayectoria, aceleración y coordinación con el movimiento corporal. Estos factores influyen directamente en la eficiencia técnica y deben medirse desde una perspectiva biomecánica y funcional (Elliott et al., 2019).

Los análisis técnicos no solo se aplican a deportistas élite; también son fundamentales en etapas formativas. En jóvenes, permiten identificar patrones incorrectos antes de que se consoliden, facilitando un aprendizaje motor más eficiente y reduciendo la probabilidad de errores persistentes (Newell, 2020).

La consistencia del protocolo es fundamental para su validez. Si los parámetros o métodos cambian entre sesiones, los datos se vuelven incomparables. Por ello, los protocolos deben estar claramente documentados y ser replicables, cumpliendo criterios de fiabilidad interevaluador e intraevaluador (Hopkins, 2000).

Finalmente, el análisis técnico se inserta en un modelo integrador que incluye capacidades físicas, tácticas, perceptivas y psicológicas. La técnica no puede analizarse de manera aislada; debe interpretarse dentro de un ecosistema de rendimiento deportivo. Esta visión sistémica permite que los protocolos produzcan información útil para la planificación global del entrenamiento (Issurin, 2021).

Indicadores de eficiencia mecánica: definición, medición e interpretación

La eficiencia mecánica es un concepto central en el análisis técnico, pues describe la relación entre la energía invertida y el rendimiento alcanzado. Un gesto eficiente requiere menor gasto energético para producir el mismo resultado deportivo. Según Zatsiorsky y Prilutsky (2012), la eficiencia mecánica está determinada por la coordinación intermuscular, la alineación corporal y la optimización de fuerzas internas y externas.

Uno de los indicadores básicos es la economía del movimiento, que se expresa en la suavidad, fluidez y continuidad del gesto. Un movimiento económico presenta mínima oposición interna, menor rigidez segmentaria y una transferencia más directa de energía entre fases, lo cual mejora el rendimiento global (Blazevich, 2021).

Otro indicador relevante es la estabilidad postural durante la ejecución. La estabilidad garantiza una base sólida para la aplicación de fuerzas y minimiza pérdidas energéticas asociadas a oscilaciones o movimientos compensatorios. Investigaciones biomecánicas han mostrado que una mayor estabilidad central está asociada a mayor precisión y potencia (Hibbs et al., 2008).

La alineación segmentaria define la orientación adecuada de miembros y articulaciones durante las fases del gesto. Una alineación correcta favorece la eficiencia mecánica porque permite que la fuerza se transmita de manera óptima desde las extremidades proximales hacia las distales, reduciendo las fugas energéticas (Lees, 2022).

La sincronización segmentaria constituye otro indicador clave. La secuencia correcta de activación y desaceleración de segmentos corporales determina la velocidad final lograda en acciones como golpes, lanzamientos o sprints. Los modelos de cadena cinética señalan que errores en la secuencia generan pérdidas de potencia significativas (Elliott et al., 2019).

El tiempo de ejecución es un indicador sensible para evaluar la eficiencia. Movimientos más rápidos, sin detrimento de la técnica, son considerados más eficientes, ya que reflejan un control motor preciso y una activación neuromuscular optimizada. Sin embargo, la velocidad debe analizarse en combinación con la precisión (Williams & Hodges, 2020).

Los ángulos articulares son indicadores fundamentales. Cada gesto posee rangos óptimos asociados al rendimiento. Por ejemplo, en un golpe de tenis, el ángulo de rotación de la cadera y la extensión del codo influyen directamente en la velocidad de la pelota. Los análisis angulares permiten cuantificar desviaciones y proponer correcciones específicas (Knudson, 2013).

El índice de variabilidad del movimiento también es utilizado como indicador de eficiencia. Un atleta eficiente presenta baja variabilidad en gestos repetidos; sin embargo, cierta variabilidad adaptativa puede ser positiva, especialmente bajo condiciones cambiantes. La clave es identificar variabilidad funcional versus disfuncional (Newell, 2020).

La fuerza reactiva, evaluada mediante indicadores como el tiempo de contacto y la relación entre la carga excéntrica y la respuesta concéntrica, representa un componente esencial en gestos explosivos. Este indicador permite determinar la eficiencia del ciclo de estiramiento-acortamiento (Cormie et al., 2011).

En deportes acíclicos, la eficiencia mecánica incluye la capacidad de utilizar fuerzas externas, como el rebote, el viento o la reacción del implemento, para optimizar la ejecución. Aprovechar estas fuerzas reduce el esfuerzo interno y mejora la relación costo–beneficio del movimiento (Bartlett & Bussey, 2013).

La potencia mecánica es un indicador clave que combina fuerza y velocidad. Los análisis de potencia permiten identificar la capacidad del atleta para generar aceleraciones rápidas y determinan la calidad del gesto en acciones de impacto o velocidad (Cormie et al., 2011).

La coordinación intramuscular, relacionada con la capacidad del sistema nervioso para reclutar unidades motoras de manera eficiente, afecta la producción de fuerza y, por ende, la eficiencia. Atletas con alta coordinación intramuscular logran mayor fuerza con menor gasto energético (McGinnis, 2020).

El torque articular constituye un indicador biomecánico que refleja la eficacia en la generación de fuerza rotacional. En acciones como lanzamientos o golpes, torques insuficientes o mal distribuidos generan movimientos ineficientes y aumentan el riesgo de lesión (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012).

Los indicadores de transferencia de energía evalúan qué tan bien el cuerpo transmite fuerzas desde segmentos proximales a distales. En la cadena cinética, una pérdida de energía en la cadera, por ejemplo, repercute en menor velocidad de la extremidad distal, afectando la eficiencia mecánica del gesto (Elliott et al., 2019).

La acción muscular excéntrica controlada es otro indicador asociado a la eficiencia. Movimientos técnicos eficientes dependen del control excéntrico para preparar la fase concéntrica, regular el movimiento y reducir vibraciones innecesarias (Blazevich, 2021).

La relación fuerza–tiempo es fundamental para evaluar la eficiencia en gestos explosivos. Atletas que producen picos de fuerza más rápidamente presentan mayor eficiencia mecánica y mejor desempeño en acciones de alta intensidad (Cormie et al., 2011).

Los indicadores metabólicos también influyen en la eficiencia técnica. La fatiga altera el control motor, aumenta la variabilidad del gesto y modifica la técnica. Evaluar la eficiencia bajo fatiga permite determinar la resiliencia técnica del atleta (Hewett et al., 2016).

El uso de modelos predictivos mediante inteligencia artificial permite hoy estimar la eficiencia mecánica a partir de grandes volúmenes de datos. Estos algoritmos identifican patrones óptimos y comparan atletas con modelos biomecánicos de referencia (Camomilla et al., 2018).

La eficiencia mecánica tiene implicaciones directas en el rendimiento y la prevención de lesiones. Movimientos ineficientes generan sobrecargas repetitivas y aumentan el riesgo de patologías por estrés, particularmente en articulaciones como hombro, rodilla y columna (Hewett et al., 2016).

La integración de todos estos indicadores permite construir un perfil detallado del atleta. Este perfil sirve como base para la planificación del entrenamiento, guiando decisiones sobre cargas, correcciones técnicas, ejercicios específicos y progresiones metodológicas (Issurin, 2021).

Interpretación de los datos técnicos para la planificación del entrenamiento

La interpretación de los indicadores técnicos constituye un puente entre la biomecánica y la metodología del entrenamiento. La toma de decisiones no puede basarse únicamente en intuiciones, sino en datos objetivos que orienten

las cargas y contenidos de cada ciclo (Issurin, 2021). La interpretación adecuada garantiza que el entrenamiento sea específico, eficaz y seguro.

El primer paso en la interpretación es identificar los factores limitantes del gesto. Estos factores pueden ser biomecánicos, neuromusculares o coordinativos. El análisis permite distinguir entre errores técnicos derivados de déficit físicos y aquellos que corresponden a aspectos del control motor (Knudson, 2013).

Cuando el análisis revela déficits de movilidad, el entrenador debe incorporar ejercicios de flexibilidad dinámica, movilidad articular y control posicional antes de intentar modificar la técnica. La corrección técnica sin la base física adecuada suele fracasar (Blazevich, 2021).

Si se identifican déficits de fuerza o potencia, el programa de entrenamiento debe incluir ejercicios orientados a mejorar las capacidades musculares específicas que sustentan la ejecución técnica. La evidencia muestra que la fortaleza de la región central es determinante para la eficiencia en gestos de rotación (Hibbs et al., 2008).

Cuando los errores se relacionan con la coordinación, la planificación debe incluir ejercicios de progresión técnica, entrenamiento asistido y variabilidad controlada. Estos métodos favorecen la reorganización del patrón motor y promueven una técnica más eficiente (Newell, 2020).

La interpretación también debe considerar el contexto táctico del deporte. En disciplinas como el tenis, ciertos ajustes técnicos pueden depender del tipo de golpe, la velocidad del oponente o las condiciones de la superficie. Por ello, la planificación debe integrar sesiones específicas y situacionales (Elliott et al., 2019).

Los indicadores de eficiencia mecánica permiten establecer prioridades de intervención. Si el atleta presenta buena potencia pero mala alineación segmentaria, la prioridad será corregir la técnica antes que intensificar la carga física, evitando sobrecargas innecesarias (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012).

La planificación debe organizarse en ciclos que permitan consolidar los cambios técnicos. Las adaptaciones motoras requieren tiempo, repetición y variabilidad

óptima. Por ello, los entrenadores deben evitar la modificación simultánea de múltiples aspectos técnicos (Wulf & Lewthwaite, 2016).

Los datos técnicos también permiten ajustar las cargas internas y externas del entrenamiento. Por ejemplo, si el atleta presenta fatiga técnica, se deben reducir las cargas intensas y aumentar el trabajo técnico de baja velocidad para mantener la calidad del gesto (Hopkins, 2000).

La retroalimentación visual mediante videos es un elemento clave en la planificación. Los deportistas que observan sus ejecuciones comprenden mejor los ajustes requeridos y aceleran el proceso de corrección, según estudios sobre aprendizaje motor (Williams & Hodges, 2020).

Los datos biomecánicos permiten al entrenador anticipar riesgos de lesión. Si el análisis revela desequilibrios en la distribución de carga o compensaciones repetitivas, la planificación debe incluir trabajo preventivo y ejercicios correctivos específicos (Hewett et al., 2016).

Las evaluaciones periódicas permiten monitorear la adaptación del atleta. La planificación debe incluir sesiones de análisis técnico cada cierto número de semanas para verificar progresos y ajustar la metodología en función de los datos más recientes (García & Santamaría, 2023).

El análisis técnico también guía la periodización. En períodos preparatorios, el énfasis puede centrarse en correcciones técnicas profundas. En períodos competitivos, la prioridad será consolidar la técnica existente y reducir errores mediante ajustes finos (Issurin, 2021).

La interpretación de datos técnicos facilita la selección de ejercicios. El entrenador puede elegir ejercicios globales, específicos o analíticos según las deficiencias detectadas. Los ejercicios deben replicar los ángulos, velocidades y secuencias del gesto real (Lees, 2022).

La integración de tecnologías portátiles permite ajustar el entrenamiento en tiempo real. Sensores y análisis instantáneos permiten corregir errores durante la sesión, acelerando la transferencia del aprendizaje (Camomilla et al., 2018).

La interpretación debe tener en cuenta la individualidad biológica. No todos los atletas responden igual a las mismas cargas técnicas; algunos requieren más repeticiones, otros responden mejor a variaciones del entorno o al uso de retroalimentación externa (Bartlett & Bussey, 2013).

Los datos deben presentarse al deportista de forma comprensible. Una comunicación efectiva es clave para que el atleta comprenda los objetivos técnicos de cada sesión, aumentando su compromiso con el proceso (Wulf & Lewthwaite, 2016).

La planificación del entrenamiento basada en análisis técnico permite una progresión lógica del aprendizaje. Cada ajuste técnico debe apoyarse en fortalezas previas y conducir a un gesto más eficiente y estable (Newell, 2020).

La utilización de indicadores técnicos también permite comparar el desempeño del atleta con modelos de referencia, sin exigir copias exactas, sino tomando como guía los principios mecánicos universales del movimiento (Elliott et al., 2019).

En última instancia, la interpretación técnica orienta el proceso de formación deportiva hacia un entrenamiento basado en evidencia, donde cada decisión tiene un fundamento biomecánico y metodológico. Esto no solo mejora el rendimiento, sino que favorece el desarrollo integral y sostenible del atleta (Issurin, 2021).



CAPITULO X

EVALUACIÓN DE CONDICIÓN FÍSICA EN TENISTAS

Test de fuerza y potencia

La evaluación de la fuerza muscular constituye un componente crítico en la valoración del rendimiento físico, ya que representa la base sobre la cual se construyen otras capacidades como la potencia, la velocidad y la agilidad. Según Suchomel, Nimphius y Stone (2016), los niveles de fuerza máxima están directamente vinculados con la capacidad de aplicar fuerza externa contra resistencias elevadas, lo cual determina en gran medida la eficiencia mecánica del atleta en movimientos complejos. La fuerza no solo implica la contracción muscular aislada, sino también la integración neuromuscular que permite reclutar unidades motoras de manera coordinada en función de la demanda.

Entre los test más utilizados para valorar la fuerza máxima se encuentran el 1RM (una repetición máxima) y sus variantes estimadas mediante ecuaciones predictivas. El test de 1RM es considerado el estándar de oro para determinar la fuerza dinámica máxima y permite cuantificar la capacidad del atleta para superar una carga determinada en un solo intento (Grgic et al., 2020). Aunque ampliamente validado, su aplicación requiere supervisión experta, debido a los riesgos biomecánicos asociados al levantamiento de cargas elevadas, especialmente en poblaciones con poca experiencia de entrenamiento.

Para situaciones donde no es viable o seguro aplicar cargas máximas, los test submáximos representan una alternativa válida. Estos permiten estimar el valor de 1RM a través de la relación entre repeticiones y carga submáxima, lo que reduce el riesgo de fatiga o lesión (Mayhew et al., 2008). En deportistas con poca experiencia o en poblaciones en rehabilitación, los test submáximos ofrecen una herramienta valiosa para determinar la progresión del entrenamiento sin comprometer la integridad física del evaluado.

Otra herramienta clave dentro de la evaluación de fuerza es la dinamometría isométrica, utilizada para medir la fuerza en condiciones de contracción estática. El test de dinamometría isométrica de agarre es uno de los métodos más empleados dada su simplicidad, validez y alta correlación con el rendimiento general (Cronin et al., 2017). Además, la fortaleza de prensión manual se asocia con parámetros de salud metabólica, longevidad y capacidad funcional en deportes que requieren acciones de agarre.

El isometric mid-thigh pull (IMTP) es otra prueba relevante para valorar fuerza isométrica en contextos deportivos. Este test permite medir la fuerza máxima y la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD), siendo particularmente útil en deportes que requieren aplicación rápida de fuerzas altas, como atletismo o deportes de raqueta (Comfort et al., 2019). El IMTP se distingue por su capacidad para aislar la fuerza extensora de cadera y rodilla, proporcionando datos específicos sobre la mecánica de empuje.

La evaluación de la potencia es fundamental, ya que esta capacidad integra fuerza y velocidad para producir movimientos explosivos. La potencia se expresa en acciones como saltos, sprints cortos y lanzamientos, y es altamente dependiente de la eficiencia neuromuscular. Según Jiménez-Reyes et al. (2014), la potencia es un predictor determinante del rendimiento en deportes que requieren aceleraciones rápidas y cambios de ritmo constantes.

Los saltos verticales, especialmente el countermovement jump (CMJ) y el squat jump (SJ), son los test más utilizados para evaluar potencia del tren inferior. El CMJ permite evaluar el uso del ciclo de estiramiento–acortamiento (CEA), mecanismo mediante el cual el músculo aprovecha la energía elástica almacenada para producir mayor fuerza (Markovic & Jaric, 2007). Por su parte, el SJ elimina el componente elástico para evaluar la potencia generada únicamente por contracción concéntrica.

Los sistemas de medición para saltos han evolucionado desde plataformas de contacto hasta cámaras de alta velocidad y sistemas de fotoceldas. Estas tecnologías permiten registrar variables como tiempo de vuelo, fuerza aplicada, potencia y perfiles fuerza-velocidad (Morin & Samozino, 2016). El análisis del perfil fuerza-velocidad es particularmente útil para identificar deficiencias mecánicas y orientar la intervención específica del entrenamiento.

En deportes con alta exigencia explosiva, el análisis de potencia del tren superior también resulta crucial. Los lanzamientos con balón medicinal, por ejemplo, proporcionan información relevante sobre la potencia de tronco y extremidades superiores. Thomas et al. (2019) demostraron que los lanzamientos frontales y

rotacionales se correlacionan con la velocidad de golpeo y de servicio en deportes como tenis y béisbol.

La potencia mecánica es altamente dependiente de la sincronización neuromuscular y el reclutamiento eficiente de unidades motoras tipo II, encargadas de generar altos niveles de fuerza en períodos cortos. Esto explica por qué el entrenamiento de fuerza máxima está estrechamente ligado a la mejora de la potencia: incrementos en fuerza absoluta permiten elevar el techo de producción para esfuerzos explosivos (Suchomel et al., 2016). La relación entre fuerza y potencia es, por tanto, bidimensional y debe interpretarse de manera contextualizada.

El test Wingate es uno de los métodos más empleados para evaluar potencia anaeróbica en cicloergómetro. Este test consiste en un esfuerzo máximo de 30 segundos contra una resistencia estandarizada, permitiendo examinar potencia pico, potencia media y fatiga anaeróbica (Bar-Or, 1987). Aunque altamente demandante, el Wingate permite comprender la tolerancia del atleta al metabolismo anaeróbico láctico y su capacidad para sostener esfuerzos explosivos de corta duración.

La medición de potencia también puede realizarse mediante transductores lineales, que registran la velocidad y el desplazamiento de la barra durante levantamientos como sentadilla o press de banca. Estos dispositivos permiten monitorear la relación carga-velocidad para realizar ajustes precisos en el entrenamiento basado en velocidad (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). La información obtenida ayuda a trabajar en rangos óptimos de velocidad para estimular adaptaciones específicas.

La potencia también puede ser analizada desde un enfoque biopsicosocial, considerando factores como motivación, fatiga mental y estrés competitivo. Estudios recientes indican que la potencia en CMJ puede disminuir significativamente bajo estados de fatiga cognitiva, sugiriendo un componente central en la coordinación motora explosiva (Smith et al., 2019). Esto refuerza la necesidad de integrar variables psicológicas dentro de la evaluación del rendimiento físico.

Los test de potencia están directamente relacionados con la capacidad del sistema nervioso para liberar impulsos eléctricos de alta frecuencia hacia los músculos. La tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) es uno de los indicadores más sensibles de la función neuromuscular explosiva y puede ser medida mediante celdas de fuerza o pruebas isométricas (Maffiuletti et al., 2016). La RFD tiene implicaciones directas en maniobras rápidas como saltos, cambios de dirección y sprints cortos.

La evaluación de potencia es especialmente relevante en el contexto de prevención de lesiones. Atletas con déficits en potencia del tren inferior muestran mayores tasas de lesiones musculares, principalmente en flexores de cadera y extensores de rodilla (Edouard et al., 2016). La monitorización sistemática mediante CMJ y perfiles fuerza-velocidad permite identificar desequilibrios antes de que se manifiesten en lesiones.

En deportes que requieren acciones repetidas de alta intensidad, la potencia es un indicador clave de la resistencia anaeróbica explosiva. El análisis del decremento de potencia durante protocolos repetidos de salto o sprint permite estimar la capacidad del sistema neuromuscular para mantener el rendimiento bajo fatiga (Girard et al., 2011). Esta información es fundamental para diseñar programas de entrenamiento de alta intensidad intermitente.

La capacidad para generar potencia también depende del nivel de rigidez tendinosa. Tendones más rígidos permiten una transferencia más eficiente de energía elástica, facilitando acciones explosivas como saltos o aceleraciones (Kubo et al., 2007). Por ello, los test de potencia no solo reflejan la función muscular, sino también las propiedades mecánicas del sistema músculo-tendón.

El análisis de potencia debe incluir tanto variables absolutas como relativas. Mientras que la potencia absoluta es fundamental en deportes que requieren levantar o manipular grandes cargas, la potencia relativa (normalizada al peso corporal) es especialmente importante en deportes donde el cuerpo es la principal resistencia externa, como gimnasia o atletismo de velocidad (Cormie, McGuigan & Newton, 2011). La interpretación depende, por tanto, de la especificidad de la tarea.

El uso de tecnología avanzada, como plataformas piezoelectricas, sensores iniciales o sistemas ópticos, ha permitido aumentar la precisión en la evaluación de forma accesible incluso para programas de entrenamiento de campo. La accesibilidad tecnológica ha democratizado la ciencia del rendimiento, permitiendo monitoreos continuos y longitudinales necesarios para ajustar el entrenamiento en tiempo real (Balsalobre-Fernández et al., 2016).

En síntesis, los test de fuerza y potencia constituyen herramientas esenciales dentro del diagnóstico del rendimiento atlético. Su valor radica no solo en la cuantificación de la capacidad física, sino también en la comprensión de los mecanismos neuromusculares y biomecánicos que determinan la ejecución eficiente del movimiento. La integración de varias pruebas permite una valoración más completa, orientada al entrenamiento basado en evidencia.

Agilidad, Velocidad Y Resistencia Específica

La agilidad ha dejado de ser entendida únicamente como la capacidad para cambiar de dirección rápidamente. Actualmente se conceptualiza como un constructo que incluye componentes físicos (aceleración, desaceleración, fuerza reactiva) y componentes perceptivo-cognitivos (toma de decisiones, lectura del entorno) (Sheppard & Young, 2006). Esta visión multidimensional destaca la interacción entre capacidades neuromusculares y procesos cognitivos rápidos.

Entre los test más utilizados para evaluar agilidad física se encuentra el T-test, que consiste en desplazamientos laterales, carrera hacia atrás y aceleración frontal. El T-test permite valorar la capacidad del deportista para manejar fuerzas horizontales y laterales de manera eficiente, siendo altamente utilizado en deportes como baloncesto, fútbol y tenis (Pauole et al., 2000). No obstante, su limitación es que no incorpora estímulos externos imprevisibles.

Otra prueba es el Illinois Agility Test, que evalúa la capacidad para acelerar, desacelerar y cambiar de dirección en un recorrido con conos. Este test presenta una alta validez para deportes que requieren carreras multidireccionales rápidas y coordinadas (Hachana et al., 2014). Sin embargo, al igual que otras pruebas estándar, se desarrolla en un entorno predecible, lo que limita su representatividad respecto a situaciones reales de juego.

Debido a estas limitaciones, se han desarrollado test de agilidad reactiva, donde el atleta debe responder a estímulos visuales o auditivos. Serpiello et al. (2011) demostraron que la agilidad reactiva predice de manera más precisa el rendimiento deportivo que los test tradicionales. La inclusión de estímulos aleatorios mejora la validez ecológica de las pruebas.

En lo referente a velocidad, los test de sprint de 10, 20 y 30 metros son los más utilizados para evaluar la aceleración y la velocidad máxima. La aceleración es crítica en deportes intermitentes, mientras que la velocidad máxima adquiere mayor relevancia en deportes como atletismo o fútbol americano (Haugen et al., 2019). Los tramos cortos permiten discriminar entre la capacidad para generar fuerza horizontal y la habilidad para sostenerla.

El análisis de velocidad ha evolucionado gracias al uso de photoceldas, cronometraje óptico y sistemas GPS. Los dispositivos GPS de última generación permiten registrar velocidades instantáneas, distancias recorridas y patrones de movimiento en condiciones reales de competencia (Malone et al., 2017). Esto permite contrastar rendimiento de laboratorio con comportamiento en campo.

La fase de aceleración es altamente dependiente de la fuerza explosiva, especialmente de los extensores de cadera y rodilla. Por ello, existe una correlación significativa entre CMJ, IMTP y tiempos de sprint en los primeros metros (Young et al., 2015). Esto demuestra la relación entre capacidades de potencia y rendimiento en velocidad.

La mecánica del sprint también depende de la rigidez del sistema músculo-tendón. Tendones con mayor rigidez permiten tiempos de contacto más cortos y mayor almacenamiento de energía elástica, lo cual influye positivamente en la eficiencia del sprint (Arampatzis et al., 2001). Esto refuerza la necesidad de integrar entrenamiento excéntrico y pliométrico.

Para analizar la velocidad máxima, se emplean test como el sprint de 40 metros o sistemas de captura de movimiento que permiten identificar variables cinemáticas como frecuencia y longitud de zancada. La velocidad máxima está condicionada por factores neuromusculares como la frecuencia de activación y el patrón de reclutamiento de fibras rápidas (Morin et al., 2015).

El rendimiento en sprint no solo depende de la fuerza horizontal, sino también de la técnica. La inclinación del tronco, el ángulo de impulso y el posicionamiento del centro de masas influyen en la eficiencia de la aceleración. El análisis técnico detallado mediante video permite corregir mecánicas ineficientes que afectan la velocidad (Brughelli et al., 2010).

La agilidad y la velocidad están fuertemente relacionadas. Atletas más veloces tienden a mostrar mejores tiempos en test de cambio de dirección, aunque esta correlación no es perfecta debido al componente técnico que caracteriza a la agilidad (Young & Farrow, 2006). Esto sugiere que ambas capacidades deben ser evaluadas de manera independiente y complementaria.

En deportes como tenis, fútbol o baloncesto, la resistencia específica se vuelve indispensable, ya que permite sostener acciones intermitentes de alta intensidad durante períodos prolongados. La resistencia específica integra elementos neuromusculares, metabólicos y biomecánicos que varían según las demandas del deporte (Bishop et al., 2011).

Las pruebas intermitentes, como el Yo-Yo Intermittent Recovery Test, permiten evaluar la capacidad del atleta para tolerar esfuerzos repetidos con recuperaciones cortas. Este test es altamente sensible a cambios en el rendimiento aeróbico funcional y se correlaciona con parámetros de competencia (Krustrup et al., 2003). Su aplicación es común en deportes colectivos.

Otra prueba común es el RSA (Repeated Sprint Ability), que evalúa la capacidad para realizar sprints repetidos con recuperación incompleta. El RSA refleja la interacción entre sistemas anaeróbicos y la capacidad para atenuar la fatiga neuromuscular (Girard et al., 2011). La caída en el rendimiento entre sprints es un indicador clave del nivel de acondicionamiento específico.

Para deportes con implementos, como tenis o squash, se aplican pruebas específicas como el test de desplazamientos en forma de estrella, que imitan los patrones reales del juego. Este tipo de pruebas aumenta la validez ecológica al reproducir acciones típicas de la competencia (Fernández-Fernández et al., 2012).

La resistencia específica no se limita a la capacidad cardiorrespiratoria; también incluye elementos técnicos y tácticos. En deportes donde existe una alta demanda perceptiva, el mantenimiento de la calidad del movimiento bajo fatiga es un indicador crítico del rendimiento (Gabbett, 2010). Por ello, las pruebas deben evaluar tanto la dimensión física como la estabilidad técnica.

La fatiga neuromuscular influye notablemente en la resistencia específica. Atletas fatigados muestran disminución en la eficiencia de los cambios de dirección y en la potencia de salto, lo cual afecta la capacidad para sostener esfuerzos repetidos (Oliver et al., 2009). Este fenómeno revela la necesidad de integrar monitoreo constante durante la competencia.

El análisis de resistencia específica también se beneficia del uso de tecnología como GPS, sensores iniciales y cámaras inteligentes. Estos sistemas permiten cuantificar acciones de alta intensidad, giros, aceleraciones y distancias recorridas en competición (Akenhead et al., 2016). Los datos obtenidos facilitan el diseño de entrenamientos basados en demandas reales.

En deportes individuales de raqueta, la resistencia específica integra desplazamientos multidireccionales, patrones de golpeo, rotaciones y desaceleraciones rápidas. Así, las pruebas específicas deben incluir estos elementos para evaluar el rendimiento de manera auténtica (Kovacs, 2007). Las pruebas genéricas no son suficientes para captar la complejidad del deporte.

En conclusión, los test de agilidad, velocidad y resistencia específica representan herramientas indispensables para la caracterización del rendimiento. La comprensión profunda de su relación con los mecanismos neuromusculares y biomecánicos permite desarrollar intervenciones fundamentadas en evidencia, mejorando la precisión del diagnóstico funcional y el entrenamiento.

Marcadores neuromusculares y propioceptivos + referencias

Los marcadores neuromusculares permiten evaluar la capacidad del sistema nervioso para activar y coordinar los músculos durante acciones de distinta intensidad. Entre los más utilizados se encuentra la electromiografía de superficie (EMG), herramienta que cuantifica la actividad eléctrica muscular durante movimientos específicos. Según De Luca (2002), la EMG permite

analizar estrategias de reclutamiento y patrones de activación asociados al rendimiento y la fatiga.

La EMG proporciona información sobre variables como amplitud del impulso, frecuencia y activación secuencial. Estos parámetros permiten estimar la demanda neuromuscular y la eficiencia en la coordinación intermuscular. En deportes con alta velocidad gestual, la EMG ayuda a identificar patrones excesivamente compensatorios que podrían predisponer a lesiones (Higbie et al., 1996).

Otro marcador neuromuscular clave es la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD). Este indicador refleja la capacidad del sistema nervioso para generar fuerza rápidamente y es un predictor de rendimiento explosivo (Maffiuletti et al., 2016). La RFD puede ser medida mediante plataformas de fuerza o tests isométricos como el IMTP.

El análisis del tiempo de contracción y tiempo de relajación muscular, medidos mediante tensiomiografía (TMG), permite evaluar la contractilidad muscular, la fatiga localizada y la presencia de desequilibrios laterales. La TMG es especialmente útil en deportes que requieren movimientos repetitivos de alta intensidad (Rey et al., 2012).

Los marcadores neuromusculares también incluyen parámetros como la rigidez musculotendinosa, medida mediante elastografía o pruebas dinámicas de saltos. Una rigidez óptima permite mayor eficiencia en el ciclo de estiramiento–acortamiento, mejorando la economía de movimiento (Kubo et al., 2007). Por el contrario, rigideces extremas pueden aumentar la probabilidad de lesiones musculares.

Los test neuromusculares son útiles para monitorear fatiga acumulada. Variaciones en CMJ, RFD o asimetrías en patrones de movimiento pueden indicar fatiga residual, lo que permite ajustar las cargas antes de que se desarrollen lesiones o sobreentrenamiento (Cormack et al., 2008). La evaluación continua se ha convertido en un estándar en deportes de alto rendimiento.

Los marcadores propioceptivos evalúan la capacidad del organismo para percibir la posición y el movimiento de las articulaciones, función esencial para el control

motor y la estabilidad. Según Proske y Gandevia (2012), la propiocepción se basa en la interacción entre husos musculares, órganos tendinosos de Golgi y receptores articulares.

Las pruebas de sentido de la posición articular (JPS) evalúan la capacidad del individuo para reproducir ángulos articulares específicos. Estas pruebas permiten identificar déficits en la percepción articular, especialmente en deportistas que han sufrido esguinces o lesiones ligamentarias (Reolph & Herrington, 2016). La precisión del JPS es un predictor de estabilidad funcional.

Las pruebas de estabilidad postural también forman parte de la evaluación propioceptiva. Plataformas de fuerza permiten medir el desplazamiento del centro de presión (CoP), lo que refleja la capacidad del sistema sensoriomotor para controlar el equilibrio (Paillard & Noé, 2006). Atletas con mejor control postural muestran menores oscilaciones del CoP.

El test Star Excursion Balance Test (SEBT) es ampliamente utilizado para evaluar estabilidad dinámica. Este test requiere fuerza, control postural y propiocepción para alcanzar distancias máximas en varias direcciones sin perder equilibrio (Plisky et al., 2006). Pobre desempeño en el SEBT se asocia con mayor riesgo de lesiones de tobillo y rodilla.

Los marcadores propioceptivos también incluyen la capacidad de reacción ante perturbaciones externas. Sistemas de plataformas inestables o perturbaciones mecánicas permiten analizar la respuesta reflejo-muscular y la eficiencia del control postural anticipatorio (Horak, 2006).

En el ámbito deportivo, déficits propioceptivos pueden llevar a alteraciones en la mecánica de salto, desaceleración y cambios de dirección. Atletas con pobre propiocepción muestran alteraciones en el valgo de rodilla y reducción en la estabilidad dinámica, aumentando el riesgo de lesiones del LCA (Hewett et al., 2005).

La fatiga afecta directamente la propiocepción. Tras esfuerzos prolongados, estudios muestran disminución en el rendimiento en test de equilibrio y precisión articular, indicando deterioro en la capacidad para procesar información

sensorial (Vuillerme et al., 2002). Este fenómeno tiene implicaciones para deportes intermitentes.

La integración de marcadores neuromusculares y propioceptivos permite un análisis más completo del rendimiento. Por ejemplo, la combinación de EMG, CMJ y SEBT brinda una evaluación multidimensional de la función muscular y del control sensoriomotor, útil para monitorear adaptación y detectar riesgo de lesión.

El entrenamiento propioceptivo ha mostrado mejoras significativas en estabilidad postural, especialmente en deportistas con antecedentes de esguinces. Programas basados en plataformas inestables, ejercicios de reacción rápida y trabajo de control articular mejoran la sensibilidad de los receptores sensoriales (Aiken et al., 2015).

A nivel neuromuscular, el entrenamiento de fuerza reactiva y pliométrica se considera fundamental para mejorar la rapidez de activación muscular y la eficiencia del ciclo de estiramiento–acortamiento. Estas adaptaciones mejoran tanto la potencia como el control propioceptivo (Markovic & Mikulic, 2010).

El monitoreo constante de marcadores neuromusculares permite individualizar las cargas de entrenamiento. La variabilidad diaria del rendimiento neuromuscular refleja fluctuaciones en la fatiga y recuperación, permitiendo ajustar el entrenamiento sin recurrir únicamente a la percepción subjetiva del atleta (Gathercole et al., 2015).

En deportes de alta exigencia técnica, la propiocepción y la activación neuromuscular eficiente son determinantes del rendimiento. El retraso en la respuesta neuromuscular o en la percepción articular puede comprometer la precisión de gestos complejos, como golpes, cambios de dirección o aterrizajes (Kovacs, 2007).

En síntesis, los marcadores neuromusculares y propioceptivos proporcionan información clave sobre el funcionamiento del sistema sensoriomotor, permitiendo no solo optimizar el rendimiento, sino también prevenir lesiones y evaluar la preparación del deportista para el retorno al deporte. La integración de

estos indicadores con test de fuerza, potencia y velocidad ofrece una visión completa del rendimiento atlético.

Por tanto, la evaluación multidimensional que combina pruebas físicas, neuromusculares y propioceptivas se posiciona como el método más robusto y científicamente fundamentado para analizar el comportamiento del atleta. Este enfoque holístico respalda intervenciones más seguras, eficientes y adaptadas al contexto específico de cada deporte.

CONCLUSIONES

El análisis científico del movimiento en el tenis permite comprender que la eficiencia técnica y el rendimiento físico dependen de la interacción coordinada entre la anatomía funcional, la biomecánica, la fisiología del ejercicio y los mecanismos de control neuromuscular. El documento demuestra que el cuerpo del tenista opera como un sistema integrado, donde estructuras como la columna vertebral, la cadera, el core, el complejo escapulohumeral y las extremidades inferiores constituyen los pilares que permiten producir fuerza, transferir energía y sostener la estabilidad durante gestos explosivos y repetitivos. La evidencia revisada indica que la organización de la cadena cinética es determinante para la velocidad final de la raqueta, la eficiencia energética y la prevención de lesiones por sobreuso, especialmente en segmentos vulnerables como el hombro, el codo y la rodilla.

Los principios biomecánicos explican de manera precisa cómo se generan los golpes y desplazamientos mediante la secuencia proximal-distal, la producción de torque, los sistemas de palancas y el control del centro de gravedad. La cinemática y la dinámica, analizadas de forma conjunta, revelan que pequeñas variaciones en el ángulo articular, la postura o el brazo de palanca pueden modificar significativamente la velocidad angular, el momento de inercia y la estabilidad postural, influyendo directamente en la calidad técnica y la seguridad del gesto. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar métodos instrumentales como análisis 3D, electromiografía y modelado computacional para una comprensión precisa del movimiento del deportista.

Asimismo, el estudio fisiológico del tenis confirma que se trata de un deporte intermitente de alta exigencia metabólica, donde la potencia anaeróbica, la capacidad aeróbica, la tolerancia a la fatiga y la eficiencia neuromuscular son determinantes para sostener el rendimiento a lo largo de partidos prolongados. La evidencia recopilada muestra que la fatiga altera la mecánica del golpeo, especialmente en el servicio y en los desplazamientos laterales, comprometiendo la transferencia de energía y aumentando la carga sobre las articulaciones del miembro superior. La fatiga neuromecánica, por su parte,

modifica los patrones de activación muscular y afecta la estabilidad central, destacando la relevancia de programas específicos para mejorar la resistencia funcional del core y de la cadena posterior.

El documento también demuestra que los factores anatómicos y mecánicos no pueden analizarse de forma aislada. La propiocepción, el control motor anticipatorio y la activación muscular secuencial desempeñan un papel fundamental en la estabilidad dinámica y en la precisión de los golpes. La integración entre sistemas sensoriales, musculares y articulares explica por qué el equilibrio, el tiempo de reacción y la capacidad de adaptación postural influyen directamente en la velocidad gestual y en la eficiencia del desplazamiento. Estos mecanismos de control neuromuscular constituyen la base del rendimiento en situaciones reales de juego, donde la toma de decisiones y la variabilidad de las trayectorias exigen altos niveles de automatización técnica.

En conjunto, las conclusiones del documento muestran que el tenis es un sistema altamente complejo en el que el rendimiento emerge de la interacción entre mecánica, fisiología y neurocontrol. La eficacia del golpeo y de los desplazamientos depende de la capacidad del jugador para integrar fuerza, estabilidad, movilidad, precisión y anticipación en un mismo patrón motor. La formación técnica moderna debe, por tanto, fundamentarse en la ciencia del movimiento, incorporando evaluaciones funcionales, criterios biomecánicos, análisis cinemáticos y estrategias de prevención de lesiones que permitan optimizar el rendimiento sin comprometer la salud del deportista.

RECOMENDACIONES

1. Integrar evaluaciones biomecánicas periódicas

Se recomienda realizar análisis cinemáticos, evaluaciones de torque, mediciones de movilidad articular y pruebas de activación muscular mediante herramientas como EMG o captura 3D para identificar patrones disfuncionales, asimetrías y sobrecargas acumuladas. Esto permite ajustar la técnica y prevenir lesiones por gestualidad repetitiva.

2. Fortalecer la estabilidad central (core) y la cadena cinética

Programas basados en estabilidad lumbopélvica, activación anticipatoria, control neuromuscular y fortalecimiento del tronco deben implementarse de manera sistemática, ya que la evidencia demuestra que la eficiencia del golpe depende en gran medida de un core sólido y coordinado.

3. Incorporar entrenamiento excéntrico para prevención de lesiones

Se recomienda fortalecer de forma excéntrica el manguito rotador, los flexores y extensores del antebrazo, los músculos de la cadera y los estabilizadores de rodilla. Este tipo de trabajo mejora la absorción de cargas y reduce el riesgo de lesiones como tendinopatías, epicondilitis o síndromes de sobreuso.

4. Ajustar la técnica y el equipamiento en función de parámetros biomecánicos

El tipo de raqueta, el encordado, la tensión y el peso deben seleccionarse de acuerdo con el estilo de juego, la fuerza del jugador y su mecánica natural. Asimismo, la técnica debe optimizarse para minimizar el brazo de palanca excesivo, mejorar la secuencia proximal-distal y evitar cargas innecesarias en los segmentos distales.

5. Diseñar programas de fuerza basados en la transferencia energética

El entrenamiento debe priorizar patrones globales que integren la producción de fuerza desde las piernas hacia el tronco y los brazos, replicando la cadena cinética real del tenis. Se recomienda el uso de ejercicios explosivos, multisectoriales y multiplanares que tengan transferencia directa hacia el juego.

6. Implementar entrenamiento propioceptivo y de control postural

Los ejercicios de estabilidad dinámica, equilibrio, cambios de dirección y control del centro de gravedad deben formar parte del plan de entrenamiento, ya que

mejoran la calidad de los apoyos, reducen el tiempo de reacción y aumentan la eficiencia del movimiento.

7. Considerar las demandas fisiológicas del tenis para planificar las cargas
Se debe periodizar el entrenamiento en función del calendario competitivo, integrando trabajo intermitente, ejercicios de potencia anaeróbica y estrategias para mejorar la resistencia aeróbica específica. El control de la fatiga resulta fundamental para proteger el hombro, la cadera y la rodilla de sobrecargas.

8. Fomentar la educación del deportista sobre mecánica y autocuidado
Es recomendable que el jugador comprenda los principios básicos de palanca, torque, postura, transferencia de peso y rotación, de manera que pueda reconocer patrones técnicos ineficientes y aplicar correcciones conscientes durante el entrenamiento.

9. Promover el trabajo interdisciplinario

La interacción entre entrenadores, fisioterapeutas, preparadores físicos y especialistas en biomecánica es clave para garantizar una intervención integral, ajustada a las necesidades específicas del jugador y basada en evidencia.

REFERENCIAS

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318–1326.
- Abernethy, B., Kippers, V., Hanrahan, S., Plooy, A., & Morris, T. (2013). *The biophysical foundations of human movement* (3rd ed.). Human Kinetics.
- Aiken, C. A., et al. (2015). Proprioceptive training and injury prevention. *Sports Health*, 7(4), 326–332.
- Akenhead, R., et al. (2016). Training load monitoring in team sports. *Sports Medicine*, 46(5), 659–671.
- Álvarez, J., & Sánchez, P. (2018). *Fisiología del ejercicio intermitente: fundamentos y aplicaciones en deportes de raqueta*. Revista Iberoamericana de Ciencias del Deporte, 14(2), 45–62.
- Arampatzis, A., et al. (2001). Influence of tendon stiffness on running economy. *Journal of Biomechanics*, 34(3), 317–325.
- Bahamonde, R. (2000). Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 18(8), 579–592.
<https://doi.org/10.1080/02640410050082232>
- Baiget, E., Iglesias, X., & Rodríguez, F. A. (2015). Cardiorespiratory fitness and performance in high-level youth tennis players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 261–267.
- Baiget, E., Mendez-Villanueva, A., & Corbi, F. (2020). Neuromuscular fatigue and hitting accuracy in junior tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 38(4), 436–448.

Ball, K. (2013). Loading and performance of the upper limb in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(1), 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.05.015>

Balsalobre-Fernández, C., et al. (2016). Validity of smartphone apps to measure jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 293–298.

Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test. *Sports Medicine*, 4(1), 23–34.

Bartlett, R. (2007). *Introduction to sports biomechanics*. Routledge.

Bartlett, R. (2007). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*. Routledge.

Bartlett, R., & Bussey, M. (2013). *Sports biomechanics: Reducing injury and improving performance*. Routledge.

Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 2633–2651.

Bertoni, R., Lixandrão, M., Pinto, R. S., Botton, C. E., Silva-Batista, C., & Tricoli, V. (2018). Effects of weightlifting exercise compared with traditional resistance training on vertical jump performance: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 647–656.

Bhosale, A. M., & Richardson, J. B. (2008). Articular cartilage: Structure, injuries and review of management. *British Medical Bulletin*, 87(1), 77–95.

Bishop, D., et al. (2011). The science of repeated-sprint training. *Sports Medicine*, 41(9), 741–756.

Bishop, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability—Part II: Recommendations for training. *Sports Medicine*, 41(9), 741–756.

Blazevich, A. (2021). *Strength and conditioning: A biomechanical approach*. Wiley.

Blazevich, A. J. (2012). *Sports biomechanics: The basics*. Bloomsbury Publishing.

Bloemers, F., Tak, I., Welling, W., van Mechelen, W., & Twisk, J. (2020). Risk factors for lower extremity injuries among youth tennis players. *Sports Medicine*, 50, 1093–1108.

Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2018). *Periodization: Theory and methodology of training* (6th ed.). Human Kinetics.

Bosch, F., & Klomp, R. (2005). *Running: Biomechanics and exercise physiology applied in practice*. Elsevier.

Brown, S. R., Cross, M. R., & Girard, O. (2019). Lateral movement mechanics in tennis players: Effects of fatigue on change-of-direction performance. *European Journal of Sport Science*, 19(6), 748–757.

Brughelli, M., et al. (2010). Understanding change of direction ability. *Journal of Sports Medicine*, 40(7), 519–534.

Calatayud, J., Borreani, S., Colado, J. C., Martin, F., Tella, V., & Andersen, L. L. (2016). Bench press and push-up at comparable levels of muscle activity results in similar strength gains. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 246–253.

Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(1), 1–14.

Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review. *Sensors*, 18(3), 873.

Colyer, S. L., Evans, M., Cosker, D. P., & Salo, A. I. (2018). A review of the evolution of vision-based motion analysis and the integration of advanced computer vision methods. *Sports Medicine*, 48(2), 339–360.

Comfort, P., et al. (2019). Isometric mid-thigh pull. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(2), 305–315.

Cools, A. M., Johansson, F. R., Cambier, D. C., Velde, A. V., Palmans, T., & Witvrouw, E. E. (2015). Descriptive profile of scapulothoracic muscle activity in overhead athletes with and without impingement symptoms: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 343–350.

Cormack, S., et al. (2008). Neuromuscular fatigue monitoring. *Journal of Sports Sciences*, 26(6), 593–601.

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38*.

Cormie, P., McGuigan, M., & Newton, R. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38.

Cormie, P., McGuigan, M., & Newton, R. (2011). Power, force and velocity. *Sports Medicine*, 41(1), 21–30.

Cronin, J., et al. (2017). Handgrip strength and performance. *Sports Medicine*, 47(6), 929–941.

Cutti, A. G., Ferrari, A., Garofalo, P., Raggi, M., Cappello, A., & Ferrari, A. (2010). Outwalk: A protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 48(1), 17–25.

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2008). Movement systems as dynamical systems. *Sports Medicine*, 38(1), 43–57.

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2015). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach* (2nd ed.). Human Kinetics.

De Luca, C. (2002). Surface electromyography. *Journal of Applied Physiology*, 82(3), 1235–1245.

De Luca, C. J. (2002). Surface electromyography: Detection and recording. *DelSys Incorporated*.

Delp, S. L., et al. (2007). OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(11), 1940–1950.

Dillman, C. J., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (1993). Biomechanics of serving in tennis. In R. E. Elliott & M. G. Groppel (Eds.), *Biomechanics of tennis* (pp. 69–83). Human Kinetics.

Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., & Caulfield, B. (2020). Clinical assessment of sports-related concussion: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 54(5), 252–260.

Edouard, P., et al. (2016). Injuries and explosive power. *British Journal of Sports Medicine*, 50(6), 341–352.

Ellenbecker, T. S., & Roetert, E. P. (2003). Age-specific isokinetic glenohumeral internal and external rotation strength in elite junior tennis players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(1), 63–70.

Ellenbecker, T. S., & Roetert, E. P. (2009). *Strength training for tennis*. Human Kinetics.

Ellenbecker, T., & Roetert, E. (2003). An isokinetic profile of trunk rotation strength in elite tennis players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(8), 1479–1484.

Ellenbecker, T., & Roetert, P. (2015). *Biomechanics of the tennis stroke*. Human Kinetics.

Elliott, B. (2006). Biomechanics and tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 392–396. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.023150>

- Elliott, B. (2016). *Technique development in sport*. Human Kinetics.
- Elliott, B. (2019). *Biomechanics and tennis stroke technique: Implications for coaching*. Sports Biomechanics, 18(2), 150–165.
- Elliott, B. (2020). *The tennis stroke: Mechanical principles and applications*. Journal of Sports Sciences, 38(11), 1231–1243.
- Elliott, B., & Crespo, M. (2021). Biomechanical principles of the one-handed backhand. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 29(85), 15–22.
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2009). *Technique development in tennis stroke production*. International Tennis Federation.
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2012). *Technique development in tennis stroke production*. ITF.
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2016). *Biomechanics of advanced tennis*. ITF.
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2016). *Technique development in tennis stroke production*. ITF Coaching and Sport Science Review, 24(69), 3–5.
- Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of human movement* (5th ed.). Human Kinetics.
- Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 33(1), 127–141.
- Esculier, J. F., et al. (2018). The running clinic approach: From research to rehabilitation. *British Journal of Sports Medicine*, 52(1), 1–16.
- Farina, D., Merletti, R., & Enoka, R. (2010). The extraction of neural strategies from the surface EMG. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1486–1495.
- Feltner, M., & Dapena, J. (1989). Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5(4), 420–450. <https://doi.org/10.1123/ijsb.5.4.420>

Fernández-Fernández, J., et al. (2012). Tennis-specific endurance test. *Journal of Sports Medicine*, 46(7), 497–505.

Fernández-Fernández, J., Kinner, V., & Ferrauti, A. (2010). The physiological demands of hitting and running in tennis on different surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3255–3264.

Fernández-Fernández, J., Sanz-Rivas, D., & Kovacs, M. (2020). The role of lower-body mechanics in tennis stroke production. *Journal of Sports Science*, 38(4), 452–460.

Fernández-Fernández, J., Sanz-Rivas, D., & Mendez-Villanueva, A. (2019). A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength and Conditioning Journal*, 41(2), 31–48.

Fino, P. et al. (2016). Postural sway in athletes: A systematic review. *Gait & Posture*, 48, 168–174.

Fleisig, G., et al. (2011). Kinematic comparison of youth, collegiate, and adult baseball pitchers. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(1), 59–61.

Fleisig, G., Nicholls, R., Elliott, B., & Escamilla, R. (2006). Kinematics used by world-class tennis players to produce high-velocity serves. *Sports Biomechanics*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/14763140608522854>

Gabbett, T. (2010). Skill execution under fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 615–622.

Gandevia, S. (2019). Neural control of human movement: Implications for athletic performance. *Journal of Applied Physiology*, 127(4), 1003–1012.

García, L., & Santamaría, J. (2023). Métodos contemporáneos de análisis técnico en el deporte. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 45(2), 55–70.

Gathercole, R., et al. (2015). Monitoring neuromuscular performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 297–304.

Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Neuromuscular fatigue in racquet sports. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(1), 1–17.

Girard, O., et al. (2011). Repeated sprint ability. *Sports Medicine*, 41(8), 673–694.

Gomes, P., Santos, J., & Ramos, J. (2020). Lower-limb loading patterns in tennis. *International Journal of Racket Sports Research*, 12(2), 33–41.

González-Badillo, J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Velocity-based training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352.

Governer, H., et al. (2020). Punch biomechanics in boxing. *Sports Biomechanics*, 19(3), 321–336.

Grgic, J., et al. (2020). 1RM test validity. *Sports Medicine*, 50(3), 285–300.

Hachana, Y., et al. (2014). Illinois agility test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 261–268.

Hall, S. J. (2018). *Basic biomechanics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

Han, J., Waddington, G., Adams, R., & Anson, J. (2021). Postural control mechanisms in dynamic sports. *Sports Biomechanics*, 20(3), 265–278.

Haugen, T., et al. (2019). Sprint performance. *Sports Medicine*, 49(3), 383–406.

Hermassi, S., Chelly, M. S., Fieseler, G., Bartels, T., Schulze, S., Delank, K. S., & Chamari, K. (2017). Short-term effects of combined resistance and plyometric training on sprint, jump, and throwing performance in elite handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 759–771.

Hewett, T., et al. (2005). Neuromuscular control and ACL injury. *American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 512–531.

Hewett, T., Myer, G., & Ford, K. (2016). Injury risk factors and prevention strategies. *Journal of Sport Health Science*, 5(2), 123–132.

Hibbs, A., Thompson, K., French, D., Hodgson, D., & Spears, I. (2008). Core stability and its role in performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 979–985.

Higbie, E., et al. (1996). Neuromuscular activation patterns. *Journal of Sports Sciences*, 14(3), 165–175.

Highsmith, M. J., et al. (2016). Gait training interventions for lower extremity amputees. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 28(3), 92–105.

Higuchi, T., Murai, G., & Kijima, A. (2018). Visual regulation in sport-specific posture. *Experimental Brain Research*, 236(5), 1305–1316.

Hill, D., & Shaw, G. (2013). A qualitative examination of choking under pressure in sport. *Journal of Sports Sciences*, 31(2), 175–192.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.729133>

Hodges, P. W., & Smeets, R. (2015). Interaction between pain, movement, and posture: Short-term protection versus long-term adaptation. *Pain*, 156(S1), S1–S2.

Hodges, P. W., & Tucker, K. (2011). Moving differently in pain: A new theory to explain the adaptation to pain. *Pain*, 152(3), S90–S98. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.10.020>

Hopkins, W. (2000). Measures of reliability in sports science. *Sports Science*, 4, 1–12.

Horak, F. (2006). Postural control. *The Lancet Neurology*, 5(6), 576–586. Jiménez-Reyes, P., et al. (2014). Power and performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 453–459.

Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. (2007). Fatigue in tennis: Mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Medicine*, 37(3), 199–212.

Hubbard, M. (2000). The flight of sports projectiles. *Sports Engineering*, 3(1), 49–61. <https://doi.org/10.1046/j.1460-2687.2000.00038.x>

Hubbard, M., de Mestre, N. J., & Scott, J. (2001). Dependence of release variables in the shot put. *Journal of Biomechanics*, 34(4), 449–456. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00227-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00227-0)

Issurin, V. (2021). *Principles and practice of training: Block periodization*. Ultimate Athlete Concepts.

Kellmann, M., & Beckmann, J. (2010). *Sport, recovery and performance: Interdisciplinary insights*. Routledge.

Kibler, W. B., & Safran, M. (2005). Tennis injuries. In W. B. Kibler (Ed.), *Tennis: Sports medicine and science* (pp. 104–119). Lippincott Williams & Wilkins.

Kibler, W. B., & Safran, M. (2018). *Biomechanics of the shoulder in tennis players*. Clinics in Sports Medicine, 37(2), 215–234.

Kibler, W. B., & Sciascia, A. (2010). Kinetic chain contributions to overhead motion. *Sports Medicine*, 40(5), 367–377. <https://doi.org/10.2165/11534850-000000000-00000>

Kibler, W. B., & Sciascia, A. (2018). *Kinetic chain contributions to tennis performance and injury*. Journal of Sport Rehabilitation, 27(5), 423–430.

Kibler, W. B., Sciascia, A., & Wilkes, T. (2012). Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 20(6), 364–372.

Kibler, W., & Sciascia, A. (2016). Biomechanical chain and athletic performance. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 356–361.

Kibler, W., & Sciascia, A. (2016). Kinetic chain contributions to stroke production in tennis. *Journal of Sports Medicine*, 46(11), 1509–1515.

Kingma, I., & van Dieën, J. H. (2009). Predicting dynamic lifting capacity. *Ergonomics*, 52(8), 1029–1041.

Knudson, D. (2007). Qualitative biomechanical principles for application in coaching. *Sports Biomechanics*, 6(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1080/14763140601058470>

Knudson, D. (2013). *Fundamentals of biomechanics* (2nd ed.). Springer.

Knudson, D. (2021). *Biomechanical factors of efficient tennis strokes*. Routledge.

Knudson, D., & Morrison, C. (2002). *Qualitative analysis of human movement*. Human Kinetics.

Kobsar, D., Osis, S., Boyd, J., & Ferber, R. (2020). Wearable sensors detecting technique errors in running. *Journal of Biomechanics*, 98, 109–115.

Kos, A., et al. (2016). Wearables for sports. *Sensors*, 16(4), 1–18.

Kovacs, M. (2007). Tennis physiology. *Sports Medicine*, 37(3), 189–198.

Kovacs, M. (2018). Energy transfer and movement speed in racquet sports. *Strength & Conditioning Journal*, 40(6), 25–38.

Kovacs, M. (2018). Movement timing and kinetic chain efficiency in tennis. *Strength and Conditioning Journal*, 40(3), 34–45.

Kovacs, M. S. (2006). Applied physiology of tennis performance. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 381–385.

Kovacs, M. S. (2007). Tennis physiology: Training the competitive athlete. *Sports Medicine*, 37(3), 189–198.

Kovacs, M. S. (2016). Energy system-specific training for tennis. *Strength and Conditioning Journal*, 38(4), 10–23.

Kovacs, M. S., & Ellenbecker, T. (2018). *Tennis anatomy* (2nd ed.). Human Kinetics.

Kovacs, M. S., & Ellenbecker, T. S. (2011). An 8-stage model for evaluating the tennis serve: Implications for performance enhancement and injury prevention. *Sports Health*, 3(6), 504–513.

Kovacs, M., & Ellenbecker, T. (2020). *Tennis-specific training and injury prevention*. International Journal of Sports Physical Therapy, 15(6), 999–1012.

Kovacs, M., & Ellenbecker, T. (2020). Upper-body mechanics in high-speed sports. *Journal of Sports Sciences*, 38(11), 1221–1231.

Kovacs, M., & Ellenbecker, T. (2020). Upper-limb biomechanics in tennis backhands. *British Journal of Sports Medicine*, 54(11), 651–659.

Krebs, D. E., Wong, M. F., Jevsevar, D. S., Riley, P. O., & Hodge, W. A. (1998). Trunk muscle response to sudden load. *Spine*, 23(11), 1237–1242.

Kreighbaum, E., & Barthels, K. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement* (4th ed.). Benjamin Cummings.

Krstrup, P., et al. (2003). Yo-Yo test. *Journal of Sports Sciences*, 21(1), 1–11.

Kubo, K., et al. (2007). Tendon properties and performance. *European Journal of Applied Physiology*, 100(1), 89–94.

Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Effects of resistance and stretching training programs on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 67–72.

<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00249.2006>

Kuo, A. D. (2001). A simple model of bipedal walking predicts the preferred speed–step length relationship. *Journal of Biomechanical Engineering*, 123(3), 264–269.

Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological basis of movement* (2nd ed.). Human Kinetics.

Lees, A. (2002). Technique analysis in sports. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 813–828.

Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 707–732.

<https://doi.org/10.1080/0264041031000140275>

- Lees, A. (2022). *Biomechanics of sport techniques*. Routledge.
- Lephart, S., Fu, F., & Irrgang, J. (2018). Proprioception and neuromuscular control in athletic populations. *Sports Medicine*, 48(5), 1025–1035.
- Li, Z., Latash, M. L., & Zatsiorsky, V. M. (1998). Force regulation in multi-finger tasks. *Experimental Brain Research*, 122(1), 27–40.
<https://doi.org/10.1007/s002210050489>
- Maffiuletti, N. et al. (2016). Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *Sports Medicine*, 46(5), 641–658.
- Magnusson, P., Narici, M. V., Maganaris, C. N., & Kjaer, M. (2008). Human tendon behaviour and adaptation, *in vivo*. *Journal of Physiology*, 586(1), 71–81.
- Malone, S., et al. (2017). GPS monitoring. *Journal of Sports Sciences*, 35(4), 324–330.
- Mann, D., Farrow, D., & Müller, S. (2020). Skill adaptation under changing conditions. *Journal of Sports Psychology*, 45(3), 215–230.
- Markovic, G., & Jaric, S. (2007). Jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 769–777.
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Plyometric training. *Sports Medicine*, 40(10), 859–895.
- McGill, S. M. (2010). *Ultimate back fitness and performance* (4th ed.). Backfitpro.
- McGinnis, P. (2020). *Biomechanics of sport and exercise* (4th ed.). Human Kinetics.
- Mendez-Villanueva, A., & Fernández-Fernández, J. (2017). Exercise-induced fatigue and recovery in tennis. *Current Opinion in Physiology*, 6, 17–23.
- Merletti, R., & Farina, D. (2016). *Surface electromyography: Physiology, engineering, and applications*. Wiley.

Meyer, T., & McMahon, P. J. (2020). Biomechanics of the shoulder in overhead sports. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 28(3), 84–90. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000286>

Mooney, M., et al. (2013). Monitoring neuromuscular fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 69–75.

Morin, J., & Samozino, P. (2016). Force-velocity profiling. *Sports Medicine*, 46(11), 1587–1609.

Morin, J., et al. (2015). Sprint mechanics. *Sports Medicine*, 45(3), 307–321.

Murphy, A. P., Duffield, R., Kovalchik, S., & Reid, M. (2020). Tennis serve performance under fatigue: A systematic review. *Sports Biomechanics*, 19(6), 1–22.

Murray, N., & Hunfalvay, M. (2017). Visual anticipation in high-speed racquet sports. *Journal of Sports Vision*, 5(2), 77–89.

Myers, T. W., Thomas, A., & Eaton, M. (2015). *Fascial release for structural balance* (2nd ed.). North Atlantic Books.

Neumann, D. A. (2016). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3rd ed.). Elsevier.

Newell, K. (2020). Movement variability and learning. *Journal of Motor Behavior*, 52(2), 243–262.

Newell, K. M. (1991). Motor skill acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42(1), 213–237. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.42.020191.001241>

Nigg, B. M., & Wakeling, J. M. (2001). Impact forces and muscle tuning: A new paradigm. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(1), 37–41.

Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7, 77–95.

Oliver, J., et al. (2009). Fatigue and neuromuscular function. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 36–44.

Paillard, T. (2012). Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(1), 162–176.

Paillard, T. (2017). Sport-specific balance training programs. *Sports Medicine*, 47(2), 205–222.

Paillard, T. (2019). Role of postural control in sport performance. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1, 52.

Paillard, T., & Noé, F. (2006). Posture and proprioception. *Neuroscience Letters*, 403(3), 180–185.

Pauole, K., et al. (2000). Agility test reliability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 443–450.

Plisky, P., et al. (2006). Star Excursion Balance Test. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(12), 911–919.

Praagman, M., Veeger, H. E., Chadwick, E. K., Colier, W. N., & van der Helm, F. C. (2006). Muscle oxygen consumption, determined by NIRS, in relation to external force and EMG. *Journal of Biomechanics*, 39(12), 2163–2172. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.06.021>

Preatoni, E., et al. (2013). Movement variability and injury. *Sports Biomechanics*, 12(2), 69–80.

Proske, U., & Gandevia, S. (2012). Proprioception. *Physiological Reviews*, 92(4), 1651–1697.

roske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, 92(4), 1651–1697.

<https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>

Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26(S1), 125–135. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90084-R](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90084-R)

Reeves, N., Cholewicki, J., & Silfies, S. (2020). Feedforward postural control in high-performance athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 50, 102388.

Reid, M., & Crespo, M. (2021). Two-handed backhand mechanics in competitive players. *ITF Coaching Review*, 30(88), 10–19.

Reid, M., & Duffield, R. (2014). The development of fatigue during match-play tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), i7–i11.

Reid, M., & Duffield, R. (2014). Transfer of energy and impulse generation in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(3), 389–397.

Reid, M., & Elliott, B. (2002). The one- and two-handed backhands in tennis. *Sports Biomechanics*, 1(1), 47–68.

<https://doi.org/10.1080/14763140208522787>

Reid, M., & Elliott, B. (2022). *Contemporary stroke mechanics in tennis*. Sports Medicine, 52(1), 45–62.

Reid, M., & McMurtrie, D. (2022). Perceptual-motor timing constraints in tennis stroke execution. *International Journal of Sport Science*, 40(6), 521–532.

Reid, M., & Schneiker, K. (2019). *Strength and conditioning for tennis: Biomechanical and physiological considerations*. Journal of Strength and Conditioning Research, 33(2), 325–337.

Reid, M., & Schneiker, K. (2019). Upper-limb loading in one-handed vs two-handed backhands. *Sports Biomechanics*, 18(5), 433–442.

Reid, M., & Tilden, S. (2019). Trunk rotation mechanics in tennis backhands. *Journal of Biomechanical Sports Research*, 17(4), 301–312.

Reid, M., Crespo, M., Lay, B., & Berry, J. (2016). Skill acquisition in tennis: Research and current practice. *Journal of Sports Sciences*, 34(10), 887–897.

Reid, M., Elliott, B., & Alderson, J. (2007). Shoulder joint loading in the high-performance flat and kick tennis serves. *British Journal of Sports Medicine*, 41(12), 884–889. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.038778>

Reid, M., Elliott, B., & Crespo, M. (2013). Mechanics and learning practices associated with the tennis forehand: A review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12, 1–14.

Reid, M., Elliott, B., & Crespo, M. (2016). Mechanics and learning the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 34(14), 1402–1412.

Reina, R., et al. (2019). Wearable sensors for monitoring athletes. *Sensors*, 19(19), 1–16.

Relph, N., & Herrington, L. (2016). Joint position sense. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 31, 1–8.

Rey, E., et al. (2012). Tensiomyography and muscle performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(4), 575–581.

Robertson, D., Caldwell, G., et al. (2013). *Research methods in biomechanics*. Human Kinetics.

Roetenberg, D., et al. (2009). The XSens inertial sensor system. *Journal of Biomechanics*, 42(11), 1520–1526.

Roetert, E. P., & Kovacs, M. S. (2011). *Tennis anatomy*. Human Kinetics.

Roetert, P., & Kovacs, M. (2011). *Complete conditioning for tennis*. Human Kinetics.

Rota, S., Morel, B., & Saboul, D. (2020). Grip strength as an indicator of neuromuscular fatigue in tennis players. *European Journal of Sport Science*, 20(2), 234–243.

Sánchez-Muñoz, C., Sanz, D., & Zabala, M. (2007). Anthropometric characteristics, body composition and somatotype of elite junior tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 41(11), 793–799.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.037119>

Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Dorado, C., & Calbet, J. A. L. (2010). Large asymmetric hypertrophy of rectus abdominis muscle in professional tennis players. *PLoS ONE*, 5(12), e15858.

Sarre, G., Lepers, R., & Millet, G. (2015). Physiological and biomechanical responses to repeated sprint ability tests in tennis players. *Sports Biomechanics*, 14(1), 35–48.

Saul, K., et al. (2015). Upper extremity musculoskeletal models. *Annals of Biomedical Engineering*, 43(2), 1–13*.

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2019). *Motor learning and performance: From principles to application* (6th ed.). Human Kinetics.

Schwartz, M., et al. (2008). The gait deviation index. *Gait & Posture*, 28(3), 351–357.

Serpiello, F., et al. (2011). Reactive agility. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 509–516.

Shellock, F. G., & Prentice, W. E. (1985). Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Medicine*, 2(4), 267–278.

Sheppard, J., & Young, W. (2006). Agility and performance. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919–932.

Smekal, G., von Duvillard, S. P., & Pokan, R. (2018). Energy expenditure and metabolic responses during tennis match play and training. *Sports*, 6(1), 1–14.

Smeulders, M. J. C., Kreulen, M., Hage, J. J., & van der Horst, C. M. A. M. (2001). Mechanics of the wrist joint. *Clinical Biomechanics*, 16(4), 297–303.
[https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(01\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(01)00006-2)

Smith, M., et al. (2019). Mental fatigue and power. *European Journal of Applied Physiology*, 119(10), 2361–2373.

Springis, E. J., & Marshall, R. N. (1994). The two-dimensional kinematics and kinetics of the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 12(1), 3–14. <https://doi.org/10.1080/02640419408732156>

Stenum, J., et al. (2021). Deep learning in biomechanics. *Nature Machine Intelligence*, 3, 782–791.

Suchomel, T., Nimphius, S., & Stone, M. (2016). Force and power. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449.

Thomas, C., et al. (2019). Upper-body power tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(11), 3006–3014.

Thornton, J. S., et al. (2017). The role of sport in achieving the Sustainable Development Goals. *The Lancet*, 389(10081), 1251–1252.

Van der Kruk, E., & Reijne, M. (2018). Accuracy of IMU systems in sports. *Sports Biomechanics*, 17(1), 1–21.

Vickers, J. N. (2007). *Perception, cognition, and decision training: The quiet eye in action*. Human Kinetics.

Vuillerme, N., et al. (2002). Fatigue and proprioception. *Neuroscience Letters*, 325(3), 162–166.

Whiteside, D., Elliott, B., Lay, B., & Reid, M. (2014). The effect of fatigue on elite tennis serve mechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(6), 606–613.

Wilk, K. E., Arrigo, C. A., Andrews, J. R., & Reinold, M. M. (2009). Rehabilitation of the overhead throwing athlete: There is more to it than just external rotation/internal rotation strengthening. *PM&R*, 1(2), 105–138.

Williams, A. M., & Jackson, R. (2019). Anticipation and decision-making in sport. *Journal of Sports Sciences*, 37(11), 1234–1242.

Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. (2002). *Visual perception and action in sport*. Routledge.

Williams, A., & Hodges, N. (2020). *Skill acquisition in sport*. Routledge.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). Wiley.

Wu, G., van der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Makhsoos, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W., & Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981–992. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.042>

Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through enhanced expectancies and autonomy support. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 1382–1414.

Young, W., & Farrow, D. (2006). Change of direction and agility. *Strength and Conditioning Journal*, 28(1), 24–29.

Young, W., et al. (2015). Speed and strength relationships. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 447–455.

Zatsiorsky, V., & Prilutsky, B. (2012). *Biomechanics of skeletal muscles*. Human Kinetics.

ALBERTO CARLOS PELAEZ PABA

Es Administrador de Empresas, Licenciado en Cultura Física, Recreación y Deportes, Doctor en Ciencias de la Educación (graduado con honores Tesis Laureada) y Magister en Ciencias de la Educación (graduado con honores Tesis Meritoria), Coach y Coach Educativo en formación, Entrenador de Tenis Nivel I, Entrenador de Fútbol Licencia C, Certificado de Liderazgo. Cuenta con más de 22 años de experiencia laboral académica y deportiva, como Profesor de la Universidad Autónoma, Universidad del Atlántico donde ejerció como coordinador del Programa de Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes. Es Coordinador de semillero de investigación Gerencia & Deporte, e integrante del grupo de investigación GIDEPRALs perteneciente a la Universidad del Atlántico, Conferencista nacional e internacional.
albertopelaez@mail.uniatlantico.edu.co

FABIAN ANDRES CONTRERAS JAUREGUI

Docente de planta, Categoría Asociado. Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes, Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad

del Atlántico, Colombia. Líder - miembro del grupo de Investigación en Educación Física y Ciencias Aplicadas al Deporte GREDFICAD, Fisioterapeuta Universidad Manuela Beltrán, Especialista en Entrenamiento Deportivo Universidad de Pamplona, Doctor en ciencias de la Cultura Física Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte “Manuel Fajardo” La Habana - Cuba, demuestra una amplia experiencia en la docencia universitaria en temáticas como Morfofisiología Deportiva, Biomecánica, Kinesiología, Entrenamiento Deportivo, Técnicas de Evaluación, metodología de la investigación. Su trayectoria investigativa ha sido registrada en publicaciones nacionales e internacionales a través de artículos, libros lo que le ha permitido participar en congresos nacionales e internacionales. fabiancontreras@mail.uniatlantico.edu.co

JOSÉ ORLANDO HERNÁNDEZ GAMBOA

Docente de carrera asociado al departamento de Educación Física, Recreación y Deporte, programa acreditado en alta calidad de la facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Pamplona. Trayectoria universitaria con 32 años de experiencia en el ámbito administrativo e investigador. Orientador de prácticas integrales, formativas y profesionales, en áreas del conocimiento de tenis de campo, patinaje de carreras, pedagogía y didáctica, historia, programas y proyectos de la educación física, recreación y deporte. Licenciado en Educación Física de la Universidad de Pamplona. Especialista en Educación y Gestión Deportiva. Magíster en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Doctor en Educación. Su trayectoria investigativa ha sido registrada en publicaciones nacionales e internacionales a través de artículos y libros lo que le ha permitido participar en congresos nacionales e internacionales. jose.hernandez@unipamplona.edu.co