

Tipo de artículo: Artículo original

Evaluación cinemática del aterrizaje en lesiones traumáticas de rodilla en jugadoras de voleibol

Kinematic evaluation of landing in traumatic knee injuries in volleyball players

Iván Paúl Meneses Villarroel ¹ , <https://orcid.org/0009-0000-0541-1720>

Victoria Espín Pastor ² , <https://orcid.org/0000-0002-0500-1948>

Andrea Carolina Peñafiel Luna ³ , <https://orcid.org/0000-0003-3360-4030>

Lisbeth Josefina Reales Chacón ^{4*} , <https://orcid.org/0000-0002-4242-3429>

¹ Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

² Licenciada en Terapia Física, MSc en fisioterapia deportiva y readaptación a la actividad física. Docente de la Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. ve.espin@uta.edu.ec

³ Licenciada en Terapia Física, Mg. en Terapia Manual Ortopédica, Docente de la Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. ac.penafiel@uta.edu.ec

⁴ Esp Medicina Interna, PHD en Educación. Docente Universidad Técnica de Ambato, Carrera de Fisioterapia Ecuador/ Ambato. lj.reales@uta.edu.ec

* Autor para correspondencia: lj.reales@uta.edu.ec

Resumen

La fase de salto y aterrizaje producidas por valgo dinámico están asociadas a traumatismo agudo en mujeres que practican voleibol. El objetivo de la investigación es evaluar la cinemática del aterrizaje en lesiones traumáticas de rodilla en jugadoras de voleibol y almacenar los resultados en una base de datos para estudios posteriores. Se utilizó un diseño cualitativo del análisis cinemático de cadera, rodilla y tobillo a través de la observación de 4 videos escogidos por muestreo intencional en la plataforma YouTube. El análisis fue una descripción inter-observacional de los expertos. Los resultados identificados encontraron que: Antes del aterrizaje: miembro inferior (MI) al contactar el suelo presenta menor amplitud de abducción de cadera (ABDc) en comparación con la que no apoya, rodilla en extensión sin valgo, tobillo en plantiflexión. Inmediatamente en contacto con el suelo: MI contacta el suelo, cadera con ángulos más pequeños de abducción (ABD) que la contralateral, tres jugadoras presentaban una ligera rotación interna de cadera. La rodilla en extensión, contacta el antepié con el suelo, observándose la plantiflexión de tobillo. Carga de peso: MI realizó el apoyo en aterrizaje presenta flexión de rodilla con amplitudes excesivas de valgo dinámico. Cadera en abducción disminuye ángulos. La velocidad en que produce la lesión desde el contacto con el suelo, oscilo entre 100 milisegundos (ms) a 333ms. Conclusión: traumatismo de rodilla en jugadoras de voleibol produce en aterrizajes con una sola pierna después de saltos horizontales y laterales con contramovimiento. Cadera presenta abducción más de 45°, miembro inferior que no apoya el suelo antes y durante el aterrizaje y el apoyo en el suelo con el antepié y el tobillo con plantiflexión. Los datos extraídos de los vídeos fueron tabulados en una base de datos relacional para futuros análisis.

Palabras clave: biomecánica; cinemática; base de datos; traumatismos de la rodilla; voleibol



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Abstract

The jump and landing phase produced by dynamic valgus are associated with acute trauma in women who play volleyball. The objective of the research is to evaluate the landing kinematics in traumatic knee injuries in volleyball players and store the results in a database for further studies. A qualitative design of the kinematic analysis of the hip, knee and ankle was used through the observation of 4 videos chosen by intentional sampling on the YouTube platform. The analysis was an inter-observational description of the experts. The identified results found that: Before landing: lower limb (MI) when contacting the ground presents a lower amplitude of hip abduction (ABDc) compared to the one that does not support, knee in extension without valgus, ankle in plantar flexion. Immediately in contact with the ground: LH contacts the ground, hip with smaller abduction angles (ABD) than the contralateral, three players presented a slight internal rotation of the hip. The extended knee contacts the forefoot with the ground, observing the plantar flexion of the ankle. Weight bearing: MI performed the landing support, presenting knee flexion with excessive amplitudes of dynamic valgus. Hip abduction decreases angles. The speed at which the injury occurs from contact with the ground ranged from 100 milliseconds (ms) to 333ms. Conclusion: knee trauma in female volleyball players produces one-legged landings after countermovement horizontal and lateral jumps. Hip abduction of more than 45°, lower limb not touching the ground before and during landing, and support on the ground with the forefoot and ankle plantarflexed. The data extracted from the videos were tabulated in a relational database for future analysis.

Keywords: biomechanics; kinematics; database; knee injuries; volleyball

Recibido: 01/04/2023

Aceptado: 28/05/2023

En línea: 30/05/2023

Introducción

El voleibol es un deporte olímpico practicado por muchas personas alrededor del mundo, aumentando sus participantes cada día (Eerkes, 2012). La articulación de rodilla es la segunda zona del cuerpo más lesionada mediante un traumatismo agudo en mujeres que practican este deporte (Reeser et al., 2015). Las lesiones traumáticas de rodilla (LTR) están asociadas con la fase de salto y aterrizaje producidas por un valgo dinámico siendo más prevalente en el sexo femenino (Garcia et al., 2022; Sole et al., 2017). Las LTR actualmente se presentan con una tasa general de 4,3 por cada 1000 atletas activas, ocurre en la práctica con el 13,8% y de competencia el 16,4%. (Juhan et al., 2021; Kerr et al., 2014).

Las LTR producen lesiones en los ligamentos cruzado anterior (LCA), colateral medial (LCM) y en el menisco medial, principalmente por un valgo forzado de rodilla, el trauma de estas estructuras suele ocurrir por una sobrecarga imprevista (Tejeda et al., 2013). Las lesiones por LTR disminuyen el rendimiento y la presencia en el campo de juego, estos problemas conllevan a causar trastornos crónicos y limitación funcional en los deportistas (Reeser & Bahr, 2017). Las lesiones en el LCA y LCM suelen presentar una carga psicológica, debido al alto índice de ruptura que tienen, además en varios casos es necesario una intervención quirúrgica para prevenir una inestabilidad crónica y artrosis postraumática (Encinas-Ullán & Rodríguez-Merchán, 2018; Larwa et al., 2021) Mientras que en el menisco



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

medial puede darse una extrusión lo que fomenta la aparición temprana de artrosis y el tiempo que dure una lesión determina su seriedad (Li et al., 2019).

Las investigaciones se han centrado en evaluar el aterrizaje en personas no lesionadas y lesionadas. Sin embargo, no existen estudios que evalúen el mecanismo biomecánico en el momento exacto de la lesión para determinar posibles estrategias en la prevención y en la intervención fisioterapéutica. Determinar la cinemática de rodilla en el aterrizaje es fundamental debido a los factores de riesgo que se presentan en el entorno de las jugadoras de voleibol. Es por ello, que se plantea la interrogante de la investigación: ¿Cuáles son los mecanismos cinemáticos más frecuentes del miembro inferior en las lesiones traumáticas de rodilla en las jugadoras de voleibol?, siendo la prevención y tratamiento dentro de las lesiones traumáticas de rodilla fundamentales para los fisioterapeutas, médicos y deportistas. Para lo cual, este estudio tiene como objetivo evaluar la cinemática del aterrizaje en jugadoras de voleibol que presentan lesiones traumáticas agudas de rodilla y almacenar los resultados en una base de datos para estudios posteriores.

Materiales y métodos

La presente investigación presentó un diseño cualitativo de la cinemática de cadera, rodilla y tobillo a través de la observación de 4 videos escogidos por muestreo intencional en la plataforma YouTube bajo los términos “traumatismo de rodilla y voleibol” y “*knee injuries and volleyball*”, durante el periodo del 1 al 31 de marzo de 2023. Los participantes eran del género femenino y jugadoras profesionales de voleibol sin tomar en cuenta otras características sociodemográficas para el cumplimiento de este estudio.

Los criterios de inclusión fueron:

- Videos de jugadoras profesionales de voleibol.
- Sexo femenino.
- Posición de delantera.
- Traumatismo Agudo de Rodilla durante la actividad deportiva.
- Videos de vista frontal, lateral y posterior.
- Videos de origen de idioma en inglés y español.

Los criterios de exclusión fueron:

- Videos de traumatismos con dos articulaciones afectadas.



- Videos educativos sobre el juego.
- Videos sin vistas video gráficas claras.
- Videos sin calidad de imagen para poder ser revisados.

Las variables observadas en esta investigación fueron los momentos del aterrizaje (antes aterrizaje, contacto con el suelo y en la carga de peso) en los cuales se determinó los rangos de movimiento del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo). Además, se evaluó la velocidad de las LT de rodilla en milisegundos, definido desde el contacto con el suelo hasta que se produjo la lesión.

El método para medir las variables en esta investigación se apoyó en el programa Kinovea mediante la técnica observacional. El análisis de las variables se ejecutó a través de la descripción inter-observacional de los expertos en el área de biomecánica escogidos para este estudio. Se obtuvo un exento del comité de bioética por el tipo de estudio que se desarrolló. Además, no se publicará y difundirá nombres de las personas involucradas en la evaluación.

Base de datos relacional

La base de datos relacional desarrollada almacena la información relativa a los partidos de voleibol analizados y la información del archivo video del cual se extrajeron los datos. También se diseñó la posibilidad de almacenar los datos extraídos de fuentes diferentes como la observación directa. Se almacena toda la descripción y datos (país, región, alcance, fecha, género) de los “Partidos” y cada una de las características (edad, peso, altura, tiempo de juego, posición en el juego, lesiones anteriores) de las “Jugadoras” que tuvieron eventualidades de traumatismo agudo de rodilla ocurrido en aterrizaje con una sola pierna en saltos horizontales o saltos laterales. Se almacenan las características de los “Traumas” para realizar el correspondiente análisis cinemático, e identificar patrones comunes para futuros análisis y diagnósticos.

En este tipo de bases de datos se pueden establecer vínculos entre las distintas tablas, mediante el uso de códigos únicos (*primary keys* y *foreign keys*). Así, un partido es descrito en una tabla de partidos, la cual está vinculado a una o varias jugadoras. A las jugadoras se asocian los traumatismos y el tipo de saltos que los provocó. También se asocia la URL del video de donde se obtuvo la información para futuras comprobaciones.

Del mismo modo, se crean las fichas únicas para registro de eventos deportivos en una nueva tabla, a partir de las informaciones existentes en nuestra tabla de “Partidos”.



Resultados y discusión

Se analizaron 4 videos de jugadoras que presentaban lesión traumática en el aterrizaje. Las vistas de los videos fueron postero - laterales limitándose la toma de ángulos exactos de la cinemática del miembro inferior. Todas las jugadoras presentaban aterrizaje con una sola pierna después de saltos horizontales o saltos laterales.

Cinemática antes del aterrizaje

En la cinemática antes del aterrizaje del miembro inferior que no realizó contacto con el suelo se observó un rango de articulación amplio en la abducción de cadera (ABDc), aunque, los ángulos fueron distintos para cada jugadora, se evidenció que sobrepasaban los 45° de ABDc; tres jugadoras mostraron flexión de cadera (FLc) y una extensión de cadera (EXc); la posición de la articulación del tobillo fue indistinta en las jugadoras. El miembro inferior que va a tener contacto con el suelo se observó que presenta menor amplitud de ABDc en comparación con la que no va a realizar el apoyo, en la rodilla se encuentra en extensión sin presentar valgo, el tobillo se encontró en plantiflexión.

Figura 1



Figura 1. Cinemática antes del aterrizaje

Cinemática inmediatamente en contacto con el suelo

En el miembro inferior que no va a realizar el contacto con el suelo se evidenció las mismas características de la cinemática antes del apoyo. En el miembro inferior que realiza el contacto con el suelo, la cadera todavía presentaba



ángulos más pequeños de abducción (ABD) que la contralateral, tres de las algunas jugadoras presentaban una ligera rotación interna de cadera. La rodilla se encontraba en extensión y hace contacto con el suelo con el antepié, observándose aún la plantiflexión de tobillo. Figura 2.



Figura 2. Cinemática inmediatamente en el aterrizaje.

Cinemática en la carga de peso

El miembro inferior que realizó el apoyo en el aterrizaje presenta flexión de rodilla con amplitudes excesivas de valgo dinámico. Debido a la calidad de los videos no se observó la cinemática del pie y tobillo. La cadera que se encontraba en abducción disminuye sus ángulos. Además, la velocidad en la que se produce la lesión desde el contacto con el suelo hasta la lesión fue indistinta en cada jugadora, entre 100 milisegundos (ms) a 333ms. Figura 3.



Figura 3. Cinemática en la carga de peso

El presente estudio encontró que las jugadoras de voleibol que presentaban traumatismo agudo de rodilla ejecutaban un salto horizontal o salto lateral con contramovimiento (SCM) y aterrizaraban con una sola pierna. Generalmente, los aterrizajes del SCM se realizan con la extremidad inferior más extendida (Hovey et al., 2019). Antes del aterrizaje e



inmediatamente en contacto con el suelo las deportistas presentan una amplitud excesiva de ABD más allá de los 45° de la cadera que no realiza el aterrizaje y apoyan con el antepie en el suelo mediante una plantiflexión, mientras que en la carga de peso sucede el valgo dinámico dando como resultado un aterrizaje fallido. Esto puede ser debido a una disminución de la coordinación para atenuar la posición del centro de masa (DiCesare et al., 2020). Además, la rodilla contribuye con el 65%, la cadera con el 44% y el tobillo con el 11% en la estabilización en el aterrizaje después de un salto horizontal (Kotsifaki et al., 2021). Se conoce que el músculo glúteo medio resiste el colapso de la cadera en el plano frontal, y los plantiflexores e inversión resisten los movimientos de eversión y pronación de la articulación subastragalina manteniendo la estabilización del miembro inferior en el plano frontal (Maniar et al., 2022). Una deficiencia en la estabilidad dinámica de los músculos de la rodilla y cadera pueden contribuir en la LTR.

El presente estudio no encontró una velocidad homogénea en la que se producen las LTR en las jugadoras, y se observa que el colapso en valgo dinámico de rodilla va entre 100ms a 333ms. Khayambashi et al. demostró que se lesionan en un periodo aproximado de 300 ms antes y después del primer contacto (Spanó et al., 2016). En contraste, con el otro estudio que observaron lesión en los primeros 40 milisegundos (ms) posterior del contacto inicial (Boden et al., 2009).

Además. Krosshaug et al. en su estudio no encontró diferencias en el aterrizaje y 50ms del mismo en atletas masculinos y femeninos (Krosshaug et al., 2007). Parece que la velocidad de producción de la lesión desde el contacto con el suelo es indistinta en los jugadores. La plantiflexión de tobillo en el momento del contacto inicial era evidente en el estudio, sin embargo, no parece presentar relevancia en la LTR. Como lo menciona Leppänen et al. en su estudio que no observó diferencias en el momento de flexión plantar del tobillo en el CI o en el rango de movimiento (ROM) entre mujeres lesionadas y no lesionadas (Krosshaug et al., 2007).

La alteración de los mecanismos propioceptivos afecta a la retroalimentación propioceptiva, siendo posible causa de lesión traumática. Además hay que considerar que la fatiga interviene en la biomecánica de rodilla alterando el control muscular en el miembro inferior. Por ello, se debe aumentar un entrenamiento de biorretroalimentación para disminuir la angulación de abducción de cadera antes del contacto con el suelo y evitar colapso del miembro inferior.

Limitaciones de la investigación: No se realizó medición de los ángulos de movimiento exactos debido a la calidad del material de los videos, así también, la evaluación cinemática en los planos laterales y anteriores fue difícil su observación puesto que el material videográfico permitía solo vistas posteriores.



Conclusiones

El traumatismo de rodilla en las jugadoras de voleibol se produce en aterrizajes con una sola pierna después de saltos horizontales y laterales con contramovimiento. La cadera presenta abducción más de 45° del miembro inferior que no apoya en el suelo antes y durante el aterrizaje, mientras que se realiza el apoyo en el suelo con el antepié y el tobillo con plantiflexión. Se recomienda aplicar estrategias que disminuyan el riesgo de lesión traumática de rodilla en donde involucren reacciones rápidas de cambios de cinemática en el aterrizaje

Con la experiencia y la práctica en el terreno y luego con el análisis de los videos analizados, los datos recogidos se afinaron y ampliaron para ser registrados en una base de datos relacional. De las sucesivas reformulaciones en este proceso resulta una evidente heterogeneidad en la calidad de las informaciones, acentuada por las diferencias inherentes a la variedad de especialistas que registraron las evidencias.

Conflictos de intereses

No hay ningún tipo de conflicto de interés en la presente investigación.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Iván Paúl Meneses Villarroel, Lisbeth Josefina Reales Chacón.
2. Curación de datos: Iván Paúl Meneses Villarroel, Victoria Espín Pastor
3. Análisis formal: Iván Paúl Meneses Villarroel, Victoria Espín Pastor
4. Investigación: Iván Paúl Meneses Villarroel, Andrea Carolina Peñafiel Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón
5. Metodología: Victoria Espín Pastor, Andrea Carolina Peñafiel Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón
6. Administración del proyecto: Iván Paúl Meneses Villarroel, Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón
7. Recursos: Andrea Carolina Peñafiel Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón
8. Software: Iván Paúl Meneses Villarroel, Victoria Espín Pastor
9. Supervisión: Andrea Carolina Peñafiel Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón
10. Validación: Iván Paúl Meneses Villarroel, Victoria Espín Pastor
11. Visualización: Iván Paúl Meneses Villarroel, Lisbeth Josefina Reales Chacón
12. Redacción – borrador original: Iván Paúl Meneses Villarroel, Victoria Espín Pastor, Andrea Carolina Peñafiel Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón



13. Redacción – revisión y edición: Iván Paúl Meneses Villarroel, Victoria Espín Pastor, Andrea Carolina Peñafiel Luna, Lisbeth Josefina Reales Chacón

Financiamiento

La investigación fue financiada por los autores.

Referencias

- Boden, B. P., Torg, J. S., Knowles, S. B., & Hewett, T. E. (2009). Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *The American journal of sports medicine*, 37(2), 252-259. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0363546508328107>
- DiCesare, C. A., Bonnette, S., Myer, G. D., & Kiefer, A. W. (2020). Differentiating successful and unsuccessful single-leg drop landing performance using uncontrolled manifold analysis. *Motor Control*, 24(1), 75-90. <https://journals.humankinetics.com/view/journals/mcj/24/1/article-p75.xml>
- Eerkes, K. (2012). Volleyball injuries. *Current sports medicine reports*, 11(5), 251-256. https://journals.lww.com/acsm-csmr/Fulltext/2012/09000/Volleyball_Injuries.10.aspx
- Encinas-Ullán, C. A., & Rodríguez-Merchán, E. C. (2018). Isolated medial collateral ligament tears: an update on management. *EFORT open reviews*, 3(7), 398. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6129956/>
- Garcia, S., Delattre, N., Berton, E., Divrechy, G., & Rao, G. (2022). Comparison of landing kinematics and kinetics between experienced and novice volleyball players during block and spike jumps. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 105. <https://link.springer.com/article/10.1186/s13102-022-00496-0>
- Hovey, S., Wang, H., Judge, L. W., Avedesian, J. M., & Dickin, D. C. (2019). The effect of landing type on kinematics and kinetics during single-leg landings. *Sports Biomechanics*. <https://www.tandfonline.com/doi/shareview/10.1080/14763141.2019.1582690>
- Juhan, T., Bolia, I. K., Kang, H. P., Homere, A., Romano, R., Tibone, J. E., Gamradt, S. C., & Weber, A. E. (2021). Injury epidemiology and time lost from participation in Women's NCAA division I indoor versus beach volleyball players. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 9(4), 23259671211004546. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/23259671211004546>



- Kerr, Z. Y., Dompier, T. P., Snook, E. M., Marshall, S. W., Klossner, D., Hainline, B., & Corlette, J. (2014). National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System: review of methods for 2004–2005 through 2013–2014 data collection. *Journal of athletic training*, 49(4), 552-560. <https://meridian.allenpress.com/jat/article-abstract/49/4/552/191300>
- Kotsifaki, A., Korakakis, V., Graham-Smith, P., Sideris, V., & Whiteley, R. (2021). Vertical and horizontal hop performance: contributions of the hip, knee, and ankle. *Sports health*, 13(2), 128-135. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1941738120976363>
- Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R., Hewett, T. E., & Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *The American journal of sports medicine*, 35(3), 359-367. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0363546506293899>
- Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: a systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *International journal of environmental research and public health*, 18(7), 3826. <https://www.mdpi.com/1061866>
- Li, L., Yang, X., Yang, L., Zhang, K., Shi, J., Zhu, L., Liang, H., Wang, X., & Jiang, Q. (2019). Biomechanical analysis of the effect of medial meniscus degenerative and traumatic lesions on the knee joint. *American journal of translational research*, 11(2), 542. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6413253/>
- Maniar, N., Schache, A. G., Pizzolato, C., & Opar, D. A. (2022). Muscle function during single leg landing. *Scientific Reports*, 12(1), 11486. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-15024-w>
- Reeser, J. C., & Bahr, R. (2017). *Handbook of sports medicine and science, Volleyball*. John Wiley & Sons. <https://www.google.com/books?hl=es&lr=&id=ehqACgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Handbook+of+Sports+Medicine+and+Science&ots=Iuw9aZGQjU&sig=WRsCYff4bTakNLXq4kicEzhxDPA>
- Reeser, J. C., Gregory, A., Berg, R. L., & Comstock, R. D. (2015). A comparison of women's collegiate and girls' high school volleyball injury data collected prospectively over a 4-year period. *Sports health*, 7(6), 504-510. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1941738115600143>
- Sole, C. J., Kavanaugh, A. A., & Stone, M. H. (2017). Injuries in collegiate women's volleyball: a four-year retrospective analysis. *Sports*, 5(2), 26. <https://www.mdpi.com/196120>



- Spanó, N. V., Mariano, F. P., Andrade, V. L. d., Bedo, B. L. d. S., Vieira, L. H. P., & Santiago, P. R. P. (2016). Efeito do treino neuromuscular na rotação do joelho durante a aterrissagem em mulheres. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 22, 92-96.
<https://www.scielo.br/j/rbme/a/NMgFLyfzJd56N4TThhn5bmB/abstract/?lang=pt>
- Tejeda, G. Á., Figueredo, R. D., Suárez, A. B., Collado, P. S., & Silva, M. R. (2013). Atención segura a lesiones de rodilla en atletas. *Revista de Enfermedades no Transmisibles Finlay*, 3(1), 53-59.
<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=44976>

