



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**EFECTO DE LA PRÁCTICA VARIABLE SOBRE EL  
RENDIMIENTO EN HABILIDADES MOTRICES**

Tesis Doctoral

Presentada por:

Héctor Hernández Davó

Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Elche, 2016





El Dr. D. Juan Carlos Marzo Campos, director del Departamento de Psicología de la Salud de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

AUTORIZA:

Que el trabajo de investigación titulado: “EFECTO DE LA PRÁCTICA VARIABLE SOBRE EL RENDIMIENTO EN HABILIDADES MOTRICES” realizado por D. Héctor Hernández Davó bajo la dirección del Dr. D. Francisco Javier Moreno Hernández sea depositado en el departamento y posteriormente defendido como Tesis Doctoral en esta Universidad ante el tribunal correspondiente.

Lo que firmo para los efectos oportunos en

Elche a de de 2016

Fdo.: Juan Carlos Marzo Campos

Director del Departamento de Psicología de la Salud

Universidad Miguel Hernández de Elche



**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**Departamento: Psicología de la Salud**

Programa de Doctorado: Psicología de la Salud

**Título de la Tesis:**

EFECTO DE LA PRÁCTICA VARIABLE SOBRE EL  
RENDIMIENTO EN HABILIDADES MOTRICES

**Tesis Doctoral presentada por:**

**D. Héctor Hernández Davó**

Dirigida por D. Francisco Javier Moreno Hernández

**El Director**

**El Doctorando**

Elche, 2016



**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD**

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**EFECTO DE LA PRÁCTICA VARIABLE  
SOBRE EL RENDIMIENTO  
EN HABILIDADES MOTRICES**

Tesis Doctoral

Presentada por:

Héctor Hernández Davó

Director:

Francisco Javier Moreno Hernández

Elche, 2016



## ENTIDADES COLABORADORAS

Antes de pasar a los agradecimientos personales, me gustaría mencionar que la realización de los estudios que forman parte de esta tesis relacionados con el tenis, ha sido posible gracias a los proyectos “Análisis de la variabilidad de los patrones motores en diferentes niveles de destreza. Implicaciones para la optimización del aprendizaje y el entrenamiento de la técnica.” Ref.: DEP2010-19420 y “Cuantificación de los niveles de variabilidad motora para optimizar el aprendizaje y el entrenamiento de habilidades motrices” Ref.: DEP2013-44160-P financiados por el Ministerio de Ciencias e Innovación y el Ministerio de Economía y Competitividad. El proyecto IN/VY/03 financiado por la Cátedra del Real Madrid-UEM permitió financiar el estudio sobre el baloncesto.

Por este motivo doy las gracias a estas entidades, ya que sin su apoyo la realización de esta tesis y de muchas otras dentro del país no hubieran sido posibles.





## AGRADECIMIENTOS

Cuando uno se encuentra escribiendo la tesis y especialmente en los inicios de la misma, en su cabeza solo está presente la redacción de la introducción, los objetivos y las hipótesis, las conclusiones... y se piensa que cuando todo eso ya se encuentra redactado (tras unos cuantos meses de escritura y corrección por parte de los directores), la tesis ya está finalizada. Sin embargo, cuando te pones delante de la misma y tienes que empezar a escribir los agradecimientos te das cuenta que aún queda un buen tiempo de trabajo, no solo por la redacción (que es más sencilla que la del resto de la tesis), sino por la necesidad de recordar todos aquellos momentos vividos durante los últimos años e intentar además, no olvidarte de nadie. Dicho esto, voy a intentar hacer memoria y redactar en los próximos párrafos todas las experiencias y momentos que han ayudado a que a día de hoy pueda estar redactando este documento tan importante.

En primer lugar, me gustaría mencionar a una serie de compañeros como son Tomás (Tommy para los amigos), José Manuel (Sarabia para unos cuantos), Casto y Alberto (conocido como TT), sin los cuales creo que a día de hoy no estaría en esta situación (y creo que ellos igual, ya que actualmente dos de ellos han sido nombrados doctores). Digo esto, porque al inicio de la licenciatura estábamos en grupos diferentes y prácticamente no teníamos relación, pero a partir del segundo año empezamos a introducirnos en los mismos grupos de práctica y se inició un pique sano entre nosotros por el tema de las notas, mejorar nuestros promedios y superarnos diariamente, lo que nos permitió formar un buen equipo de trabajo y aumentar así las notas de nuestro expediente. Son muchos los recuerdos de esos momentos en los cuales hacíamos quedadas para hacer puesta en común los días antes de los exámenes, como nos portábamos en las clases de algunas asignaturas... Todo ello considero que forjó una grandísima relación, que a pesar del tiempo y la distancia (empezó en 2006 y yo actualmente estoy a 9300 km de España) no se pierde y continuamos hablando y quedando cada vez que retorno a casa.

En segundo lugar, quiero agradecer a un grupo de amigos y compañeros como son Rafa, Carla y David que desde que aparecieron en 2010 por la universidad, han sido una

parte muy importante dentro de la formación académica con su apoyo y ayuda en proyectos, artículos y docencia, además de tener una relación fuera del puesto de trabajo muy buena compartiendo cenas, comidas y fiestas (y lo más sorprendente es que la primera impresión que tuve de ellos no fue muy buena, pero te das cuenta que las primeras impresiones no son acertadas). Hay otros compañeros que han pasado tiempo conmigo en el laboratorio o en otros laboratorios durante mis 3 años de estancia en el CID, como pueden ser Sandra, María, Álvaro, Alejandro, Mari Pili... a los cuales también les estoy muy agradecido por todos los momentos que hemos vivido dentro de nuestra segunda casa, que nos han permitido crecer como personas tanto a nivel profesional como personal (nunca se me olvidarán las risas constantes durante las comidas y los cafés). En este punto quería hacer mención especial a Miguel Sánchez, con el cual no solo hemos compartido momentos como compañeros del CID y fuera del mismo, si no que gracias a *“La Nau de la Innovació”* nos embarcamos en un proyecto llamado *“Other Level: Actividad Física a otro nivel”* el cual se inició hace ya unos cuantos años y que a día de hoy sobrevive gracias a ti (siempre te estaré agradecido) y que sé que el día que vuelva nos volveremos a poner mano a mano para que se hable mucho de este proyecto. Dentro de este apartado y aunque no forme parte de los profesores y amigos de la universidad, me gustaría poder mencionar a Mariano Martínez, al cual conocí el tan famoso día 11-S. Por aquel entonces yo tenía 15 años y empecé a entrenar tenis con él, pero poco a poco se fue convirtiendo en una persona muy importante por sus consejos, ayuda, apoyo... y considero que ha sido una persona que ha influido de un modo muy positivo en mí en estos últimos años.

En tercer lugar, no quiero dejar de mencionar a todos los profesores que han formado parte de mi vida durante tantas horas, primero durante los 5 años de la licenciatura y posteriormente en el máster y el programa de doctorado. Sinceramente agradezco todo el apoyo, ayuda y enseñanza que me han transmitido, ya que de una u otra manera y gustándote más o menos la materia que estabas tratando, siempre he sacado algo positivo de cada uno de ellos y que he podido aplicar posteriormente en mi vida (a pesar de pensar que no me iba a servir de nada). Por todo eso quiero agradecer a profesores como Ángel, Lola, Fito, Eva, Francis, Eduardo, Manolo, Fran, Peláez, Raúl, José Luis, Juan Antonio... por el interés y entusiasmo que han puesto día a día conmigo

para intentar hacer de mí una mejor persona y un buen profesional (creo que lo han conseguido, jajaja). Me gustaría en este apartado hacer mención especial a dos de los profesores que en los últimos años han sido los directores del laboratorio en el que estaba trabajando y mis directores de tesis, ellos son Francis y Raúl. Creo que esta mención es más que merecida porque durante los 3 últimos años de mi estancia en el CID estuve formando parte del grupo APCOM (a pesar de que en un principio estaba en el GIAFIS) y mi experiencia con ellos como “jefes” no ha podido ser mejor, ya que cuando acabas la licenciatura te crees que sabes algo, pero cuando te encuentras con genios como estos dos, te das cuenta que los 5 años de titulación solo te dan para poder seguirlos y entenderlos (a veces ni para eso) y que por lo tanto te queda un camino muy largo por recorrer y seguir aprendiendo. Gracias a vosotros y vuestra confianza y apoyo para participar en proyectos nacionales, toma de decisiones en aspectos relacionados con proyectos y actividades del laboratorio, confianza diaria en el trabajo realizado... pude madurar muchísimo y conseguí ser mejor profesional. Además de en la parte laboral, también me habéis ayudado en la parte personal cuando he estado pasando por algún momento y animándome a seguir adelante en algunos proyectos que ya había iniciado (como puede ser el caso de esta tesis doctoral).

El último punto va dedicado a mi familia y mi novia. A mis padres les agradezco todos los esfuerzos y el apoyo brindado durante toda mi vida, ya que considero que si no me hubieran educado tan bien como lo han hecho, no sería hoy en día la persona que soy. No se puede decir otra cosa que apoyo y ayuda incondicional en todos los momentos de mi vida. Que voy a decir de mi hermano “Xoxe”, a pesar de que de pequeños teníamos nuestros tiras y aflojas, conforme hemos ido madurando eso desapareció y nuestro apoyo ahora es total. Le agradezco a él porque, cuando tienes un hermano mayor quieres ser igual que él y seguir sus pasos, pero a mí al contrario de esto, lo que me ha pasado es que al tener un hermano menor el cual ha seguido muchos de los pasos que yo estaba dando, me ha “obligado” a superarme constantemente y dar un buen ejemplo. Hoy en día considero que me ha superado y que es la versión 2.0 y me siento muy contento por eso y soy yo el que intento aprender día a día de él (es más ha leído la tesis dos meses antes que yo). Respecto a mi novia “Elena” que puedo decir... desde que empezamos nuestra relación a final de 2012 ha sido un apoyo muy grande en mi

vida, disfrutando juntos muchos momentos buenos y comprendiéndome en los momentos no tan buenos (y mira que eso es difícil). Creo que a día de hoy es difícil encontrar personas que lo dejen todo por alguien y ella lo ha hecho, tras un año de relación por motivos laborales me tuve que trasladar a Bolivia y separarme de ella durante todo un año, tras el cual ella decidió dejar su trabajo y su familia para venir conmigo, creo que los hechos hablan por sí solos y este gesto tan bonito estará siempre en mi corazón. Además durante estos últimos años y en especial 2015 ella ha sido la persona que me animó a empezar a redactar la tesis y posteriormente la que me apoyó para que no la dejara. No sé si algún día podré devolverte todo lo que has hecho y continúas haciendo por mí, pero lo intentaré por todos los medios.



# ÍNDICE

1. Introducción	17
1.1. Aprendizaje Motor y Adaptación	19
1.2. La Organización de la Práctica	23
1.3. Variabilidad al Practicar	26
2. Objetivos e Hipótesis	33
3. Estudios	37
3.1. Estudio 1: Variabilidad cinemática en relación con el rendimiento en el saque en jóvenes tenistas	39
3.1.1. Resumen	41
3.1.2. Introducción	41
3.1.3 Método	43
3.1.4. Resultados	47
3.1.5. Discusión y conclusiones	50
3.1.6. Referencias	53
3.2. Estudio 2: Variable training: effects on the velocity and accuracy in the tennis serve	57
3.2.1. Abstract	59
3.2.2. Introduction	59
3.2.3. Method	63
3.2.4. Results	66

3.2.5. Discussion	68
3.2.6. References	70
3.3. Estudio 3: Efecto de la práctica variable sobre la precisión del tiro libre en baloncesto con jóvenes jugadores	75
3.3.1. Resumen	77
3.3.2. Introducción	77
3.3.3. Método	79
3.3.4. Resultados	83
3.3.5. Discusión	86
3.3.6. Conclusiones	88
3.3.7. Referencias	89
4. Discusión y Conclusiones Generales	93
5. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación	101
6. Referencias Bibliográficas	109

# 1. INTRODUCCIÓN





## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Aprendizaje motor y adaptación

El concepto de aprendizaje motor ha sufrido diferentes definiciones dependiendo de la aproximación o corriente de la que parte (neurológica, neurofisiológica, psicológica...) y ha sido revisado en función de la época científica. Todas ellas han sido aplicables en función del prisma con el que se mirasen y con el conocimiento que había en esa época concreta.

La concepción actual del aprendizaje tiene su base en las teorías comportamentales procedentes de la psicología conductista. Los postulados del condicionamiento clásico propuestos originalmente por Watson en 1913 y por Pavlov en 1927, y el condicionamiento operante (cuyo máximo exponente fueron los trabajos de Skinner en 1953) sentaron las bases del control de las contingencias en el aprendizaje. Posteriormente, la teoría del aprendizaje social propuesta originalmente por Bandura en 1977, inició una propuesta cognitiva en la que el ser humano era considerado como un ser social con capacidad para procesar e interpretar la información procedente de su entorno. Entre los primeros estudios que aplicaron estas teorías al aprendizaje motor, podríamos destacar los trabajos pioneros de Richard Henry (1969) o Jack Adams (1971), que tratan de explicar desde la teoría cognitiva tanto el Comportamiento Motor como el Aprendizaje Motor.

En 1975, y de la mano de Schmidt, apareció la Teoría del Esquema Motor, fundamentada en los postulados cognitivos y considerada como una de las teorías más destacadas en los últimos años dentro del Aprendizaje Motor (Figura 1). Desde esta teoría, se parte de que el ser humano percibe la información que recibe del exterior, la analiza a través de sus procesos internos y termina elaborando una respuesta, provocando con ella unos cambios en el entorno y de ahí comenzaría otra vez la secuencia (Wiener, 1948). El mismo Schmidt, posteriormente, definió el Aprendizaje Motor como el conjunto de procesos internos asociados a la práctica que provocan cambios en la capacidad motriz relativamente permanentes (Schmidt y Le+e, 2005).

Según esta definición y su interpretación del Aprendizaje Motor, los mecanismos de aprendizaje se basarían en dos puntos: la consolidación de procesos internos y la creación de programas o esquemas motores –entendiendo estos como representaciones de los movimientos– (Schmidt, 1975).

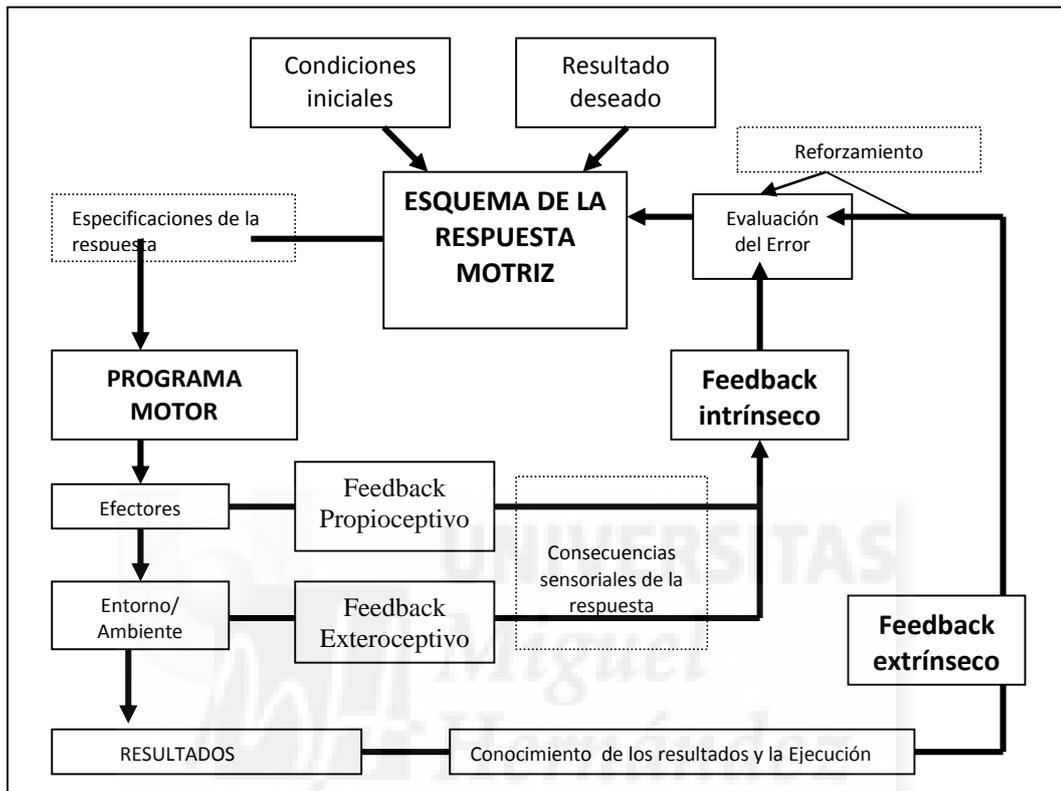


Figura 1. Esquema de la Teoría del Esquema Motor de Schmidt (1975). A schema theory of discrete motor skill learning, 235

Esta teoría se encuentra actualmente en discusión y desarrollo, revisándose en la literatura más reciente la utilidad de los constructos cognitivos (Newell, 2003; Schmidt, 2003; Sherwood y Lee, 2003; Ulrich y Reeve, 2005).

Desde finales del siglo XX e inicios del XXI, ha ido surgiendo un modelo alternativo a las propuestas cognitivas, basándose en la Teoría General de los Sistemas Dinámicos, con un fuerte apoyo en la termodinámica (Kelso, 1995; Kelso y Engström, 2006) y en la psicología ecológica (Davids, Button y Bennett, 2007; Turvey, 1996). Bajo esta perspectiva se considera que la comparación del ser humano con el ordenador es insuficiente para explicar el comportamiento. Considera muy importante tener en

cuenta una visión global, analizando la relación entre el individuo y el entorno como un sistema complejo dinámico y abierto. Así, el movimiento se produciría por la existencia de patrones estables de coordinación (Bernstein, 1967) formados por la experiencia del sujeto y modificados por los ajustes constantes del sistema neuromuscular a las situaciones cambiantes del entorno. Por lo tanto, y teniendo en cuenta esta teoría, el entorno que rodea al individuo y cómo el sistema se adapta al mismo pasa a formar parte central de la concepción actual de Aprendizaje Motor.

Basándonos en la Teoría de los Sistemas Dinámicos, se tendrá en cuenta al individuo como un sistema complejo, el cual tiene dos particularidades: la primera de ellas, es que es un sistema abierto y por lo tanto en continuo intercambio de energía con el entorno que lo rodea; y la segunda, que posee capacidad de adaptación (Ruthen, 1993). Es esta capacidad de adaptación un elemento constitutivo del aprendizaje, ya que para que un ser humano pueda aprender debe exponerse a situaciones nuevas que le supongan nuevas estimulaciones. Para poder solventar las demandas de la tarea propuesta en el proceso de aprendizaje motor, el individuo manifestará nuevos comportamientos exploratorios los cuales estarán basados en el repertorio de patrones de coordinación del ejecutante y en sus experiencias anteriores (Davids et al., 2007). La exposición a una situación desconocida y la aparición de nuevos comportamientos, pueden provocar una disminución del rendimiento inicial (Chow, Davids, Button, Shuttleworth, Renshaw y Araujo, 2006) hasta que el individuo consiga adaptarse y por lo tanto resuelva la tarea planteada y alcance un rendimiento superior.

Si estos principios se extrapolan a una situación práctica, podríamos poner el ejemplo de un jugador de tenis que necesite mejorar su servicio debido a que realiza un lanzamiento de la pelota muy bajo y no puede impactar la raqueta con la bola a una altura lo suficientemente alta como para conseguir el mejor rendimiento de su acción. Durante el periodo de aprendizaje se le propondrían al deportista situaciones de práctica en las que lance y golpee la pelota a mayor altura. Por ejemplo se le podría proponer colocar una cinta elevada e indicarle que tiene que golpear a la pelota por encima de esa línea. Durante esa fase, el deportista intentará solucionar la tarea que se le está proponiendo (buscará y explorará patrones de ejecución alternativos). Simultáneamente, se observará una disminución momentánea de su rendimiento en el

servicio hasta que, como consecuencia de la práctica, el deportista sea capaz de adaptarse a la tarea propuesta, observándose una modificación en la ejecución técnica del saque y el aprendizaje de un nuevo gesto técnico (es capaz de golpear la pelota a una mayor altura). Por supuesto, este aprendizaje y con ello esta modificación se realizará con la intención de llevar al deportista a un nivel de rendimiento mayor (Figura 2).

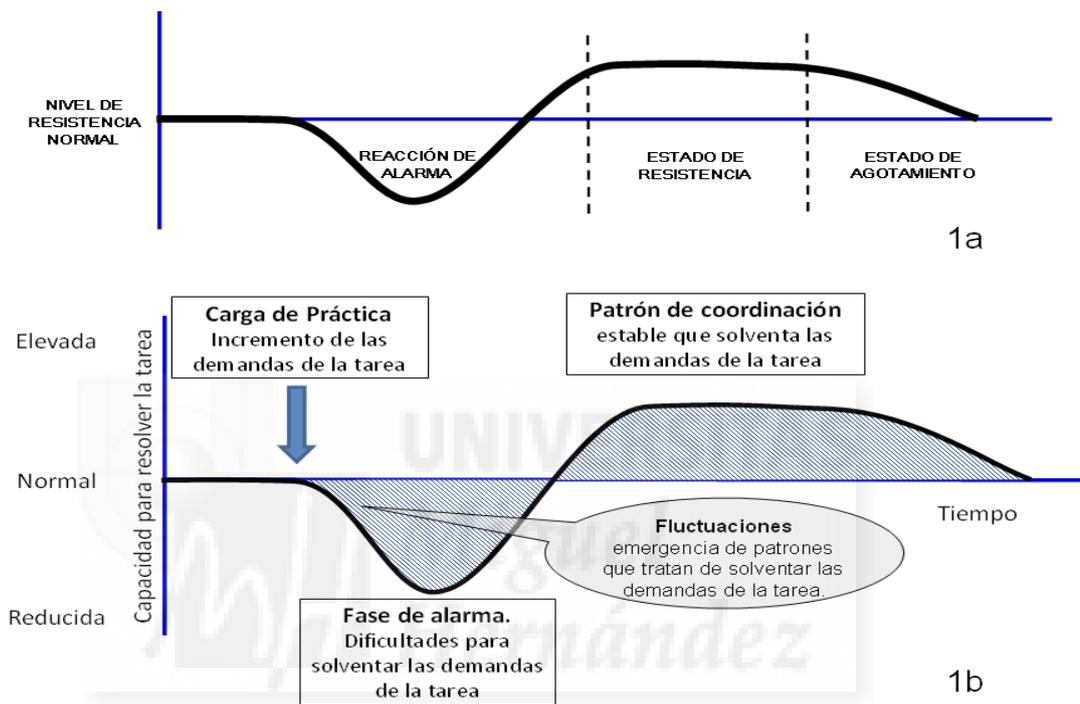


Figura 2. Panel superior 1a es la representación del Síndrome General de Adaptación (SGE) según la aportación de Seyle (1956) y en el panel inferior 1b se representa el efecto de una carga de práctica en el aprendizaje de una habilidad motriz tomando como referencia el SGE. Extraído de Moreno y Ordoño, 2009.

Según Oña, Martínez, Moreno y Ruiz (1999), el aprendizaje motor es entendido como una serie de cambios producidos en la conducta motora que se manifiestan estables en el tiempo y como consecuencia de la práctica. Desde esta perspectiva se extraen tres elementos que son determinantes: el cambio, la estabilidad y la práctica. El cambio en la conducta motora y su estabilidad son elementos necesarios para poder constatar que se ha producido aprendizaje. Por otro lado, la práctica se constituye como la herramienta fundamental del proceso, que los educadores pueden manejar para incidir de manera directa en el aprendizaje.

Debido a la gran importancia que tiene la práctica dentro del proceso de Aprendizaje Motor, y por el papel que ocupará en la presente tesis doctoral, el próximo apartado de esta tesis irá encaminado a explicar las diferentes organizaciones de la práctica y sus efectos en el aprendizaje de las habilidades deportivas.

## **1.2. La organización de la práctica**

Tal y como se ha podido analizar y observar en el apartado anterior, la práctica es la herramienta fundamental para conseguir el aprendizaje y por ende el aprendizaje motor. Por tanto, a lo largo de la historia se han estudiado diferentes formas de organizar y estructurar la práctica para facilitar los aprendizajes de las habilidades motoras.

Actualmente, son muchas las formas de organización y estructuración de la práctica que han sido estudiadas con el objetivo de observar sus resultados y posibles beneficios sobre el aprendizaje motor. Entre ellas cabe destacar la práctica global o analítica, la distribución de la práctica (concentrada o distribuida), la interferencia contextual y la práctica variable (Oña et al., 1999).

La práctica global o analítica, hace referencia a la realización del gesto dividido en partes (analítica) o de una forma completa (global). Dentro de la práctica analítica podemos encontrar:

- Fraccionamiento, que consiste en la realización de cada una de las partes de manera independiente hasta finalizar con el gesto completo.
- Segmentación, en la que se hace una parte, después se hace la primera más la segunda y así hasta completar todo el gesto completo.

Por su parte la práctica global se divide en:

- Simplificación, en la que el gesto se hace completo pero facilitando alguno de sus elementos.
- Polarizando la atención, mediante la que se hace hincapié en alguna de las partes del gesto.

- Ejecución lenta, con la que se reduce la velocidad del movimiento.

Según Ruiz (1995) en función del tipo de tarea a aprender (unión de sus partes, dificultad y continuidad) y las características que tenga el aprendiz (retención, concentración y destreza), será mejor la utilización de uno u otro tipo de práctica. La práctica analítica es así recomendada por este autor para el aprendizaje de habilidades de mayor dificultad, que puedan ser divididas en partes sin afectar a su dinámica y en aprendices que tengan dificultades con alguna parte particular de la habilidad. Mientras tanto, la práctica global es un procedimiento más recomendable en general para el aprendizaje y en particular en habilidades que requieran una coordinación global en el movimiento, que sean particularmente complejas en alguna de las partes y en aprendices que tengan facilidad para recordar secuencias de movimiento.

Por su parte, la concentración de la práctica hace referencia a los periodos de recuperación que se da al aprendiz entre unidades de práctica (ensayos, bloques, series y sesiones). Schmidt proponía que cuando los periodos de descanso son menores a los tiempos de práctica, estamos hablando de una práctica concentrada; mientras que cuando los periodos de recuperación son mayores a los invertidos en la práctica, estaríamos hablando de práctica distribuida (Schmidt y Lee, 2005). Más allá de la diferenciación entre práctica concentrada o distribuida, los efectos observados en el aprendizaje en función de la concentración de la práctica son diversos en función del tipo de habilidad a aprender (continuas o discretas). Por este motivo, para la utilización de una práctica concentrada o distribuida, se deberá tomar en cuenta: la etapa deportiva, el contexto (recreativo, competitivo, educativo, etc.), la proximidad de competiciones, tiempo de entrenamiento, tipo de habilidad (continua, discreta, motora, cognitiva, etc.) o la predictibilidad del entorno (García, Moreno, Reina, Menayo y Fuentes, 2008; Savion-Lemieux y Penhune, 2005; Shea, Lai, Black y Park, 2000).

Siguiendo con la organización de la práctica y el aprendizaje, uno de los tópicos más extendidos durante los últimos años es proponer situaciones de práctica que provoquen situaciones variadas sobre el aprendiz, con el objetivo de obtener una mejora en el aprendizaje. En este sentido, la interferencia contextual y la práctica variable son dos formas de organizar la práctica que consiguen generar estas situaciones variadas.

Cuando se habla de interferencia contextual, son diversas las definiciones que se pueden encontrar en función del autor que la esté citando. En este caso, se utilizará la definición de Jarus y Goverover (1999) según la cual, la interferencia contextual se podría definir como las interacciones de las variables presentes durante el proceso de adquisición y el posterior efecto en la memoria y la transferencia de habilidades (por tanto, a mayor interferencia, mayor será la interacción entre las diferentes habilidades que se planteen y viceversa). Este tipo de práctica se puede dividir en 4 niveles de organizaciones en función de la interferencia que se plantee:

- a) Práctica en bloque, en la cual todos los ensayos de una habilidad son realizados antes de pasar a realizar otra habilidad dentro de la sesión (AAAA, BBBB, CCCC, DDDD...).
- b) Práctica en serie, en la que se realizan series con una secuencia contante en la ejecución de las diferentes habilidades planteadas en la sesión (ABCD, ABCD, ABCD, ABCD...).
- c) Práctica combinada, en la cual se mantiene la realización de series pero teniendo un orden aleatorio en la ejecución de las habilidades dentro de cada serie (ACBD, BDAC, DABC, CBAD...).
- d) Práctica aleatoria, en la que no se encuentra ninguna serie ni relación entre los diferentes ensayos, ya que estos están completamente aleatorizados (ABBC, DCAB, CCDB, AABD...).

La práctica en bloque es la organización de la práctica que menos interferencia provoca sobre el aprendizaje y de ahí va aumentando la interferencia hasta llevar a la práctica aleatoria que es la que mayores niveles de interferencia causa. En función de la organización de la práctica que se utilice, se observarán unos resultados u otros sobre el aprendizaje. Por ejemplo, niveles bajos de interferencia producirán un aprendizaje a corto plazo mayor, mientras que niveles altos de interferencia causarán un menor aprendizaje a corto plazo, pero unos resultados positivos en términos de retención y transferencia (Anderson, 1980; Del Rey, Wughalter, Dubois y Carnes, 1982; Lee y Magill, 1983; Ruiz, 1995; Shea y Morgan, 1979). Otros estudios más recientes como los de Menayo, Moreno, Reina y Fuentes (2009), Menayo, Moreno, Sabido, Fuentes y García (2010) y Wulf y Shea (2002), demuestran un efecto positivo de la interferencia

contextual frente a los modelos clásicos de entrenamiento en el aprendizaje motor y en diferentes habilidades deportivas.

La interferencia contextual, aunque supone la implementación de variaciones en la organización de las tareas propuestas durante la sesión, no propone exactamente realizar variaciones en la ejecución de los ejercicios y gestos técnicos a entrenar. Los tipos de práctica que se aproximan a esta visión serían recogidos por el tópico de la práctica variable. La práctica variable o variabilidad al practicar, se puede definir como la práctica basada en la ejecución de un gesto técnico, introduciendo variaciones o modificaciones tanto en la habilidad motriz como en el entorno en el cual se está practicando para facilitar el aprendizaje (Schmidt y Lee, 2011). Con esta forma de práctica se generarán un gran número de situaciones diferentes con el objetivo de dar al aprendiz un esquema de actuación lo más rico y variado posible, que le permita adaptarse a las situaciones que le rodean y se le puedan plantear.

Puesto que el objetivo de los estudios que forman parte de la Tesis Doctoral es el análisis de los efectos de la práctica variable sobre el aprendizaje de diferentes habilidades motrices, en el apartado siguiente se desarrollará este concepto de manera más detallada.

### **1.3. Variabilidad al practicar**

La variabilidad es una característica inherente a todos los seres biológicos. Si esto se traslada al movimiento en el ser humano, no nos podemos imaginar que un deportista sea capaz de realizar dos movimientos seguidos de un mismo gesto de manera idéntica. Por mucha práctica que se realice, el rendimiento o aprendizaje se verá aumentado, pero en ningún caso se eliminará completamente la variabilidad.

La teoría de la variabilidad del impulso de Schmidt et al., (1979) a raíz de su teoría del Esquema Motor (Schmidt, 1975), comprende ésta como ruido o fluctuaciones aleatorias de los mecanismos neuromusculares. Así, la variabilidad se interpreta como un factor limitante del control del sistema que debe ser eliminado o minimizado. En el aprendizaje de habilidades motrices, la reducción de la variabilidad se identifica así

como un incremento en la eficacia y del rendimiento. Esta consideración de la variabilidad puede sugerir utilizar ésta como elemento clasificador de diferencias individuales en base a alguna destreza. La relación entre la variabilidad y el rendimiento, y el concepto de variabilidad como errores del sistema, han sido revisados en los últimos años en numerosos estudios (Davids et al., 2003; Douvis, 2005; Menayo et al. 2010a; Riley y Turvey, 2003)

Por un lado, es bastante generalizada la consideración en el ámbito deportivo de que el entrenamiento y la práctica incrementan la destreza y con ésta la consistencia (reducción de la variabilidad) de la ejecución. Sin embargo, en tareas de potencia, donde la precisión espacio-temporal no es el criterio fundamental de eficacia, la variabilidad deja de ser un elemento tan determinante de la eficacia, pues el rendimiento se mide independientemente de lo variable que se haya manifestado. De hecho, no existen evidencias de que, por ejemplo, los mejores saltadores de longitud en un campeonato internacional sean necesariamente aquellos que manifiestan una menor variabilidad.

Por otro lado, recientes estudios interpretan la variabilidad más allá de errores indeseables del sistema (Newell y Slifkin, 1998; Riley y Turvey, 2002). Diversos trabajos de investigación han mostrado que deportistas de alto rendimiento pueden congelar o liberar grados de libertad de la cadena de movimientos de una determinada acción en función de las condiciones del entorno. Por el contrario, los noveles tienden a manifestar un comportamiento caracterizado por la rigidez en los diferentes grados de libertad del movimiento y muestran de ese modo mucha mayor variabilidad, que sin embargo no es funcional (Davids, Glazier, Araujo y Barlett, 2003). Incluso, por causa de la edad o de enfermedades del aparato locomotor, el movimiento humano tiende a mostrar una reducción en la complejidad, caracterizada por una menor adaptación a las modificaciones que se muestran en el entorno y con ello a una disminución de su funcionalidad (Vaillancourt y Newell, 2002).

De este modo, la variabilidad puede manifestarse como funcional al permitir, mediante la liberación de determinados grados de libertad, incrementar el rendimiento del resultado de la acción. Esta perspectiva es interpretada por Davids, Shuttleworth, Button, Renshaw y Glazier (2004) proponiendo que la variabilidad entre ensayos

responde a las necesidades de manifestar una respuesta adecuada a cada una de las circunstancias cambiantes del entorno. Así, el patrón motor surge en función de las diferentes condiciones de la tarea para conseguir un resultado estable en lugar de ser consecuencia de una serie de invariantes o predefiniciones de carácter anatómico, con lo que la variabilidad al practicar es considerada un elemento fundamental en el aprendizaje motor.

Como se ha mencionado brevemente en el punto anterior, la práctica variable es un tipo de organización de la práctica que mediante la modificación del gesto técnico a entrenar o las modificaciones en el entorno (Schmidt y Lee, 2011. Cap.11), busca modificar la ejecución motriz, con la finalidad de aumentar así la variabilidad en el gesto, llevando al deportista a una situación de desequilibrio que le obligue a tener que adaptarse y, consecuentemente, a incrementar su aprendizaje.

Los efectos que la práctica variable tiene sobre el aprendizaje o el rendimiento, han sido fuente de estudio en la literatura científica. Tradicionalmente, la práctica variable ha sido estudiada como un tipo de práctica más eficaz que la práctica constante para el aprendizaje de habilidades abiertas o habilidades que se practican en entornos impredecibles (Douvis, 2005; Lee, Magill y Weeks, 1985; Shapiro y Schmidt, 1982; Van Rossum, 1990) debido a que el contexto está en una situación de constante cambio, por lo que un esquema rico y variado dará mayores posibilidades de adaptación a las situaciones que se planteen.

Varios autores han argumentado en estudios realizados más recientemente, que la práctica variable no sólo es útil para el aprendizaje de habilidades abiertas (Miller, 2002; Waddington y Adams, 2003). Bajo la Teoría de los Sistemas Dinámicos, se propone que durante la práctica variable se utilizan las fluctuaciones en el comportamiento motor para explorar diferentes ejecuciones motrices de cada individuo y optimizar el proceso de aprendizaje (Menayo, Moreno, Fuentes, Reina y Damas, 2012; Savelsber, Kamper, Rabiús, De König y Schöllhorn, 2010; Schöllhorn, Beckmann y Davids, 2010). Por lo tanto, el alumno se enfrenta a una gran variedad de movimientos que engloban muchas soluciones para resolver una tarea específica. Según Davids et al. (2007), en las habilidades cerradas la fuente de variabilidad existente es la que el propio sujeto

produce durante las ejecuciones. Por este motivo, al incrementar los niveles de variabilidad, el sistema tendrá que aumentar el nivel de las correcciones para poder adaptarse a la tarea que se le propone. En este sentido encontramos diferentes estudios que muestran el beneficio de la práctica variable sobre habilidades cerradas (Hernández-Davó, Urbán, Morón, Reina y Moreno, 2014; Hernández-Davó, Urbán, Sarabia, Juan-Recio y Moreno, 2014; Menayo, Fuentes, Moreno, Reina y García, 2010; Miller, 2002; Waddington y Adams, 2003), no obstante los procesos que explican las diferencias encontradas entre los distintos estudios aún no están claramente constatados.

Cuando se analiza el efecto de la práctica variable sobre el aprendizaje, es importante tener en cuenta que en las fases iniciales del proceso, se observará un incremento en la variabilidad del movimiento del deportista que suele ir acompañado de una disminución del rendimiento (Menayo et al., 2012; Miller, 2002; Sabido, Caballero y Moreno, 2009). Esta fase aparece como una necesidad del organismo o deportista para adaptarse a la nueva situación que se le está planteando y, por lo tanto, es parte de un proceso de exploración con el fin de conseguir un rendimiento óptimo al final del proceso (Davids et al. 2003; Scholz y Schöner, 1999; Van Emmerik y Van Wegen, 2000). Una vez superada esta fase, el deportista ya se habrá adaptado a la tarea y por lo tanto su nivel de rendimiento será superior al que tenía al inicio del proceso.

Analizando los efectos positivos de la práctica variable sobre las habilidades motrices, es importante tener en cuenta cuáles son los niveles de variabilidad que se plantean durante las sesiones, ya que niveles bajos de variabilidad no producen ningún tipo de mejora o aprendizaje en el deportista, debido a que esta situación que se le plantea no produce ningún tipo de adaptación (el deportista ya se encuentra adaptado a ese tipo de trabajo). Por su parte, cuando los niveles de variabilidad son extremadamente elevados, pueden desembocar en la aparición de patrones motores diferentes (Moreno y Ordoño, 2009) y por lo tanto disminuir el rendimiento del deportista.

De cualquier modo, el debate sobre la eficacia o efecto positivo de la práctica variable sobre el aprendizaje está todavía presente, ya que algunos estudios siguen

mostrando una mayor eficacia de la práctica constante en ciertas condiciones (Edwards y Hodges, 2012; Shea, Lai, Wright, Immink y Black, 2001). Otros autores proponen que la práctica variable afectará de forma diferente en función de las condiciones que se manipulen (Ranganatan y Newell, 2010) e incluso algunos autores han propuesto alternativas de práctica, que si bien se encuentran próximas a la práctica variable, proponen una aproximación diferente, como es el caso del aprendizaje diferencial (Schöllhorn, Beckman, Janssen y Drepper, 2010).

El *Aprendizaje Diferencial* o "*Differential Learning*", es una manera de organizar la práctica en el cual se pretende alcanzar o mejorar el rendimiento de un gesto técnico mediante la modificación constante de las acciones motrices que el deportista tiene que realizar, como respuesta a tareas a las que no se encuentra acostumbrado y que llevan al deportista a la búsqueda de una solución para cada una de esas situaciones (Schöllhorn et al., 2010). Lo que se pretende es evitar la repetición de un movimiento concreto, mediante la aplicación de perturbaciones o modificaciones durante el aprendizaje (Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell y Michelbrink, 2009). Si bien, esta manera de organización de la práctica guarda muchas similitudes con la práctica variable, e incluso algunos autores no contemplan diferencias, según Schöllhorn et al., (2010) el aprendizaje diferencial propone incluir ejercicios que producen modificaciones en las características invariantes del movimiento, que se modifican mediante:

- Variación de las articulaciones implicadas en el movimiento.
- La velocidad o aceleración en el gesto técnico.
- Cambios en la estructura temporal.

Este tipo de aprendizaje ha mostrado sus efectos positivos sobre el rendimiento en de habilidades como el lanzamiento en fútbol (Trockel y Schöllhorn, 2003), el paso de vallas (Schöllhorn et al., 2010), y el saque en voleibol (Reynoso, Sabido, Reina y Moreno, 2013). No obstante, no son numerosos los estudios contrastados que hayan demostrado esta propuesta y serán necesarios nuevos estudios que desarrollen su relación con la variabilidad al practicar.

Debido a la falta de resultados claros alrededor del efecto que tiene la práctica variable sobre el aprendizaje de las habilidades motrices, parece interesante continuar

investigando sobre este tópico con el objetivo de lograr comprender cuáles son las características y cantidad de variabilidad que se debe introducir durante la práctica y, cómo éstas pueden facilitar la comprensión de cómo el aprendizaje se ve afectado dependiendo de las características de la tarea y del alumno.

A pesar de que la práctica variable es un tema que despierta un gran interés en los investigadores hoy en día, hay un gran número de incógnitas que aún siguen sin resolverse o que se encuentran en una situación de controversia en la literatura científica actual, como pueden ser los efectos positivos que la práctica variable tiene sobre el aprendizaje y el rendimiento en habilidades cerradas (Hernández-Davó et al., 2014a; Menayo et al., 2010a) con otros que siguen apoyando un mayor beneficio de la práctica en consistencia (Edwards y Hodges, 2012; Shea et al., 2001), cuáles son los efectos que tiene la práctica variable sobre la cinemática del movimiento, determinar la carga y la dirección óptima de la variabilidad para que se produzcan mejoras en el rendimiento (Moreno y Ordoño, 2015), conocer los periodos de recuperación adecuados tras la implementación de un entrenamiento en condiciones de práctica en variabilidad (Hernández-Davó et al., 2014a; Hernández-Davó et al., 2014b) y la individualización de la carga de variabilidad al practicar en función de la edad y el nivel de los aprendices (Moreno y Ordoño, 2015).

El objetivo de esta Tesis Doctoral es abordar alguno de los temas que a día de hoy continúan en un estado de controversia en el aprendizaje motor, como es el analizar los efectos que la práctica variable tiene sobre el aprendizaje de diferentes habilidades cerradas. Por ello, la tesis se encuentra dividida en 3 estudios.

Uno de los aspectos estudiados en los últimos años dentro del aprendizaje motor, es el efecto que tienen las características cinemáticas del movimiento sobre el rendimiento en un determinado deporte o gesto técnico (Reynoso et al., 2013), siendo necesario revisar cual es la relación existente entre la variabilidad cinemática del movimiento y el rendimiento. Algunos autores han tratado de abordar esta cuestión en diversos estudios (Menayo et al., 2012; Reid, Whiteside y Elliot, 2011; Wagner, Pfusterschmied, von Duvillard y Müller, 2012), aunque siguen abiertas ciertas cuestiones al respecto. En el primer estudio presentado en esta tesis doctoral *“Variabilidad*

*cinemática en relación con el rendimiento en el saque en jóvenes tenistas*”, se analizará cómo afecta la variabilidad del movimiento a las variables de rendimiento (velocidad y precisión).

Los otros dos estudios presentados en esta tesis (*“Efecto de la práctica variable sobre la precisión del tiro libre en baloncesto con jóvenes jugadores”* y *“Variable training: effects on velocity and accuracy in the tennis serve”*) pretenden demostrar la eficacia de la práctica variable sobre el rendimiento deportivo (precisión o velocidad y precisión) en dos disciplinas diferentes como son el baloncesto (sobre el tiro libre) y el tenis (sobre el saque), pero en habilidades que guardan cierta similitud, pues son gestos que tradicionalmente han sido considerados cerrados. Como bien se ha comentado anteriormente, las evidencias científicas del efecto de la práctica variable sobre este tipo de habilidades son aun escasas y por ello necesitan de líneas de investigación que puedan dar claridad al respecto.



## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS





## 2. OBJETIVOS e HIPOTESIS

Los objetivos de la presente tesis doctoral son:

- a) Determinar posibles relaciones entre la variabilidad cinemática y las variables de rendimiento en el saque en jóvenes tenistas.
- b) Analizar el efecto de la práctica variable en la mejora del rendimiento en el saque en tenis.
- c) Mostrar la eficacia de un entrenamiento en condiciones de variabilidad sobre el tiro libre en baloncesto en jóvenes jugadores, frente a un entrenamiento en especificidad.
- d) Analizar el efecto que tiene la práctica variable sobre la retención de las habilidades estudiadas.

Las hipótesis que se plantean a partir de los objetivos anteriores son las siguientes:

1. La variabilidad en la trayectoria del movimiento se puede mostrar como un índice relacionado con el rendimiento en el saque en tenis.
2. La cantidad de variabilidad en la trayectoria de movimiento de la mano afecta negativamente a la velocidad de los saques en tenis y negativamente a su precisión.
3. El entrenamiento en condiciones de práctica variable produce una mejora significativamente mayor en la precisión del saque en tenis respecto al entrenamiento en consistencia.
4. El entrenamiento en variabilidad produce unas mejoras significativamente mayores en la velocidad del saque en tenis respecto al entrenamiento en consistencia.

5. El entrenamiento en condiciones de práctica variable produce mejoras significativamente superiores a los entrenamientos en consistencia en la precisión del tiro libre en baloncesto.



# 3. ESTUDIOS





**ESTUDIO 1: VARIABILIDAD CINEMÁTICA EN RELACIÓN  
CON EL RENDIMIENTO EN EL SAQUE EN JÓVENES  
TENISTAS**

*Motricidad. European Journal of Human Movement,  
2012: 29, 49-60*

*Urbán, T.; Hernández-Davó, H.; Moreno, F.J.*



### 3.1.1. RESUMEN

El rendimiento en el tenis viene determinado principalmente por la ejecución del saque con la mayor velocidad y precisión posible. El objetivo del estudio es analizar cómo afecta la variabilidad en el movimiento a las variables de rendimiento. Participaron 29 tenistas ( $12.9 \pm 1.64$  años), que realizaron 20 saques cada uno. No se encontraron relaciones entre la precisión y la variabilidad del movimiento en la mayoría de las variables cinemáticas analizadas mediante procedimientos discretos. Se encontraron correlaciones negativas entre la velocidad de los saques y la variabilidad de la trayectoria de la mano al inicio del movimiento en los ejes X ( $r = -0.417$ ;  $p = 0.024$ ) y Z ( $r = -0.529$ ;  $p = 0.003$ ). También se encontraron correlaciones positivas entre el error radial y la variabilidad de la trayectoria de la mano en la fase intermedia del movimiento en los ejes Y ( $r = 0.432$ ;  $p = 0.019$ ) y Z ( $r = 0.466$ ;  $p = 0.011$ ) y final del gesto en el eje X ( $r = 0.555$ ;  $p = 0.002$ ). La variabilidad en la trayectoria del movimiento se ha mostrado como un índice relacionado con el rendimiento en el saque en tenis en función de la fase del movimiento donde se produzca y sobre el eje en el cual aparezca.

**PALABRAS CLAVE:** Variabilidad cinemática, velocidad, precisión, rendimiento

### 3.1.2. INTRODUCCIÓN

La evolución del tenis en los últimos años, se ha caracterizado por un aumento de la potencia y la precisión que los tenistas ejercen a cada uno de sus golpes. El saque en tenis es el primer golpe ejecutado para iniciar la acción de juego, y por ello, es considerado una habilidad motriz predominante cerrada, ya que su ejecución depende principalmente del ejecutante. Debido a la gran importancia de este gesto técnico dentro del deporte, ha sido uno sobre los que más se ha estudiado y entrenado (Kovacs y Ellenbecker, 2011). Algunos autores argumentan que el resultado del juego en un partido de tenis depende en gran medida del rendimiento obtenido en la ejecución del saque (Bahamonde, 2000).

Debido a su importancia, el saque en tenis ha sido estudiado desde diferentes perspectivas, siendo el análisis de la cinética y cinemática del gesto técnico uno de los aspectos más estudiados, tratando de modelar un gesto ideal que permita un mayor rendimiento en su ejecución. El estudio de Fleisig, Nicholls, Elliott y Escamilla (2003), aportó información acerca de la importancia de la correcta utilización de la cadena cinética, que debe partir desde el tren inferior para finalizar con una flexión de la muñeca para producir altas velocidades en los saques.

Recientes estudios concluyen que las variables que más influyen en el rendimiento de las acciones de lanzamiento son la velocidad del móvil y la precisión (Van den Tillaar y Ettema, 2003). Por tanto, la combinación de ambas variables ha sido estudiada en diferentes disciplinas deportivas (Bayios, Anastasopoulou, Sioudris y Boudolos, 2001; Gorostiaga, Granados, Ibáñez e Izquierdo, 2005; Matsuo, Escamilla, Fleisig, Barrentine y Andrews, 2001). Si bien tradicionalmente se ha relacionado el incremento de la velocidad con una menor precisión (Oña, Martínez, Moreno y Ruiz, 1999), recientes estudios destacan que aumentos o disminuciones en la velocidad del lanzamiento, no implicaban ni mejoras ni pérdidas en la precisión (Van den Tillaar y Ettema, 2006).

Otro de los factores que pueden afectar a la ejecución del gesto técnico es la variabilidad, del movimiento. Esta variabilidad se puede observar en el comportamiento motor de un sujeto al realizar múltiples ejecuciones de una tarea o gesto técnico concreto, impidiendo la ejecución de dos gestos técnicos iguales como consecuencia tanto de la variabilidad intrínseca como extrínseca que afectan al sujeto (Glass y Mackey, 1988; Newell y Slifkin, 1998). Esta variabilidad era considerada como un error del sistema que afectaba a la traducción inexacta de los comandos procedentes del programa motor al sistema neuromuscular. Por este motivo, la variabilidad era entendida como un factor limitante de la ejecución y por tanto debería ser eliminado o minimizado (Schmidt, Zelaznick, Hawkins, Frank y Quinn, 1979).

Estudios recientes comienzan a considerar la variabilidad como una estrategia del sistema que le permita una mayor exploración del entorno y con ello una mejor adaptación a entornos en constante cambio (Phillips, Davids, Renshaw y Portus, 2010; Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell y Michelbrink, 2009), lo que va a permitir al deportista

una respuesta más eficaz ante las diferentes situaciones que puedan surgir durante las acciones de juego. Por otro lado, se encuentran trabajos que difieren de los comentados anteriormente, en los que encontraron que en acciones de corta duración, aumentos en la variabilidad en la velocidad de la mano provocaban disminuciones en la precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo, Moreno, Fuentes, Reina y Damas, 2012). Por otro lado, en el estudio de Wagner, Pfusterschmied, von Duvillard y Müller (2011) analizaron las diferencias en el rendimiento y la variabilidad en diferentes técnicas de lanzamiento en balonmano, llegando a la conclusión que los jugadores más expertos tienen la capacidad de compensar los incrementos en la variabilidad durante la aceleración de los segmentos más distales. Estudios recientes han centrado su análisis cinemático sobre el rendimiento en habilidades de precisión y en el servicio en tenis en particular. Reid, Whiteside y Elliott (2011) analizaron cómo se modifica la cinemática en el primer y segundo servicio en función de la dirección.

Este estudio pretende aportar información acerca de cómo puede afectar la variabilidad que se da en los patrones motores durante la ejecución del gesto técnico, y más concretamente en el saque en tenis, e intentar relacionarla con la velocidad y la precisión para tratar de identificar factores que pueden tener influencia en el rendimiento del servicio en tenis.

### **3.1.3. MÉTODO**

#### **3.1.3.1. Participantes**

En el estudio participaron voluntariamente 29 jóvenes tenistas (20 varones y 9 mujeres) con una media de edad de  $12.9 \pm 1.64$  años y una estatura media de  $150.28 \pm 9.56$  centímetros. Estos jugadores tenían una experiencia de práctica deportiva de entre 2 y 3 años. Los datos fueron tratados de forma anónima y todos los tutores legales de los participantes fueron informados de los riesgos y beneficios, firmando un documento de consentimiento informado de acuerdo a la Declaración de Helsinki de 1975, revisada en octubre del año 2000.

### 3.1.3.2. Variables del análisis

Las variables del estudio relacionadas con el rendimiento de los saques fueron la precisión y la velocidad de los golpes. La precisión se midió a través del error absoluto (en los ejes anteroposterior y mediolateral), el error radial (Van den Tillaar y Ettema, 2003) y la variabilidad de estos errores calculada mediante la desviación típica de cada uno de estos errores, que representa la dispersión del error cometido en los servicios realizados respecto a los valores criterio. La velocidad de los saques se midió a través de la velocidad de salida de la pelota.

La variabilidad cinemática del gesto se midió por medio de cuatro sensores de posición sobre la mano, brazo y pelvis del lado dominante y sobre la mano auxiliar, tal y como se explica en el procedimiento. Se analizó la variabilidad cinemática a través de métodos discretos y continuos siguiendo la clasificación de James (2004). La variabilidad del movimiento mediante método discreto se midió a través de la desviación típica de la media de las siguientes variables por cada serie de ensayos:

- Duración del gesto
- Posición espacial de cada sensor en el momento de máxima velocidad de la mano ejecutora.
- Rango de movimiento
- Velocidad máxima y tiempo hasta la velocidad máxima de cada sensor

Todas estas variables (excepto la duración) fueron medidas en los tres ejes espaciales mediolateral (X), anteroposterior (Y) y longitudinal (Z)

Junto a estos valores de dispersión, se analizó la variabilidad de la trayectoria de la mano en cada eje. Para valorar la variabilidad global del movimiento de la mano ejecutora a lo largo del tiempo se optó por una medida de la variabilidad a través de un método continuo (Hamill, Haddad y McDermott, 2000; James, 2004). Para esto, se realizó inicialmente una normalización temporal de las series de datos de la velocidad instantánea de la mano ejecutora, interpolando a 1000 datos, para igualar la longitud de las series de datos. Tras la normalización, se calculó la media y la desviación típica

punto por punto de la serie de ensayos de cada participante (ecuación 1 a y b), y a partir de estos datos se calculó la media de la desviación típica de toda la serie de datos (ecuación 1 c) (Winter, 1984) obteniendo una estimación de la variabilidad de la trayectoria de la mano. Para poder analizar cómo evoluciona esta variabilidad a lo largo del movimiento se dividió cada serie temporal en deciles, calculando la desviación típica media para cada decil.

Ecuación 1.

$$\begin{array}{lll} \text{a)} & M_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} & \text{b)} \quad SD_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - M_i)^2}{n - 1} \right)^{1/2} & \text{c)} \quad SD_{avg} = \left( \frac{\sum_{i=1}^k SD_i^2}{k} \right)^{1/2} \end{array}$$

### 3.1.3.3. Instrumental

Para el registro de la velocidad de la pelota en cada uno de los servicios, se utilizó el radar “Sports Radar SR3600” con una sensibilidad de  $\pm 1$  km/hora. El radar se encontraba ubicado en un trípode por detrás del participante apuntando a la diana situada en la zona abierta del cuadro de saque.

Durante la evaluación se filmó la zona del cuadro de saque con una cámara digital “Sony HDR-SR8E” (a 50 Hz de frecuencia de registro) para determinar el lugar de impacto de cada servicio. Los botes de la pelota fueron digitalizados mediante el software Kinovea, y se calcularon las coordenadas reales para determinar el error radial de cada uno de los servicios y poder así obtener la precisión de los mismos. La cámara estaba situada a una altura de 3 metros del suelo orientada a la zona del cuadro de saque.

Las variables cinemáticas del movimiento de la mano, brazo y cadera del lado ejecutor y de la mano auxiliar, fueron registradas mediante un sensor electromagnético de posición (Polhemus Liberty). Este sistema dispone de 6 grados de libertad, con una precisión de 0.08 cm. para la posición en los tres ejes espaciales y  $0.15^\circ$  para la orientación angular y una frecuencia de registro de 240Hz para cada sensor.

#### **3.1.3.4. Procedimiento**

En la medición efectuada, los jugadores se situaban detrás de la línea de fondo en el lado izquierdo de la pista, a 0.8 metros del centro de la misma (Figura 1). Cada jugador, realizó un calentamiento específico en pista de 10 minutos de duración.

Tras el calentamiento, se colocaron sobre los participantes los cuatro sensores colocados con la siguiente ubicación: posición dorsal de la mano dominante (parte medial del metacarpo), posición medial del húmero (impresión o tuberosidad deltoidea del brazo dominante), cresta ilíaca del lado dominante y posición dorsal de la mano no dominante (parte medial del metacarpo). Tras la colocación de los sensores, el participante realizaba 2 saques de familiarización antes de iniciar el proceso de medición.

Las pelotas (Dunlop Brillance, nuevas) se entregaban una a una para cada ejecución. Cada jugador realizaba 20 primeros servicios divididos en dos bloques de 10 ensayos hacia una diana de 50 x 50cm, situada en la zona abierta o esquina del cuadro de saque del lado de la ventaja (Figura 1). Se efectuaba una pausa de 30 segundos entre bloques. A todos los participantes se les dieron las mismas instrucciones: *“Saca a la máxima velocidad y con la mayor precisión posible en dirección a la diana situada en el ángulo abierto del cuadro de saque”*.

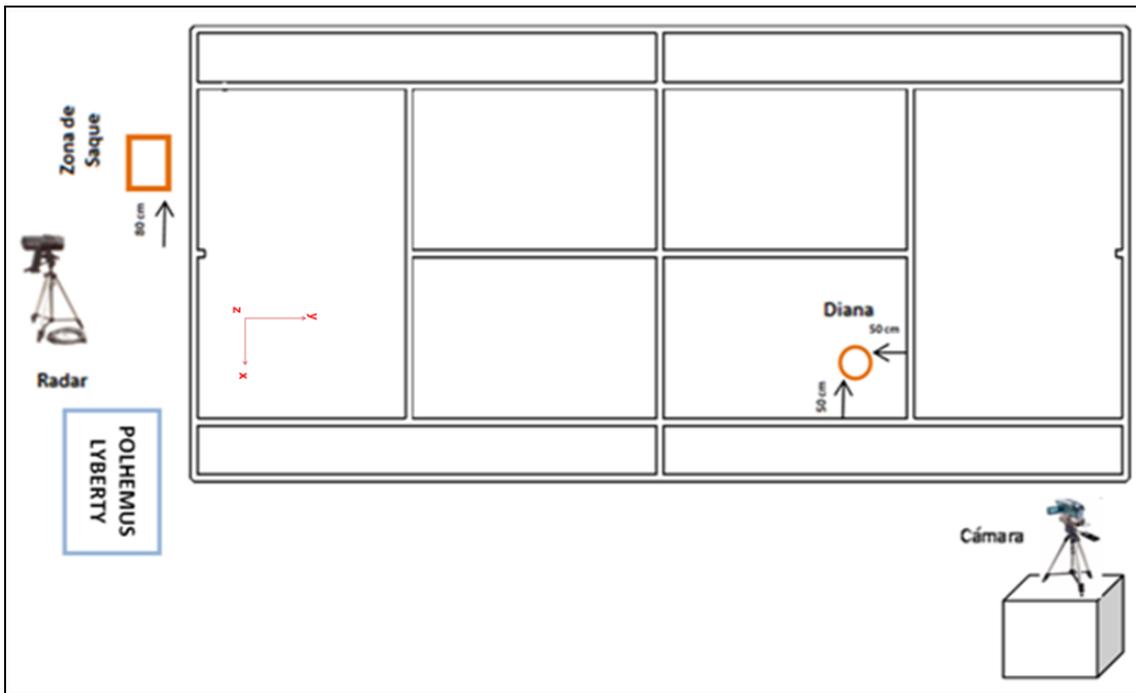


Figura 1. Ubicación del instrumental dentro de la pista

### 3.1.3.5. Análisis de los datos

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de los datos y la estimación de valores extremos. Se analizaron las relaciones entre las variables de precisión, la velocidad de la pelota y la variabilidad de los movimientos mediante un análisis de correlación de Pearson.

### 3.1.4. RESULTADOS

En relación con la precisión de los saques, no se encontró relación entre esta variable con la variabilidad de las posiciones espaciales, ni de la duración o la velocidad de los movimientos (variabilidad en la velocidad y velocidad máxima de cada sensor y tiempos hasta el máximo de velocidad).

El error radial correlacionó positivamente con la variabilidad de la velocidad máxima de la mano en el eje Y ( $r = 0.551$ ,  $p = 0.004$ ), lo que indica una menor precisión cuando la variabilidad en la velocidad máxima de la mano se incrementa. También se pudo

observar que el error radial correlacionaba positivamente con la variabilidad del error en los ejes X e Y, así como con la variabilidad del error radial (Tabla 1).

El error radial correlacionó positivamente con la variabilidad de la velocidad de la pelota ( $r = 0.465$ ,  $p = 0.011$ ). Lo que indica que aquellos jugadores que muestran una mayor precisión y por ello un menor error radial, tienen menores valores de variabilidad en la velocidad de sus saques.

Tabla 1.

Correlaciones entre el error radial y la variabilidad de la dirección del error y la variabilidad del error radial

Error radial	Variabilidad Error Radial	Variabilidad Error X	Variabilidad Error Y
	0.696	0.813	0.627
Sig. (bilateral)	0.001	0.001	0.001
N	29	29	29

En cuanto a la relación de las variables discretas analizadas con respecto a la velocidad de los saques, sólo se encontró un correlación negativa con la variabilidad del rango de movimiento en el eje Z de la mano dominante ( $r = -0.388$ ,  $p = 0.037$ ), lo que indica que mayores valores de variabilidad en el desplazamiento en este eje producirán una disminución de la velocidad de la pelota en el saque.

La variabilidad total mostrada por la trayectoria de la mano que sujetaba la raqueta no mostró una relación con la precisión ni con la velocidad de salida de la pelota. Un análisis más pormenorizado de los valores de variabilidad a lo largo de la trayectoria, mediante el análisis de los deciles en los que se dividió, muestran que la variabilidad se va incrementando en la parte final del movimiento. Esto ocurrió así en los tres ejes espaciales analizados. Como se puede observar en la figura 2, los mayores niveles de variabilidad se encuentran en la parte final del movimiento, mientras que al inicio y en una zona intermedia del movimiento, los niveles de variabilidad son más reducidos.

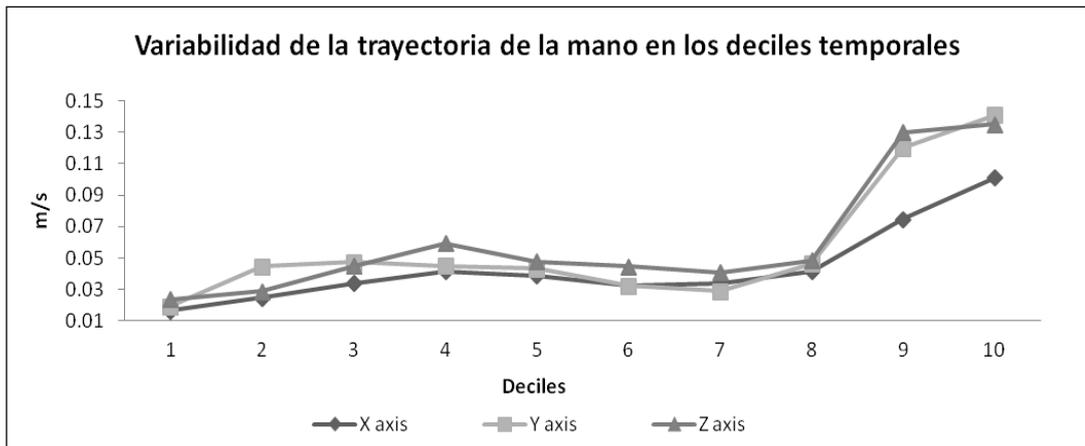


Figura 2. Evolución de la desviación típica de la velocidad de la mano ejecutora en los 3 ejes espaciales, durante cada uno de los deciles en los que se dividió el gesto técnico.

En cuanto a la variabilidad de la trayectoria de la mano en relación con el rendimiento de los saques, se obtuvieron relaciones diferentes en función de los ejes, y el decil en el que se dividió el movimiento.

La velocidad del saque correlaciona negativamente con la variabilidad de la trayectoria de la mano dominante en la fase inicial del movimiento en los ejes X y Z, como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2.

Correlación entre la velocidad del saque y la variabilidad de la trayectoria de la mano en los ejes X y Z en los deciles 1 y 2 del movimiento

Velocidad del Saque	Variabilidad Eje X decil 1	Variabilidad Eje Z decil 1	Variabilidad Eje Z decil 2
	-0.417	-0.529	-0.460
Sig. (bilateral)	0.024	0.003	0.012
N	29	29	29

Por otro lado, aparecen correlaciones positivas entre el error radial de los saques y las desviaciones típicas de la velocidad de la mano dominante en el eje Y y Z durante la fase intermedia del movimiento, indicando que una mayor variabilidad en las fases intermedias conlleva un mayor error radial y por lo tanto una disminución en la precisión del saque. No obstante, la variabilidad de la trayectoria de la mano en la fase final del

movimiento en el eje X, se relacionó positivamente con el error radial en la parte final del movimiento. Estos resultados se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3.

Correlación entre el error radial de los servicios y las desviaciones típicas en los ejes X, Y y Z en diferentes fases del movimiento.

<b>Error Radial</b>	<b>Variabilidad Eje X decil 9</b>	<b>Variabilidad Eje X decil 10</b>	<b>Variabilidad Eje Y decil 4</b>	<b>Variabilidad Eje Y decil 5</b>	<b>Variabilidad Eje Z decil 6</b>
	0.414	0.555	0.388	0.432	0.466
Sig. (bilateral)	0.026	0.002	0.038	0.019	0.011
N	29	29	29	29	29

### 3.1.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este estudio se ha tratado de relacionar los valores de precisión y de velocidad de los saques de jóvenes tenistas con la variabilidad del movimiento. Para ello se han utilizado una metodología discreta de estimación de la variabilidad cinemática de la acción y metodologías continuas sobre la trayectoria del movimiento de la mano que sujeta la raqueta.

Atendiendo a los resultados obtenidos, no se ha encontrado relación entre la variabilidad del movimiento expresado en las variables cinemáticas analizadas en este estudio mediante métodos discretos (James, 2004), con la precisión de los saques. Estos resultados no concuerdan con algunos trabajos anteriores en los que algunas de estas variables se relacionaron con una disminución en el rendimiento en velocidad o precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo et al., 2012). No obstante, los resultados obtenidos en la variabilidad del rango de movimiento en el eje longitudinal de la mano que sujeta la raqueta parecen estar relacionados con una disminución de las velocidades máximas de los saques. Las variaciones en el rango de movimiento en este eje están relacionadas con la variación en la altura de golpeo de la pelota (eje Z). Estas variaciones en la altura del golpeo de la pelota podrían obligar al deportista a disminuir la velocidad de sus servicios para intentar ajustarse a los golpes de la pelota. No obstante, los

resultados actuales no permiten establecer una clara relación entre estas variables y sería necesario profundizar en estudios en este sentido.

La división temporal de la ejecución técnica del saque en varias fases, ha aportado información más detallada acerca de las características de la ejecución y del efecto de la variabilidad de la ejecución sobre el rendimiento. De este modo, se puede indicar sobre qué fases del movimiento se obtienen resultados más elevados de variabilidad. Se ha podido observar que la mayor variabilidad de la trayectoria se observa en la fase final del movimiento, y se corresponden con los momentos en los que hay una mayor velocidad en los segmentos corporales, ya que las velocidades más altas de la mano en la ejecución del saque en tenis se encuentran próximas al momento del golpeo (Fleisig, et al., 2003). Esto ocurre en los tres ejes analizados, aspecto que podría indicar que en dicho momento y como consecuencia de la velocidad que adquiere la mano, los deportistas muestran menor capacidad para replicar el mismo gesto técnico, aspecto que va en la línea de los trabajos de Glass and Mackey (1988) y Newell and Slifkin (1998) en los que se observa que en la repetición de múltiples ejecuciones de un mismo gesto técnico no se observan dos movimientos iguales. Otra explicación que podría corroborar estos aumentos de variabilidad en la parte final del gesto técnico, podría ser que, al tratarse de la parte final del movimiento, el deportista tiene que intentar corregir cualquier posible error o fluctuación durante las fases iniciales e intermedias del movimiento con el objetivo de alcanzar el rendimiento óptimo en el resultado de la ejecución. Estas cuestiones abren nuevos campos de actuación y nuevas preguntas de investigación que deben guiar una aproximación científica del entrenamiento de la técnica de este tipo de gestos como el saque en tenis.

Por otro lado, en nuestro estudio, se observa que al final del gesto técnico se producen grandes aumentos en la variabilidad del gesto técnico, pero esta variabilidad no parece afectar a ninguna de las variables de rendimiento. Los resultados de este trabajo, pueden complementar el efecto que tiene la variabilidad sobre la ejecución, haciendo referencia a que no toda la variabilidad puede ser considerada como positiva y que en función de en qué parte del gesto surja esta variabilidad, tendrá unas consecuencias diferentes sobre el rendimiento o sus variables en la tarea.

A su vez, al observar el efecto de esta variabilidad sobre la precisión, se observó que un aumento en la variabilidad en la fase intermedia del gesto (en los ejes Y y Z) conllevaba un aumento del error radial. El aumento de la variabilidad en esta fase intermedia puede indicar que es en esta fase en la que se producen mayores ajustes, necesarios para efectuar el control del golpeo de la pelota. Estos resultados van en la línea de trabajos previos en los que encontraron relaciones inversas entre aumentos en la variabilidad del movimiento y la precisión en acciones de corta duración, donde se mostraron que aumentos en la variabilidad en la velocidad de la mano provocaban disminuciones en la precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo et al., 2012). Por otro lado, en la parte final del gesto no se encontraron relaciones en ninguna de las variables de rendimiento, lo que parece indicar que una vez realizados los ajustes en la parte inicial e intermedia del gesto, el resultado de la acción ya no varía para ninguna de las variables analizadas. Estos resultados están en la línea de los obtenidos por Wagner et al., (2011) que encontraron resultados en los que los jugadores más expertos poseen la capacidad de compensar incrementos en la variabilidad durante la fase final del gesto técnico.

Respecto a los resultados que relacionan la variabilidad cinemática del comienzo del movimiento y la velocidad de los saques, los jugadores que presentan una mayor variabilidad en la fase inicial del movimiento presentaban una disminución de la velocidad de los servicios, aspecto que podría ser debido a la necesidad de ajustar el movimiento en función del lanzamiento de la pelota, lo que podría implicar una reducción del tiempo en el que poder aplicar fuerza y por tanto una pérdida de velocidad en el saque. Los resultados de disminuciones de la velocidad como consecuencia de la variabilidad en el inicio del gesto, parecen mostrarse en contraposición con los estudios de Schöllhorn et al., (2009) y Phillips, et al., (2010), los que indicaban que una mayor variabilidad permitía al sujeto una mayor exploración y adaptación a las necesidades del entorno, lo que permitía al deportista responder de un modo más eficaz ante las diferentes acciones de juego.

Los resultados obtenidos en el estudio ayudan a clarificar los efectos de la variabilidad como característica inherente del movimiento, tratando de mostrar cómo pueden influir las oscilaciones de variabilidad sobre las variables de rendimiento. Sería

interesante profundizar sobre los procesos causantes de esta variabilidad para tratar de aportar más información sobre los efectos de la variabilidad en diferentes fases del gesto técnico, que pudieran explicar sus efectos sobre las variables de rendimiento en esta u otras acciones de juego.

### 3.1.6. REFERENCIAS

Bahamonde, R. (2000). Angular momentum changes during the tennis serve. *Journal of sport science*, 18, 579-592.

Bayios, I.A., Anastasopoulou, E.M., Sioudris, D.S., y Boudolos, K.D. (2001). Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 41(2), 229-235.

Darling, W.G., y Cooke, J.D. (1987). Chance in the variability of movement trajectories with practice. *Journal of Motor Behavior*. 19(3):291-309.

Fleisig, G., Nicholls, R., Elliott, B., y Escamilla, R. (2003). Kinematics used by World class Tennis players to produce high-velocity serves. *Sport Biomechanics*, 2:1, 51-64.

Glass, L., y Mackey, M.C. (1988). *From clocks to chaos: The rhythms of life*. Princeton, New York: Princeton University Press

Gorostiaga, E.M., Granados, C., Ibañez, J., y Izquierdo, M. (2005). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 26(3), 225-232.

Hamill, J., Haddad, J.M., y McDermott, W.J., (2000). Issues in quantifying variability from a dynamical systems perspective. *Journal of Applied Biomechanics* 16, 407-418.

James, C.R. (2004). Considerations of Movement Variability in Biomechanics Research. En: Stergiou N, ed. *Innovative Analyses for Human Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers: 29-62.

Kovacs, M.S. y Ellenbecker T.S. (2011). A performance evaluation of the tennis serve: Implications for strength, speed, power, and flexibility training. *Strength and Conditioning Journal* 33(4), 22-30.

Matsuo, T., Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., Barrentine, S.W. y Andrews, J.R. (2001). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 1-13.

Menayo, R., Moreno, F.J, Fuentes, JP., Reina, R. y Damas, J.S. (2012). Relationship between motor variability, accuracy and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33, 45-53.

Newell. K.M. y Slifkin, A.B. (1998). *The nature of movement variability*. In: Piek JP, ed. Motor behavior and human skill: a multidisciplinary perspective. Champaign, IL: Human Kinetics, 143-60.

Phillips, E., Davids, K., Renshaw, I. y Portus, M. (2010). Expert performance in sport and the dynamics of talent development. *Sports Medicine*, 40(4), 271-283.

Reid, M., Whiteside, D. y Elliott, B. (2011). Serving to different locations: set-up, toss, and racket kinematics of the professional tennis serve. *Sports Biomechanics*, 10:4, 407-414.

Schmidt, R.A., Zelaznick, H.N., Hawkins, B., Frank, J.S. y Quinn, J.Y. (1979). Motor-output variability of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86, 415-451.

Schöllhorn, W.I., Mayer-Kress, G., Newell, K.M. y Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptative behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement science*, 28, 319-333.

Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2003). Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 96, 423-434.

Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2006). Comparison between novices and experts of the velocity accuracy trade off in overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 103, 503-514.

Wagner, H., Pfusterschmied, J., von Duvillard, S. y Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sport Science and Medicine*, 10, 73–80.

Winter, D.A., (1984). Kinematic and kinetic patterns of human gait; Variability and compensating effects. *Human Movement Science* 3, 51-76





***ESTUDIO 2: VARIABLE TRAINING: EFFECTS ON THE  
VELOCITY AND ACCURACY IN THE TENNIS SERVE***

*Journal of Sports Sciences, 2014: 32 (14) 1383-1388*

*Hernández-Davó, H.; Urbán, T.; Sarabia, J.M.; Juan-  
Recio, C.; Moreno, F.J.*



### 3.2.1. ABSTRACT

Variable practice has been shown as an effective strategy to improve open motor skills. However, the usefulness of this procedure in closed motor skills remains controversial. The following study has the objective of analyzing the effects of variability practice in the improvement of a closed skill. The skill studied has been the tennis serve. Thirty young tennis players ( $13 \pm 1.52$  years) took part in this study divided in two groups. One group practiced in variable conditions and the other group in consistence conditions. Both groups performed 12 training sessions (60 serves/ session). The variable practice group improved their accuracy significantly compared with the consistence group ( $F_{3,25} = 3.078$ ;  $p = .035$ ). The velocity of serve increased after the training in both groups ( $F_{3,25} = 15.890$ ;  $p = .001$ ). The practice in variability conditions seems to be effective in improving the performance of the tennis serve.

**Keywords:** *Radial Error, Adaptation, Learning*

### 3.2.2. INTRODUCTION

Frequently, sport ability learning has been carried out through the repetition of technical movements in the same conditions as in sport competition (Gentile, 1972). Nevertheless, different motor learning methods based on the modification of practice conditions have been suggested for the sport technique training, among which we can find contextual interference (Magill and Hall, 1990; Menayo, Moreno, Reina and Fuentes, 2009; Menayo, Moreno, Sabido, Fuentes and García, 2010; Wulf and Shea, 2002) and variable practice (Crespo, 2009; Douvis, 2005; Menayo, Fuentes, Moreno, Reina and García, 2010).

While contextual interference approach suggests adding different tasks to a criterion task interfering the acquisition and later enhances retention, variable practice suggests the execution of a motor skill including variations in its execution and modifications in the environment to facilitate learning (Schmidt and Lee, 2011). The common point of

these methodologies is the variation in the execution of a motor skill during the learning process. The present study will focus on the effect of variable practice in sport movement training.

Variable practice has been shown to be an efficient procedure for the learning of motor skills (Douvis, 2005; Menayo, et al, 2010). Based on the cognitive behavioral model, the motor scheme theory (Schmidt, 1975) suggests that through practice we acquire a series of basic rules which are stored in our memory as motor schema. These movement rules which are acquired and stored in our memory would be used in a different variety of movements with a similar spatial and temporal structure. From this perspective, learning and motor ability training should be carried out in a varied environments in order to allow the subject to create a motor program capable of better adaptation to the environmental needs. Based on the variable practice methodology, the exposure to different situations and the variations in the execution and in the context, will favour the acquisition of more flexible motor programs.

Traditionally essays on variable practice based on the Motor Program theory tried to prove how variability benefits predominantly the learning of open skills (Lee, Magill and Weeks, 1985; Shapiro and Schmidt, 1982; Van Rossum, 1990). These works concluded that variable practice seemed the most effective solution for learning open skills, in which environmental and contextual conditions are in constant change. A more flexible motor program would allow a better adaptation to the multiple possibilities that can be found in the environment.

Nevertheless, some studies have found beneficial results from the variable practice in closed skills, which are currently under discussion. One of the first works in this line of study is that by Shea and Kohl in 1991, which identified the positive effect of variable practice in retention tests. Different interpretations on the benefits of variable practice in stable environments can be found, being this a current topic of research (Newell, 2003; Schmidt 2003; Sherwood and Lee, 2003).

An alternative to the cognitive interpretation of the variable practice arises from a non-linear perspective in which noise and the adaptation capacity of biological beings when confronted with changing situations in the environment are the main axis (Davids,

Glazier, Araújo and Bartlett, 2003). Davids et al. consider that when a system tries to adapt to the situations of the task with the aim of improving its performance, it shows a higher variability which allows a wider study of the task conditions. On the same line, Riley and Turvey (2002) describe human behavior as a combination of variability and determinism, in which human beings use the variability of their own movement in order to optimally adapt to the task conditions in an optimal way.

From this perspective, movement variability can be understood as something functional, far from being a system error that should be minimized or eliminated. Therefore, and taking into account that variability is an inherent characteristic of movement, it seems reasonable to think that variable practice is a means to help motor learning.

Therefore, applying variability in the learning process helps the adaptation ability to the tasks set. The increase of variable practice would force the system to adapt to higher levels of demand, as it happens in open skills, in which variable practice involves an increase in the variations of the environment and which prepare the athlete to face these variations in a more efficient way. In closed skill learning, in which the environmental conditions are quite stable, variability comes mainly from the individual or organismic constraints (Davids, Button and Bennet, 2007). Increasing variability levels in these situations would allow the motor system to increase the ability to adapt to its own intrinsic variability.

Recently, under this point of view, has been proposed differential learning methodology as an alternative approach to variable practice, Differential learning has been developed according to the principles of individuality, movement system variability and the non-repeatability of movements (Schöllhorn, Beckmann and Davids, 2010). Originally variable practice was suggested with the aim of acquiring more flexible motor patterns through the development of motor control rules or patterns maintaining the invariants characteristics of the movement (Schmidt, 1975). Under differential learning approach, variability is enhanced in order to discover the space of possible performance solutions to prepare the athlete or patient to be able to adapt to new events (Schöllhorn et al., 2010).

For learning to happen, variability levels should be within an optimal degree that leads to an adaptation stimulus (Davids et al., 2003). If there are too low levels of variability, this will mean limited stimulation and therefore limited adaptation. On the other hand, very high levels over the adaptation capacity may cause undesired adaptations, such as the appearance of a new movement pattern (Moreno and Ordoño 2009). Various authors have pointed out in this sense that variability is one of the elements that provide biological beings the ability to learn and adapt (Latash, 1993; Newell and Corcos 1993).

Previous studies have analyzed the benefits of variable practice from this perspective to improve motor learning and sport performance (Beckman and Schöllhorn, 2003; Jaitner and Pfeifer, 2003; Jaitner, Kretschmar and Hellstern, 2003; Rein and Simon, 2003; Schöllhorn, Röber, Jaitner, Hellstern and Käubler, 2001; Schönherr and Schöllhorn, 2003; Wagner, Müller, Kösters, Von Tscherner and Brunner, 2003). This type of practice seems to lead to increases of variability in the performance of the movement (Menayo, Moreno, Fuentes, Reina and Damas, 2012; Miller, 2002; Sabido, Caballero and Moreno, 2009). Movement instabilities, in the form of critical fluctuations, or temporary losses in stability, are exhibited when a transition from one coordination pattern to another may be about to occur (Schöner, Haken and Kelso, 1987). In the adaptation transition can be seen increased individual variability, compatible with loss in performance, before a transition followed by decreased variability as the system settles into a new stable movement (Haken et al., 1985), as a consequence of the exploratory processes and of the search of an optimal performance (Davids et al., 2003; Scholz and Schöner, 1999; van Emmerik and van Wegen, 2000).

The training of the serve in tennis, as a closed skill, continues to be based on repetitions of the technical components without varying the practice conditions. If we consider the aforementioned, varying the execution conditions could be beneficial as a training method. For this purpose, we have applied a variable practice methodology, increasing the natural level of the player's intrinsic variability but maintaining the main characteristics of the serve movement. The aim of our study is to show how a methodology based on variable practice can affect the performance in the serve of

tennis players, focusing performance on the improvement of speed and accuracy factors.

### **3.2.3. METHOD**

#### **3.2.3.1. Participants**

Thirty (30) young tennis players voluntarily took part in the study (20 males and 10 females) with an average age of  $13.0 \pm 1.52$  years. These players had 2 or 3 years of experience in tennis. This group was divided into 15 players for the experimental group and 15 players for the control group, with a training frequency of between two and three times per week (2 hours per day) until 12 sessions were completed. The groups were balanced by level in function of ITN (*International Tennis Number*) and by gender. Four players were excluded from the result analysis as they did not fully complete the study, because they did not attend all the training sessions, reason why variations in the mean values of the groups can be observed in the pre-test (not showing significant differences). Data was treated anonymously and all participants were informed of the risks and benefits of the trial and signed a written consent according to the Helsinki Declaration of 1975 revised in October 2000.

#### **3.2.3.2. Procedure**

For all the evaluations, the players placed themselves behind the baseline in the left hand side of a clay tennis court, at a distance of 0.8 meters from the centre service mark. Each player executed 10 minutes of specific warm-up and 2 serves before the evaluation to adapt to the protocol. The balls (new Dunlop Brilliance) were given one by one for each serve. Each player performed 20 serves, divided in two blocks of 10 serves, aiming at a target located in the service box (figure 1). There was a 30 second pause between both blocks and 5 second between each serve. All individuals were given the same instructions: "*Serve at the highest speed and with the highest accuracy possible aiming at the target*".

The training program consisted of 12 training sessions for both groups. Once it was finished, a final evaluation and two retention tests after 2 and 4 weeks were carried out.

Sixty (60) serves were carried out in each of the training sessions, divided into two series of 2 blocks of 15 attempts. To avoid fatigue, participants rested 45 minutes between both series, five minutes between the blocks and 30 seconds between each attempt. During the training and in the test the researchers did not provide augmented feedback to the players about their accuracy and velocity, independently to the group of practice.

The consistency group performed the serve technical movement in repetitions without variation in the motor pattern in all tries. The variability group performed the serves in varied conditions with the instruction of not repeating any condition during the service block, but during the session the same block were repeated 4 times. These exercises modified the technical movement varying in the following aspects: modification of the base of support, placement of the subject in the court, the throw of the ball, spatial orientation and length of the movement. The following are the conditions manipulated in the exercises performed:

- Modifying the base of support: on the floor, on 5 and 10 cm thick mats, standing on one leg (dominant and non-dominant leg), changing the width of the base of support.
- Modifying the position of the player in the court: one meter behind and in front of the baseline; in centre court; at a 2.5 and 5 meter distance from the from the centre service mark.
- Modifying the toss of the ball: in front of, over and behind the player; to the right, over and left of the player; very high, at a normal height and very low.
- Modifying the spatial orientation: facing the net, in a 45° and a 90° angle to the baseline.
- Modifying the length of the movement: starting from a pause, preparing to hit the ball forward and preparing to hit the ball exaggeratedly behind.

### 3.2.3.3. Instruments

To record the speed of the ball in each of the serve, a “Sports Radar SR3600” with  $\pm 0.44$  meters/second sensitivity was used. The radar (speed gun) was placed behind the players pointed at the target located in the open space of the service box.

During the evaluation, the service box was recorded with a “Sony HDR-SR8E” digital camera (50 Hz sampling frequency) to establish the impact zone of each serve. The bounces of the ball were digitalized to establish the accuracy of each serve. A Visual Basic 5.0 application developed in the laboratory was used for digitalization and Matlab 7.11 routine was used for the calculation of real-space Cartesian coordinates of the ball bounces. The camera was placed at a 3 meter height from the floor pointing at to the service box.

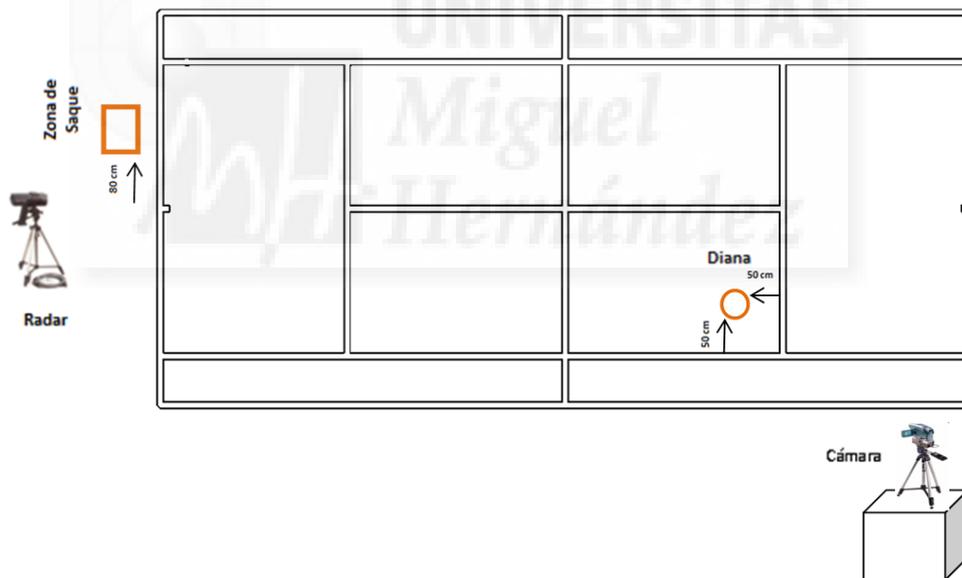


Figure 1. Position of materials and instruments in the tennis court.

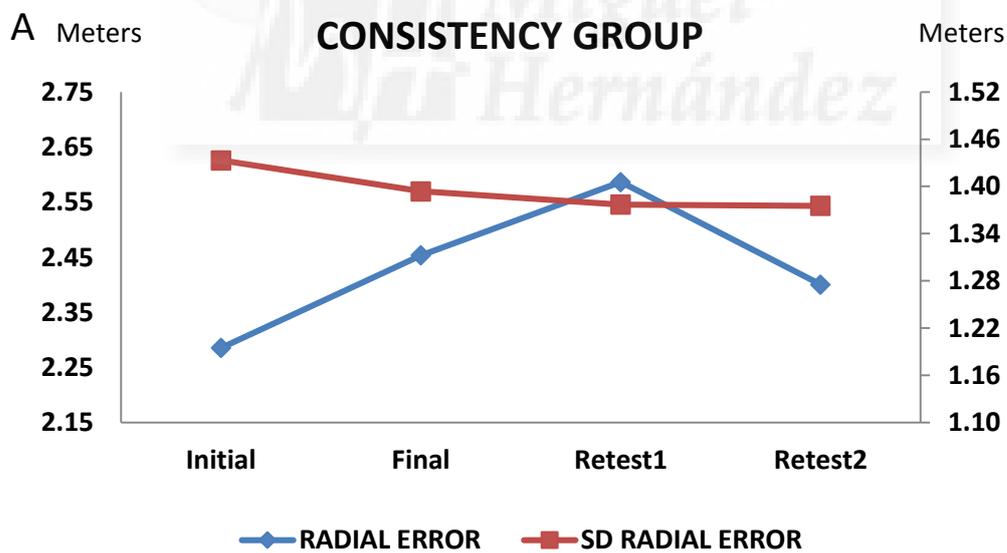
### 3.2.3.4. Data analysis

The accuracy was obtained, regarding the centre of the target in each of the serve series, the radial error of the ball’s bounce was calculated. To estimate the error variability, the standard deviation of the radial error of the serve series was calculated.

A Kolmogorov-Smirnov test was carried out to test the data deviation from normal distribution. To observe the effects of training on serve velocity and accuracy, a mixed ANOVA was performed with type of practice as between group variable (variability vs. consistency) and practice effect as intra group variable (with four levels: initial, final, retention in week 2 and in week 4).

### 3.2.4. RESULTS

Statistical analysis shows that accuracy was affected by the type of training ( $F_{3,25} = 3.078$ ;  $p = .035$ ). The group that practiced in variability conditions improved accuracy, reducing radial error ( $2.67 \pm 1.52$  m, initial;  $2.21 \pm 1.19$  m, final). The group which practiced in consistency conditions did not improve accuracy significantly. These differences are shown between the initial test and the final test, showing no differences between the groups in the two retention tests (figure 2). There are no significant differences in error variability depending on the type of training.



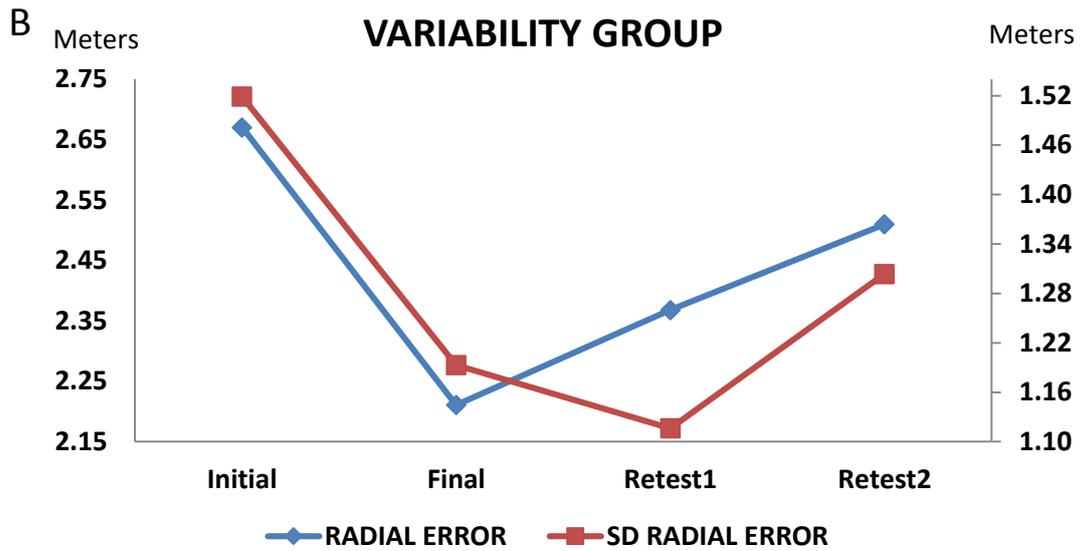
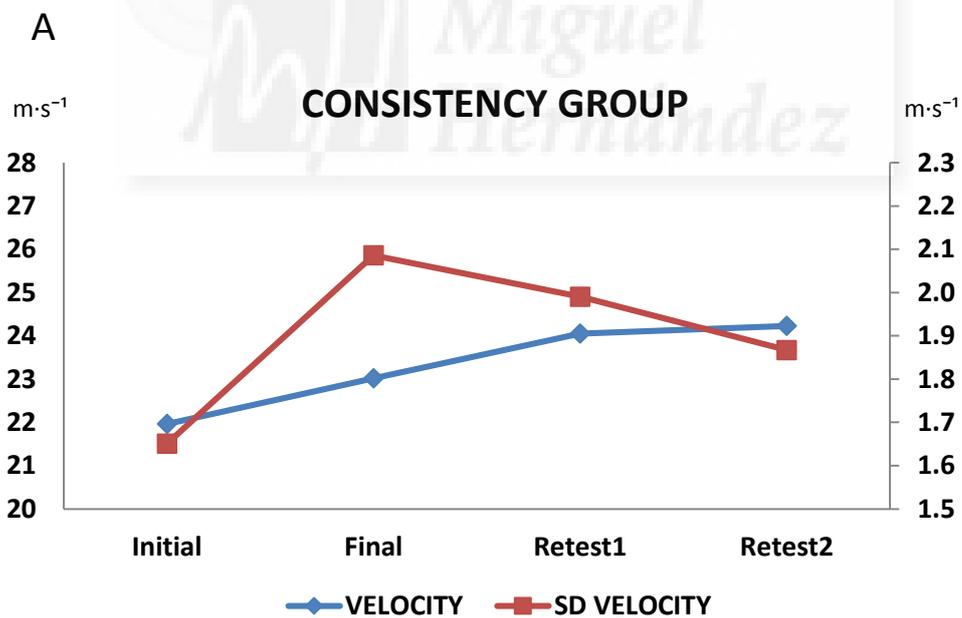


Figure 2. Accuracy results expressed by radial error in meters shown by the group that trained in consistency conditions (A) and the group that trained in variable conditions (B) in each of the tests. The secondary axis shows the radial error standard deviation in meters.



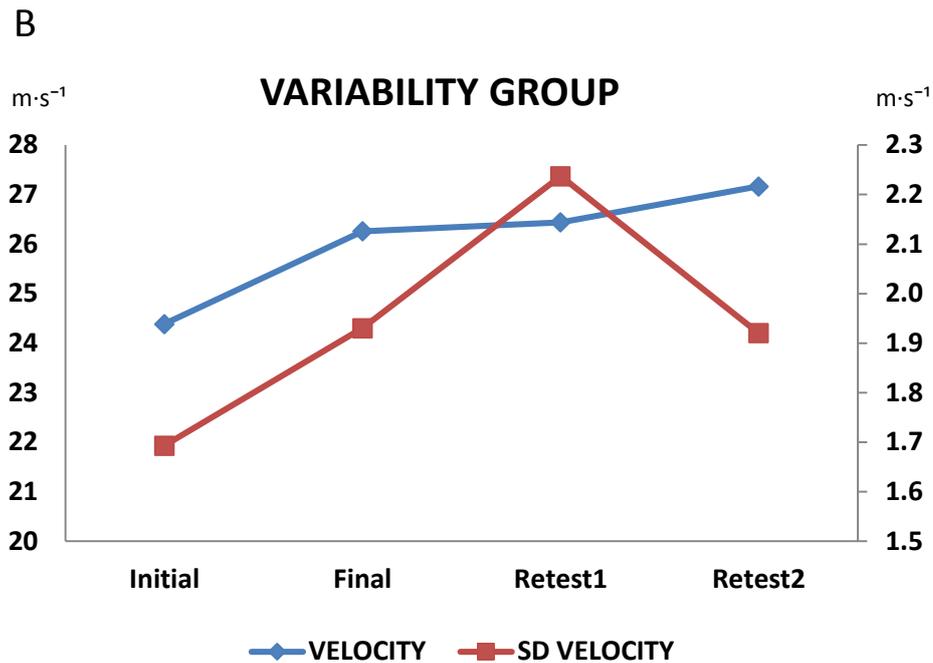


Figure 3. Velocity results in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  shown by the group that trained in consistency conditions (A) and by the group that trained in variable conditions (B) in each one of the tests. The secondary axis shows the standard deviation in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Both groups increased serve velocity significantly after the intervention period ( $F_{3,25} = 15.890$ ;  $p = .001$ ). The group that trained under variability increased serves velocity by 7.68% ( $24.38 \pm 1.69 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , initial;  $26.26 \pm 1.93 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , final). The group that trained under consistency increased their velocity by 4.8% ( $21.96 \pm 1.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , initial;  $23.02 \pm 2.08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , final) (figure 3). Velocity variability increased after training in both groups ( $F_{3,25} = 3.824$ ;  $p = .015$ ), showing no differences depending on the type of training.

### 3.2.5. DISCUSSION

There are many studies that try to explain the possible benefits of variable practice in motor skill learning. Nevertheless, most of them have focused on open-skills learning (Lee, Magill and Weeks, 1985; Newell, 2003; Schmidt, 2003; Shapiro and Schmidt, 1982; Sherwood and Lee, 2003; Van Rossum, 1990) In this study the effect of variable training on the variables of velocity and accuracy of a closed skill such as tennis serve in young

tennis players was studied. Mixed ANOVA was applied to analyze the effect of training in velocity and error measures (Matthews Altman Campbell and Royston, 1990). Nevertheless Nevill (1989) and Nevill and Copas (1991) suggested the use of GLMs to better estimate differences in variability error, due to the fact that the residuals are unlikely to follow a normal distribution. With the data obtained in the studied sample, training in variability conditions in tennis serve seems to be a more appropriate methodology, obtaining better results in accuracy and an increase in velocity after training (Crespo, 2009; Menayo et al., 2010).

Previous studies that used this methodology showed a decreases in performance that increases with the practice trials as a consequence of the exploratory processes and the search for an optimal execution (Davids et al., 2003; Riley and Turvey, 2002; Scholz and Schöner, 1999; van Emmerik and van Wegen, 2000). On the other hand, in this study the results were opposite to the previously studies mentioned, because the participants in this study improved accuracy and velocity in all the tests. According to Douvis (2005), the group that trained in variability, improved accuracy significantly reducing their radial error, as opposed to the consistency group that increased their radial error, showing significant differences between both groups.

These results on learning closed skills show similar results as those obtained in similar studies on open skills (Davids et al., 2003; Douvis, 2005; Newell and Slifkin, 1998; Riley and Turvey, 2002), in which movement variability is understood as something functional, intrinsic to the subject that allows the ability to learn and adapt better to the environment (Latash, 1993; Newell and Corcos 1993; Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell and Michelbrink, 2009). The approach to variable practice of this study partially agrees with this perspective and differential learning methodology (Schöllhorn et al., 2010). However, the variable practice methodology applied in this study has tried to maintain essential characteristics of the serve movement like the sequence of actions and relative timing.

In conclusion, variable practice can be an efficient alternative for training closed skills. In this way variability appears as a functional element for optimization and improvement in performance. From this perspective, it seems interesting to look into

the effect of the different training loads in variability and their possible use with the aim of improving performance. In the same way, it would be convenient to replicate this study in different age ranges and performances to establish the effect of the aforementioned variables on the data obtained.

### 3.2.6. REFERENCES

Beckman, H. and Schöhlhorn, W. (2003). Differential learning in shot put. In W. Schöllhorn, C., Bohn, J.M., Jäger, H., Schaper and M. Alichmann (eds.), European workshop on movement science Mechanics and Physiology, Münster (Germany), 22-24 of May (Book of Abstract).

Crespo, M. (2009). Tennis coaching in the era of dynamic systems. *Journal of medicine and science in tennis*, 14, 20-25.

Davids, K., Button, C. and Bennet, S. (2007). Dynamic of Skill Acquisition. A constraints Led Approach (Chapter 2). Champaign IL: *Human Kinetics*.

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D. and Bartlett, R.M. (2003). Movement systems as dynamical systems: The role of functional variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33, 245-260.

Douvis, S.J. (2005). Variable practice in learning the forehand drive in tennis. *Perceptual and Motor Skills*, 101, 531-545.

Gentile, A. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17, 3-23.

Jaitner, T., Kretschmar, D. and Hellstern, W. (2003). Changes of movement patterns and hurdle performance following traditional and differential hurdle training. In E. Müller, H. Schwameder, G. Zallinger, and V. Fastenbauer, (eds.), 8th Annual Congress of ECSS, Salzburg, 9-12 July (Book of abstract).

Jaitner, T. and Pfeiffer, M. (2003). Developing jumping strength based on systems dynamics principles. In W. Schöllhorn, C. Bohn, J.M. Jäger, H. Schaper, and M. Alichmann, (eds.), European workshop on movement science Mechanics and Physiology, Colonia, 31 May - 2 June (Book of abstract).

Kelso, J.A.S. and Ding, M. (1993). Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. In K.M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), Variability and Motor Control (291-316). Champaign IL: *Human Kinetics*.

Latash, M.L. (1993). Control of Human Movement. Champaign. Illinois: *Human Kinetics*.

Lee, T.D., Magill, R.A. and Weeks, D.J. (1985). Influence of practice schedule on testing schema theory predictions in adults. *Journal of Motor Behavior*; 17: 283–299

Mathews, J.N.S., Altman, D.G., Campbell, M.J., and Royston, P. (1990). Analysis of serial measurements in medical research. *British Medical Journal*; 300: 230-5

Menayo, R.; Fuentes, J.P.; Moreno, F.J. and Reina, R. (2009). Aplicación de un sistema automatizado para el aprendizaje y el entrenamiento del tenis en condiciones de interferencia contextual. *Apunts Educación Física y Deportes*, 96, 27-33.

Menayo, R.; Fuentes, J.P.; Moreno, F.J.; Reina, R. and García, J.A. (2010). Relación entre la variabilidad de la práctica y variabilidad en la ejecución del servicio plano en tenis. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 25, 75-92.

Menayo, R., Moreno, F.J., Fuentes, J.P., Reina, R. and Damas, J.S. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33, 45-53

Menayo, R., Moreno, F.J., Sabido, R., Fuentes, J.P. and García, J.A. (2010). Simultaneous treatment effects in learning four tennis shots in contextual interference conditions. *Perceptual and Motor Skills*, 110(2), 661-673

Miller, S.A. (2002). Variability in basketball shooting: practical implications. In Y. Hong, *International Research in Sports Biomechanics* (27-34). London: Routledge.

Moreno, F.J. and Ordoño, E.M. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 22, 1-21.

Nevill, A.M. (1988). The analysis of errors in short-term motor memory research using trial profiles. *Journal of motor behavior* 20, No. 2 1988, pp. 165-79.

Nevill, A.M. and Copas, J.B. (1991). Using Generalized Linear Models (GLMs) to Model Errors in Motor Performance. *Journal of motor behavior*, 23(4), 241-250.

Newell, K.M. (2003) Schema theory (1975): Retrospectives and prospectives. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 74, 373-388.

Newell, K.M. and Corcos, D.M. (1993). Issues in variability and motor control. In K. M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), *Variability and Motor Control* (1-12). Champaign IL: *Human Kinetics*.

Rein, R. and Simon, C. (2003). Influence of technique variation training on technique variability in long distance running. In N. Balagué (ed.), *Proceedings of the 1st Meeting of Complex Systems and Sports*, Barcelona, 14-17 of May (Book of abstract).

Riley, M.A. and Turvey, M. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of Motor Behavior*, 64, 99-125.

Sabido, R., Caballero, C. and Moreno, F.J. (2009). Análisis de la variabilidad entre diferentes situaciones en el lanzamiento de tres puntos en baloncesto. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 17(5), 76-87.

Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. "*Psychological Review*", 82, 225-260.

Schmidt, R.A. (2003) Motor schema theory after 27 years: Reflection and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 366-375.

Schmidt, R.A. and Lee, T.D. (2011). Motor Control and Learning (Chapter 11). Champaign IL: *Human Kinetics*.

Schöllhorn, W., Beckmann, H. and Davids, K. (2010) Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicina (Kaunas)*, 46(6), pp. 365-373.).

Schöllhorn, W., Mayer-Kress, G., Newell, K.M. and Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement Science*, 28, 319-333.

Schöllhorn, W., Röber, F., Jaitner, T., Hellstern, W. and Käubler, W. (2001). Discrete and continuous effects of traditional and differential sprint training. 6th Annual Congress of the European College of Sport Sciences Colonia, 24-28 of July (Book of abstract).

Scholz, J.P. and Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289-306.

Schönherr, T. and Schöllhorn, W. (2003). Differential learning in basketball. In W. Schöllhorn, C., Bohn, J.M., Jäger, H., Schaper, and M. Alichmann.(eds.), European workshop on movement science, Mechanics, and Physiology, Münster (Germany), 22-24 of May (Book of abstract).

Shapiro, D.C. and Schmidt, R.A. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In J.A.S. Kelso and J.E. Clark (Eds), *The development of movement control and coordination*. New York. Wiley.113-150.

Shea, C.H. and Kohl, R.M. (1991) Composition of practice: influence on the retention of motor skills. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 61(2), 169-177.

Shea, J.B. and Morgan, R.L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 183. Pages 179-187

Sherwood, D.E. and Lee, T.D. (2003) Schema theory: Critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 376-382.

Van Emmerik, R.E.A. and Van Wegen, E.E.H. (2000). On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 394-406.

Van Rossum, J.H.A. (1990). Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice theory. *Human Movement Science*, 9, 387-435.

Wagner, H., Müller, E., Kösters, A., Von Tschärner, V. and Brunner, F. (2003). Optimization of complex movement patterns (handball throw) motor development and the variation of kinematic and EMG parameters. In E. Müller, H. Schwameder, G., Zallinger, and V. Fastenbauer (eds.) 8th Annual Congress of the ECSS, Salzburg, 9-12 of July (Book of abstract).

Wulf, G. and Shea, C.H. (2002). Principles derived from the study of simple motor skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 185-211.

**ESTUDIO 3: EFECTO DE LA PRÁCTICA VARIABLE SOBRE  
LA PRECISIÓN DEL TIRO LIBRE EN BALONCESTO CON  
JÓVENES JUGADORES**

*Kronos, 2014: 13 (1)*

*Hernández-Davó, H.; Urbán, T.; Morón, H.; Reina, R.;*

*Moreno, F.J.*



### 3.3.1. RESUMEN

El tiro libre en baloncesto, es una acción en el cual cobra una gran importancia la precisión del lanzamiento y es un gesto que tradicionalmente se ha entrenado mediante la repetición del gesto técnico manteniendo constantes las condiciones de práctica. El objetivo del estudio es mostrar la eficacia de un entrenamiento en variabilidad del tiro libre en baloncesto comparado con un entrenamiento en especificidad. Diez jóvenes jugadores de baloncesto ( $13 \pm 0.33$  años) efectuaron nueve sesiones en 3 semanas de entrenamiento (360 lanzamientos) para cada una de las metodologías (consistencia y variabilidad), completando un total de 720 lanzamientos. El entrenamiento en especificidad incrementó la eficacia de los lanzamientos. El entrenamiento en variabilidad no mejoró la precisión en un primer instante. No obstante, tras el descanso, en los test de retención, los resultados de precisión mejoraron significativamente por encima de los obtenidos tras el entrenamiento en consistencia ( $F_{1,9} = 6.804$ ;  $p < 0.05$ ). Los resultados han mostrado la aparición de un proceso de adaptación a la variabilidad que produce incrementos en la precisión tras un periodo de recuperación.

**PALABRAS CLAVE:** variabilidad, especificidad, precisión, eficacia.

### 3.3.2. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de la técnica deportiva, y el entrenamiento de la técnica del tiro libre en baloncesto particularmente, se han caracterizado por la repetición del gesto técnico sin modificar las condiciones de práctica (Gentile, 1972; Schöllhorn, Michelbrink, Welmski y Davids, 2009). Sin embargo, cada día son más los métodos de entrenamiento de la técnica que se basan en principios básicos de aprendizaje motor en los que se modifican las condiciones de práctica.

Una de estas metodologías que se centra en la modificación de las condiciones de ejecución es el entrenamiento en variabilidad, la cual se basa en la ejecución de un gesto técnico modificando tanto la propia ejecución motora como el entorno en el cual se practica. Tradicionalmente esta metodología de entrenamiento ha mostrado un efecto

positivo sobre habilidades abiertas (Lee, Magill y Weeks, 1985; Shapiro y Schmidt, 1982; Van Rossum, 1990), pero no estaba tan claro el efecto positivo de esta metodología sobre habilidades cerradas, en las que las condiciones de la ejecución se mantienen constantes o con escasas variaciones, como es el caso del tiro libre en el baloncesto.

Durante los últimos años, comienzan a encontrarse trabajos que corroboran el efecto positivo del entrenamiento en variabilidad sobre habilidades cerradas y con entornos estables (Bauer y Schöllhorn, 1997; Davids, Glazier, Araújo y Bartlett, 2003; Miller, 2002), pero aún sigue habiendo discusión alrededor de los resultados.

Esta metodología basa sus efectos beneficiosos en la variabilidad que provoca este tipo de entrenamiento sobre los deportistas, la cual va a permitir a los deportistas adaptarse mejor a las diferentes situaciones que se puedan encontrar después en una situación deportiva. Según trabajos recientes (Caballero, Luis y Sabido, 2012; Harbourne y Stergiou, 2009; Riley y Turvey, 2002), el ser humano utiliza la variabilidad de su propio movimiento para poder adaptarse a las condiciones de la tarea de una forma óptima. Por este motivo parece razonable pensar que un entrenamiento en variabilidad puede ser un medio a utilizar con el objetivo de fomentar esa capacidad de adaptación al entorno. Consecuentemente, aplicar variabilidad en el proceso de aprendizaje facilita la capacidad de adaptación a las tareas propuestas. El incrementar la variabilidad obligaría al sistema a adaptarse a niveles de exigencia más elevados, tal y como ocurre en habilidades abiertas, en las que la variabilidad al practicar supone un incremento en las variaciones del entorno y que preparan al deportista para afrontar de forma más eficaz estas variaciones. En el aprendizaje de habilidades cerradas, en las que las condiciones del entorno son relativamente estables, la variabilidad procede principalmente del sujeto. Incrementar los niveles de variabilidad permitiría al sistema corregir o adaptarse a su propia variabilidad intrínseca. Para que se produzca aprendizaje, los niveles de variabilidad deberán encontrarse dentro de un grado óptimo que suponga un estímulo de adaptación (Davids et al., 2003; Davids, Button y Bennett, 2008). Una baja carga de variabilidad, supondrá una escasa estimulación en el aprendiz y por lo tanto una baja adaptación; pero por el contrario, niveles excesivamente elevados pueden provocar adaptaciones no deseadas, como pueden ser la aparición de patrones motores alternativos (Moreno y Ordoño, 2009). Como consecuencia de la carga de

entrenamiento, parecen producirse pérdidas iniciales de rendimiento, pero tras esta pérdida de rendimiento, el sistema se recupera y tiende a mejorar a largo plazo a medida que van transcurriendo los entrenamientos, como consecuencia de la exploración del entorno y la búsqueda de una ejecución óptima por parte del aprendiz (Kelso y Ding, 1993; Newell y Corcos, 1993; Scholz y Schöner, 1999; van Emmerik y van Wegen, 2000; Zanone y Kelso, 1992). Estas modificaciones o variaciones en el rendimiento, van en la línea del Síndrome General de Adaptación (SGA) de Seyle (1956), según el cual tras la aplicación de una carga de entrenamiento, el organismo entra en una fase de alarma y su rendimiento disminuye. Tras este periodo y dando unos tiempos de recuperación óptimos, el organismo comienza a aumentar su rendimiento hasta alcanzar un nivel superior al inicial. Esto podría ir en la línea del trabajo de Shea y Kohl (1990) en el cual se observaron los beneficios de la práctica en variabilidad en los test de retención y en los test de transferencia.

El objetivo de este estudio es mostrar los efectos que tiene la metodología basada en el entrenamiento en variabilidad sobre la eficacia en el tiro libre en baloncesto.

### **3.3.3. MÉTODO**

#### **3.3.3.1. Participantes**

En el estudio participaron 10 jóvenes jugadores de baloncesto (todos ellos varones), con una media de edad de  $13.0 \pm 0.33$  años. Estos jugadores tenían una experiencia de práctica deportiva de entre 2 y 3 años y participaban de forma regular en las ligas provinciales. Los datos fueron tratados de forma anónima y todos los participantes informados de las condiciones del estudio, firmando sus tutores legales un documento de consentimiento informado.

### **3.3.3.2. Instrumental**

Durante las evaluaciones se filmó el aro y tablero desde una perspectiva cenital y lateral con una cámara digital “Sony HDR-SR8E” para determinar la zona de entrada del balón en el aro o la zona de golpeo en el tablero del mismo. La posición del balón fue digitalizada mediante el software Kinovea 0.8.15, y se calcularon las coordenadas reales de cada lugar de entrada o contacto del balón a partir de un sistema de referencia para poder determinar la precisión de los lanzamientos. Los resultados fueron corregidos mediante el software Matlab 7.11 para corregir la deformación de la imagen.

### **3.3.3.3. Procedimiento**

En todas las evaluaciones, los jugadores se situaron en la zona delimitada para el tiro libre en baloncesto (4.25 metros de la canasta). Cada jugador realizó 3 series de 10 lanzamientos en cada una de ellas, dando 1 minuto de recuperación entre series.

El mismo grupo efectuó el entrenamiento en especificidad y en variabilidad, de manera que durante las 3 primeras semanas entrenaron en especificidad y durante las 3 siguientes en variabilidad. Los jugadores efectuaban un total de 9 sesiones para cada una de las metodologías de entrenamiento, realizando 40 lanzamientos en cada una de las sesiones en las que se realizaron 360 lanzamientos, completando en la suma de ambas metodologías un total de 720 lanzamientos.

Se efectuaron evaluaciones antes y después de cada una de las fases de intervención y se realizaron 2 test de retención a las 2 y a las 4 semanas de haber finalizado el periodo de intervención (tabla 1). Todos los test de evaluación se efectuaron en condiciones estables y atendiendo a las normas reglamentarias del deporte.

Tabla 1. Periodización de los test y las diferentes metodologías de entrenamiento

PERIODO DE INTERVENCIÓN								
TEST INICIAL	Entrenamiento Especificidad	TEST 1	Entrenamiento Variabilidad	TEST 2	Descanso	RETENCIÓN 1	Descanso	RETENCIÓN 2
	3 Semanas		3 Semanas		2 Semanas		2 Semanas	

El entrenamiento en especificidad consistió en la repetición del gesto técnico durante todas las sesiones de entrenamiento, mientras en el entrenamiento en variabilidad los jugadores recibieron indicaciones para modificar diferentes aspectos de la ejecución como fueron:

- Trayectoria del balón: lanzando con mucha altura y poca altura en la parábola de la trayectoria del balón.
- Velocidad de ejecución tras la recepción del balón: lanzamiento con menor o mayor tiempo tras la recepción del balón.
- Posición y orientación del jugador respecto a la canasta: siempre desde dentro del círculo de tiro libre, hacemos que lancen justo por detrás y por delante de la línea y a la derecha o izquierda de la zona habitual de lanzamiento.
- Modificando los apoyos: lanzando con apoyo de ambos pies, con apoyo de pie derecho y con apoyo de pie izquierdo.
- Impulso: lanzando sin impulso, con impulso profundo y con salto y suspensión.

### 3.3.3.4. Análisis de los datos

Para evaluar la precisión, se calculó el error radial de la posición de la pelota con respecto al aro en el momento que el balón alcanzaba la altura del aro. Para estimar la variabilidad del error, se calculó la desviación típica del error radial. Para obtener el error obtenido en cada eje, se calcularon el error absoluto y el error variable para los ejes “X” e “Y”.

Además se calculó el porcentaje de acierto de los tiros y la precisión del lanzamiento mediante la escala de Wallace y Hagler (1979) modificada por Rein, Davids y Button (2010) la cual da una puntuación a cada lanzamiento en función de la precisión del mismo tal y como podemos observar en la tabla 2.

Tabla 2. Escala de Wallace y Hagler (1979) modificada por Rein et al., (2010) traducida al español

Puntuación	Características
1	La pelota pasa a más de 2 metros del aro
2	La pelota pasa a menos de 2 metros del aro
3	La pelota toca en el tablero y no se encesta
4	La pelota toca en el tablero y se encesta
5	La pelota toca la parte externa del aro independientemente de que se consiga o no la canasta
6	La pelota toca la parte interna del aro independientemente de que se consiga o no la canasta
7	La pelota entra limpiamente a la canasta

Previamente al análisis inferencial se realizó un test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar el ajuste de los datos a una distribución normal. Un ANOVA de medidas

repetidas, fue llevado a cabo para comprobar si existían diferencias entre los test antes y después de los diferentes tipos de práctica y los test de retención.

### 3.3.4. RESULTADOS

En la tabla 3 y en las Figuras 1 y 2 se pueden observar los resultados de la eficacia en los lanzamientos y su evolución durante el proceso de entrenamiento.

Tabla 3. Medias y desviaciones típicas de la eficacia en los lanzamientos. Se muestra el error radial, la variabilidad lineal del error radial (SD Error Radial), la precisión mediante la escala de Rein et al., (2010) y el porcentaje de acierto.

<i>Mediciones</i>	<i>Error radial</i>	<i>SD Error radial</i>	<i>Precisión</i>	<i>% Acierto</i>
<i>Test Inicial</i>	23.44 ± 6.63	13.22 ± 3.39	5.47 ± 0.43	38.44 ± 16.24
<i>Test 1</i>	18.45 ± 2.74	10.06 ± 2.02	5.77 ± 0.19	41.48 ± 10.82
<i>Test 2</i>	20.66 ± 3.87	12.19 ± 2.29	5.71 ± 0.36	39.33 ± 14.30
<i>Retención 1</i>	16.78 ± 3.56†	9.32 ± 1.85†	5.90 ± 0.27†	49.28 ± 15.63
<i>Retención 2</i>	18.63 ± 3.57	9.63 ± 1.51	5.77 ± 0.26	44.67 ± 10.48

Símbolo † significa que se han encontrado diferencias significativas

Tras el periodo de entrenamiento en consistencia, los resultados en el error radial son inferiores a los observados en la medición inicial, aunque estas diferencias no se muestran significativas. Tras el periodo de entrenamiento en variabilidad se observa un ligero aumento del error radial, pero después de dos semanas sin entrenamiento específico de esta habilidad se observa que el error radial disminuye, hasta alcanzar unos valores inferiores a los observados tras el periodo de entrenamiento en

consistencia, aunque siguen sin encontrarse diferencias significativas. Sin embargo, sí se observan diferencias significativas en el error radial ( $F_{1,9}= 5.302$ ;  $p < 0.05$ ) entre el test inicial y el primer test de retención.

La tendencia que sigue la desviación típica del error radial es muy similar a la obtenida en el error radial, por lo que cuanto mayor es la precisión que tienen los deportistas, hay una menor variabilidad en el resultado de dicha acción. Así, se observan diferencias en la variabilidad del error por efecto del entrenamiento, apareciendo de nuevo de forma más clara estas diferencias entre el test inicial y el primer test de retención ( $F_{1,9}= 7.639$ ;  $p < 0.05$ ).

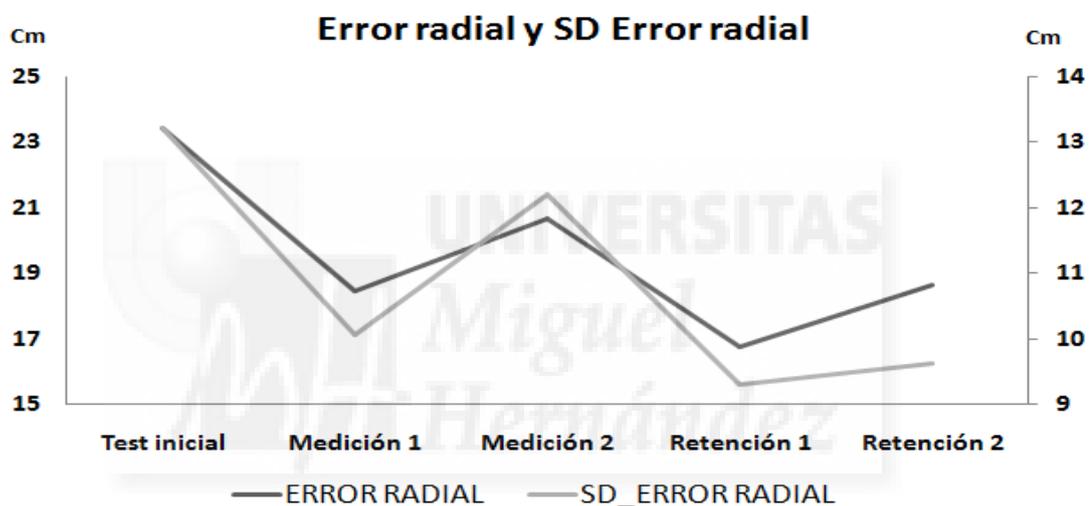


Figura 1. Evolución del error radial medio (eje primario, izquierda) y de la desviación típica del error radial (eje secundario, derecha) a lo largo de las mediciones efectuadas en el grupo.

Al analizar la precisión en el tiro libre (Rein et al., 2010), se observa que tras el periodo de entrenamiento en ambos tipo de práctica (especificidad y variabilidad) hay una mejora del rendimiento ( $F_{1,9}= 6.804$ ;  $p < 0.05$ ), observando un patrón muy similar al obtenido al analizar el resto de variables estudiadas, en las que se observa un aumento en la precisión tras el periodo de práctica en especificidad, posteriormente la precisión disminuye tras el periodo en variabilidad, para finalmente aumentar la precisión en los test de retención.

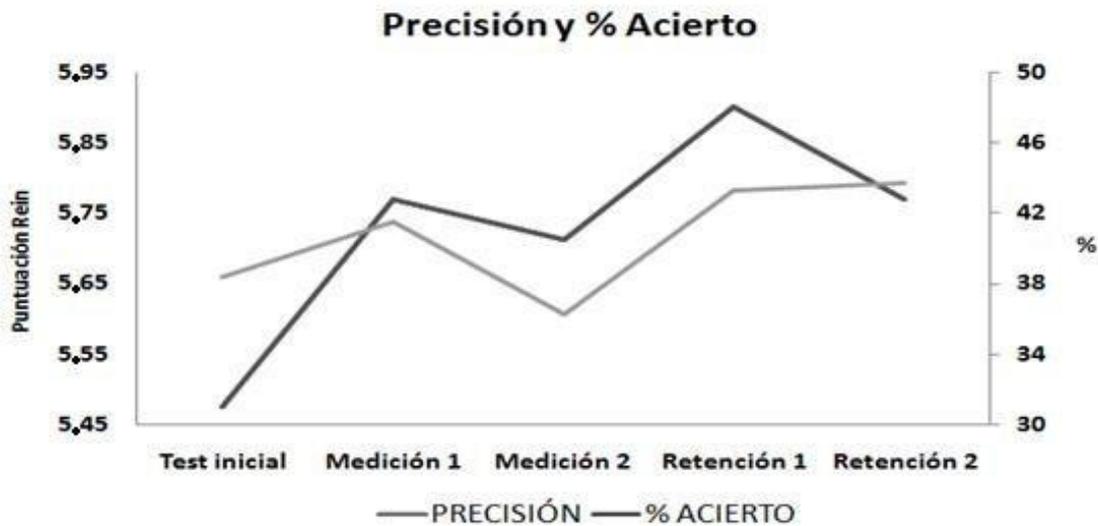


Figura 2. Evolución de la precisión según la escala de Rein et al., (2010) en el eje primario (izquierda) y del porcentaje de acierto en el eje secundario (derecha) a lo largo de las mediciones efectuadas en el grupo.

Por otro lado, en los datos de porcentaje de acierto se observa que los valores de porcentaje siguen una tendencia muy similar a la obtenida en el resto de variables (Tabla 3 y figura 2), aunque en este caso no se observan diferencias significativas.

Tabla 4. Error absoluto (EA) y error variable (EV) para los ejes mediolateral ("X") y anteroposterior ("Y")

Mediciones	EA_X	EA_Y	EV_X	EV_Y
<b>Test Inicial</b>	8.997	20.039	10.551	17.731
<b>Test 1</b>	9.754	13.384	11.762	16.195
<b>Test 2</b>	9.877	15.760	12.108	19.744
<b>Retención 1</b>	8.065	13.071†	9.893	14.279
<b>Retención 2</b>	8.560	14.455	10.233	14.325

Símbolo † significa que se han encontrado diferencias significativas

En la tabla 4, se expresan los resultados obtenidos en el error absoluto y en error variable tanto en el eje mediolateral (eje X) como en el eje anteroposterior (eje Y). Al analizar los resultados obtenidos en el error absoluto en el eje Y, se puede observar que los valores de error en los test de retención mostraron diferencias significativas respecto al test inicial ( $F_{1,9} = 6.065$ ;  $p < 0.05$ ). Por su parte, en el eje X los resultados muestran una tendencia a aumentar el error en este eje durante los test llevados a cabo tras los periodos de entrenamiento, para posteriormente y tras los periodos de recuperación volver a disminuir los valores. En el error variable, los valores que se observan son muy similares y siguen una tendencia parecida a los obtenidos en los errores absolutos, tendiendo a mejorar en los test de retención. No obstante no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los dos ejes del error variable entre ninguno de los test.

### 3.3.5. DISCUSIÓN

En el estudio presentado se ha analizado el efecto que tiene la metodología basada en el entrenamiento en variabilidad, en comparación con el entrenamiento en especificidad sobre la eficacia en el tiro libre en baloncesto. Se ha podido observar que tras un periodo de intervención en especificidad, los deportistas han mejorado su precisión; por el contrario cuando la intervención se llevaba a cabo en situaciones de variabilidad, tras el periodo de entrenamiento los deportistas veían disminuido su rendimiento y se hizo necesario un periodo de 2 semanas sin entrenamiento específico del tiro libre para poder observar los efectos beneficios de la práctica variable, aspectos que ya presentaron en sus trabajos Kelso y Ding (1993), Sabido, Caballero y Moreno (2009), Scholz y Schöner, (1999), van Emmerik y van Wegen (2000) y Zanone y Kelso (1992). Recientemente se ha propuesto que, de modo similar a lo que ocurre con el acondicionamiento físico, el aprendizaje motor y el entrenamiento de la técnica pueden explicarse por un principio similar al Síndrome General de Adaptación (Moreno y Ordoño, 2009). Interpretando el ser humano como un sistema complejo con capacidad de adaptación (Kelso, 1995), cualquier variación que se produzca a su alrededor provocará cambios en el sistema, a los que tenderá a ajustarse mostrando una disminución temporal de rendimiento como consecuencia del estrés que le produce la

misma. Posteriormente el organismo se adapta a este estímulo y esto le permite aumentar su rendimiento tras un periodo recuperación.). Tras la aplicación de la carga de entrenamiento en variabilidad, el deportista puede mostrar una disminución de rendimiento como consecuencia de la intensidad del estímulo, para posteriormente producir una adaptación a las demandas de la tarea y conseguir alcanzar un nivel mayor al inicial. Una fase transitoria de bajo rendimiento la han documentado anteriormente diferentes estudios relacionándola con una fase de transición previa a la emergencia de un patrón más eficaz para ajustarse los requisitos de la tarea (Chow, Davids, Button, Shuttleworth, Renshaw, y Araújo, 2006; Zanone y Kelso, 1992). Esta capacidad de adaptación, propia de los sistemas biológicos, resulta un adecuado marco de referencia para entender los procesos de aprendizaje motor (Davids, Button y Bennett, 2008).

Tras observar los resultado obtenidos de este estudio, se puede extraer que tal y como muestran los trabajos de Bauer y Schöllhorn (1997), Davids et al., (2003), García, Moreno y Cabero (2011), Hernández-Davó, Urbán, Sarabia, Juan-Recio y Moreno (2014) y Miller (2002), el entrenamiento en condiciones de variabilidad parece mostrarse beneficioso para el aprendizaje de habilidades cerradas y en este caso para la acción del tiro libre en baloncesto en jugadores en etapas de formación. Parece ser que el entrenamiento en situaciones de ejecución cambiante, ofrece al deportista una mayor riqueza motriz que le permite obtener unos mejores resultados de ejecución, aspecto que también sigue la línea del trabajo de Riley y Turvey (2002), en el que se comenta que la propia variabilidad que tiene el sujeto es la que le permite adaptarse a las situaciones del entorno y lo que este tipo de entrenamiento pretende es provocar un poco más de variabilidad en el deportista con el fin de que pueda adaptarse a ella y conseguir así un mayor rendimiento cuando las situaciones le sean más favorables (menos variabilidad).

Retomando la importancia que tienen los tiempos de recuperación y observando que el rendimiento de los deportistas se ha aumentado tras dar unos periodos sin entrenamiento, se podría decir que el entrenamiento en variabilidad produce unos mayores resultados a medio y largo plazo (test de retención), tal y como ya observaran Shea y Kohl (1991) en su trabajo, en el que identificaban el efecto positivo de la práctica variable en los test de retención.

La utilización de un mismo grupo para la práctica en consistencia y posteriormente en variabilidad, puede afectar a los resultados que obtiene el grupo en variabilidad, ya que cuando el grupo va a realizar el periodo en práctica variable, ya tiene un nivel de experiencia superior al que tenía al iniciar el periodo de entrenamiento en especificidad, derivado del aprendizaje producido por las sesiones de práctica, así como la mejora obtenida por la propia competición

Sería interesante continuar con esta línea de trabajo, incorporando un mayor número de muestra y utilizando poblaciones diferentes para cada uno de los grupos, que permitan determinar de un modo más claro los efectos de los diferentes tipos de práctica.

### **3.3.6. CONCLUSIONES**

Los resultados muestran la aparición de un proceso de adaptación a la variabilidad que produce unos incrementos en la precisión transcurrido un periodo de recuperación tras el periodo de entrenamiento.

La carga de práctica en variabilidad provocó disminuciones en la precisión y aumentos en la variabilidad en el resultado inmediatamente tras su aplicación. Por este motivo se puede pensar que la aplicación de una carga de entrenamiento de la técnica debe ir acompañada de un periodo de recuperación para que el sistema pueda mostrar una adaptación y posteriormente una supercompensación, incrementando así el nivel de rendimiento técnico del sujeto.

En este tipo de estudios en los que se analiza el aprendizaje, los test efectuados para controlar el rendimiento pueden suponer en sí mismo unidades de práctica. Si bien los resultados significativos permiten extraer conclusiones acerca de los efectos del entrenamiento, este hecho puede ser considerado como una limitación del estudio. Por otro lado, la intervención en un entorno ecológico ha llevado a utilizar un solo grupo al que se aplicaron tratamientos alternos. Futuros estudios deberían contrastar estos resultados en grupos de similares características aplicando metodologías diferentes para el entrenamiento del tiro libre en baloncesto.

### 3.3.7. REFERENCIAS

Bauer, H.U. y Schöllhorn, W. (1997). Self-organizing maps for the analysis of complex movement patterns. *Neural Processing Letter*, 5, 193-199.

Caballero, C., Luis, V. y Sabido, R. (2012). Efecto de diferentes estrategias de aprendizaje sobre el rendimiento y la cinemática en el lanzamiento del armado clásico en balonmano. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 28, 1-21.

Chow, J.Y., Davids, K., Button, C., Shuttleworth, R., Renshaw, I. y Araújo, D. (2006). Nonlinear pedagogy: A constraints-led framework for understanding emergence of game play and movement skills. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences* 10, 71-103

Davids, K., Button, C. y Bennett, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-led Approach*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D. y Bartlett, R.M. (2003). Movement systems as dynamical systems: The role of functional variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33, 245-260.

García, J.A., Moreno, F.J. y Cabero, M.T. (2011a). Efectos del entrenamiento en variabilidad sobre la precisión del lanzamiento de siete metros en balonmano. *E-Balonmano*, 7 (2), 67-77.

Gentile, A. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17, 3-23.

Harbourne, R.T. y Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Physical Therapy Journal*, 89(3), 267-282.

Hernandez-Davo, H., Urbán, T., Sarabia, J.M., Juan-Recio, C. y Moreno, F.J. (2014). Variable training: effects on the velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal of Sports Science*, 32(14): 1383-1388.

Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic Patterns: The self-organization of brains and behaviour*. Cambridge, MA. MIT Press.

Kelso, J.A.S. y Ding, M. (1993). Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. In K.M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), *Variability and Motor Control* (291-316). Champaign IL: Human Kinetics.

Lee, T.D., Magill, R.A. y Weeks, D.J (1985). Influence of practice schedule on testing schema theory predictions in adults. *Journal of Motor Behavior*; 17:283–299

Miller, S.A. (2002). Variability in basketball shooting: practical implications. In Y. Hong, *International Research in Sports Biomechanics* (27-34). London: Routledge.

Moreno, F.J. y Ordoño, E.M. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 22, 1-21.

Newell, K.M. (2003). Schema theory (1975): Retrospectives and prospectives. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 373-388.

Newell, K.M. y Corcos, D.M. (1993). Issues in variability and motor control. In K.M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), *Variability and Motor Control* (1-12). Champaign IL: Human Kinetics.

Rein, R., Davids, K. y Button, C. (2010). Adaptive and phase transition behavior in performance of discrete multi-articular actions by degenerate neurobiological systems. *Experimental Brain Research*, 201(2), 307-322.

Riley, M.A. y Turvey, M. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of Motor Behaviour*, 64, 99-125.

Sabido, R., Caballero, C. y Moreno, F.J. (2009). Análisis de la variabilidad entre diferentes situaciones en el lanzamiento de tres puntos en baloncesto. *International Journal of Sport Science*, 5, 76-87.

Shapiro, D.C. y Schmidt, R.A. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. En J.A.S. Kelso & J.E. Clark (Eds), *The development of movement control and coordination*. New York. Wiley.113-150.

Scholz, J.P. y Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289-306.

Shea, C.H. y Kohl, R.M. (1990). Specificity and variability of practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61(2), 169–177.

Schmidt, R.A. (2003). Motor schema theory after 27 years: Reflection and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 366-375.

Schöllhorn, W., Michelbrink, M., Welmiski, D. y Davids, D. (2009). Increasing stochastic perturbations enhance skill acquisition and learning of complex sport movements. En D. Araujo, H. Ripoll y M. Raab (Eds.), *Perspectives on cognition and action in sport* (pp. 59-73). Hauppauge, NY: Nova Science.

Sherwood, D.E. y Lee, T.D. (2003) Schema theory: Critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*.74, 376-382.

Van Emmerik, R.E.A. y van Wegen, E.E.H. (2000). On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 394-406.

Van Rossum, J.H.A. (1990). Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice theory. *Human Movement Science*, 9, 387-435.

Wallace, S.A. y Hagler, R.W. (1979). Knowledge of performance and the learning of a closed motor skill. *Research Quarterly*. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance, 50(2), 265-271.

Zanone, P.G. y Kelso, J.A.S. (1992). Learning and transfer as dynamical paradigms for behavioral change. In G.E. Stelmach, and J. Requin (eds.), *Tutorials in Motor Behaviour, II* (pp. 563-582). Amsterdam: North-Holland



# 4. DISCUSIÓN y CONCLUSIONES GENERALES





#### 4. DISCUSIÓN GENERAL y CONCLUSIONES

En este punto vamos a analizar cuáles son los elementos comunes derivados de la discusión de los tres estudios que componen esta Tesis Doctoral. Una vez analizado ese apartado, se procederá al apartado de conclusiones, en el cual se expondrá lo más destacado de cada uno de los trabajos expuestos y la relación entre ellos.

En cuanto a la relación entre variabilidad y rendimiento, cabe mencionar que no se encontraron relaciones entre la variabilidad del movimiento expresada en las variables cinemáticas analizadas mediante métodos discretos y la precisión de los saques, lo que no concuerda con algunos trabajos previos en los que algunas de estas variables se relacionaron con disminuciones del rendimiento en velocidad o precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo et al., 2012). Sin embargo, sí que se observó tal y como indican los autores mencionados anteriormente, que cuando se observa mayor variabilidad en la parte central del gesto técnico, la precisión de los saques se veía reducida. Por otro lado, los resultados van en la línea de los trabajos publicados por Glass y Mackey (1988) y Newell y Slifkin (1998), según los cuales como consecuencia de las altas velocidades que adquiere la mano en las últimas fases del gesto, se observa una mayor variabilidad en los tres ejes y por lo tanto se dificulta la capacidad para replicar el mismo gesto técnico. También se encontraron relaciones con el estudio de Wagner et al., (2011), según el cual en las fases finales del movimiento la variabilidad ya no afecta a las variables de rendimiento analizadas, lo que parece indicar que los mayores ajustes se producen en la fase inicial e intermedia del gesto. A su vez, estos niveles altos de variabilidad en las fases iniciales del movimiento parecen producir disminuciones en la velocidad de los saques, lo que se muestra en contraposición de los estudios de Phillips et al., (2010) y Schölnhorn et al., (2009) según los cuales esta mayor variabilidad permitiría al sujeto una mayor exploración y adaptación a las necesidades del entorno y, por lo tanto, le permitiría responder más eficazmente ante las diferentes acciones.

Cuando tratamos de analizar el efecto de la variabilidad al practicar, es importante destacar que en la misma línea de los resultados obtenidos en los trabajos de Crespo (2009) y Menayo et al., (2010a), hay que tener en cuenta que el entrenamiento en condiciones de práctica variable puede mostrarse como una metodología apropiada,

puesto que obtiene mejores resultados en precisión y aumenta la velocidad de los saques. Douvis (2005), observó que el grupo que entrenaba en condiciones de variabilidad reducía su error radial significativamente frente al grupo que entrenaba en consistencia, aspecto que también fue observado en nuestro estudio. Respecto a los procesos de recuperación necesarios tras la implementación del programa de entrenamiento para obtener resultados positivos en velocidad y precisión, hay que mencionar que al contrario que en los estudios de Davids et al., (2003), Riley y Turvey (2002) y Van Emmerik y Van Wegen (2000), en los cuales eran necesarios dichos periodos de descanso, en este estudio los resultados de precisión y velocidad de vieron aumentados desde el primer test tras la fase de entrenamiento. Los resultados observados son similares a los obtenidos en otros estudios en los que se implementó esta misma metodología sobre habilidades abiertas (Davids et al., 2003; Douvis, 2005; Newell y Slifkin, 1998; Riley y Turvey, 2002), lo que implica que este tipo de metodología puede ser beneficiosa para mejorar el rendimiento en habilidades abiertas, ya que permite que el deportista se adapte a su propia variabilidad

Cuando aplicamos la metodología de práctica variable en el entrenamiento del tiro libre, se ha observado que tras un periodo de entrenamiento en condiciones de variabilidad, se ha necesitado un lapso de tiempo de 2 semanas sin entrenamiento específico de la habilidad practicada, para observar los beneficios de este tipo de práctica sobre el rendimiento. Este lapso de tiempo, es una fase transitoria a la emergencia de un nuevo patrón más eficaz que permite al deportista ajustarse a las demandas de la tarea (Chow et al., 2006; Zanone y Kelso, 1992). Los resultados confirman las expectativas del estudio inicial en tenis, en el que se puede extraer que el entrenamiento en estas condiciones parece mostrarse beneficioso de nuevo para el aprendizaje de habilidades cerradas. Estos resultados también los muestran los trabajos de Bauer y Schöllhorn (1997), Davids et al., (2003), García, Moreno y Cabero (2011) y Miller (2002). Una de las aportaciones particulares en el tercer estudio es que tal y como observaron Shea y Kohl (1991) y en la misma línea, se ha observado que el rendimiento de los deportistas ha aumentado tras dar unos periodos de recuperación, por lo que se podría decir que el entrenamiento en condiciones de variabilidad produce unos mayores resultados a medio y largo plazo.

De los tres estudios que forman parte de esta tesis, se pueden extraer las siguientes conclusiones, las cuales se exponen numeradas y en el mismo orden en que se expresaron las hipótesis generales de esta tesis doctoral.

1. En relación con la hipótesis “La variabilidad en la trayectoria del movimiento se puede mostrar como un índice relacionado con el rendimiento en el saque en tenis” se puede concluir que:

Cuando se analiza el efecto que tiene la variabilidad cinemática del brazo ejecutor durante la realización de un saque en tenis, se puede observar que hay cierta relación con el rendimiento en el mismo, debido a la influencia que tiene esta variabilidad sobre la velocidad y precisión en los saques. Del estudio que analiza el efecto de variabilidad cinemática sobre el rendimiento en el saque en tenis, podemos extraer las siguientes conclusiones. Por un lado, cuando se encontraron valores más altos de variabilidad en la velocidad máxima de la mano en el eje “Y” (anteroposterior), se obtuvieron peores resultados en la precisión de los saques. Además, se observó que aquellos jugadores que eran menos precisos y que por lo tanto tenían un mayor error radial en sus saques, también mostraban una mayor variabilidad del error en los ejes “X” (mediolateral) e “Y” (anteroposterior), así como una mayor variabilidad y por lo tanto aleatoriedad en el error radial.

En este sentido, se puede decir que se cumple la hipótesis de partida, ya que niveles altos de variabilidad en la velocidad máxima en el eje “Y”, disminuyen la precisión de los saques.

2. En relación con la hipótesis: “La cantidad de variabilidad en la trayectoria de movimiento de la mano afecta negativamente a la velocidad de los saques en tenis y negativamente a su precisión” se puede concluir que:

La precisión y la velocidad de la pelota no parecen estar afectadas por la variabilidad mostrada en la trayectoria total de la mano, a pesar de que conforme los jugadores se acercan a las partes finales del gesto técnico, la variabilidad de la trayectoria de la mano comienza a aumentar de una manera muy clara en los tres ejes analizados. Sin embargo, cuando se realiza un análisis por ejes, se puede observar como la velocidad de los saques

se ve afectada por la variabilidad de la trayectoria de la mano dominante en los ejes “X” y “Z”; a su vez, cuando se observa una mayor variabilidad en las fases intermedias del movimiento en los ejes “Y” y “Z”, el error radial de los saques aumenta y por lo tanto disminuye la precisión de los jugadores.

En este caso se cumple parcialmente la hipótesis de partida, ya que aunque no se afecte la precisión y la velocidad de los saques como consecuencia de la variabilidad en la trayectoria total de la mano, sí que se ha observado que en las partes finales del gesto y en algunos ejes (X y Z) la velocidad se ve afectada y, cuando en las fases intermedias hay una mayor variabilidad en los ejes “Y” y “Z”, se afecta a la precisión.

3. En relación con la hipótesis: “El entrenamiento en condiciones de práctica variable produce una mejora significativamente mayor en la precisión del saque en tenis respecto al entrenamiento en consistencia” se puede concluir que:

Se ha observado que la aplicación de un entrenamiento basado en la práctica variable aplicada al saque en tenis en la población analizada, produce unas mejoras significativamente mayores que los entrenamientos clásicos basados en la repetición del gesto técnico en lo que a precisión de los golpes se refiere tras los periodos de práctica o entrenamiento asignados a los grupos.

Por este motivo, se puede concluir que la hipótesis de partida del estudio se ha cumplido.

4. En relación con la hipótesis: “El entrenamiento el variabilidad produce unas mejoras significativamente mayores en la velocidad del saque en tenis respecto al entrenamiento en consistencia” se puede concluir que:

Ambos tipos de entrenamiento (variabilidad y consistencia) se han mostrado efectivos para la mejora de la velocidad de los servicios con los jugadores de tenis jóvenes. A pesar de no encontrar diferencias significativas entre ambos tipos de práctica para mejorar la velocidad, la mejora que produce el entrenamiento en práctica variable aumento la velocidad en un 7.68%, mientras que la práctica en consistencia produjo una mejora del 4.8%.

En este caso, la hipótesis de partida no se ha cumplido, puesto que no se han observado diferencias significativas entre ambos tipos de práctica en lo que a velocidad de los saques se refiere.

5. En relación con la hipótesis: “El entrenamiento en condiciones de práctica variable produce mejoras significativamente superiores a los entrenamientos en consistencia en la precisión del tiro libre en baloncesto” se puede concluir que:

En el último de los estudios que analiza el efecto de la práctica variable sobre el tiro en baloncesto, se ha podido observar que, a pesar de que no se encuentran diferencias significativas en el error radial (precisión) entre los test iniciales y los test finales, sí que se puede observar que hay diferencias entre el test inicial y el primer test de retención, lo que implica que el entrenamiento en condiciones de práctica variable favorece la retención y por tanto el aprendizaje a largo plazo de la habilidad. Esta misma dirección y tendencia se observa en la desviación típica, lo que indica que cuanto mayor es la precisión que tienen los jugadores, menor es la variabilidad que observa en el resultado de los lanzamientos. Estos mismos resultados y patrones también se pueden observar al analizar la tabla elaborada por Rein et al., (2010) según la cual hay diferencias significativas en la precisión entre cada test inicial y final, independientemente del tipo de práctica utilizada, además también se observa un aprendizaje a largo plazo en esta variable, ya que los mejores resultados de precisión se encuentran tras el primer test de retención.

De estas conclusiones se puede extraer que, la hipótesis planteada para el estudio aplicado en el aprendizaje de la habilidad en baloncesto se cumple, puesto que aunque no se encontraron diferencias significativas en la precisión entre la práctica variable y la práctica en consistencia en el test final, tras un periodo de descanso, el efecto de la práctica variable consigue una mayor retención por parte del aprendiz con un aumento de la precisión del tiro libre.



## 5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



## 5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de esta Tesis Doctoral se han tenido en cuenta aquellos aspectos más relevantes que permitieran contrastar las hipótesis y establecer las conclusiones oportunas a partir de los resultados de la investigación. No obstante, a lo largo del proceso se han presentado ciertas dificultades y se han detectado diversas limitaciones en los estudios, además de haberse observado la necesidad de continuar investigando sobre algunos aspectos o tópicos que en la literatura actual aún no han sido completamente contrastados. Todos estos aspectos, sirven de punto de partida a nuevas líneas de investigación y la mejora de futuros trabajos.

En lo que a las dificultades o limitaciones se refiere, se han observado ciertos problemas metodológicos en los trabajos presentados.

En el estudio "*Variabilidad cinemática en relación con el rendimiento en el saque en jóvenes tenistas*", una de las limitaciones encontradas es que se debió dividir el gesto técnico en deciles para analizar la variabilidad de diferentes fases del gesto técnico. No hay en la bibliografía una propuesta clara de división general o específica de un gesto motor. Recientemente, hay algunos trabajos como el de Whiteside, Elliot, Lay y Reid (2014), en el que realizan una división del saque en 4 partes, considerándolos como los 4 puntos de interés en el saque en tenis, que podrían tenerse de referencia para futuros análisis. Otra de las limitaciones observadas procede del material utilizado, ya que al utilizar el Polhemus Liberty (sistema tridimensional de posición), los jugadores tenían que llevar los sensores sobre el cuerpo con todo el cableado que ello conlleva. Esto puede hacer que los jugadores no se sientan cómodos y que los movimientos no se realicen con naturalidad, por lo que deberían explorarse otros recursos menos invasivos para analizar las características cinemáticas del movimiento. La población utilizada también puede estar sujeta a comentario en este apartado, debido a que es una muestra muy concreta de jugadores en cuanto a edad y nivel se refiere y su extrapolación a otras poblaciones tendría que ser tomada con cautela. Si se centra la atención en las variables analizadas, posiblemente también se pueda observar que no han sido analizadas las posiciones de la raqueta en el momento del impacto y el ángulo de la salida de la pelota,

entre otras variables que podrían dar otra información de relevancia en cuanto al gesto técnico.

Como última posible limitación, sería interesante comentar que para los saques que golpeaban en la red se hizo un cálculo de la trayectoria para estimar donde hubiera botado la pelota, lo que de algún modo puede afectar al error promedio de los saques, aunque hay trabajos como los de Menayo et al., (2010a) y Menayo et al., (2012) que utilizan el mismo sistema para todos aquellos ensayos que se golpean en la red.

En el segundo estudio *“Variable training: effects on velocity and accuracy in the tennis serve”*, se intentaron corregir algunas de las limitaciones encontradas en el estudio anterior, incluyendo la participación de distintos grupos con diferentes metodologías. No obstante, entre las principales limitaciones de carácter metodológico podríamos señalar principalmente lo referido al número de ensayos realizados en las sesiones y periodos de recuperación. En otros estudios de características similares se ha encontrado una gran diversidad en el número de ensayos durante el periodo de práctica, como el de García, Sabido, Barbado y Moreno (2013) y van den Tillaar y Ettema (2003) donde el número de ensayos en las sesiones es de 20 o los estudios de van den Tillaar y Marques (2013) y Reynoso, Sabido, Reina y Moreno (2013) donde se alcanzan los 45 y 43 ensayos respectivamente, mientras que en este caso el número de ensayos asciende a los 60. De la misma manera, al tratar los periodos de recuperación, aunque no existe un criterio homogéneo en los estudios previos, lo que se pretendió en este experimento fue evitar la aparición de la fatiga en los participantes debido a que la aparición de la misma podría ser una variable contaminante que se intentó controlar.

En el estudio *“Efecto de la práctica variable sobre la precisión del tiro libre en baloncesto en jóvenes jugadores”*, nos encontramos con algunas de las limitaciones presentes en el estudio anterior que ya se han comentado en lo referente al instrumental de registro y a las variables analizadas. De cualquier modo, este estudio se centró en el análisis de los resultados de rendimiento más que en las características cinemáticas del gesto. En este caso, la principal limitación fue metodológica, ya que la utilización de un mismo grupo para la práctica en consistencia y posteriormente en variabilidad, puede afectar a los resultados que obtiene el grupo en variabilidad. Esto es

debido a que el primer entrenamiento que realizan los jugadores es en especificidad y por ello, en el momento de realizar el entrenamiento en práctica variable, el nivel de experiencia de los jugadores es superior al que tenían al inicio del estudio. Además de esto, sería interesante poder utilizar una muestra mayor de jugadores, así como intentar extrapolar un trabajo similar con jugadores de diferentes edades y niveles, con la finalidad de determinar claramente los efectos de los diferentes tipos de práctica.

Es muy importante considerar que en los dos estudios en los cuales hay un periodo de entrenamiento, y por lo tanto, de intervención en situaciones reales, se pudo producir una disminución en el control de diferentes variables contaminantes procedentes del entorno, las condiciones meteorológicas o las instrucciones de los entrenadores. No obstante este tipo de diseños, pretende acercar lo máximo posible la práctica a la situación real, con la finalidad de intentar incrementar la validez externa de los resultados. De todas maneras los resultados de los estudios deben ser extrapolados con precaución, teniendo en cuenta las características de la muestra utilizada y los periodos de entrenamiento implementados.

En cuanto a las futuras líneas de investigación podemos mencionar dos grandes líneas. La primera de ellas va encaminada a la relación entre la variabilidad cinemática y el rendimiento. Con el estudio presentado en esta tesis y la bibliografía que hay al respecto, se ha podido observar el efecto que tiene la variabilidad cinemática sobre algunas variables de rendimiento, pero ahora faltaría profundizar sobre cuáles son los procesos que causan esta variabilidad, para poder así obtener mayor información acerca de cuáles son los efectos de la variabilidad en las diferentes fases del gesto técnico, que permita explicar sus efectos sobre las variables de rendimiento en esta u otras acciones de juego.

La segunda línea de investigación propuesta reúne una serie de posibles acciones para profundizar en la práctica variable y el efecto sobre el aprendizaje.

Si se considera la práctica variable como carga de práctica, se debe de tener en cuenta que cantidad de variabilidad se está aplicando con el objetivo de saber qué nivel de la misma puede ser más beneficioso. Actualmente este tópico está comenzando a ser estudiado gracias a la participación de algunos grupos de investigación en proyectos

nacionales, como es el que fue otorgado en 2013 al grupo APCOM de la Universidad Miguel Hernández con el nombre de “Cuantificación de los niveles de variabilidad motora para optimizar el aprendizaje y en entrenamiento en habilidades motrices”, el cual permitirá indagar en esta línea de trabajo sobre una tarea de equilibrio. Los estudios de Ranganathan y Newell (2010) y Caballero et al., (2012) han obtenido que niveles muy altos de variabilidad han dado peores resultados que niveles menores. Es en esta línea en la que se debe seguir trabajando para poder conocer el efecto de diferentes cargas específicas de variabilidad sobre el aprendizaje y rendimiento en las acciones deportivas, ya que hasta el momento sobre lo que se ha trabajado en estos últimos cinco años es en aspectos muy generales de la carga (alta, intermedia y baja) y a donde se pretende llegar es a conseguir una cuantificación de la misma.

Trasladándonos a otra disciplina de entrenamiento, se hace imposible pensar que en un entrenamiento de pesas en el gimnasio, a todos los deportistas se les entregue una tabla de entrenamiento con los mismos pesos sin tener en cuenta sus características intrínsecas. La edad, el nivel, sus características funcionales y morfológicas..., son aspectos que se deberían de tener en cuenta a la hora de diseñar las sesiones de práctica variable. El principio de individualización de la carga es aplicable al aprendizaje motor y, por lo tanto, las investigaciones sobre los efectos de la práctica variable deben de encaminarse a proponer situaciones o entrenamientos individualizados a cada uno de los deportistas. Si se traslada a un ejemplo, se puede observar que ante un gesto técnico concreto, un deportista de elite presenta menos variabilidad entre sus ejecuciones que un deportista novel. Por este motivo, una pequeña modificación del gesto en el deportista novel puede ser insignificante (está acostumbrado a rangos de variabilidad mayores), mientras que para el deportista de élite esa pequeña fluctuación o cambio puede ser un estímulo significativo (Williams y Ward, 2003). Así, proponemos estudios futuros que, a partir de la cuantificación de la carga de variabilidad, profundicen en la individualización de ésta.

Como se ha explicado anteriormente, la carga de práctica tiene características vectoriales y por tanto estaría formada por una magnitud y su dirección. Anteriormente hemos propuesto profundizar en la magnitud de la carga de variabilidad, pero además creemos importante investigar acerca de su dirección. Cuando se diseña una sesión de

entrenamiento, el objetivo de la misma tiene que estar acorde a las necesidades que se han detectado en el deportista, es decir, si nuestro objetivo es implementar un entrenamiento en condiciones de variabilidad para mejorar la ejecución del servicio, no podemos implementar un entrenamiento en el que los ejercicios realizados no influyan en ese gesto técnico o que influyan de una manera negativa dando lugar a adaptaciones no deseadas, como consecuencia de la utilización de implementos, materiales o gestos técnicos que difieran mucho del gesto del deportista. Ranganathan y Newell (2013) propusieron que la práctica en condiciones de variabilidad puede tener distintos objetivos; adquirir un adecuado patrón de coordinación ajustado a las características del individuo y a las condiciones del entorno, o adquirir flexibilidad de un patrón motor. Y para esto, proponen intervenir en la variabilidad de la ejecución o de los objetivos de la tarea respectivamente. Sin embargo, la dirección de la carga de práctica en el entrenamiento en variabilidad no ha sido profundamente estudiada y debería ser uno de los puntos a tener en cuenta para poder crear sesiones de entrenamiento adaptadas a los deportistas y a los objetivos pretendidos.

Por último queremos destacar que son algunos los estudios que afirman efectos positivos de la práctica variable sobre el aprendizaje o el rendimiento tras periodos de recuperación, es decir, en los test de retención (Shea y Kohl, 1990; Hernández-Davó, et al., 2014b). Y partiendo de esta base sería interesante que se implementase este tipo de test tras los periodos de entrenamiento para ver si, tal y como se indica en la literatura, hay un efecto en el aprendizaje a largo plazo con este tipo de práctica. Además, actualmente los test de retención se suelen hacer dentro de los 15 días posteriores a la finalización de los periodos de entrenamiento, pero no se tiene constancia de cuál es el tiempo que necesita el organismo para asimilar dichas cargas de entrenamiento y por lo tanto de cuál sería el mejor momento para llevar a cabo los test de retención. La investigación sobre los adecuados periodos de recuperación sería muy interesante para saber en qué momento se debería volver a aplicar una carga de entrenamiento en variabilidad y maximizar así los procesos de aprendizaje.



# 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, J.R. (1980). *Cognitive psychology and its implications*. San Francisco: W.H. Freeman

Bernstein, N.A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Pergamon Press, Oxford.

Caballero, C., Luis, V. y Sabido, R. (2012). Efecto de diferentes estrategias de aprendizaje sobre el rendimiento y la cinemática en el lanzamiento del armado clásico en balonmano. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 28, 1-21.

Chow, J.Y., Davids, K., Button, C., Shuttleworth, R., Renshaw, I. y Araújo, D. (2006). Nonlinear pedagogy: A constraints-led framework for understanding emergence of game play and movement skills. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences* 10, 71-103

Crespo, M. (2009). Tennis coaching in the era of dynamic systems. *Journal of medicine and science in tennis*, 14, 20-25.

Darling, W.G. y Cooke, J.D. (1987). Chance in the variability of movement trajectories with practice. *Journal of Motor Behavior*. 19(3):291-309.

Davids, K., Button, C. y Bennet, S. (2007). Dynamic of Skill Acquisition. A constraints Led Approach (Chapter 2). Champaign IL: *Human Kinetics*.

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D. y Bartlett, R.M. (2003). Movement systems as dynamical systems: The role of functional variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33, 245-260.

Davids, K., Shuttleworth, R., Button, C., Renshaw, I. y Glazier, P. (2004). "Essential noise" enhancing variability of informational constraints benefits movement control: a comment on Waddington and Adams (2003). *British Journal of Sports Medicine*, 38(5), 601-605.

Del Rey, P., Wughalter, E., Dubois, D. y Carnes, M. (1982). Effects of contextual interference and retention intervals on transfer. *Perceptual and Motor Skills*, 54, 467-476.

Douvis, S.J. (2005). Variable practice in learning the forehand drive in tennis. *Perceptual and Motor Skills*, 101, 531-545.

Edwards, C.A.L. y Hodges, N.J. (2012). Acquiring a novel coordination movement with non-task goal related variability. *The Open Sports Sciences Journal*, 5 (1-M7), 59-67.

García, J.A., Moreno, F.J. y Cabero, M.T. (2011). Efectos del entrenamiento en variabilidad sobre la precisión del lanzamiento de siete metros en balonmano. *E-Balonmano*, 7 (2), 67-77.

García, J.A., Moreno, F.J., Reina, R., Menayo, R. y Fuentes, J.P. (2008). Analysis of effects of distribution of practice in learning and retention of a continuous and a discrete skill presented on a computer 1. *Perceptual and Motor Skills*, 107, 1, 261-272.

García, J.A., Sabido, R., Barbado, D. y Moreno, F.J. (2013). Analysis of the relation between throwing speed and throwing accuracy in team-handball according to instruction. *European Journal of Sport Science*, Volume 13, Issue 2, 149-154.

Glass, L. y Mackey, M.C. (1988). *From clocks to chaos: The rhythms of life*. Princeton, New York: Princeton University Press

Hernández-Davó, H., Urbán, T., Sarabia, J.M., Juan-Recio, C. y Moreno, F.J. (2014a). Variable training: effects on the velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal of Sports Science*, 32 (14) 1383-1388.

Hernández-Davó, H.; Urbán, T.; Morón, H.; Reina, R. y Moreno, F.J. (2014b). Efecto de la práctica variable sobre la precisión del tiro libre en baloncesto en jóvenes jugadores. *Kronos*, 13(1).

James, C.R. (2004). Considerations of Movement Variability in Biomechanics Research. En: Stergiou N., ed. *Innovative Analyses for Human Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers: 29–62.

Jarus, T. y Goverover, Y. (1999). Effects of contextual interference and age on acquisition, retention and transfer of motor skill. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 437-447.

Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic Patterns: The self-organization of brains and behaviour*. Cambridge, MA. MIT Press.

Kelso, J. y Engstrøm, D.A. (2006). *The complementary nature*. The MIT Press: Cambridge.

Lee, T.D. y Magill, R.A. (1983). The locus of contextual interference in motor-skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Vol 9 (4), 730-746

Lee, T.D., Magill, R.A. y Weeks, D.J (1985). *Influence of practice schedule on testing schema theory predictions in adults*. *Journal of Motor Behavior*; 17:283–299

Lisberger, S.G. y Medina, J.F. (2015). "How and why neural and motor variation are related." *Current opinion in neurobiology*, 33, 110-116.

Menayo, R., Fuentes, J.P., Moreno, F.J., Reina, R. y García, J.A. (2010a). Relación entre la variabilidad de la práctica y variabilidad en la ejecución del servicio plano en tenis. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 25, 75-92.

Menayo, R., Moreno, F.J., Reina, R. y Fuentes, J.P. (2009). Aplicación de un sistema automatizado para el aprendizaje y el entrenamiento del tenis en condiciones de interferencial contextual. *Apuntes Educación Física y Deportes*, 27-33.

Menayo, R., Moreno, F.J., Sabido, R., Fuentes, J.P. y García, J.A. (2010b). Simultaneous treatment effects in learning four tennis shots in contextual interference conditions. *Perceptual and Motor Skills*, 110(2), 661-673

Menayo, R., Moreno, F.J., Fuentes, J.P., Reina, R. y Damas, J.S. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33, 45-53

Miller, S.A. (2002). Variability in basketball shooting practical implications. In Y. Hong, *International Research in Sports Biomechanics* (27-34). London: Routledge.

Moreno, F.J. y Ordoño, E.M. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 22, 1-21.

Moreno, F.J. y Ordoño, E.M. (2015). Variability and practice load in motor learning (Variabilidad y carga de práctica en el aprendizaje motor). *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 39, 62-78.

Newell, K.M. (2003). Schema theory (1975): Retrospectives and prospectives. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 373-388.

Newell, K.M. y Slifkin, A.B. (1998). *The nature of movement variability*. In: Piek JP, ed. *Motor behavior and human skill: a multidisciplinary perspective*. Champaign, IL: Human Kinetics, 143-60.

Oña, A., Martínez, M., Moreno, F.J. y Ruiz, L.M. (1999). *Control y Aprendizaje Motor*. Madrid. Ed. Síntesis.

Phillips, E., Davids, K., Renshaw, I. y Portus, M. (2010). Expert performance in sport and the dynamics of talent development. *Sports Medicine*, 40(4), 271-283.

Ranganathan, R. y Newell, K.M. (2010). Motor Learning through induced variability at the task goal and execution redundancy levels. *Journal of motor behavior*, 42 (5), 307-316.

Ranganathan, R. y Newell, K.M. (2013). Changing Up the Routine: Intervention-Induced Variability in Motor Learning. *Exercise Sport Sciences Review*, 41, 64-70.

Reid, M., Whiteside, D. y Elliott, B. (2011). Serving to different locations: set-up, toss, and racket kinematics of the professional tennis serve. *Sports Biomechanics*, 10:4, 407-414.

Rein, R., Davids, K. y Button, C. (2010). Adaptive and phase transition behavior in performance of discrete multi-articular actions by degenerate neurobiological systems. *Experimental Brain Research*, 201(2), 307-322.

Reynoso, S.R., Sabido, R., Reina, R. y Moreno, F.J. (2013). Aprendizaje diferencial aplicado al saque de voleibol en deportistas noveles (Differential Learning Applied to Volleyball Serves in Novice Athletes. *Apunts*, 114, 23-30

Riley, M.A. y Turvey, M. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of Motor Behavior*, 64, 99-125.

Ruiz, L.M. (1995). Competencia Motriz. Elementos para comprender el aprendizaje motor en educación física escolar. Madrid: Gymnos.

Ruthen, R. (1993). Adapting to complexity. *Scientific American*, January: 130-140

Sabido, R., Caballero, C. y Moreno, F.J. (2009). Análisis de la variabilidad entre diferentes situaciones en el lanzamiento de tres puntos en baloncesto. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 17(5), 76-87.

Savelsber, G., Kamper, W.J., Rabijs, J., De Koning, J.J. y Schöllhorn, W. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal Sport Psychology*, 41, 415-427.

Savion-Lemieux, T. y Penhune, V.B. (2005). The effects of practice and delay on motor skill learning and retention. *Experimental Brain Research*, 161 (4), 423-431

Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *"Psychological Review"*, 82, 225-260.

Schmidt, R.A. (2003) Motor schema theory after 27 years: Reflection and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 366-375.

Schmidt, R.A. y Lee, T.D. (2011). Motor Control and Learning. Champaign IL: *Human Kinetics*.

Schmidt, R.A., Zelaznick, H.N., Hawkins, B., Frank, J.S. y Quinn, J.Y. (1979). Motor-output variability of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86, 415-451.

Schmidt, R.A. y Lee, T. (2005). Motor Control and Learning. A behavioural emphasis. Illinois. Human Kinetics

Schöllhorn, W., Mayer-Kress, G., Newell, K.M. y Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement Science*, 28, 319-333.

Schöllhorn, W., Beckmann, H., Janssen, D. y Drepper, J. (2010). Stochastic perturbations in athletic field events enhance skill acquisition. In: I. Renshaw, K. Davids, K. G.J.P. Savelsbergh. *Motor learning in practice- A constraints-led approach*. (pp. 69-82). London. Routledge

Schöllhorn, W., Beckmann, H. y Davids, K. (2010). Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicine*, 46, 365-373.

Scholz, J.P. y Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289-306.

Shapiro, D.C. y Schmidt, R.A. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In J.A.S. Kelso and J.E. Clark (Eds.). *The development of movement control and coordination*. New York. Wiley. 113-150.

Shea, C.H. y Kohl R.M. (1990). Specificity and variability of practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61 (2), 169-177

Shea, C.H., Lai, Q., Wright, D.I., Immink, M. y Black, C. (2001). Consistent and variable practice conditions: Effects on relative timing and absolute timing. *Journal of Motor Behavior*, 33, 139-152.

Shea, C.H., Lai, Q., Black, C. y Park, J.-H. (2000). Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills. *Human Movement Science*, 19, 737-760.

Shea, J.B. y Morgan, R.L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of motor skills. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 179-187.

Sherwood, D.E. y Lee, T.D. (2003). Schema theory: Critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 376-382.

Trockel, M. y Schöllhorn, W. (2003). Differential training in soccer. *European Workshop of Movement Science*.

Turvey, M.T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, 51(11), 1134-1152.

Ulrich, B.D. y Reeve, T.G. (2005). Studies in motor behavior: 75 years of research in motor development, learning, and control. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 76 (2), S62-S70.

Vaillancourt, D.E. y Newell, K.M. (2002). Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. *Neurobiology of Aging*, 23(1), 1-11.

Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2003). Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 96, 423-434.

Van den Tillaar, R. y Marques, M. (2013). Effect of specific versus variable practice upon overhead throwing speed in children. *Perceptual and Motor Skills*, 116,3, 872-884.

Van Emmerik, R.E.A. y Van Wegen, E.E.H. (2000). On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 394-406.

Van Rossum, J.H.A. (1990). Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice theory. *Human Movement Science*, 9, 387-435.

Waddington, G. y Adams, R. (2003). Football boot insoles and sensitivity to extent of ankle inversion movement. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 170-175

Wagner, H., Pfusterschmied, J., von Duvillard, S. y Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sport Science and Medicine*, 10, 73-80.

Whiteside, D., Elliot, B., Lay, B. y Reid, M. (2014). Coordination and variability in the elite female tennis serve. *Journal of Sport Sciences*, 37-41.

Wiener, N. (1948). *Cybernetics, or Control and Communication in the Animals and the Machine*. Cambridge. MIT Press.

Williams, A.M. y Ward, P. (2003). Perceptual expertise in sport: Development. In A. Ericsson & J. Starkes (Eds.), *Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise* (pp. 220-249). Champaign, IL: Human Kinetics

Wulf, G. y Shea, C.H. (2002). Theoretical and Review articles: Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9 (2), 185-211.

Zanone, P.G. y Kelso, J.A.S. (1992). Learning and transfer as dynamical paradigms for behavioral change. In G.E. Stelmach, and J. Requin (eds.), *Tutorials in Motor Behaviour, II* (pp. 563-582). Amsterdam: North-Holland