

# **APLICACIÓN DE HIDROTERAPIA EN PLASTIA DE LIGAMENTO CRUZADO ANTEROEXTERNO**

**Licenciada en Fisioterapia María Noel Souteras**

**Montevideo, Uruguay**

**Septiembre de 2009**

**Trabajo realizado para la Escuela Universitaria de Tecnología Médica de la Universidad de la  
República del Uruguay, finalizado el año 2006**

## INDICE

INDICE .....	2
INTRODUCCION.....	4
OBJETIVOS .....	5
Objetivos generales .....	5
Objetivos específicos.....	5
MARCO TEORICO.....	6
Anatomía y fisiología de rodilla.....	6
Función mecánica del LCAE en el movimiento de flexión – extensión .....	7
Superficies de la flexión - extensión .....	7
Movimiento de los cóndilos sobre las glenoides en la flexión - extensión.....	7
Anatomía del LCAE.....	8
Función mecánica del LCAE en el movimiento de flexión – extensión .....	8
Influencia de la rotura de LCAE sobre la flexión.....	9
Anatomía de las estructuras involucradas en el mecanismo lesional del LCAE .....	9
Mecanismo lesional.....	10
Propiocepción de la rodilla.....	10
Mecanorreceptores .....	10
Concepto de propiocepción .....	11
Propiocepción de la rodilla .....	11
Propiocepción en la lesión de LCAE.....	12
Plastia de LCAE.....	12
Efecto de la plastia y la rehabilitación sobre la propiocepción de la rodilla.....	12
Hidroterapia .....	13
Concepto .....	13
Clasificación de las técnicas de hidroterapia.....	13
Hidrostática .....	13
Hidrodinámica .....	14
Dinámica de los movimientos en la hidroterapia .....	14
Efectos fisiológicos de la inmersión .....	14
Contraindicaciones de la hidroterapia.....	15
MATERIALES Y METODOS .....	16
Característica de la muestra.....	16
Criterio de inclusión y exclusión de la muestra .....	16
Recursos Humanos .....	16
Recursos Materiales .....	16
Criterios de evaluación .....	16
Evaluación de los rangos articulares de la rodilla.....	16
Evaluación de la propiocepción .....	16
Metodología y procedimientos terapéuticos empleados .....	17
Entrada en calor .....	17
Ejercitación específica .....	18
Vuelta a la calma.....	19
Fundamento teórico de los ejercicios seleccionados .....	19
Analogía con ejercicios en gimnasio.....	19
Técnicas para aumentar movilidad articular .....	20
Entrenamiento propioceptivo .....	20
Fortalecimiento y tonificación de la musculatura periarticular .....	21
ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	22
Variación de rango articular de la flexión .....	22

Análisis de la variación del rango articular de la flexión .....	23
Variación de rango articular de la extensión .....	23
Análisis de la variación de los rangos articulares de la extensión.....	24
“Test de Romberg” modificado .....	25
Análisis del “Test de Romberg” modificado .....	25
Test propioceptivo “dinámico”.....	26
Test propioceptivo “dinámico” .....	26
Análisis de la propiocepción “dinámica” .....	26
CONCLUSIONES.....	27
ANEXO .....	28
Test propioceptivo “dinámico” en personas sin patología de rodilla.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29

## INTRODUCCION

La mayoría de los pacientes con lesiones de ligamento cruzado anteroexterno (LCAE) sometidos a plastia del ligamento inician la rehabilitación en gimnasio. En el presente trabajo se exponen los resultados del tratamiento en agua como etapa previa al gimnasio.

La justificación del estudio radica en las ventajas que el medio acuático presenta respecto al medio terrestre:

- situación de ingravidez que provoca una reducción del peso corporal del paciente dentro del agua; este hecho permite trabajar con menor presión y estrés articular y con menor exceso de peso en los músculos y ligamentos de la rodilla
- efecto relajante que provoca la actividad realizada en el agua
- permite contar con material auxiliar que favorece la realización de ciertos ejercicios
- la disminución del peligro de lesión a nivel de articulaciones en el agua permite la ejecución de una amplia gama de ejercicios.
- la resistencia que ofrece el agua al movimiento permite el trabajo de toda la musculatura del cuerpo
- tras el período de intervención quirúrgica y de indicaciones de movilización precoz de la extremidad por parte del médico tratante, permite una rehabilitación física más rápida en el tiempo con el mínimo peligro de recidivas en la patología
- A nivel psicológico, la facilidad de trabajo que permite el agua se traduce en una mayor focalización hacia el ejercicio, que contribuye a la mejoría del paciente.

Se estudia el efecto del tratamiento de hidroterapia sobre una muestra de 10 pacientes. En particular, se analiza la recuperación del rango de movimiento osteokinemático de la rodilla y la recuperación de la propiocepción. Se constata la efectividad del tratamiento de hidroterapia en estos aspectos sobre todos los casos estudiados.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos generales**

Valorar el aporte de la aplicación de hidroterapia como etapa previa a la rehabilitación en gimnasio en pacientes con plastia de LCAE.

### **Objetivos específicos**

Específicamente, se estudia el efecto de la hidroterapia en el rango de movimiento osteokinemático y en el entrenamiento sensorio-motor (propiocepción) en pacientes con plastia de LCAE. Se consideran pacientes con período postoperatorio superior al mes, tiempo suficiente para la cicatrización de la herida de la cirugía.

## MARCO TEORICO

### Anatomía y fisiología de rodilla

La articulación de la rodilla une el muslo a la pierna, poniendo en contacto tres huesos: fémur, tibia y rótula. Si bien esta articulación se puede considerar formada por dos articulaciones yuxtapuestas, la articulación femorotibial y la femorrotuliana, desde el punto de vista fisiológico existe una sola articulación con un solo grado de libertad de movimiento: la flexión - extensión, que se realiza en el plano sagital alrededor de un eje frontal. De manera accesoria, la articulación de la rodilla posee un segundo grado de libertad de movimiento: la rotación sobre el eje longitudinal de la pierna, que sólo aparece cuando la rodilla está flexionada.

Considerada desde el punto de vista mecánico, la articulación de la rodilla concilia dos funciones contradictorias:

- estabilidad estática en extensión completa, para soportar presiones importantes debidas al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca;
- movilidad necesaria en la carrera para la orientación óptima del pie en relación con las irregularidades del terreno.([9])

Desde el punto de vista fisiológico la articulación se divide en 5 compartimentos: compartimento interno, compartimento externo, compartimento anterior, compartimento posterior y pivot central. ([14])

El compartimento interno se compone del cóndilo interno, la glenoide interna, el menisco interno, el ligamento lateral interno (LLI), la cápsula del lado interno y los músculos de la pata de ganso (sartorio, recto interno y semitendinoso).

El compartimento externo se compone del cóndilo externo, la glenoide externa, el menisco externo, el ligamento lateral externo (LLE), la cápsula del lado externo, el bíceps y el tensor de la fascia lata.

El compartimento anterior se compone de la rótula, el tendón cuadricipital, el tendón rotuliano, las expansiones directas y cruzadas de los vastos y la expansión de la fascia lata .

El compartimento posterior se compone de las cáscaras condíleas, el ligamento poplíteo oblicuo y arqueado, los gemelos interno y externo, el plantar delgado y los tendones de los músculos isquiotibiales (bíceps, semitendinoso y semimembranoso).

El pivot central se compone de la escotadura intercondílea, la espina, el LCAE y el ligamento cruzado posterointerno (LCPI) ([14]) .

En el presente estudio interesa la función mecánica que cumple el LCAE en el movimiento de flexión - extensión y los mecanismos lesionales del LCAE.

La función mecánica que cumple el LCAE en el movimiento de flexión - extensión involucra principalmente las componentes que siguen: el cóndilo interno, la glenoide interna, el cóndilo externo, la glenoide externa.

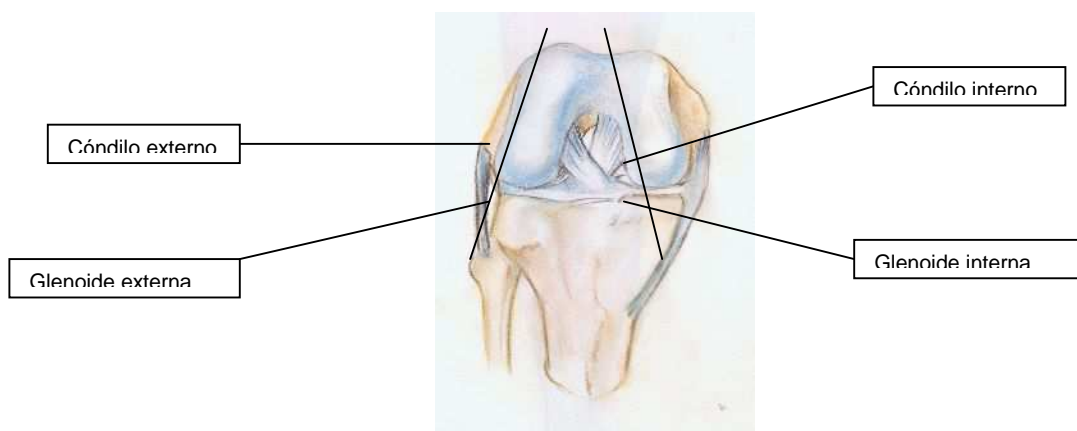
Los mecanismos lesionales del LCAE involucran principalmente las componentes que siguen: menisco interno, menisco externo, LLI, LLE y LCPI ([10]).

### **Función mecánica del LCAE en el movimiento de flexión – extensión**

#### Superficies de la flexión - extensión

Desde el punto de vista cinemático el movimiento de flexión – extensión se produce como resultado del movimiento de las superficies condíleas del fémur respecto de las superficies glenoideas de la tibia.

El cóndilo interno, el cóndilo externo, la glenoide interna y la glenoide externa se distribuyen según la figura:



Vistos por su cara inferior, los cóndilos forman dos prominencias convexas en los dos sentidos transversal y sagital. En el plano sagital, el radio de curvatura de las superficies condíleas no es uniforme.

La glenoide interna es cóncava en los dos sentidos transversal y sagital. La glenoide externa es cóncava en sentido transversal y convexa en sentido sagital. Por tanto, la posición del cóndilo interno sobre su glena es estable mientras la posición del cóndilo externo sobre su glena es inestable.

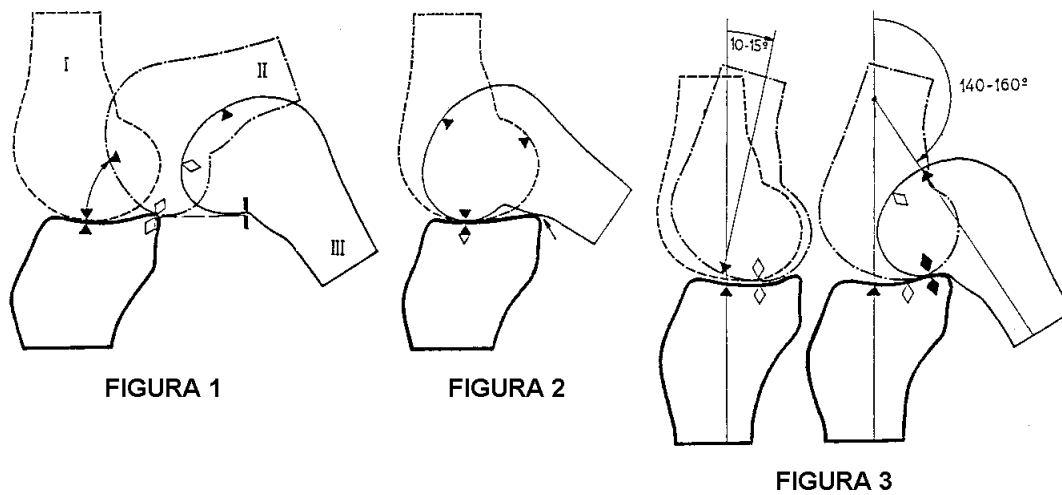
El radio de curvatura de cada cóndilo difiere del radio de curvatura de la glenoide correspondiente; por tanto, hay discordancia de las superficies articulares.

#### Movimiento de los cóndilos sobre las glenoides en la flexión - extensión

El movimiento de flexión - extensión es el resultado de la combinación de un rodamiento y un deslizamiento en un plano sagital de los cóndilos respecto de sus respectivas glenoides. El deslizamiento y la rotación tienen lugar en sentido opuesto, de manera que cuando los cóndilos ruedan de adelante hacia atrás, se deslizan simultáneamente de atrás hacia delante ([9]).

La proporción entre rodadura y deslizamiento no es la misma a lo largo de todo el movimiento de flexión - extensión. Partiendo de la extensión extrema, el cóndilo empieza por rodar sin deslizarse; más tarde el deslizamiento se hace cada vez más predominante sobre la rodadura, de tal manera que, al final de la flexión, el cóndilo resbala sin rodar.

La flexión máxima se alcanza combinando la rodadura y deslizamiento (figura 3). En efecto, en un extremo, un movimiento de rodadura sin deslizamiento inclinaría al cóndilo detrás de la glenoide a partir de cierto grado de flexión provocando luxación anterior de la tibia respecto al fémur (posición II en la figura 1) mientras, en el otro extremo un movimiento de rodadura sobre un punto fijo de la glenoide resultaría en una flexión con limitación prematura por el obstáculo del reborde posterior de la glenoide (figura 2).



### Anatomía del LCAE

La inserción tibial del LCAE tiene lugar en la superficie preespinal a lo largo de la glenoide interna, entre la inserción del cuerno anterior del menisco interno por delante y la inserción del menisco externo por detrás.

El trayecto del LCAE es oblicuo hacia arriba, hacia atrás y hacia fuera. La inserción femoral tiene lugar en la cara axial del cóndilo externo.

No todas las fibras del LCAE tienen la misma longitud ni la misma orientación; por tanto, en el curso de los movimientos no se tensan todas de manera simultánea.

El LCAE. está tenso en la extensión; sin embargo tiene una tensión media permanente a lo largo de todo el movimiento de flexión – extensión, lo que evita el desplazamiento anterior de la tibia (cajón anterior).

En la rodilla existen otras estructuras que actúan de forma agonista al LCAE en la función de preservar el cruzado anterior y limitar el desplazamiento anterior de la tibia: es el caso de la musculatura isquiotibial.

### Función mecánica del LCAE en el movimiento de flexión – extensión

Según se muestra a continuación, el LCAE solicita a los cóndilos provocando el deslizamiento sobre las glenoides en sentido inverso de la rodadura.

Si el cóndilo rodase sin deslizar a partir de la posición de extensión (posición I en la figura 4), debería retroceder hasta la posición II y la inserción femoral b del LCAE debería ubicarse en b', describiendo el trayecto bb'. Suponiendo al ligamento inextensible, el punto b está restringido a una circunferencia de centro a y de radio ab, por lo que el trayecto real de b no es bb', sino bb". Por tanto, en la flexión el LCAE determina una posición real III del cóndilo más anterior que la posición



II en la medida en “e”, resultando en un deslizamiento del cóndilo hacia delante asociado a la rodadura hacia atrás ([9]). Esto demuestra la afirmación en el primer párrafo de la sección.

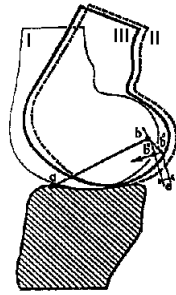


FIGURA 4

#### Influencia de la rotura de LCAE sobre la flexión

En la sección anterior se demuestra que el LCAE sollicita a los cóndilos provocando el deslizamiento sobre las glenoides en sentido inverso de la rodadura. Por otro lado, en la sección “Movimiento de los cóndilos sobre las glenoides en la flexión - extensión”, se muestra que la flexión por rodadura sin deslizamiento implica luxación anterior de la tibia respecto al fémur a partir de cierto ángulo de flexión. Por tanto, la rotura del LCAE resulta en una flexión anómala con luxación anterior de la tibia respecto al fémur a partir de cierto ángulo de flexión a partir de la disminución del deslizamiento de los cóndilos sobre las glenoides. ([9])

#### Anatomía de las estructuras involucradas en el mecanismo lesional del LCAE

El mecanismo lesional del LCAE involucra las siguientes estructuras: menisco interno, menisco externo, LLI, LLE y LCPI.

Los meniscos son estructuras asimétricas que se adhieren a los extremos de los cóndilos femorales y platillos tibiales. El menisco externo tiene forma de anillo casi completo, interrumpido únicamente por dentro por la espina tibial externa. El menisco interno tiene forma de C abierta. La función de los meniscos es establecer concordancia entre las superficies articulares.

El ligamento lateral interno se extiende desde la cara cutánea del cóndilo interno hasta el extremo superior de la tibia por detrás de la inserción de los músculos de la pata de ganso. Su dirección es oblicua hacia abajo y hacia delante. Sus fibras posteriores y más profundas se fijan en el borde interno del menisco interno.

El LLE se extiende desde la cara cutánea del cóndilo externo hasta la cabeza del peroné, en el interior de la zona de inserción del bíceps. Su dirección es oblicuo hacia abajo y hacia atrás, cruzándose en el espacio con el LLI. Al contrario que el LLI, el LLE esta separado de su menisco por el tendón del músculo poplíteo.

Los ligamentos laterales refuerzan la cápsula articular por sus lados interno y externo. Aseguran la estabilidad lateral de la rodilla en extensión.

El ligamento cruzado posterointerno se extiende desde la superficie retroespinal en la tibia hasta el fondo de la escotadura intercondílea desbordando la cara axial del cóndilo interno. Su trayecto es oblicuo hacia delante, hacia dentro y hacia arriba. Asegura la estabilidad anteroposterior de la rodilla junto con el LCAE.

### Mecanismo lesional

Los mecanismos de lesión más comunes son: valgo forzado de la rodilla, varo forzado de la rodilla, hiperextensión o hiperflexión de la rodilla y torsión de la rodilla.

La lesión por valgo forzado se produce por impacto contra la cara externa de la rodilla o por impacto contra la cara interna del pie. Se produce desgarro de LLI. Debido a la relación íntima que existe entre el menisco interno el LLI, existe alta probabilidad de lesión del menisco interno. Debido a la relación íntima que existe entre el menisco interno y el LCAE, un impacto suficientemente violento produce además el desgarro del LCAE.

La lesión por varo forzado se produce por impacto contra la cara interna de la articulación de la rodilla. Se produce desgarro del LLE. La probabilidad de lesión meniscal es menor respecto del caso de valgo forzado, ya que el LLE no está insertado en el menisco adyacente. Un impacto suficientemente violento produce también el desgarro del LCAE.

La lesión por hiperextensión de la rodilla se produce por impacto sobre la parte anterior de la articulación de la rodilla. Se producen lesiones aisladas que implican únicamente al LCAE.

La lesión por hiperflexión de la rodilla se produce por una caída sobre la articulación doblada. Se producen lesiones aisladas que implican únicamente al LCAE.

La lesión por torsión de la rodilla se produce por rotación interna forzada de la tibia en relación al fémur, con el pie fijo. Se producen lesiones de los meniscos y del LCAE ([10]).

### **Propiocepción de la rodilla**

#### Mecanorreceptores

La información consciente e inconsciente sobre la posición de cada parte del cuerpo parte de estímulos actuando sobre terminaciones nerviosas específicas denominadas mecanorreceptores.

Los mecanorreceptores se estimulan por deformación mecánica de los mismos o por deformación mecánica de células vecinas. Se sitúan en los tejidos cutáneos, en las estructuras capsuloligamentosas y musculotendinosas, en los vestíbulos, en los senos carotídeos y la aorta, y en la cóclea ([16]).

En particular, en el presente estudio interesan los receptores capsuloligamentosos y musculotendinosos, que informan de la posición y el movimiento de las articulaciones.

Según Freeman y Wyke ([13]) los mecanorreceptores capsuloligamentosas se clasifican según su morfología de acuerdo a la tabla que sigue:

RECEPTOR	LOCALIZACIÓN	MISION	ACTIVACION
<b>R. Tipo I</b>	Cápsula articular	Envían información con la articulación en reposo o en movimiento	Se estimulan cuando la articulación se mueve de forma brusca
Terminaciones de Ruffini			
Terminaciones de Mazzoni			
<b>R. Tipo II</b>	Nivel profundo de la cápsula articular	Envían información al inicio y al final del movimiento	Se estimulan cuando la velocidad del movimiento articular es elevada
Corpúsculo de Paccini			
Corpúsculo de Meissner			
<b>R. Tipo III</b>	En ligamentos periarticulares	Envían información durante el movimiento	Se estimulan a lo largo de todo el movimiento articular
Terminaciones de Golgi			
<b>R. Tipo IV</b>	En toda la estructura capsuloligamentosa	Envía información nociceptiva	Se estimulan ante la presencia de un daño en la estructura
Terminaciones nerviosas libres			

Existen dos tipos de mecanorreceptores musculotendinosos: los husos neuromusculares y los órganos tendinosos de Golgi.

Los husos neuromusculares son receptores localizados en el vientre muscular, dispuestos paralelos a las fibras musculares. Son sensibles a estímulos de estiramiento del músculo.

Los órganos tendinosos de Golgi son receptores localizados en el tendón o en la unión miotendinosa. Son sensibles a cambios de tensión tendinosa transmitida por el vientre muscular.

#### Concepto de propiocepción

Se define “propiocepción” como el conjunto de estímulos sensitivos generados por los mecanorreceptores. Por tanto, la propiocepción proporciona la información consciente e inconsciente sobre la posición de cada parte del cuerpo.

En un marco más general, la propiocepción forma parte del sistema sensitivo – motor, donde las señales propioceptivas se transmiten por las vías sensoriales aferentes (a través de la médula espinal, el tronco cerebral y la corteza cerebral), y las respuestas motoras por las vías eferentes.

El sistema sensitivo - motor se basa en dos sistemas de control, que interpretan la información aferente y coordinan una respuesta por vía eferente: el sistema de anticipación y el sistema de retroalimentación. El sistema de anticipación planifica programas de movimientos y activa la musculatura en base a experiencias vividas anteriormente. El sistema de retroalimentación modifica continuamente la actividad muscular en base a la información obtenida a través de numerosas vías reflejas.

#### Propiocepción de la rodilla

La propiocepción de la rodilla se basa en mecanorreceptores capsuloligamentosos y mecanorreceptores musculotendinosos.

### Propiocepción en la lesión de LCAE

La lesión del LCAE genera un déficit de propiocepción de la rodilla. Una explicación posible de este déficit radica en la pérdida de aferencias del LCAE y de los mecanorreceptores capsulares([13]).

### **Plastia de LCAE**

El tratamiento quirúrgico de la inestabilidad de rodilla como consecuencia de la rotura de LCAE consiste normalmente en la sustitución del ligamento lesionado mediante una plastia de sustitución.

De acuerdo al origen, las plastias se clasifican en: plastia autóloga o biológicas (proveniente del propio paciente), aloplastia o aloinjerto (proveniente de otra persona, normalmente un donante), plastia heteróloga (proveniente de animales), plastia artificial (de origen sintético). Este estudio se aplica a pacientes con plastia autóloga.

Las plastias autólogas más utilizadas en la actualidad son la plastia del tipo hueso-tendón-hueso (HTH) y la plastia en 4 bandas.

La plastia del tipo HTH se obtiene del tercio central del tendón rotuliano con sus correspondientes fragmentos óseos de polo inferior de rótula y tuberosidad tibial. Los inconvenientes son: la rotura del tendón, el síndrome infrapatelar, la tendinitis del tendón rotuliano y la condropatía de la rótula.

La plastia en 4 bandas se obtiene de dos tendones de los músculos que forman la pata de ganso (tendones del semitendinoso y recto interno). Los inconvenientes son: la lesión del nervio Sartorio, la rotura del tendón, las alteraciones en la función de los músculos de la pata de ganso y la tendinitis de dicho músculo.

Partiendo de un estado inicial avascular, la plastia biológica sigue un proceso de revascularización. Al mes y medio la plastia es rodeada por sinovial, por lo que experimenta nutrición por imbibición. A los dos meses y medio comienza la revascularización propia de la plastia. A los cuatro meses se produce la revascularización completa([3]).

Se ha observado que no existen diferencias en la evolución posquirúrgica entre la de plastia de semitendinoso - recto interno y la de H-T-H. Se sostiene que la estabilidad de la rodilla y la buena evolución clínica, durante la recuperación, no dependen del tipo de plastia utilizada, sino de la rehabilitación ([13]).

### Efecto de la plastia y la rehabilitación sobre la propiocepción de la rodilla

La reconstrucción quirúrgica de la rodilla mediante plastia biológica restaura la función mecánica de la rodilla, aunque se desconoce el proceso de reinervación del injerto ([13]). Hoy día comienzan a desarrollarse estudios clínicos sobre la propiocepción en los pacientes sometidos a reconstrucción del LCAE.

Barrack y Skinner ([13]) determinaron el umbral de detección de la movilidad y observaron una restauración parcial de la propiocepción en el rango intermedio del arco de movilidad (45°). Por otra parte, la reconstrucción con plastia autógena del LCAE combinada con ejercicios en gimnasio ([13]) *parece restaurar la sensación propioceptiva*, mejorando la capacidad para reproducir posiciones articulares. La reparación del LCAE, junto a los programas tradicionales de

rehabilitación, parecen normalizar los déficit propioceptivos, aunque no se igualan los niveles con los miembros sanos.

Estos resultados se explican por la combinación de los factores que restauran la mecánica articular y la tensión capsuloligamentosa, los mecanismos compensatorios de retroalimentación originados en los mecanorreceptores inducidas por los ejercicios de rehabilitación([13]).

## **Hidroterapia**

### Concepto

El término “hidroterapia” deriva de los vocablos griegos *hydor* (agua) y *therapeia* (curación). Por tanto, “hidroterapia” se interpreta como la aplicación tópica del agua con fines terapéuticos.([1])

### Clasificación de las técnicas de hidroterapia

De acuerdo a San Martín y Armijio ([2]), las técnicas de hidroterapia se clasifican en tres grupos: **técnicas sin presión** (incluyen lavados, afusiones, envolturas, compresas y fomentos, y baños), **técnicas con presión** ( duchas y chorros, baños de remolino y masaje subacuático ) y **tratamiento en piscina** (tanques, piscinas y natación).

El presente estudio se basa en **tratamiento en piscina** combinando las fuerzas físicas de la inmersión (flotación, presión hidrostática y factores hidrodinámicos, etc.) con ejercicios terapéuticos. *No se utilizan las propiedades térmicas del agua.*

### Hidrostática

Se define por “presión hidrostática” a la presión que ejerce un líquido sobre un cuerpo sumergido. La presión hidrostática se aplica en dirección perpendicular a la superficie del cuerpo sumergido, y es proporcional a la profundidad y a la densidad del fluido.

El empuje resultante sobre un cuerpo sumergido debido a la presión hidrostática se determina por el principio de Arquímedes. Este principio establece que todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un líquido en reposo experimenta por parte de este líquido una fuerza vertical de abajo hacia arriba igual al peso del volumen de líquido desplazado.

Por tanto, un cuerpo sumergido está sometido a dos fuerzas verticales de direcciones opuestas: la gravedad, aplicada en el centro de gravedad del cuerpo sumergido y el empuje de Arquímedes, aplicado en el centro de empuje de la parte sumergida. Se produce flotación o hundimiento según predomine el empuje o la gravedad, respectivamente. Como en general los puntos de aplicación de las fuerzas no coinciden, un objeto sometido únicamente a estas dos fuerzas no presenta equilibrio de rotación.

Se define el peso aparente de un cuerpo sumergido como la diferencia algebraica entre el peso real y el empuje de Arquímedes que experimenta. La proporción entre el peso aparente y el peso real del cuerpo se relaciona con el nivel de inmersión de acuerdo al esquema de Lecrenier ([1], [2], [11]):

10% del peso del paciente si se está sumergido hasta el cuello

30% si se está sumergido hasta las axilas

60% si se está sumergido hasta la cintura  
80% si se está sumergido hasta los trocánteres  
90% si se está sumergido por encima de las rodillas.

Existen variaciones individuales para un mismo nivel de inmersión, según la morfología o la fase respiratoria ([3]).

Se define por “tensión superficial” al estado de tensión que presenta un volumen líquido en su superficie. En la superficie las moléculas del líquido tienden a contraerse disminuyendo el área de la superficie, generando un estado de tensión que pone resistencia al desplazamiento. Por tanto, resulta más fácil movilizar horizontalmente un miembro totalmente sumergido que moverlo si está parcialmente sumergido.

### Hidrodinámica

El agua opone resistencia al desplazamiento del cuerpo sumergido. En general, la resistencia al desplazamiento es proporcional a la superficie del cuerpo en contacto con el agua.

La expresión matemática que define la resistencia del agua al desplazamiento de un cuerpo depende de la velocidad del cuerpo.

A baja velocidad, el movimiento del objeto respecto del agua es laminar, y la resistencia es proporcional a la velocidad y al coeficiente de “viscosidad”. El coeficiente de viscosidad define las fuerzas de fricción que se generan entre las moléculas de un fluido en movimiento; su valor depende del fluido y de la temperatura. El agua posee una escasa viscosidad, que disminuye cuando incrementa la temperatura.

A partir de un umbral de velocidad, que depende de la viscosidad del agua, se generan fenómenos de turbulencia. La resistencia al desplazamiento debida a las turbulencias es proporcional al cuadrado de la velocidad.

### Dinámica de los movimientos en la hidroterapia

Un cuerpo que se mueva a velocidad suficientemente lenta de modo que no se generen turbulencias, experimenta la acción de la fuerza del empuje de Arquímedes y de una resistencia al desplazamiento. Como la resistencia al desplazamiento es despreciable respecto del empuje de Arquímedes, se deduce que a baja velocidad se favorecen los movimientos en sentido ascendente mientras que se resisten los movimientos en sentido descendente.

Un cuerpo que se mueva a velocidad suficientemente rápida de modo que se generen turbulencias, experimenta la acción de la fuerza de resistencia al desplazamiento debida a las turbulencias. Por tanto, se deduce que a alta velocidad se resisten tanto los movimientos en sentido ascendente como los movimientos en sentido descendente.

### Efectos fisiológicos de la inmersión

La inmersión del paciente en el agua tiene efectos sobre los sistemas cardiovascular, renal, respiratorio, musculoesquelético, nervioso periférico y central y sobre el metabolismo óseo. En este estudio interesa el efecto sobre el sistema musculoesquelético y sobre el sistema nervioso periférico y central.

La inmersión en agua a 35°C (la utilizada en este estudio) provoca dos efectos sobre el sistema musculoesquelético: relajación muscular y antiespasmódica, y disminución de las tensiones articulares. La relajación muscular y antiespasmódica es consecuencia de un aumento del flujo sanguíneo periférico y consiguiente aumento de la evacuación de los productos metabólicos. La disminución de las tensiones articulares es consecuencia del menor valor del peso aparente respecto del peso real. Los dos efectos en conjunto permiten obtener mejor amplitud de rangos articulares dentro del agua respecto de la que se obtiene fuera del agua.

La inmersión en agua provoca estímulos sensoriales sobre el sistema nervioso periférico y central. Los estímulos sensoriales son consecuencia de la presión hidrostática y de las fuerzas de resistencia al desplazamiento, y permiten una mejor percepción de la posición de los miembros. Esto aumenta las sensaciones propioceptivas y exteroceptivas, y permite una mejor apreciación del esquema corporal ([8]).

#### Contraindicaciones de la hidroterapia

En general, está contraindicado la aplicación de hidroterapia en heridas abiertas, procesos infecciosos o inflamatorios agudos (respiratorios y otorrinolaringológicos, oculares, parasitosis intestinal), hipertensión arterial mal controlada o inestable, alteraciones cardíacas o respiratorias graves, insuficiencias orgánicas graves, mal estado general, enfermos terminales, epilepsia mal controlada, diabetes graves, toda enfermedad infectocontagiosa (por ejemplo, Tuberculosis) ([2]).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Característica de la muestra**

Se estudia un conjunto de diez deportistas amateur con plastia de LCAE, de sexo masculino, con edades entre 18 y 40 años.

### **Criterio de inclusión y exclusión de la muestra**

Se incluye sólo pacientes con plastia autóloga y con período postoperatorio superior al mes, tiempo suficiente para la cicatrización de la herida de la cirugía.

Se excluye todo paciente presentando contraindicación a la aplicación de hidroterapia.

### **Recursos Humanos**

Una estudiante de la carrera de fisioterapia.

### **Recursos Materiales**

- Piscina de 25 metros (35°C)
- Flotadores largos (gusanos)
- Flotadores tipo tablas
- Goniómetro
- Camilla de evaluación

### **Criterios de evaluación**

El día previo al tratamiento y el día siguiente a terminado el tratamiento se evalúan los rangos articulares de la rodilla y la propiocepción de rodilla del paciente.

#### Evaluación de los rangos articulares de la rodilla

Los rangos articulares de la rodilla se evalúan con goniómetro, según el sistema propuesto por la A.A.O.S. El eje del goniómetro se sitúa en el cóndilo lateral del fémur. El brazo fijo del goniómetro se orienta paralelo al eje longitudinal del muslo, en una línea que va desde el cóndilo lateral hasta el trocánter mayor. El brazo móvil del goniómetro se orienta paralelo al eje longitudinal del segmento móvil, en una línea que va desde la cabeza del peroné hasta el maléolo externo y que acompaña en su movimiento.

#### Evaluación de la propiocepción

Se utilizan dos métodos de evaluación propioceptiva.



El primer test consiste en el “signo de Romberg modificado”. Para este test no se tienen en cuenta los pacientes que presentan oscilaciones de la línea media del cuerpo respecto de la vertical en apoyo unipodal sobre el miembro afectado con los ojos abiertos ni los pacientes que presentan oscilaciones de la línea media del cuerpo respecto de la vertical en apoyo unipodal sobre el miembro sano con los ojos abiertos. Se pide al paciente que se coloque en apoyo unipodal sobre el miembro sano con los ojos cerrados ([3]). La observación de una oscilación de la línea media del cuerpo respecto de la vertical en el miembro inferior lesionado determina una alteración propioceptiva de tipo “estático”.

El segundo test permite valorar la aparición de una alteración propioceptiva de tipo “dinámico”. El paciente se coloca en decúbito dorsal con la rodilla sana a 60 grados de flexión. Se pide al paciente que cierre los ojos y que lleve la rodilla lesionada a igual actitud angular que la sana. Se mide con goniómetro el rango articular de la rodilla lesionada. Una medida superior a los 65 grados o inferior a los 65 grados indica una alteración propioceptiva de tipo “dinámico” (ver anexo “Test propioceptivo “dinámico” en personas sin patología de rodilla”).

### **Metodología y procedimientos terapéuticos empleados**

Según protocolo elaborado por Lic. Ft. Santiago Ramírez.

El tratamiento en agua se aplica en sesiones de cincuenta y cinco minutos aproximadamente, tres veces por semana durante cuatro semanas. Este régimen está marcado por la disponibilidad de la piscina donde se realiza el tratamiento.

En el transcurso del tratamiento se siguen criterios de progresión.

Cada sesión se divide en tres etapas: entrada en calor, ejercitación específica y vuelta a la calma.

#### Entrada en calor

Duración: 15 minutos ([3])

La entrada en calor consiste en tres ejercicios: 67 metros (aprox.) de marcha hacia delante, 67 metros (aprox.) de marcha hacia atrás y 67 metros (aprox.) de marcha lateral. La marcha hacia delante se realiza según instrucciones precisas: durante la fase de balanceo, se pide al paciente que lleve el talón a la cola, luego rodilla al pecho y por último que extienda la rodilla gradualmente hasta que el talón toque el suelo de la piscina. La marcha hacia atrás y la marcha lateral se realizan de forma libre.

### Ejercitación específica

Duración: 25 - 30 minutos.

La parte principal sigue un criterio de progresión dividido en tres etapas:

1. La primer etapa se compone de cinco ejercicios aplicados según una secuencia determinada, detallada más adelante. Cuatro ejercicios se destinan a ampliar rangos articulares (dos ejercicios de elongación de la cadera posterior de miembros inferiores y dos ejercicios de elongación de la musculatura anterior del muslo) y uno se destina al trabajo propioceptivo. Los ejercicios se detallan más adelante.
2. La segunda etapa inicia una vez que el paciente alcanza más de 100 grados de flexión en amplitud angular. A los ejercicios de la etapa inicial se añaden dos ejercicios para fortalecer la musculatura periarticular de rodilla. Los ejercicios se detallan más adelante.
3. La tercera etapa inicia cuando el paciente no experimenta dificultad en realizar los ejercicios añadidos en la segunda etapa. Se modifican los ejercicios de musculatura periarticular añadidos en la segunda etapa de forma de ofrecer resistencia al movimiento. Los ejercicios se detallan más adelante. De esta forma, mediante el fortalecimiento de la musculatura y el consiguiente aumento de la estabilidad articular, se prepara al paciente para el trabajo en gimnasio.

Los cinco ejercicios que componen la primer etapa se aplican según la secuencia que sigue: primero un ejercicio de elongación de la cadena posterior de MMII, luego un ejercicio de elongación de la musculatura anterior del muslo, luego un ejercicio de propiocepción, luego un segundo ejercicio de elongación de la cadena posterior de MMII, y finalizando un segundo ejercicio de elongación de la musculatura anterior del muslo.

En cada ejercicio de elongación destinado a ampliar rangos articulares se explica al paciente que una ligera tensión en el músculo es normal, mientras que los dolores son un signo de estiramiento excesivo o dañino. La intensidad del estiramiento es dosificada por el propio paciente. El estiramiento se realiza lento para evitar el reflejo de extensión o flexión. De esta forma se consigue que el músculo sea estirado sin tensión refleja no deseada.

Para el primer ejercicio de elongación de la cadena posterior del MMII, el paciente se ubica de espalda a la pared de la piscina y se coloca un flotador largo (gusano) en la cara posterior del tobillo del miembro inferior lesionado. Por el "principio de flotación" se logra la flexión pasiva de la cadera con extensión de la rodilla. Durante este ejercicio se solicita al paciente activar los flexores dorsales del pie y mantener la columna y el miembro inferior de apoyo adosado a la pared de la piscina. La frecuencia de este ejercicio es de tres repeticiones durante 10-20 segundos, para conseguir un estiramiento óptimo ([7], [12]). El ejercicio se realiza con cada miembro.

Para el primer ejercicio de elongación de la musculatura anterior de muslo, el paciente se ubica de frente a la pared de la piscina y se coloca el flotador largo en la cara anterior del tobillo. La frecuencia de este ejercicio es de 3 repeticiones durante 10-20 segundos, para conseguir un estiramiento óptimo ([7], [12]). El ejercicio se realiza con cada miembro

Para trabajar la propiocepción, el paciente se ubica de pie en la piscina. Pisando un flotador tipo tabla con uno de los pies, el paciente sitúa al flotador contra el suelo de la piscina. Manteniendo la tabla solidaria al pie, al ras del suelo de la piscina, el paciente desplaza el pie hacia delante y luego hacia atrás, en tres series de 25 repeticiones cada una ([8]). Luego, el paciente desplaza el pie hacia los costados en tres series de 25 veces cada una ([8]). Los ejercicios se realizan con cada miembro.

Para el segundo ejercicio de elongación de la cadena posterior de MMII, el paciente se ubica de frente a la escalera de la piscina, con el pie del miembro afectado apoyado sobre el primer escalón. Manteniendo la rodilla del miembro afectado extendida, el paciente lleva todo el cuerpo en bloque, traccionando hacia adelante tomado de la escalera hasta alcanzar la máxima extensión de rodilla que tolera. La frecuencia de este ejercicio es de 3 repeticiones durante 10-20 segundos, para conseguir un estiramiento óptimo ([7], [12]). El ejercicio se realiza con cada miembro.

Para el segundo ejercicio de elongación de la musculatura anterior del muslo, el paciente se ubica de frente a la escalera, con el pie del miembro afectado apoyado sobre el primer escalón. Manteniendo la rodilla del miembro afectado flexionada, el paciente lleva todo el cuerpo en bloque, traccionando hacia adelante tomado de la escalera, hasta alcanzar la máxima flexión de rodilla que tolera. La frecuencia de este ejercicio es de 3 repeticiones durante 10-20 segundos, para conseguir un estiramiento óptimo ([7], [12]). El ejercicio se realiza con cada miembro.

Para el primer ejercicio de fortalecimiento de la musculatura periarticular, el paciente se ubica de pie de frente al borde de la piscina. Tomado del borde de la piscina, realiza ejercicios de abducción-aducción de cadera con rodilla extendida.

Para el segundo ejercicios de fortalecimiento de la musculatura periarticular, el paciente se ubica de pie de costado al borde de la piscina. Tomado con una mano al borde de la piscina, realiza ejercicios de flexión de cadera con rodilla extendida. Se hace notar que los ejercicios se plantean para dar como resultado el trabajo isométrico de cuádriceps. La frecuencia de cada uno de los ejercicios es tres series de 15-20 repeticiones ([8], [11]). Los ejercicios se realizan con cada miembro.

Para ofrecer resistencia al movimiento en los ejercicios de la musculatura periarticular, se coloca un flotador que rodea el tercio proximal de la pierna. La frecuencia de cada uno de los ejercicios es de tres series de 15-20 repeticiones ([11]). Los ejercicios se realizan con cada miembro.

#### Vuelta a la calma

Idéntica a la entrada en calor.

### **Fundamento teórico de los ejercicios seleccionados**

#### Analogía con ejercicios en gimnasio

La mayoría de los ejercicios planteados para el trabajo en el agua son análogos a ejercicios utilizados normalmente en gimnasio entre la cuarta y la novena semana poscirugía ([3]). En el análisis que sigue se anotará esta analogía en cada ejercicio que corresponda.

Se hace notar que el apoyo parcial ([3]) recomendado para esta fase en los ejercicios correspondientes en gimnasio no es necesario dentro del agua debido a la ingravidez parcial por el

principio de Arquímedes. En efecto, la inmersión del paciente hasta el cuello o hasta las axilas libera a la rodilla de su carga dando como resultado movimientos con más facilidad y sin dolor ([6]).

#### Técnicas para aumentar movilidad articular

Se elige mejorar la movilidad articular mediante técnicas de estiramiento muscular estático totalmente pasivo. Cada uno de los cuatros ejercicios propuestos a estos efectos tiene correspondiente en el gimnasio.

En el primer ejercicio de elongación de la cadena posterior de miembros inferiores, la función del terapeuta en el gimnasio la realiza en el agua un flotador largo puesto en el extremo distal del miembro del paciente. En gimnasio, el terapeuta estira el músculo hasta alcanzar el grado máximo de extensión (0° a 130°); una vez alcanzado el grado máximo de extensión, el músculo se sigue estirando provocando pequeños cambios de posición.

En el primer ejercicio de elongación de la musculatura anterior muslo, la función de estiramiento del paciente sobre sí mismo en gimnasio se sustituye en agua por un flotador largo colocado en el extremo distal del miembro.

El segundo ejercicio de elongación de la cadena posterior de miembros inferiores es análogo al ejercicio correspondiente en gimnasio ([3], [7]).

El segundo ejercicio de elongación de la musculatura anterior del muslo es análogo al ejercicio correspondiente en gimnasio ([3], [7]).

#### Entrenamiento propioceptivo

El paciente sumergido en la piscina está sometido a la acción simultánea de gran número de factores: presión hidrostática, viscosidad, tensión superficial, etc. Estos factores originan estímulos propioceptivos actuando sobre las terminaciones nerviosas cutáneas a través de fricción y actuando sobre los mecanorreceptores neuromusculares a través de la activación muscular necesaria para vencer la resistencia al movimiento ([4]).

La inmersión origina nuevas condiciones de equilibrio que se aprovechan para estimular el circuito propioceptivo creando situaciones de desequilibrios que el paciente deberá controlar poco a poco. Por ejemplo, el ejercicio de trabajo propioceptivo propuesto permite una facilitación neuromuscular de la rodilla, actuando sobre el equilibrio y reforzando la vigilancia neuromuscular. En efecto, el paciente debe coordinar esfuerzos horizontales y verticales de pie, tobillo y rodilla para equilibrar la resistencia al desplazamiento y el empuje vertical aplicados a la tabla sumergida ([8]).

Por otro lado, según se muestra a continuación los demás ejercicios planteados en el protocolo de trabajo estimulan al sistema propioceptivo en mayor o menor grado.

Los ejercicios de estiramiento producen simultáneamente una respuesta a nivel de los receptores de los husos neuromusculares y un aumento gradual en la descarga de impulsos originados en los receptores tendinosos, proporcionales al estiramiento de la unidad músculotendinosa ([6]).

Los ejercicios de contracción isométrica producen predominantemente una descarga de los receptores tendinosos potenciada por el fuerte estiramiento que sufre el tendón. La respuesta de los receptores del huso neuromuscular está disminuida debido al acortamiento del músculo ([6]).

Los ejercicios de activación dinámica producen una descarga de receptores tendinosos variable de acuerdo al nivel de elongación del tendón y de la carga a la que el músculo está sometido. La respuesta de los receptores del huso neuromuscular está disminuida debido a la contracción dinámica concéntrica del músculo ([6]).

La repetición de cada ejercicio con el miembro sano permite la estabilización del equilibrio y la coordinación a través de contracciones alrededor de la articulación del miembro lesionado. Estas contracciones equilibran la flotabilidad y las turbulencias generadas por el movimiento del miembro sano ([8]).

Para mejorar la coordinación se elige una intensidad de esfuerzo reducida, pero un número de repeticiones elevado (tres series de 25 repeticiones) ([7]).

#### Fortalecimiento y tonificación de la musculatura periarticular

El trabajo de fortalecimiento y tonificación de la musculatura periarticular en agua escapa al objetivo del presente trabajo. Sin embargo, el tratamiento aplicado prevé el fortalecimiento y la tonificación de la musculatura periarticular, preparando al paciente para un eventual trabajo en el gimnasio. En lo que sigue se analiza teóricamente el efecto sobre la musculatura del trabajo en agua.

Mientras en gimnasio únicamente actúa la gravedad, el agua proporciona resistencia en múltiples direcciones. La consecuencia es que en gimnasio el trabajo de dos grupos musculares opuestos requiere de cambio de posición y repetición del ejercicio, mientras que en el agua la resistencia permite trabajar dos grupos musculares opuestos en cada repetición con igual resistencia. Por ejemplo, en el ejercicio de abducción de cadera se ejercita asimismo la aducción de cadera al retorno a la posición inicial; esto no ocurre así en el gimnasio ([11]).

El nivel de resistencia es determinado por la fuerza, por la velocidad de acción o por materiales de resistencia orientados a la flotación ([11]).

El número de repeticiones planteado sigue el objetivo de incrementar la resistencia muscular. Una vez incrementada la resistencia muscular, se añaden materiales de resistencia para dar más énfasis a la fuerza ([11]).

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### Variación de rango articular de la flexión

La variación de rango articular de la flexión entre el inicio y el final del tratamiento de cada paciente se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1. Variación de rango articular de la flexión.**

Paciente	Antes del tratamiento (°)	Después del tratamiento (°)	Rangos recuperados (°)
1	84	100	16
2	100	130	30
3	110	130	20
4	106	127	21
5	95	126	31
6	70	105	35
7	90	130	40
8	100	130	30
9	95	130	35
10	111	130	19

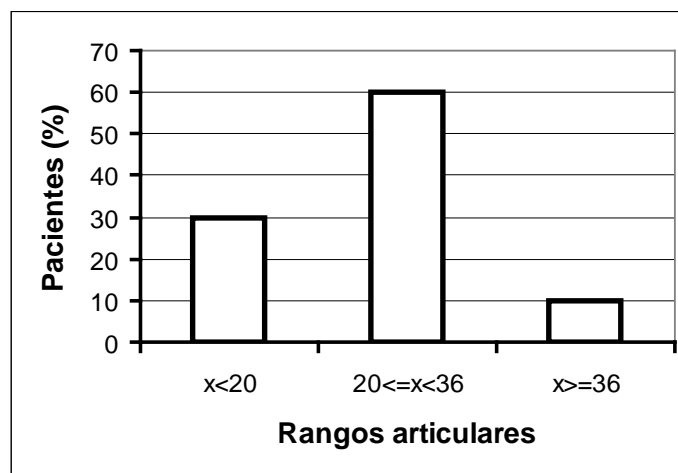
A partir de la tabla anterior se determina que el promedio de recuperación del rango articular en la flexión es  $\langle x \rangle = 28^\circ$  y la desviación estándar es  $\sigma = 8^\circ$ .

Definiendo los tres intervalos  $(x < \langle x \rangle - \sigma)$ ,  $(\langle x \rangle - \sigma \leq x < \langle x \rangle + \sigma)$  y  $(x \geq \langle x \rangle + \sigma)$ , se obtiene el histograma definido a partir de las primeras dos columnas de la Tabla 2. La tercer columna de la tabla muestra el número de pacientes esperado para una distribución gaussiana de valor medio  $28^\circ$  y desviación estándar  $8^\circ$  para cada uno de los intervalos de la primer columna.

**Tabla 2. Histograma de variación de rango articular de la flexión. Comparación con una gaussiana  $G(28^\circ, 8^\circ)$ .**

Rangos recuperados(°)	Pacientes observados	Pacientes esperados $G(28^\circ, 8^\circ)$
$x < 20$	3	1.5865
$20 \leq x < 36$	6	6.827
$x \geq 36$	1	1.5865
Total de pacientes	10	10

**Gráfico 1. Histograma de variación de rango articular de la flexión.**



Análisis de la variación del rango articular de la flexión

El 20% de los pacientes tratados presenta recuperación menor a 20°, el 60% presenta recuperación entre 20°y 36°, y el 10% restante presenta recuperación mayor a 36°.

El 60% recupera la amplitud de flexión angular a rangos normales, mientras que el restante 40% no alcanza rangos normales.

Debido al número extremadamente pequeño de muestras, el promedio y la desviación estándar presentan incertidumbre considerable ([15]). En efecto, la incertidumbre del promedio es

$$\sigma_{\langle x \rangle} \approx \sigma / \sqrt{n} = 8 / \sqrt{10} = 3^\circ$$

$$\sigma_\sigma \approx \sqrt{[(2n-1) * \sigma^4 / n^2]} = \sqrt{(19 * 8^4 / 10^2)} = 28^\circ$$

Suponiendo que la variación del rango articular de la flexión responde a una distribución Gaussiana, se desprenden las siguientes proyecciones:

- El 70% de los pacientes presentan recuperación de rango de flexión articular  $20^\circ \leq x \leq 36^\circ$  (intervalo entre límites  $\langle x \rangle \pm \sigma$ ).
- El 95% de los pacientes presentan recuperación de rango de flexión articular  $12^\circ \leq x \leq 40^\circ$  (intervalo entre límites  $\langle x \rangle \pm 2\sigma$ ).

El número de muestras es mucho más pequeño que el número de muestras mínimo (10 muestras por intervalo ([15])) recomendado para la verificación de ajuste a una distribución dada.

**Variación de rango articular de la extensión**

La variación de rango articular de la extensión entre el inicio y el final del tratamiento de cada paciente se muestra en la Tabla 3:

**Tabla 3. Variación de rango articular de la extensión.**

Paciente	Antes del tratamiento (°)	Después del tratamiento(°)	Rangos recuperados (°)
1	10	2	8
2	10	2	8
3	5	2	3
4	10	0	10
5	7	0	7
6	10	0	10
7	7	0	7
8	8	0	8
9	7	0	7
10	10	0	10

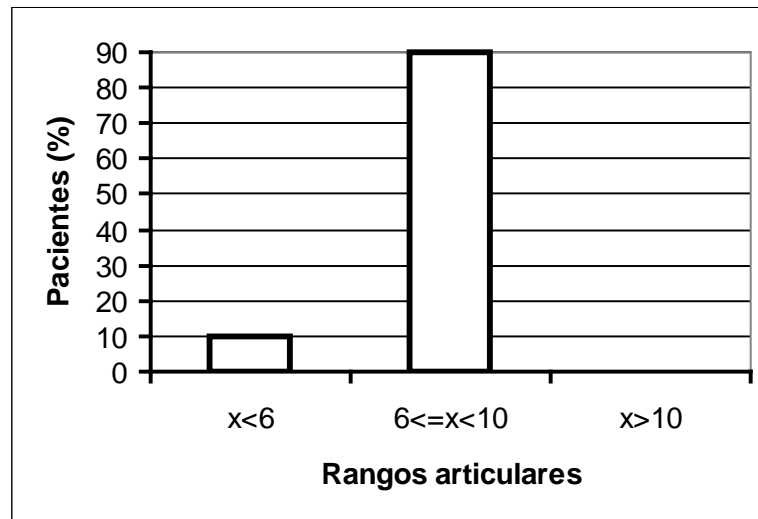
A partir de la tabla anterior se determina que el promedio de recuperación del rango articular en la extensión es  $\langle x \rangle = 8^\circ$  y la desviación estándar es  $\sigma = 2^\circ$ .

Definiendo los tres intervalos  $(x < \langle x \rangle - \sigma)$ ,  $(\langle x \rangle - \sigma \leq x < \langle x \rangle + \sigma)$  y  $(x \geq \langle x \rangle + \sigma)$ , se obtiene el histograma definido a partir de las primeras dos columnas de la Tabla 3. La tercer columna de la tabla muestra el número de pacientes esperado para una distribución gaussiana de valor medio  $8^\circ$  y desviación estándar  $2^\circ$  para cada uno de los intervalos de la primer columna.

**Tabla 4. Histograma de variación de rango articular de la extensión. Comparación con una gaussiana G(8°,2°).**

Rangos recuperados(°)	Pacientes observados	Pacientes esperados
x<6	1	1.5865
6<=x<10	9	6.827
x>10	0	1.5865
Total de pacientes	10	10

**Gráfico 2. Histograma de variación de rango articular de la extensión.**



Análisis de la variación de los rangos articulares de la extensión

El 10% de los pacientes tratados presenta recuperación menor a 6° y el 90% presenta recuperación entre 6°y 10°.

El 70% recupera la amplitud de extensión angular a rangos normales, mientras que el restante 30% no alcanza rangos normales.

Debido al número extremadamente pequeño de muestras, el promedio y la desviación estándar presentan incertidumbre considerable ([15]). En efecto, la incertidumbre del promedio es:

$$\sigma_{\langle x \rangle} \approx \sigma / \sqrt{n} = 2 / \sqrt{10} = 1^\circ$$

$$\sigma_\sigma \approx \sqrt{[(2n-1) * \sigma^4 / n^2]} = \sqrt{(19 * 2^4 / 10^2)} = 2^\circ$$

Suponiendo la recuperación del rango articular responde a una distribución Gaussiana, se desprenden las siguientes proyecciones:

- El 70% de los pacientes presentan recuperación de rango de extensión articular 6°<=x<=10° (intervalo entre límites <x> ± σ).
- El 95% de los pacientes presentan recuperación de rango de extensión articular 4°<=x<=12° (intervalo entre límites <x> ± 2σ).

El número de muestras es mucho más pequeño que el número de muestras mínimo (10 muestras por intervalo ([15])) recomendado para la verificación de ajuste a una distribución dada.



### “Test de Romberg” modificado

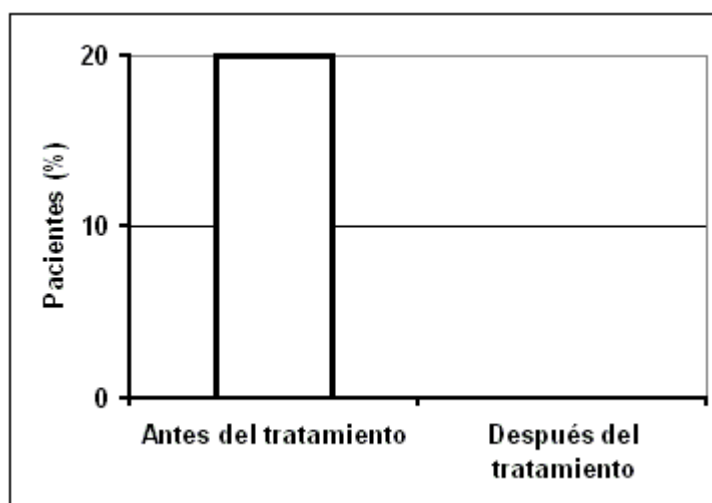
La variación del “Test de Romberg” modificado entre el inicio y el final del tratamiento de cada paciente, se muestra en la Tabla 5:

**Tabla 5 .”Test de Romberg” modificado**

Paciente	Descartado	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
1	No	Si	No
2	Si	—	—
3	Si	—	—
4	Si	—	—
5	No	Si	No
6	Si	—	—
7	Si	—	—
8	Si	—	—
9	Si	—	—
10	No	No	No

De la Tabla 5 se obtiene el histograma en el Gráfico 3. Se subraya que, dado el alto número de pacientes descartados, este histograma se basa únicamente en 2 pacientes.

**Gráfico 3: Alteración propioceptiva estática.**



#### Análisis del “Test de Romberg” modificado

Los resultados indican que el 70% de los pacientes se descartan de acuerdo a los criterios establecidos en la sección “Criterios de evaluación”. El 10% de los pacientes no presenta oscilación de la línea media del cuerpo respecto a la vertical previo al tratamiento, mientras el 20% restante presenta oscilación de la línea media del cuerpo respecto a la vertical previo al tratamiento.

El 100% de los pacientes que presenta oscilación de la línea media del cuerpo respecto a la vertical previo al tratamiento no presenta oscilación al final.

### Test propioceptivo “dinámico”

No se considera que existe una alteración propioceptiva “dinámica” si la medida se encuentra en el rango 55° a 65°. Una medida X superior a 65° se considera una alteración propioceptiva “dinámica” de X-65°. Una medida X inferior a los 55° se considera una alteración propioceptiva “dinámica” de X-55°.

### Test propioceptivo “dinámico”

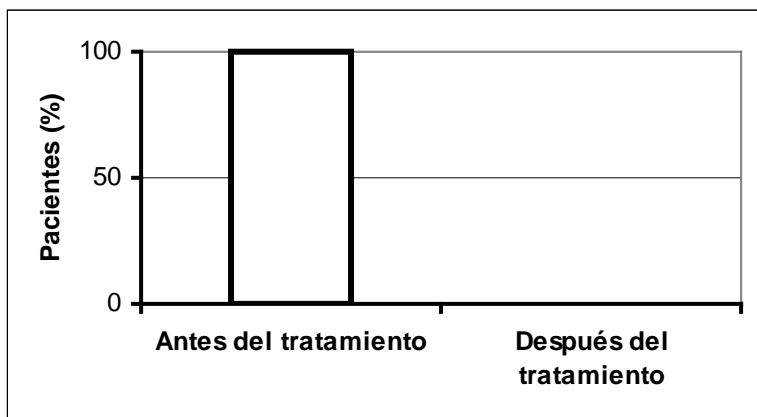
La variación de la alteración propioceptiva “dinámica” entre el inicio y el final del tratamiento de cada paciente se muestra en Tabla 6:

**Tabla 6. Test propioceptivo “dinámico”**

Paciente	Antes del tratamiento(°)	Después del tratamiento(°)	Error antes del tratamiento (x-65°), (x-55°)	Error después del tratamiento(x-65°), (x-55°)
1	71	61	6	0
2	69	65	4	0
3	80	60	15	0
4	49	60	-6	0
5	54	60	-1	0
6	50	63	-5	0
7	54	65	-1	0
8	70	62	5	0
9	70	60	5	0
10	71	62	6	0

De la Tabla 6 se obtiene el histograma en el Gráfico 4.

**Gráfico 4. Alteración propioceptiva dinámica.**



### Análisis de la propiocepción “dinámica”

Los resultados indican que el 100% de los pacientes presenta alteración de la propiocepción “dinámica” antes del tratamiento.

El 100% de los pacientes que presentan alteración de la propiocepción “dinámica” al inicio recupera la propiocepción al final.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones que siguen refieren a la muestra evaluada de 10 pacientes.

El 100% de los pacientes presenta resultados positivos en la recuperación de rango de movimiento osteokinemático, tanto en la flexión como en la extensión. El promedio de recuperación en la flexión para la muestra estudiada es 28° y el promedio de recuperación de la extensión es 8°.

Se obtiene un 100% de mejoría en aquellos pacientes que presentan alteración de la propiocepción "estática" y "dinámica".

El tamaño extremadamente pequeño de la muestra no permite hacer proyecciones con incertidumbres tolerables.

En cuanto al objetivo general del trabajo, se constata la eficacia de la hidroterapia como etapa previa a la rehabilitación en el gimnasio sobre la muestra de pacientes estudiada.

## ANEXO

### Test propioceptivo “dinámico” en personas sin patología de rodilla

Para determinar la distribución de la medida propioceptiva “dinámica” en personas sin patología de rodilla, se llevan a cabo medidas sobre 3 personas sin patología de rodilla. Cada persona se coloca en decúbito dorsal con la rodilla izquierda a 60 grados de flexión. Se pide a la persona que cierre los ojos y que lleve la rodilla derecha a igual actitud angular que la rodilla izquierda. Se mide con goniómetro el rango articular de la rodilla derecha y se calcula la diferencia con 60°. Se repite la medida 10 veces para cada persona.

Se determina que el promedio de las medidas propioceptivas “dinámicas” es  $\langle x \rangle = 0.2^\circ$  y la desviación estándar es  $\sigma = 2.4^\circ$ .

Definiendo los tres intervalos ( $x < -\sigma$ ), ( $-\sigma \leq x < \sigma$ ) y ( $x \geq \sigma$ ), se obtiene el histograma definido a partir de las primeras dos columnas de la Tabla 7. La tercer columna de la tabla muestra el número de pacientes esperado para una distribución gaussiana de valor medio  $0^\circ$  y desviación estándar  $2.4^\circ$  para cada uno de los intervalos de la primera columna.

**Tabla 7. Histograma de medida propioceptiva “dinámica” en personas sin patología de rodilla. Comparación con una gaussiana  $G(0^\circ, 2.4^\circ)$ .**

Rangos	Pacientes observados	Pacientes esperados
-2.37	5	4.5
2.37	22	21
y mayor...	3	4.5

El número de muestras es más pequeño que el número de muestras mínimo (10 muestras por intervalo ([15])) recomendado para la verificación de ajuste a una distribución dada. Sin embargo, si se supone que las muestras se distribuyen según una población gaussiana de valor medio  $0^\circ$  y desviación estándar  $2.4^\circ$ , se encuentra que el 95% de las medidas propioceptivas “dinámicas” en personas sin patología de rodilla se concentran en el intervalo ( $-1.96 \sigma \leq x < 1.96 \sigma$ ), esto es, ( $-4.7^\circ \leq x < 4.7^\circ$ ). De acuerdo a estos resultados, de forma conservadora se considera una incertidumbre de  $5^\circ$  en la medida de la propiocepción “dinámica” en personas sin patología.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cristina Aramburu de Vega, Emilio Muñoz Díaz, Celedonia Igual Camacho, "Electroterapia, termoterapia e hidroterapia", Editorial Síntesis S.A., 1998.
- [2] M.Martínez Morillo, J.M. Pastor Vega, F. Sendra Portero, "Manual de Medicina Física", Editorial Harcourt Brace de España S.A., 1998.
- [3] A. Basas García, C.Fernandez de las Peñas, J.A. Martín Urriarde, "Tratamiento fisioterapico de la rodilla", Editorial McGraw – Hill Interamericana.
- [4] Josefina San Martin Bacaiocoa. Catedra de Hidrología Médica, Universidad de Complutense de Madrid, "Técnicas Actuales de Tratamiento Balneario. Balneocinesiterapia".  
[http://www.igme.es/internet/web\\_aguas/igme/publica/pdfart3/tecnicas.pdf](http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/pdfart3/tecnicas.pdf)
- [5] Javier Jiménez Martínez, "Columna Vertebral y medio acuático. Ejercicios preventivos y terapéuticos". Editorial Gymnos, 1998.
- [6] Joan Ramón Barbandy, "Fundamentos de fisiología del ejercicio y del entrenamiento", Editorial Barcanova S.A., 1ª edición, 1998.
- [7] Hans Spring, Jiri DvoraK, Werner Schneider, Thomas Tristschler y Beatvilliger, "Teoría y Practica del ejercicio terapéutico (movilidad, fuerza, resistencia, coordinación)", Editorial Paidotribo, 2000.
- [8] KEMOUN G, DURLANT V, VEZIRIAN T et TELMAN, -hydrokinesithérapie- Encycl. Med. Chir. (Elsevier, Paria – France), "Kinésithérapie-Medecine Physique-Réadaptation", 26-140-A-10, 1998, 24p.
- [9] I.A. Kapangi, "Cuadernos de Fisiología Articular", Cuaderno II, Editorial Masson S.A., 4ª edición, 1987.
- [10] Lars Peterson, Dr. M., FD, "LESIONES DEPORTIVAS –Su prevención y tratamiento", Editorial Jims S.A., 3ª edición, 1986.
- [11] MaryBeth Pappas Gaines, "Actividades Acuáticas, ejercicios de tonificación, cardiovasculares y de rehabilitación", Editorial Paidotribo, 1ª edición.
- [12] Thomas Eisengbach, "Fisioterapia y rehabilitación en el deporte", Editorial Scriba S.A., 1ª edición, 1998.
- [13] Isall y Scott, "Rodilla" Tomo I, Editorial Marban Libros SRL, 2004.
- [14] R.G Danowiski, J.C. Chanussot, "Manual de Traumatología del deporte" Editorial Masson S.A., 1ª edición 1992.
- [15] H. Cramer, "Métodos matemáticos de estadística", Editorial Aguilar S.A., 3ª edición, 1963.

[16] Dr. Arthur C.Guyton, "Tratado de fisiología médica", Editorial Interamericana S.A., 5° edición.