

Propuesta de modelo predictivo de riesgo de lesión en base a descriptores anatómicos y funcionales que se relacionan con la inestabilidad articular en rodilla y tobillo en jugadores de baloncesto no profesionales

Proposal for a predictive model of injury risk based on anatomical and functional descriptors that are related to knee and ankle joint instability in non-professional basketball players

*Claudio Mauricio San Martín Barra, **Germán Rojas Cabezas, *Jennifer Troc Gajardo

*Universidad Autónoma de Chile (Chile), **Universidad Santo Tomás (Chile)

Resumen. Objetivo: Establecer un modelo predictivo de riesgo de lesión en base a descriptores anatómicos y funcionales con la inestabilidad articular en rodilla y tobillo en jugadores de baloncesto no profesionales. Diseño y participantes: Estudio no experimental, descriptivo de corte transversal, muestreo dirigido; fueron evaluados 44 sujetos universitarios de ambos sexos, 27 hombres (61,4%) y 17 mujeres (38,6%); basquetbolistas no profesionales de edad entre 18 – 26 años ($22 \pm 3,2$), pertenecientes a la rama deportiva de basquetbol universitario de Chile. Resultados: a) ($p = .000$) Rodilla estrés en valgo establece asociación significativa con ángulo postural en rodilla y tobillo y variables funcionales de despegue, nivel de discriminación basado modelo 82% ($CC = .820$). b) ($p = .000$) Tobillo estrés valgo establece asociación significativa con el ángulo de rodilla y tobillo, variables funcionales de despegue, nivel de discriminación basado modelo 71,3% ($CC = .713$). c) ($p = .000$) Riesgo general establece asociación significativa con el ángulo rodilla, variables funcionales despegue y aterrizaje, estrategia tobillo, nivel de discriminación del modelo 83,5% ($CC = .835$). Conclusión: Existen factores posturales, funcionales de despegue y de aterrizaje que se asocian significativamente con el riesgo de lesión de inestabilidad articular en jugadores de baloncesto no profesionales.

Palabras claves: descriptores, anatómicos, funcionales, saltabilidad, riesgo lesión.

Abstract. Objective: To establish a predictive model of injury risk based on anatomical and functional descriptors with knee and ankle joint instability in non-professional basketball players. Design and participants: Non-experimental, descriptive cross-sectional study, directed sampling; 44 university subjects of both sexes, 27 men (61.4%) and 17 women (38.6%) were evaluated; non-professional basketball players aged between 18 - 26 years (22 ± 3.2), belonging to the sports branch of university basketball in Chile. Results: a) ($p = .000$) Valgus knee stress establishes a significant association with postural angle in the knee and ankle and functional variables of take off; level of discrimination based model 82% ($CC = .820$). b) ($p = .000$) Valgus ankle stress establishes a significant association with the knee and ankle angle, functional variables of take off; level of discrimination based on model 71.3% ($CC = .713$). c) ($p = .000$) General risk establishes a significant association with the knee angle, take off and landing functional variables; ankle strategy; level of discrimination of the model 83.5% ($CC = .835$). Conclusion: There are postural, functional take off and landing factors that are significantly associated with the injury risk of joint instability in non-professional basketball players.

Keywords: descriptors, anatomical, functional, saltability, risk injury.

Introducción

Los aportes de la biomecánica aplicada al deporte hoy en día son significativas, sus pilares de desarrollo están orientadas a la prevención de lesiones en el aparato locomotor y la búsqueda del mayor rendimiento deportivo (Soares, 2012).

En Chile durante estas últimas décadas se ha incentivado la promoción y ejecución de distintas disciplinas deportivas en la población especialmente en los niños y adolescentes; este incipiente interés en esta población a facilitado la instauración de algún tipo de lesión en el aparato locomotor (Guzmán, 2012).

Un reporte nacional referido a la incidencia de lesiones deportivas señala que los varones presentan una mayor incidencia, siendo el basquetbol (40,7%), seguido del fútbol (35,2%); afectando especialmente el tobillo y luego la rodilla; el tipo de lesión más común es la cápsula ligamentosa (40,7%) y luego las lesiones musculares (16,7%); siendo más común lesionarse durante el entrenamiento (Danes - Daetz, Rojas & Tapia, 2020).

Otros estudios señalan la presencia de lesiones en la práctica deportiva en jóvenes de ambos sexos, considerando disciplinas como el fútbol, basquetbol, voleibol y balón

mano durante el periodo 2005 - 2006; presentando tasas de lesión por cada 1000 sujetos expuestos de 4,63 en competición y 1,69 en la práctica; La presentación de lesión deportiva en varones fue mayor en la práctica del fútbol y en mujeres las que practican basquetbol de alta competición (Rechel, Yard & Dawn, 2008).

Otro antecedente asociado a la práctica del baloncesto en jugadores /as de nivel municipal y federado presentan tasas de lesión de 1,77- 11,8/1000 para el sexo femenino y 3,63-9,3/1000 para el sexo masculino, considerando la realidad práctica como la competición; siendo el esguince del ligamento de tobillo el diagnóstico de lesión más frecuente para esta muestra 20,83% (López, Rodríguez & Palacios, 2017).

En relación a la incidencia de lesiones en jugadoras de baloncesto federadas se menciona como variables a considerar el aumento en el número de partidos y la práctica de baloncesto en distintas superficies lo que está directamente relacionado con el incremento de lesiones (Toro, Guerrero, Muñoz, Siquier, Bartolomé & Robles, 2019).

En su reporte Prieto (2015); que relacionaba variables deportivas y personales en la ocurrencia de lesiones deportivas logro destacar que existe un mayor número de lesiones totales e índice de riesgo de lesión en deportistas de menor edad ($p < .05$) y con un mayor tiempo de exposición ($p < .01$); declara una mayor incidencia en deportes colectivos ($p < .01$); asociado al riesgo de contacto físico.

La evidencia científica actual declara una alta prevalencia de lesión de tipo músculo esquelética en tren inferior en sujetos deportistas que ejecutan basquetbol siendo las más frecuentes la lesión de rodilla y tobillo (Osahr & Drakos, 2013) (Doherty, Delahunt & Caulfield, 2014) (Padua, Distefano & Beutler, 2015). Se menciona una serie de factores de riesgo de lesión en rodilla específicamente del ligamento cruzado anterior (LCA), existiendo factores anatómicos como el ángulo Q aumentado, valgo de rodilla, recurvatum de rodilla, pie pronador, rotación externa de la tibia y laxitud articular de rodilla asociada a la hiperextensión (Sutton & Bullock, 2013) (Ferrer-Roca, Balius, Domínguez, Linde & Turmo-Garuz, 2014).

Se menciona además variables funcionales como el aumento del valgo de rodilla durante el aterrizaje asociado con el aumento de la fuerza vertical de reacción y la disminución del tiempo de amortización (LaBella & Huxford, 2011). Se indican adicionalmente factores neuromusculares de activación en rodilla; señalando que la rodilla al no poseer la capacidad de absorber el impacto, las fuerzas de reacción son transmitidas básicamente a los ligamentos; siendo la dominancia del cuádriceps la que se relaciona con una menor flexión de rodilla durante el aterrizaje (Wheinhandl, Joshi & O'Connor, 2010). En relación a diferencias basadas en el género se menciona que las mujeres presentan una mayor magnitud de extensión de rodilla durante el aterrizaje ($p < .05$); lo que favorecería un incremento del riesgo de lesión en rodilla, no existiendo diferencias significativas en la magnitud de flexión máxima durante el aterrizaje entre ambos géneros (Feria, De Hoyo, Romero, Cortés & Sañudo, 2014).

Para el tobillo, la evidencia demuestra que la inversión forzada es el principal mecanismo de lesión; donde el ligamento lateral se encuentra más verticalizado y frente a cualquier fuerza se puede producir el desgarro del ligamento y cápsula anterior de la articulación tibiotarsiana (McKay, Goldie, Payne & Oakes, 2001). Otros autores incluso, recalcan la idea de la debilidad y disminución de los tiempos de reacción de la musculatura fibular (Doherty & Bleakley, 2017).

Toda esta evidencia científica enfatiza la importancia de la relación forma – función en base a que cada segmento osteoarticular definida por su disposición anatómica determinara el comportamiento mecánico funcional de la unidad motora interviniente. Este artículo pretende dar mayor claridad a este tipo de asociación biomecánica funcional del aparato locomotor no tan sólo como una unidad aislada sino como sistemas integrados influyentes de manera multidireccional que conforman distintos eslabones corporales y que expresan su capacidad funcional mediante el rendimiento motor.

En relación a esta perspectiva y buscando dar respuestas para algunas disfunciones a nivel de tren inferior el propósito de este estudio es establecer un modelo predictivo de riesgo de lesión por inestabilidad articular en rodilla y tobillo en base a variables discriminadoras relacionadas con descriptores anatómicos y funcionales en jugadores de baloncesto no profesionales. Con este reporte se pretende entregar información relevante para los especialistas del entrenamiento deportivo como aquellos encargados de la rehabilitación y/o recuperación funcional poniendo énfasis en la conducta prospectiva para estos sujetos que someten a sobrecarga mecánica repetitiva en cada uno de sus segmentos

corporales especialmente tren inferior.

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se utilizó técnicas estadísticas de análisis relacional cualitativo Odd-Ratios y análisis de regresión discriminante permitiendo asociar el riesgo de lesión de manera dicotómica y las variables descriptoras anatómicas y funcionales de tipo cuantitativo, todas ellas validadas ampliamente por la literatura especializada. (Dauty, Menu, Mesland, & Fouasson-Chailloux, 2019) (Markovic, Varel, Schweisfurth, Schilling & Dosen, 2020) (Lacasta et al., 2020)

Material y métodos

Diseño y participantes

El tipo de estudio no experimental, descriptivo de corte transversal, de muestreo dirigido no probabilístico, considera una muestra de 44 sujetos universitarios de ambos sexos, 27 varones (61,4%) y 17 mujeres (38,6%); basquetbolistas no profesionales y cuya edad fluctúa entre 18 – 26 años ($22 \pm 3,2$) pertenecientes a la rama deportiva de basquetbol universitario de Chile y sin antecedentes mórbidos que limiten su capacidad funcional. Siendo los criterios de inclusión sujetos universitarios, deportistas que establezcan un plan de entrenamiento de 2 a 3 sesiones por semana, sin antecedentes de lesión músculo esquelético en los últimos 3 meses y que estuviesen dispuestos a participar en este estudio mediante el consentimiento informado. Aprobado por el comité de ética universitario local, mediante acta resolutive ¹ CEC03-19.

Procedimientos y equipos

El procedimiento de registro de datos se realizó en dependencias de la Universidad Autónoma de Chile, Talca; específicamente en los laboratorios de Biomecánica – análisis del movimiento. El procedimiento se realizó 2 veces por semana durante un periodo de tiempo de 5 semanas. El procedimiento evaluativo considero:

1) Aplicación cuestionario nórdico de Kourinka (Martinez & Alvarado, 2017); con el objetivo de caracterizar la muestra en base a la presencia de antecedentes de dolencia músculo esquelética; Este cuestionario entrega información referida a síntomas musculotendinosos en base a su localización corporal, frecuencia, intensidad, duración de cada episodio y si ha recibido tratamiento. El procedimiento de registro de la encuesta se realizó en la primera etapa del estudio para luego tabular los resultados en planilla de Excel.

2) Aplicación de evaluación antropométrica para la muestra seleccionada mediante una balanza y tallímetro Arquimed®; lo que nos permitió obtener el índice de masa corporal de los sujetos y Biotipo. (Ravasco & Anderson, 2010). Los sujetos fueron evaluados con ropa cómoda y liviana resguardando en todo momento su privacidad y dignidad de los participantes involucrados en la evaluación.

3) Aplicación de análisis posturográfico fotogramétrico de cadera, rodilla y tobillo en posición bípeda para lograr caracterizar el patrón postural de tren inferior. (Paušić, Pedišić & Dizdar, 2010) (Ferreira & Duarte, 2011). Para este procedimiento evaluativo se utilizó marcadores reflectantes esféricos Arquimed® ubicados en los siguientes puntos anatómicos descritos por la literatura especializada. Plano sagital=

Trocánter mayor (TM), Epicóndilo lateral fémur (EF), Maléolo lateral (ML) y cabeza de II metatarsiano (CIIM). En relación al Plano coronal (anterior) se ubicaron marcadores en: Espina iliaca antero-superior (EIAS), polo superior rótula (PSR) y borde anterior de tibia – astragalina (BTA) y en plano coronal (posterior): Espina iliaca postero-superior (EIPS); Articulación tibia – astragalina posterior (ATA) y tuberosidad posterior del calcáneo (TPC); para la obtención de los registros fotogramétricos se utilizó una cámara modelo PANASONIC DMC-FZ40 ubicada a 3 metros de distancia del sujeto evaluado.

4) Evaluación funcional cinemática y cinética del salto vertical de los sujetos mediante sistema de captura de movimiento donde se utilizó 2 video cámaras modelo PANASONIC DMC-FZ40 dispuestas en sentido perpendicular al plano de análisis (Coronal-sagital) siendo la resolución 640x480 píxeles y 60 fps, Se utilizó el programa de análisis del movimiento APAS® y el uso de la plataforma de fuerza artificio® modelo: PF-12000/50 (Martínez, Gómez & Romero, 2009) (Marques & Izquierdo, 2014) (Pueo & Jimenez-Olmedo, 2017).

Para establecer el registro y definir el modelo de análisis cinemático se colocaron los siguientes marcadores reflectantes anatómicos en el plano sagital: (i) cabeza II metatarsiano, (ii) maléolo fibular, (iii) borde posterior calcáneo, (iv) epicóndilo lateral de rodilla, (v) trocánter mayor, (vi) borde lateral acromial. En relación al plano coronal se ubicaron: (i) borde anterior acromio-clavicular, (ii) Espina iliaca antero superior, (iii) polo superior de rótula, (iv) Borde superior empeine. Para lo cual se utilizaron 14 marcadores totales. (Pandy, Sim, Zajac & Levine, 1990)

En relación a la evaluación del salto vertical la modalidad seleccionada fue el salto con contramovimiento (CMJ) con las manos en la cintura para evitar la asistencia con los brazos; previa colocación de los marcadores reflectantes en los centros articulares mencionados anteriormente; para lo cual se establecieron 3 registros para cada salto donde se obtuvo el valor promedio de registro para cada variable funcional establecida tanto cinemática como cinética. (Figura 1)

5) Se ejecutó pruebas clínicas tradicionales de inestabilidad articular en rodilla y tobillo por un profesional especialista en el área músculo esquelética definidas por los protocolos de especialidad (Granero Xiberta, 2010) (Buckup & Buckup, 2014). Las pruebas seleccionadas en rodilla fueron: Test de cajón anterior y posterior, test de estrés en valgo y varo. En relación al tobillo: estrés en varo y valgo, inestabilidad antero-posterior (Cajón)

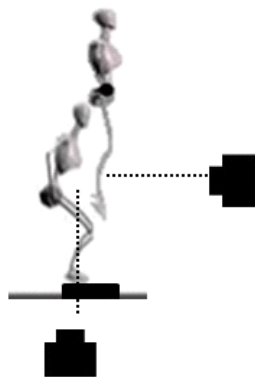


Figura 1. Registro del procedimiento experimental en base a la ubicación de las cámaras y ejecución de saltabilidad vertical sin asistencia de los brazos por sobre la plataforma de fuerza. Fuente elaboración propia.

Variables

En relación al uso de variables utilizadas en el estudio, estos se plantearon de la siguiente manera:

Variables descriptoras generales: $[X0j] = x_{01}$ = Peso (Kg), talla (m), x_{02} = IMC, x_{03} = Género (M/ F) y x_{04} = posición de juego (Alero, Pivote, Base)

Variables descriptoras anatómicas posturales: $[X1,j] x_{11}$ = Angulo postural de rodilla y x_{12} = tobillo (grados)

Variables descriptoras funcionales despegue: $[X2j] x_{21}$ = Potencia de saltabilidad (Vatios), x_{22} = Fuerza vertical de saltabilidad (N), x_{23} = velocidad vertical de salto (m/s); x_{24} = alcance vertical de saltabilidad (m); x_{25} = Potencia relativa del salto (Vatios/ kg).

Variables descriptoras funcionales de aterrizaje: $[X3j]$ estrategia de aterrizaje en rodilla y tobillo; esto es mediante x_{31} = posición y velocidad angular cadera, x_{32} = posición y velocidad angular en rodilla y tobillo (rad), (rad/s). Se consideró además el desplazamiento del CM corporal x_{33} = durante la ejecución del salto vertical (m)

Variables descriptoras respuesta $[Y]$: Riesgo de daño articular asociado a la inestabilidad articular del sistema rodilla y tobillo.

El modelo predictivo de lesión se representa como la función discriminante de la siguiente manera $Y_{k,m} = \beta_0 \cdot X_{0,j} + \beta_1 \cdot X_{1,j} + \beta_2 \cdot X_{2,j} + \beta_3 \cdot X_{3,i}$, siendo $Y_{k,m}$ el valor o puntuación en la función discriminante para el caso m en el grupo k, con k = 1, sin riesgo lesión y k = 2, con riesgo lesión, además X_{ijkm} el valor de la variable discriminante estandarizada X_{ij} para el caso m en el grupo k y β_i los coeficientes o ponderaciones estandarizadas de las variables consideradas.

Análisis estadístico

Los datos fueron recogidos de manera manual en su respectiva hoja individual de registro para luego ser transcrita a planilla de registro Microsoft Excel 2016 (Microsoft Company United States); para el respectivo análisis estadístico se utilizó el programa Graph Pad Prism 5®. Los datos presentaron una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-wilks. Siendo el nivel de confianza del 95% ($p < .05$).

En relación a la variable respuesta riesgo de daño articular presente en rodilla o tobillo, esta se expresó de manera dicotómica en términos de presencia – ausencia. El procedimiento estadístico precisó las siguientes etapas: a) Análisis exploratorio de datos para determinar la presencia e impacto de datos atípicos, datos ausentes y analizar normalidad de los datos; b) Análisis descriptivo de caracterización de las variables a través del uso estadístico de tendencia central y dispersión; c) Análisis de contrastes de medias de multigrupos (Prueba T Student y ANOVA), para analizar las diferencias de riesgo de daño articular para cada categoría de variables descriptoras d) Análisis relacional cualitativo (Odd-Ratios) para analizar la relación entre el riesgo y las variables descriptoras cualitativas presentadas en el estudio

e) Análisis de regresión discriminante para determinar el modelo predictivo considerando el riesgo de lesión de manera dicotómica y las variables descriptoras anatómicas y funcionales de tipo cuantitativo.

Resultados

El análisis exploratorio de los datos no identificó datos ausentes, así como tampoco datos atípicos. La prueba de normalidad realizada con la prueba Shapiro Wilks releva que la variable inestabilidad en tobillo rodilla presenta una distribución normal ($W = 0.984$; $p = .521$)

Como se indica en la Figura 2, al comparar la potencia de saltabilidad en hombres y mujeres en relación a la posición de juego se aprecia diferencias significativas en el caso de los hombres entre aleros y pivot ($p = .04$) y en el caso de la mujer entre las base y alero ($p = .04$) y entre base y pivot ($p = .03$)

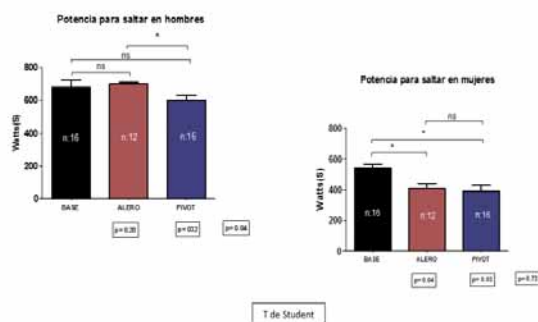


Figura 2. † $p < .05$ Relación entre la potencia vertical de salto (watts) en hombres y mujeres y la posición de juego. Se observó diferencias significativas en la potencia vertical en los hombres entre aleros y pivot ($p = .04$). En las mujeres entre las base y alero ($p = .04$) y entre base y pivot ($p = .03$).

Como se presenta en la Tabla 1, podemos observar en relación con el contraste de medias que la lesión de Rodilla en estrés en Valgo se relaciona de manera significativa con el ángulo postural de tobillo (X_1) y variables funcionales de despegue (X_2) siendo ($p = .0001$). Para la lesión de Tobillo en estrés Valgo establece un significativo nivel de asociación con el ángulo postural de tobillo (X_1), variables funcionales de despegue (X_2) y funcionales de aterrizaje expresada en tobillo (X_3) siendo ($p = .0001$). Finalmente al considerar el análisis dinámico del sistema articular rodilla – tobillo; la condición de riesgo general establece un significativo nivel de asociación con el Peso corporal (X_0), ángulo postural de tobillo (X_1), variables funcionales de despegue (X_2) y funcional de aterrizaje (X_3) basado en la estrategia de tobillo, siendo ($p = .0001$)

Tabla.1
Aplicación de análisis en base al riesgo de lesión para rodilla y tobillo en estrés en valgo y condición de riesgo general. Análisis referido en base a ANOVA.

	Rodilla en estrés en valgo	Tobillo en estrés en valgo	Condición riesgo general
Variable considerada	sig.	sig.	sig.
X0_Peso	.679	.468	.000 *
X1_Angulo Tobillo	.000 *	.000 *	.000 *
X2_Potencia Saltabilidad	.000 *	.000 *	.000 *
X2_Fuerza Vertical de Salto	.000 *	.000 *	.000 *
X2_Velocidad Lineal Vertical	.000 *	.000 *	.000 *
X2_Capacidad Saltabilidad	.000 *	.004	.000 *
X2_Potencia Relativa Salto	.005	.125	.092
X3_estrategia Aterrizaje Rodilla	.073	.801	.929
X3_Estrategia Aterrizaje Tobillo	.001 *	.000 *	.000 *

[X0] descriptores generales, [X1] descriptores posturales, [X2] funcionales de despegue y [X3] funcionales de aterrizaje. ($p = .0001$)

Como se muestra en la Tabla 2, al considerar las varia-

bles descriptoras del jugador como factor de riesgo de lesión, se indica que la condición de Mujer establece 1,5 veces más probabilidad de presentar inestabilidad de rodilla en base a la condición de estrés en Valgo ($OR = 1.5$; $IC = 1.08 - 2.01$; $p = .002$). La condición Mujer establece 1,4 veces más probabilidad de presentar inestabilidad de tobillo en base a la condición de estrés en Valgo. ($OR = 1.4$; $IC = 1.04 - 1.9$; $p = .006$). La Mujer establece 29 veces más probabilidad de presentar la condición de riesgo general de inestabilidad articular ya sea en rodilla y/o tobillo. ($OR = 29.3$; $IC = 3.2 - 67.3$; $p = .000$). Así también, al considerar las variables anatómicas posturales que se asocian como un factor de riesgo son calcáneo valgo que establece 3 veces más probabilidad de presentar inestabilidad de rodilla expresada en estrés en Valgo ($OR = 3$; $IC = 1.19 - 7.75$; $p = .000$). El tobillo con una desventaja funcional (varo o valgo pronunciado), establece 37 veces más probabilidad de presentar una condición de riesgo general de inestabilidad articular en rodilla y/o tobillo ($OR = 37.3$; $IC = 5.22 - 66.9$; $p = .000$).

Tabla 2.
Aplicación de modelos de interacción entre variables género y ángulo postural de tobillo con respecto riesgo de daño articular asociado a la inestabilidad en rodilla y tobillo.

Discriminante Género (Mujer)			
Variable	sig.	Est. de riesgo (OR)	IC (95%)
Y_Test Inestabilidad Rodilla estrés Valgo	.002	1.5	1.08 - 2.01
Y_Test Inestabilidad Tobillo estrés Valgo	.006	1.4	1.04 - 1.9
Clasificación Riesgo General	.000	* 29.3	3.2 - 67.3

Discriminante ángulo postural (Tobillo)

Variable sig. Est. de riesgo (OR) IC (95%)

Y_Test Inestabilidad Rodilla estrés Valgo .000 3.0 1.19 - 7.75

Y_Test Inestabilidad Tobillo estrés Valgo .000 2.3 1.08 - 4.6

Clasificación Riesgo General .000 * 37.3 5.22 - 66.9

Prueba Odds-Ratios focalizándose en tasa de riesgo (OR); siendo nivel de significancia. ($p = .05$)

Referente a la Tabla 3, podemos precisar en relación al modelo de regresión discriminante existiendo una asociación significativa entre la inestabilidad de rodilla en estrés en valgo con respecto al ángulo postural de rodilla y tobillo ($p = .000$); potencia, fuerza vertical, velocidad lineal, capacidad de saltabilidad ($p = .000$); el nivel de discriminación en base al modelo de correlación 82% ($CC = .820$); Lambda de Wilks = 0.327; = 40.8; ($p < .000$). La función discriminante resultante del riesgo de lesión de rodilla estrés valgo es $Y_{k,m} = 0.327X_{11} - 0.493X_{12} - 6.509X_{21} + 5.109X_{22} + 2.506X_{23} + 0.177X_{24} - 0.026X_{25} - 2.323X_{31} - 0.530X_{32}$. El centroide de la categoría riesgo de lesión positiva es -2.732 y la categoría negativa es +0.557.

Se encontró además en el modelo de regresión una asociación significativa entre la inestabilidad de tobillo en estrés en valgo con respecto al ángulo postural de rodilla y tobillo ($p = .000$); potencia y capacidad de saltabilidad ($p = .004$); fuerza vertical y velocidad lineal ($p = .000$), el nivel de discriminación en base al modelo de correlación 71,3% ($CC = .713$); Lambda de Wilks = 0.491; = 25.9; ($p < .007$). La función discriminante resultante del riesgo de lesión de tobillo estrés valgo es $Y_{k,m} = 0.838X_{11} - 0.094X_{12} - 2.221X_{21} + 1.492X_{22} + 1.138X_{23} - 0.801X_{24} + 0.358X_{25} - 0.973X_{31} + 0.722X_{32}$. El centroide de la categoría riesgo de lesión positiva es 2.731 y la categoría negativa es -0.356.

De igual manera en base al modelo de regresión discriminante riesgo general (Sistema rodilla - tobillo); existiendo una asociación significativa en relación al ángulo de rodilla ($p = .000$), potencia saltabilidad, velocidad lineal, fuerza vertical, capacidad de saltabilidad ($p = .000$) y estrategia de tobillo ($p = .000$). El nivel de discriminación en base al modelo de

correlación canónica 83,5% (CC= .835); Lambda de Wilks = 0.303; = 45.5; (p < .000). La función discriminante resultante del riesgo de lesión del sistema rodilla – tobillo es $Y_{k,m} = 0.020X_{11} - 0.137X_{12} - 8.197X_{21} + 6.477X_{22} + 3.188X_{23} + 0.125X_{24} - 0.032X_{25} - 0.062X_{31} - 0.400X_{32}$. El centroide de la categoría riesgo de lesión positiva es -2.732 y la categoría negativa es 0.804.

Tabla 3.
Exploración de relación entre las variables discriminante rodilla y tobillo en estrés en valgo y condición de riesgo general. Utilización de modelo de regresión discriminante.

Rodilla		Tobillo		Riesgo general
Estrés en valgo		Estrés en valgo		
Variable considerada	sig.	sig.	sig.	sig.
X0_Peso	.679	.468		.092
X0_IMC	.286	.244		.142
X1_Angulo rodilla	.000 *	.000 *		.000 *
X1_Angulo Tobillo	.000 *	.000 *		.028
X2_Potencia Saltabilidad	.000 *	.004		.000 *
X2_Fuerza Vertical de Salto	.000 *	.000 *		.000 *
X2_Velocidad Lineal Vertical	.000 *	.000 *		.000 *
X2_Capacidad Saltabilidad	.000 *	.004		.000 *
X2_Potencia Relativa Salto	.005	.125		.015
X3_estrategia Aterrizaje Rodilla	.732	.801		.929
X3_Estrategia Aterrizaje Tobillo	.174	.522		.000 *
Correlación canónica	.820	.713		.835

[X0] descriptores generales, [X1] descriptores posturales, [X2] funcionales de despegue y [X3] funcionales de aterrizaje; (p= .000)

Como se indica en la Tabla 4, la variable género establece un comportamiento diferenciado como variable predictiva de riesgo general de lesión; en la condición Varón se destaca la interacción de la variable ángulo postural de tobillo con inestabilidad de rodilla en valgo (p= .0034); capacidad de saltabilidad con la presencia de inestabilidad de rodilla en valgo (p= .089) y velocidad lineal con la inestabilidad de rodilla en valgo (p= .0164). El nivel de discriminación en base a la correlación canónica es 64,5% (CC= .645).

En la condición Mujer se destaca la interacción de las variables posturales ángulo de tobillo y rodilla siendo (p= .048), potencia de saltabilidad con la presencia de inestabilidad de rodilla en valgo (p= .085) y saltabilidad vertical con inestabilidad de tobillo en valgo (p= .009). Para este caso el nivel de discriminación en base al modelo de correlación canónica es 88,7% (CC= .887)

Tabla 4.
Exploración de la relación existente entre género y coeficientes de variables posturales y funcionales con respecto al riesgo general. Aplicación de modelo de regresión discriminante.

Discriminante		riesgo general
		sig.
Género masculino		
X_1 Ángulo tobillo / Y_ Inestabilidad rodilla valgo		.0034 *
X_2 Capacidad saltabilidad / Y_ Inestabilidad rodilla valgo		.089
X_2 velocidad lineal / Y_ Inestabilidad rodilla valgo		.0164
CC : .645		
Género femenino		
X_1 Ángulo tobillo / X_1 ángulo de rodilla		.048
X_2 potencia saltabilidad / Y_ Inestabilidad rodilla valgo		.085
X_2 saltabilidad vertical / Y_ Inestabilidad tobillo valgo		.009 *
CC : .887		

CC: Correlación canónica (p= .05)

Discusión

Los reportes del área asociados a factores biomecánicos relacionados con el riesgo de lesión de rodilla durante el aterrizaje mencionan que ángulos de rodilla con tendencia a la extensión (menores a 45°), reducen la absorción de energía durante el impacto por la falta del control excéntrico del aparato extensor, estableciendo una sobrecarga ligamentosa a nivel articular; complementariamente, ángulos de flexión profunda de rodilla (mayor a 90°) durante el aterrizaje, pueden predisponer lesión de rodilla tendinosa. Se plantea que grandes fuerzas de reacción del suelo durante el aterrizaje pueden aumentar el riesgo de lesión (Louw & Grimmer, 2006, p. 22)

En relación al comportamiento biocinémático de tren in-

ferior durante el aterrizaje se menciona que a mayor rango articular de dorsiflexión en tobillo se asocia a una mayor flexión de rodilla y fuerzas de reacción del suelo más pequeñas durante el aterrizaje (r = .464, p= .029), lo que establece una postura de aterrizaje con un menor riesgo de lesiones en rodilla (Fong, Blackburn, Norcross, McGrath & Padua, 2011, pp.7, 8).

Nuestro reporte en base a la aplicación de modelos de regresión discriminante obtuvo frente a la posibilidad de riesgo de lesión asociado a la inestabilidad de rodilla en estrés en valgo; la variable descriptora postural ángulo de rodilla y tobillo (p= .000); variables funcionales durante el despegue: potencia, fuerza, velocidad y capacidad de saltabilidad (p= .000); nivel de discriminación basado modelo 82%. En el caso de riesgo de lesión en tobillo se destaca la variable descriptora postural ángulo de rodilla y tobillo (p= .000); funcionales de despegue: fuerza y velocidad (p= .000), Potencia y capacidad de saltabilidad (p= .004); nivel de discriminación basado modelo 71,3%.

En el caso de la condición de riesgo general (Sistema rodilla – tobillo), se observó una asociación significativa con respecto a la variable descriptora postural: ángulo de rodilla (p= .000); descriptora funcional de despegue: potencia, fuerza, velocidad y capacidad de saltabilidad (p= .000) y funcional de aterrizaje: estrategia de tobillo (p= .000); nivel de discriminación del modelo 83,5%.

Otro estudio que consideró la biomecánica del aterrizaje en atletas de élite con inestabilidad crónica de tobillo (Lin, An Lin & Lee, 2019); demostraron que durante la estrategia de aterrizaje hubo un aumento significativo en la magnitud de flexión de cadera y eversión de tobillo durante el contacto inicial (p < .05); logrando evitar la inversión forzada del tobillo durante el aterrizaje. Se demostró además una disminución significativa de la actividad del músculo peroneo lateral largo y una mayor actividad de contracción muscular del gastrocnemios medial (MG) y el tibial anterior (TA) siendo (p < .05). Los hallazgos establecidos demuestran las distintas estrategias multiarticulares presentes durante el aterrizaje para mantener la estabilidad articular y evitar nuevas lesiones.

En nuestro estudio aplicado en deportistas universitarios de competición, se logró precisar la importancia de la estrategia motora durante el aterrizaje como variable a considerar en la posibilidad de riesgo de lesión a nivel del Sistema rodilla - tobillo, en base al descriptor estrategia de aterrizaje en tobillo considerando la posición y velocidad angular siendo (p= .000); no existiendo asociación significativa para la estrategia de rodilla (p= .929). Es importante señalar, que en ese estudio los sujetos evaluados no presentaban antecedentes de lesión en las articulaciones pero en relación al estudio de Lin (2019), estos si presentaban una inestabilidad crónica del segmento articular.

En un reporte descriptivo (Ito, Iwamoto, Azuma & Matsumoto, 2015), se menciona las diferencias de género frente al tipo de lesión en jugadores de baloncesto. Señala que el sitio de lesión más común es la rodilla al comparar a las mujeres con respecto a los varones (50.4% vs 41.7%), siendo más frecuente la lesión ligamentosa y luego la tendinopatía. Sin embargo, en este estudio no pretende establecer una explicación morfológica ni funcional a los hallazgos obtenidos, sólo considera variables genéricas como el

sexo y la edad para señalar la presencia de lesiones en tren inferior asociadas a la participación en el baloncesto.

En nuestro estudio al aplicar variables discriminantes, se intenta establecer una propuesta integradora de asociación de variables genéricas, posturales, funcionales de despegue y aterrizaje con respecto al riesgo de daño articular en rodilla y tobillo; se destaca en esta asociación, que la variable discriminante mujer establece 29 veces más la probabilidad de presentar la condición de riesgo general de inestabilidad articular rodilla – tobillo (OR: 29.3; IC= 3.2 - 67.3; $p = .000$) y la discriminante ángulo postural de tobillo (valgo pronunciado de calcáneo), establece 37 veces más la probabilidad de presentar la condición de riesgo general de inestabilidad articular rodilla y/o tobillo (OR= 37.3 = IC= 5.22 - 66.9; $p = .000$).

En una revisión sistemática orientada a encontrar diferencias en el género en la biomecánica del aterrizaje y la condición de estabilidad postural durante la adolescencia, se precisó que las mujeres exhiben un aumento de valgo de rodilla de manera significativa en la adolescencia ($p < .01$), considerando las diferencias medias estandarizadas (SMD: 0.93; IC: 0.22 – 1.65). En relación a las diferencias de género y picos de fuerza reactiva vertical (vGRF), estos no demostraron diferencias significativas (SMD: 0.23; IC: 0.97 – 1.43; $p < .05$); se plantea además que no existen diferencias significativas entre varones y mujeres adolescentes referido en el rendimiento dinámico postural. Adicionalmente, existe evidencia preliminar que las mujeres presentan una biomecánica alterada durante el aterrizaje en respuesta a su crecimiento y desarrollo evidente en el plano frontal relacionado al valgo de rodilla lo que podría estar asociado al riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior (Holden, Boreham & Delahun 2015, p. 251).

Los resultados reportados por Holden (2015), son concordantes con nuestro estudio en base a la interacción de variables como la discriminante género (mujer) en base a la interacción con los coeficientes de variables posturales: ángulo tobillo/ rodilla ($p = .048$) y funcionales: saltabilidad vertical/ inestabilidad de tobillo en valgo ($p = .009$) con respecto al riesgo de daño general (modelo de regresión discriminante).

Un estudio que logró identificar factores intrínsecos y extrínsecos relacionados con el riesgo de presentar un esguince tobillo en sujetos que practican basquetbol y voleibol, se logró constatar mediante modelos de regresión logística multivariada cuatro variables: (1) pierna dominante ($p = .161$), tipo de calzado ($p = .049$), posición de juego ($p = .153$) y tiempo de reacción del músculo fibular corto ($p = .045$). Señalando la probabilidad de esguince de tobillo de 86,1% cuando la extremidad izquierda era la dominante, calzado sin buen sistema amortizador, posición juego alero y/o punta y tiempo de reacción del músculo fibular corto (> 80 ms); se destaca que sólo la posición alero fue significativa ($p = .046$) (Pacheco, Meyer, Pacheco, Tarragó & Adami, 2019).

A diferencia del estudio de Pacheco, nuestro reporte considera variables de tipo discriminante como género, posturales en tobillo y/o rodilla y funcionales tanto en la fase de despegue como de aterrizaje, por ende tiende a buscar una explicación mecánico funcional al gesto motriz analizado y relacionarlo con el rendimiento motor frente a la posibilidad de riesgo de daño articular; sin embargo no conside-

ró variables de tipo extrínseca.

Finalmente en un reporte que precisó el impacto del entrenamiento de equilibrio y flexibilidad en la prevalencia de lesiones en jugadores de baloncesto y balonmano a nivel universitario, se realizó un análisis de covarianza entre las variables: Equilibrio (F-Ratio=1247.07); Flexibilidad (F-Ratio= 119.01) y Prevalencia de lesión (F-Ratio=5.53) entre el grupo control y experimental mostrando diferencias significativas ($p = .05$). Después de ocho semanas de intervención se logró mejorar el Equilibrio (8.03%), Flexibilidad (12.98%) y reducir la prevalencia de lesión (60%) en el grupo experimental. (Ahmad Bhat & Sreedhar, 2019).

De acuerdo a lo señalado en el estudio anterior es de valor crucial resguardar la integridad de los deportistas siendo necesario un entrenamiento programado del equilibrio y de la flexibilidad como medida preventiva eficaz en la prevención de lesiones.

Conclusión

En relación al mayor riesgo de lesión rodilla este se logra predecir de manera significativa por los siguientes descriptores anatómicos: ángulo postural de rodilla y tobillo, descriptores funcionales de despegue: potencia, fuerza vertical, velocidad lineal, capacidad de saltabilidad. Para el caso del riesgo de lesión tobillo, este se logra predecir de manera significativa con las siguientes variables posturales: ángulo postural de rodilla y tobillo; descriptores funcionales de despegue: potencia, fuerza vertical, velocidad lineal y capacidad de saltabilidad.

En el contexto del riesgo general del sistema rodilla – tobillo el modelo establece un nivel de asociación significativa en base al descriptor anatómico: ángulo de rodilla y descriptores funcionales de despegue: potencia, velocidad lineal, fuerza vertical, capacidad de saltabilidad y descriptor funcional de aterrizaje: estrategia de tobillo.

Finalmente se sugiere en relación a estudios posteriores considerar otros factores no considerados en este estudio; como es el ángulo Q en rodilla (mecánico funcional), el balance muscular en rodilla (cuádriceps e isquiotibiales), balance muscular en tobillo (tibial posterior - fibulares); tiempos de activación muscular y respuestas de control motor basados en el equilibrio dinámico para la articulación rodilla y tobillo.

Conflicto de intereses: Inexistente.

Referencias

- Ahmad Bhat, N. & Sreedhar, K. (2019) Impact of an exercise training protocol on selected balance flexibility and injury prevalence among basketball and handball players. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education* 4(1): 548-552. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/332687590>
- Buckup, K. & Buckup, J. Pruebas clínicas para patologías óseas, articular y muscular. 5ta edición. Elsevier Masson. (2014)
- Danes Daetz, C., Rojas Toro, F., & Tapia Mendoza, V. (2020). Lesiones deportivas en deportistas universitarios chilenos (Sports injuries in Chilean university athletes). *Retos*, 38(38), 490-496. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/74745>
- Dauty, M; Menu, P.; Mesland, O., Fouasson-Chailloux, A. (2019)

- Muscle strength particularity of grand tour cyclists from knee isokinetic assessment. *Science & sports*; 25(2): 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.10.004>
- Doherty C Bleakley, C. (2017) Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis, *Br J Sports Med.* 51:113–125. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096178.
- Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, (2014) The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and metaanalysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med.*; 44 (1):123–40. DOI: 10.1007/s40279-013-0102-5.
- Feria Madueño, A., De Hoyo Lora, M., Romero Boza, S., Mateo Cortés, J., & Sañudo Corrales, B. (2014). Varo y valgo de rodilla en cambios de dirección como factor de riesgo de lesión. *Retos*, 0(26): 176 -177. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/34462>
- Ferreira, E.; Duarte, M. (2011) Quantitative assessment of postural alignment in young adults based on photographs of anterior, posterior and lateral views. *Journal Manipulative Physiology Therapy*; 34:371-380. DOI: 10.1016/j.jmpt.2011.05.018.
- Ferrer-Roca, V., Balius, X., Domínguez-Castrillo, O., Linde, F.J. & Turmo-Garuz, A. (2014) Evaluación de factores de riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior en jugadores de fútbol de alto nivel. *Apunts Medicina L' Esport.* 49(181):5-10. DOI: 10.1016/j.apunts.2013.06.003.
- Fong, C. M., Blackburn, J. T., Norcross, M. F., McGrath, M., & Padua, D. A. (2011). Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *Journal of athletic training*, 46(1), 5–10. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.1.5>
- Granero Xiberta, J. Manual de exploración física del aparato locomotor. 1 edición, medical & marketing communications. (2010)
- Guzmán, H. (2012) Lesiones deportivas en niños y adolescentes. *Revista Médica Clínica Las Condes.* 23 (3), 267-273. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(12\)70310-3](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(12)70310-3)
- Holden, S., Boreham, C. & Delahunt, E. (2015) Sex Differences in Landing Biomechanics and Postural Stability During Adolescence: A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine.* 46(2):241-253. DOI: 10.1007/s40279-015-0416-6
- Ito, E., Iwamoto, J., Azuma, K. & Matsumoto, H., (2015) Sex-specific differences in injury types among basketball players. *Open Access Journal of Sports Medicine.*6: 1–6. DOI: 10.2147/OAJSM.S73625.
- LaBella, C., Huxford, M., (2011). Effect of neuromuscular warm-up on injuries in female soccer and basketball athletes in urban public high schools. *Archives of Pediatric and Adolescent Medicine*, 166(11), 1033-1040. DOI: 10.1001/archpediatrics.2011.168.
- Lacasta Tintorer, D., Manresa Domínguez, J. M., Jiménez-Zarco, A., Rodríguez-Blanco, T., Flayeh Beneyto, S., Torán-Monserrat, P., Mundet Tuduri, X., & Saigí-Rubió, F. (2020). Efficiency as a determinant of loyalty among users of a Community of Clinical Practice: a comparative study between the implementation and consolidation phases. *BMC family practice*, 21(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s12875-020-1081-x>
- Lin, J. Z., Lin, Y. A., & Lee, H. J. (2019). Are Landing Biomechanics Altered in Elite Athletes with Chronic Ankle Instability. *Journal of sports science & medicine*, 18(4), 653–662. Recuperado <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6873120/>
- López, L.; Rodríguez, I. & Palacios, A. (2017). Injury Incidence Rate Among Amateur Basketball Players. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.* 17 (66): 299-316. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2017.66.006>
- Louw, Q. & Grimmer, K. (2006) Biomechanical factors associated with the risk of knee injury when landing from a jump. *South African Journal of sport medicine.* 18 (1): 18-23. DOI: 10.17159/2078-516X/2006/v18i1a248
- Markovic, M., Varel, M., Schweisfurth, M. A., Schilling, A. F., & Dosen, S. (2020). Closed-Loop Multi-Amplitude Control for Robust and Dexterous Performance of Myoelectric Prosthesis. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 28(2): 498–507. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2959714>
- Marqués, M. C.; Izquierdo, M. (2014) Kinetic and Kinematic Associations Between Vertical Jump Performance and 10-m Sprint Time. *Journal of Strength and Conditioning.* 28(8) /2366–2371. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000390
- Martínez, F., Gómez F. & Romero, E. (2009) Análisis de vídeo para la estimación del movimiento humano, una revisión. *Revista médica*; 17 (1): 953-106. Recuperado <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v17n1/v17n1a14.pdf>
- Martínez, M.; Alvarado R. (2017) Validación del cuestionario nórdico estandarizado de síntomas músculo esqueléticos para la población trabajadora chilena, adicionado una escala de dolor. *Revista de Salud Pública, (XXI)* 2:41 - 51. <https://doi.org/10.31052/1853.1180v21.n2.16889>
- McKay, GD.; Goldie, PA. Payne, WR., & Oakes, BW. (2001) Ankle injuries in basketball: injury rate and risk factors. *Br Journal Sports Medicine*; 35:103–108. DOI:10.1136/bjism.35.2.103
- Osbah, D.C.; Drakos, M.C. (2013) Syndesmosis and Lateral Ankle Sprains in the National Football League. *Orthopedics.* 36 (11): 1378-1384. DOI: 10.3928/01477447-20131021-18.
- Pacheco, A., Meyer, F., Pacheco, I., Tarragó, C., & Adami, J. (2019) Ankle sprain risk factors: a5 month follow-up study in volley and basketball athletes. *Revista Brasileña Medicina deporte.* 25 (3): 220-225. Recuperado de DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1517869220192503208053>
- Padua DA, Distefano LJ, Beutler AI, (2015). The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal Athletic Training*; 50 (6): 589–595. DOI: 10.4085/1062-6050-50.1.10
- Pandy, M., Sim, E., Zajac, F. & Levine, W. (1990) An optimal control model for maximum-height human jumping. *Journal of Biomechanics.* 23(12):1185-1198. DOI: 10.1016/0021-9290(90)90376-E
- Paušić, J. Pedišić, Z. Dizdar, D. (2010) Reliability of a photographic method for assessing standing posture of elementary school student. *Journal Manipulative Physiol Therapy*; 33:425-431. DOI: 10.1016/j.jmpt.2010.06.002
- Prieto Andreu, J. (2015). Variables deportivas y personales en la ocurrencia de lesiones deportivas. Diferencias entre deportes individuales y colectivos. *Retos*, 0(28), 21-25. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/34819>
- Pueo, B., & Jimenez-Olmedo, J. (2017). Application of motion capture technology for sport performance analysis. *Retos*, 0(32), 241-247. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/56072/33848>
- Ravasco, P. & Anderson, H (2010) Métodos de valoración del estado nutricional. *Nutrición Hospitalaria*; (3) 25:57-66. Recup. http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v25s3/09_articulo_09.pdf
- Rechel, J., Yard, E. & Dawn, R. (2008) An Epidemiologic Comparison of High School Sports Injuries Sustained in Practice and Competition. *Journal of athletic training.* 43(2): 197–204. DOI: 10.4085/1062-6050-43.2.197.
- Soares, W. S. (2012) Biomecánica aplicada al deporte: contribuciones, perspectivas y desafíos. *Educación Física y Deportes, Revista Digital.* Buenos Aires. 170, 01 – 09. Recuperado <http://www.efdeportes.com/efd170/biomecanica-aplicada-al-deporte.htm>
- Surgeons, 21(1), 41-50. Recuperado <https://doi.org/10.5435/JAAOS-21-01-41>.
- Sutton, K. M., & Bullock, J. M. (2013). Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 21(1), 41-50. Recuperado <https://doi.org/10.5435/JAAOS-21-01-41>
- Toro Román, V., Guerrero Ramos, D., Muñoz Marín, D., Siquier Coll, J., Bartolomé Sánchez, I., & Robles Gil, M. (2019). Análisis de la incidencia de lesiones y hábitos usados durante el calentamiento en el baloncesto femenino. *Retos*, 38(38), 159-165. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/74310/48087>
- Wheinhandl, J., Joshi, M., O'Connor, K. (2010). Gender comparisons between unilateral and bilateral landing. *Journal of Applied Biomechanics*, 26: 444 - 453. DOI: 10.1123/jab.26.4.444