

# Comparación cuantitativa de la ejecución de la maniobra de Lachman para su estandarización a través de software para dispositivo móvil

Edmundo Berumen-Nafarrate, Iván René Ramos Moctezuma, Luis Raúl Sigala González, Arturo Aguirre Madrid, Nadia Karina Portillo Ortiz, Ana Marcela Miranda Robles, José Arturo Balderrama Reynosa  
Universidad Autónoma de Chihuahua, México

## RESUMEN

**Introducción:** la maniobra de Lachman es ampliamente empleada como recurso diagnóstico para detectar lesiones en el ligamento cruzado anterior (LCA) y, por su simplicidad, se tiende a pensar que no existe una variabilidad significativa en su ejecución. El presente estudio comparativo está centrado en utilizar los sensores integrados en un dispositivo móvil para encontrar, a través del índice de correlación intraclase, si las variaciones tanto intraobservador como interobservador son significativas.

**Materiales y métodos:** se efectuaron dos ensayos llamados "Lachmatón", con doce residentes de ortopedia a modo de evaluadores y sujetos de prueba; el primer ensayo ayudó a identificar y describir las diferencias de los gestos de ejecución entre los evaluadores, mientras que el segundo permitió medir el incremento de la similitud de ejecución entre estos al ser instruidos, en contraste con el primer ensayo, donde no habían recibido ninguna instrucción; esto fue posible al medir la similitud características estadísticas y morfológicas de las señales adquiridas a través del índice de correlación intraclase.

**Resultados:** se identificaron dos gestos importantes y que emiten señales con distinta forma al aplicarse, o no, a la ejecución de la maniobra: 1) fijar el pie y, 2) fijar el fémur. Se encontró una diferencia significativa entre ambos ensayos, así como entre los dos estilos más usados por los evaluadores.

**Conclusión:** el uso de los sensores integrados en un dispositivo móvil para medir diferencias en la ejecución de la maniobra de Lachman ayudó a determinar los gestos que permiten una mayor reproducibilidad de esta maniobra.

**Nivel de Evidencia:** III

**Palabras clave:** Lachman; Lachmatón; Dispositivo Móvil; Estandarización

## ABSTRACT

**Introduction:** the Lachman maneuver was amplified as a diagnostic resource to detect injuries in the anterior cruciate ligament (ACL) and it tends to be thought, due to its simplicity, that there is no significant accumulation in its execution. This comparative study focuses on using the sensors integrated into a mobile device to find out whether the intraobserver or interobserver variations are significant, through the intraclass correlation coefficient.

**Materials and methods:** two trials called "Lachmatón" will be carried out with twelve orthopedic residents as evaluators and test subjects; the first trial helped to identify and describe the differences in performance gestures between raters, while the second allowed measuring the increase in performance similarity between raters as instructors, in contrast to the first trial, where neither could instruction; This was possible by measuring the similarity of the statistical and morphological characteristics of the signals obtained through the intraclass achievement index.

**Results:** two important gestures were identified, which emit signals in different ways when applied or not to the execution of the maneuver: 1) fix the foot and, 2) fix the femur. You will find that there is a significant difference between you and the evaluators.

**Conclusion:** the use of sensors integrated into a mobile device to measure differences in the execution of the Lachman maneuver helped to determine the gestures that allow a greater reproducibility of this maneuver.

**Level of evidence:** III

**Keywords:** Lachman; Lachmatón; Mobile Device; Standardization

## INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es el estabilizador estático primario contra el estrés en valgo de la rodilla, y su función primordial es oponerse a la traslación anterior de la tibia en relación con el fémur, este suele verse comprometido con mayor frecuencia luego de una lesión.<sup>1-5</sup>

Para diagnosticar el grado en que se encuentra la inestabilidad o el daño, los especialistas recurren a maniobras meramente cualitativas,<sup>6</sup> como las de pivote o de Lach-

man, así como el empleo de herramientas médicas.

A lo largo de la historia del desarrollo de tecnologías en la rama de la ortopedia se han investigado métodos de análisis clínicos más efectivos durante la exploración física articular. Por ello, médicos ortopedistas han buscado la manera de mejorar estas maniobras y hacerlas más exactas y apropiadas y, por lo tanto, brindar mejores diagnósticos para el mejor tratamiento posible para los pacientes.<sup>7-10</sup> Así, un *software* experimental para dispositivos móviles, desarrollado por ORMEDS LLC, es capaz de acceder al acelerómetro y el giroscopio integrados en este; el dispositivo (*smartphone*) se fija a la pierna por bandas elásticas, que se deben ajustar respetando la posición de los sensores sugerida por Berumen-Nafarrate *et al.*<sup>11</sup>

Edmundo Berumen-Nafarrate

edmundo.berumen@gmail.com

Recibido: Noviembre de 2022. Aceptado: Mayo de 2023.

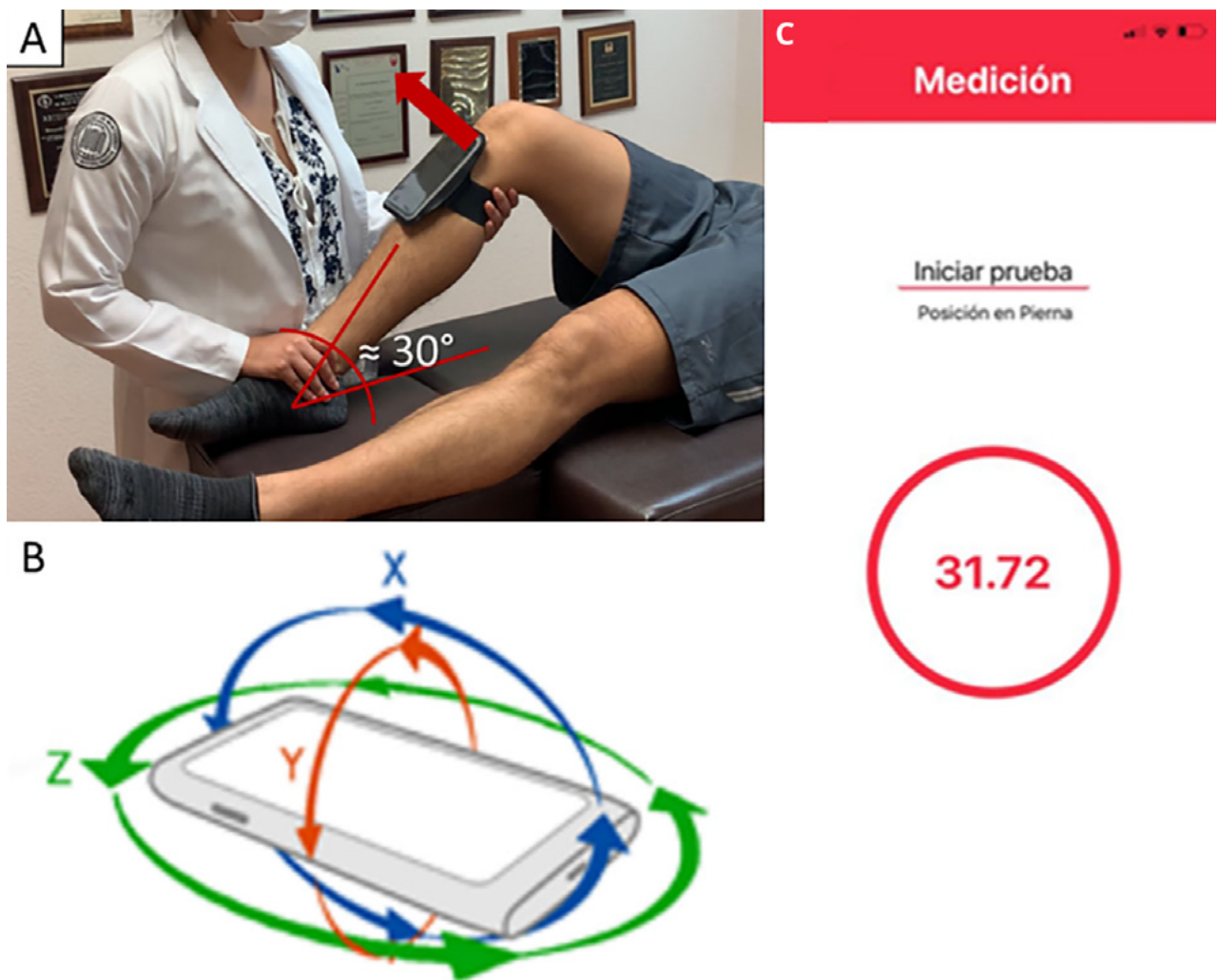


Figura 1: A) Colocación del dispositivo: dos dedos por debajo de la rótula sobre la tuberosidad tibial. B) Ejes rotacionales de cómo funciona el giroscopio en el dispositivo móvil. C) Pantalla de la aplicación "Arthrometer" donde muestra el grado de inclinación del teléfono respecto al eje horizontal.

El método de la maniobra Lachman busca valorar la integridad del LCA comprobando un desplazamiento anterior entre el fémur y la tibia. Se lleva a cabo con el paciente en decúbito dorsal, con la rodilla a diagnosticar flexionada sobre el piso o la superficie de contacto a 20-30° de inclinación, sin rotación, se estabiliza el fémur con una mano y con la otra se aplica una fuerza con dirección anterior sobre la tibia.<sup>7,8</sup> No obstante, existen referencias que no explican del todo la ejecución de la maniobra,<sup>12</sup> además de la variabilidad al momento de fijar y aplicar fuerza. Por lo tanto, es complicado citar de manera correcta la maniobra Lachman y marcar un protocolo estándar de cómo llevarla a cabo, ya que algunos profesionales la realizan como fueron enseñados y no exactamente como dicta una bibliografía.

Por lo mismo, es importante lograr una estandarización al emplear la aplicación. Al utilizar los sensores mencionados anteriormente para dar lectura de los movimientos realizados en un grupo de pacientes, se espera que los

evaluadores experimentados logren identificar una técnica adecuada a través de la comparación de los datos recabados con herramientas estadísticas como el índice de correlación intraclase.

### Objetivo

Comparar cuantitativamente las diferencias entre evaluadores al ejecutar una maniobra de Lachman a través de los sensores integrados en un dispositivo con una aplicación para estandarizar la maniobra de Lachman.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño de estudio

En el estudio se optó por realizar un ensayo clínico donde los participantes se presentaron de manera voluntaria, algunos pertenecen al programa de residencia del hospital Christus Muguerza (México). De acuerdo con la Asociación Argentina de Artroscopia, el presente trabajo es

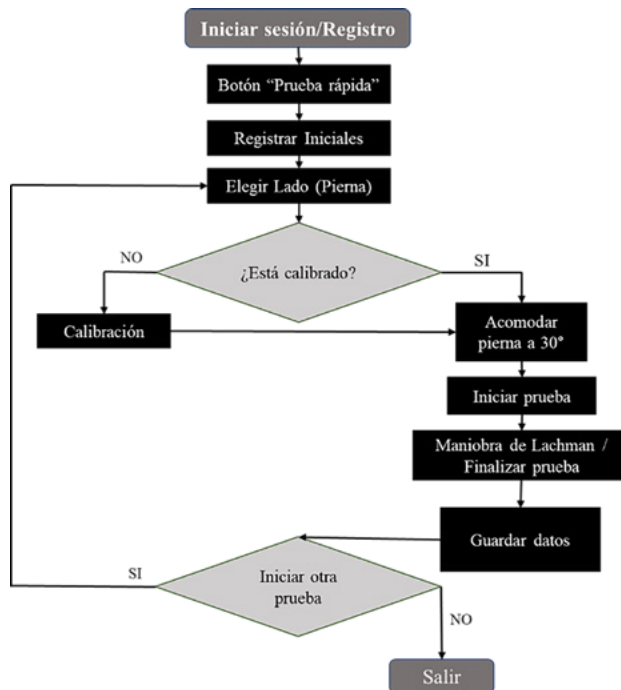


Figura 2: Diagrama de flujo del funcionamiento de la App Arthrometer.

un estudio diagnóstico con un Nivel de Evidencia III. El protocolo no fue sometido a ClinicalTrials.gov.

### Sujetos de estudio

La muestra para la investigación debía cumplir el criterio de inclusión de tener grado de médico general, como mínimo. Consta de doce individuos, todos miembros del hospital Christus Muguerza del Parque, de estos, dos poseen grado de médico general, ocho poseen grado de residentes en ortopedia y dos son especialistas en el área de ortopedia por más de veinticinco años. Cada sujeto ejecutó la maniobra en nueve individuos sanos, que de manera voluntaria y activa asistieron para su análisis, con un rango de edad de 24-27 años, ninguno presentaba síntomas de dolor o algún indicio de lesión.

Debido a que la población fue considerada como infinita y el nivel de confianza de un 90%, con el número de muestra conseguido dentro de la institución de salud ( $N = 12$ ) se estima un error  $E = 23.74\%$ . La estimación se calculó considerando un valor de  $Z = 1.645$  y una probabilidad de ocurrencia  $p = 50\%$ , de la siguiente forma:

$$E = \sqrt{\frac{Z^2 pq}{N}}$$

### Herramientas de medición

La aplicación prototipo “Arthrometer” desarrollada por ORMEDS LLC accede a los sensores inerciales del dispositivo móvil (acelerómetro y giroscopio) y es capaz de registrar y mostrar gráficamente el movimiento de la maniobra de Lachman en los ejes X, Y y Z. Para este estudio se obtienen sólo los datos del eje X del giroscopio por el acomodo del teléfono y la naturaleza del movimiento (fig. 1). Todos los resultados son ingresados de manera automática en una base de datos en línea.

### Obtención de datos

Todos los evaluadores fungieron a su vez como sujetos de prueba. Cada evaluador cuenta con un espacio designado para la exploración y análisis de las piernas de los demás evaluadores.

Previo a iniciar las mediciones, cada evaluador registra sus datos de usuario en la aplicación con el fin de diferenciar con mayor facilidad la información que llegará a la base de datos en línea.

Antes de iniciar la primera prueba se realiza una calibración automática, para eso se coloca el dispositivo horizontal en una superficie fija. En las pruebas posteriores no será necesario este paso.

Posteriormente, el sujeto de exploración se sitúa en posición supina en un diván médico y el dispositivo móvil es colocado en la cara anteromedial de la tibia con ayuda de una banda de sujeción, mientras el dispositivo solicita especificar qué miembro inferior se va a explorar (izquierda o derecha). A continuación, la pierna es posicionada a  $30^\circ$  (estimados por los acelerómetros del dispositivo) de flexión para respetar lo descrito en la bibliografía,<sup>5-7</sup> así como se muestra en la figura 1A y 1C.

Por último, se presiona el botón “Iniciar Prueba” en la pantalla. Se le otorgan cinco segundos al evaluador para acomodarse y que el teléfono comience a leer la información de los giroscopios. Una vez terminada la cuenta regresiva, el evaluador empieza a realizar la maniobra el número de veces que considere y por último presiona el botón “Terminar Prueba” para dejar de registrar el movimiento con los sensores. Al final, los resultados se suben a la base de datos. El proceso de la medición y registro de pacientes se puede observar en el diagrama de flujo en la figura 2.

### Lachmatón 1.0 y 2.0

El nombre “Lachmatón” fue acuñado por la combinación de las palabras “Lachman” y “maratón”; consiste en un circuito en el que los evaluadores se efectúan dos pruebas de Lachman consecutivas por pierna, entre sí. Se realizaron dos ensayos (Lachmatón 1.0 y 2.0). Para el primer ensayo (Lachmatón 1.0), el objetivo fue observar, registrar y describir los gestos propios de la técnica de ejecución de cada

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS EVALUADORES POR GRUPO SEGÚN EL ESTILO DE TÉCNICA DE EJECUCIÓN DE LA MANIOBRA DE LACHMAN

Pie Libre (PL)		Pie Fijo (PF)	
		Sujeción femoral (SF)	No sujeción femoral (NSF)
2	Movimiento del fémur (SFM)	Sin movimiento del fémur (SF)	5
	1	3	

evaluador. A su vez, este primer ensayo funcionó como guía para observar el comportamiento de las gráficas generadas por la aplicación. Para la segunda iteración del estudio (Lachmatón 2.0), se instruyó a los evaluadores para disminuir variables y se repitió el circuito; luego se compararon los dos estilos más usados por los evaluadores con lo observado del primer ensayo, para lograr la estandarización de la maniobra de Lachman. Los evaluadores realizarían la maniobra con cada sujeto de exploración y la aplicación obtendría de manera automática la información recopilando los resultados en la base de datos.

### Método de análisis

Una vez extraída la información de la nube se tomaron los vectores de datos de todas las señales producidas por cada prueba, se separaron por evaluadores y se realizó un análisis matemático con el fin de obtener una serie de características estadísticas (entropía, promedio, desviación estándar, rango) y morfológicas (cantidad de datos capturados por prueba, amplitud máxima y localización de cada pico en el tiempo) de cada vector de datos.

La similitud entre estas características fue medida al comparar las particularidades de cada señal con el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC, sus siglas en inglés por "Intraclass Correlation Coefficient").<sup>13</sup> Se asumió un modelo de dos vías.

Posteriormente se separaron las muestras por evaluador y por grupo basado en la técnica de ejecución, tal como se muestra en la Tabla 1. De estas dos categorías, se analizaron las muestras registradas por la aplicación de cada evaluador en bruto y normalizadas; con ello se efectuó un análisis intra e interobservador.

## RESULTADOS

El total de los evaluadores que participaron en el estudio posicionaron el ángulo de flexión a 30° respecto del eje horizontal, anulando la posibilidad de convertir esto en una variable. Cada evaluador realizó alrededor de veinte pruebas en cada ensayo efectuado.

### Lachmatón 1.0

El objetivo de este primer ensayo fue encontrar la técnica de ejecución de cada evaluador con base en su posicionamiento y en los movimientos provocados. Fue posible

así separar a los evaluadores en dos grupos principales: los que se enfocaron en si se fijaba el pie del paciente y los que permitían la elevación del pie al momento de la ejecución de la maniobra; el grupo "pie libre" (PL) con dos evaluadores y el grupo "pie fijo" (PF) con nueve evaluadores.

Dentro del grupo PF, que cuenta con la mayoría, se observó una diferencia en la ejecución: algunos evaluadores fijaban el fémur, evitando así el movimiento del cuerpo entero de paciente, y otros no fijaban el fémur sin que la maniobra se viera afectada; de aquí se consideró pertinente dividir al grupo PF en dos **subgrupos**:

1. No sujeción femoral (NSF), con cinco evaluadores.
2. Sujeción femoral (SF), con cuatro evaluadores.

Dentro del segundo subgrupo existe un evaluador que, al realizar la sujeción del fémur, agregaba un movimiento extra presionando hacia abajo, creando el efecto de "sube y baja" entre sus dos manos, lo que generó otro factor de criterio: sujeción femoral con movimiento (SFM). La distribución de los grupos se representa en la Tabla 1.

En la figura 3 pueden observarse ambos estilos: el grupo PL posiciona ambas manos en los extremos de la pierna dejando libre el pie, por lo que al realizar el movimiento se genera un registro en la señal del movimiento con tendencia negativa (fig. 3A), en contraste con el grupo PF subgrupo SF, donde la tendencia de los datos se encuentra en los valores positivos (fig. 3B). Se les pidió a los evaluadores realizar dos maniobras consecutivas por lo que muestra un pico para cada una, con valores máximos registrados positivos (fig. 3).

En el análisis de ICC se pudo comprobar cuánto variaban los resultados de cada evaluador según su técnica de exploración al momento de realizar la maniobra. Los resultados obtenidos se dividieron primero en análisis intraobservador e interobservador de las muestras de cada evaluador y, posteriormente, se agruparon los datos por grupos: NSF y SF.

Es destacable que los porcentajes de similitud promedio, tanto del análisis interobservador como intraobservador, fueron muy similares entre cada grupo con desviaciones estándar de 2.91% y 2.14%, respectivamente. A su vez, los porcentajes promedio del análisis interobservador fueron considerablemente más bajos que los del análisis intraobservador, con 73.94% y 64.69%, respectivamente; esto sugiere una baja reproducibilidad de la maniobra de un evaluador a otro. Con esto se demostró la necesidad de

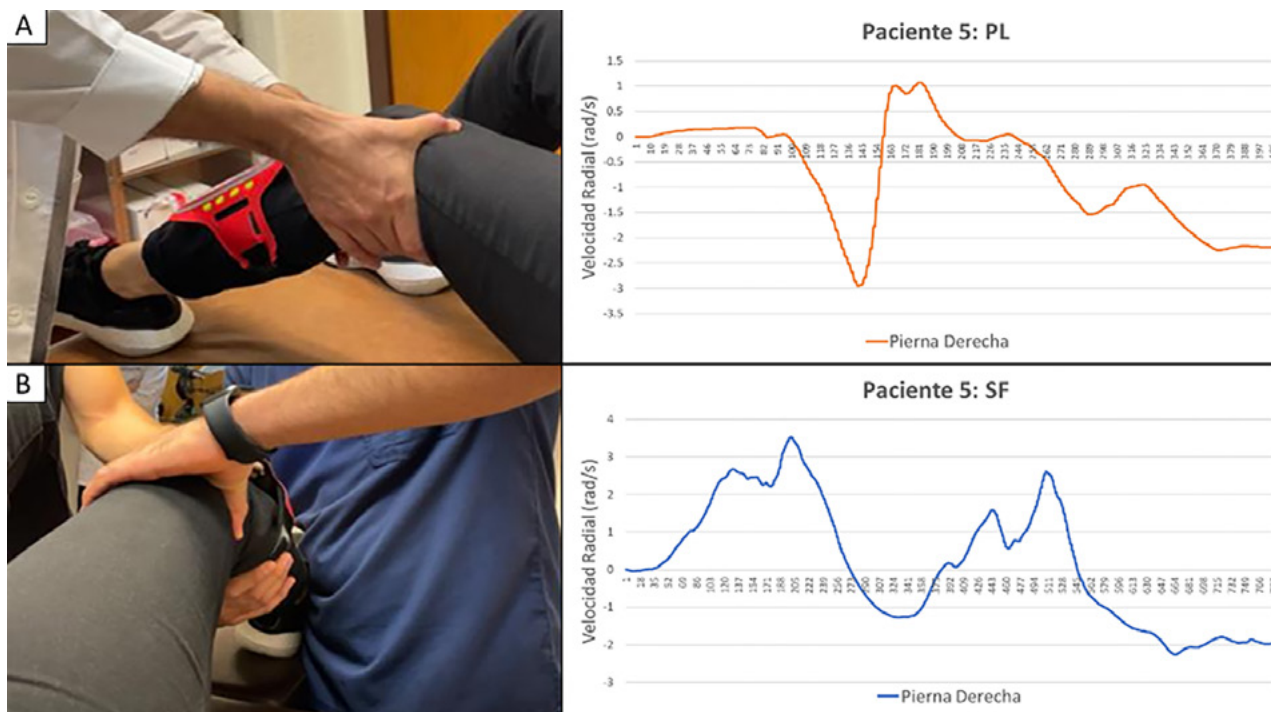


Figura 3: A) Maniobra Lachman realizada por un evaluador de clasificación PL, y su gráfica correspondiente. B) Maniobra Lachman realizada por un evaluador de clasificación PF; nótese como fija el pie con su cuerpo mientras inmoviliza el fémur. Gráfica correspondiente a prueba con pie fijo y sujeción femoral (SF). Cada pico de la gráfica (▼) representa el punto máximo de cada maniobra efectuada.

TABLA 2. COMPARACIÓN ENTRE ENSAYOS DE PORCENTAJES INTEROBSERVADOR POR GRUPOS DE EJECUCIÓN

Grupo CS		Grupo SS	
Lachmatón 1	Lachmatón 2	Lachmatón 1	Lachmatón 2
n = 4	n = 7	n = 6	n = 6
69%	66%	70%	63%
63%	75%	57%	57%
63%	77%	73%	56%
65%	77%	55%	48%
-	75%	73%	58%
-	71%	-	-
-	74%	-	-
*P = 0.002		*P = 0.043	

estandarizar la maniobra, para lo cual se llevó a cabo un segundo Lachmatón.

**Lachmatón 2.0**

Según lo observado en el primer ensayo, se diseñó una serie de instrucciones a seguir para los evaluadores a modo de estandarización:

- Flexión de pierna a 30°.
- Colocar el celular lo más anterior posible, dos dedos por debajo de la rótula sobre la tuberosidad tibial.
- Fijar el pie.
- Fijar, o no, el fémur (dependiendo del grupo al que pertenezca).
- Iniciar prueba y esperar cuenta regresiva.

- Ejecutar la primera maniobra.
- Esperar dos segundos.
- Hacer la segunda prueba.
- Esperar dos segundos y terminar prueba.
- Guardar prueba.

Al mismo tiempo se separó en grupos con sujeción femoral (CS) y sin sujeción femoral (SS) de manera aleatoria entre los evaluadores para este segundo Lachmatón; se dejó fuera la categoría PL debido a su baja frecuencia de uso entre los evaluadores. Seguido de ello, se realizó el mismo análisis matemático. Al calcular el ICC intra e interobservador de cada evaluador, fue posible comparar los resultados con los del ensayo anterior (Tablas 2 y 3).

**DISCUSIÓN**

Debido a la aparente simplicidad de la maniobra de Lachman que aparece descrita en la bibliografía,<sup>5-7,14</sup> se tiende a pensar que esta maniobra se encuentra indiscutiblemente estandarizada, especialmente si se considera a un grupo de evaluadores experimentados que tienen la misma escuela. Sin embargo, el presente trabajo demuestra desde el principio que eso no es del todo cierto.

Las diferencias entre evaluadores se notan desde la postura inicial. Estas variaciones en la postura y ejecución fueron evidentes al realizar la primera iteración del Lachmatón, permitiendo clasificar por estilos a los evaluadores. De acuerdo con el análisis de similitudes (fig. 4), las tres cate-

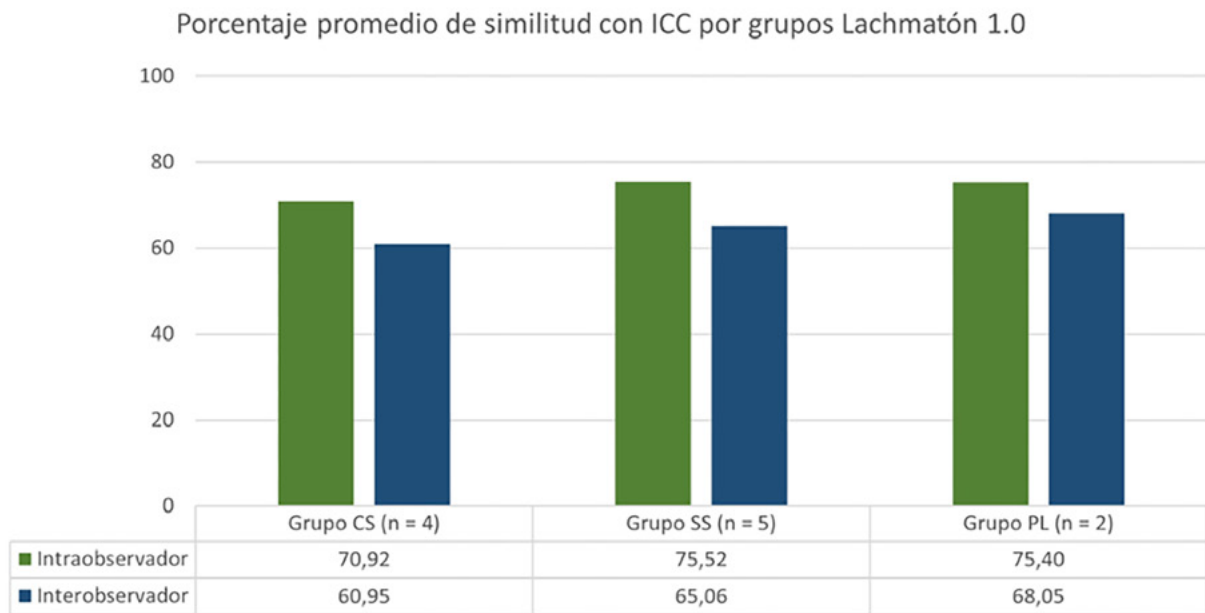


Figura 4: Comparación ICC promedio intra e interobservador por grupos de evaluación: con sujeción (CS), sin sujeción (SS) y pie libre (PL).

gorías de estilos de ejecución resultan ser reproducibles en una medida muy similar según su desviación estándar; no obstante, la media de los porcentajes de similitud en ambos análisis no alcanzó valores satisfactorios (>80%) lo que denota una necesidad de estandarización. A su vez, resultó muy evidente que el estilo PL no era fiable por el hecho de que el movimiento producido no era exclusivamente de la zona de interés, al provocar una tendencia en valores negativos en los registros (ver fig. 3A), además de ser el estilo con menos practicantes (n = 2).

El error estimado exhibe que el tamaño de muestra no necesariamente alcanza un valor ideal, sin embargo, el análisis de la información recopilada con el *software* para dispositivos móviles fue capaz de mostrar en los dos ensayos que existe una diferencia significativa entre los grupos que fueron instruidos para ejecutar la maniobra contra los que no. A su vez, se comprobó que fijar el pie a la cama de exploración, y fijar el fémur para evitar un movimiento en la cadera, resulta más reproducible si se considera la media de los porcentajes de similitud, tanto interobservador como intraobservador, con la excepción del grupo SS en el análisis intraobservador, que a un nivel de significancia del 95% resulta no serlo. De cualquier modo, un tamaño de muestra mayor es deseable para futuros trabajos de esta índole.

Se ha visto anteriormente el uso de sensores inerciales para realizar mediciones de otras maniobras de exploración,

TABLA 3. COMPARACIÓN ENTRE ENSAYOS DE PORCENTAJES INTRA OBSERVADOR POR GRUPOS DE EJECUCIÓN

Grupo CS		Grupo SS	
Lachmatón 1	Lachmatón 2	Lachmatón 1	Lachmatón 2
n = 4	n = 7	n = 6	n = 6
74%	68%	87%	72%
67%	79%	57%	69%
72%	79%	87%	85%
76%	80%	59%	42%
-	85%	88%	63%
-	83%	-	-
-	82%	-	-
*P = 0.023		*P = 0.18	

ción,<sup>14-20</sup> logrando resultados aceptables. Berumen-Nafarrate *et al.*<sup>14-18</sup> fueron capaces, en su estudio, de clasificar por grados de lesión las señales emitidas por un dispositivo diseñado para capturar el movimiento de la maniobra de pivote con acelerómetros. Esto nos muestra que es posible utilizar los propios sensores de un dispositivo móvil para el mismo fin, y no sólo de la maniobra de pivote.

Existen ya herramientas altamente aceptadas capaces de evaluar cuantitativamente la maniobra de Lachman como el KT-1000 o el Rolímetro,<sup>21</sup> sin embargo, no todos los especialistas tienen la posibilidad de acceder a este tipo de herramientas por su elevado costo de adquisición, por lo tanto, nuestro propósito a futuro es dotar al especialista de un instrumento asequible y fácil de utilizar, que sea tan

exacto y preciso como el KT-1000.<sup>21</sup>

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente estudio, queda claro que es posible estandarizar la maniobra de Lachman a través de los sensores inerciales integrados en un dispositi-

tivo móvil, sin embargo, aún quedan factores a considerar para conseguir un mayor nivel de similitud entre las pruebas y consolidar una única forma de ejecutar la maniobra de Lachman, con el fin de, en un futuro, desarrollar tecnologías innovadoras para la medición cuantitativa de dicha maniobra.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bressy G; Lustig S; Neyret P; Servien E. Inestabilidades de la rodilla. *EMC-Aparato Locomotor*. 2016; 49(1): 1-17.
- Maestro A; Rodríguez L; Álvarez JC; Fernández-Gala T; Menéndez S; Meana A; Iglesias R. Inestabilidad postraumática de rodilla. *Patología del Aparato Locomotor*, 2007; 5(1): 41-6.
- Paus DV; Compare D. Ligamento cruzado posterior. Semiología y clasificación. *Rev Asoc Arg Ortop y Traumatol*, 1993; 59(4): 409-16.
- Márquez-Arabia JJ; Márquez-Arabia WH. Lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla. *Iatreia*. 2009; 22(3): 256-71.
- Delgado-Martínez AD. Exploración del aparato locomotor: cadera y rodilla. Curso de Actualización Pediatría. *AEPap ed*. 2005; 1: 161-70. Disponible en: [https://mail.aepap.org/sites/default/files/exploracion\\_locomotor2.pdf](https://mail.aepap.org/sites/default/files/exploracion_locomotor2.pdf)
- Delgado-Martínez AD. "Traumatismos de partes blandas de las rodillas". En: Ramírez F (ed). *Cirugía ortopédica y traumatología*. Lima, Editorial Panamericana, 2008.
- Díaz-Mancha JA. "La valoración en reumatología; traumatología y ortopedia". En: Carvajal C (ed). *Valoración Manual*. Madrid, Editorial Elsevier, 2014, pp. 35-83.
- Brady MP; Weiss W. Clinical diagnostic tests versus MRI diagnosis of ACL tears. *J Sport Rehabil*, 2018; 27(6): 596-600. DOI: <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0188>
- Klasan A; Putnis SE; Kandhari V; Oshima T; Fritsch BA. Healthy knee KT1000 measurements of anterior tibial translation have significant variation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020; 28: 2177-83. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05768-w>
- Hernández-Córdoba C. Eficacia de la prueba de palanca para el diagnóstico. *Artroscopia*, 2019; 26(1): 19-23.
- 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. DOI: [doi:10.35366/101858](https://doi.org/10.35366/101858)
- Firpo CA. "Semiología básica de los miembros inferiores". En: Firpo CA (ed). *Manual de ortopedia y traumatología*. Buenos Aires, Editorial Dunken, 2005, pp. 35-42.
- 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; 14:121.
- Berumen-Nafarrate E; Leal-Contreras C; Radice-Diéguez F. "Quo Vadis, Quo Venis". En: Olvera-Neder RG (dir.). *Lesiones ligamentarias de rodilla*. Chihuahua, Editores UACH, 2021, pp. 393-403.
- Pozo D; Sotomayor N; Rosero J; Morales L. Medición de ángulos de inclinación por medio de fusión sensorial aplicando filtro de Kalman. *Revista Politécnica*, 2014; 33(1). Disponible en: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/144](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/144)
- Berumen-Nafarrate E; Tonche-Ramos JJ; Carmona-Máynez O; Leal-Berumen I. 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.
- Rodríguez RA; Vera PM; Martínez MR; Verbel de La Cruz L. Aprovechamiento del hardware de los dispositivos móviles para la construcción de nuevas aplicaciones. *XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2014; 16: 676-80. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42655>
- Ramos-Moctezuma IR; Quintana-Trejo FN; Sigala-González LR; Leal-Berumen I; Cañedo E; Tonche-Ramos JJ; et al. Coeficiente de correlación intraclase intra- e interobservador de la maniobra pivot-shift mediante aplicación para móviles: «pivot-shift meter». *Acta Ortop Mex*, 2021; 35(6): 500-6. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2306-41022021000600500&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2306-41022021000600500&script=sci_arttext)
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4734-0>
- Naiper RJ; Feller JA; Devitt BM; McClelland J; Webster KE; Thrush CSJ; et al. Is the KiRA device useful in quantifying the pivot shift in anterior cruciate ligament deficient knees? *Orthop J Sports Med*, 2021; 9(1): 232596712097786.
- Highgenboten CL; Jackson AW; Jansson KA; Meske NB. KT-1000 arthrometer: Conscious and unconscious test results using 15, 20, and 30 pounds of force. *Am J Sports Med*, 1992; 20(4): 450-4. DOI: <https://doi.org/10.1177/036354659202000415>