



BIOMECÁNICA DE LA CADERA

Luis del Águila, Ph.D.

BIOMECÁNICA DEL SISTEMA MUSCULAR



El estudio de la biomecánica del movimiento humano es tremendamente complejo, e involucra disciplinas ligadas a la física, matemáticas (trigonometría), mecánica, anatomía, fisiología y neurología. El conocimiento de los principios biomecánicos es clave para examinar fuerzas externas e internas que intervienen en el control del movimiento. Examinaremos el movimiento humano desde el punto de vista biomecánico, y en relación a los diferentes ejes articulares con sus correspondientes planos de movimiento. En el estudio de la biomecánica y la cinemática del cuerpo humano hemos de considerar que las fuerzas son rotacionales, y por lo tanto torques (T). Además veremos cómo el T varía a lo largo del ROM, configurando el perfil de resistencia. El papel del sistema NeuroMuscular (NM) humano para generar fuerzas internas, y contrarrestar fuerzas externas, es fundamental para dar estabilidad a la articulación. El conocimiento de la biomecánica de la cadera, además de su interacción con el sistema nervioso, es clave para el tratamiento de cualquier lesión, o de la mejora del rendimiento en el ejercicio físico.

Kinesiología del movimiento humano

Las personas tenemos la capacidad de movimiento en prácticamente una variedad infinita de posturas y gestos que requieren de una estructura músculo-esquelética. Un conocimiento de los principios del movimiento, tanto desde el punto de vista biomecánico como físico, es fundamental para poder estudiar, entrenar y tratar disfunciones del sistema muscular.

La biomecánica del movimiento es complejo, con articulaciones sobre las cuales multitud de ejes y planos configuran el movimiento regido por el sistema nervioso. En anteriores capítulos hemos estudiado el role del sistema nervioso en la orquestación de la activación del sistema muscular con el fin último de la estabilidad articular. Aquí, nos centraremos en los aspectos mecánicos y físicos del movimiento, teniendo en cuenta que la integración entre el sistema nervioso y la cinemática articular es clave para el movimiento humano sin dolor.

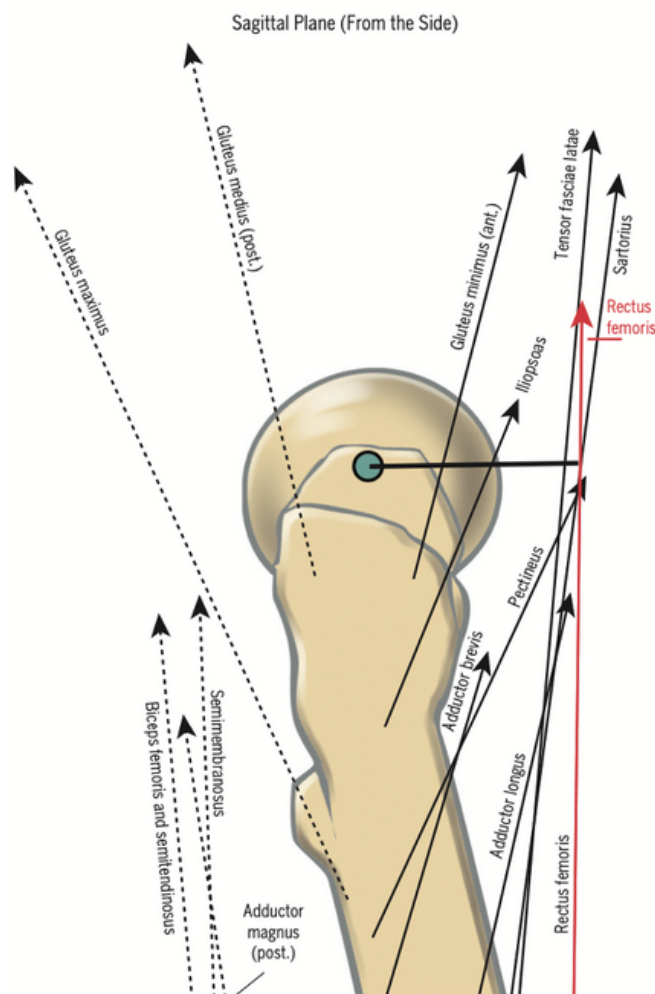
El objetivo de este capítulo será comprender el movimiento humano desde el punto de vista biomecánico, y examinaremos los diferentes ejes articulares con sus correspondientes planos de movimiento.

Ejes y Planos de movimiento.

Aunque los músculos del cuerpo humano tengan tamaños y formas diferentes entre sí, podemos definir características universales para todos ellos. El músculo se une al hueso a través de tejido conectivo denominado tendón, el cual a su vez tiene una gran variedad de tamaño y forma en cuerpo humano. No obstante, todo músculo tiene un lugar de comienzo (origen) y otro de finalización (inserción). Una vez conocido el origen e inserción de cada músculo es relativamente sencillo conocer su función.

Esta información es determinante a la hora de comprender y tratar lesiones biomecánicas, traumáticas o anatómicas. Será crítico conocer la anatomía de cada músculo (origen e inserción) para poder ejercer una acción de manipulación terapéutica sobre el mismo. En definitiva, la anatomía del músculo nos da claves sobre cómo debe reflejarse en el normal funcionamiento del músculo, con patrones de movimiento bien definidos. De igual manera, será importante conocer la biomecánica de cada músculo, ya que nos dará pistas sobre cómo actuar y posibles orígenes de lesiones. La anatomía muscular nos lleva a la biomecánica. Sería difícil trabajar el sistema muscular sin conocer su anatomía, y por su puesto su biomecánica.

El cuerpo humano tiene infinidad de opciones de movimiento con prácticamente infinitos ejes. Sin embargo, por simplicidad, la cinemática del cuerpo humano se ha ubicado en el espacio a través del sistema de coordenadas cartesianas como referencia (ejes x, y, z) con el correspondiente centro de masas, y los correspondientes tres planos anatómicos (sagital, horizontal y transversal). El eje x recorre el cuerpo de lateral a medial (LM). El eje y va de superior a inferior (SI). El eje z transcurre de anterior a posterior (AP). De igual manera, aunque el movimiento humano puede transcurrir en infinitos planos, se han descrito tres planos de movimientos (segmentos rotacionales) que ocurren en torno a los tres ejes. El segmento que rota en torno al eje SI corresponde al plano sagital. El segmento con movimiento rotacional entorno al eje LM corresponde al plano frontal. El segmento con movimiento rotacional entorno al eje AP es el plano sagital.



Vista lateral del plano sagital; eje LM indicando las fuerzas implicadas en la flexo-extensión de cadera. Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review.

La biomecánica de la cadera desempeña un papel crucial tanto en el rendimiento deportivo como en la prevención de lesiones. Esta región anatómica, que conecta el tronco con los miembros inferiores, actúa como un eje fundamental de transmisión de fuerzas. Comprender su funcionamiento desde un enfoque biomecánico es esencial para optimizar el movimiento humano, especialmente en disciplinas como la carrera, el ciclismo o el entrenamiento funcional.

La cadera es una articulación esferoidea formada por el acetábulo de la pelvis y la cabeza del fémur. Permite movimiento en los tres planos:

- Plano sagital: flexión y extensión
- Plano frontal: abducción y aducción
- Plano transversal: rotación interna y externa

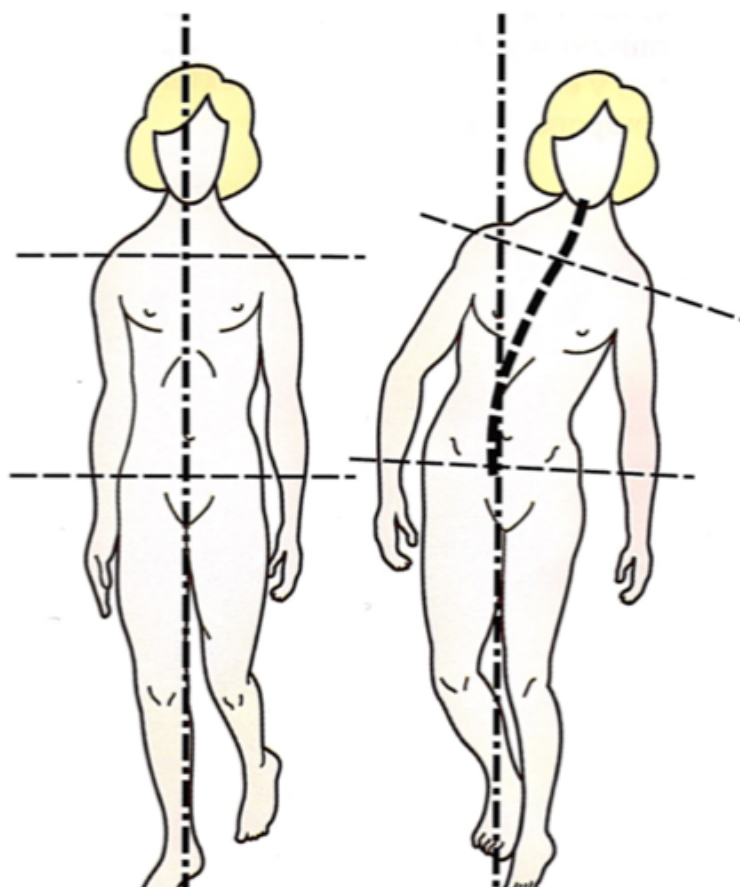
En el plano transversal, la rotación de la cadera (externa e interna) se analiza con respecto al plano SI (sacroilíaco). El glúteo mayor es el principal responsable de la rotación externa, aunque sus fibras superiores pueden invertir su función en rotación interna al acercarse a la flexión máxima de cadera. Otros rotadores externos incluyen las fibras posteriores del glúteo medio y menor, el obturador externo, sartorio y la cabeza larga del bíceps femoral.

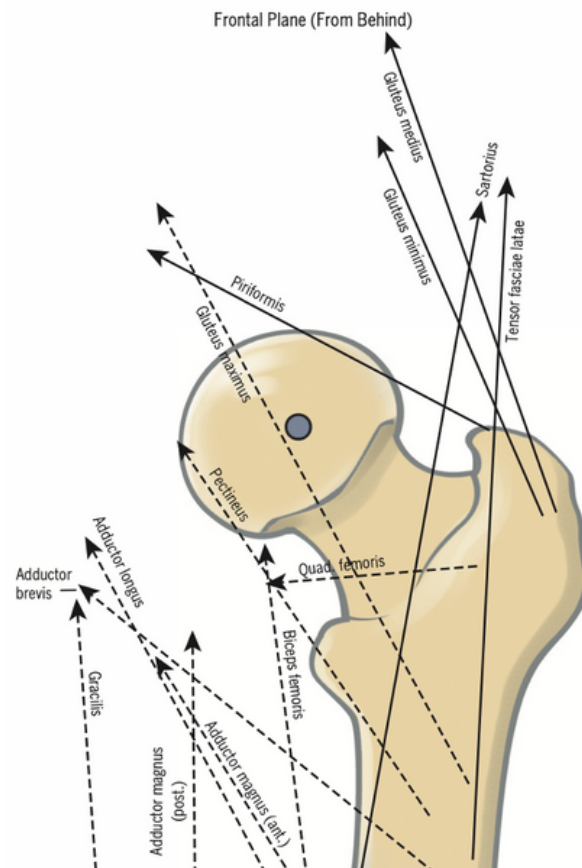
Los músculos plevitrocantéreos, con orientación de fibras cercana a 90° respecto al eje SI, son también rotadores externos clave. Esta disposición les permite estabilizar la pelvis durante rotaciones de tronco y pelvis en apoyo monopodal, como ocurre en la carrera. Su papel en la estabilidad dinámica de la cadera a alta velocidad es esencial.

En cuanto a la rotación interna, están implicados los aductores, fibras anteriores del glúteo medio y menor, y el tensor de la fascia lata (TFL). A diferencia de los rotadores externos, estos músculos carecen de una orientación horizontal clara, lo que les da mayor torque en planos sagital y frontal. Sin embargo, con la cadera flexionada a 90º, su torque rotacional interno aumenta de forma considerable, y también la orientación transversal de sus fibras.

Estos detalles anatómicos y funcionales son clave para los fisioterapeutas y entrenadores a la hora de planificar programas de tratamiento o entrenamiento que busquen equilibrio funcional y estabilidad pélvica.

La mecánica de abducción es fundamental estabilizar cadera, fundamentalmente en apoyo monopodal, contrarrestando el torque gravitacional que provocaría una aducción de cadera reversa. Tal y como se muestra en figura de abajo, una inadecuada función muscular de los abductores de cadera, especialmente glúteo medio, implicaría no poder contrarrestar el torque aductor durante el apoyo, dando lugar a una “caída de la pelvis” (“pelvis drop”), normalmente asociado a una flexión lateral de columna ipsilateral (Marcha de Trendelenburg).





Vista posterior del plano frontal, eje AP indicando las fuerzas implicadas en la abducción-aducción de cadera. Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review.

Torque, ROM y perfil de resistencia

En el estudio de la biomecánica y la cinemática de la cadera, es vital considerar que las fuerzas internas y externas generan torques (T), y que éstos varían a lo largo del rango de movimiento (ROM). El perfil de resistencia cambia según la posición articular, lo que obliga al sistema neuromuscular a ajustar su respuesta para mantener la estabilidad y eficiencia del movimiento. En el caso de la rotación interna, este torque es fundamental en fases como la carga media en la carrera, donde estabiliza la cadera y evita colapsos mediales.

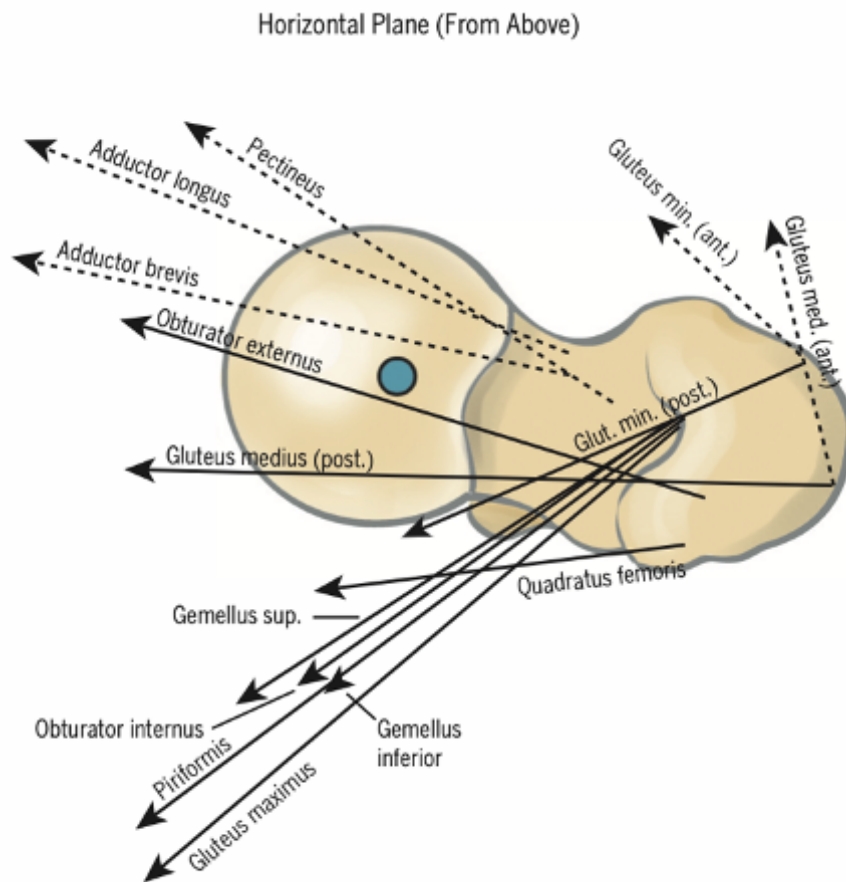
Biomecánica muscular plano transversal – Eje SL

En el plano transversal podemos identificar rotación externa / interna con respecto al plano SI.

Importancia neuromuscular

El sistema neuromuscular (NM) es responsable de generar las fuerzas internas necesarias para contrarrestar las externas, especialmente durante actividades como correr o levantar peso. Un correcto reclutamiento de unidades motoras y una activación sincronizada de los grupos musculares es esencial para evitar compensaciones que puedan derivar en sobrecargas articulares o lesiones por uso excesivo.

La rotación interna depende de la activación coordinada de músculos como el glúteo medio (porción anterior), tensor de la fascia lata y parte de los aductores. Si estos no funcionan adecuadamente, la cadera pierde estabilidad y se incrementa el riesgo de lesión en rodilla o tobillo.



Vista superior del plano transversal, eje SI, indicando las fuerzas implicadas en la rotación externa-interna de cadera. Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review.

El valor del trabajo isométrico en la cadera

Cuando se trata de rehabilitación y mejora funcional, los ejercicios isométricos son una herramienta muy potente para el tratamiento de lesiones musculares y tendinosas. Su aplicación en la cadera, especialmente en casos como la tendinopatía del glúteo medio, resulta de gran utilidad.

- Reducción del dolor sin agravar la lesión: Al no haber movimiento, el riesgo de agravar la lesión se reduce significativamente. Es ideal para fases tempranas de rehabilitación.
- Activación neuromuscular controlada: Mejora la conexión entre el sistema nervioso y el músculo afectado, restaurando patrones motores.
- Estimula la regeneración tisular: Favorece rutas bioquímicas de reparación y vascularización.

Aplicaciones comunes: lesiones de cadera, fascitis plantar, tendinopatías del manguito rotador, isquiotibiales, rotuliana, aquilea, epicondilitis.

Ejemplo práctico en cadera: para una tendinopatía del glúteo medio, se puede realizar una contracción isométrica en el punto de máximo rango de movimiento. Se mantiene la contracción durante seis segundos con una intensidad baja (2/10), permitiendo sentir una leve activación sin dolor, asegurando una pelvis estable y controlada.

Patrones de disfunción y riesgo de lesión

Alteraciones en la biomecánica de la cadera pueden causar:

- Dolor lumbar (por falta de extensión de cadera)
- Tendinopatías glúteas o del psoas
- Sobrecarga en rodillas o tobillos por falta de estabilidad proximal
- Valgo dinámico de rodilla asociado a déficit de rotación interna

Evaluar la movilidad, fuerza y control neuromuscular de la cadera, especialmente la rotación interna, permite identificar estos patrones y corregirlos a través de programas de entrenamiento personalizados.

Aplicaciones para el rendimiento deportivo

Una cadera funcional mejora la economía de carrera, permite transferencias de fuerza eficientes y reduce el riesgo de fatiga prematura. Ejercicios como el trabajo unilateral, la activación del glúteo medio y los patrones de estabilización en carga son fundamentales en programas de entrenamiento orientados al rendimiento.

Trabajar específicamente la rotación interna, mediante ejercicios de movilidad, activación neuromuscular y trabajo isométrico, ayuda a optimizar la alineación de la extremidad inferior y prevenir lesiones comunes como la condromalacia rotuliana o la fascitis plantar.

Conclusión

Comprender la biomecánica de la cadera es esencial para todo entrenador, fisioterapeuta o deportista que busque mejorar el rendimiento y prevenir lesiones. Este enfoque debe combinar el análisis del movimiento con una intervención específica basada en la evidencia científica. En particular, el trabajo sobre la rotación interna, el análisis del plano transversal y la integración de ejercicios isométricos deben ser componentes esenciales de cualquier programa de entrenamiento y rehabilitación.

ENLACE A VIDEO

EJERCICIO EN ISOMÉTRICO PARA ROTACIÓN INTERNA DE CADERA

