BIOMECÁNICA DE LA RODILLA

Luis del Águila, Ph.D.



3. BIOMECÁNICA DEL SISTEMA MUSCULAR

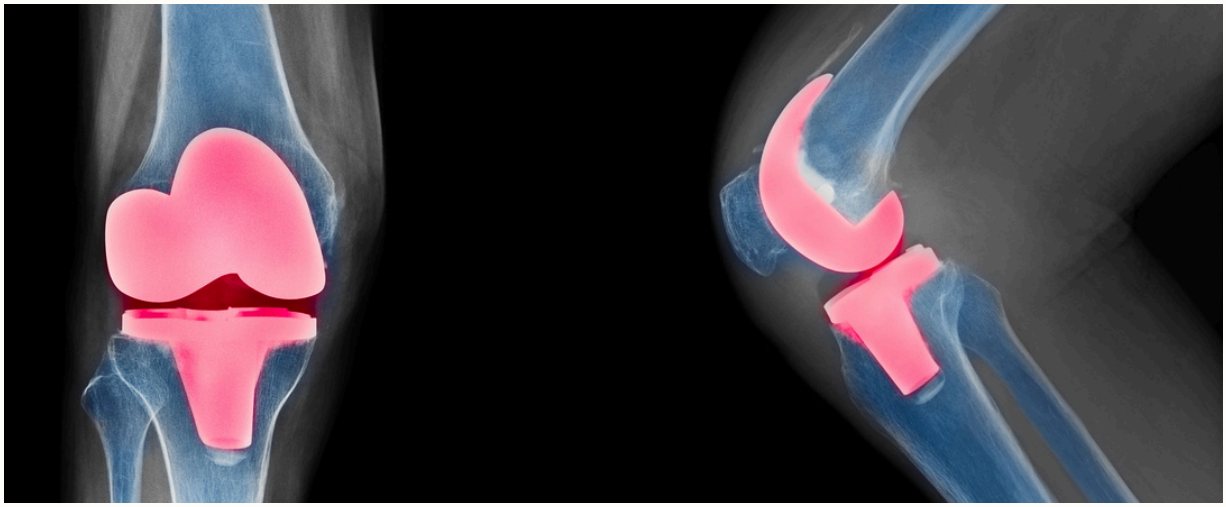


El estudio del movimiento humano desde la biomecánica es extraordinariamente complejo, ya que integra conocimientos de física, trigonometría, mecánica, anatomía, fisiología y neurociencia. Comprender los principios biomecánicos es esencial para analizar las fuerzas internas y externas que participan en el control y ejecución del movimiento.

En este contexto, abordaremos el análisis del cuerpo humano desde la perspectiva biomecánica, considerando los ejes articulares y sus respectivos planos de movimiento. Es importante tener en cuenta que las fuerzas que actúan en el sistema musculoesquelético son principalmente rotacionales, generando torques (T), cuya magnitud varía a lo largo del rango de movimiento (ROM), configurando lo que se conoce como perfil de resistencia.

El sistema neuromuscular (NM) desempeña un papel clave, ya que es el encargado de generar fuerzas internas capaces de contrarrestar las fuerzas externas, garantizando así la estabilidad articular. Por tanto, el conocimiento profundo de la biomecánica de articulaciones como la cadera, rodilla, tobillo, columna vertebral, hombro y codo —y su interacción con la musculatura implicada y el control ejercido por el sistema nervioso— resulta fundamental tanto para el tratamiento de lesiones como para la optimización del rendimiento físico.

PALABRAS CLAVE



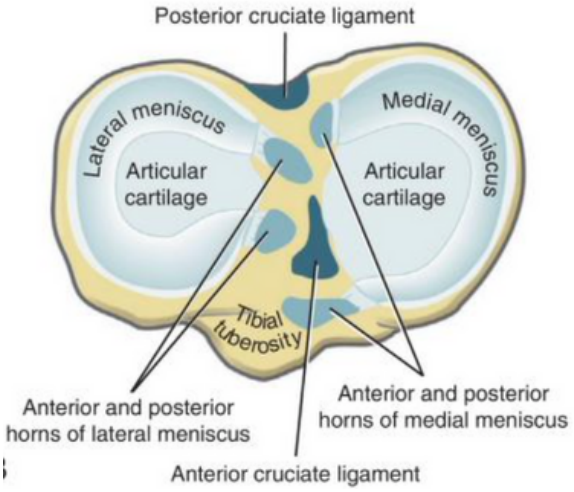
Biomecánica, articulación, sistema neuromuscular, anatomía muscular, torque articular, torque muscular, cinemática, control nervioso, fuerza.

Rodilla

Biomecánica funcional de la rodilla en la carrera

El movimiento principal de la rodilla se produce en el plano sagital, permitiendo la flexión y la extensión. No obstante, también participa en el plano transversal mediante rotaciones interna y externa. Estos movimientos no ocurren de forma aislada: están estrechamente coordinados con la mecánica de la cadera y del complejo tobillo-pie. De hecho, aproximadamente dos tercios de los músculos que cruzan la rodilla también actúan sobre la cadera o el tobillo, lo que evidencia su integración funcional.

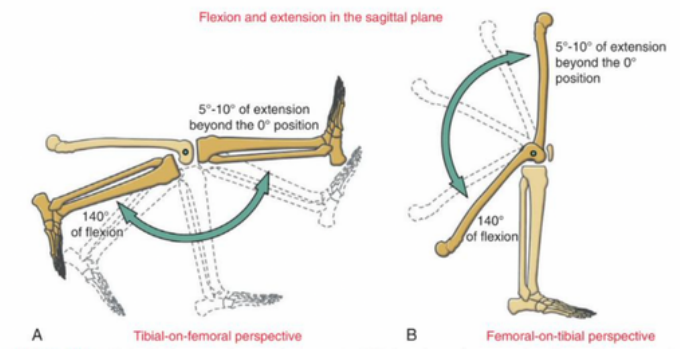
Desde el punto de vista biomecánico, la rodilla desempeña un papel fundamental en la mecánica de la carrera. Durante la fase de oscilación de la pierna, los músculos flexores y extensores de la rodilla son determinantes para preparar un contacto eficaz del pie con el suelo. Asimismo, en acciones que implican cambios bruscos de dirección, la capacidad de la rodilla para rotar —ya sea interna o externamente— se vuelve especialmente relevante para mantener la estabilidad y evitar lesiones.



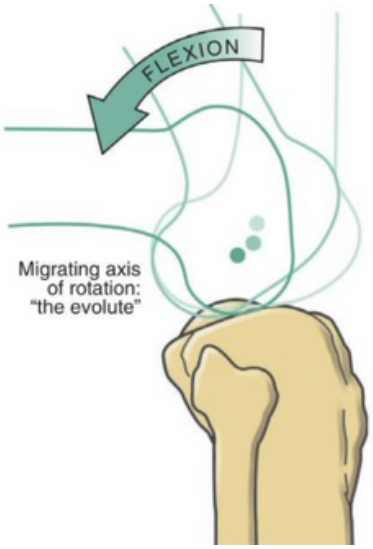
Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review

Movimiento en la articulación tibiofemoral

La articulación tibiofemoral permite el movimiento en el plano sagital, facilitando los gestos de flexión y extensión alrededor del eje lateromedial (LM). El rango de movimiento (ROM) funcional de esta articulación oscila entre los 130 y 150 grados de flexión, y puede extenderse ligeramente más allá de la extensión completa (0°), alcanzando entre 5 y 10 grados de hiperextensión en algunos individuos.



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



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

En el plano transversal, y respecto al eje superoinferior (SI), la articulación tibiofemoral permite movimientos de rotación interna y externa, especialmente cuando la rodilla se encuentra en posición de flexión. Con el fémur fijo, la rotación interna implica un desplazamiento medial de la tuberosidad tibial, mientras que la rotación externa conlleva un desplazamiento lateral.

La amplitud de movimiento (ROM) en rotación axial está directamente relacionada con el grado de flexión de la rodilla, siendo máxima alrededor de los 90° de flexión. En estas condiciones, puede alcanzarse un rango total de rotación de entre 40 y 45 grados, siendo habitualmente mayor el rango de rotación externa que el de rotación interna.

Biomecánica muscular de la rodilla

Desde el punto de vista funcional, la musculatura que actúa sobre la rodilla puede agruparse en dos grandes conjuntos: los músculos extensores y los músculos flexores-rotadores.

Biomecánica muscular extensora de rodilla.

El principal grupo responsable de la extensión de la rodilla es el cuádriceps femoral, compuesto por cuatro músculos: recto femoral, vasto medial, vasto intermedio y vasto lateral. Los tres vastos son monoarticulares y actúan exclusivamente sobre la articulación de la rodilla, mientras que el recto femoral es biarticular, participando tanto en la extensión de rodilla como en la flexión de cadera.

Todos estos músculos convergen en un tendón común que se inserta en la rótula, formando el tendón del cuádriceps. Desde allí, la fuerza se transmite a la tuberosidad tibial a través del tendón rotuliano, lo que permite la extensión efectiva de la pierna sobre el muslo.

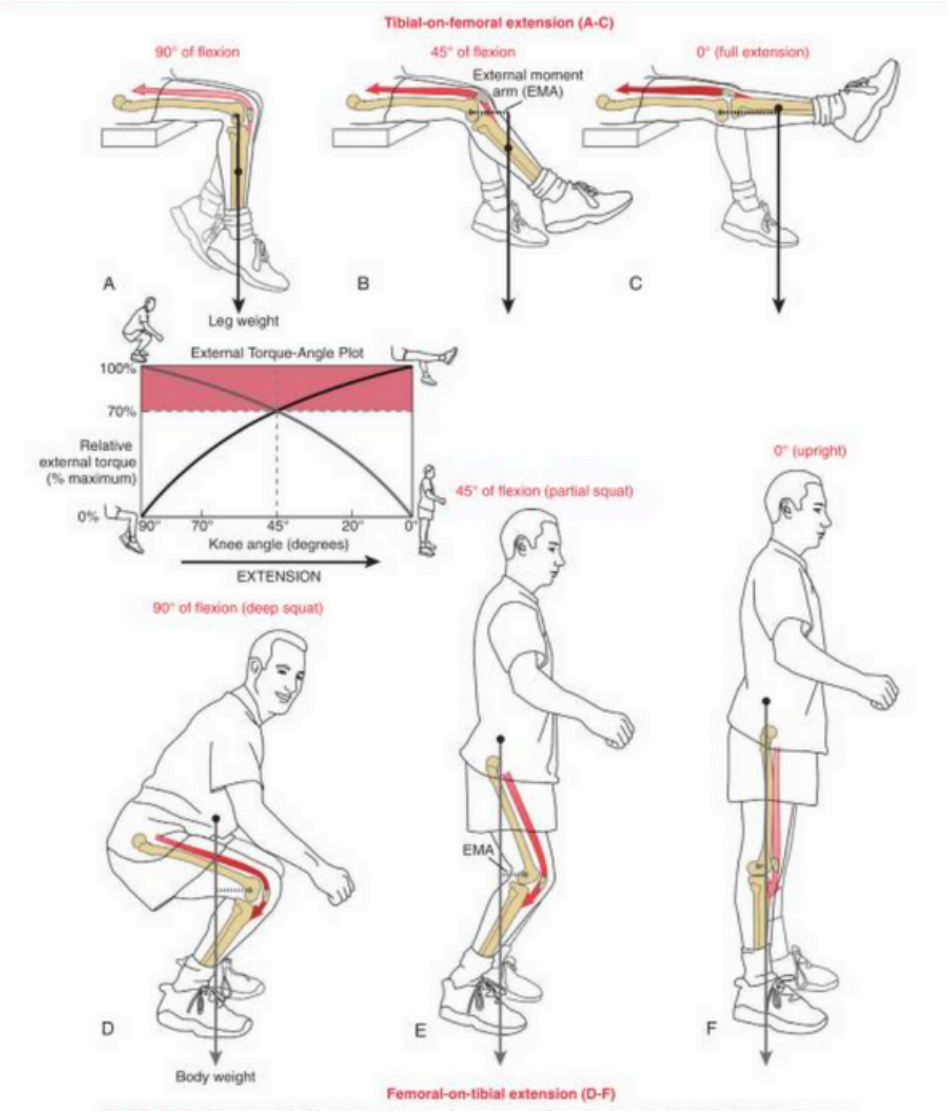
Fortalecimiento muscular y torque en la rodilla

Los ejercicios de fortalecimiento de rodilla son frecuentemente utilizados en procesos de rehabilitación y readaptación tras lesiones deportivas. Es fundamental tener en cuenta que, como ocurre con el resto de los grupos musculares del cuerpo, el torque generado varía a lo largo del rango de movimiento (ROM).

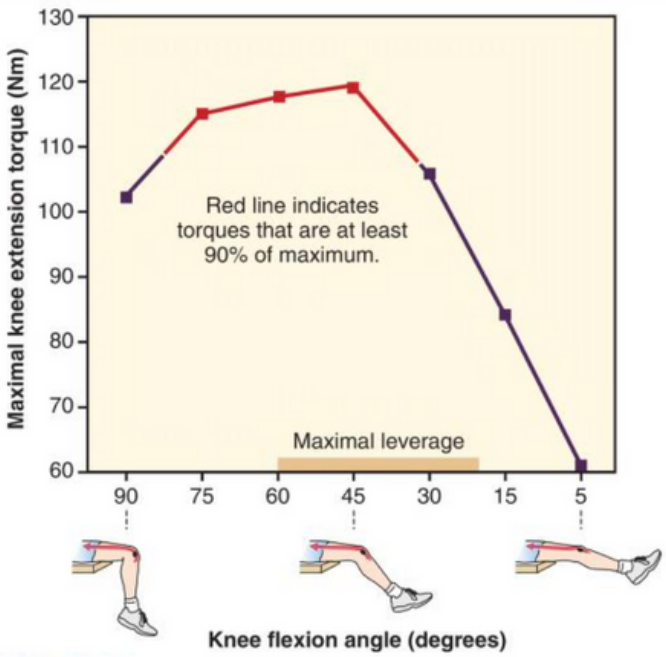
Dos ejercicios clásicos en el trabajo de extensión de rodilla son la extensión de cuádriceps en máquina (movimiento de la tibia respecto al fémur) y la sentadilla (movimiento del fémur respecto a la tibia). Ambos presentan perfiles de resistencia muy distintos —e incluso opuestos— en cuanto a la distribución del torque a lo largo del ROM. Esta diferencia debe considerarse cuidadosamente al seleccionar ejercicios, especialmente en función del tipo de lesión o fase del proceso de recuperación.

Desde el punto de vista biomecánico, cualquier torque externo con vector hacia la flexión de rodilla debe ser contrarrestado por un torque interno en sentido opuesto, es decir, hacia la extensión. La capacidad del sistema neuromuscular para generar torque interno varía con el ángulo de flexión: el rango óptimo se sitúa aproximadamente entre 45° y 75°, donde se alcanza el pico de producción de fuerza. En los extremos del movimiento (cercanos a 0° o más allá de 90°), la generación de torque disminuye.

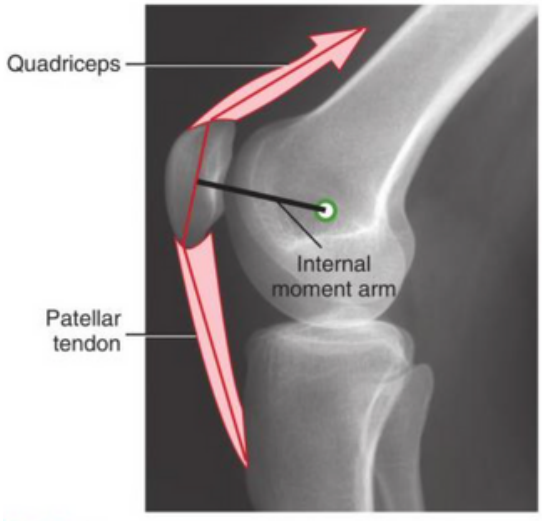
Además, el torque interno también puede verse modificado por la posición de la cadera o por la velocidad de ejecución del movimiento, lo que añade otra capa de complejidad al diseño de programas de entrenamiento o rehabilitación efectivos.



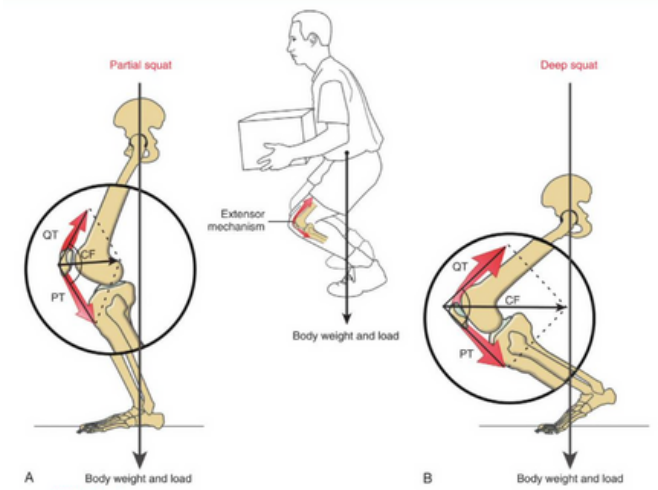
Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review



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



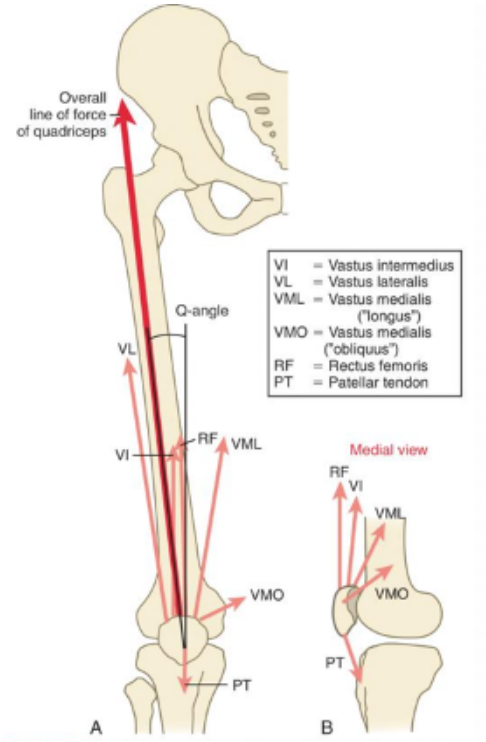
Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review.



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 rótula cumple una función clave en la biomecánica de la rodilla, al aumentar la superficie de contacto en la región donde se concentran mayores fuerzas compresivas. Este mecanismo permite distribuir mejor dichas fuerzas, reduciendo el estrés sobre el cartílago articular y protegiendo así la articulación frente a procesos degenerativos y potenciales lesiones.

Sin embargo, en algunas personas, las fuerzas compresivas que actúan sobre la articulación patelofemoral pueden superar la capacidad adaptativa del sistema, favoreciendo el desarrollo del síndrome de dolor patelofemoral, una de las causas más comunes de dolor anterior de rodilla.



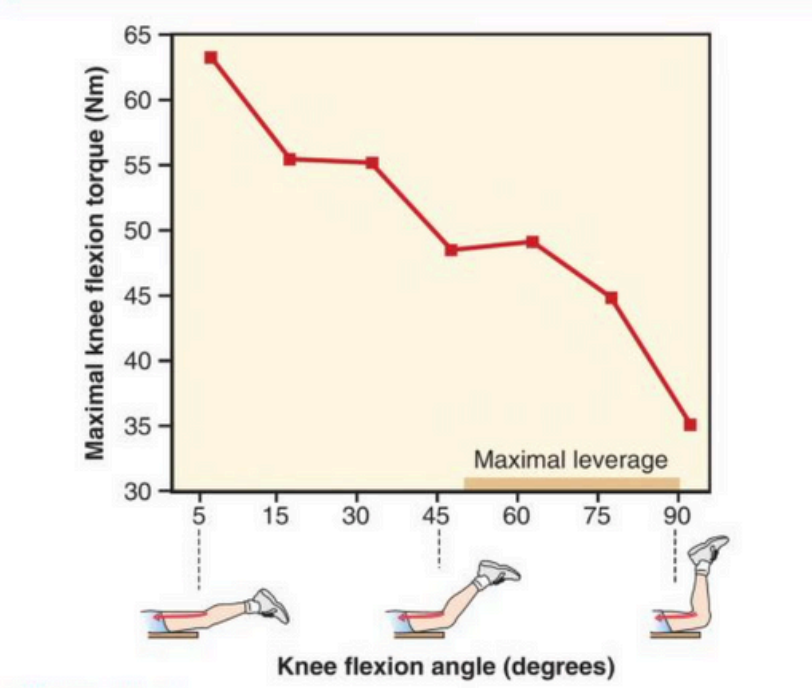
Neumann DA. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):82-94. doi: 10.2519/jospt.2010.3025. Review.

Biomecánica de la musculatura flexora de la rodilla

Los principales músculos responsables de la flexión de rodilla incluyen al grupo isquiosural (semimembranoso, semitendinoso y bíceps femoral), así como al gastrocnemio, plantar delgado, sartorio, grácil y poplíteo.

Los isquiosurales se originan, en su mayoría, en la tuberosidad isquiática. El bíceps femoral presenta dos cabezas: la cabeza larga comparte ese origen isquiático, mientras que la cabeza corta se inserta en el tercio distal de la línea áspera del fémur. A nivel distal, todos los isquiosurales atraviesan el eje de rotación de la rodilla, lo que les confiere capacidad para generar flexión en esta articulación.

Además, excepto la cabeza corta del bíceps femoral —que no cruza la cadera—, los demás músculos isquiosurales también actúan como extensores de cadera, desempeñando un papel clave en la propulsión y la estabilización del tronco durante la marcha, la carrera o el salto.



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

Ejercicios para fortalecer la rodilla

- Ejercicios para trabajar la rotación y control neuromuscular

Rotación interna de rodilla(haz link)



Rotación externa de rodilla (haz link)

