



Centre universitari adscrit a la



TRABAJO FINAL DEL MÁSTER EN ENTRENAMIENTO PERSONAL Y READAPTACIÓN FÍSICO-DEPORTIVA

Comparación del gesto técnico de la pirueta hacia atrás entre gimnastas élite y subelite
mediante dispositivos inerciales: Análisis cinemático.



Autora: Mariona Menéndez Ramírez

Directora: Dra. Carla Pérez-Chirinos Buxadé



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría empezar agradeciendo a todas las gimnastas que participaron voluntariamente como muestra en el estudio, por su implicación e interés en los resultados.

A mi directora Dra. Carla Pérez-Chirinos Buxadé por guiarme desde el primer momento, por todo el apoyo incondicional recibido, por acompañarme a todos los registros y animarme en todo momento.

También agradecer a los clubes participantes a abrirme sus puertas y dejarme registrar sus gimnastas, así como a la Federación Catalana de Gimnasia por abrirme las puertas para poder registrar a las gimnastas del centro de alto rendimiento de Sant Cugat.

Finalmente agradecer a mis compañeros/as, a mi familia y amigos por el apoyo incondicional durante el desarrollo del trabajo.



Comparación del gesto técnico de la pirueta hacia atrás entre gimnastas élite y subelite mediante dispositivos inerciales: Análisis cinemático.

Resumen

La gimnasia artística, según la Federación Internacional de Gimnasia (FIG), se distingue por su ejecución de elementos altamente técnicos y desafiantes en cuatro aparatos, donde las gimnastas son evaluadas por la dificultad, la ejecución y la fluidez del movimiento. Este estudio se enfoca en el análisis biomecánico de la pirueta hacia atrás en el suelo, realizada tras la rondada flic-flac. La pirueta implica un cuarto de giro en el eje medio lateral, seguido de un giro en el eje longitudinal, mientras la fuerza gravitatoria actúa perpendicular al plano de movimiento. Se emplearán dispositivos IMU con las variables del acelerómetro y giroscopio para medir el gesto técnico. Se comparará la variabilidad del movimiento entre gimnastas subelite (categorías vía 4 a vía 8) y gimnastas élite (vía 9 y vía 10). Este análisis busca profundizar en la comprensión de la ejecución técnica de la pirueta, brindando información interesante sobre posibles diferencias entre gimnastas de diferentes niveles de habilidad, lo que podría tener implicaciones en la formación y entrenamiento de gimnastas en este deporte de alta exigencia técnica.

Palabras clave: Pirueta, IMU, gimnasta, variabilidad de movimiento, entropía.



Comparison of the technical gesture of the twist somersault between elite and subelite gymnasts using inertial devices: kinematic analysis.

Abstract:

Artistic gymnastics, as defined by the International Gymnastics Federation (FIG), is distinguished by its execution of highly technical and challenging elements across four apparatuses, where gymnasts are assessed based on the difficulty, execution, and fluidity of movement. This study focuses on the biomechanical analysis of the backward somersault on the floor, performed following the roundoff back handspring. The somersault involves a quarter-turn about the mediolateral axis followed by a full rotation about the longitudinal axis, while gravitational force acts perpendicular to the plane of movement. IMU will be utilized to measure the technical gesture. The consistency of movement will be compared between pre-elite gymnasts (categories level 4 to level 8) and elite gymnasts (level 9 and level 10). This analysis aims to deepen the understanding of somersault technical execution, providing valuable insights into potential differences among gymnasts of varying skill levels, which could have implications for gymnasts' development and training in this sport of high technical demand.

Key words: Somersault, IMU, gymnast, movement variability, entropy.



Abreviaturas:

VM: Variabilidad de movimiento.

Acel: Aceleración.

Gryo: Giroscopio.

IMU: Unidad de medición inercial.



ÍNDICE

Introducción	6
Hipótesis y objetivos del estudio	8
Material y métodos	9
<i>Diseño del estudio / método</i>	9
<i>Población y muestra</i>	9
<i>Procedimiento y/o intervención.....</i>	10
<i>Procedimiento.....</i>	11
<i>VARIABLES Y TEST DE EVALUACIÓN EMPLEADOS.....</i>	11
<i>Consideraciones éticas.....</i>	12
<i>Análisis estadístico.....</i>	13
<i>Limitaciones.....</i>	15
Resultados	15
Discusión y Conclusiones.....	18
Bibliografía	21
Anexos	23



Introducción

La gimnasia artística es un deporte con un elevado grado de dificultad por la demanda de las condiciones físicas y técnicas de la gimnasta, acompañado de exigencias psíquicas y funcionales. La gimnasia artística es un deporte de especialidad temprana (Bedoya et al., 1996), para este estudio se han comparado gimnastas que se encuentran en la formación deportiva de base en la fase de seguimiento y perfeccionamiento deportivo con gimnastas que se encuentran en el alto rendimiento que corresponden a la fase de máximo rendimiento deportivo, fase de estabilización y mantenimiento del nivel. Según las etapas del aprendizaje motor propuestas por Newell (1985), en las primeras etapas del aprendizaje puede resultar un desempeño del gesto inconsistente con alta VM, mientras que una vez es experto, la capacidad de afinar de manera óptima las características se muestra una menor VM (Wilson et al., 2008) .

Entendemos por variabilidad de movimiento como las variaciones presentes en la ejecución motriz y que se puede observar a través de múltiples repeticiones de un gesto.

La variabilidad del movimiento nos puede representar una etapa temprana de aprendizaje motor o la presencia de dificultades en la tarea. Muchos investigadores interpretan la variabilidad como un mecanismo para que los atletas se adapten y estabilicen sus acciones ante los condicionantes de la tarea.

La sincronización de los movimientos coordinados de todo el cuerpo es crucial para el desempeño exitoso de un gesto técnico, en este caso cuando una gimnasta realiza el mismo gesto técnico varias veces se espera que utilice la misma técnica (Català Antúnez, 2021). Detrás de cada repetición hay una cierta variabilidad cinemática. Hasta el día de hoy, hay muy pocos estudios relacionados con la VM en gimnasia.



Para analizar la técnica de ejecución de la pirueta, se utilizarán dispositivos tecnológicos de unidad de medición inercial (IMU) para poder registrar la aceleración del movimiento y observar la regularidad de este entre las diferentes gimnastas. Son sensores portátiles que facilitan el análisis permitiendo identificar movimientos y patrones de actividad específica del deporte e informar acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales. Permite cuantificar la VM del gesto mediante el uso de la entropía (Català Antúnez, 2021). Se implementará el giroscopio para analizar los momentos angulares entre ejes durante la rotación del cuerpo ya que el inicio de la pirueta puede verse influenciado por el número de rotaciones del movimiento alrededor del eje transversal y número de giros en el eje longitudinal. El giroscopio permite analizar los momentos angulares entre ejes cuando se realiza la rotación del cuerpo. También se usará el acelerómetro para conocer la aceleración del gesto en los diferentes ejes de movimiento por los que se compone.

Para ser considerado un experto en un gesto técnico la gimnasta debe realizar un mínimo de 10.000h de práctica significativa. Se ha visto una clara relación con la mejora mecánica y el rendimiento técnico cuando hay una disminución continua de la VM (Hiley et al., 2013) . En gimnasia una disminución continua de la VM es beneficioso debido a que requieren una elevada precisión al realizar los diferentes gestos técnicos.

El gesto que se analizará en este estudio es la pirueta hacia atrás, la cual se define como un mortal extendido con un $\frac{1}{4}$ de giro en el eje medio lateral seguido de un giro completo en el eje longitudinal ([vídeo rondada flic flac pirueta](#)). En gimnasia artística femenina podemos encontrar este gesto en los cuatro aparatos (salto, paralelas asimétricas, barra de equilibrio y suelo). Es importante considerar que la técnica de ejecución de la pirueta puede verse influenciada por factores como el número de rotaciones alrededor del eje transversal y el número de giros en el eje longitudinal. Se ha observado que una mayor transferencia de

momento angular entre los ejes X e Y del cuerpo se facilita con un aumento en la inclinación del cuerpo. Por lo tanto, las acciones de los brazos desempeñan un papel crucial, donde un brazo se desliza hacia abajo hacia el costado del cuerpo donde se realizará el giro de la pirueta, mientras que el otro brazo se desliza hacia abajo (Ng, 1985).

En este caso nos centraremos en el análisis de la pirueta hacia atrás en el aparato de suelo y tendremos en consideración que la pirueta analizada vendrá a continuación de una rondada flic-flac. En función de la lateralidad de la gimnasta la pirueta podrá ser con rotación hacia el lado derecho o izquierdo (Heinen et al., 2009).



Figura 1: Fases del movimiento de la pirueta atrás realizada en el suelo.

Se llevará a cabo un estudio descriptivo analizando la ejecución técnica de la pirueta mediante dispositivos IMU, registrando la aceleración del gesto para poder observar la regularidad de las diferentes gimnastas junto el giroscopio y la entropía. La entropía se encarga de cuantificar la energía de un sistema que no puede ser utilizada para realizar trabajo.

Hipótesis y objetivos del estudio

La Hipótesis que se plantea es que las gimnastas élite presentan una menor variabilidad de movimiento respecto las gimnastas subelite.

A partir de la Hipótesis se plantean los diferentes objetivos:



- Evaluar la variabilidad del movimiento en el gesto técnico de la pirueta entre gimnastas élite y sub-élite con variables cinemáticas mediante dispositivos IMU.
- Evaluar la variabilidad del movimiento entre las diferentes variables del estudio.

Material y métodos

Diseño del estudio / método

Es un estudio descriptivo con una secuencia temporal transversal y observacional.

Población y muestra

Participantes:

Doce gimnastas, siete pertenecientes al grupo élite y cinco pertenecientes al grupo subelite.

Para determinar de qué grupo forman parte las gimnastas se ha tenido en cuenta los niveles de competición nacional descritos por la Real Federación Española de Gimnasia y las horas de entrenamiento ([acceder a la normativa de la federación española de gimnasia](#)). Forman parte del grupo élite las gimnastas que se encuentran en las categorías de vía olímpica 9 y 10 que entrenan una media de 25-30h semanales, compiten a nivel autonómico, nacional e internacional. Forman parte del grupo subelite aquellas gimnastas que compiten en las categorías vía olímpica 4,5,6 ,7 y 8, entrenan una media de 20-25h semanales y compiten a nivel autonómico y nacional.

Además, solo pueden participar en el estudio aquellas gimnastas que cumplen con los criterios de inclusión y no con los de exclusión:

Criterios de inclusión:

- Gimnasta que pertenece a la categoría de Vía Olímpica 4 o superior.
- Gimnasta que sabe realizar una rondada flic flac pirueta.
- Entrena +/- 18h semanales.



Criterios de exclusión:

- No presenta una lesión.
- No cumplir con los criterios de inclusión.

Para seleccionar a las gimnastas participantes en el estudio se han tenido en cuenta los clubes de referencia y las gimnastas que se encuentran en el centro de alto rendimiento de Sant Cugat. Han participado gimnastas del Club Gimnàstica Artística l'Hospitalet, Wolf Club Gimnàstica Terrassa y del CAR de Sant Cugat.

Se tuvieron que descartar a dos participantes debido a que los resultados eran muy dispares al resto de las gimnastas (valores muy inferiores). Es probable que los resultados hayan salido dispares por un error en la calibración del dispositivo IMU al iniciar el registro

Procedimiento y/o intervención

Dispositivo IMU y ubicación:

Para los registros se ha implementado un dispositivo IMU (WIMU, Realtrack Systems, Almería, España; peso: 70g; tamaño 81 mm x 45 mm x15 mm). Señales del acelerómetro de 3 ejes (frecuencia de muestreo: 1000Hz) y el giroscopio de 3 ejes. Antes de iniciar el registro de datos, las unidades de medición inercial (IMU) se calibraron en una superficie nivelada y uniforme de acuerdo con las pautas del fabricante. La IMU se colocó en la parte baja de la espalda de las gimnastas. La orientación y calibración del eje del sistema de medición se establecieron como se muestra en la Figura 3.



Figura 2: dispositivo WIMU con los ejes de calibración y orientación.

Procedimiento

Las gimnastas realizaron el calentamiento general que habitualmente hacen y la preparación física general. A continuación, se calibraron los dispositivos IMU en una superficie estable y nivelada. Una vez calibrados se procedió a la recogida de datos colocando el IMU en la zona lumbar, centrado y a la altura de las crestas ilíacas de las gimnastas fijándolo con un cinturón buscando su máxima fijación. Una vez posicionado el dispositivo las gimnastas realizan seis rondada flic flac pirueta en la diagonal del suelo.

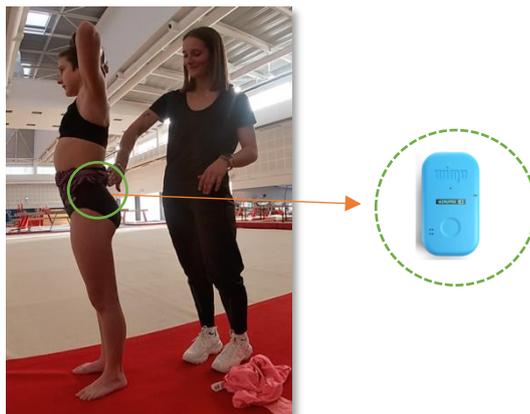


Figura 3: Colocación del dispositivo IMU en la zona lumbar de la gimnasta.

Variables y test de evaluación empleados

El estudio presenta ocho variables, las cuales son:



- Aceleración en el eje X.
- Aceleración en el eje Y.
- Aceleración en el eje Z.
- Aceleración total.
- Giroscopio en el eje X.
- Giroscopio en el eje Y.
- Giroscopio en el eje Z.
- Giroscopio total.

Todas las variables se obtienen directamente a partir del IMU excepto el giroscopio total que se obtiene a partir de la raíz cuadrada del giroscopio en los tres ejes: x,y,z. Hay que tener en cuenta que obtendremos las 8 variables por cada pirueta de cada gimnasta. Una vez obtenidas todas las variables por cada pirueta se ha calculado la entropía mediante SampEn ya que es la más utilizada en ciencias de la actividad física y el deporte.

Consideraciones éticas

El presente estudio se llevó a cabo siguiendo los principios éticos establecidos con el fin de garantizar la protección de las gimnastas participantes involucradas en el registro de datos. Antes de iniciar la toma de datos se obtuvo un consentimiento informado por parte de las gimnastas (Anexo 1).

A las gimnastas se les proporcionó información detallada acerca del objetivo, procedimiento y metodología del estudio y su derecho a retirarse en cualquier momento sin ninguna repercusión. La participación de las gimnastas fue completamente voluntaria. La confidencialidad y la privacidad de los datos, se tomaron las medidas necesarias para proteger



la anonimidad de las gimnastas mediante un código numérico, además de almacenar todos los datos en una base de datos segura dónde solo ha tenido acceso la autora y directora del estudio. A raíz de ello, el presente estudio mantendrá la confidencialidad de los datos personales de acuerdo con la Ley Orgánica 3/1018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

El diseño de la intervención observacional ha sido elaborado pensando en no suponer un riesgo para la gimnasta ni influir en su rendimiento deportivo.

El estudio ha sido revisado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Pompeu Fabra, asegurando que los procedimientos cumplían con los estándares éticos esenciales.

Análisis estadístico

El análisis ha abarcado un total de 84 piruetas para una muestra de catorce gimnastas. En primer lugar, se aplicó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para ver la distribución de la muestra. Al ver que el sigue una distribución normal, se aplicó una prueba paramétrica para poder observar las diferencias entre el grupo élite y subelite. La VM de las piruetas de cada gimnasta y grupo se ha investigado utilizando SampEn. La entropía SampEn es más robusto a las variaciones en la longitud de las series temporales y puede aportar información significativa con datos más pequeños (Tuyà Viñas et al., 2023).

Se ha llevado a cabo un T-test para poder hacer la comparación de los dos grupos (élite y subelite) independientes. Por otro lado, se empleó un ANOVA para evaluar la VM de cada variable. Se implementó un T-test para ver las diferencias de variabilidad de movimiento de



cada variable entre los dos grupos independientes de estudio (grupo elite y subelite). Para evaluar la influencia de las diferentes variables registradas durante la pirueta se implementó un análisis de varianza de medidas repetidas unidireccionales (ANOVA).

Para el análisis de los datos se ha empleado una combinación de diferentes programas, partiendo del software específico de la IMU (WIMU) donde se realizaba un primer análisis visual de la señal y se procedió aplicando cortes por repeticiones del gesto y posteriormente se exportaban a Excel para finalmente realizar los cálculos a través de R. Los diferentes softwares específicos han sido:

- SPRO WIMU (RealtrackSystems, Almería, España) para el dispositivo multisensor WIMU.
- R studio para hacer toda la estadística.

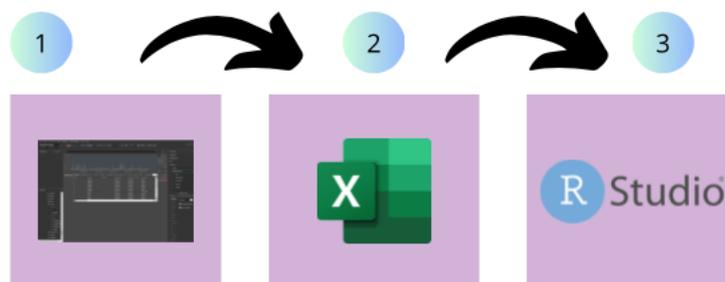


Figura 4: Esquema sobre el proceso de análisis de datos.

Para los cortes de la señal y el análisis del gesto técnico se ha realizado a partir de la variable de la aceleración total ya que es como se han analizado la gran mayoría de gestos deportivos en otros artículos (González-Millán et al., 2024).



Limitaciones

Al registrar en diferentes clubes condiciona el tipo de calentamiento que realiza cada gimnasta, así como la preparación física inicial y el momento del entrenamiento en el cual se procede a hacer el registro. Para futuras investigaciones se debería de controlar el calentamiento general, preparación física y registrar en el mismo punto del entrenamiento para no condicionar el resultado y partir del mismo punto todas las gimnastas. En este caso no ha sido posible controlar estos condicionantes ya que las gimnastas se encontraban en periodo competitivo.

Resultados

El análisis biomecánico de gesto técnico de la pirueta se investigó mediante la VM. Se investigó utilizando SampEn (Villa Fernández-Valdés, 2021, Sánchez Bañuelos, 2010, Pérez-Chirinos Buxadé et al., 2024). SampEn fue mayor en el grupo de las gimnastas subelite como se aprecia en la *figura 5*. Concretamente no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos ya que el valor de p es mayor a 0,005, pero se puede apreciar una tendencia de que el grupo elite presenta una VM menor respecto el grupo subelite. La variable SampEn aceleración total ($p=0,215713$, $t=1,322$), aceleración x ($p=0,518648$, $t=0,6690$), aceleración y ($p=0,403031$, $t=0,8732$), aceleración z ($p=0,565218$, $t=0,5948$), giroscopio total ($p=0,461641$, $t=0,7655$), giroscopio x ($p=0,398577$, $t=0,8818$), giroscopio y ($p=0,287414$, $t=1,124$) giroscopio z ($p=0,396274$, $t=0,8863$).

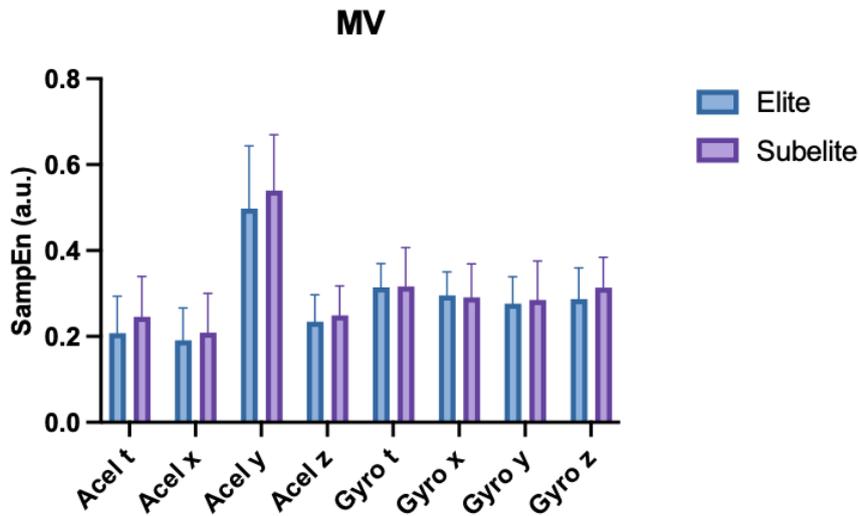


Figura 5: Grafico de barras que ilustran la entropía de muestra (SampEn) para cada variable y para los dos grupos de estudio. Los valores de las barras indican las medias. Las comparaciones estadísticas se realizaron utilizando un multiple T-test . Las abreviaturas son las siguientes: Acel t (Aceleración total), acel x (aceleración x), acel y (aceleración y), acel z (aceleración z), gyro t (giroscopio total), gyro x (giroscopio x), gyro y (giroscopio y) y gyro z (giroscopio z).

Además, se empleó un ANOVA (One-way ANOVA) para evaluar las diferencias entre las diferentes variables. No se obtuvieron valores significativos en la VM en todas las variables. También se aplicó un test ANOVA unidireccional para medidas repetidas para poder ver las diferencias de VM entre les ocho variables. Acel t vs acel y (mean diff= -0,2978; $p < 0,0001$), acel x vs acel y (mean diff= -0,3261; $p < 0,0001$), acel x vs gyro t (mean diff= -0,1108 ; $p = 0,065$), acel y vs acel z (mean diff= 0,2950 ; $p < 0,0001$), acel y vs gyro t (mean diff= 0,2154; $p < 0,0001$), acel y vs gryo t (mean diff= 0,2154; $p < 0,0001$), acel y vs gyo x (mean diff= 0,245; $p < 0,0001$), acel y vs gyro y (mean diff= 0,2483; $p < 0,0001$) y acel y vs gyro z (mean diff= 0,2583; $p < 0,0001$).

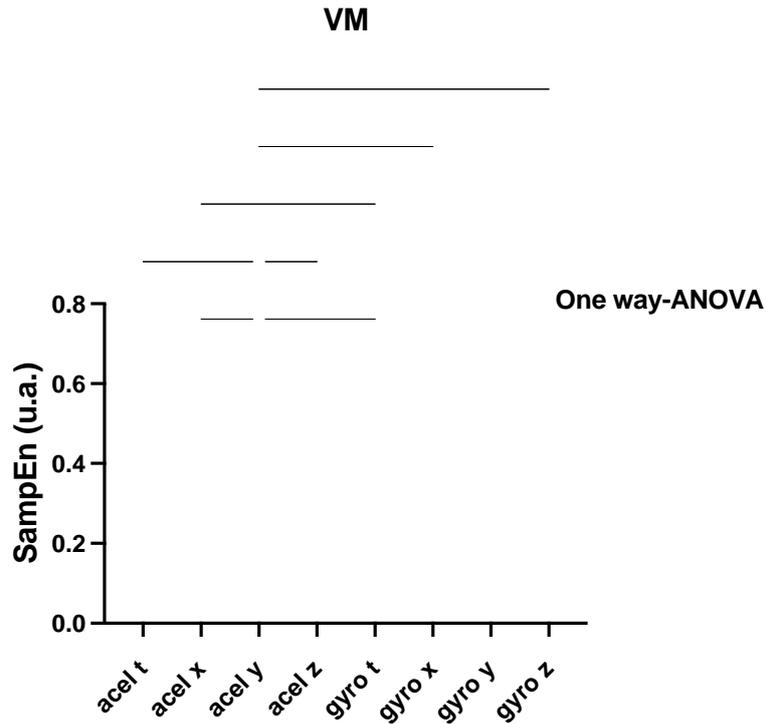


Figura 6: Gráficos de barras que ilustran la entropía de muestra (SampEn) de cada variable. Los valores de las barras nos indican las medias. Los niveles de significancia se indican como: **** si $p < 0,0001$ y ** si $p < 0,0065$. Las abreviaturas son las siguientes: Acel t (Aceleración total), acel x (aceleración x), acel y (aceleración y), acel z (aceleración z), gyro t (giroscopio total), gyro x (giroscopio x), gyro y (giroscopio y) y gyro z (giroscopio z).

En el siguiente gráfico se puede observar la media y desviación estándar de la SampEn por cada variable y grupo.

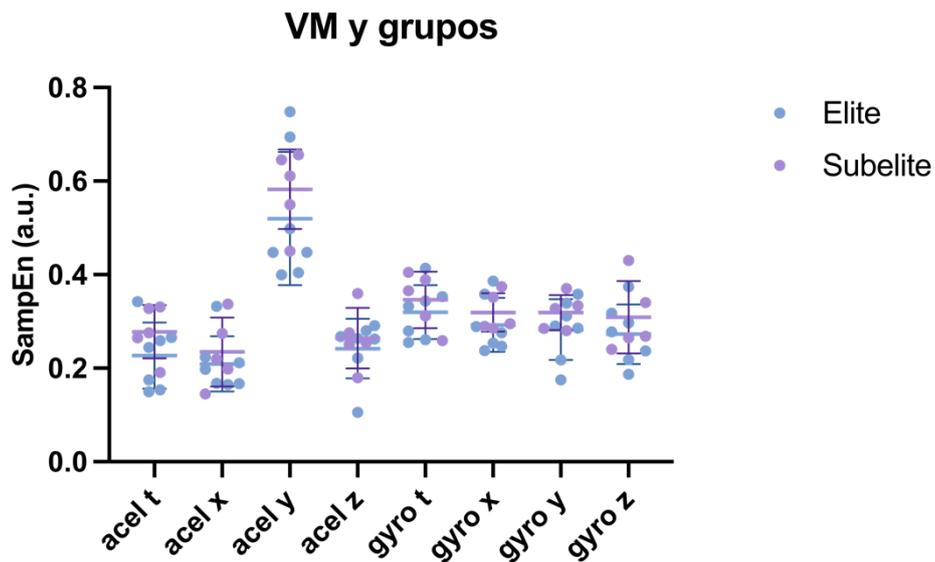


Figura 7: Gráfico que ilustran la media y desviación estándar de la entropía de muestra (SampEn) de cada variable y grupo.



Discusión y Conclusiones

Antes de empezar este estudio no encontramos estudios no lineales mediante dispositivos IMU en gimnasia artística. No hemos encontrado un análisis biomecánico de algún gesto técnico específico de gimnasia artística con dispositivos inerciales. El objetivo del estudio era poder evaluar la variabilidad del movimiento en el gesto técnico de la pirueta hacia atrás a través de variables cinemáticas mediante la aceleración y giroscopio obtenido de un dispositivo IMU y poder ver diferencias entre dos grupos independientes, un grupo formado por gimnastas elite y otro por gimnastas subelite. A pesar de no obtener resultados significativos vemos que los resultados siguen la tendencia de la hipótesis inicial planteada de que el grupo subelite presentaba mayores niveles de VM respecto el grupo élite. Investigaciones anteriores sugieren que la VM se puede reducir mediante varios factores incluida la práctica deportiva junto con la experiencia de la gimnasta, por lo tanto, los resultados de este estudio y relacionado con el marco teórico inicial, vemos como la VM de la gimnasta disminuye a medida que se van haciendo más competentes. Es importante destacar que la variable que presenta una mayor VM es la aceleración y.

El eje y nos determina en el momento que la gimnasta pasa de girar en eje transversal a rotar en el eje longitudinal, por lo tanto, la orientación inicial del eje medio lateral de la gimnasta es un indicador del rendimiento eficiente y correcto del gesto técnico de la pirueta ya que si el giro se anticipa la gimnasta no consigue la altura necesaria comportando un mayor desplazamiento y recibir una mayor penalización en una competición. El giro inicial (cuando el eje x deja de ser el predominante y es el y) puede ser causado por un movimiento involuntario que precede del despegue de los pies del suelo. Las gimnastas con experiencia



con el elemento muestran un pequeño giro inicial que les permite poder realizar la técnica de la pirueta correctamente (Yeadon, 1993).

La gimnasia es un deporte muy técnico con unas exigencias físicas muy elevadas por este motivo se encuentra necesario seguir en la línea de poder realizar análisis mediante herramientas no lineales como IMU para poder obtener una mayor cantidad de datos mientras realiza el elemento que se quiere analizar.

La conclusión de este estudio es que la determinación de la VM mediante entropía puede utilizarse para evaluar el rendimiento del gesto técnico de la pirueta en gimnastas. Debido a las exigencias deportivas y competitivas de esta modalidad deportiva nos interesa que las gimnastas presenten una menor variabilidad de movimiento para poder realizar los elementos con una mayor precisión y así recibir una menor penalización de ejecución. Las gimnastas que presentan una VM significa que no dominan del todo el elemento y necesitan más horas de práctica.



Aplicabilidad práctica

El hecho de poder implementar dispositivos IMU nos aporta una gran cantidad de datos por segundo que nos permiten hacer un buen análisis del gesto técnico. Los IMU nos aportan comodidad ya que no ocupan mucho espacio, son ligeros, fáciles de transportar y de colocar. Mediante los datos que nos aportan podemos valorar diferentes parámetros que pueden afectar al rendimiento del gesto técnico y puede aportar información al entrenador de cómo debe trabajar para mejorar el gesto técnico. Por otro lado, nos permite entender y conocer lo que ocurre en cada momento del gesto. Sería interesante poder tener una muestra mayor para ver si se consiguen resultados significativos y podemos obtener más información para mejorar el gesto técnico.



Bibliografía

Bedoya, J. L., Santana, M. V., & Morenilla, L. (1996). *Indicaciones para la detección de talentos deportivos*. <https://www.researchgate.net/publication/301283331>

Català Antúnez, J. (2021). *MOVEMENT VARIABILITY IN VOLLEYBALL SPIKE IN FEMALE PLAYERS OF DIFFERENT CATEGORIES*.

González-Millán, S., Caparrós, T., Toro-Román, V., Illera-Domínguez, V., Albesa-Albiol, L., Moras, G., Pérez-Chirinos Buxadé, C., & Fernández-Valdés, B. (2024). Effect of Ball Inclusion in Drop Vertical Jump Test on Performance and Movement Variability in Basketball Players. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/app14020505>

Heinen, T., Vinken, P. M., & Velentzas, K. (2009). *Does laterality predict twist direction in gymnastics?* <https://www.researchgate.net/publication/267218783>

Hiley, M. J., Zuevsky, V. V., & Yeadon, M. R. (2013). Is skilled technique characterized by high or low variability? An analysis of high bar giant circles. *Human Movement Science*, 32(1), 171–180. <https://doi.org/10.1016/J.HUMOV.2012.11.007>

Ng, N. K. (1985). *BIOMECHANICS OF L TE TWIST INITIATION IN GYMNASTICS*.

Pérez-Chirinos Buxadé, C., Moras Feliu, G., Tuyà Viñas, S., Trabucchi, M., Gavaldà Castet, D., Padullés Riu, J. M., & Fernández-Valdés Villa, B. (2024). Influence of the Slope and Gate Offset on Movement Variability and Performance in Slalom Skiing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/app14041427>

Sánchez Bañuelos, F. (2010). *EL DESARROLLO DEL DEPORTE DE ALTO NIVEL DESDE UN ENFOQUE COMPLEJO ECOLÓGICO-SOCIAL*.



Tuyà Viñas, S., Fernández-Valdés Villa, B., Pérez-Chirinos Buxadé, C., González, J., & Moras Feliu, G. (2023). Decision making influences movement variability and performance of high-level female football players in an elastic resistance task. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1175248>

Villa Fernández-Valdés, B. (2021). *MOVEMENT VARIABILITY IN RESISTANCE TRAINING IN TEAM SPORTS*.

Wilson, C., Simpson, S., Van Emmerik, R., & Hamill, J. (2008). Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. *Sports Biomechanics*, 7(1), 2–9. <https://doi.org/10.1080/14763140701682983>

Yeadon, M. R. (1993). The biomechanics of twisting somersaults. Part I: Rigid body motions. *Journal of Sports Sciences*, 11(3), 187–198. <https://doi.org/10.1080/02640419308729985>



Anexos

Modelo Hoja del consentimiento informado

Se adjunta el modelo de hoja de consentimiento informado que firmaron las gimnastas para poder participar voluntariamente en el estudio.



INFORMACIÓN PARA LOS PARTICIPANTES

El/la estudiante Mariona Menéndez Ramírez del Máster Universitario en Entrenamiento Personal y Readaptación Físico-Deportiva, dirigido/a por Carla Pérez- Chirinos Buxadé está llevando a cabo el proyecto de investigación Análisis biomecánico con sensores inerciales de la pirueta.

El proyecto tiene como finalidad analizar el gesto técnico de la pirueta atrás mediante variables cinemáticas para poder comparar a nivel coordinativo las diferencias que se obtienen en función del nivel de las gimnastas.

Procedimiento:

Si así lo decides, participarás en el estudio de forma voluntaria. A continuación, te resumimos sus fases:

Durante una mañana se realizarán 6 rondada flic-flac pirueta en un suelo homologado por la FIG (Federación Internacional de Gimnasia). Se medirán los gestos técnicos mediante dispositivos IMU (WIMU, Realtrack Systems Almería, España; peso:70g; tamaño 81 mm x 45mm x15 mm),colocado en la parte baja de la espalda de las gimnastas con la ayuda de un cinturón y una banda elástica que se ajustará en la cintura buscando la máxima fijación. Una vez hecha la medición se compararán las variables cinemáticas obtenidas en las gimnastas (de Vía Olímpica 4 a Vía Olímpica 7) con gimnastas de mayor nivel (Vía Olímpica 9 y 10). Para este estudio podrán participar las gimnastas que cumplan con los criterios de inclusión:

- Gimnasta que pertenece a la categoría de Vía Olímpica 4 o superior.
- Gimnasta que sabe realizar una rondada flic flac pirueta.
- Entrena +/- 18h semanales.

Uso confidencial e información:

Todos los datos obtenidos en este estudio son confidenciales. Sólo el equipo investigador (Mariona Menéndez y Carla Pérez- Chirinos) tendrá acceso a los mismos y estarán protegidos contra cualquier uso indebido. El fichero de datos del estudio estará bajo la responsabilidad del investigador principal (Mariona Menéndez), ante el cual podrá ejercer en todo momento los derechos que establece la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

Te informamos de que tus datos serán incorporados a un fichero, cuya finalidad es la de recoger información de tipo científico, permitir su análisis y posterior publicación en medios de carácter científico a cargo de investigadores cualificados.



Todos los participantes tienen derecho a retirarse en cualquier momento de una parte o de la totalidad del estudio, sin expresión de causa o motivo y sin consecuencias. También tienen derecho a que se les clarifiquen sus posibles dudas antes de aceptar participar y a conocer los resultados de sus pruebas.

Nos ponemos a su disposición para resolver cualquier duda que pueda surgirle:

- Sra. Mariona Menéndez Ramírez: marionamenendez@gmail.com

Por favor, contesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Has leído la hoja de información referida al proyecto? Sí No
2. ¿Has tenido oportunidad de plantear preguntas y discutir sobre el estudio con tu entrenador/a y/o un investigador? Sí No
3. ¿Has recibido contestaciones adecuadas a tus preguntas? Sí No
4. ¿Has recibido suficiente información acerca del estudio? Sí No
5. ¿Has entendido que eres libre de retirarte del estudio? Sí No
6. ¿Estás de acuerdo en la publicación de los resultados del estudio en congresos y revistas científicas?
Sí No

CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PARTICIPANTE

Para mayores de edad:

Yo,.....mayor de edad, con DNI.....
actuando en nombre e interés propio,

Para menores de edad:

Yo, (PADRE, MADRE o TUTOR/A LEGAL)....., mayor de edad,
con DNI actuando en nombre e interés de (NOMBRE Y APELLIDOS DEL PARTICIPANTE).....,

DECLARO QUE:



He recibido información sobre el proyecto Análisis biomecánico con sensores inerciales de la pirueta, del que se me ha entregado hoja informativa anexa a este consentimiento y para el que se solicita mi participación. He entendido su significado, me han sido aclaradas las dudas y me han sido expuestas las acciones que se derivan del mismo. Se me ha informado de todos los aspectos relacionados con la confidencialidad y protección de datos en cuanto a la gestión de datos personales que comporta el proyecto y las garantías tomadas en cumplimiento de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).

Mi colaboración en el proyecto es totalmente voluntaria y tengo derecho a retirarme del mismo en cualquier momento, revocando el presente consentimiento, sin que esta retirada pueda influir negativamente en mi persona en sentido alguno. En caso de retirada, tengo derecho a que mis datos sean cancelados del fichero del estudio.

Así mismo, renuncio a cualquier beneficio económico, académico o de cualquier otra naturaleza que pudiera derivarse del proyecto o de sus resultados.

Por todo ello,

DOY MI CONSENTIMIENTO A:

1. Participar en el proyecto: Análisis biomecánico con sensores inerciales de la pirueta
2. Que Mariona Menéndez y su director/a Carla Pérez- Chirinos Buxadé puedan gestionar mis datos personales y difundir la información que el proyecto genere. Se garantiza que se preservará en todo momento mi identidad e intimidad, con las garantías establecidas en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales y el Reglamento general (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, de protección de datos (RGPD).
3. Que los investigadores conserven todos los registros efectuados sobre mi persona en soporte electrónico, con las garantías y los plazos legalmente previstos, si estuviesen establecidos, y a falta de previsión legal, por el tiempo que fuese necesario para cumplir las funciones del proyecto para las que los datos fueron recabados.

En [CIUDAD], a [DIA/MES/AÑO]



DATOS COMPLEMENTARIOS PARA EL ESTUDIO

INFORMACIÓN PERSONAL:

Nombre y Apellidos:

Fecha de nacimiento (dd/mm/aa):

Altura (cm):

Peso (Kg):

NIVEL DE GIMNASTA:

Selecciona la opción que más se ajuste a tu situación:

1. Años entrenando:

- a) Entre 5 y 10 años.
- b) Menos de 5 años.
- c) Más de 10 años.

2. Años de competición:

- a) Entre 5 y 10 años.
- b) Menos de 5 años.
- c) Más de 10 años.

3. Categoría de competición:

- a) Vía Olímpica 4.
- b) Vía Olímpica 5.
- c) Vía Olímpica 6.
- d) Vía Olímpica 7
- e) Vía Olímpica 8.
- f) Vía Olímpica 9.
- g) Vía Olímpica 10.

4. Horas de entrenamiento a la semana:

- a)h.

5. Lado en el que giras en la pirueta atrás.

- a) Derecha.
- b) Izquierda.

LESIONES DESTACADAS:

Describe brevemente las lesiones más importantes que has tenido.