

VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE LA COMPETICIÓN DE NATACIÓN DE BAJO COSTE MEDIANTE LA TÉCNICA PANNING

Vicente Sarrió Gisbert¹, Roberto Sanchis-Sanchis^{1,2}, Pedro Pérez-Soriano^{1,2}, Alberto Encarnación-Martínez*^{1,2}

¹ Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Valencia, Gascó Oliag, nº3, 46010, Valencia
² Grupo de investigación en Biomecánica Deportiva (GIBD), Universidad de Valencia, Valencia

OPEN ACCES

***Correspondencia:**
Alberto Encarnación Martínez
Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Valencia, Gascó Oliag, nº3, 46010, Valencia.,
Alberto.encarnacion@uv.es

Funciones de los autores:
Todos los autores han participado en cada una de las fases del estudio. Todos los autores han aprobado esta versión final del texto.

Recibido: 25/07/2022
Aceptado: 03/04/2023
Publicado: 02/05/2023

Citación:
Sarrió-Gisbert, V., Sanchis-Sanchis, R., Pérez-Soriano, P., & Encarnación-Martínez, A. (2023). Validación de un sistema de análisis de la competición de natación de bajo coste mediante la técnica panning. *Revista de Investigación en Actividades Acuáticas*, 7(13), 16-21.
<https://doi.org/10.21134/riaa.v7i13.1772>


Creative Commons License
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir-Igual 4.0 Internacional

Resumen

Antecedentes: El análisis de la competición en natación aporta datos relevantes para el rendimiento de los nadadores, sin embargo, las técnicas de video utilizadas requieren de instrumental costoso. La aparición de alternativas económicas como las técnicas de seguimiento del nadador, conocidas como panning, son una alternativa para la democratización del análisis de la competición.

Objetivos: Evaluar el nivel de correlación entre las mediciones del análisis del rendimiento realizadas mediante las técnicas de panning en comparación con el sistema tradicional de cámaras fijas.

Método: 10 nadadores fueron analizados durante un nado de 25 metros mediante un sistema de cámaras fijas y una cámara GoPro que realizaba la filmación siguiendo al nadador. Previamente, las corcheras fueron marcadas cada 5 metros para que fueran visibles por las cámaras. Las grabaciones se hicieron de forma simultánea. Se analizó la repetibilidad del observador, así como la correlación entre sistemas.

Resultados: La repetibilidad intra-sujeto indicó un alto grado de repetibilidad (error < 2%). El estudio de repetibilidad entre sistemas (Cámaras fijas vs. Panning) arrojó niveles de correlación de Pearson y concordancia de Lin extremadamente altos, así como el coeficiente de correlación intraclass excelente. Igualmente, no se observaron diferencias significativas entre sistemas. Por último, las diferencias entre los dos sistemas mediante gráficos Bland-Altman indicaron que todas las observaciones se distribuían entre los intervalos de confianza del percentil 95%, indicando un acuerdo entre sistemas elevado.

Conclusiones: El uso del sistema panning de análisis de la competición realizado por es válido respecto al sistema de cámaras fijas a nivel de entrenamientos.

Palabras clave: natación, análisis de competición, cámaras fijas, panning, bajo coste, rendimiento.

Validation of a low-cost swimming competition analysis system using the panning technique

Background: The analysis of swimming competition provides relevant data for the performance of swimmers, however, the video techniques used require expensive instruments. The appearance of economic alternatives such as swimmer tracking techniques, known as panning, are an alternative for the democratization of competition analysis.

Goals: Evaluate the level of correlation between performance analysis measurements made using panning techniques compared to the traditional system of fixed cameras.

Method: 10 swimmers were analyzed during a 25-meter swim using a fixed camera system and a GoPro camera that made the measurement by following the swimmer. Previously, the lane ropes were marked every 5 meters so that they were visible to the cameras. The recordings were made simultaneously. Observer repeatability was tested, as well as cross-system validation.

Results: The intra-subject repeatability indicated that the analyzed observer presented a high degree of repeatability (error < 2%). The reliability study between systems (Fixed vs. Panning cameras) yielded extremely high levels of Pearson's correlation and Lin's concordance, as well as an excellent intraclass correlation coefficient. Likewise, no significant differences were observed between systems. Finally, the differences between the two systems using Bland-Altman plots indicated that all observations were distributed between the 95% percentile confidence intervals, indicating a high agreement between systems.

Conclusions: The use of the panning system for analysis of the competition carried out by is valid with respect to the system of fixed cameras at the training level.

Keywords: swimming, competition analysis, fixed cameras, panning, low cost, performance.

Validação de um sistema de análise de competição de natação de baixo custo utilizando a técnica de panning

Introdução: A análise da competição de natação fornece dados relevantes para o desempenho dos nadadores, porém, as técnicas utilizadas requerem instrumentos caros. O surgimento de alternativas econômicas como as técnicas de rastreamento de nadadores, conhecidas como panning, são uma alternativa para a democratização da análise da competição.

Objetivos: Validar um sistema de análise de competição de panning em comparação com o sistema tradicional de câmeras fijas.

Método: 10 nadadores foram analisados durante uma natação de 25 metros usando um sistema de câmera fixa e uma câmera GoPro que fazia a medição seguindo o nadador. Anteriormente, as cordas das pistas eram marcadas a cada 5 metros para que fossem visíveis para as câmeras. As gravações foram feitas simultaneamente. A repetibilidade do observador foi testada, bem como a validação entre sistemas.

Resultados: A repetibilidade intra-sujeitos indicou que o observador analisado apresentou alto grau de repetibilidade (erro < 2%). O estudo de confiabilidade entre os sistemas (câmeras Fijas vs. Panning) apresentou níveis extremamente altos de correlação de Pearson e concordância de Lin, além de um excelente coeficiente de correlação intraclass. Da mesma forma, não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas. Por fim, as diferenças entre os dois sistemas usando gráficos de Bland-Altman indicaram que todas as observações foram distribuídas entre os intervalos de confiança do percentil 95%, indicando uma alta concordância entre os sistemas.

Conclusões: O sistema de panning de análise de competição é válido em relação ao sistema de câmeras fijas no nível de treinamento.

Palavras chaves: natação, análise de competição, câmeras fijas, panning, baixo custo, desempenho.

Introducción

Las pruebas de natación se han dividido para su análisis en diferentes segmentos, de forma que se analizan aspectos que se consideran importantes para el rendimiento en natación de competición en piscina (Pai, Hay, & Wilson 1984). De este modo, tanto entrenadores como nadadores reciben información sobre la estrategia de nado, relevante para poder mejorar el rendimiento. Este análisis de la competición cada vez es más utilizado en las competiciones tanto de nivel nacional como internacional, aportando informes de cada prueba y siempre desde la perspectiva biomecánica (Veiga, Cala, Mallo, & Navarro, 2013).

Actualmente podemos encontrar que la distancia de la prueba en piscina se puede dividir, a pesar de las discrepancias en función del autor consultado, en distancia de salida, distancia de nado libre, distancia de viraje y distancia de llegada (de Aymerich & Guibelalde 2005). En cada uno de ellos se calcula el tiempo empleado por el nadador y su velocidad media.

En cuanto a la metodología de análisis de la competición principalmente se encuentran dos modelos, complementarios entre sí. El más antiguo y conocido como el método de distancias fijas (Arellano et al. 1994) tiene como ventajas que es el modelo más utilizado y es más aplicable en competición si las corcheras están marcadas correctamente. Además tiene mayor facilidad para el análisis de las imágenes, pues no hay que calibrar las medidas exactas de la piscina y por tanto elimina el componente individual de cada uno de ellos. Sin embargo, este método presenta inconvenientes, ya que divide la prueba igual para todos los participantes, sin tener en cuenta la distancia real, por ejemplo, del nado subacuático.

Estas limitaciones fueron resueltas por el modelo de distancias individualizadas (Veiga et al. 2013), el cual tiene como ventajas que existe una mayor individualización, ya que si se tienen en cuenta las acciones individuales de cada participante y no los mismos parámetros para todos.

La principal dificultad metodológica es que son necesarias varias cámaras fijas para poder captar la totalidad de la lamina de agua. Ello implica la sincronización entre cámaras, cableado, calibrado, etc.

Debido al gran avance en tecnología que experimenta nuestra sociedad y al abaratamiento de esta, por ejemplo mediante el software de análisis biomecánico libre, se posibilita un análisis de competición con un coste relativamente bajo en comparación con los métodos precedentes. Además, a nivel práctico en competición los entrenadores y analistas ya realizan análisis de competición con tecnologías más baratas, aunque estas no han sido validadas previamente. La principal técnica utilizada es conocida como técnica de seguimiento o panning. Es por este motivo por lo que se planteó el presente estudio.

Se plantearon las siguientes hipótesis de estudio:

- H1: un sistema de análisis de seguimiento (panning) aportará la misma información que el sistema convencional de cámaras fijas.
- H2: el procedimiento de análisis mediante un sistema de seguimiento permitirá que los datos obtenidos por un observador no experimentado sean fiables y útiles para el rendimiento deportivo.

El objetivo del estudio es analizar el grado de correlación de los resultados del análisis del rendimiento realizado mediante un sistema de análisis conocido como *panning* en comparación con el sistema tradicional de cámaras fijas.

Como objetivo secundario, se pretende analizar la repetibilidad intraobservador mediante el sistema de análisis de la competición panning.

Método

Participantes

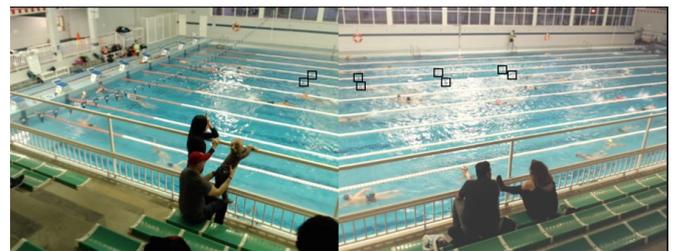
Diez nadadores, 5 chicos y 5 chicas, de categoría infantil (entre 13 y 16 años) fueron analizados durante los entrenamientos en la piscina cubierta del pabellón Esperanza Lag (Elche).

Los protocolos del estudio cumplieron con la Declaración de Helsinki y fueron aprobados por el comité de ética de la Universitat de València. Antes de la participación en el estudio, los padres de los nadadores fueron informados y firmaron el consentimiento informado.

Procedimiento

Previamente a la grabación se delimitaron las distancias en la piscina. Para ello se utilizaron ocho marcas, 4 en cada una de las corcheras que delimitaban la calle número 6 del vaso. Estas marcas fueron previamente comprobadas y fijadas mediante bridas de plástico para marcar las distancias de 10, 15, 20 y 25 metros. No se marcó la distancia de 5 metros ya que las boyas de las corcheras delimitaban esta distancia correctamente (Figura 1).

Figura 1. Marcas en las corcheras cada 5m.



Además, se colocaron conos fuera de la piscina indicando las distancias de 5 metros desde el inicio hasta los 25 metros. Se utilizó este método siguiendo el procedimiento de referencia del trabajo de Arellano et al. (1994).

El sistema de filmación que constituyó el sistema tradicional de cámaras fijas fueron dos cámaras tipo webcam Logitech C920 HD Pro (Logitech Europe S.A., Suiza, Apples) y sus correspondientes trípodes para su fijación. Mientras que el sistema de filmación para el registro mediante la técnica de panning estuvo compuesto por una cámara deportiva GoPro Hero 7 Black (GoPro, Inc., San Mateo, California, Estados Unidos) y un trípode con rótula para su fijación y rotación.

El control del sistema de cámaras fijas se realizó mediante el software de código abierto OBS studio (OBS Project), el cual permitió sincronizar ambas cámaras.

Ambos sistemas registraron a una frecuencia de 30 Hz, ligeramente superior a la de estudios previos (Alberty et al. 2008; Almena 2017; Arellano et al. 1994; Chatard et al. 2003; Veiga et al. 2010, 2013).

La sincronización del audio de ambos sistemas de registro se realizó con el software Final Cut Pro X (Apple Inc., Cupertino, California, EE.UU.) y el análisis biomecánico de las grabaciones se realizó mediante el software de código abierto Kinovea (0.8.15, Kinovea, Bordeaux, France).

Las cámaras fijas se situaron de manera que registraban toda la distancia de los 25 metros, y en medio de las cámaras fijas se situó la cámara para el seguimiento mediante la técnica panning (figura 2).

Figura 2. Disposición de las cámaras empleadas.

Posteriormente a la preparación de las cámaras y la piscina, se procedió a la grabación, para lo cual se contó con dos operadores, uno para cada uno de los sistemas (cámaras fijas – panning).

El análisis de las imágenes del sistema de cámaras fijas se realizó inicialmente marcando mediante una línea los tramos de 5 metros establecidos con las marcas en piscina y fuera de ella, para así poder marcar los tiempos desde el pase de la cabeza por la línea en cada una de las marcas utilizadas.

Todos los vídeos fueron analizados por el mismo investigador, que no tenía experiencia previa en el análisis de competición, pero que fue formado previamente en la detección de los eventos.

Para poder obtener la fiabilidad intraobservador se escogió una grabación de un nado de 25 metros que fue analizada por el mismo observador un total de diez veces no consecutivas, dos veces al día con un espacio de al menos tres horas entre un análisis y otro, así durante cinco días, obteniendo todos los tiempos en las distancias marcadas para poder compararlos entre sí y analizar la fiabilidad.

Las variables analizadas en el estudio fueron las siguientes:

- **Variables independientes:** el sistema de análisis de vídeo utilizado (cámaras fijas Vs GoPro)
- **Variable dependiente:** el tiempo parcial de paso en cada una de las distancias establecidas para el análisis de la competición. Tiempo de 0 a 5 metros, de 5 a 10 metros, de 10 a 15 metros, de 15 a 20 metros y de 20 a 25 metros, así como el tiempo total de la prueba.

Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante el software SPSS v25 (IBM Corp., Armonk, NY.). En primer lugar, se comprobó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk ($n < 50$), siendo todas las variables normales. Los datos obtenidos se muestran en forma de tabla mediante la media y la desviación estándar de cada una de las variables analizadas.

El nivel de acuerdo entre las mediciones realizadas mediante los dos sistemas se analizó mediante un gráfico de Bland-Altman para cada una de las variables. Las diferencias entre los dos sistemas (panning [GoPro] – cámaras fijas) en cada variable se representaron frente a la media de los dos sistemas. Se calculó el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC (2,1)) de medida única de dos vías y efectos aleatorios para evaluar la fiabilidad entre sistemas. Igualmente, se obtuvo el Coeficiente de concordancia (CDC), el coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de correlación de concordancia (Lawrence and Lin, 1989).

Igualmente se calculó el error cuadrático medio (RMSE) para contrastar el error entre los dos conjuntos de datos (cámaras fijas vs sistema

panning) para comparar el valor del sistema de referencia (cámaras fijas) con el sistema de panning, objeto del estudio. Se realizó una prueba T Student para analizar las posibles diferencias estadísticas entre las puntuaciones obtenidas con ambos sistemas. El nivel de significación se estableció en $p < 0.05$.

Para analizar la fiabilidad intra-sujeto, se calculó el coeficiente de repetibilidad ($1.96 \cdot$ desviación estándar), así como el coeficiente de variación (en s y en %). Las estimaciones puntuales de los ICC se interpretaron de la siguiente manera: excelente (0,75-1), modesta (0,4-0,74) o pobre (0-0,39) (Fleiss, 1986).

Resultados

Estadísticos descriptivos

Una vez procesados los vídeos registrados y extraídas las variables de interés, se obtuvieron los estadísticos descriptivos para cada una de las condiciones del estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros descriptivos.

| | GoPro | | Cámaras fijas | |
|----------------------------|-------|------|---------------|------|
| | M | SD | M | SD |
| Dist. 0 - 5 m (s) | 4.53 | 2.72 | 4.54 | 2.70 |
| Dist. 5 - 10 m (s) | 5.04 | 1.35 | 5.07 | 1.32 |
| Dist. 10 - 15 m (s) | 5.02 | 1.02 | 5.01 | 1.06 |
| Dist. 15 - 20 m (s) | 5.03 | 0.98 | 4.98 | 0.92 |
| Dist. 20 - 25 m (s) | 4.95 | 1.07 | 4.97 | 1.14 |
| Tiempo total (s) | 24.11 | 5.16 | 24.12 | 5.23 |

M: media; **SD:** desviación estándar

Estudio de repetibilidad intra-observador

Los resultados del test de repetibilidad intrasujeto (Tabla 2) mostraron que el coeficiente de variación obtenido por el observador fue menor del 2%, siendo inferior al error absoluto del propio sistema de filmación (0.03s). El coeficiente de variación indicó el primer y tercer parcial fueron los más variables estando ambos por debajo del 2%. El coeficiente de variación en porcentaje del tiempo total indica un error máximo del 0.15%, coincidiendo con el error relativo y absoluto de propio del sistema de cámaras, equivalente a un *frame* de error.

Tabla 2. Resultados análisis de repetibilidad intra-sujeto observador.

| | Dist. 0 - 5 m (s) | Dist. 5 - 10 m (s) | Dist. 10 - 15 m (s) | Dist. 15 - 20 m (s) | Dist. 20 - 25 m (s) | Tiempo Total (s) |
|--------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| M | 2.77 | 4.95 | 5.55 | 4.97 | 4.81 | 23.04 |
| SD | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.04 | 0.05 | 0.03 |
| Rango | 0.13 | 0.10 | 0.20 | 0.13 | 0.16 | 0.10 |
| CDR | 0.08 | 0.06 | 0.13 | 0.07 | 0.09 | 0.07 |
| CV (s) | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| CV (%) | 1.51 | 0.66 | 1.17 | 0.74 | 1.01 | 0.15 |

M: media; **SD:** desviación estándar; **CDR:** coeficiente de repetibilidad; **CV:** coeficiente de variación.

Estudio de fiabilidad entre sistemas (Cámaras fijas vs. Panning)

Con respecto a la fiabilidad de las puntuaciones obtenidas con ambos sistemas (Cámaras fijas vs. Panning [GoPro]), en la tabla 3 podemos observar como ambos niveles de correlación entre sistemas, Pearson y Lin, son positivos y elevados. En todos los tiempos analizados, de todas las variables, el Coeficiente de Correlación Intraclase entre sistemas es considerado como excelente. Igualmente, el error cuadrático medio (RMSE) fue bajo, indicando que la observación obtenida con el sistema de panning es muy cercano o parecido a la observación realizada con el

sistema convencional de cámaras fijas. Cabe destacar que la prueba t no arrojó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sistemas.

Tabla 3. Resultados concordancia entre sistemas.

| | Dist. 0 - 5 m | Dist. 5 - 10 m | Dist. 10 - 15 m | Dist. 15 - 20 m | Dist. 20 - 25 m | Tiempo Total |
|----------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| CDC | 0.144 | 0.236 | 0.144 | 0.204 | 0.257 | 0.224 |
| r | 1.000 | 0.996 | 0.998 | 0.996 | 0.995 | 1.000 |
| r_c | 1.000 | 0.996 | 0.997 | 0.993 | 0.993 | 1.000 |
| CCI _(2,1) | 1.000 | 0.996 | 0.998 | 0.993 | 0.994 | 1.000 |
| CCI (95%IC) | 0.998 - 1.000 | 0.985 - 0.999 | 0.991 - 0.999 | 0.974 - 0.998 | 0.975 - 0.998 | 0.999 - 1.000 |
| p valor | 0.989 | 0.959 | 0.983 | 0.911 | 0.975 | 0.998 |
| Dif. Medias | -0.018 | -0.031 | 0.010 | 0.048 | -0.016 | -0.005 |
| RMSE (s) | 0.005 | 0.014 | 0.005 | 0.012 | 0.016 | 0.012 |
| RMSE (%) | 0.18 | 0.28 | 0.09 | 0.24 | 0.33 | 0.05 |

CDC: coeficiente de concordancia; r: coeficiente de correlación Pearson; r_c : Coeficiente de Correlación de Concordancia (Lin, 1989); p valor: nivel de significación T-Student; Dif. Medias: Diferencia entre las medias. RMSE: Raíz del error cuadrático medio. S: segundos; %: porcentaje.

Representación de la fiabilidad entre sistemas mediante gráficos Bland Altman

A continuación, se muestran los gráficos de Bland-Altman para cada una de las variables analizadas. Tal y como se puede observar, las diferencias entre los dos sistemas (Cámaras fijas – Panning) se representa frente a la media de los sistemas, quedando todas las observaciones distribuidas entre los intervalos de confianza del percentil 95%, indicando con esto un acuerdo entre sistemas elevado.

Figura 3. Tiempor parcial (0-5m) promedio de los dos sistemas (s).

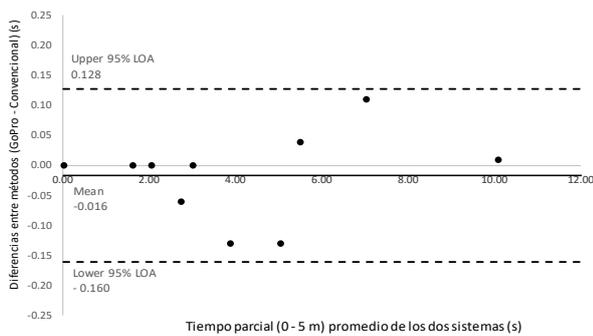


Figura 4. Tiempo parcial (5-10m) promedio de los dos sistemas (s).

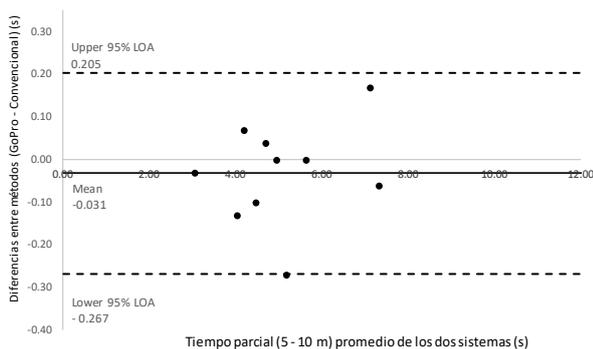


Figura 5. Tiempo parcial (10-15m) promedio de los dos sistemas (s).

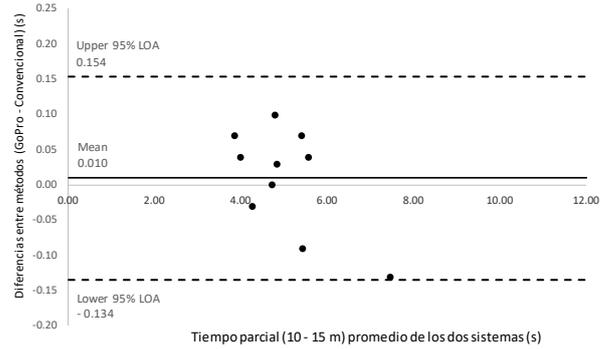


Figura 6. Tiempo parcial (15-20m) promedio de los dos sistemas (s).

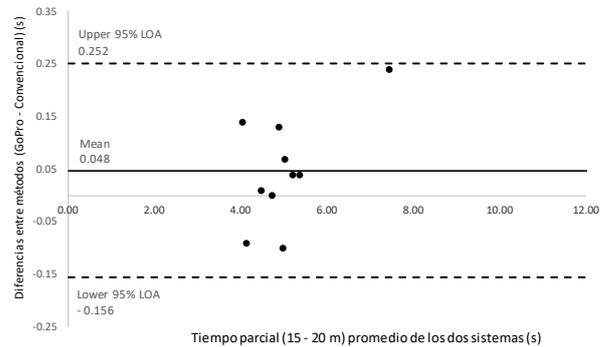


Figura 7. Tiempo parcial (20-25m) promedio de los dos sistemas (s).

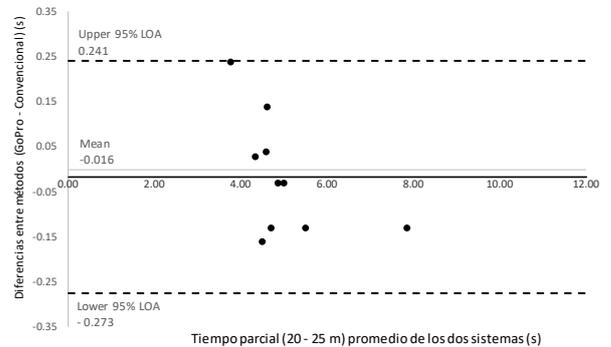
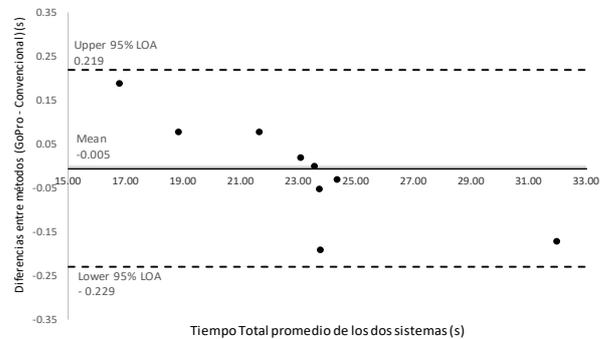


Figura 8. Tiempo total promedio de los dos sistemas (s).



Discusión

Según los resultados obtenidos en este trabajo, el observador es repetible manteniéndose siempre por debajo del 2% del coeficiente de correlación intraclass, por tanto, podemos decir que este coeficiente es

excelente ya que se mantiene dentro del rango de 0,75-1,00. En cuanto a la fiabilidad entre sistemas teniendo en cuenta el RMSE, podemos decir que este es favorable ya que sus valores están por debajo de los 0,016 segundos, representando valores inferiores al correspondiente paso de tiempo entre un fotograma cuando el registro se realiza a 30 Hz (Barnston 1992). Igualmente, el RMSE en todos los parciales es menor, en porcentaje, del 0.33%, coincidiendo con los valores obtenidos por Veiga et al. (2010), quien comparó el sistema de distancias individualizadas con otros estudios anteriores (Cappaert, Pease, & Troup 1995; Challis 1998; Sanders, Cappaert, & Pease 1998).

Tabla 4. Comparación del RMSE extraído del estudio de Veiga et al. (2010b).

| Estudio | Actividad | Procedimiento | RMSE |
|------------------------|----------------|---------------|--------|
| Cappaert et al. (1995) | Natación | 3D-DLT | 0,618% |
| Challis (1998) | Salto vertical | 2D-DLT | 0,3% |
| Sanders et al. (1998) | Natación | 3D-DLT | 0,27% |
| Veiga et al. (2010) | Natación | 2D-DLT | 0,333% |

Observando los resultados expuestos en la tabla 4, podemos afirmar que los resultados obtenidos en el presente estudio arrojan diferencias mínimas entre métodos, similares a las diferencias encontradas por estudios previos que analizan distintos métodos de análisis de la competición, permitiendo relatar la validez y fiabilidad de dichos sistemas (panning vs. cámaras fijas). Teniendo en cuenta el RMSE entre sistemas del presente estudio, oscila entre un 0.05 y 0.33% con una valor promedio de 0.20%, siendo similar a los mostrados en la tabla 4 y el siendo el valor promedio menor que el mostrado en estudios previos (Cappaert, Pease, & Troup 1995; Challis 1998; Sanders, Cappaert, & Pease 1998; Veiga et al., 2010).

Respecto al objetivo principales de validar el sistema de análisis de la competición mediante un sistema de seguimiento (panning) frente a un sistema de cámaras fijas, se podría afirmar que el sistema panning es válido para su utilización en entrenamientos, así como válido comparándolo con el sistema tradicional. En cuanto al objetivo secundario de valorar la repetibilidad intraobservador, podemos afirmar que el sistema panning no ha supuesto una limitación en la fiabilidad del este, obteniendo resultados en el coeficiente de repetibilidad por debajo del 2% siendo incluso menor que el error propio del sistema de filmación utilizado.

En cuanto a las hipótesis planteadas, podemos decir que se acepta la H1, afirmando que un sistema de análisis panning aporta la misma información que el sistema convencional de cámaras fijas, pero con menores requerimientos tecnológicos y económicos, facilitando la aplicación de este.

Así mismo, se acepta también la H2, permitiéndonos asegurar que el sistema panning permite que los datos obtenidos por un observador no experimentado sean fiables y útiles para el rendimiento deportivo.

Conclusiones

En virtud de los resultados obtenidos, se podría concluir que el sistema de análisis mediante el seguimiento del nadador, conocido como *panning*, ha resultado un procedimiento fiable para el análisis de los tiempos en entrenamiento en comparación con el sistema tradicional de cámaras fijas. Del mismo modo, se concluye que el observador analizado, sin experiencia previa para el análisis de la competición, es fiable, obteniendo resultados favorables con un error menor que el del sistema de filmación utilizado.

Cabe destacar que esta validez queda limitada a los entrenamientos debido a la falta de aplicación en condiciones reales de competición por la situación generada por el COVID-19 en los tiempos en los que se realizó el estudio.

Contribución e implicaciones prácticas

El presente estudio demuestra la validez del sistema panning de análisis de la competición de natación, permitiendo de manera económica acceder a la misma información que los sistemas de cámaras fijas.

Este estudio también plantea limitaciones y futuras líneas de investigación. La limitación y por tanto futura línea sería analizar en condiciones reales de competición para realizar la comparación con un sistema de cronometraje oficial, además de realizar el protocolo en una competición real.

Otra de las futuras líneas de este trabajo es mejorar la eficiencia del tratamiento, haciéndolo así más automático y por tanto posibilitando la extracción de resultados más rápidamente.

Agradecimientos

Agradecimiento al Ayuntamiento de Elche y a los clubes Elche Club Natación y al Club Natación Tenis Elche por facilitar tanto el acceso a las instalaciones, así como el acceso a los nadadores.

Referencias

- Absalimov, T. y Timakovoy, A. (1990). Asseguramiento Científico de la Competición. Moscú. Vneshtorgizdat.
- Alberly, M., Potdevin, F., Dekerle, J., Pelayo, P., Gorce, P. y Sidney, M. (2008). Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *Journal of Sports Sciences*, 26(11):1191–1200.
- Almena, A. (2017). Análisis de la competición en natación paralímpica mediante la metodología de distancias individualizadas: juegos paralímpicos de Londres 2012 (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Almena, A., Pérez, J., Corterón, J. y Veiga, S. (2015). Análisis de la competición en la prueba de 100 metros estilo libre en nadadores españoles con discapacidad física: influencia de la clasificación funcional. *Red: revista de entrenamiento deportivo*, 29(2), 3-10.
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J. y Nelson, R.C. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m Freestyle Swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10(2), 189-199.
- Barnston, A.G. (1992). Correspondence among the correlation, RMSE, and Heidke forecast verification measures; refinement of the Heidke score. *Weather and Forecasting*, 7(4):699–709.
- Cappaert, J.M., Pease, D.L. y Troup, J.P. (1995). Three-Dimensional Analysis of the Men's 100- m Freestyle during the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(1):103–112.
- Challis, J.H. (1998). An investigation of the influence of bilateral deficit on human jumping. *Human Movement Science*, 17(3):307–325.
- Chatard, J., Girould, S., Caudal, N., Cossor, J. y Mason, B. (2003). Analysis of the 200 m events in the Sydney Olympic Games. IX Biomechanics and Medicine in Swimming: University of Saint Etienne 261–264.
- De Aymerich, J., Guibelalde I., (2005). Análisis de la Competición de Natación. I Congreso Virtual de Investigación en la Actividad Física y el Deporte. Vitoria

- Fleiss, J.L. (1986). *The design and analysis of clinical experiments*. New York. John Wiley & Sons.
- Lawrence, I., & Lin, K. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 255-268.
- Llana, S. y Pérez, P. (2007). Los orígenes de la natación y su evolución hasta las actuales técnicas de nado. *Natación y Actividades Acuáticas*. Alicante: Marfil 15–30.
- Pai, Y., Hay, J.G. y Wilson, B.D. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2(3):225–239.
- Sanders, R.H., Cappaert, J.M. y Pease, D.L. (1998). Wave characteristics of Olympic breaststroke swimmers. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(1):40–51.
- Veiga, S. (2010). Análisis de la competición en natación mediante un método de distancias individualizadas (Tesis doctoral). Universidad de Castilla-La Mancha. Castilla la Mancha, España.
- Veiga, S., Cala, A., González, C. y Navarro, E. (2010b). The validity and reliability of a procedure for competition analysis in swimming based on individual distance measurements. En *Proceedings of the XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, p. 182-184.
- Veiga, S., Cala, A., Mallo, J. y Navarro, E. (2013). A New Procedure for Race Analysis in Swimming Based on Individual Distance Measurements. *Journal of Sports Sciences* 31(2):159-65.