

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE PARÁMETROS CINEMÁTICOS DURANTE LA EJECUCIÓN DE UNA SUCESIÓN DE PIRUETAS EN DANZA A TRAVÉS DE UN PROTOCOLO AUTOMATIZADO

Sabido, R. ¹; Muelas, R. ¹; Barbado, D. ¹; Moreno, F. J. ²

1. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura
2. Área de Educación Física y Deportiva. Universidad Miguel Hernández de Elche

RESUMEN

El rol que juega la variabilidad en la coordinación y control del sistema sensorio-motor es un elemento central para el estudio del Control Motor. Nuestro propósito ha sido elaborar un protocolo experimental que nos permitiera medir la variabilidad de los parámetros cinemáticos de una sucesión de piruetas en-dehors desde 4.^a posición de pies, sujetas a diferentes ritmos de ejecución, en 10 bailarinas clasificadas en dos grupos en función del nivel de experiencia. Se utilizó un electrogoniómetro para la medición de las posiciones angulares de la rodilla de la pierna libre y una plataforma de contacto para registrar el tiempo de giro de la bailarina. Se filmó la separación de los pies antes de iniciar cada pirueta cuyo ritmo de ejecución era marcado por un metrónomo electrónico. Los datos provenientes de los distintos aparatos de medida nos aportaron información acerca de la mayor o menor precisión temporal de los sujetos y de la consistencia en la ejecución del movimiento de los mismos a diferentes ritmos de ejecución. Los resultados mostraron una mayor precisión temporal conforme el ritmo de ejecución aumentaba, así como una mayor precisión temporal del grupo de bailarinas con mayor experiencia. En conclusión, el protocolo automatizado aplicado es útil para analizar la variabilidad de parámetros cinemáticos durante la ejecución de una sucesión de piruetas en danza.

Palabras clave: Protocolo experimental, variabilidad, piruetas en danza, precisión temporal, nivel de experiencia.

ABSTRACT

The role variability plays in the coordination and control of sensory-motor system is one of the basis for the study of Motor Control. The purpose of this study was to elaborate an experimental protocol to measure system variability in kinematic parameters of 10 dancers, classified in two different experience levels, while performing a succession of pirouettes en-dehors at different rythms starting from fourth-feet position. We used an electrogoniometer to measure knee angular positions of the free leg and a pressure platform to measure the duration of the different phases of pirouettes. A digital video camera was used to determine the separation of the feet in the starting position. The pirouettes rhythm was controlled with an electronic metronome. All these apparatus give us information about the temporal precision and consistency of the dancers at different rythms of execution. Results showed more temporal precision as execution rythm increased and also demonstrated that the more experienced a dancer is, the more precise in time he/she is. In conclusion, the automated protocol applied is useful to analyse variability in kinematic parameters during the execution of a succession of pirouettes in dance.

Key Words: Experimental protocol, variability, pirouettes in dance, temporal precision, experience level.

Correspondencia:

Rafael Sabido Solana
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura
Av. Universidad s/n, 10071
rss@unex.es

Fecha de recepción: 20/10/2008

Fecha de aceptación: 17/04/2009

INTRODUCCIÓN

La variabilidad ha sido interpretada de diferentes maneras en función de las diferentes teorías explicativas de Control Motor. La «teoría de la variabilidad del impulso» (Schmidt & Wrisberg, 2002) se centra en explicar la variabilidad dentro de un mismo sujeto como un reflejo del ruido en el sistema sensoriomotor; es decir, cuanto mayor sea esta variabilidad, mayores niveles de ruido habrá en el sistema. En esta línea encontramos diversos estudios que apoyan que elevados niveles de variabilidad son un problema en la ejecución y el rendimiento de una tarea motora y que es necesario eliminarlo o minimizarlo a través de la práctica y la experiencia (Newell & Slifkin, 1998; Williams, Davids & Williams, 1999).

Por otro lado, aproximaciones científicas como la «teoría de los sistemas dinámicos» y la «teoría del caos» aportan puntos de vista alternativos en lo que concierne a la variabilidad (Glass & Mackey, 1988; citado por Newell & Corcos, 1993; Riley & Turvey, 2002; Davids, Glazier, Araujo & Bartlett, 2004), concibiéndola como algo funcional que facilita la autoorganización del sistema a nivel macroscópico construyendo patrones de coordinación individuales (Corbetta & Vereijken, 1999; Button, 2002).

La variabilidad del resultado se entiende como la desviación del resultado de una acción que se define previamente en la tarea criterio, y que se operativiza por medio del análisis de las desviaciones típicas sobre las medias de las puntuaciones obtenidas durante la realización de una tarea (Oña et al., 1999). Por otro lado, la variabilidad de ejecución se entiende como la desviación o variabilidad de una secuencia de movimientos definidos previamente en la tarea que es considerada como criterio, y se operativiza por medio de variables cinemáticas y cinéticas (Oña et al., 1999).

En cualquier deporte o actividad motriz habitualmente se busca una consistencia en el resultado, es decir, una menor variabilidad de resultado (Schmidt & Timothy, 2005; Newell et al., 1998 y Williams et al., 1999). Por ejemplo si una bailarina realiza una sucesión de pasos ajustados a un ritmo, lo ideal será que siempre que ejecute los mismos se ajusten lo máximo posible al ritmo y tempo marcado por la música. No obstante, aún no se ha demostrado que los bailarines que más y mejor giran, ajustándose mejor a la música, sean aquellos que siempre giran la misma cantidad de grados y de la misma manera. Cada vez que ejecute la sucesión de pasos no tienen por qué presentar las mismas características cinemáticas. La trayectoria, velocidad o aceleraciones de los distintos segmentos, para llegar a un lugar determinado en el espacio en cada uno de los pasos o fases de cada uno de ellos, no serán siempre las mismas.

En tareas con un solo grado de libertad, la relación entre el resultado de la tarea, la dinámica de movimientos y el nivel de habilidad es relativamente directa, tal y

como muestran los estudios de Schmidt, Zelaznick, Hawkins, Frank & Quinn (1979, citado por Schmidt et al., 2005); Newell et al. (1993); Newell, Carlton, Kim & Chung (1993); Newell, Carlton y Kim (1994) y Jasiewicz & Simmons (1996). Estos autores han estudiado la relación entre la variabilidad de la ejecución y de resultado observando los efectos de la velocidad sobre la precisión temporal y la consistencia de la misma. De esta manera, los resultados mostraron una mayor precisión temporal y consistencia en la misma a medida que el ritmo de ejecución aumentaba. Así en tareas en las que el criterio de éxito sea disminuir el error en el ajuste temporal, el tiempo de movimiento o la velocidad a la que se realice el mismo será determinante. Sin embargo, la velocidad o el ritmo de ejecución durante tareas como el patrón de la marcha, parece no tener influencia sobre la consistencia en parámetros cinemáticos, tal y como encontraron Owings & Grabiner (2004).

A pesar de esta escasa literatura científica existente en relación a la danza, sabemos que la mayoría de gestos a realizar en la danza implican numerosos grados de libertad y habilidades bastante complejas desde el punto de vista perceptivo-motor, que además suelen sucederse unos con otros generando una secuencialidad de gestos continua (continuidad cinestésica) que se inscribe invariablemente en el espacio y en el tiempo (Castañer, 1999).

Nosotros, además de analizar la variabilidad en una secuencia temporal de gestos analizaremos en concreto uno de los más complejos desde el punto de vista técnico: la pirueta en-dehors (Bedolla, 2001). Según esta autora, un bailarín profesional o experto debe demostrar destreza en la ejecución de elementos de gran virtuosismo técnico, como lo son las piruetas. No obstante, aún no se ha demostrado que aquellos bailarines más expertos en la técnica de los giros tengan una mayor consistencia en la ejecución de los mismos. Por lo tanto, un estudio de la variabilidad nos permitirá determinar entre otras cosas la relación o el compromiso entre estabilidad y eficiencia del sistema (Davids et al., 2004).

Algunas de las causas que determinados autores atribuyen a ser más o menos experto en la ejecución de cualquier giro unipodal, como las piruetas, son la capacidad de equilibrio y de fuerza de los sujetos, en nuestro caso bailarines. Determinados autores destacan especialmente la importancia de un buen equilibrio para la correcta ejecución de las piruetas en-dehors en danza clásica (Laws, 1979). Por su parte, Frankling (1996) asegura que es fácil desequilibrarse de una pirueta si no se tiene mucha experiencia, dada la escasa fricción con el suelo al estar apoyado únicamente en los metatarsos. En el caso concreto de piruetas que tengan que enlazarse con otra pirueta o con cualquier otro gesto, algo común en la danza (Castañer, 1999), una bajada controlada y suave del pie de base desde la posición de relevée sobre los metatarsos es vital para detener de manera consciente el giro. De esta manera se ob-

tiene mayor fricción o fuerza de rozamiento para detener el giro, sin embargo requiere de un gran dominio del equilibrio (Laws, 1993; Bosco, 1999). Existen algunos estudios que afirman que los bailarines expertos o profesionales tienen mayor equilibrio que aquellos que no son bailarines o que son bailarines inexpertos (Leanderson, 1996; Muelas, Moreno, Sabido & Barbado, 2008).

En el caso concreto de la danza, los niveles de fuerza explosiva son muy importantes para la velocidad del gesto requerida en determinados momentos y en el caso de las piruetas parece ser importante, al igual que el equilibrio (Holly & Haight, 1998). Algunos autores hacen referencia a que estos niveles de fuerza deben estar presentes en ambas piernas, pues una soporta el peso del cuerpo durante el giro y la otra ejecuta movimientos rápidos de subida y bajada de la posición de retirée (Challet-Hass, 1997; Bosco, 1999). Además, estos autores añaden que esta subida del pie retrasado a retirée ayuda a centrarse en la verticalidad siempre y cuando se ejecute de manera rápida, es decir, ayuda a encontrar el eje de giro y por tanto a encontrarse en equilibrio durante el mismo (Frankling, 1996). Por tanto, dentro de las fases que comprende una pirueta, aquella que precede al giro y en la que se ejercen los momentos de fuerza necesarios para el mismo no ha de demorarse en exceso. De esta manera, Laws (1979) determinó en su estudio que la duración de la fase de apoyo no debía durar más de 0.48 segundos.

Según diversos autores, para el bailarín que hace danza clásica, cuya música se ha escrito específicamente para ese Ballet, la precisión temporal o el ajuste temporal a la música será un criterio de éxito. En el ballet clásico es indispensable para el bailarín tener una gran consciencia de la musicalidad y el ritmo de los pasos que ejecuta, especialmente en ejercicios técnicamente difíciles (Barraza y Susarrey, 2002). La precisión temporal es parte de la técnica y ayuda a la técnica en la danza clásica, pues cada paso tiene su propio «timing» y fraseo. Por ello, los alumnos de danza clásica deben entender e interiorizar ritmos, la métrica, los matices musicales que correspondan con las energías que se emplean para que ejecutar los pasos, y la música debe guiar al alumno para lograr las acentuaciones características de los pasos, poses y movimientos del ballet (Barraza et al.).

Algunos estudios relacionados con el Control Motor han determinado que los sujetos más entrenados musicalmente se ajustan mejor al tiempo en tareas de ajuste temporal y que son más consistentes en sus respuestas (Yamanishi, Kawato & Suzuki, 1980; Repp, 2001 y Aschersleben, 2002) y consideran que la práctica y la experiencia mejoran la asincronía musical o temporal de los sujetos.

Según The Royal Academy (2005), para cada una de las partes o ejercicios característicos de una clase de ballet existe una música más apropiada y escogida a conciencia, respetando ese «relative timing» de los pasos.

En el caso de las piruetas, en concreto de los «posé piruetees en diagonal», el allegro moderato es el más usado (una doble figura semicorchea al principio de la barra y dos acentos igualmente fuertes en el primer y segundo pulso). Estos dos acentos ayudarán a la correcta ejecución de las piruetas y respetarán ese «relative timing» de las mismas, pues tal y como señala Jhung (2007), todas las piruetas tienen dos cuentas en el timing de ejecución de las mismas. Según este autor hay dos momentos claramente diferenciados en la ejecución de una pirueta, la acción de bajar empujando el suelo (pliée), coordinada con el contramovimiento en la dirección contraria al giro (wind-up) y necesaria para la posterior reacción de subir (relevée) a la vez que giramos (segunda acción diferenciada).

De esta forma nos proponemos plantear un trabajo que contemple el estudio de la variabilidad dentro de las piruetas en danza. Para ello partimos de tres objetivos que se persiguen en el presente trabajo. El primer objetivo es «diseñar un sistema automático que permita el estudio de la variabilidad de ejecución y de resultado en las piruetas de danza clásica». En segundo lugar, «determinar en qué medida afecta el nivel de experiencia, reflejada por el número de años que llevan practicando ballet y por el rendimiento en una prueba específica de piruetas, en la precisión temporal y la variabilidad tanto de ejecución como de resultado durante la ejecución de una sucesión de piruetas en-dehors desde cuarta posición de pies». Por último, pretendemos «determinar en qué medida influye el ritmo de ejecución de las piruetas en la mayor o menor precisión temporal de los bailarines/as y en la variabilidad tanto de ejecución como de resultado, así como a la relación entre ellas».

MÉTODO

Participantes

Se analizó una secuencia de piruetas desde cuarta posición de 10 estudiantes de danza clásica de diferentes escuelas de danza. La muestra se dividió en dos grupos como expertas (5 de nivel avanzado) y noveles (5 de nivel intermedio).

Todos los sujetos, una vez informados de la finalidad del estudio, al igual que sus padres o tutores, en el caso de los menores de edad, rellenaron una hoja en la que expresaron su consentimiento para participar en esta investigación de forma voluntaria.

Los datos y características antropométricas de los sujetos experimentales aparecen en la tabla 1:

TABLA 1
Valores medios de las características antropométricas de los sujetos

GRUPO	EDAD (años)	PESO (Kg.)	ESTATURA (m)	LONGITUD PIERNAS (m)	ENVERGADURA (m)
Expertas	25±3.08†	52.6±2.51	1.63±0.05	0.76±0.03	1.65±0.04
Noveles	14.8±0.45	56.2±5.07	1.69±0.04	0.81±0.02	1.67±0.03

†.- p < 0.05

Como se puede observar en la tabla 1, la muestra es homogénea en cuanto a todas sus características antropométricas excepto en la variable edad, en la que se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos. No obstante, esto se debe fundamentalmente a la disciplina a la que pertenecen los sujetos, dado que en la danza un mayor nivel de experiencia va asociado necesariamente a la edad. En el caso contrario una bailarina con una edad mayor que presenta niveles de experiencia menores en cualquier gesto específico de la danza clásica indicaría que lleva algunos años sin practicar la disciplina en cuestión.

Instrumentos

Para la medición de los desplazamientos angulares de la articulación de la rodilla de la pierna libre (retirée) usamos un electrogoniómetro modelo SMEG330, con una frecuencia de registro de 1024 Hz, colocado en la rodilla retrasada (que subía y bajaba de la posición de retirée) y con el cableado proyectado desde la parte posterior del cuerpo de la bailarina hacia arriba para suspenderlo en un soporte fijo, de tal manera que no influyera en la ejecución de las piruetas (Figura 2.4 y 2.5). Por otro lado, se utilizó una plataforma de contacto modelo CVP 1723 Lafayette de 0.5x0.5 metros y con una frecuencia de registro de 1024 Hz para determinar los tiempos de contacto del pie retrasado durante la aplicación de la fuerza de impulso y la duración de la fase de giro monopodal. Se utilizó un metrónomo electrónico para Windows, que junto con los datos de la plataforma de contacto y del electrogoniómetro permitió determinar la precisión temporal de los sujetos en dos momentos temporales durante la ejecución de las piruetas. Por último, se utilizó una cámara digital modelo Canon MV901 para el registro y posterior digitalización de la amplitud o separación de pies en la posición de preparación (4.^a posición de pies en danza clásica). Esta medida nos permitió determinar la duración de los tiempos de rectificación hasta alcanzar la posición de pies inicial en el caso de pisar fuera de la plataforma. Esta cámara estaba situada en el lateral derecho del sujeto a una distancia de 3 metros y a una altura de 0.5 metros.

La superficie de giro que se utilizó para simular el suelo de parquet característico de las salas de ballet fue una superficie de tarima flotante de 2x2 metros, sobre la

cual aplicaba la fuerza el pie adelantado y, por lo tanto, sobre la cual se giraba una vez que éste se convertía en el único área de contacto con el suelo para girar. Sobre esta superficie, a la altura del pie retrasado se fijó la plataforma de contacto.

Diseño

■ *Variables independientes:*

- El nivel de experiencia, definido por el número de años que los sujetos experimentales llevan practicando ballet y por el rendimiento obtenido en una prueba específica de piruetas múltiples para corroborar la validez de esta clasificación previamente realizada.
- La velocidad de ejecución de las piruetas, definida por el tempo del compás en el que vienen marcados los pulsos de un metrónomo electrónico.

■ *Variables dependientes*

Parámetros temporales

- La precisión temporal. Esta variable es el desfase temporal (retraso o anticipación) medido entre unos movimientos concretos de la pirueta y los pulsos o acentos oportunos. Por tanto, la precisión temporal vino marcada por el ajuste al metrónomo durante la ejecución de la sucesión de piruetas. El pulso débil (PD) en el compás (2x4), independientemente del tempo (velocidad) del mismo, debía coincidir con el momento de contacto del pie atrasado en la plataforma de contacto para el inicio de la pirueta, mientras el pulso fuerte (PF) en el compás debía coincidir con el momento en el que la rodilla de la pierna libre se encontraba en máxima flexión en la posición de retirée delante (Jhung, 2007).
- Tiempo o duración de las fases de la pirueta y de las subfases distinguidas dentro de las mismas, tanto de la fase inicial o de apoyo (subfases de preimpulso y de impulso) como de la fase de giro propiamente dicha (subfases de preimpulso y de impulso) como de la fase de giro propiamente dicha (subfase desde que el pie retrasado abandona la plataforma hasta que llega a posición de retirée y subfase desde la posición de retirée hasta la llegada del pie a la plataforma).

Parámetros espaciales

- Posiciones angulares descritas por la rodilla durante la ejecución de las piruetas: máxima flexión en el demipliée, máxima flexión en el retirée, ángulo al inicio y al final de la fase de apoyo y ángulo al inicio y al final de la fase de giro.

- Distancia de separación entre pies o amplitud de la posición de preparación desde 4.^a posición de pies en las piruetas de danza clásica.

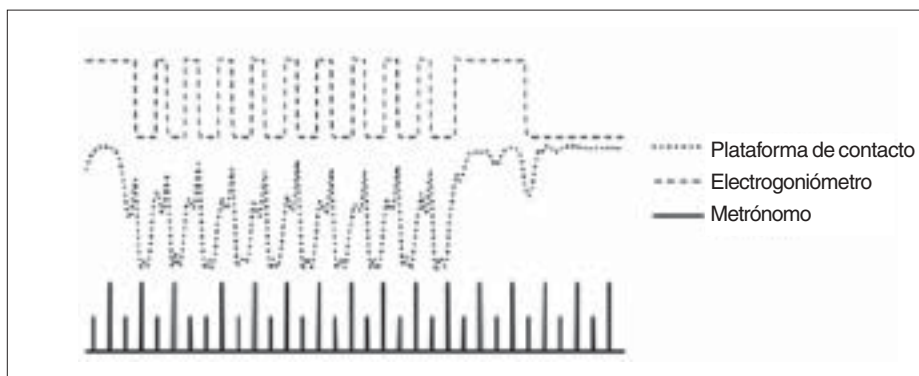


FIGURA 2. Representación gráfica del registro de los datos cinemáticos durante la ejecución de una sucesión de 7 piruetas en-dehors desde 4.^a posición de pie a una velocidad de ejecución de 95 ppm

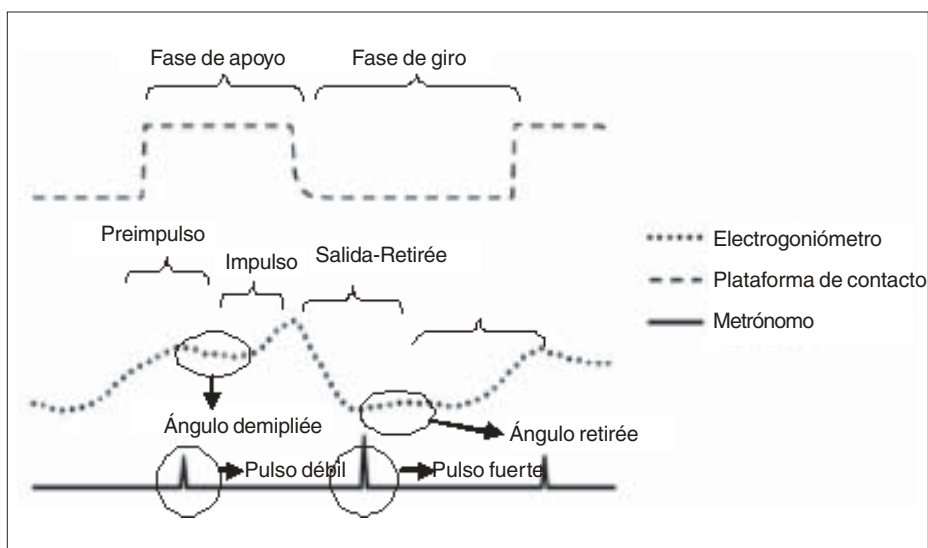


FIGURA 3. Representación gráfica de las variables cinemáticas de una pirueta en-dehors desde 4.^a posición de pie de una bailarina experta

Procedimiento

En las sesiones de medición los sujetos comenzaban realizando un calentamiento general y uno específico cuya duración era de 20 minutos.

Tras el calentamiento se procedió a explicar a cada sujeto con detalle en que consistían las tareas a realizar y las premisas necesarias para la correcta ejecución de las

mismas. Posteriormente se les colocó el instrumental de medida y se comenzaron los ensayos de prueba para comprobar el correcto funcionamiento del instrumental y el correcto registro de los mismos para finalizar con las mediciones correspondientes.

Previamente a la sesión de medición calibramos el metrónomo para que reprodujera compases de 2x4 a diferentes tempos a los que se tenía que ajustar la ejecución; concretamente a 75, 95 y 115 b/min. El metrónomo fue programado para reproducir una secuencia de 24 pulsos en total, de tal manera que los 10 primeros sirvieran para que el bailarín se aclimatara a la velocidad o tempo del compás y los 14 restantes sirvieran de base musical para la ejecución de las 7 piruetas que constituían la tarea experimental (utilizando dos pulsos por pirueta ejecutada).

En cada ensayo se realizó una serie temporal o sucesión de 7 piruetas seguidas desde 4.^a posición de pie ajustadas a los diferentes ritmos que marcaba un metrónomo. Se realizaron 3 series de cada uno de los tempos de ejecución (75 ppm, 95 ppm y 115 ppm); es decir, 9 series para un total de 63 piruetas.

La primera serie temporal de piruetas se ajustaba al ritmo natural de ejecución de una diagonal de piruetas según la Royal Academy (2005), es decir un allegro moderato, lo que se corresponde con una velocidad aproximada de 95 ppm. El compás elegido fue un 2x4 (Jung, 2007), haciendo coincidir dos momentos claves de la pirueta con los dos acentos del metrónomo. La segunda y tercera serie temporal de piruetas se realizaron a una velocidad ligeramente por encima y por debajo respectivamente (115 ppm y 75 ppm).

Con el fin de que el orden de ejecución de las piruetas a las distintas velocidades no influyera en el rendimiento de los sujetos se procedió a la realización de un contrabalanceo de las velocidades previamente. El resultado fueron 3 bloques de 3 ensayos a cada una de las velocidades de ejecución (cada sujeto con un orden distinto) con un descanso de 1 minuto entre series y de 3 minutos entre cada bloque.

Adquisición y análisis de datos

La conversión de las señales procedentes tanto del electrogoniómetro como de la plataforma de contacto y del metrónomo electrónico y la sincronización de los mismos se realizó mediante una tarjeta analógico/digital marca Data Translation, modelo DT2821. Los datos cinemáticos fueron tratados con un filtro de media móvil de 26 puntos, pues no se han descrito cambios menores de 28 Hz (Harwood y Harris, 2005). El posterior análisis se realizó mediante software creado en Labview 7.1.

El análisis de todos los datos cinemáticos se realizó para el mejor ensayo de cada uno de las velocidades de ejecución (75, 95 y 115 ppm); es decir se analizaron 3 ensayos por sujeto. El mejor ensayo fue determinado en base a dos criterios. Un primer criterio en el que los sujetos debían completar la tarea en su totalidad, es decir, eje-

cutar las 7 piruetas consecutivas en su totalidad y un segundo criterio en el que se seleccionaron las series de mayor precisión temporal en cada uno de los sujetos. Por otro lado, el análisis se hizo de la serie total de piruetas, desechando la primera y la última para facilitar el análisis de las mismas (puesto que la primera pirueta se inicia desde la plataforma y la última no requiere ser enlazada con ninguna otra y apenas se llegaba en buenas condiciones a la misma en el caso de las noveles).

Los datos de los distintos registros fueron recogidos y tratados en bases de datos de Excel, para su posterior análisis mediante SPSS 15.0.

La normalidad de las variables fue evaluada a través del test de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. Posteriormente, para la comparación de grupos se realizaron análisis de medidas independientes, en concreto, un análisis univariante de un factor cuando la distribución de los datos era normal y el test U de Mann-Whitney para las variables que presentaban una distribución no normal. Se realizaron análisis de medidas repetidas para comparar las características de las piruetas a distintos tempos, en concreto, un ANOVA de medidas repetidas para aquellas variables que presentaban una distribución normal y el test Z de Wilcoxon para las variables que presentaban una distribución no normal.

RESULTADOS

Parámetros temporales

En cada una de las velocidades de ejecución se observaron diferencias significativas entre expertas y noveles (Tabla 2) en una de las subfases de la fase de giro propiamente dicha, la duración retirée-entrada, tanto a un ritmo de 75 ppm ($F_{1, 98}=28.92$; $p=.000$), de 95 ppm ($F_{1, 98}=23.39$; $p<0.001$) como de 115 ppm ($F_{1, 98}=10.01$; $p=.003$). En todas las velocidades se dieron duraciones mayores para el grupo de las expertas. Esto mismo ocurrió en la variable referente a la duración total de la fase de giro en las velocidades de 75 ppm ($F_{1, 98}=21.46$; $p<0.001$) y de 95 ppm ($F_{1, 98}=12.43$; $p=.001$), la tendencia en la velocidad de 115 ppm es la misma. Por otro lado ocurrió todo lo contrario en la variable referente a la duración de la subfase salida-retirée, donde las expertas presentaron valores significativamente menores que las noveles en la velocidad de 75 ppm ($F_{1, 98}=10.45$; $p=.002$) y de 115 ppm ($U=207.00$; $p=.041$). Aunque no se encontraron diferencias significativas en la velocidad de 95 ppm, la tendencia es la misma. Por otro lado, la tendencia de los parámetros relacionados con la duración fase de apoyo era ser menor para el grupo de las expertas, aunque sólo se encontraron diferencias significativas para la velocidad de 115 ppm ($F_{1, 98}=4.40$; $p=.041$). En cuanto a los tiempos de rectificación, tampoco se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos, aunque la tendencia es a ser menor en las expertas, sin encontrar ninguna rectificación en expertas en

los ritmos de ejecución de 95 y 115 ppm. No obstante, si incluimos el tiempo de rectificación como parte de la duración total de la fase de apoyo, sí encontramos diferencias significativas entre expertas y noveles a una velocidad de 95 ppm ($U=179.00$; $p=.010$) con unos descriptivos de 421.76 ± 83.93 para el grupo de expertas y de 484.12 ± 86.52 para el grupo de las noveles. Del mismo modo en el ritmo de ejecución de 115 ppm se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos ($U=197.00$; $p=.025$) con unos descriptivos de 289.24 ± 65.55 para el grupo de expertas y de 336.60 ± 91.87 para el grupo de las noveles.

En lo que respecta a los resultados en función de la variable ritmo de ejecución en todos los parámetros, a excepción del tiempo de rectificación, y considerando a la muestra en todo su conjunto sin diferenciar entre expertas y noveles, se pudo observar una tendencia a presentar valores medios mayores conforme la velocidad de ejecución era menor (Tabla 2). Además, se observaron diferencias significativas entre los tres pares de velocidades en todas las variables a excepción de la duración de la fase de impulso y de salida- retirée.

Sin embargo, en un ANOVA de medidas repetidas para ver las diferencias entre los ritmos de ejecución en los dos grupos por separado observamos que algunas de estas diferencias encontradas se debían únicamente al grupo de las expertas. Esto ocurrió entre el par de velocidades 75-95 ppm. en las variables «duración de la fase de giro» ($F_{1,49}=13.81$; $p=.001$) y «duración retirée-entrada» ($F_{1,49}=14.51$; $p=.000$) y entre el par de velocidades 95-115 ppm para la variable «duración del preimpulso» ($Z=52.50$; $p<0.001$). Sin embargo las diferencias encontradas entre el par de velocidades 75-115 ppm para la variable «tiempo de rectificación» se debían únicamente al grupo de las noveles ($Z=237.500$; $p=.010$).

Por otro lado, los resultados de los descriptivos de los parámetros temporales de las bailarinas expertas (Tabla 2) nos aportaron información acerca de las duraciones medias de las diferentes fases en la ejecución de una pirueta en-dehors, valores que podrán usarse de referencia. De esta manera, en nuestros resultados obtuvimos que en duración media de la ejecución de una pirueta (1.32 s sin tener en cuenta la fase de recepción y 1.62 s teniendo en cuenta la fase de recepción), la duración la fase de apoyo (0.46 s) ha de ser menor que la de la fase de giro (0.86 s), casi la mitad. Además en nuestro estudio determinamos que la duración de la fase de preimpulso era de 0.30 s, la duración de la fase de impulso era de 0.16 s (casi la mitad que la anterior), la duración de la fase desde la salida del pie retrasado de la plataforma o suelo hasta su llegada a retirée era de 0.27 s y la duración de la fase desde esta posición de retirée hasta la entrada y recepción en la plataforma era de 0.59 s (algo más del doble que la anterior).

TABLA 2
Estadísticos descriptivos de los parámetros temporales en ambos grupos
a un ritmo de ejecución de 75, 95 y 115 ppm

		Tiempo de Rectificación (ms)	Duración Apoyo (ms)	Duración Preimpulso (ms)	Duración Impulso (ms)	Duración Fase giro (ms)	Duración Sal.-retirée (ms)	Duración retirée-entr. (ms)
75	E	21.32± 106.6	661.1± 91.8	483.7± 99.7	177.4± 51.8 [†]	952.8± 94.2 [†]	272.6± 30.9 [†]	680.2± 85.3 [†]
	N	105.08± 201.6	629.7± 105.9	454.4± 118.1	175.2± 86.3	811.9± 81.5	304.5± 28.3	513.5± 76.8
	T	63.20± 165.1	645.4± 98.8 [?]	469.1± 108.9 [?]	176.3± 69.1	882.4± 87.9 [?]	288.5± 29.6	596.9± 81.0 [?]
95	E	0.00± 0.00	421.7± 53.5	255.6± 54.4	161.7± 32.9	856.0± 62.4 [†]	270.4± 25.6	585.6± 60.0 [†]
	N	15.9± 55.1	468.2± 92.2	298.2± 122.7	170.0± 103.1	781.1± 53.8	288.8± 47.7	492.3± 62.8
	T	7.9± 39.3	444.9± 72.8*	276.9± 88.5*	165.8± 68.0	818.5± 58.1*	279.6± 36.7	538.9± 61.4*
115	E	0.0± 0.0	289.2± 41.3 [†]	147.2± 25.7	142.0± 28.7	758.7± 64.5	259.7± 25.2 [†]	499.0± 48.9 [†]
	N	0.0± 0.0	336.6± 66.4	164.6± 51.3	172.0± 62.4	725.9± 55.5	293.0± 43.8	432.8± 63.7
	T	0.0± 0.0 [‡]	312.9± 53.9 [‡]	155.9± 38.5 [‡]	157.0± 45.5	742.3± 60.0 [‡]	276.4± 34.5	465.9± 56.3 [‡]

E: Experta; N: NÓVEL; T: Total

ÁNÁLISIS DE MEDIDAS INDENEDIENTES- NIVEL DE EXPERIENCIA, donde[†] .- p = .05

?.- ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-95, donde ? .- p = .05

*.-ÁNÁLISIS MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 95-115, donde ‡.- p = .05

‡.-ÁNÁLISIS MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-115, donde *.- p = .05

Aunque en general no se encontraron diferencias significativas entre los coeficientes de variación de expertas y noveles en ninguna de las variables (Tabla 3) en ninguna de las velocidades de ejecución, la tendencia de los mismos era a ser menor para las expertas.

Por otro lado, se realizaron análisis de medidas repetidas para los coeficientes de variación de los parámetros temporales para ver si existían diferencias significativas entre los distintos ritmos de ejecución. Los resultados no revelaron diferencias significativas entre los pares de velocidades en ninguna de las variables (Tabla 3). En general los parámetros temporales que mayores coeficientes de variación presentaron, tomando el conjunto de las tres velocidades de ejecución, son «la duración de la fase de preimpulso» y la duración de la fase de «impulso»; es decir, las variables temporales relacionadas con la fase de apoyo. El coeficiente que se mantuvo a través

de las distintas velocidades de ejecución fue el de la «duración salida-retirée», subfase más rápida dentro de la fase de giro propiamente dicha.

TABLA 3
Coeficientes de variación de los parámetros temporales en ambos grupos
a un ritmo de ejecución de 75, 95 y 115 ppm

T	Grupo	Tiempo de Rectificación (ms)	Duración Apoyo (ms)	Duración Preimpulso (ms)	Duración Impulso (ms)	Duración Fase giro (ms)	Duración Sal.-retirée (ms)	Duración retirée-entr. (ms)
75	E	0.00± 0.00	14.03± 6.75	21.16± 9.38	25.91±2 0.57	9.89± 4.04	11.02± 5.49	12.46± 4.80
	N	102.09± 113.90	17.39± 10.31	30.82± 9.22	38.06± 31.96	10.16± 4.06	9.19± 3.62	15.18± 3.87
	T	51.05± 93.06	15.71± 8.41	25.99± 15.14	31.98± 26.14	10.03± 3.82	10.11± 4.48	13.82± 4.35
95	E	0.00± 0.00	13.51± 6.18	21.98± 5.00	20.22± 12.06	7.22± 2.69	9.25± 4.78	10.09± 4.45
	N	44.72± 100.00	20.35± 6.69	43.51± 26.22	54.67± 33.79	6.96± 2.27	16.54± 5.85	12.82± 3.35
	T	22.36± 70.71	16.93± 7.06	32.74± 21.11	37.45± 30.03	7.09± 2.35	12.90± 6.33	11.46± 3.99
115	E	0.00± 0.00	15.92± 11.34	18.38± 7.14	24.54± 24.09	8.24± 5.17	9.41± 5.92	9.61± 4.43
	N	84.72± 116.31	20.63± 7.70	27.66± 17.32	40.98± 17.32	7.68± 4.66	14.71± 3.88	15.62± 10.93
	T	42.36± 89.48	18.27± 9.47	23.02± 13.41	32.76± 21.59	7.96± 4.65	12.06± 5.50	12.62± 8.48

E: Experta; N:Nóvel; T: Total

Parámetros de precisión temporal

Como se puede observar en la Tabla 4 la tendencia de los valores medios de estos parámetros era a ser menores (en valores absolutos) en el grupo de las expertas (son más precisas temporalmente), en cuanto a que están más próximos al valor «0» (desfase o error mínimo entre el momento temporal de la pirueta y el momento del pulso correspondiente). Sin embargo, sólo se observaron diferencias significativas entre expertas y noveles en la precisión en el pulso fuerte en los ritmos o velocidades de ejecución de 95 ppm ($U=205.00$; $p=.037$) y de 115 ppm ($F1, 98=13.05$; $p=.001$), así como en el pulso débil en los ritmos de ejecución de 75 ppm ($F1, 98=7.16$; $p=.043$) y de 95 ppm ($F1, 98=4.43$; $p=.041$).

En lo que respecta al error relativo, los resultados nos mostraron como el grupo de las noveles tienden a anticiparse con respecto al pulso débil y a retrasarse con respecto al pulso fuerte en todos los ritmos de ejecución en comparación con el grupo de las expertas, aquellas que presentaron mayor precisión.

En lo que respecta a los resultados en función de la variable ritmo de ejecución, se observaron en los resultados diferencias significativas (ver Tabla 4) entre el par de velocidades 75-115 en todos los parámetros de precisión temporal. Esto mismo ocurría entre el par de velocidades 75-95 ppm y 95-115 ppm, pero únicamente para la variable que determina la precisión temporal respecto al pulso débil en términos absolutos. Además estas diferencias indican que los sujetos son más precisos cuanto mayor es la velocidad de ejecución

Por otro lado, aunque no se encontraron diferencias significativas entre expertas y noveles en los coeficientes de variación de los parámetros de precisión temporal (Tabla 5), la tendencia de los estos valores en términos absolutos era a ser menor en las expertas en ritmos de ejecución más lentos, pero a medida que el ritmo de ejecución aumentaba, la tendencia era la contraria. Sin embargo, en los análisis en función de la variable ritmo de ejecución, los resultados mostraron de nuevo diferencias significativas (Tabla 5) entre la menor y la mayor de las velocidades para la precisión tanto en el pulso débil ($Z=10.00$; $p=.002$) como en el fuerte ($Z=23.00$; $p=.043$). No obstante, entre ritmos de ejecución con una única diferencia de ± 20 ppm sólo se encontraron diferencias en el pulso débil; es el caso del par de velocidades 75-95 ppm ($Z=23.00$; $p=.041$). Tomando las velocidades en conjunto el parámetro de precisión temporal que mayor coeficiente de variación presentaba era aquel relacionado con la precisión en el pulso débil, además era mayor cuanto menor era la velocidad de ejecución. Todo lo contrario ocurría con el parámetro que define la precisión en el pulso fuerte.

TABLA 4
Estadísticos descriptivos de los parámetros de precisión temporal
en ambos grupos a un ritmo de ejecución de 75, 95 y 115 ppm

Tempo	Grupo	Error Entrada-PD. (ms)	Error Abs. Entrada-PD. (ms)	Error Retirée-PF. (ms)	Error Abs. Retirée-PF. (ms)
75	E	-140.76 ± 184.45	210.12 ± 62.85 [†]	-31.92 ± 70.55	130.56 ± 64.54
	N	-207.40 ± 423.77	418.04 ± 162.24	-172.64 ± 179.52	331.28 ± 172.83
	T	-174.08±304.11 [?]	314.08±112.54 [?]	-102.28±125.03 [?]	230.92±118.69
95	E	-56.48 ± 72.52	80.48±50.88 [†]	22.76 ± 49.80	78.22± 43.55 [†]
	N	-61.08±132.01	124.76 ± 68.21	77.80±74.12	133.32±71.71
	T	-58.78±102.27*	102.62±59.54*	50.28±61.96	105.92±57.63
115	E	2.72±56.35	41.04±39.33	47.28±32.24	64.32±26.82 [†]
	N	-18.92±66.72	59.88±40.06	89.56±48.55	116.84±37.39
	T	-8.10±61.54‡	50.46±39.70‡	68.42±40.40‡	90.58±32.10‡

E: Experta; N:Nóvel; T: Total

ÁNÁLISIS DE MEDIDAS INDENEDIENTES- NIVEL DE EXPERIENCIA, donde[†] .- p = .05

?.- ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-95, donde ?.- p = .05

*.-ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 95-115, donde ‡.- p = .05

‡.-ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-115, donde *.- p = .05

TABLA 5
Coeficientes de variación de los parámetros de precisión temporal
en ambos grupos a un ritmo de ejecución de 75, 95 y 115 ppm

Tempo	Grupo	Error Entrada-PD. (ms)	Error Abs. Entrada-PD. (ms)	Error Retirée-PF. (ms)	Error Abs. Retirée-PF. (ms)
75	E	-162.69±82.09	39.22±19.22	40.37±89.69	58.46±18.07
	N	-28.74±315.70	44.23±23.06	-20.60±94.10	70.74±29.80
	T	-95.72±228.64	41.72±20.18 [?]	9.89±92.43	64.60±24.12
95	E	-332.23±340.47	62.85±5.55	-6.65±245.16	62.51±31.09
	N	-177.96±105.08	60.11±32.05	59.27±91.15	65.78±31.16
	T	-263.67±262.13	61.48±21.74	26.31±177.80	64.15±29.39
115	E	537.18±507.39	93.09±16.50 [†]	28.89±105.45	51.00±25.62
	N	2.67±355.01	62.92±17.06	-8.27±95.54	34.60±7.92
	T	269.92±499.79	78.00±22.44*	10.31±96.87	42.80±19.85*

E: Experta; N:Nóvel; T: Total

ÁNÁLISIS DE MEDIDAS INDENEDIENTES- NIVEL DE EXPERIENCIA, donde[†] .- p = .05

?.- ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-95, donde ?.- p = .05

*.-ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 95-115, donde ‡.- p = .05

‡.-ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-115, donde *.- p = .05

Parámetros espaciales

Los estadísticos descriptivos de todos los parámetros espaciales relacionados con las angulaciones en los distintos momentos temporales de la ejecución de las piruetas presentaron tendencias en sus valores medios menores para el grupo de expertas (Tabla 6), a excepción de la separación de pies en la posición de preparación, donde las expertas presentaron valores medios mayores. De esta manera se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en todas las variables espaciales en cada uno de los ritmos de ejecución, a excepción de la separación de pies en la posición de preparación para los ritmos de 95 y de 115 ppm, así como en el ángulo del retirée en el ritmo de 95 ppm.

El análisis de medidas repetidas para los diferentes pares de velocidades mostró diferencias significativas únicamente en la variable «separación de pies» (Tabla 6) entre las velocidades de 95 y 115 ppm ($Z=753.00$; $p=.001$) y entre las velocidades 75-115 ppm ($F(1, 49)=23.86$; $p<0.001$). Además, a través de los análisis por separado para cada uno de los grupos, se encontraron diferencias significativas en este parámetro entre el par de velocidades 75-95 ppm únicamente en el grupo de las expertas ($Z=197.00$; $p=.025$). Aunque las angulaciones eran prácticamente iguales en las distintas velocidades de ejecución, la tendencia era a ser ligeramente inferior a medida que la velocidad de ejecución era mayor. El parámetro «separación de pies» mostraba una tendencia más clara en este sentido.

En cuanto a los coeficientes de variación de los parámetros espaciales, la tendencia mostraba una alta consistencia. No obstante, aunque las expertas parecían ser algo más consistentes que las noveles, apenas existieron diferencias entre uno y otro grupo (Tabla 7).

En lo que a las diferencias existentes en función de la variable ritmo de ejecución respecta, los resultados indicaron que sólo existían diferencias significativas (Tabla 7) en la variable «ángulo al final del giro» entre los pares de velocidades 95-115 ppm ($Z=21.00$; $p=.029$) y 75-115 ppm ($Z=24.00$; $p=.049$). No obstante, la tendencia de los coeficientes de variación de parámetros espaciales era a mantenerse a través de las distintas velocidades, especialmente en el caso de la máxima angulación en el retirée. La separación de pies al finalizar el giro y comenzar el siguiente parecía ser más variable conforme el ritmo de ejecución de las piruetas aumentaba, aunque tampoco se encontraron diferencias significativas.

TABLA 6
Estadísticos descriptivos de los parámetros espaciales en ambos grupos
a un ritmo de ejecución de 75, 95 y 115 ppm

		Angulo Inicio apoyo (°)	Angulo mx. flexión apoyo (°)	Angulo Final apoyo (°)	Angulo inicio giro (°)	Angulo Retirée (°)	Angulo final giro (°)	Separac. Pies (cm)
75	E	123.5±	122.6±	148.8±	148.9±	65.8±	124.6±	28.7±
		6.8†	3.9†	3.99†	3.9†	1.7†	6.5†	3.0†
	N	141.8±	142.6±	162.0±	162.0±	68.4±	140.4±	24.2±
		10.3	4.3	2.67	2.9	3.3	11.5	4.1
	T	132.6±	132.6±	155.4±	155.4±	67.1±	132.5±	26.4±
		8.5	4.1	3.34	3.4	2.5	9.0	5.9
95	E	127.7±	121.5±	150.4±	150.6±	64.9±	126.9±	25.3±
		8.6†	5.7†	4.09†	4.1†	1.6	8.3†	3.6
	N	138.1±	141.8±	159.8±	159.8±	68.1±	139.4±	24.2±
		9.0	6.0	6.94	6.8	2.9	10.2	4.9
	T	132.9±	131.7±	155.1±	155.2±	66.5±	133.2±	24.8±
		8.8	5.8	5.5	5.5	2.3	9.2	5.5*
115	E	120.4±	120.4±	149.2±	149.3±	62.3±	120.4±	22.3±
		6.4†	4.6†	6.7†	6.7†	2.0†	6.7†	3.9
	N	135.7±	141.8±	159.9±	160.0±	66.9±	135.4±	19.6±
		6.7	4.6	5.1	5.2	2.9	5.5	4.1
	T	128.1±	131.1±	154.5±	154.7±	64.6±	127.9±	20.9±
		6.6	4.6	5.9	6.0	2.5	6.1	5.2‡

E: Experta; N:Nóvel; T: Total

ÁNÁLISIS DE MEDIDAS INDENEDIENTES- NIVEL DE EXPERIENCIA, donde †.- p = .05

?.- ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-95, donde ?.- p = .05

*.-ÁNÁLISIS MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 95-115, donde ‡.- p = .05

‡.-ÁNÁLISIS MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-115, donde *.- p = .05

TABLA 7
 Coeficientes de Variación de los parámetros espaciales en ambos grupos
 a un ritmo de ejecución de 75, 95 y 115 ppm

Tempo	Grupo	Angulo Inicio apoyo (°)	Angulo mx. flexión apoyo (°)	Angulo Final apoyo (°)	Angulo inicio giro (°)	Angulo Retirée (°)	Angulo final giro (°)	Separac. Pies (cm)
75	E	5.55±	3.25±	2.72±	2.72±	2.76±	5.25±	11.37±
		1.21	0.87	1.14	1.13	1.29	0.70	5.43
	N	7.35±	3.05±	1.69±	1.86±	4.95±	8.29±	17.54±
		4.02	1.38	1.08	0.97	3.80	4.03	7.84
	T	6.45±	3.15±	2.20±	2.29±	3.85±	6.77±	14.45±
		2.96	1.09	1.18	1.09	2.92	3.16	7.14
95	E	6.68±	4.71±	2.69±	2.70±	2.52±	6.55±	14.61±
		2.29	1.89	1.29	1.30	2.39	2.11	4.33
	N	6.67±	4.27±	4.33±	4.30±	4.40±	7.40±	20.55±
		2.60	1.72	4.92	4.86	3.08	2.92	7.67
	T	6.67±	4.49±	3.51±	3.50±	3.46±	6.98±	17.58±
		2.31	1.72	3.50	3.46	2.78	2.45‡	6.65
115	E	5.35±	3.80±	4.43±	4.44±	3.38±	5.52±	17.91±
		1.99	1.71	3.56	3.63	1.56	1.37	5.01
	N	5.01±	3.22±	3.26±	3.29±	4.30±	4.11±	21.55±
		1.41	2.33	2.37	2.49	2.88	0.54	13.31
	T	5.18±	3.52±	3.85±	3.87±	3.84±	4.82±	19.73±
		1.64	1.95	2.92	3.00	2.23	1.23*	9.67

E: Experta; N:Nóvel; T: Total

ÁNÁLISIS DE MEDIDAS INDENEDIENTES- NIVEL DE EXPERIENCIA, donde † - p = .05

?.- ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-95, donde ?.- p = .05

*.-ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 95-115, donde ‡.- p = .05

‡.-ÁNÁLISIS DE MEDIDAS REPETIDAS-VELOCIDADES 75-115, donde *.- p = .05

En conclusión, como hemos observado en los resultados, los parámetros que mayores coeficientes de variación presentaron son los de precisión temporal y además los más afectados por la velocidad de ejecución, especialmente en expertas (eran más precisas a ritmos mayores y más variables). Asimismo, los parámetros que menores coeficientes de variación presentaron eran los espaciales, además de ser los menos afectados por el ritmo de ejecución, que en algunos casos apenas tenía influencia alguna (ángulo del retirée); especialmente para las expertas, como ocurría con la «duración de la fase salida retirée».

DISCUSIÓN

Los resultados nos muestran a las bailarinas expertas como las más precisas temporalmente, algo que coincide con las afirmaciones de numerosos autores que señalan la precisión temporal como síntoma de experiencia en la danza clásica (Castañer, 1999; Tasarov, 1985).

Por otro lado, Aschersleben (2002) destaca en sus experimentos con músicos, basados en tareas de sincronización, una mayor asincronía en sujetos menos entrenados musicalmente. Estos estudios han sido apoyados por otras investigaciones como las de Mates & Aschersleben (2000) y la de Repp (2001), quienes aseguran que la asincronía de los músicos menos expertos se mejora con la práctica y el feedback aumentado. La posible explicación que dan a estos resultados reside en la utilización por parte de los menos expertos de un bucle cerrado en la corrección del error o desfase temporal, de tal manera que retrasa la aparición de la respuesta demandada en el tiempo correcto (de ahí que las bailarinas noveles se retrasen respecto al pulso fuerte). Todos estos errores o desfases se van sumando uno tras otro de tal manera que el error crece considerablemente.

Esta puede ser una explicación clara en nuestro estudio desde el momento en que las piruetas son gestos motrices en los que la duración media de los mismos permite este tipo de correcciones por bucle cerrado, pues según Jaganciski & Miller (1978) deben transcurrir como mínimo unos 200 ms desde la aparición de un error hasta el inicio de la corrección. Además este modelo se ha utilizado para explicar tanto tareas continuas que permiten hacer correcciones durante la ejecución como tareas discretas en las que se utilizarán las correcciones para la siguiente repetición (Schmidt et al., 2005). En ambos casos podría aplicarse a la ejecución de una sucesión de piruetas, teniendo en cuenta que este tipo de correcciones requieren un cierto tiempo para generar el error, detectarlo, determinar una corrección, iniciarla y finalizarla.

De esta manera, es probable que a las bailarinas noveles no les dé tiempo a realizar las correcciones oportunas, teniendo en cuenta que cada una de las subfases que provocan cambios de posición de los diferentes segmentos implicados en el gesto no duran más de 300 ms y que la subfase de mayor duración se encuentra en torno a los 400-500 ms (requiriendo un gran control del equilibrio al mismo tiempo). Las correcciones en esta última fase, en la que existe un mayor tiempo para las mismas, pueden verse comprometidas al tener que priorizar los ajustes posturales debidos a importancia del equilibrio en la misma, tal y como encontraron Gandevia & Burke (1992) en su experimento, donde encontraron una activación de los músculos posturales antes de iniciar cualquier movimiento desde posiciones que requieren un cierto equilibrio.

En este sentido, es posible que las bailarinas expertas, más precisas temporalmente, no requieran tanta atención en la realización del gesto más que al comienzo del mismo, dada una mayor automatización del mismo realizando las correcciones a través de bucles abiertos. Según James (1980) este modelo de corrección (bucle abierto) es muy apropiado para tareas seriadas, de ajuste temporal y que requieren un cierto nivel de habilidad, una vez que se tiene un cierto automatismo de las mismas. James asegura que ciertos retrasos en los procesos sensoriales influyen en el tiempo entre las contracciones sucesivas que configuran el gesto en su totalidad, de tal manera que estas deberán tener cierta consistencia para producir modelos estereotipados. Por este motivo las expertas presentan coeficientes de variación menores a velocidades relativamente sencillas, aunque tengan que aumentar la variabilidad en sus respuestas para obtener mejores resultados a velocidades más rápidas, dada su mayor flexibilidad y capacidad de adaptación de sus respuestas en condiciones de mayor dificultad (Zazone & Kelso, 1992; Berthier, Rosenstein & Barto, 2005).

Por otro lado, Yamanishi et al. (1980) añaden que del mismo modo que los músicos expertos se diferencian de los noveles en una mayor precisión y estabilidad temporal de los primeros, un experto en una tarea motriz (en nuestro caso piruetas con ajuste temporal) tendrá características que lo diferencien de otro menos experto (mayor precisión temporal). Además demostraron que la práctica mejora esta estabilidad temporal en tareas rítmicas (a mayor experiencia, mayor estabilidad).

En términos relativos el desfase temporal nos indica una direccionalidad, de tal manera que las bailarinas noveles parecen anticiparse respecto al pulso débil, especialmente a ritmos lentos y retrasarse respecto al pulso fuerte, especialmente a ritmos rápidos. Este retraso respecto al pulso fuerte puede explicarse siguiendo a Aschersleben (2002), quien afirma que una mayor asincronía de los músicos menos expertos y la utilización de un bucle cerrado en la corrección de este desfase, es algo que hace que se vaya acumulando el error por exceso de tiempo en el procesamiento de esa información. Sin embargo, el que se produzca una anticipación de las noveles respecto al pulso débil puede explicarse por una falta de control en la fase de giro propiamente dicha, es decir por posibles pérdidas de equilibrio, dada la importancia del mismo en la ejecución de las piruetas (Laws, 1979). De esta manera, las pérdidas de equilibrio en el giro podrían repercutir en la menor precisión temporal al llegar a la plataforma, anticipándose al pulso débil y alargando la fase de apoyo para corregir el error, con las consecuentes rectificaciones (bucle cerrado). Así se rompería la fluidez del gesto y se retrasarían consecuentemente respecto al pulso fuerte, tal y como se observa en los resultados.

Esta inconsciente anticipación al pulso débil de las noveles como consecuencia de una falta de equilibrio (y posiblemente de fuerza), viene apoyada por la literatura

científica. De esta manera, Frankling (1996) asegura que es fácil desequilibrarse en una pirueta, especialmente si no tienes mucha experiencia, dada la escasa fricción con el suelo al estar apoyado únicamente sobre los metatarsos, a lo que Laws (1993) y Bosco (1999) añaden que una bajada controlada y suave del pie de base al suelo desde la posición de relevée es muy importante a la hora de darle mayor fricción y detener de manera consciente el giro y que además es síntoma de experiencia. En esta línea, Muelas et al. (2008) aseguran que existen diferencias significativas en el equilibrio entre bailarinas expertas y noveles, del mismo modo que Leanderson (1996) las encontró también entre bailarines profesionales de danza clásica y otro grupo de control que no hacía ningún tipo de actividad física.

En cuanto a los descriptivos de los parámetros temporales, estos nos indican que donde realmente existen diferencias significativas entre expertas y noveles es en aquellos relacionados con la fase de giro, en la que las expertas emplean más tiempo que las noveles. Esto puede deberse a la mayor capacidad de equilibrio y de modificación del momento de inercia de las expertas comentado con anterioridad (Frankling, 1996; Laws, 1993 y Bosco, 1999). Por ello, las noveles prolongan más la fase de rectificación y consecuentemente la de apoyo en general. No obstante, estas diferencias en la fase de apoyo sólo se encuentran cuando el ritmo de ejecución aumenta, porque el tiempo en el apoyo ha de reducirse para conseguir la correcta ejecución de las piruetas y la consecuente precisión temporal. De este modo, las noveles no lo consiguen y siguen manteniendo mayores tiempos de contacto, posiblemente por pérdidas de equilibrio y las rectificaciones (Leanderson, 1996; Muelas et al. 2008), algo que les hace llegar antes de lo debido al apoyo y por eso se adelantan al pulso débil.

En cuanto a la variable «duración salida-retirée» es la única de las pertenecientes a la fase de giro con valores medios menores en el grupo de expertas. Teniendo en cuenta que esta subida a retirée de la pierna libre ha de estar coordinada con la extensión de la pierna de base y subida a relevée (media punta) del pie de la misma según Challet-Hass (1997) y Bosco (1999), si esta fase de la pirueta se realizara de manera demasiado lenta, la pierna de soporte no tendría fuerza suficiente para colocar el centro de gravedad encima de la base de apoyo y/o giro. Tampoco tendría fuerza para aguantar el peso corporal durante el mismo y se darían las correspondientes pérdidas de equilibrio. Por lo tanto, esta fase parece necesitar cierta rapidez independientemente del ritmo de ejecución de las piruetas. Además esta subida a retirée rápida ayuda a centrarse en la verticalidad (Frankling, 1996), es decir, a encontrar rápidamente el eje de giro sobre los dedos, algo íntimamente relacionado con un mejor equilibrio para las piruetas.

De los datos obtenidos en los descriptivos, uno de ellos coincide con los resultados obtenidos por Laws (1979) en su experimento, en los que determinó que la dura-

ción de la fase de apoyo era de 0.48 segundos, aunque no determinaba la duración del resto de fases de la pirueta. En nuestros resultados la duración de esta fase es de 0.46 segundos.

En cuanto a la variabilidad de ejecución y de resultado, no se encuentran diferencias significativas entre los coeficientes de variación de ambos grupos debido posiblemente a la escasez de la muestra. No obstante la tendencia es a mostrar una mayor consistencia en el resultado a velocidades lentas en el caso de las expertas, coincidiendo con autores como Newell et al. (1993), quienes afirman que una mayor consistencia en el resultado es síntoma de experiencia. En esta línea, Yamanishi et al. (1980) afirman que los músicos expertos hacen tareas de ajuste temporal con mayor estabilidad que aquellos que no son músicos y que la experiencia mejora esta estabilidad temporal en tareas rítmicas.

Los resultados en relación a los diferentes ritmos de ejecución presentan una mayor precisión temporal cuanto mayor era el ritmo de ejecución de las piruetas, coincidiendo con los resultados obtenidos en los estudios de Newell et al. (1993) y Jasiewicz & Simmons (1996), quienes afirman que los movimientos rápidos son más consistentes en sí mismos, es decir, cortos intervalos de tiempo son más fáciles de reproducir o estimar que aquellos que son más largos.

Sin embargo, aunque se encontraron diferencias significativas entre los tres ritmos de ejecución en lo que respecta a la precisión en el pulso débil, solamente se encontraron diferencias significativas en el desfase o ajuste al pulso fuerte entre las velocidades de 75 ppm y 115 ppm. Estos resultados pueden deberse a que el momento en el que el pie toca la plataforma (momento que define la precisión en el pulso débil) va precedido de fases más lentas, por lo que pequeños incrementos en la velocidad (± 20 ppm) son suficientes para detectar diferencias en la precisión temporal (Jasiewicz et al., 1996 y Newell et al., 1993). Sin embargo, el momento en el que el pie llega al retirée (momento del pulso fuerte) va precedido por fases que requieren gran velocidad en relación a las demás y según Jasiewicz et al. (1996) y Newell, Carlton et al. (1993), a velocidades mayores son necesarios mayores incrementos en la velocidad o ritmo de ejecución (± 40 ppm) para que las diferencias en la precisión temporal entre estos ritmos sean notorias.

En lo referente a las variables temporales se encontraron diferencias significativas entre todas las velocidades de ejecución, excepto para las variables «duración del impulso» y «duración salida-retirée», con una menor duración de las mismas para velocidades mayores. Esto parece lógico desde el punto de vista de que a mayor ritmo de ejecución demandado para realizar una tarea, menor tiempo de movimiento (TM) implicará (Newell et al., 1980, citado por Schmidt et al., 2005). Las dos variables que no estuvieron afectadas por esta velocidad de ejecución son aquellas que

deben ser rápidas para una correcta realización del gesto independientemente de la velocidad o del ritmo de ejecución, tal y como comentamos con anterioridad (Bosco, 1999).

Por otro lado los resultados mostraron que los parámetros espaciales eran los que menos influenciados están por la velocidad de ejecución, frente a los parámetros temporales y de precisión temporal. Esto es lógico desde el momento en que al realizar un movimiento a mayor velocidad implica que la duración del mismo y de las fases que lo comprenden sea menor (parámetros temporales) y además según Newell et al. (1993), la relación entre la velocidad- precisión es muy fuerte. De esta manera, los parámetros espaciales relacionados con las posiciones angulares de la rodilla de la pierna libre parecen ser aspectos de la técnica que no deben modificarse independientemente de la velocidad de ejecución a la que se realicen, es decir, la mayor consistencia de los mismos será síntoma de experiencia (Williams et al., 1999; Newell & Slifkin, 1998).

La velocidad de ejecución también afectó a la mayor o menor consistencia en el resultado. A mayores ritmos de ejecución, mayor precisión temporal respecto a ambos pulsos y mayor variabilidad en la precisión respecto al pulso débil, pero mayor consistencia respecto al pulso fuerte. Esta mayor consistencia en la precisión temporal en el pulso fuerte está en la línea de los estudios de Newell, Carlton & Kim (1994), quienes afirman que a menores tiempos de movimiento a la hora de ejecutar una tarea motriz menor variabilidad temporal; aunque esto se realizó con tareas de ajuste temporal y espacial sencillas en las que solamente estaba implicada la articulación del codo.

Jasiewicz et al. (1996) y Newell et al. (1993) también hablan de que a ritmos de ejecución elevados no son suficientes pequeños incrementos en la velocidad para encontrar diferencias en la consistencia en lo que a precisión temporal se refiere. Esto puede explicar que no encontremos diferencias en los coeficientes de variación en el pulso débil entre las velocidades de 95 y 115 ppm y que sólo las encontráramos en el pulso fuerte entre 75 y 115 ppm. Es posible que modificaciones de ± 20 ppm en el ritmo de ejecución no sean suficientes y que se necesiten modificaciones de ± 40 ppm para encontrar diferencias en la consistencia de esta precisión temporal.

Por otro lado, parece que la precisión en el pulso débil, precedido por fases más lentas, se ve dificultada a medida que el ritmo de ejecución impuesto aumenta, por ello la consistencia del mismo disminuye a medida que la velocidad aumenta, para poder adaptarse a las dificultades (Zazone et al., 1992; Berthier et al., 2005). No obstante, con la precisión en el pulso fuerte ocurre lo contrario, debido a la necesaria velocidad de las fases que le preceden y, por tanto, a mayor ritmo de ejecución mayor consistencia en esta variable y a menor ritmo de ejecución mayor dificultad en la precisión en este momento, por lo que la consistencia en este variable disminuiría

para poder adaptarse a las dificultades a través de la flexibilidad del sistema (Zazone et al.; Berthier et al.).

En lo que respecta a los coeficientes de variación de los parámetros cinemáticos temporales y espaciales (variabilidad en la ejecución), no se encontraron diferencias significativas entre velocidades. Resultados semejantes obtuvieron Owings & Grabiner (2004) en su estudio al demostrar que la velocidad en el patrón de la marcha no influenciaba la consistencia de ninguno de los parámetros cinemáticos estudiados.

CONCLUSIONES

En conclusión, la aplicación de este sistema automatizado nos ha servido para analizar la variabilidad durante la ejecución de una sucesión de piruetas en-dehors en danza clásica ajustadas al ritmo de un metrónomo, así como las características de la misma. La gran ventaja de este sistema automático frente a otras medidas más sencillas como la cinematografía ha sido la rápida obtención de los resultados, lo cual nos permitía dar feedback a las bailarinas tras finalizar cada proceso de medida.

En lo que a los resultados respecta, las tendencias sugieren una mayor consistencia en el resultado asociado a una mayor consistencia en la ejecución y a un mayor rendimiento (mayor precisión temporal de las expertas). No obstante, a ritmos de ejecución muy elevados, un mayor rendimiento (precisión temporal) en las expertas parece ir asociado a una mayor variabilidad en el resultado, pero no en la ejecución, al menos en su totalidad. Estas tendencias deberán ser confirmadas en futuros estudios con una muestra más amplia. Por otro lado, Los resultados indican una mayor duración de las fases relacionadas con el giro, especialmente en las expertas, quienes demuestran una mayor capacidad de equilibrio y control para decidir cuando acabar el giro con el fin de ir corrigiendo los desfases temporales anteriores, de ahí que sean más precisas respecto al pulso débil y consecuentemente respecto al fuerte sin necesidad de hacer rectificaciones ni perder la fluidez del gesto.

Nuestro estudio aporta un conocimiento innovador para el estudio de la variabilidad en la danza y permite dar un paso en la ampliación y actualización de la escasa literatura científica existente en esta área artístico-motriz. Dentro de las perspectivas de trabajo que se plantean tras este estudio destaca la ampliación de la muestra analizada para confirmar algunas de las conclusiones obtenidas en este estudio.

REFERENCIAS

- Aschersleben, G. (2002). Temporal Control of Movement in Sensorimotor Synchronization. *Brain and Cognition*, 48, 66-79.
- Barraza Rivacoba, R. & Susarrey Rios, S. (2002). Aspectos musicales dentro de la enseñanza profesional de la danza clásica. *Segundo encuentro de la enseñanza musical. Escuela Superior de Música*. Méjico.

- Bedolla, E. (2001) Danza de Carácter y excelente dominio técnico: Don quijote. Consejo Nacional para la cultura y las artes de México recuperado el 15 de abril de 2007 de, www.cnca.gob.mx/cnca
- Berthier, N. E., Rosenstein, M.T. & Barto, A.G. (2005). Approximate optimal control as a model for motor learning. *Psychological Review*, 112, 329-346.
- Bosco, J. & Gómez Pellico, L. (1999). Análisis biomecánico de la pirueta en ballet. *I Jornadas de Danza e investigación*. Murcia.
- Button, C. (2002). The effect of removing auditory information of ball projection on the coordination of one-handed ball catching. In K. Davids, G. Savelsbergh, S. Bennett, and J., van der Kamp (Eds.), *Interception actions in sport: Information and movement* (pp. 184-194). London: Taylor and Francis
- Castañer Balcells, M. (1999). *El potencial creativo de la danza y la expresión corporal*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Santiago de Compostela.
- CHallet-Hass, J. (1997). *Manuel Practique de la Danse Classique*. Paris: Amphora
- Corbetta, D. & Veriejken, B. (1999). Understanding development and learning of motor coordination in sport: the contribution of dynamic systems theory. *International Journal of Sport Psychology*, 30 (44), 507-530.
- Davids K., Glazier P., Araujo D. & Bartlet, R. (2004). Movement systems as dynamical systems: the role of functional variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33: 245-60.
- Gandevia, SC. & Burke, D. (1992). Does the nervous system depend on kinesthetic information to control natural limb movements? *The Behavioral and Brain Sciences*, 15: 614-32
- Holly, J., & Haight, M.A. (1998). Morphologic, physiologic and functional interacciones in elite female ballet dancers. *Medical Problem of Performing Artists*.
- Jagancinski, R.J. & Miller, R.A. (1978). Describing the human operator's internal model of a dynamic system. *Human Factors* 20(4), 425-433
- James, W. (1980). *The principles of psychology*. New York. Dover
- Jasiewicz, J. & Simmons, RW. (1996). Response timing accuracy as a function of movement velocity and distance. *Journal of Motor Behaviour*, 28, 224-232.
- Jhung, F. (2007). *How to do en-dedans pirouettes*. *PointeMagazine*, recuperado en mayo de 2007 de DanceArt.com. Links. Resources for Dance Teachers.
- Frankling, E. N. (1996). *Dance imagery for technique and performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Laws, K.L. (1979). An Analysis of Turns in Dance. *Dance Research Journal* 11, 12-19.
- Laws, K.L. (1993). The Mechanics of Turns in Dance - Essay in *Fundamentals of Physics*, 4th Ed., Halliday, Resnick, and Walker: Wiley.
- Leanderson, J., Eriksson, E., Nilsson, C. & Wykman, A. (1996). Propiception in Classical Ballet Dancers. *The American journal of Sport Medicine*, 24 (3), 370-374
- Mates, J., & Archersleben, G. (2000). Sensoriomotor synchronization: The impact of temporally displaced auditory feedback. *Acta Psychologica*. 104, 29-44.

- Muelas, R, Moreno, F.J., Sabido, R. & Barbado, D. (2008). Análisis de la fuerza y del equilibrio en bailarinas de danza clásica en función del nivel de experiencia. Comunicación presentada en el *I Congreso Internacional de Ciencias del Deporte de la UCAM*. Murcia.
- Newell, K.M., Carlton, L.G. & Kim, S. (1994). Time space-time-movement accuracy. *Human Performance*. Vol. 7 (1), 1-21
- Newell, K.M., Carlton, L.G., Kim, S. & Chung, C. (1993). Space-time accuracy of rapid movements. *Journal of Motor Behavior*, 25, 8-20.
- Newell, K. M. & Corcos, D. M. (1993). *Variability and motor control. Conference on Variability and Motor Control*. Champaign : Human Kinetics.
- Newell, K.M. & Slifkin, A.B. (1998). The nature of movement variability. In J.P. Piek (Ed.), *Motor behavior and human skill. A multidisciplinary perspective* (pp. 143-160). Champaign: Human Kinetics.
- Oña, A., Martínez, M., Moreno, F.J. & Ruiz, L.M. (1999) *Control y Aprendizaje Motor*. Madrid: Síntesis.
- Owings, T. & Grabiner, M. (2004). Variability of steps kinematics in young and older adults. *Gait & Posture*, 20 (1), 26-29.
- Repp, B.H. (2001). Phase correction, phase resetting, and phase shifts after subliminal timing perturbations in sensorimotor synchronization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 600-621.
- Riley, M.A. & Turvey, M.T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of Motor Behavior*, 34, 99-125.
- Schmidt, R. A. & Wrisberg, C. A. (2002). *Motor Learning and Performance*. (Second Edition). Champaign: Human Kinetics.
- Schmidt, R.A. & Timothy, D.L. (2005). *Motor Control and Learning. A behavioral emphasis*. (Fourth edition). Champaign: Human Kinetics.
- Tasarov, N. (1985) *Ballet Technique for the Male Dancer*. Doubleday: New York
- The Royal Academy (2005). *A dance Class anthology. The Royal Academy of Dance Guide to Ballet Class Accompanishment*. London.
- Williams, A.M., Davids, K. & Williams, J.G. (1999). *Visual perception and action in sport*. London: Routledge, Taylor and Francis.
- Yamanishi, J., Kawato, M., & Suzuki, R. (1980). Two coupled oscillators as a model for the coordinated finger zapping by both hands. *Biological Cybernetics*, 37, 219-225
- Zazone, P.G. & Kelso, J.A.S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: human Perception and performance*, 18, 403-421.