

Artículo original

doi: 10.35366/105702

Coeficiente de correlación intraclass intra- e interobservador de la maniobra *pivot-shift* mediante aplicación para móviles: «*pivot-shift meter*»*Intraclass correlation intra- and inter-observer of the pivot-shift maneuver through mobile application: «pivot-shift meter»*Ramos-Moctezuma I,* Quintana-Trejo F,* Sigala-González L,* Leal-Berumen I,* Cañedo E,*
Tonche-Ramos J,† Carmona-Máynez O,† Aguirre-Madrid A,† Berumen-Nafarrate E†

Hospital Christus Muguerza del Parque. Chihuahua, Chih., México.

RESUMEN. Introducción: El ligamento cruzado anterior es una estructura anatómica que tiende a dar problemas a los especialistas al formular un diagnóstico certero. Existen herramientas de medición que apoyan el diagnóstico como el KT1000; sin embargo, aún presenta algunas limitaciones, pues sólo logra medir un solo eje de movimiento, mientras que la maniobra de *pivot-shift* logra capturar más información sobre el estado del ligamento, ya que permite evaluar los tres ejes de movimiento de la articulación. La maniobra de *pivot-shift* carece de una ejecución estándar, por ello puede producir discordancia entre evaluadores; así se crea la necesidad de una herramienta capaz de estandarizar la maniobra al tiempo que arroje una medición interpretable. **Material y métodos:** La aplicación «*pivot-shift meter*» es un *software* para móviles capaz de capturar información de los movimientos realizados al ejecutar una maniobra de pivote. Se utilizó el índice de correlación intraclass para medir la correlación intra- e interobservador de la información capturada por la aplicación. Los datos fueron obtenidos de 66 participantes aleatorios, mediante el giroscopio integrado del teléfono móvil. **Resultados:** Con los 66 ensayos realizados se observó que los evaluadores tienden a alcanzar una alta reproducibilidad al ejecutar las maniobras dentro del periodo de tiempo establecido por la aplicación, que alcanzó un índice de correlación intraclass por encima de 90%. **Conclusión:** La correlación intra- e interobserva-

ABSTRACT. Introduction: The anterior cruciate ligament is an anatomical structure that tends to cause problems for specialists when formulating an accurate diagnosis. There are measurement tools that support the diagnosis such as the KT1000; however, it still has some limitations, since it only manages to measure a single axis of movement, while the «*pivot-shift*» maneuver manages to capture more information about the state of the ligament, as it allows to evaluate the three axes of movement of the joint. The «*pivot-shift*» maneuver lacks a standard execution, therefore it can produce disagreement between evaluators; this creates the need for a tool capable of standardizing the maneuver, while providing an interpretable measurement. **Material and methods:** *Pivot-shift meter* application, a mobile software capable of capturing information on the movements made when executing a pivot maneuver. Intraclass correlation coefficient to measure the intra- and inter-observer correlation of the information captured by the application. The data was obtained from 66 random participants, using the mobile phone's built-in gyroscopes. **Results:** With the 66 tests carried out, it was observed that the evaluators tend to achieve high reproducibility when executing the maneuvers within the time period established by the application, which reached an intraclass correlation coefficient above 90%. **Conclusion:** The intra- and inter-observer correlation is high enough to be able to perform a

Nivel de evidencia: Estudio de diagnóstico nivel II

* Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Chihuahua.

† Hospital Christus Muguerza del Parque.

Correspondencia:

Edmundo Berumen-Nafarrate

E-mail: edmundo.berumen@gmail.com

Recibido: 01-12-2021. Aceptado: 30-12-2021.

Citar como: Ramos-Moctezuma I, Quintana-Trejo F, Sigala-González L, Leal-Berumen I, Cañedo E, Tonche-Ramos J, et al. Coeficiente de correlación intraclass intra- e interobservador de la maniobra *pivot-shift* mediante aplicación para móviles: «*pivot-shift meter*». Acta Ortop Mex. 2021; 35(6): 500-506. <https://dx.doi.org/10.35366/105702>



dor es lo suficientemente alta como para poder realizar un análisis cuantitativo de la maniobra de *pivot-shift* a través de un teléfono móvil.

Palabras clave: Aplicación, pivote, medición, teléfono móvil, rodilla.

quantitative analysis of the *pivot-shift* maneuver, through a mobile phone.

Keywords: Application, pivot, measurement, mobile phone, knee.

Introducción

Los ligamentos cruzados de la rodilla son un par de estructuras localizadas en la articulación femorotibial para dar estabilidad sobre la dirección anteroposterior y rotacional de una superficie articular sobre otra, de los cuales el ligamento cruzado anterior es una de las estructuras anatómicas que más fuerza soporta, por lo que es bastante común observar lesiones en el mismo.^{1,2}

Para verificar el estado del ligamento cruzado anterior existen diferentes métodos y uno de los más empleados por los especialistas es la maniobra de giro de pivote o *pivot-shift*. Éste permite evaluar el grado de laxitud del ligamento y presenta a su vez información sobre la estabilidad general de la articulación de la rodilla.^{2,3,4,5,6,7} La importancia de dicha maniobra radica en que es tomada como indicativo para determinar si el paciente es candidato para el reemplazo de este ligamento. Sin embargo, esta maniobra tiene la particularidad de ser completamente cualitativa, lo cual puede ser una problemática grande, pues el diagnóstico queda a criterio únicamente del médico que la aplica, por lo que puede existir una discordancia entre los mismos observadores.

Esta problemática puede solucionarse gracias al uso de herramientas capaces de cuantificar la estabilidad de la articulación de la rodilla; el ejemplo clásico de ello es el KT1000,^{1,2,5,8,9} que tiene la capacidad de medir el desplazamiento anterior de la tibia con respecto al fémur. El KT1000 ya ha sido objeto de numerosos estudios comparativos con la maniobra de Lachman, pues refiere una fiabilidad aceptable, que refiere una diferencia del coeficiente de correlación intraclase contra Lachman de 0.53.^{6,7,8,9} No obstante, este dispositivo únicamente es capaz de evaluar el haz anteromedial del ligamento cruzado anterior, ya que abarca exclusivamente la estabilidad anteroposterior de la articulación, mientras que con la maniobra *pivot-shift* es posible explorar también el haz posterolateral, y así evaluar la estabilidad rotacional y anteroposterior del ligamento, es por esto que se propone la aplicación «pivot shift meter»,^{1,2} desarrollada para dispositivos móviles, capaz de acceder a los giroscopios integrados del teléfono,^{4,6,7} para proporcionar información cuantitativa de los movimientos que se presentan al realizar la maniobra *pivot-shift* y reducir el margen de error y la posible discordancia entre observadores. Aunque la aplicación genera características cuantitativas de una prueba de *pivot-shift*, queda todavía una variable libre: la diferencia entre el método que cada observador usa para aplicar la maniobra, ya que ésta carece de estandarización

en su ejecución.^{6,7,8,9,10,11,12} Se podría suponer que los datos obtenidos por un médico residente tendrán diferencias con respecto a las obtenidas por un médico ortopedista con años de experiencia realizando la maniobra. Por tanto, es preciso determinar si esta variabilidad es significativa al comparar los datos obtenidos de dos observadores, independientemente de su nivel de entrenamiento.^{13,14,15,16} La herramienta estadística utilizada fue el coeficiente de correlación intraclase, pues ha sido aceptado como el índice de concordancia para datos continuos.^{17,18,19,20,21,22,23}

Se pretende determinar el coeficiente de correlación intraclase entre las diferencias intra- e interobservador al realizar la maniobra *pivot-shift* para descartar que exista una relevancia significativa para el análisis de los datos obtenidos por el *pivot-shift meter* y, de esta manera, lograr un resultado cuantitativo de la maniobra de pivote.

Material y métodos

Se obtuvieron muestras de 66 alumnos de la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas, de la universidad local, de entre 18 y 37 años, de los cuales 52% fueron mujeres. Se tomaron en cuenta únicamente los participantes que hayan sido examinados por la totalidad de los evaluadores. El reclutamiento de los participantes se realizó mediante un evento «Pivotón» en donde cada sujeto acudió voluntariamente.

Cada paciente fue examinado por seis evaluadores, de los cuales tres poseen grado de especialidad en ortopedia (A, B y C), dos poseen grado de residencia en ortopedia (R y T) y el restante grado de médico general (G).

El KT1000 es un artrómetro considerado un estándar de oro para la medición del desplazamiento anteroposterior que presenta la tibia sobre el fémur en milímetros, para realizar una comparativa de las piernas de cada paciente.

La aplicación «*pivot-shift meter*» es un *software* desarrollado para dispositivos móviles capaz de acceder a los giroscopios integrados del dispositivo en que sea instalado, para capturar así el movimiento de giro sobre cada eje (x, y, z) en forma de vectores de 500 datos por eje.

Los datos capturados por la aplicación son almacenados en una base de datos en tiempo real en línea. Fue posible bajar los datos mediante un programa diseñado en Python 3.7 para organizar los datos en formato de hojas de cálculo para facilitar el análisis de los resultados.

Para el protocolo utilizado en el estudio se diseñó un circuito de pruebas, en el cual fueron designados seis espacios

para la exploración de cada paciente, donde se asignó un evaluador por área. Uno de los evaluadores (evaluador G) fue designado a obtener la diferencia de desplazamiento AP entre las rodillas de cada paciente, mediante el KT1000. Mientras que los demás realizaron la maniobra de *pivot-shift* a cada sujeto de exploración con la aplicación previamente instalada en su dispositivo móvil.

Cada teléfono celular fue colocado en una banda de sujeción para ajustarlo posteriormente a la cara anteromedial de la tibia, justo por debajo de la tuberosidad tibial. Luego de asegurarse que el dispositivo estuviese correctamente anclado, se procedió a realizar la maniobra *pivot-shift* tres veces seguidas, dentro de un tiempo de entre 500 a 700 centisegundos.

Antes de iniciar el circuito de evaluación, se les entregó a los participantes una carta de consentimiento informado, donde se les explicaba las posibles implicaciones de participar en el protocolo; una vez firmada la carta, se pasaba a los participantes a la primera prueba.

El protocolo descrito fue previamente aprobado por el Comité de Ética del Hospital Christus Muguerza del Parque.

Métodos estadísticos

El coeficiente de correlación intraclase resulta de un ajuste a la ecuación de fiabilidad y se define como el cociente entre la varianza poblacional y la suma de varianzas propias a nuestra población más la varianza del error de medida; se puede expresar de la siguiente manera:

$$ICC = \frac{\sigma_p}{\sigma_p + \sigma_e}$$

Siendo:

1. σ_p : varianza poblacional (de las características de la muestra).
2. σ_e : varianza de error de media.

Las características de la señal que fueron aisladas para los análisis intra- e interobservador fueron los picos que la

señal presentó y se obtuvieron gracias a la función «*find-peaks*» de Matlab, que nos otorga dos vectores de características por cada señal:

1. V45 = [137.54, 179.85, 156.82]
2. L45 = [111, 267, 448]

Siendo un vector de velocidad máxima en radianes sobre segundo de cada pico detectado (1) y un vector de tiempo de detección en centisegundos de cada pico detectado (2).

Una vez que se obtuvieron todos los vectores de todas las señales capturadas por cada observador (*Figura 1*), se compararon todos los vectores de características de cada observador consigo mismo (análisis intraobservador), así como la totalidad de los vectores de características de todos los observadores entre sí (análisis interobservador) a través de la función «*corrcoef*» de Matlab, la cual compara dos vectores de características para entregar un valor de 0 a 1, siendo 1 el valor de máxima correlación. De este proceso se obtuvieron vectores de 52×52 con la totalidad de valores de correlación de cada análisis, con los cuales fue posible calcular la media de similitud entre las muestras de un observador consigo mismo, así como comparado con otros (*Figuras 2 y 3*).

Resultados

Antes de analizar los datos, se encontró que los evaluadores más experimentados tenían una consistencia en amplitud de señal muy marcada, incluso la diferencia entre la amplitud de la señal de cada evaluador resultó ser pequeña, pues los picos máximos oscilan entre 150 a 200 rad/s (*Figura 4*).

Además, como también puede distinguirse en la *Figura 4*, la morfología de las gráficas es similar, pues se pueden apreciar tres picos que representan la velocidad máxima a la que llega la pierna durante la aplicación de cada maniobra *pivot-shift*.

En el análisis intraobservador se encontró que todos los evaluadores mantuvieron una consistencia muy alta en

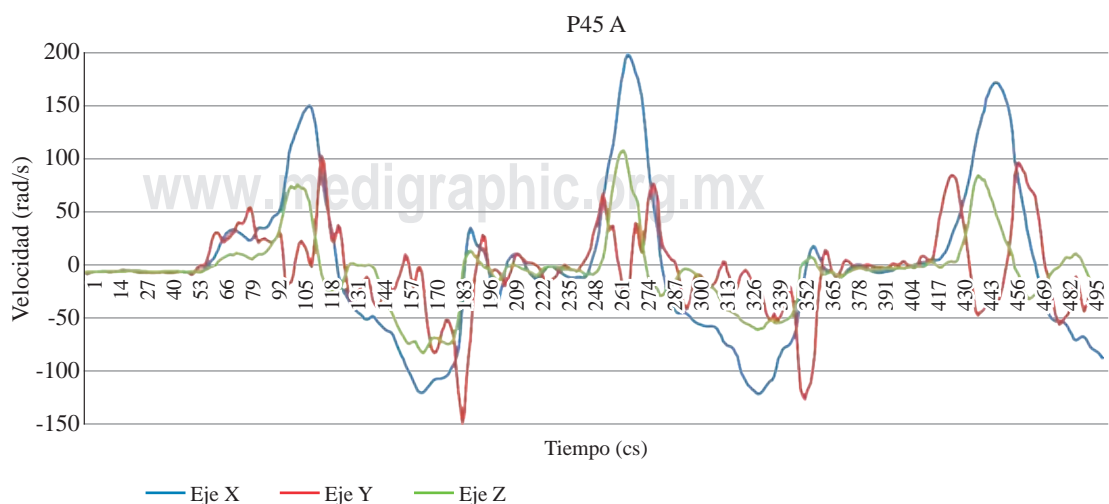
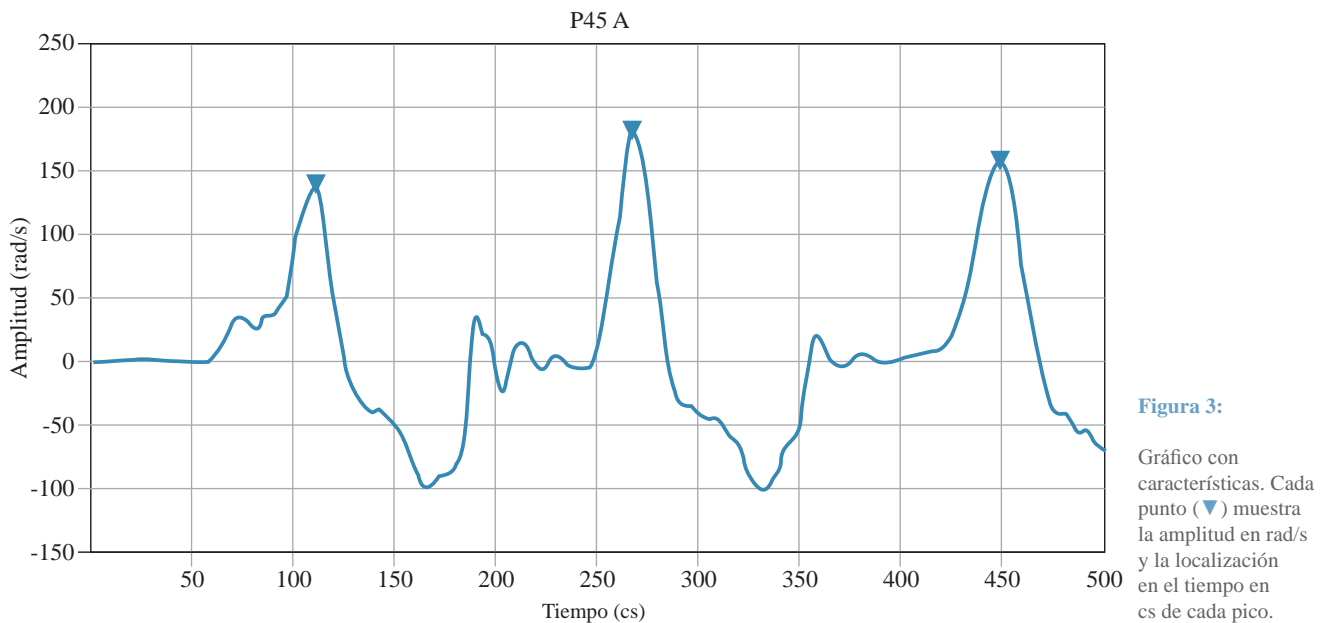
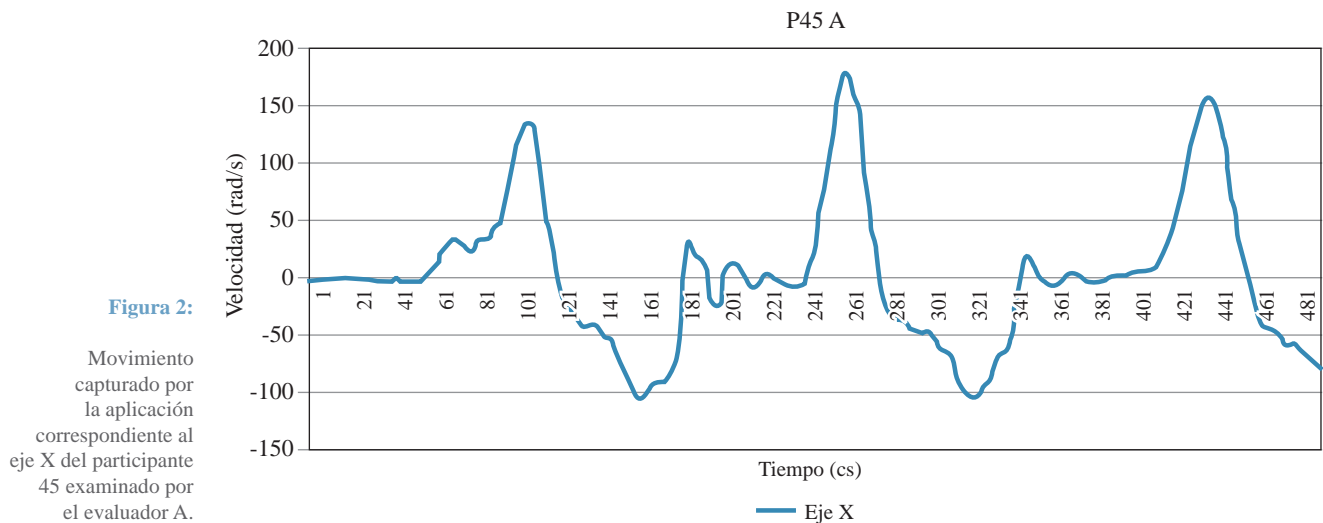


Figura 1:

Ejemplo de un gráfico obtenido a partir de los datos capturados.



cuanto al tiempo en que realizaban cada maniobra, pues alcanzó un promedio global en el coeficiente de correlación intraclase de cada observador de 95%. Por otro lado, la amplitud en que los picos fueron detectados, que corresponde a la magnitud de la velocidad aplicada por el evaluador, resultó ser más variable, ya que arrojó un promedio global en el coeficiente de correlación intraclase de cada observador de 71% (Figura 5).

En cuanto al análisis interobservador, se encontró que la amplitud de los picos detectados fue variable, ya que presentó un promedio global en el coeficiente de correlación intraclase de 66%. Sin embargo, la posición en que se detectaron los picos a lo largo del tiempo se mantuvo muy consistente, al presentar un promedio global en el coeficiente de correlación intraclase de 94% (Figura 6).

A su vez, en la Figura 6 es destacable que los evaluadores A y B que poseen más de 25 años de experiencia, obtu-

vieron el porcentaje más bajo de correlación en cuanto a la amplitud de los picos encontrados en la totalidad de la señal en el análisis interobservador, mientras que los evaluadores C y R que corresponden a un ortopedista con menos de 25 años de experiencia y un médico residente en ortopedia, respectivamente, obtuvieron la mayor correlación en la misma característica.

Discusión y conclusiones

El KT1000 ha sido por años una herramienta muy útil para el diagnóstico de lesiones en el ligamento cruzado anterior, ya que es capaz de cuantificar la maniobra de Lachman; sin embargo, aún presenta limitaciones. La maniobra de pivote, por otro lado, puede otorgar más información acerca del estado del ligamento cruzado anterior, sobre todo del haz posterolateral, por lo que otor-

garle una forma de ser cuantitativa apoyaría ampliamente al médico especialista al formular un diagnóstico más certero.

De los 66 participantes que firmaron la carta de consentimiento informado, únicamente 52 de ellos formaron parte de esta investigación debido a que fueron examinados por la totalidad de los evaluadores y sus datos fueron correctamente adquiridos y almacenados.

El análisis mediante coeficiente de correlación intraclase resultó satisfactorio; no obstante, se pretende realizar un análisis de correlación concordancia (o análisis estadístico de Lin), así como probar con el modelo de efectos mixtos bidireccional,¹⁷ debido a que se ha demostrado que son métodos superiores y más específicos para medir la reproducibilidad de un ensayo.^{19,20,21,22,23,24,25}

Al presentar un coeficiente de correlación intraclase por encima de 65% en la característica de amplitud se considera una relación pobre;^{20,21,22,23} sin embargo, el coeficiente de correlación intraclase en los tiempos de reproducibilidad de maniobra alcanzó un valor por encima de 93%, lo cual indica una correlación sustancial.^{20,21,22,23}

Resultó ser muy notorio que el tiempo en que las tres maniobras se realizaron obtuvo un alto valor de reproducibilidad tanto en el análisis intraobservador como en el análisis interobservador, lo cual puede deberse a que los evaluadores fueron adaptándose prueba tras prueba a lograr tres maniobras seguidas dentro de cinco segundos.

En cuanto a la baja correlación obtenida entre el análisis intraobservador con respecto a la amplitud en que los picos fueron detectados, puede deberse a que cada evaluador posee una forma única de ejecutar la maniobra; a su vez, es posible que influyan factores anatómicos, tanto del evaluador como de los sujetos de exploración, como lo son estatura y condición física. Lo anterior sugiere que es necesaria una estandarización más estricta de la maniobra de pivote,^{5,6,7,8,9,10,11} dada por la misma aplicación, y una vez aplicada esta estandarización sería posible obtener una correlación más alta. A su vez, es necesario aumentar la cantidad de evaluadores previo a la estandarización de la maniobra para adquirir datos con una posible mayor variabilidad, por lo cual se está llevando a cabo un estudio multicéntrico, donde se están adquiriendo datos de diferentes centros de salud de América Latina.

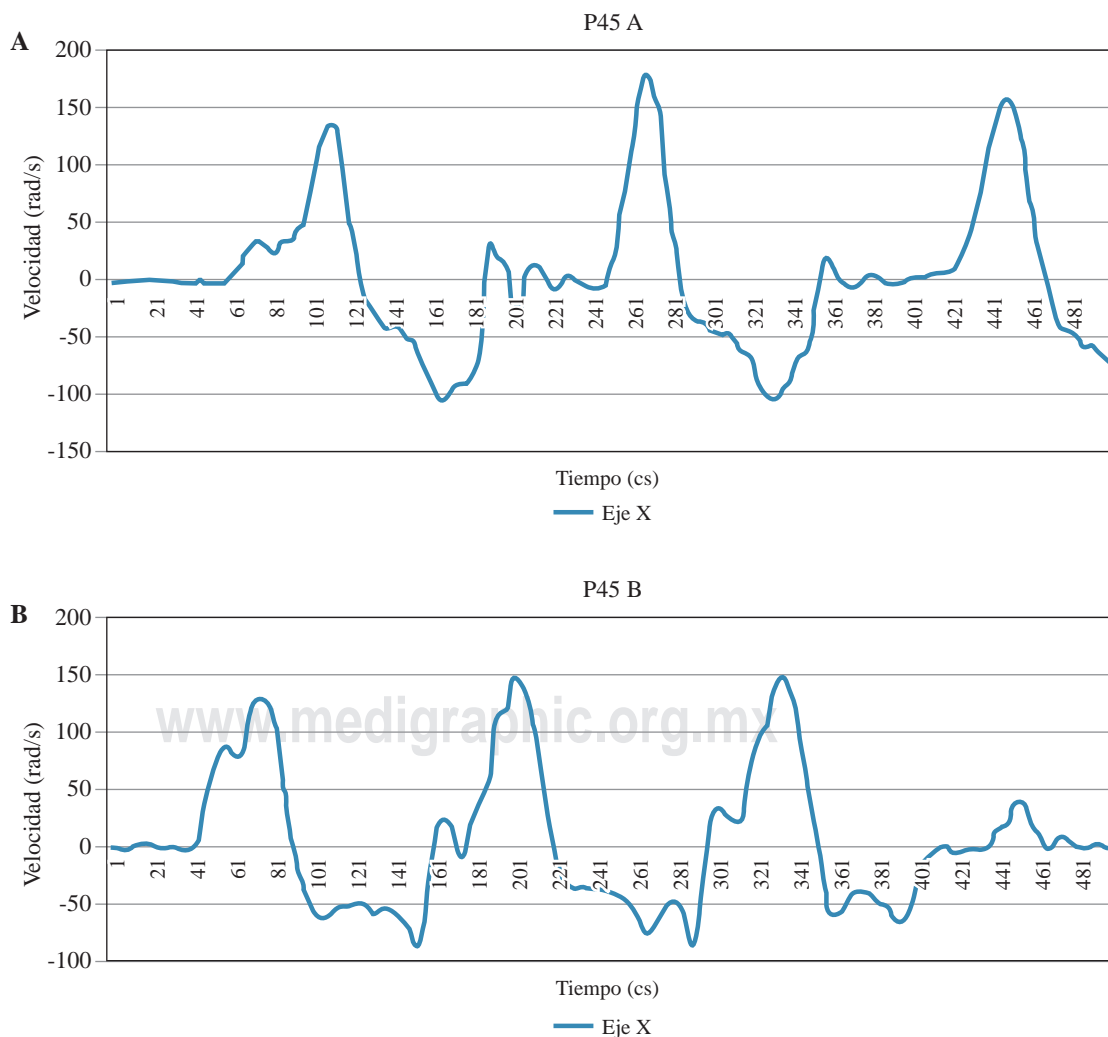
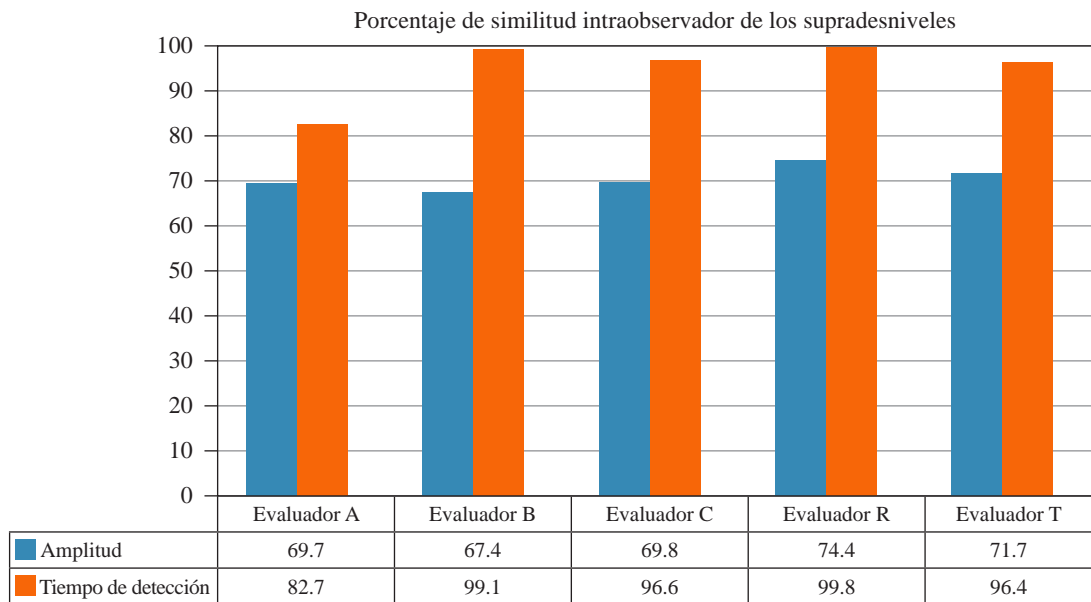


Figura 4:

Comparación de amplitudes entre los evaluadores (A y B) más experimentados en un caso (45).

Figura 5:

Promedio de los coeficientes de correlación intraclase globales para amplitud y tiempo intraobservador y su comparación interobservador.



Porcentaje de similitud intraobservador de los supradesniveles

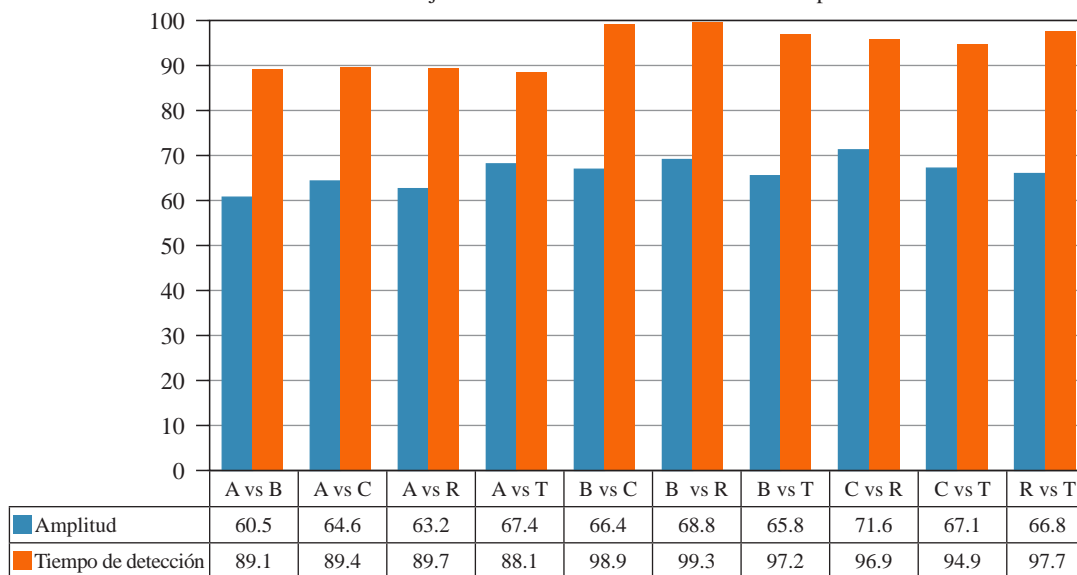


Figura 6:

Porcentajes de similitud entre las señales de los evaluadores dados por la media de los coeficientes de correlación intraclase obtenidos de la comparación de las señales correspondientes a cada sujeto de exploración.

Debido a que el coeficiente de correlación intraclase intraobservador como interobservador alcanzaron 70% en velocidad aplicada y el de 95% en el tiempo que se tomaba entre cada maniobra, se puede concluir que la correlación es suficientemente fuerte, como para hacer posible la realización de un análisis cuantitativo de la maniobra de pivote a través de los giroscopios integrados de un teléfono móvil.

Referencias

- Berumen-Nafarrate E, Tonche-Ramos J, Carmona-González J, Leal-Berumen I, Vega-Nájera CA, Díaz-Arriaga JM, et al. Interpretación de la maniobra de pivote mediante el uso de acelerómetros en pacientes que acuden a consulta ortopédica. *Acta Ortop Mex.* 2015; 29(3): 176-81.
- Berumen-Nafarrate E, Carmona-González J, Tonche-Ramos JJ, Carmona-Máynez O, Aguirre-Madrid A, Reyes-Conn RA, et al. Clasificación cuantitativa de la maniobra de *pivot-shift*. *Acta Ortop Mex.* 2021; 35(2): 153-7. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.35366/101858>
- Roessler PP, Schüttler KF, Heyse TJ, Wirtz DC, Efe T. The anterolateral ligament (ALL) and its role in rotational extra-articular stability of the knee joint: a review of anatomy and surgical concepts. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016; 136(3): 305-13.
- Kircher J. Editorial commentary: the measurement of knee laxity: instrumented measurement and stress radiography for anterior cruciate ligament injuries. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery.* 2019; 35(6): 1733-5. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2019.03.015>
- Mae T, Shino K, Hiramatsu K, Tachibana Y, Nakagawa S, Yoshikawa H. Anterior laxity of the knee assessed with gravity stress radiograph. *Skeletal Radiol.* 2018; 47(10): 1349-55. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00256-018-2941-5>
- Tanaka T, Hoshino Y, Miyaji N, Ibaragi K, Nishida K, Nishizawa Y, et al. The diagnostic reliability of the quantitative pivot-shift evaluation

- using an electromagnetic measurement system for anterior cruciate ligament deficiency was superior to those of the accelerometer and iPad image analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 26(9): 2835-40. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4734-0>
7. Lee DW, Lee JH, Kim DH, Park JH, Kim JG. Quantitative measures of pivot shift on knee rotatory instability. *Arthrosc Orthop Sports Med.* 2018; 5: 11-8 Available in: <https://doi.org/10.14517/aosm17011>
 8. Kilinc BE, Kara A, Celik H, Oc Y, Camur S. Evaluation of the accuracy of Lachman and anterior drawer tests with KT1000 in the follow-up of anterior cruciate ligament surgery. *J Exerc Rehabil.* 2016; 12: 363-7.
 9. Wiertsema SH, van Hooff HJA, Migchelsen LAA, Steultjens MPM. Reliability of the KT1000 arthrometer and the Lachman in patients with an ACL rupture. *Knee.* 2008; 15: 107-10.
 10. Kuroda R, Hoshino Y, Araki D, et al. Quantitative measurement of the pivot shift, reliability, and clinical applications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012; 20(4): 686-91.
 11. Ahldén M, Araujo P, Hoshino Y, et al. Clinical grading of the pivot shift test correlates best with tibial acceleration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012; 20(4): 708-12.
 12. Muñoz E, Mejía S, Correa J. Signo del Hospital San José, una alternativa sencilla para el pivot shift para diagnóstico de inestabilidad anterolateral de la rodilla por lesión del ligamento cruzado anterior. *Rev Colomb Ortop Traumatol.* 2014; 28(1): 13-5.
 13. Najafi B, Aminian K, Loew F, Blanc Y, Robert P. Measurement of stand-sit and sit-stand transitions using miniature gyroscope and its application in fall risk evaluation in the Elderly. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2002; 49(8): 843-51.
 14. Klasan A, Putnis SE, Kandhari V, Oshima T, Fritsch BA. Healthy knee KT1000 measurements of anterior tibial translation have significant variation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2020; 28: 2177-83. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05768-w>
 15. Musahl V, Griffith C, Irrgang JJ, Hoshino Y, Kuroda R, Lopomo N, et al. Validation of quantitative measures of rotatory knee laxity. *Am J Sports Med.* 2016; 44(9): 2393-8. doi: 10.1177/0363546516650667.
 16. Ferretti A, Monaco E, Fabbri M, Maestri B, De Carli A. Prevalence and classification of injuries of anterolateral complex in acute anterior cruciate ligament tears. *Arthroscopy.* 2017; 33(1): 147-54. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.05.010>.
 17. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med.* 2016; 15(2): 155-63.
 18. Bartko JJ. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability. *Psychol Rep.* 1966; 19(1): 3-11.
 19. Mehta S, Bastero-Caballero RF, Sun Y, Zhu R, Murphy DK, Hardas B, Koch G. Performance of intraclass correlation coefficient (ICC) as a reliability index under various distributions in scale reliability studies. *Stat Med.* 2018; 37(18): 2734-52. doi: 10.1002/sim.7679.
 20. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res.* 2005; 19(1): 231-40.
 21. Mandeville PB. El coeficiente de correlación intraclass (ICC). *Ciencia UANL.* 2005; 8(3): 414-6.
 22. Mandeville PB. El coeficiente de correlación de concordancia de Lin. *Ciencia UANL.* 2007; 10(001): 91-94.
 23. Cortes-Reyes E, Rubio-Romero JA, Gaitán-Duarte H. Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología.* 2010; 61(3): 247-55.
 24. Müller R, Büttner P. A critical discussion of intraclass correlation coefficients. *Stat Med.* 1994; 13(23-24): 2465-76.
 25. Ionan AC, Polley MYC, McShane LM, Dobbin KK. Comparison of confidence interval methods for an intra-class correlation coefficient (ICC). *BMC Med Res Methodol.* 2014; 14: 1.

Conflicto de intereses: No existe ningún conflicto de intereses por parte de ninguno de los autores de este trabajo.