

**TEMA 17: La ecografía como herramienta de valoración y biofeedback. Valoración muscular: áreas, secciones y ángulo de peneación muscular. Cuantificación del edema. Valoración de la interfase y la trama en las tendinopatías. Valoración de la activación muscular. Deslizamiento de tejidos. La técnica RUSI como método específico.**





## **Tema 17**

Col·legi Oficial de Fisioterapeutes de la Comunitat Valenciana

**Autor**

Pablo Salvador Coloma



# Índice

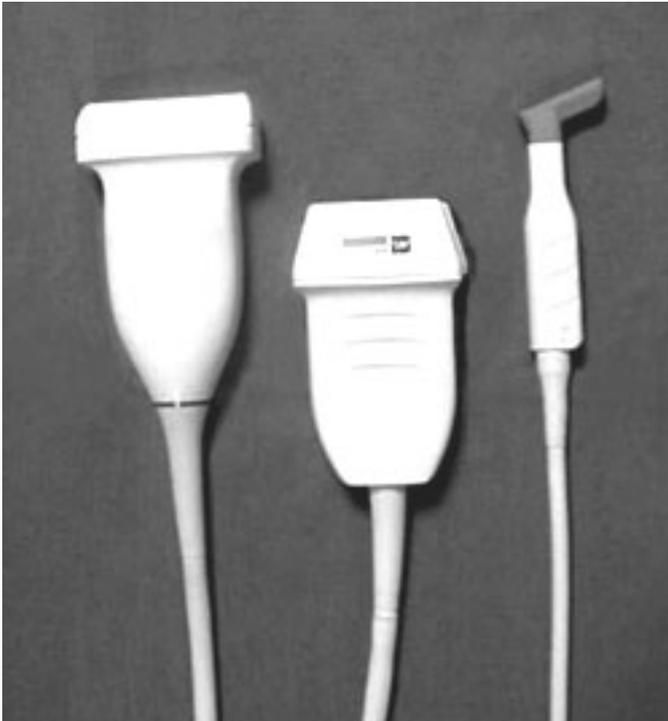
1. LA ECOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA DE VALORACIÓN Y BIOFEEDBACK.....	4
2. ÁREAS, SECCIONES Y ÁNGULO DE PENEACIÓN MUSCULAR.....	6
3. CUANTIFICACIÓN DEL EDEMA.....	8
4. VALORACIÓN DE LA INTERFASE Y LA TRAMA EN LAS TENDINOPATÍAS.....	9
5. VALORACIÓN DE LA ACTIVACIÓN MUSCULAR.....	11
6. DESLIZAMIENTO DE TEJIDOS.....	11
7. LA TÉCNICA RUSI COMO MÉTODO ESPECÍFICO.....	11
8. BIBLIOGRAFIA.....	14



## **1. LA ECOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA DE VALORACIÓN Y BIOFEEDBACK**

La ecografía musculoesquelética es una técnica en constante avance y desarrollo, cada vez más importante en la práctica clínica diaria, tanto en el diagnóstico como en el posterior tratamiento para los profesionales de la salud (radiólogo, ginecólogo, especialista en medicina del deporte, reumatólogo, podólogo, enfermero, anestesista o fisioterapeuta, entre otros). Dependiendo de la información solicitada y los objetivos, el uso de la ecografía difiere entre los profesionales. Desde la perspectiva de la fisioterapia, la ecografía es una herramienta que proporciona un estudio objetivo, dinámico, rápido, eficaz, inocuo, en tiempo real y comparativo del tejido musculoesquelético, que le confiere utilidad desde el punto de vista docente, clínico e investigador.

En este contexto la ecografía musculoesquelética es una herramienta inherente al proceso de atención en fisioterapia y facilita la toma de decisiones al fisioterapeuta dentro de su ejercicio autónomo, tanto en la evaluación como en el diagnóstico de fisioterapia, la planificación, la intervención terapéutica y la reevaluación.



*Ilustración 1 Transductor lineal de alta frecuencia para el estudio de US musculoesquelético*

### **Ecogenicidad de los tejidos**

#### **Piel y Tejido celular subcutáneo**

La piel tiene un grosor de entre 1,5 y 4 mm, y está compuesta por capa superficial (epidermis) y otra profunda (dermis). La imagen de la piel es una imagen trilaminar con la banda central hipoeoica por los folículos pilosos. En condiciones normales se muestra como una zona hipoeoica tabicada por paredes de tejido conectivo hiperecoico. Su cantidad dependerá del grado de adiposidad y del sexo del paciente, junto con la zona de



estudio. Inmediatamente por debajo del tejido celular subcutáneo, se encuentra la fascia superficial.

La cantidad de tejido celular subcutáneo es un condicionante técnico, pues limita considerablemente la observación de las interfases subyacentes. En estos casos será imprescindible la manipulación correcta de la frecuencia, foco y ganancia para corregir dicha dificultad técnica.

Con un aspecto similar al del tejido celular subcutáneo se encuentran acumulaciones articulares de grasa con un importante papel biomecánico, como son la grasa de Hoffa y la de Kager, muy ricas en tejido conectivo y que mantienen fuertes adherencias con los tendones rotuliano y aquíleo respectivamente.

### **Músculos**

En la orientación longitudinal se ven como haces hipocóicos cruzados por líneas hiperecóicas. En el plano transversal se observa como puntos hiperecóicos sobre un fondo hipocóico (Patrón en cielo estrellado).

Las fascias se ven como estructuras lineales hiperecóicas alrededor de los haces musculares.

### **Tendones**

Los tendones están compuestos por fibras de colágeno dispuestas en paralelo y separadas por sustancia fundamental y fibroblastos. Por lo que en un corte longitudinal se ven como finas líneas hiperecóicas paralelas entre sí. Mientras que un corte transversal se observa como puntos hiperecóicos.

### **Ligamentos**

Estructuras de tejido conectivo denso que se extienden como bandas entre los extremos óseos de la articulación para darles estabilidad y flexibilidad. Se observa como una cinta más o menos homogénea, con ecogenicidad media con patrón más o menos fibrilar por el entrecruzamiento de las fibras.

### **Cápsula articular**

La visualización de una cápsula articular normal hiperecóica está sujeta a sus dimensiones y a la cantidad de refuerzos que posea. No es lo mismo estudiar la cápsula femorotibial en un abordaje posterior de rodilla que la de la articulación interfalángica distal de un dedo.

### **Nervios**

El nervio muestra una forma y ecogenicidad similar a la del tendón, por lo que resulta imprescindible un gran conocimiento anatómico. En el corte longitudinal se ve como una estructura hiperecóica con patrón menos fibrilar que la del tendón. En el corte transversal se observa como imágenes pseudoquísticas.

### **Cartílago hialino**

Estructura hipocóica, homogénea sin señales en su interior que recubre la superficie ósea articular.



### **Huesos**

Imagen lineal fuertemente ecogénica, con sombra acústica posterior. No es la mejor técnica para estudiar las lesiones óseas, se ha observado que es la más sensible en la valoración de la cortical y en la detección de procesos calcificantes.

### **Vasos y Arterias**

Longitudinal: estructuras tubulares anecoicas rodeadas de pared. Transversal: imagen circular de pared más gruesa que la vena.

## **2. VALORACIÓN MUSCULAR: ÁREAS, SECCIONES Y ÁNGULO DE PENEACIÓN MUSCULAR.**

- Plano transversal: El transductor se coloca en perpendicular al eje mayor del paciente. Cada vez que utilizemos este plano, el marcador del transductor siempre estará a la derecha del paciente.
- Plano longitudinal o sagital: El transductor se coloca paralelo al eje mayor del paciente. El marcador del transductor siempre apuntará hacia la cabeza del paciente

### Grosor muscular

El grosor muscular es la distancia perpendicular entre la aponeurosis superficial y profunda de un músculo (Abe et al., 1998; Chow et al., 2000; Maganaris et al., 1998; Narici et al., 1996b). Es una medida lineal, obtenida normalmente de un corte mediante ecografía. Esta variable correlaciona con el área de sección transversal anatómica (CSA) (Brechue y Abe, 2002) y ha sido utilizada para monitorizar variaciones producidas por el entrenamiento (Blazevich y Giorgi, 2001; Kawakami et al., 1995). Combinada con medidas antropométricas ha sido empleada, recientemente, para el cálculo de volúmenes musculares (Esformes et al., 2002; Fukunaga et al., 2001).

### Área de sección transversal (CSA)

La fuerza que un músculo puede producir es proporcional a su área de sección transversal (Fukunaga et al., 2001; Lieber y Fridén, 2000; 2001). Sin embargo, es importante matizar, puesto que, en los músculos de fibras oblicuas se pueden considerar dos tipos de área de sección transversal, en función de que se realice un corte perpendicular al eje mecánico del músculo o al de las fibras musculares. Estos tipos de área de sección transversal son el CSA y el área de sección transversal fisiológica (PCSA).

### Ángulo de peneación

El ángulo de peneación es el ángulo de inserción de los fascículos musculares y la aponeurosis del tendón muscular (Kawakami et al., 1993), refleja la orientación de las fibras musculares en relación al tejido conectivo/tendón. El ángulo de peneación afectará, por lo tanto, la transmisión de la fuerza a los tendones y huesos.

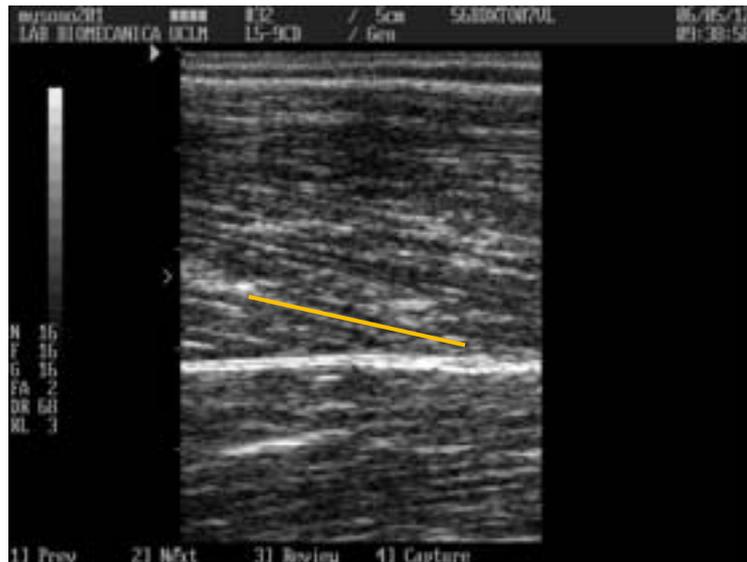


Ilustración 2 Medición ángulo de peneación

No todos los músculos presentan los sarcómeros alineados en paralelo con el eje longitudinal del músculo. Los que tienen las fibras musculares alineadas de forma oblicua con el tendón se denominan músculos peniformes, y el ángulo de peneación con el tendón puede condicionar el número de sarcómeros por área de sección transversal y, por lo tanto, la fuerza máxima que se puede producir. Cualquier factor que altere el ángulo de peneación afecta por lo tanto la velocidad y la fuerza de acortamiento, siempre y cuando se mantenga constante el área de sección transversal.

Los músculos con mayor ángulo de peneación (fibras musculares con mayor ángulo con respecto al eje del tendón) tienen más sarcómeros en paralelo y menos en serie; están, por lo tanto, más capacitados para generar fuerza, pero la velocidad máxima de acortamiento es menor que la de los músculos con menos ángulo de peneación. El ángulo de peneación de un mismo músculo puede variar, dependiendo de factores hereditarios o incluso del entrenamiento, lo cual podría ayudar a explicar algunas de las diferencias observadas en fuerza y velocidad entre sujetos que parecen tener músculos del mismo volumen.

Algunos estudios, han evidenciado que existe una relación entre el ángulo del fascículo y el grosor muscular; esto podría implicar que la hipertrofia muscular podría acompañar a un aumento en el ángulo de las fibras. Debe tenerse en cuenta que los ángulos de peneación medidos por ecografía son aquellos entre la aponeurosis y los fascículos.

Al aumentar el ángulo de peneación es más pequeña la cantidad de fuerza transmitida al tendón. Por consiguiente, los ángulos de peneación más pequeños tienen una ventaja mecánica respecto a la transmisión de fuerza al tendón.

Otro dato a tener en cuenta es que el ángulo de peneación es la variable de arquitectura muscular que peores resultados da respecto a fiabilidad, debido principalmente a que en algunos sujetos las imágenes obtenidas son difíciles de interpretar. También influye el que en los músculos con ángulos de peneación pequeños (entre 8 y 25 grados) como el vasto lateral, pequeñas variaciones en la medida (entre 1 y 2 grados) significan un error porcentual grande.



No obstante, la fiabilidad es suficientemente buena para seguir usando la actual metodología

### **Ventajas de la peneación:**

1-. Para un mismo volumen muscular, un músculo con mayores ángulos tiene una mayor PCSA.

2-. Los sarcómeros operan en una parte más ventajosa de su curva longitud-extensión puesto que los fascículos rotan, además de acortarse. Esto provoca que el recorrido del tendón sea mayor que el acortamiento individual de cada uno de los fascículos.

3-. Se puede incluir más material contráctil para una misma área de tendón

Cuanto más elevados son los ángulos de peneación, la eficacia en la transmisión de la fuerza de los fascículos al tendón disminuye en función del coseno del ángulo de peneación.

## **3. CUANTIFICACIÓN DEL EDEMA**

Uno de los aspectos más útiles y destacados en la valoración ecográfica es la valoración y cuantificación del edema. En este sentido, el edema es una de las consecuencias más frecuentes de diversas lesiones, tales como traumatismos o lesiones musculotendinosas. En este sentido, la utilidad de la ecografía es especialmente relevante en las lesiones musculares, debido a su alta prevalencia tanto en el entorno laboral como deportivo. Se estima que la patología muscular traumática aguda, que afecta principalmente a los miembros inferiores, es la principal causa de lesiones musculares y presencia de edemas intramusculares.

En la actualidad, el avance en la tecnología ecográfica ha permitido la viabilidad en la práctica diaria de ecógrafos de alta resolución, que proporcionan imágenes de partes blandas de gran definición, lo que, unido a su inocuidad, portabilidad y capacidad de examen dinámico y comparativo, han convertido este método de imagen en una herramienta fundamental, de elección para el estudio del aparato locomotor y en especial para la evaluación de las lesiones musculares.

Habitualmente para la exploración muscular se utilizan transductores lineales de alta frecuencia (7,5-12MHz), aunque en el caso de músculos profundos (como glúteo menor, etc) pueden necesitarse frecuencias menores. La exploración debe dirigirse a la zona de dolor, inicialmente sin aplicar fuerza y después con una contracción isométrica gradualmente creciente, realizando una exploración longitudinal y transversal.

El estudio ecográfico del músculo exige conocer la compleja estructura de las fibras musculares, de la cubierta de tejido conjuntivo que lo rodea (epimisio, perimisio, endomisio), de las zonas de inserción (tendón, periostio, aponeurosis de inserción) y de los elementos asociados y adyacentes al músculo (tendones, vasos, cápsulas articulares...), para de esta forma poder detectar la presencia de edema.



El músculo sano, ecográficamente, presenta una ecogenicidad inferior a la del tejido celular subcutáneo y una disposición de finas líneas paralelas ecogénicas, múltiples, en cortes longitudinales, en «pluma de ave», y aspecto reticular en corte transversal «aspecto moteado», rodeados por la fascia hiperecogénica y en su interior la unión miotendinosa también hiperecogénica. Sin embargo, si existe lesión muscular (y edema) en ecografía se describen 4 grados de lesión muscular:

<b>Grado 0</b>	Ecografía negativa pese a la clínica
<b>Grado 1</b>	Área sutil mal definida hiperecoica o hipoecoica sin defecto fibrilar objetivado o inflamación de la aponeurosis. Corresponde a una elongación con menos del 5% del músculo involucrado. El dolor puede ser intenso pero muy inespecífico.
<b>Grado 2</b>	Discontinuidad parcial de las fibras. Afecta entre el 5 y 50% del volumen muscular o del diámetro de la sección transversal. Defecto hipoecoico o anecoico dentro de las fibras musculares. Una suave presión con el transductor objetiva fragmentos desgarrados musculares que flotan en un fluido serohemático en «badajo de campana».
<b>Grado 3</b>	Discontinuidad total de las fibras. Retracción completa del músculo. Lesiones clínicamente evidentes ya que el vientre retraído forma una masa muscular y un hachazo palpable en el músculo

#### 4. VALORACIÓN DE LA INTERFASE Y LA TRAMA EN LAS TENDINOPATÍAS.

La valoración del tendón se debe realizar con una sonda lineal que opere entre 7 y 18 MHz, la frecuencia ideal dependerá de la ubicación anatómica (profundidad) del tendón examinado. Las principales indicaciones para el estudio de los tendones mediante ultrasonido son:

- Evaluación dinámica de la tendinopatía (incluido Doppler)
- Ruptura
- Tenosinovitis
- Monitorización de la respuesta a la terapia y cirugía
- Fisioterapia Invasiva ecoguiado
- Calcificaciones de tendones

Las imágenes normales del tendón en el ultrasonido se establecen a través de los cortes longitudinales y transversales del mismo. En los cortes longitudinales el tendón se visualiza como una fina y compacta red de delgadas líneas ecogénicas, paralelas. En el plano transversal los tendones se despliegan con forma ovoide o redondeada y muestran un conjunto de puntos ecogénicos agrupados homogéneamente.



Los tendones tienen una estructura interna altamente ordenada, compuesta por la superposición secuencial de planos de fibras de colágeno y septos, lo que confiere la propiedad de ser estructuras altamente anisotrópicas en el examen ecográfico.

### 3.1 Hallazgos patológicos principales

Entre los hallazgos muy frecuentes se encuentran:

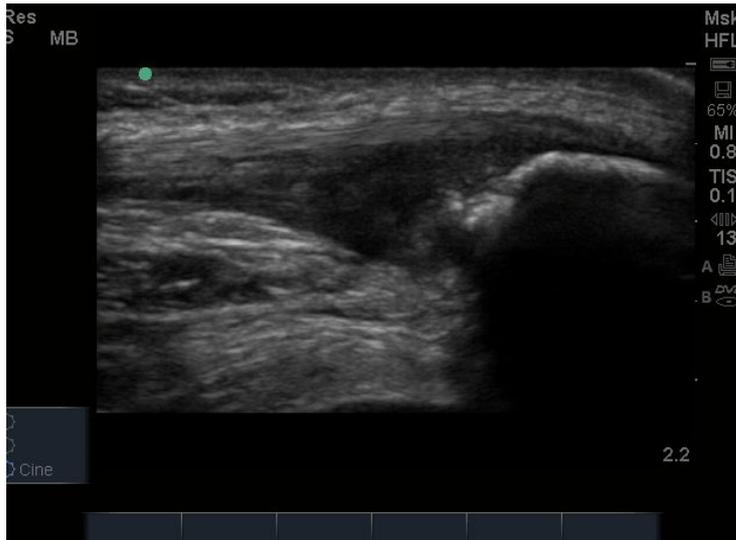
- a) Calcificaciones, que se muestran como una banda hiperecoica linear con sombra acústica posterior, generalmente ubicadas en el espesor del tendón.
- b) Tenosinovitis, en la que se observa un aumento de la ecogenicidad con halo anecoico que generalmente traduce liquido inflamatorio (anecoico o negro).
- c) Los desgarros pueden afectar el espesor y el ancho del tendón, lo que da como resultado que éstos puedan presentarse de diversas formas. El hallazgo más dramático es el ancho y espesor total.

<b>Hallazgos fundamentales</b>		
<b>Hallazgos</b>	<b>Macroscópicos</b>	<b>Ultrasonido</b>
<b>Tendón normal</b>	Color blanco brillante Textura fibroelástica firme	Líneas hiperecoicas paralelas Estructura regular uniforme
<b>Tendinopatía</b>	Color gris o café Tejido delgado, frágil y desorganizado Pérdida de textura	Ensanchamiento localizado del tendón Áreas hipoeoicas localizadas Estructura irregular de las fibras Neovascularización asociada a cambios tendinosos

Tabla 1 Comparación tendón normal vs patológico a través de la anatomía macroscópica y US



Ilustración 3 Tendón Aquiles normal



*Ilustración 4 Tendinopatía rotuliana*

## 5. VALORACIÓN DE LA ACTIVACIÓN MUSCULAR.

La actividad muscular, por ejemplo a través de la actividad del músculo supraespinoso en un paciente con dificultad en la estabilización de la articulación glenohumeral, o del extensor radial corto del carpo en un paciente con dolor en el epicondilo lateral; la función de la musculatura del suelo pélvico, desde una perspectiva tanto transperineal como transabdominal, aportando información acerca de la función estabilizadora de dicha musculatura, y midiendo su acción de elevación del cuello y la base de la vejiga durante diferentes maniobras, o la valoración de la actividad de los músculos de la pared abdominal, el oblicuo externo, el oblicuo interno, el transverso del abdomen, y de los músculos multifidos lumbares en pacientes con dolor lumbar.

## 6. DESLIZAMIENTO DE TEJIDOS.

Es posible llevar a cabo una palpación ecoguiada para correlacionar el tejido con los hallazgos clínicos (ecolocalización). Por ejemplo, la palpación del tendón de Aquiles en las zonas de dolor y punto de sensibilidad, mientras que se visualiza el tendón en tiempo real con ecografía.

Al igual que sucede con cualquier otra prueba de imagen, el objetivo no es reemplazar el examen físico, sino mejorar el proceso de evaluación y diagnóstico de fisioterapia aportando datos válidos y fiables.

## 7. LA TÉCNICA RUSI COMO MÉTODO ESPECÍFICO.

Rehabilitative Ultrasound Imaging (RUSI) la traducción del Ingles “Imagen de Ultrasonido en Rehabilitación” acuñado por Maria Stokes (London). Por otro lado, Jackie Whittaker (Canadá) como RTUS acrónimo de “Real Time Ultrasound Imaging” (Imagen de Ultrasonidos en tiempo real). RUSI y RTUS en realidad son lo mismo y los test de exploración que residen bajo este concepto exploran la actividad muscular de la región



lumbar, faja abdominal y suelo pélvico. La única diferencia entre los dos acrónimos es que la primera son los test tal cual y la segunda es la aplicación de los test para la reeducación del paciente. Investigadores y Fisioterapeutas de calado internacional y de gran peso en la comunidad científica en este ámbito como Paul Hodges (Australia), Jackie Whittaker (Canadá), Maria Stokes (Inglaterra), Cliona O'Sullivan (Irlanda), Dreyde Teyhen (EEUU)..... desde hace 20 años publican sobre este tema y han validado cada protocolo de exploración.

Este sistema de evaluación fue estandarizado y acuñado por Fisioterapeutas y para la Fisioterapia en el Symposium realizado en San Antonio, Texas en el 2006. Esta disciplina de la Fisioterapia diferencia claramente USI (Ultrasound Imaging - que es propia de la Radiología y estudia la patología de los tejidos mediante ecografía) de RUSI (Rehabilitative Ultrasound Imaging – que estudia la anatomía desde un punto de vista funcional) que es de gran importancia en el estudio de los músculos de la espalda de un modo dinámico y con un alto componente de Biofeedback ya que el paciente puede visualizar su actividad muscular en un monitor

Rehabilitative Ultrasound Imaging (RUSI} incluye:

- Evaluación de la morfología y la función y la influencia en los tejidos blandos durante varias pruebas.
- Recuperación de la función neuromuscular, recurso de biofeedback para el paciente y fisioterapeuta.
- Investigación encaminada a la aplicación clínica y desarrollo de guías de práctica clínica.

El propósito de RUSI por tanto, es desarrollar la mejor guía de práctica clínica para el uso de RUSI en abdomen pelvis y músculos posteriores de la columna. Los objetivos son:

1. Contribuir al desarrollo medidas estándar internacionales de RUSI en la valoración de la función muscular.
2. Identificar y coordinar los esfuerzos internacionales actuales y futuros para promover el uso de RUSI en la práctica clínica, investigación y educación.
3. Iniciar el desarrollo una agenda internacional para colaborar en investigación.
4. Desarrollar modelos para la aplicación del RUSI a la práctica clínica.
5. Explorar futuras aplicaciones.

### 5.1 Valoraciones según RUSI

Valoración Morfológica.

- Formas de los tejidos en cortes longitudinales y trasversales.
- Medidas, grosores de las estructuras. Cuantitativo.
- Textura del tejido (infiltrados de grasa y tejido conectivo).
- Angula de Inclinación de las fibras sobre inserción.

Valoración Funcional.

- Test de Nijmegen.
- Músculos de la pared abdominal
- Ms. Anteriores.
- Ms. Laterales.



## 5.2 Objetivos de la valoración

Los objetivos asociados a la exploración de la pared abdominal son:

- Valorar el estado de reposo y la forma. Para ello observaremos el comportamiento del tejido en las distintas etapas de la exploración.
- Determinar el impacto de la respiración en reposo sobre la arquitectura del Transverso del Abdomen (TrA) y OI. (Según el estudio de Ninane et al 1992) no hay cambios sustanciales en la profundidad del OE)
- Determinar si el TrA y el OI muestran cambios sustanciales en la actividad tónica durante las pruebas que cargan la columna y pelvis.
- Determinar si el TrA puede activarse preferentemente.

Los objetivos de la exploración del suelo pélvico serán los siguientes:

- Valorar el estado de reposo del suelo pélvico, posición de la vejiga y la integridad de la fascia endopelvica.
- Determinar si los músculos del suelo pélvico revelan una actividad sustancial durante las pruebas que cargan la columna y pelvis y relajar después de la prueba. Además, determinar el impacto de actividades que incrementan la presión intrabdominal como toser, estornudar, realizar un esfuerzo sobre la posición de la vejiga.
- Determinar si el suelo pélvico (pubococcigeo e iliococigeo) pueden ser activados preferentemente. En concreto que se contraigan aisladamente (relativamente) de las fibras de los músculos superficiales abdominales, glúteos, rotadores externos y abductores de la cadera y mantener una contracción isométrica de baja intensidad como resultado de una tensión fascial y co-contracción de otros sistemas locales como (Diafragma y Transverso del Abdomen).

Los objetivos de la exploración de los músculos Lumbares serán:

- Especular sobre el estado de reposo (calidad del tejido) forma, simetría y tamaño de los Multifidos dentro del compartimento medial de la fascia lumbar.
- Determinar si los Multifidos lumbares demuestran una actividad tónica sustancial durante una prueba que de carga la columna y pelvis boca arriba o de lado elevar una pierna y relajar después.
- Concretar si la contracción segmentaria de las fibras de los Multifidos lumbares pueden ser activadas. En concreto que se contraigan aisladamente (relativamente) de las fibras de los Multifidos superficiales y mantener una contracción isométrica de baja intensidad como resultado de una tensión fascial y co-contracción de otros sistemas locales como (Suelo pélvico, diafragma y Transverso del Abdomen).



## 8. BIBLIOGRAFIA

Abe T., Brechue W.F., Fujita S., Brown J.B. Gender differences in FFM accumulation and architectural characteristics of muscle. *Medicine and Science Sports Exercise*, 30 (7): 1066-1070; 1998.

Chow R.S., Medri M.K., Martin D.C., Leekam R.N., Agur A.M., McKee N.H. Sonographic studies of human soleus and gastrocnemius muscle architecture: gender variability. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3):236-44; 2000.

Maganaris C.N., Baltzopoulos V., Sargeant A.J. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *Journal of Physiology (Lond)*, 15;512 (Pt 2):603-614; 1998.

Narici M.V., Binzoni T., Hiltbrand E., Fasel J., Terrier F., Cerretelli P. In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest during graded isometric contraction. *Journal of Physiology*, (496): 287-297; 1996b.

Brechue W.F., Abe T. The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. *European Journal of Applied Physiology*, 86(4):327-36; 2002.

Blazevich A.J., Giorgi A. Effect of testosterone administration and weight training on muscle architecture. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10):1688-93; 2001.

Kawakami Y., Abe T., Kuno S., Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology*, 72: 37-43; 1995.

Esformes J.I., Narici M.V., Maganaris C.N. Measurement of human muscle volume using ultrasonography. *European Journal of Applied Physiology*, 87(1):90-2; 2002.

Fukunaga T., Miyatani M., Tachi M., Kouzaki M., Kawakami Y., Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 172(4):249-55; 2001.

Lieber R.L., Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11):1647-1666; 2000.

Lieber R.L., Friden J. Clinical significance of skeletal muscle architecture. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (383):140-51; 2001.

Trotter, J.A. (1993) Functional morphology of force transmission in skeletal muscle. *Acta Anat.* 146, 205-222

Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J. appl. Physiol.* 74, 2740-2744

Herzog W, Read J. Lines of action and movement arms of the major force-carrying structures crossing the human knee joint. *J. Anat.* 182, 213-230



Gans C, Gaunt A.S. Muscle architecture in relation to function, *J. Biomechanics* 24:53-65.

Henriksson-Larsen K, Wretling M, Lorentzon R, Oberg L. Do muscle fiber size and fiber angulation correlate in pennated human muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64:68-72

Moore JH, Goffar SL, Teyhen DS, Pendergrass TL, Childs JD, Ficke JR. The Role of US Military Physical Therapists During Recent Combat Campaigns. *Phys Ther.* 2013

Goffar SL, Reber RJ, Christiansen BC, Miller RB, Naylor JA, Rodriguez BM, Walker MJ, Teyhen DS. Changes in Dynamic Plantar Pressure During Loaded Gait. *Phys Ther.* 2013 Jun 13.

Teyhen DS, Childs JD, Dugan JL, Wright AC, Sorge JA, Mello JL, Marmolejo MG, Taylor AY, Wu SS, George SZ. Effect of Two Different Exercise Regimens on Trunk

Childs JD, Wu SS, Teyhen DS, Robinson ME, George SZ. Prevention of low back pain in the military cluster randomized trial: effects of brief psychosocial education on total and low back pain-related health care costs. *Spine J.* 2013.

Whittaker JL, Warner MB, Stokes M. Comparison of the sonographic features of the abdominal wall muscles and connective tissues in individuals with and without lumbopelvic pain. *J Orthop Sports Phys Ther.*

Whittaker JL, McLean L, Hodder J, Warner MB, Stokes MJ. Association between changes in electromyographic signal amplitude and abdominal muscle thickness in individuals with and without lumbopelvic pain. *J Orthop Sports Phys Ther.*

Koppenhaver SL, Fritz JM, Hebert JJ, Kawchuk GN, Parent EC, Gill NW, Childs JD, Teyhen DS. Association between history and physical examination factors and change in lumbar multifidus muscle thickness after spinal manipulation in patients with low back pain. *J Electromyografi Kinesiol.*

Teyhen DS, Childs JD, Stokes MJ, Wright AC, Dugan JL, George SZ. Abdominal and lumbar multifidus muscle size and symmetry at rest and during contracted States. Normative reference ranges. *J Ultrasound Med.* 2012.

Hides JA, Stanton WR, Mendis MD, Gildea J, Sexton MJ. Effect of motor control training on muscle size and football games missed from injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2012.

Teyhen DS, Shaffer SW, Lorenson CL, Halfpap JP, Donofry DF, Walker MJ, Dugan JL, Childs JD. The Functional Movement Screen: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012.



O'Sullivan C, McCarthy Persson U, Blake C, Stokes M. Rehabilitative ultrasound measurement of trapezius muscle contractile states in people with mild shoulder pain. *Man Ther.* 2012.

Warner MB, Chappell PH, Stokes MJ. Measuring scapular kinematics during arm lowering using the acromion marker cluster. *Hum MovSci.* 2012.

Hyde J, Stanton WR, Hides JA. Abdominal muscle response to a simulated weight-bearing task by elite Australian Rules football players. *Hum Mov Sci.* 2012.

Breen AC, Teyhen DS, Mellor FE, Breen AC, Wong KW, Deitz A. Measurement of intervertebral motion using quantitative fluoroscopy: report of an international forum and proposal for use in the assessment of degenerative disc disease in the lumbar spine. *Adv Orthop.*

Hebert JJ, Koppenhaver SL, Walker BF. Subgrouping patients with low back pain: a treatment-based approach to classification. *SportsHealth.* 2011.

Hides JA, Brown CT, Penfold L, Stanton WR. Screening the lumbopelvic muscles for a relationship to injury of the quadriceps, hamstrings, and adductor muscles among elite Australian Football League players. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011.

Fritz JM, Koppenhaver SL, Kawchuk GN, Teyhen DS, Hebert JJ, Childs JD. Preliminary investigation of the mechanisms underlying the effects of manipulation: exploration of a multivariate model including spinal stiffness, multifidus recruitment, and clinical findings. *Spine (Phila Pa 1976).*

Konitzer LN, Gill NW, Koppenhaver SL. Investigation of abdominal muscle thickness changes after spinal manipulation in patients who meet a clinical prediction rule for lumbar stabilization. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011.

Whittaker JL, Stokes M. Ultrasound imaging and muscle function. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011.

Silvernail JL, Gill NW, Teyhen DS, Allison SC. Biomechanical measures of knee joint mobilization. *J Man Manip Ther.* 2011.

Teyhen DS, Shaffer SW, Lorenson CL, Wood SL, Rogers SM, Dugan JL, Walker MJ, Childs JD. Reliability of lower quarter physical performance measures in healthy service members. *US Army Med Dep J.* 2011.

Koppenhaver SL, Fritz JM, Hebert JJ, Kawchuk GN, Childs JD, Parent EC, Gill NW, Teyhen DS. Association between changes in abdominal and lumbar multifidus muscle thickness and clinical improvement after spinal manipulation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011.

Hides JA, Lambrecht G, Richardson CA, Stanton WR, Armbrecht G, Pruett C, Damann V, Felsenberg D, Belavý DL. The effects of rehabilitation on the muscles of the trunk following prolonged bed. *Eur Spine J.* 2011.



Teyhen DS, George SZ, Dugan JL, Williamson J, Neilson BD, Childs JD. Interrater reliability of ultrasound imaging of the trunk musculature among novice raters. *J Ultrasound Med.*

Teyhen DS, Stoltenberg BE, Eckard TG, Doyle PM, Boland DM, Feldtmann JJ, McPoil TG, Christie DS, Molloy JM, Goffar SL. Static foot posture associated with dynamic plantar pressure parameters. *J Orthop Sports Phys Ther.*

Belavý DL, Armbrecht G, Richardson CA, Felsenberg D, Hides JA. Muscle atrophy and changes in spinal morphology: is the lumbar spine vulnerable after prolonged bedrest. *Spine (Phila Pa 1976).*

Belavý DL, Armbrecht G, Gast U, Richardson CA, Hides JA, Felsenberg D. Countermeasures against lumbar spine deconditioning in prolonged bed rest: resistive exercise with and without whole body vibration. *J Appl Physiol.*

Hides JA, Stanton WR, Wilson SJ, Freke M, McMahon S, Sims K. Retraining motor control of abdominal muscles among elite cricketers with low back pain. *Scand J Med Sci Sports.*

Bentman S, O'Sullivan C, Stokes M. Thickness of the middle trapezius muscle measured by rehabilitative ultrasound imaging: description of the technique and reliability study. *Clin Physiol Funct Imaging.*

Childs JD, Teyhen DS, Casey PR, McCoy-Singh KA, Feldtmann AW, Wright AC, Dugan JL, Wu SS, George SZ. Effects of traditional sit-up training versus core stabilization exercises on short-term musculoskeletal injuries in US Army soldiers: a cluster randomized trial. *Phys Ther.*

Mendis MD, Wilson SJ, Stanton W, Hides JA. Validity of real-time ultrasound imaging to measure anterior hip muscle size: a comparison with magnetic resonance imaging. *J Orthop Sports Phys Ther.*

Hebert JJ, Marcus RL, Koppenhaver SL, Fritz JM. Postoperative rehabilitation following lumbar discectomy with quantification of trunk muscle morphology and function: a case report and review of the literature. *J Orthop Sports Phys Ther.*

Teyhen DS, Christ TR, Ballas ER, Hoppes CW, Walters JD, Christie DS, Dreitzler G, Kane EJ. Digital fluoroscopic video assessment of glenohumeral migration: Static vs. Dynamic conditions. *J Biomech.*

Hebert JJ, Koppenhaver SL, Magel JS, Fritz JM. The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus activation and prognostic factors for clinical success with a stabilization exercise program: a cross-sectional study. *Arch Phys Med Rehabil.*



Dilani Mendis M, Hides JA, Wilson SJ, Grimaldi A, Belavý DL, Stanton W, Felsenberg D, Rittweger J, Richardson C. Effect of prolonged bed rest on the anterior hip muscles. *Gait Posture*.

Hebert JJ, Koppenhaver SL, Parent EC, Fritz JM. A systematic review of the reliability of rehabilitative ultrasound imaging for the quantitative assessment of the abdominal and lumbar trunk muscles. *Spine (Phila Pa 1976)*.

Teyhen DS, Bluemle LN, Dolbeer JA, Baker SE, Molloy JM, Whittaker J, Childs JD. Changes in lateral abdominal muscle thickness during the abdominal drawing-in maneuver in those with lumbopelvic pain. *J Orthop Sports Phys Ther*.

Childs JD, Teyhen DS, Benedict TM, Morris JB, Fortenberry AD, McQueen RM, Preston JB, Wright AC, Dugan JL, George SZ. Effects of sit-up training versus core stabilization exercises on sit-up performance. *Med Sci Sports Exerc*.

Royer PJ, Kane EJ, Parks KE, Morrow JC, Moravec RR, Christie DS, Teyhen DS. Fluoroscopic assessment of rotator cuff fatigue on glenohumeral arthrokinematics in shoulder impingement syndrome. *J Shoulder Elbow Surg*.

Whittaker JL, Warner MB, Stokes MJ. Induced transducer orientation during ultrasound imaging: effects on abdominal muscle thickness and bladder position. *Ultrasound Med Biol*.

O'Sullivan C, Meaney J, Boyle G, Gormley J, Stokes M. The validity of Rehabilitative Ultrasound Imaging for measurement of trapezius muscle thickness. *Man Ther*.

Claus AP, Hides JA, Moseley GL, Hodges PW. Is 'ideal' sitting posture real? Measurement of spinal curves in four sitting postures. *Man Ther*.

Boyles RE, Ritland BM, Miracle BM, Barclay DM, Faul MS, Moore JH, Koppenhaver SL, Wainner RS. The short-term effects of thoracic spine thrust manipulation on patients with shoulder impingement syndrome. *Man Ther*.

Koppenhaver SL, Parent EC, Teyhen DS, Hebert JJ, Fritz JM. The effect of averaging multiple trials on measurement error during ultrasound imaging of transversus abdominis and lumbar multifidus muscles in individuals with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther*.

Molloy JM, Christie DS, Teyhen DS, Yeykal NS, Tragord BS, Neal MS, Nelson ES, McPoil T. Effect of running shoe type on the distribution and magnitude of plantar pressures in individuals with low- or high-arched feet. *J Am Podiatr Med Assoc*.

George SZ, Teyhen DS, Wu SS, Wright AC, Dugan JL, Yang G, Robinson ME, Childs JD. Psychosocial education improves low back pain beliefs: results from a cluster randomized clinical trial (NCT00373009) in a primary prevention setting. *Eur Spine J*.



Teyhen DS, Williamson JN, Carlson NH, Suttles ST, O'Laughlin SJ, Whittaker JL, Goffar SL, Childs JD. Ultrasound characteristics of the deep abdominal muscles during the active straight leg raise test. *Arch Phys Med Rehabil*.

Teyhen DS, Stoltenberg BE, Collinsworth KM, Giesel CL, Williams DG, Kardouni CH, Molloy JM, Goffar SL, Christie DS, McPoil T. Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. *Clin Biomech (Bristol,Avon)*.

Claus AP, Hides JA, Moseley GL, Hodges PW. Different ways to balance the spine: subtle changes in sagittal spinal curves affect regional muscle activity. *Spine (Phila Pa 1976)*.

Koppenhaver SL, Hebert JJ, Parent EC, Fritz JM. Rehabilitative ultrasound imaging is a valid measure of trunk muscle size and activation during most isometric sub-maximal contractions: a systematic review. *Aust J Physiother*.