

## Estudio de validez y fiabilidad de la aplicación móvil *Hudl Technique* respecto al goniómetro universal para valorar rangos de movimiento durante test neurodinámicos

### *Validity and reliability of the Hudl Technique mobile application compared to the universal goniometer to assess the range of motion during neurodynamic test*

Jiménez-del-Barrio S<sup>a</sup>, Garro-Urizar I<sup>b</sup>, Regaño-del-Barrio P<sup>b</sup>, Bueno-Gracia E<sup>c</sup>, Ciuffreda-G<sup>b</sup>, Ceballos-Laita L<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Departamento de Cirugía, Oftalmología, Otorrinolaringología y Fisioterapia. Facultad de Fisioterapia. Universidad de Valladolid. Valladolid. España

<sup>b</sup> Fisioterapeuta. Ejercicio libre de la profesión. Zaragoza. España

<sup>c</sup> Departamento de Enfermería y Fisiatría. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. España

#### Correspondencia:

Sandra Jiménez del Barrio  
sandra.jimenez.barrio@uva.es

Recibido: 19 junio 2019

Aceptado: 10 julio 2019

#### RESUMEN

**Introducción:** la medición del rango de movimiento durante los test neurodinámicos es fundamental para la valoración en Fisioterapia. La realización de los test necesitando el empleo de ambas manos dificulta la cuantificación en la práctica clínica. El desarrollo de la tecnología móvil de aplicaciones basadas en videogrametría permite objetivar mediciones angulares. **Objetivo:** analizar la validez de la aplicación *Hudl Technique*, para la medición del rango de movimiento de la extensión de rodilla durante el test de Slump y extensión de codo en el test neurodinámico del nervio mediano estándar comparado con el goniómetro universal y determinar su fiabilidad intra e interexaminador. **Material y método:** se incluyeron 33 voluntarios (66 casos) para el test de Slump y 30 (60 casos) para el test del nervio mediano. Un evaluador cuantificó los rangos de movimiento en cada uno de los test con la aplicación móvil y con el goniómetro universal. Otros dos evaluadores realizaron las mediciones con la aplicación. **Resultados:** la aplicación móvil obtuvo un grado de acuerdo excelente respecto al goniómetro (ICC = 0,90) para el test de Slump y bueno para el test del nervio mediano (ICC = 0,88). La fiabilidad inter e intraexaminador fue excelente para ambos test (ICC = 0,93-0,98). **Conclusión:** la medición del rango de movimiento articular de extensión de rodilla y de extensión de codo durante los test neurodinámicos de Slump y del nervio mediano estándar mediante la aplicación *Hudl Technique* presenta un grado de acuerdo entre excelente y bueno respecto al goniómetro universal. Y ha mostrado tener una fiabilidad intra e interexaminador excelente para ambos test.

**Palabras clave:** neurodinámica, rango de movimiento, fiabilidad, aplicaciones móviles, teléfono inteligente.

#### ABSTRACT

**Background:** the measurement of the range of motion during neurodynamic tests is fundamental for assessment in physiotherapy. The need to use both hands to perform the tests makes quantification difficult in clinical practice. The development of mobile technology based on Smartphone applications allows measuring angular ranges. **Objective:** to analyze the validity of the *Hudl Technique* application, for the measurement of the range of motion of the knee extension during the Slump test and elbow extension in the standard median nerve neurodynamic test compared with the universal goniometer and to determine its intra- and interexaminer reliability. **Material and me-**

thod: 33 volunteers were included (66 cases) for the Slump test and 30 volunteers (60 cases) for the median nerve test. One evaluator quantified the range of knee and elbow extension in each of the tests with the mobile application and with the universal goniometer. Two other evaluators quantified the measurements with the application. Results: the mobile application obtained an excellent level of agreement with respect to the goniometer (ICC = 0.90) for the Slump test and a good level of agreement for the median nerve test (ICC = 0.88). Inter- and intra-examiner reliability was excellent for both tests (ICC = 0.93-0.98). Conclusion: the measurement of knee joint extension and elbow extension range during the Slump neurodynamic tests and the standard median nerve using the Hudl Technique application has shown excellent to good agreement with the universal goniometer. And it has been shown to have excellent intra and inter-examiner reliability for the measurements of the neurodynamic tests of Slump and the standard median nerve.

**Keywords:** neurodynamics, range of motion, reproducibility of results, smartphone, mobile applications.

## INTRODUCCIÓN

Los test neurodinámicos (TND) producen un estímulo mecánico sobre las estructuras neurales, para conocer la mecanosensibilidad del sistema nervioso<sup>(1)</sup>. Estas pruebas se utilizan de forma rutinaria en clínica para determinar la implicación del tejido neural en los síntomas del paciente. Los TND forman parte de la evaluación del sistema nervioso periférico (SNP) y se emplean para su valoración tanto en el cuadrante superior como en el inferior. El test más utilizado para la evaluación de la columna vertebral y miembro inferior es el test de Slump, introducido por Maitland en 1978<sup>(2)</sup>.

Respecto al miembro superior el más empleado es el test estándar para el nervio mediano denominado *Upper Limb Neurodynamic Test 1* (ULNT1) que permite valorar la mecanosensibilidad de dicho nervio, sus raíces proximales y el plexo cervico-braquial<sup>(3,4)</sup>. Estos test han mostrado ser válidos y fiables para diferentes afectaciones del SNP como radiculopatía lumbar o cervical<sup>(4,5)</sup> o del síndrome del túnel carpiano<sup>(5-8)</sup>.

Los TND son una medida para el diagnóstico capaces de valorar la mecanosensibilidad del SNP. En estos test la principal variable a considerar objetivamente cuantificable es el rango de movimiento (ROM) alcanzado hasta la primera sensación percibida por el paciente.

El método más utilizado y ampliamente empleado en la bibliografía para cuantificar rangos de movimiento articular es el goniómetro universal (GU) o el inclinómetro, mostrando ser una herramienta adecuada, no invasiva y fácil de utilizar para la medición de rangos articulares<sup>(9)</sup>.

Para la medición de TND se ha empleado tanto en miembros superiores<sup>(10)</sup> como en inferiores<sup>(11-13)</sup>. El GU ha demostrado además una alta fiabilidad para la medición de ROM en la articulación de la rodilla<sup>(9,14)</sup>, y en el codo<sup>(15)</sup>. Por todo ello, es el método de elección para la medición de rangos articulares de ambas articulaciones, y por tanto la herramienta de medición utilizada habitualmente en el test de Slump y en el ULNT1<sup>(10-13)</sup>. Sin embargo, para la medición del ROM durante los test neurodinámicos el fisioterapeuta necesita utilizar las dos manos para su adecuada realización, de forma que, si quiere objetivar el ROM alcanzado, necesita un segundo fisioterapeuta que tome la medición del ROM. Esto dificulta la medición objetiva de la cuantificación del ROM en la práctica clínica habitual.

En los últimos años, los avances en la tecnología de los Smartphones han propuesto formas alternativas para la medición de rangos articulares, a través del uso de distintas aplicaciones móviles (apps) diseñadas para ello, las cuales aprovechan las cualidades y sensores internos de los teléfonos para medir el ROM<sup>(16)</sup> a través de apps basadas en el acelerómetro de los Smartphones, apps basadas en el magnetómetro y con apps basadas en fotografía, que permiten colocar un GU sobre una imagen o video previamente tomada con el móvil (fotogrametría o videogrametría). Recientes estudios han considerado la validez y la fiabilidad de la medición de ROM de articulaciones con este tipo de herramientas<sup>(9,14,17-19)</sup>, mostrando una buena fiabilidad intra e interexaminador<sup>(20-22)</sup>.

La utilización de la goniometría dinámica mediante análisis de video resulta especialmente interesante en

los TND porque posibilita que un único evaluador mida el ROM y las respuestas producidas, disminuye el tiempo que se permanece en el rango de provocación de síntomas, lo que disminuye la irritación provocada sobre el paciente. Supone además un ahorro de tiempo durante la medición del TND y un *feedback* visual al paciente sobre su estado o evolución temporal.

*Hudl Technique* es una aplicación móvil de análisis deportivo (gratuita y disponible en diferentes plataformas), que permite grabar el gesto realizado en video, seleccionar un fotograma específico y realizar diferentes mediciones sobre él. Desde el propio móvil permite poner un GU sobre el fotograma seleccionado, pudiendo obtener así el ROM articular.

El objetivo de este estudio fue analizar la validez de una aplicación Smartphone basada en goniometría virtual, para la medición de rangos de movimiento durante los TND Slump y ULNT1 en comparación a la medición mediante GU y analizar la fiabilidad intra e interexaminador de esta aplicación para ambos test.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Tipo de estudio

Estudio transversal, analítico, descriptivo de fiabilidad y validez. Este estudio se realizó acorde a los principios éticos de las normas de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, en su actualización de 2016 de Taipei. Todos los voluntarios fueron informados del procedimiento y firmaron el consentimiento informado. El estudio se realizó en dos centros privados y se incluyeron un total de 63 sujetos (33 para el TND de Slump y 30 para el ULNT1).

Los criterios de inclusión que se establecieron para el test de Slump fueron sujetos mayores de 18 años, sin ningún tipo de afectación o patología ni intervención quirúrgica en ambas extremidades inferiores, columna vertebral, con cualidades cognitivas y lingüísticas necesarias para poder entender el procedimiento y comunicarse con los examinadores y con la capacidad de mantenerse en sedestación.

Los criterios de exclusión para el test de Slump fueron sujetos que presentasen hipomovilidad en el ROM

de extensión de la articulación de la rodilla necesario para la realización del test.

Los criterios de inclusión que se determinaron para el ULNT1 fueron sujetos con edad superior a 18 años, sin ningún tipo de afectación o patología ni intervención quirúrgica en ambas extremidades superiores, columna cervical ni dorsal, con cualidades cognitivas y lingüísticas necesarias para poder entender el procedimiento y comunicarse con los examinadores y con la capacidad de mantenerse un tiempo inferior a 10 minutos en una camilla en decúbito supino.

Los criterios de exclusión para el ULNT1 fueron presentar hipomovilidad en el ROM en alguna articulación necesaria para la realización del test o que apareciera el primer síntoma antes del último movimiento del test que es la extensión del codo.

### Procedimiento

Una vez incluidos los sujetos voluntariamente y tras firmar el consentimiento informado el examinador 1 explicó la posición del paciente y explicó la secuencia de cada TND al paciente y le solicitó que en la primera sensación percibida debía informar verbalmente para detener el test. Cuando el sujeto manifestaba haber entendido el procedimiento se procedía a la ejecución del test para obtener las mediciones.

Previamente a la realización del TND, se colocó el Smartphone en un trípode perpendicular al plano de movimiento articular para cada TND, en el plano sagital en el caso del test de Slump ajustando la altura del mismo para hacer coincidir aproximadamente la lente con el epicondilo lateral femoral de la rodilla del paciente, y en el plano frontal en el ULNT1 para hacer coincidir la lente con la epitroclea, con el fin de reducir todo lo posible el error instrumental.

Una vez adecuadas las condiciones espaciales se inició la grabación del TND en la app *Hudl Technique*.

Para la valoración del test de Slump la posición inicial del paciente fue sentado al borde de la camilla, con las manos unidas detrás del cuerpo, los muslos en paralelo, las piernas por fuera y el hueco poplíteo en contacto con la camilla. Las tomas del fisioterapeuta para la realización del test fueron la toma craneal con

el antebrazo en la charnela cervico-torácica y la mano sobre la cabeza para mantener la flexión cervical; y la toma distal en el pie manteniendo el tobillo en flexión de 90°.

El examinador 1 realizó el test mediante la siguiente secuencia: se le pidió al voluntario que se dejara desplomar, intentando llevar su pecho hacia su pubis, provocando así una flexión de la columna cervical, torácica y lumbar. Se vigiló la correcta realización del movimiento, manteniendo el sacro vertical. Se colocó el antebrazo del terapeuta sobre C7 y occipital para mantener la posición.

Se realizó una extensión pasiva de rodilla del paciente hasta la aparición de respuesta. Se pidió al paciente que indicara verbalmente la primera sensación provocada. En la amplitud de movimiento obtenida, el examinador 2 registró la medición goniométrica. En este momento se detuvo la grabación de la aplicación.

Una vez finalizado el test el examinador 1 calculó la medición del ROM de extensión de rodilla con la aplicación móvil *HudlTechnique* (figura 1).

Un mes después el examinador 3 calculó la medición del ROM de extensión de rodilla en la aplicación móvil *Hudl Technique* sobre el vídeo grabado en el test.

En el procedimiento del ULNT1 la posición inicial del paciente fue en decúbito supino con posición neutra de la columna cervical. Las tomas del fisioterapeuta fueron: la toma proximal estabilizando la escápula en la parte superior, y la toma distal en la palma de la mano, manteniendo el pulgar en posición de extensión y abducción.

El examinador 1 realizó el test mediante la siguiente secuencia: abducción de 90° de la articulación glenohumeral, rotación externa, supinación de antebrazo, extensión de la muñeca y dedos y finalmente se realizó una extensión de codo hasta la aparición de la primera sensación referida por el paciente.

En la posición final alcanzada en el codo el examinador 2 midió goniométricamente la extensión de codo. En este momento se detuvo la grabación.

Una vez finalizado el test, el examinador 1 calculó la medición del ROM de extensión de codo con la aplicación móvil *Hudl Technique* (figura 2).

Un mes después el examinador 3 calculó la medición del ROM de extensión de codo en la aplicación móvil *Hudl Technique* sobre el vídeo grabado en el test.

### Variables de estudio y herramientas de medición

Para el test de Slump se cuantificó el ROM de extensión de rodilla alcanzado durante el test en el momento de aparición de la primera sensación y se midieron con las siguientes herramientas:

- GU se midió considerando el brazo fijo hacia el trocánter mayor, el eje a nivel del epicóndilo lateral del fémur y el brazo móvil hacia el maléolo externo.
- Aplicación móvil *Hudl Technique*: se midió considerando los mismos puntos de referencia que para el GU (figura 1).

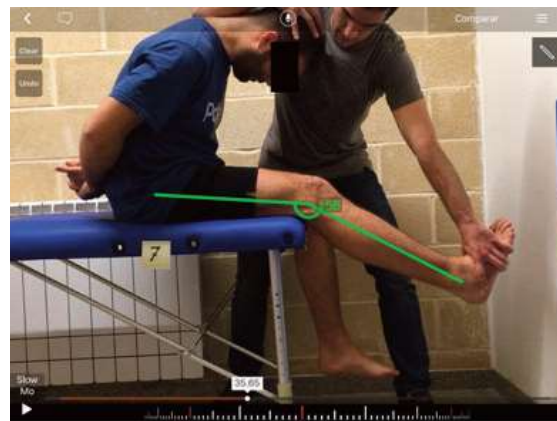


FIGURA 1. Medición del rango de extensión de rodilla durante el test de Slump con la aplicación *Hudl Technique*.



FIGURA 2. Medición del rango de extensión de codo durante el test neurodinámico estándar para el nervio mediano (ULNT1) con la aplicación *Hudl Technique*.

Para el ULNT1 se cuantificó el ROM de extensión de codo alcanzado durante el test en el momento de aparición de la primera sensación y se midió con las siguientes herramientas:

- GU: se midió considerando el brazo fijo hacia la cabeza humeral, el eje en la epitroclea y el brazo móvil en dirección a la estiloides cubital.
- Aplicación móvil *Hudl Technique*: se midió considerando los mismos puntos de referencia que para el GU (figura 2).

### Análisis estadístico

Se analizaron estadísticamente los datos con el programa IBM SPSS Statistics 20.0 para Windows. Se realizó un análisis descriptivo de las variables sociodemográficas de género, edad, estatura, peso e índice de masa corporal (IMC), considerando la media y desviación típica (DT) para las variables cuantitativas y los porcentajes para las variables cualitativas.

Posteriormente se realizó el análisis de fiabilidad calculándose el coeficiente de correlación intraclase (CCI) con el 95 % de intervalo de confianza para obtener la fiabilidad intraexaminador e interexaminador. También se calculó el CCI para medir el grado de acuerdo entre la medición de la app respecto al GU que se definió como la validez. El valor del CCI (entre 0 y 1) tanto para la validez como para la fiabilidad se interpretó de acuerdo con la siguiente clasificación<sup>(23)</sup>: pobre < 0,5; moderada 0,5 a 0,75; buena 0,75 a 0,90; y excelente > 0,90.

Se calcularon como medidas de fiabilidad absoluta el error estándar de medida (*Standard Error of Measurement*: SEM) y la mínima diferencia detectable (*Minimal Detectable Change*: MDC). El SEM se calculó mediante la siguiente fórmula<sup>(24)</sup>:  $SEM: DT \times \sqrt{(1-CCI)}$

Para obtener la MDC se calculó en función del SEM según la siguiente fórmula<sup>(25)</sup>:  $MDC: 1,96 \times (\sqrt{2} \times SEM)$

### RESULTADOS

La muestra de sujetos voluntarios asintomáticos para el test de Slump estuvo constituida por 24 hombres y 9

mujeres (66 piernas), con una media de edad de 31,6 (DT = 11,1), una talla media de 1,73 (DT = 0,1) y un IMC medio de 23,6 (DT = 2,5).

La media del ROM de extensión de codo durante el ULNT1 medida con el goniómetro fue de 115,13 (DT = 17,03) y en la medición con la aplicación *Hudl* fue de 117,07 (DT = 13,42). La media del ROM de extensión de rodilla durante el test de Slump medida con el goniómetro fue de 163,02 (DT = 7,19) y en la medición con la aplicación *Hudl* fue de 164,94 (DT = 8,00).

Los resultados de la validez de la aplicación móvil respecto al GU para la medición del ROM de extensión de rodilla durante el test de Slump muestran un grado de acuerdo excelente (CCI = 0,90) y una fiabilidad inter e intraexaminador excelente (CCI = 0,93 - 0,98). Los valores de SEM y MDC se muestran en la tabla 1.

La muestra de sujetos voluntarios asintomáticos para la medición del ULNT1 estuvo constituida por 15 hombres y 15 mujeres (60 brazos). Presentó una media de edad de 32,23 (DT = 15,49), una altura media de 1,68 (DT = 0,08) y un IMC de 23,44 (DT = 3,1).

Los resultados de validez de la app respecto al GU para la medición del ROM de extensión de codo durante el ULNT1 test muestra un grado de acuerdo bueno (CCI = 0,88) y una fiabilidad inter e intraexaminador excelente (CCI = 0,98 - 0,97). Los valores de SEM y MDC se muestran en la tabla 2.

### DISCUSIÓN

En el presente estudio se ha valorado la validez de una app basada en videogrametría respecto a un GU para la medición del rango articular en los TND de Slump y ULNT1. En el ROM de extensión de rodilla para el test de Slump se ha determinado un excelente grado de acuerdo y para el ROM de extensión de codo en el ULNT1 un grado de acuerdo bueno. Estos resultados son apoyados por estudios previos en los que determinaron buenos resultados en cuanto al grado de acuerdo entre diferentes aplicaciones móviles basadas en acelerometría<sup>(9,14,17,18)</sup> o goniometría virtual de imagen<sup>(19, 22, 26)</sup> para medir el movimiento de extensión de rodilla y extensión de codo respecto al GU. Sin embargo, este es el primer estudio que valora el grado de acuerdo entre una

TABLA 1. Validez de la aplicación *Hudl Technique* respecto al goniómetro universal para el ROM de extensión de rodilla, fiabilidad inter e intraexaminador, error estándar de medición y mínima diferencia detectable con la aplicación en el test de Slump.

	CCI	CCI (IC 95 %)	SEM	MDC
<b>Validez: aplicación respecto goniómetro</b>	Medidas únicas	0,90 (0,84-0,94)	1,10°	2,90°
	Medidas promedio	0,95 (0,91-0,97)	0,80°	2,48°
<b>Fiabilidad interexaminador de la aplicación</b>	Medidas únicas	0,93 (0,90-0,96)	0,81°	2,49°
	Medidas promedio	0,96 (0,94-0,98)	0,58°	2,12°
<b>Fiabilidad intraexaminador de la aplicación</b>	Medidas únicas	0,98 (0,96-0,99)	0,26°	1,41°
	Medidas promedio	0,99 (0,98-0,99)	0,18 °	1,17°

TABLA 2. Validez de la aplicación *Hudl Technique* respecto al goniómetro universal para el ROM de extensión de codo, fiabilidad inter e intraexaminador, error estándar de medición y mínima diferencia detectable con la aplicación en el ULNT1 test.

	CCI	CCI (IC 95 %)	SEM	MDC
<b>Validez: aplicación respecto goniómetro</b>	Medidas únicas	0,88 (0,81 - 0,93)	5,83°	16,15°
	Medidas promedio	0,94 (0,90 - 0,96)	4,24°	11,76°
<b>Fiabilidad interexaminador de la aplicación</b>	Medidas únicas	0,98 (0,97 - 0,99)	2,02°	5,6°
	Medidas promedio	0,99 (0,98- 0,99)	1,75°	4,85°
<b>Fiabilidad intraexaminador de la aplicación</b>	Medidas únicas	0,97 (0,95 - 0,98)	2,43°	6,74°
	Medidas promedio	0,98 (0,97 – 0,99)	1,39°	3,85°

CCI: Coeficiente de Correlación Intraclase; IC: Intervalo de Confianza; SEM: *Standard Error Measurement*;

MDC: *Minimal Detectable Change* (Mínima Diferencia Detectable)

aplicación móvil respecto al GU para valorar el ROM en un test neurodinámico, por lo que no es posible establecer una comparativa de los resultados respecto a estudios previos.

Respecto a los valores de fiabilidad se ha determinado una fiabilidad intra e interexaminador excelente para la medición de ambas mediciones en los test de Slump y ULNT1. Estudios previos han mostrado una fiabilidad similar de las aplicaciones móviles para la medición de rangos articulares en estático y durante movimientos diná-

micos<sup>(27)</sup>. Concretamente la fiabilidad intraexaminador ha sido considerada ya con otra aplicación móvil para medir el ROM del ULNT1 obteniendo resultados similares y ligeramente más bajos que en el presente estudio<sup>(17)</sup>. A diferencia de otros estudios que han utilizado aplicaciones basadas en fotogrametría<sup>(19, 22, 26)</sup>, esta aplicación permite capturar el movimiento en video y la capacidad de poder medir el ROM en condiciones dinámicas, sin que el instrumento tenga que entrar en contacto directo con el paciente y utilizado por una sola persona.

Clínicamente los datos de SEM y MDC son muy relevantes ya que para considerar que el paciente ha alcanzado un cambio real es necesario que supere el SEM y que alcance la MDC. En este sentido los valores obtenidos tanto para el ULNT1 y para el Slump han sido relativamente bajos, esto quiere decir, que podríamos considerar la aplicación *Hudl Technique* como una herramienta útil y precisa para establecer cambios clínicos en los pacientes con los test Slump y ULNT1. Considerando mínimo un aumento de 2,9° en el rango extensión de rodilla para considerar una diferencia clínica en el test de Slump y de 16,15° en el rango de extensión de codo para considerar una diferencia clínica en el ULNT1.

Este estudio tiene una aplicabilidad clínica muy relevante ya que la forma de medición del ROM articular alcanzado durante los TND suele hacerse de manera estimada visual<sup>(28, 29)</sup>, o contando con un segundo fisioterapeuta que realice la medición con un GU<sup>(11-13)</sup> o un inclinómetro<sup>(30)</sup>. Los resultados de este estudio facilitan al clínico una nueva herramienta para cuantificar el ROM de manera objetiva y sin necesidad de un segundo fisioterapeuta. También es importante considerar que esta aplicación mediante videogrametría permite visualizarse posteriormente y considerar la medición de más de un ángulo durante el test.

Las limitaciones de este estudio están derivadas de la muestra seleccionada representativa principalmente constituida por sujetos jóvenes y con normopeso, no permite extrapolar los datos a otras poblaciones con otras características en las que podría ser más difícil la medición de forma precisa en las referencias óseas. Por otro lado, la limitación al extrapolar los resultados está relacionada con el hecho de que los pacientes de este estudio alcanzaron la fase final de ambos test, no siendo posible medir estos ángulos si el paciente presenta síntomas en una fase anterior de los test.

## CONCLUSIONES

La aplicación móvil *Hudl Technique* ha mostrado tener un grado de acuerdo respecto al goniómetro universal excelente para la medición del rango de extensión de rodilla durante el test de Slump y bueno para la medición del rango de extensión de codo durante el test

neurodinámico ULNT1. Además, la aplicación móvil *Hudl Technique* ha mostrado una fiabilidad intra e interexaminador excelente para la medición del rango de movimiento alcanzado durante los test neurodinámicos de Slump y ULNT1.

## RESPONSABILIDADES ÉTICAS

**Protección de personas y animales.** Los procedimientos que se han seguido en este estudio cumplen los principios básicos de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, actualizada en 2013 en Fortaleza (Brasil) y complementada con la Declaración de Taipei, de 2016 sobre las consideraciones éticas sobre las bases de datos de salud y los biobancos.

**Confidencialidad y consentimiento informado.** Los autores declaran ser los responsables de llevar a cabo los protocolos establecidos por sus respectivos centros para evaluar a los sujetos voluntarios sanos con finalidad de investigación y divulgación científica, y garantizan que se ha cumplido la exigencia de haber informado a todos los voluntarios incluidos en el estudio, que han obtenido su consentimiento informado por escrito para participar en el mismo y que están en posesión de dichos documentos firmados por los pacientes.

**Confidencialidad de los datos y derecho a la privacidad.** Los autores declaran la garantía de la privacidad de los datos de los voluntarios y manifiestan que el manuscrito publicado no incumple la normativa de protección de datos de carácter personal, protegiendo la identidad de los pacientes tanto en la redacción del artículo como en las imágenes. No se utilizan nombres, ni iniciales, ni números de historia clínica del hospital (o cualquier otro tipo de dato para la investigación que pudiera identificar al paciente).

**Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Financiación.** Este estudio no cuenta con financiación.

**Contribuciones de autoría.** Sandra Jiménez del Barrio,

Paula Regaño del Barrio e Ibon Garro Urizar han participado en la medición goniométrica de las articulaciones durante los TND y han contribuido a la escritura del manuscrito. Elena Bueno Gracia realizó el análisis de los resultados con las variables registradas y ha supervisado el manuscrito. Luis Ceballos Laita ha coordinado el diseño metodológico del estudio y ha supervisado la estadística y el manuscrito. C. Giuffreda ha redactado y revisado el manuscrito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Michael Shacklock. *Clinical Neurodynamics A New System of Neuromusculoskeletal Treatment*. Elsevier; 2005. 268 p. Disponible en: <https://www.elsevier.ca/ca/product.jsp?isbn=9780750654562>
2. Maitland GD. Negative Disc Exploration: Positive Canal Signs. *Aust J Physiother*. 1979 Jul; 25(3): 129–34.
3. Jaberzadeh S, Scutter S, Nazeran H. Mechanosensitivity of the median nerve and mechanically produced motor responses during Upper Limb Neurodynamic Test 1. *Physiotherapy*. 2005 Jun; 91(2): 94–100.
4. Apelby-Albrecht M, Andersson L, Kleiva IW, Kvåle K, Skillgate E, Josephson A. Concordance of upper limb neurodynamic tests with medical examination and magnetic resonance imaging in patients with cervical radiculopathy: a diagnostic cohort study. *J Manipulative Physiol Ther*. 2013 Nov-Dec; 36(9): 626–32.
5. Koulidis K, Veremis Y, Anderson C, Heneghan NR. Diagnostic accuracy of upper limb neurodynamic tests for the assessment of peripheral neuropathic pain: A systematic review. *Musculoskelet Sci Pract*. 2019 Apr; 40: 21–33.
6. Nee RJ, Jull GA, Vicenzino B, Coppieters MW. The validity of upper-limb neurodynamic tests for detecting peripheral neuropathic pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2012 May; 42(5): 413–24.
7. Bueno-Gracia E, Tricás-Moreno JM, Fanlo-Mazas P, Malo-Urriés M, Haddad-Garay M, Estébanez-de-Miguel E, et al. Validity of the Upper Limb Neurodynamic Test 1 for the diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome. The role of structural differentiation. *Man Ther*. 2016 Apr; 22: 190–5.
8. Trillos M-C, Soto F, Briceno-Ayala L. Upper limb neurodynamic test 1 in patients with clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome: A diagnostic accuracy study. *J Hand Ther Off J Am Soc Hand Ther*. 2018 Jul-Sep; 31(3): 333–8.
9. Dos Santos RA, Derhon V, Brandalize M, Brandalize D, Rossi LP. Evaluation of knee range of motion: Correlation between measurements using a universal goniometer and a smartphone goniometric application. *J Bodyw Mov Ther*. 2017 Jul; 21(3): 699–703.
10. Lohkamp M, Small K. Normal response to Upper Limb Neurodynamic Test 1 and 2A. *Man Ther*. 2011 Apr; 16(2): 125–30.
11. Herrington L, Bendix K, Cornwell C, Fielden N, Hankey K. What is the normal response to structural differentiation within the slump and straight leg raise tests? *Man Ther*. 2008 Aug; 13(4): 289–94.
12. Yeung E, Jones M, Hall B. The response to the slump test in a group of female whiplash patients. *Aust J Physiother*. 1997 Jan; 43(4): 245–52.
13. Johnson EK, Chiarello CM. The slump test: the effects of head and lower extremity position on knee extension. *J Orthop Sports Phys Ther*. diciembre de 1997 Dec; 26(6): 310–7.
14. Milanese S, Gordon S, Buettner P, Flavell C, Ruston S, Coe D, et al. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: Smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Man Ther*. 2014 Dec; 19(6): 569–74.
15. Chapeau J, Canet F, Petit Y, Laflamme GY, Rouleau DM. Validity of Goniometric Elbow Measurements: Comparative Study with a Radiographic Method. *Clin Orthop*. 2011 Nov; 469(11): 3134–40.
16. Milani P, Coccetta CA, Rabini A, Sciarra T, Massazza G, Ferriero G. Mobile Smartphone Applications for Body Position Measurement in Rehabilitation: A Review of Goniometric Tools. *PM&R*. 2014 Nov; 6(11): 1038–43.
17. Cruz J, Morais N. Intrarater Agreement of Elbow Extension Range of Motion in the Upper Limb Neurodynamic Test 1 Using a Smartphone Application. *Arch Phys Med Rehabil*. 2016 Nov; 97(11): 1880–6.
18. Behnoush B, Tavakoli N, Bazmi E, Nateghi Fard F, Pourgharib Shahi MH, Okazi A, et al. Smartphone and Universal Goniometer for Measurement of Elbow Joint Motions: A Comparative Study. *Asian J Sports Med [Internet]*. 2016 Jun 11; 7(2): e30668.
19. Meislin MA, Wagner ER, Shin AY. A Comparison of Elbow Range of Motion Measurements: Smartphone-Based Digital Photography Versus Goniometric Measurements. *J Hand Surg*. 2016 Apr; 41(4): 510–5.
20. Mehta SP, Barker K, Bowman B, Galloway H, Oliashirazi N, Oliashirazi A. Reliability, Concurrent Validity, and Minimal



- Detectable Change for iPhone Goniometer App in Assessing Knee Range of Motion. *J Knee Surg.* 2017 Jul; 30(6): 577–84.
21. Pereira LC, Rwakabayiza S, Lécurveux E, Jolles BM. Reliability of the Knee Smartphone-Application Goniometer in the Acute Orthopedic Setting. *J Knee Surg.* 2017 Mar; 30(3): 223–30.
  22. Keijsers R, Zwerus EL, van Lith DRM, Koenraadt KLM, Gossens P, The B, et al. Validity and Reliability of Elbow Range of Motion Measurements Using Digital Photographs, Movies, and a Goniometry Smartphone Application. *J Sports Med.* 2018. Nov 29; 2018: 7906875.
  23. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016 Jun; 15(2): 155–63.
  24. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res.* 2005 Feb; 19(1): 231–40.
  25. de Bruin ED, Rozendal RH, Stüssi E. Reliability of phase-velocity measurements of tibial bone. *Phys Ther.* 1998 Nov; 78(11): 1166–74.
  26. Ferriero G, Vercelli S, Sartorio F, Muñoz Lasa S, Ilieva E, Brigatti E, et al. Reliability of a smartphone-based goniometer for knee joint goniometry. *Int J Rehabil Res Int Z Rehabil Rev Int Rech Readaptation.* 2013 Jun; 36(2): 146–51.
  27. Støve MP, Palsson TS, Hirata RP. Smartphone-based accelerometry is a valid tool for measuring dynamic changes in knee extension range of motion. *Knee.* 2018 Jan; 25(1): 66–72.
  28. Dietz MJ, Sprando D, Hanselman AE, Regier MD, Frye BM. Smartphone Assessment of Knee Flexion Compared to Radiographic Standards. *Knee.* 2017 Mar; 24(2): 224–30.
  29. Hancock GE, Hepworth T, Wembridge K. Accuracy and reliability of knee goniometry methods. *J Exp Orthop.* 2018 Oct; 5(1): 46.
  30. Walsh J, Hall T. Agreement and correlation between the straight leg raise and slump tests in subjects with leg pain. *J Manipulative Physiol Ther.* 2009 Mar-Apr; 32(3): 184–92.