

Clasificación de lesiones en el LCA con aplicación para móviles: “Pivot Shift Meter”

1st Luis Raul Sigala Gonzalez
Facultad de Medicina y Ciencias
Biomédicas,
Universidad Autónoma de
Chihuahua,
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
sigala.lrsg@gmail.com

2nd Fatima Norely Quintana Trejo
Facultad de Medicina y Ciencias
Biomédicas,
Universidad Autónoma de
Chihuahua,
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
fatima.norely@gmail.com

3rd Ivan Rene Ramos Moctezuma
Facultad de Medicina y Ciencias
Biomédicas,
Universidad Autónoma de
Chihuahua,
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
chogvan@gmail.com

4th Irene Leal Berumen
Facultad de Medicina y Ciencias
Biomédicas,
Universidad Autónoma de
Chihuahua,
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
ileal@uach.mx

5th Arturo Aguirre Madrid
Ortopedia Chihuahua
Hospital Christus Muguerza
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
arturoaguirremadrid@yahoo.com.mx

6th Eduardo Cañedo Figueroa
Centro de Estudios Tecnológicos,
Industrial y de Servicios (CETIs)
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
eduarcan@ieee.org

7th Javier Tonche Ramos
Ortopedia Chihuahua
Hospital Christus Muguerza
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
Javiertonche22@gmail.com

8th Octavio Carmona Maynez
Ortopedia Chihuahua
Hospital Christus Muguerza
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
dr.carmona@ortopediachihuahua.com

9th Jorge Arturo Barraza
Ortopedia Chihuahua
Hospital Christus Muguerza
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
Jorge_arturo77@hotmail.com

10th Edmundo Berumen
Nafarrate
Ortopedia Chihuahua
Hospital Christus Muguerza
Chihuahua, Chihuahua, Mexico
edmundo.berumen@gmail.com

Resumen— Las lesiones ligamentarias abren un extenso panorama para el análisis y desarrollo de nuevas técnicas para su diagnóstico. La rodilla es una de las articulaciones más sometidas a estrés y uno de los ligamentos más comunes de lesionarse es el ligamento cruzado anterior. Para su diagnóstico, existen distintas maniobras entre las que destaca la prueba de pivot shift, que a diferencia de otras analiza la estabilidad completa del ligamento. En búsqueda de un diagnóstico más completo con esta técnica hemos utilizado los giroscopios integrados en un teléfono celular a través de una aplicación desarrollada para obtener datos que se grafican denominada “Pivot Shift Meter”. Se realizó un evento con voluntarios para realizar la maniobra utilizando la aplicación y así conjuntar resultados de distintas rodillas encontrando casos con lesiones y sanas. Analizamos los datos para su interpretación y clasificación tomando la escala del artrómetro KT-1000 como estándar de oro. El resultado fue que la aplicación “Pivot Shift Meter” logró detectar los mismos casos de lesión que el estándar de oro, con la única diferencia de que la aplicación necesita que el usuario estandarice la maniobra. Se lograron clasificar los casos, incluso detectando aquellos que en KT-1000 presentaron un posible falso negativo.

Palabras Clave: Pivot Shift Meter, KT-1000, giroscopios, clasificación de lesión LCA

Nivel de evidencia: Ib

I. INTRODUCCIÓN

Las diversas lesiones que se pueden producir en la rodilla han sido punto de investigación y desarrollo de técnicas para

su tratamiento y diagnóstico [1]. En este último campo, los ortopedistas han dedicado sus esfuerzos en la búsqueda de procedimientos y tecnologías para diagnósticos más exactos y apropiados [2]. El ligamento cruzado anterior (LCA), es centro de atención de muchos de estos esfuerzos, por lo que se han creado múltiples métodos para analizar su estabilidad y laxitud. Una de estos es la maniobra de pivot shift [2,3]. La técnica ha demostrado ser adecuada para el análisis de la laxitud del LCA, la cual consiste en la rotación medial en estado de reposo con la pierna extendida siguiendo de una flexión en la articulación de la rodilla y se extiende para volver al estado de reposo, dejando de rotar la pierna [2]. A pesar de ser funcional para el análisis esta sigue siendo de índole cualitativa y depende de la experiencia del médico para llegar a dar un resultado de diagnóstico [3]. Se han desarrollado otros equipos para el análisis del LCA, como el KT-1000, que utiliza otra maniobra, la prueba de Lachman, que presenta una eficacia del 90% [4]. Es por esto que ha surgido la necesidad de un nuevo método cuantitativo para el análisis del ligamento. Nuestro grupo describe la “Clasificación del Parque” como el estándar en KT-100 para generar una graduación “en prensa” [5].

El “Pivot Shift Meter” (PSM), es una aplicación de dispositivo móvil desarrollada para resolver este problema. El funcionamiento de la aplicación está basado en el uso del giroscopio integrado en el dispositivo, para tomar lectura de los movimientos realizados por el médico especialista del área,

y así poder hacer una clasificación de la severidad de la lesión y con esto llegar a un diagnóstico completo [2,5].

II. OBJETIVO

Clasificar las lesiones de LCA mediante la aplicación móvil PSM y compararla con la del artrómetro KT-1000.

II. METODOS Y MATERIALES

A. Diseño de estudio

El estudio fue diseñado para que se tuviera un ensayo clínico aleatorio, en este caso a través de un evento donde los participantes se presentaban de manera voluntaria. De esta manera se tiene un nivel Ib de evidencia científica y un grado de recomendación A según la “Agency for Healthcare Research and Quality”.

B. Sujetos de estudio

Se incluyeron 66 individuos, que aceptaron participar de manera voluntaria mediante un consentimiento informado (estudiantes de la Facultad de Medicina de la UACH), con un rango de edad de 18 a 37 años, 34 mujeres y 32 hombres.

C. Evaluadores.

2 médicos especialistas en ortopedia con más de 25 años de experiencia, 1 médico especialista en ortopedia con 3 años de experiencia, 2 residentes de ortopedia y un médico general.

D. Método de obtención de datos

Se obtuvieron dos tipos de datos a partir de dos pruebas, la prueba de Lachman y prueba de pivote. Para la primera se utilizó el artrómetro KT-1000, el cual mide la traslación anterior de la tibia sobre el fémur, midiendo la estabilidad del haz anteromedial (AM) del ligamento y arrojando los resultados en milímetros sobre la laxitud del LCA, y para la segunda se utilizó la aplicación PSM, la cual mide la estabilidad de ambos haces, AM y posterolateral (PL).

La aplicación del celular utiliza el giroscopio al momento de realizar la prueba de pivot shift y obtiene datos que corresponden a sus velocidades angulares en los ‘x’, ‘y’ y ‘z’ en rad/s (Fig. 1), todo esto en un periodo de tiempo de 5 a 6 segundos, dependiente del procesador del dispositivo.

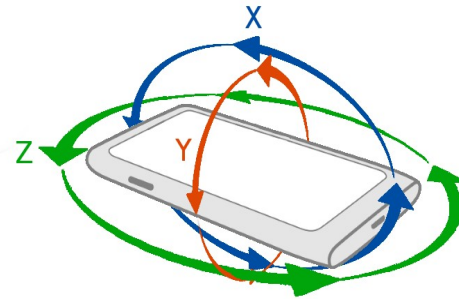


Figura 1. Ejes de rotación de un celular. Cada eje corresponde a la rotación en una dirección del dispositivo

Estos datos fueron enviados hacia una base de datos en línea, y la información del participante se registró. Después, mediante un código generado en Python, la información fue descargada de la base de datos y ordenados en un archivo de valores separados por comas (.csv) para su análisis.

E. Obtención de datos

Para la obtención de los datos se generó un circuito donde los sujetos pasaban con los médicos seleccionados a realizar la maniobra. Dividiendo la prueba por estaciones, la primera consistía en una mesa donde el participante firmaba el consentimiento informado y llenaba información personal relevante para el estudio. Las demás estaciones constaban de

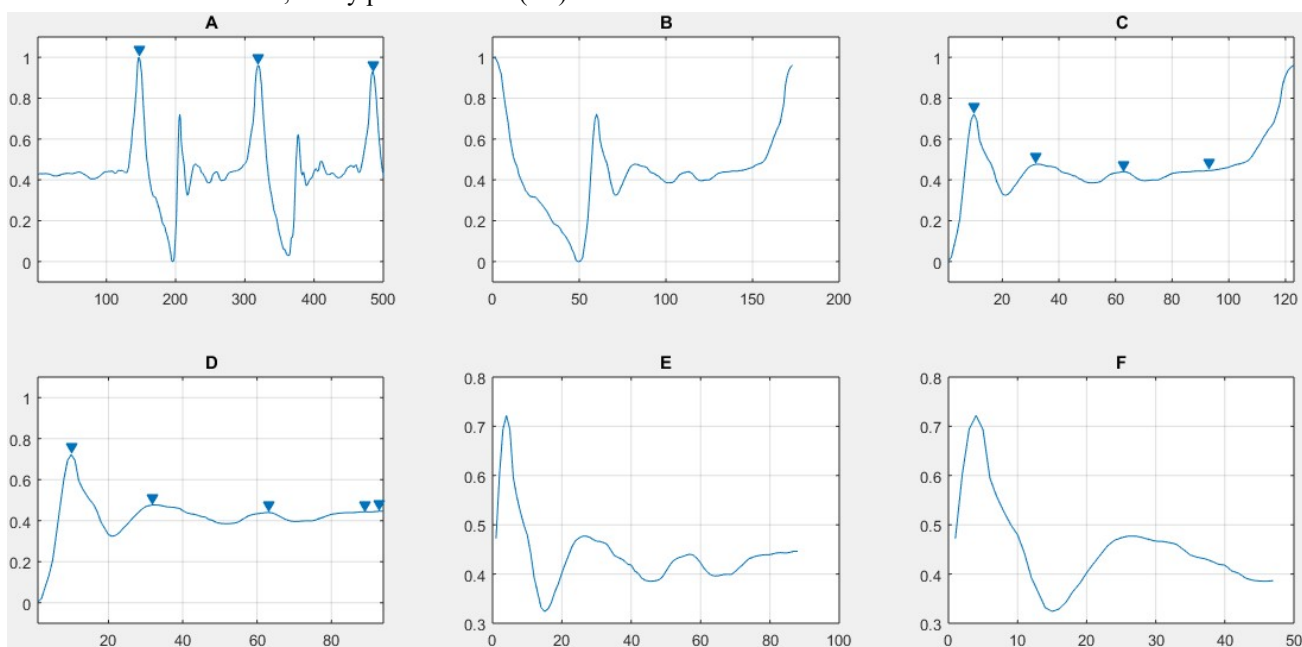


Figura 2. Procesamiento de la señal. Después de normalizar la señal se fue segmentando para obtener la porción importante de datos. A) La señal original se puede dividir identificando los picos máximos, estos indican el inicio de una maniobra. B) Se tomaron los datos entre dos maniobra, conteniendo el inicio de una maniobra, la flexión de la rodilla, la extensión, su rebote y el inicio de la siguiente, C) del segmento anterior se buscó el inicio de la extensión de la rodilla, el cual se observa como un pico negativo y se segmento a partir de este, D) se elimina el inicio de la siguiente maniobra, mostrado en C como una pendiente al final del segmento, se separa a partir del último pico positivo antes de esta pendiente, E) se buscó el valor promedio de los datos y se segmentó la primera pendiente en el valor más cercano al promedio, F) se identificaron los picos negativos y se segmentó la señal a partir del último, el primer segmento es nuestro vector de datos final, el segmento conocido como el rebote o la porción importante.

mesas de exploración donde el participante se posicionaba en decúbito supino y el explorador realizaba la maniobra. La segunda estación era la mesa donde un médico tomaba los datos referentes al KT-1000 de ambas rodillas. En las siguientes 5 estaciones se realizó la maniobra de pivot shift, 3 veces consecutivas, con el dispositivo móvil posicionado en la cara AM de la pierna a 2 dedos debajo de la rótula y sujetado con un brazalete para celular, de tipo deportivo, con la aplicación PSM registrando los datos de las mediciones.

F. Método de Análisis

Para encontrar el valor que nos indicara la lesión, en el análisis de resultados se tomaron los datos adquiridos de un solo médico, elegido por sus años de experiencia y distancia entre maniobras. Se generó una clasificación por grupos a partir de 28 muestras antes de clasificar el grado de las lesiones, esto es debido a las diferencias entre las rodillas de los pacientes e incluso las diferencias entre las maniobras realizadas por el mismo especialista. Las rodillas que presentaron una lesión de LCA según el KT-1000 utilizando una escala de diferencias en mm ya establecida, se utilizaron para entrenar el algoritmo, en conjunto con rodillas sanas.

El resultado del eje X, fue el asociado al movimiento rotacional, y se normalizó de un valor de 0 a 1, con la fórmula (1).

$$xn = \frac{[(1 - 0) * (x - m)]}{[(M - m) + 0]} \quad (1)$$

Donde xn es el valor normalizado, x es el valor a normalizar, en este caso es cada uno de los 500 datos en el eje X por separado, M es el mayor de este conjunto de datos y m es el menor. Una vez que ya se tenía el vector de datos normalizados, mediante un programa elaborado en MATLAB se extrajo la porción importante del conjunto de datos la que corresponde al “rebote” de la señal en el reacomodo de la rodilla a su posición inicial en la primera maniobra realizada por el médico. Este se realizó mediante la función “findpeaks” en la cual los picos de las muestras son localizados y de esta manera se segmenta la señal hasta dejar lo que se busca. El proceso es explicado con más detalle en la Figura 2.

Con el vector resultante se determinó la desviación estándar (SD), y según su valor fue clasificado. Con la información adquirida para extraer el segmento normalizado, también se obtiene el vector del conjunto de datos original y a este se le sacan distintas características para determinar el grado de la lesión. Incluyen su valor máximo, su rango más su promedio, y su sumatoria de lo cuadrados dividida entre el número de datos del vector.

G. Escala para KT-1000 “Clasificación del Parque”

Según estudios ya realizados por el grupo de médicos participantes del estudio, ya se tenía establecido una escala para clasificar las muestras obtenidas por el KT-1000, dada por su diferencia entre resultados de la laxitud de ambas rodillas. La escala fue modificada para tener consideración de un grado 0, una pierna sana. La Tabla 1 muestra la clasificación utilizada en este estudio. También se nos muestra en la tabla la reconstrucción sugerida ante la lesión del LCA según su grado.

Tabla 1. Clasificación del Parque y recomendaciones quirúrgicas.

Grado	Diferencia en mm	Reconstrucción sugerida
0	0 a 2	Ligamento sano, sin necesidad de cirugía
1	3	Reconstrucción Un Haz, U-Dos
2	4 a 5	Reconstrucción Dos Haces, U-Dos
3	> 6	Reconstrucción U-Dos + Ligamento Anterolateral

H. Consentimiento informado.

Antes de iniciar las pruebas llenaban este requisito, en donde se les informaba las implicaciones que conllevaban las pruebas y también se les daba el conocimiento de ser un protocolo aprobado

El protocolo descrito fue previamente aprobado por el comité de ética del hospital Christus Muguerza del Parque

III. RESULTADOS

Según el KT-1000, de los 65 participantes, ya que uno no se realizó esta maniobra, 9 participantes presentaban una lesión de grado 1, 12 participantes una lesión grado 2 y solo 2 participantes una lesión grado 3. Para el estudio se tomaron aquellos afectados en la pierna derecha, quedando la siguiente cantidad de cada grado (tabla 2):

Tabla 2. Número de participantes tomados para desarrollo de algoritmo de análisis.

Grado	# de participantes
0	9
1	8
2	9
3	2

Para su análisis, los datos fueran clasificados en 5 clases, la clase 0 es considerada una clase no analizable con el algoritmo normal ya que sus características están fuera de parámetros normales. Cada clase maneja un margen para el cual puede aceptar datos, representados en la tabla 3:

Tabla 3. Rango para selección de clases.

Clase	Rango de SD
1	0 a 0.01999
2	0.020 a 0.034
3	0.03401 a 0.049
4	0.04901 a 1

De los 28 datos seleccionados 5 quedaron en la clase 0, en la clase 1 hubo un total de 3 datos, de la clase 2 hubo 7, de la clase 3 hubo 6 y de la clase 4 se encontraron 7 casos. Su diferencia grafica se puede apreciar en la Figura 3.

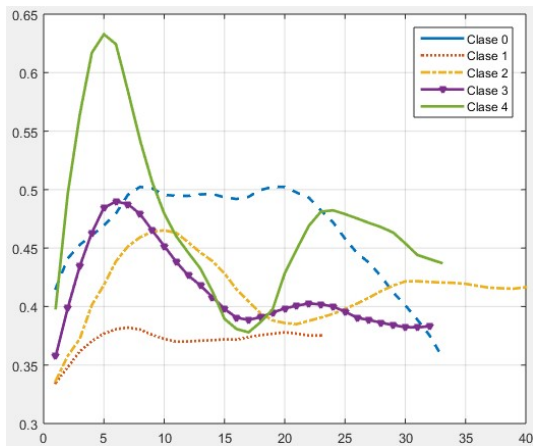


Figura 3. Diferencia grafica entre clases. Las clases 1, 2, 3 y 4 presentan una forma de onda con base senoidal, en cambio la clase 0 tiene forma de una meseta.

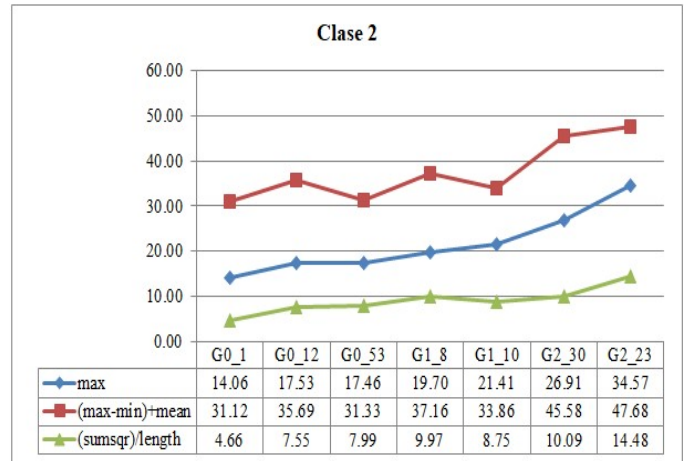
Consiguiente a esto se obtuvieron las características para generar los grados de las lesiones en la rodilla y sus valores se pueden apreciar en la Tabla 4 junto a su grado de lesión según KT-1000 y según PSM. También en la Figura 4 podemos apreciar de manera grafica estas diferencias.

Tabla 4. Resultados de clasificación en clases y grados.

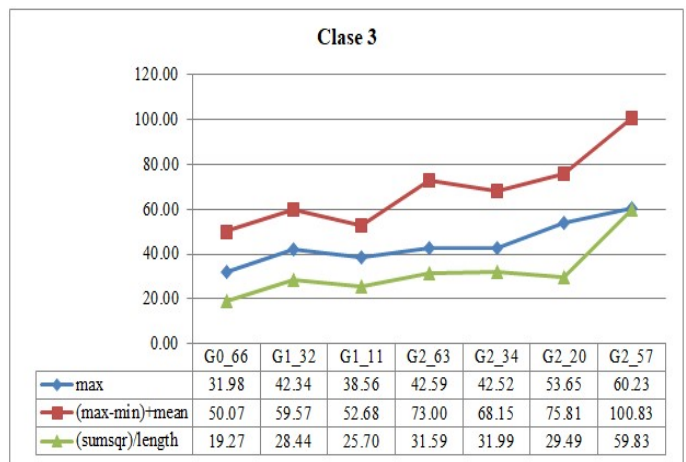
Clase 1						
Participante	Grado KT 1000	SD	max	(max-min)+mean	(sumsq)/length	Grado PSM
21	0	0.0106	4.05	16.13	11.97	-
2	2	0.0087	6.71	9.00	15.36	-
49	2	0.0165	1.64	17.85	64.24	-
Clase 2						
Participante	Grado KT 1000	SD	max	(max-min)+mean	(sumsq)/length	Grado PSM
1	0	0.0284	14.06	31.12	46.58	0
12	0	0.0296	17.53	35.69	75.53	0
53	0	0.0317	17.46	31.33	79.86	0
8	0	0.0335	19.70	37.16	99.65	1
10	1	0.0276	21.41	33.86	87.51	1
20	2	0.0252	26.91	45.58	100.88	2
23	2	0.0321	34.57	47.68	144.84	2
Clase 3						
Participante	Grado KT 1000	SD	max	(max-min)+mean	(sumsq)/length	Grado PSM
66	0	0.0363	31.98	50.07	192.67	0
32	1	0.0437	42.34	59.57	284.44	1
11	1	0.0457	38.56	52.68	256.99	1
63	2	0.0436	42.59	73.00	315.95	2
34	2	0.0436	42.52	68.15	319.90	2
20	2	0.0455	53.65	75.81	294.87	2
57	2	0.0478	60.23	100.83	598.33	2
Clase 4						
Participante	Grado KT 1000	SD	max	(max-min)+mean	(sumsq)/length	Grado PSM
18	1	0.0564	33.98	53.62	203.59	0
29	0	0.0681	50.18	75.52	371.12	0
50	1	0.0530	66.04	97.97	700.81	1
58	1	0.0599	63.76	105.39	771.89	1
46	3	0.0626	70.31	105.76	849.09	2
51	3	0.0899	120.85	174.00	1441.15	3

Por último, otros resultados obtenidos son aquellos a los que el algoritmo se les aplicó para ver su grado de lesión, pero que según KT-1000 resultaron negativos, y se pueden ver acomodados en la tabla 5 Según su grado y clase.

A)



B)



C)

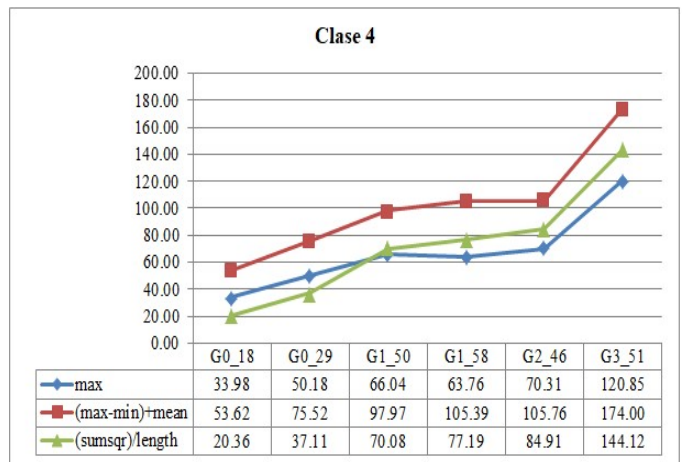


Figura 4. Diferencia grafica entre grados. En estas graficas se pueden ver las 3 características que definen los grados, la “(sumsq)/length” fue dividida entre 10 para su disposición en la gráfica. La nomenclatura “G0_1” se lee como “Grado 0 participante 1”

Tabla 5. Resultados de PSM de participantes negativos de KT-1000.

Clase 2			Clase 4		
Participante	Grado PSM	mm	Participante	Grado PSM	mm
7	0	2	52	0	3
15	0	3	25	0	4
6	0	4	56	1	4
35	1	5	14	2	5
9	0	6	19	0	5
5	0	7	45	0	5
42	1	7	65	0	7
31	2	9	4	1	7

Clase 3		
Participante	Grado PSM	mm
26	0	2
38	0	4
43	0	4
13	0	5
64	2	6

IV. DISCUSIÓN

El principal problema del análisis de datos fue que se intentaron analizar todos los datos como un conjunto, es decir que un grado 0 iba a tener una característica determinable en todos los pacientes de este tipo, por lo que al intentar buscar alrededor de 15 características sin éxito se determinó que se tenía que buscar otra manera. En el siguiente intento se buscó comparar los datos de ambas piernas, pero tampoco era posible debido a que el movimiento realizado por el médico al llevar acabo la maniobra es diferente según la pierna, por lo que los datos se tienen que separar. Con esto también se aprendió que, aunque no se puedan juntar ambas muestras, la respuesta que indicara el grado de lesión aplicaría para las dos piernas, ya que el movimiento presenta una estructura base similar, la diferencia son solo sus amplitudes. Por último, el método que resultó adecuado fue el separar las muestras en clases. También se optó por solo analizar el eje X, ya que este corresponde a la flexión de la rodilla en el pivot shift, y según los resultados de los 5 médicos este eje tuvo mayor relevancia para la comparación inter observadores, y también mostró ser el eje con mayor rango de movimiento.

El último método nació de la alta entropía que existe entre las mediciones y sus múltiples variables. A pesar de esto se encontró un patrón en las muestras por lo que se decidió agruparlas, y así se crearon las clases, en un principio acomodadas de manera manual visualizando la forma de la gráfica. Después de obtener la SD según las primeras clases, se acomodaron haciendo pequeños ajustes y se establecieron los límites de clases.

Las 3 características para la clasificación por grados de lesión fueron elegidas una vez ya definidas las clases, estas se eligieron de 8 características diferentes, debido a que dieron una razón en un grado parecida a la del KT-1000, ya que este siendo el estándar de oro se tenía que tener una relación alta y aceptable. El pico máximo fue elegido por que entre más fuerte la reacción de la rodilla, más intensa iba a ser la velocidad de rebote en el reajuste de la articulación, por lo que este valor indicaría esta variación entre casos. La segunda característica

se eligió porque el rango del rebote era proporcional a tiempo que necesitaría la articulación a reacomodarse, entre más rango más tiempo, y se le sumo su media para agregar el factor de rebotes consecutivos. Por último, la tercera característica, la suma de sus cuadrados fue elegida porque entregaba la sumatoria de las velocidades instantáneas del movimiento, sin importar su dirección, y se divide entre el tamaño del vector para sacar un promedio de este valor.

Ya con las características elegidas se confirmó que el vector que se estaba analizando era el correcto, esto porque en la clase 0 no se presentaron las propiedades suficientes para dar una graduación, que las otras clases si presentaban en este vector.

En cuanto a la comparación de resultados de ambos artrómetros, se observó una relación de 19/28 casos clasificables, calculando una correlación del 67.9 %, que aunque es baja, está dada por las clases 0 y 1 la cuales después de ser analizadas se concluyeron como no clasificables porque la maniobra del médico no era la correcta, por lo que en aquellos que la técnica de pivot shift era la adecuada, como en la clase 2, 3 y 4, la relación fue de 19/20 casos, es decir un 95 % de correlación, sin considerar que 1 de esos casos presenta una forma de gráfica muy poco adecuada para analizar por falta de descanso entre maniobras.

Por último, pero de mucha importancia, el PSM logró detectar 7 casos extras al KT-1000, que en este último hubieran pasado como sujetos con una laxitud del LCA muy alta, y no como sujetos con una posible lesión bilateral en la rodilla.

IV. CONCLUSIÓN

La utilización de giroscopios de un dispositivo móvil para el análisis y clasificación de estos casos resultó adecuada, generando una relación con el KT-1000 alta. También se demostró que el PSM cuenta con una mayor sensibilidad ante percepción de casos, especialmente aquellos que posiblemente no sufren un daño en el haz AM del LCA. Con las evidencias de estos casos se demostró que el PSM no mide los mm de laxitud, mide el grado de lesión de la rodilla.

Una estandarización de la maniobra de pivot shift es imperativa para un mejor funcionamiento de la aplicación, ya que se demostró que los datos de un médico son interpretables y clasificables, por lo que es necesario que entre los ortopedistas y otros especialistas que utilicen esta aplicación realicen el movimiento adecuado para generación de resultados fiables.

Actualmente se están realizando estudios multicéntricos en diferentes países de América Latina con múltiples ortopedistas y especialistas para la determinación de la sensibilidad y especificidad del método a través de la recuperación de evidencias quirúrgicas, todo esto por medio del Pivot Shift Meter.

REFERENCIAS

- [1] E. Berumen, M. Paz , “Lesiones multiligamentarias de rodilla”, Orthotips, 5 (1) pp 49-58, 2009
- [2] E. Berumen J. Tonche, J. Carmona, I. Leal “Interpretación de la maniobra de pivote mediante el uso de acelerómetros en pacientes que

acuden a consulta ortopédica”, *Acta Ortopédica Mexicana*, 29(3), pp. 176-181, May.-Jun 2015.

- [3] E. Muñoz, S. Mejía, J. Correa, “Signo del Hospital de San José, una alternativa sencilla para el pivot shift para diagnóstico de inestabilidad anterolateral de la rodilla por lesión del ligamento cruzado anterior”, *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, Volume 28, Issue 1, Pages 13-15, March 2014
- [4] J. L. Lerat, B. Moyon, J.Y. Jenny, J.P. Perrier, "A comparison of pre-operative evaluation of anterior knee laxity by dynamic X-rays and by the arthrometer KT 1000", ' *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* ', pp 54-59, Volume 1, Issue 1, 1993/03/01
- [5] E. Berumen J. Tonche, J. Carmona, I. Leal “Clasificación cuantitativa de la maniobra de Pivot-Shift”, *Acta Ortopédica Mexicana*, en prensa.