Article

Ratios de Fuerza de Rodilla en Deportistas Femeninas de Competición

Jaroslaw Kabacinski, Michal Murawa, Krzysztof Mackala y Lechoslaw Bogdan Dworak

RESUMEN

Las ratios de fuerza de rodilla están relacionadas con los patrones de movimiento, el entrenamiento específico del deporte y las lesiones de rodilla en los deportistas. El propósito de este estudio fue determinar las ratios de la fuerza isocinética concéntrica de isquiotibiales y cuádriceps y la fuerza isométrica de los extensores de rodilla. En jugadoras de baloncesto (n = 14) y jugadoras de voleibol (n = 12) se evaluó: la ratio de torque máximo de isquiotibiales-cuádriceps (H/Q) y la ratio de torque máximo de lado a lado (TR) para isquiotibiales y cuádriceps; la ratio entre la fuerza bilateral máxima y la fuerza unilateral máxima sumada (B/U) y la ratio de fuerza máxima de lado a lado (SR) para los extensores de rodilla. Para los valores de la H/Q, se calculó un análisis factorial mixto de varianza de 2 × 2 × 3 y una prueba post hoc de Bonferroni. Los valores de la H/Q aumentaron de 48,0 (3,9)% a 60°/s a 70,4 (7,9)% a 300°/s. Además, hubo diferencias significativas en los valores de la H/Q entre 300°/s y 180°/s, 300°/s y 60°/s en las jugadoras de baloncesto y voleibol, y entre 180°/s y 60°/s sólo en las jugadoras de baloncesto ($p<0,05$). Las jugadoras de baloncesto demostraron resultados significativamente más altos en la H/Q a 60°/s que las jugadoras de voleibol ($p<0,05$). Las diferencias en los valores medios de la TR y la SR oscilaron entre el 4,4% y el 8,6% y no indicaron déficits significativos de fuerza de lado a lado ($p>0,05$). En ambos grupos se encontró una mayor fuerza isométrica desarrollada bilateralmente (B/U>100%). Los hallazgos revelaron la magnitud de las ratios de fuerza de las rodillas en las jugadoras determinada por los movimientos específicos del deporte en baloncesto y voleibol. Este estudio resaltó la importancia del déficit de fuerza bilateral y el equilibrio muscular entre isquiotibiales y cuádriceps en las jugadoras de baloncesto y voleibol en actividades relacionadas con sus patrones de movimiento y entrenamiento específico.

INTRODUCCIÓN

La magnitud de la ratio de torque máximo de isquiotibiales-cuádriceps (H/Q) puede reflejar los patrones de movimiento durante la carrera o el salto [1-3]. Una H/Q concéntrica isocinética típica para deportistas sanos oscila entre 0,50 y 0,80 dependiendo de la velocidad angular e indica el equilibrio muscular entre isquiotibiales y cuádriceps [4,5]. Además, la ratio de torque entre los músculos agonistas y antagonistas de la rodilla está asociada a las exigencias del deporte, las adaptaciones de entrenamiento y el nivel de competición [1-3,6]. Estudios previos evaluaron la H/Q isocinética en jugadores sanos de voleibol y baloncesto [1-4,7-11]. Varios investigadores han encontrado un aumento de la H/Q isocinética con una mayor velocidad en los jugadores de baloncesto [1,7,11] y de voleibol [1,7]. Además, Rosene et al [1] no notaron diferencias significativas en la H/Q isocinética entre deportistas en ambos deportes.

La fuerza muscular también se compara entre la extremidad inferior (LE) no dominante y la LE dominante [12]. En los jugadores de baloncesto y voleibol, el dominio lateral muy a menudo se determina por el uso de la LE izquierda como el último pie antes de un despegue durante el lanzamiento en suspensión en baloncesto y durante el remate en el voleibol. A

pesar de esto, pocos autores han demostrado diferencias significativas de fuerza muscular entre la LE no dominante y la LE dominante en jugadores de baloncesto [1,3,8,11] y de voleibol [1-3]. Las diferencias de fuerza muscular de lado a lado dentro de los datos normativos (menos de 10-15%) pueden enfatizar el patrón bilateral de las actividades específicas de un deporte [1-3,12].

Un desequilibrio en la H/Q así como las diferencias significativas en la fuerza muscular entre las LEs son factores de riesgo importantes de lesión [4,13]. Por lo tanto, el fortalecimiento de los músculos del muslo y el equilibrio de la H/Q pueden contribuir a reducir la incidencia de lesiones de rodilla en los deportistas [3,14-16]. Los isquiotibiales fuertes pueden tener un efecto protector contra la tensión excesiva del ligamento cruzado anterior (LCA) en deportistas femeninas [14,17,18], mientras que el aumento de la fuerza del cuádriceps (por ejemplo, en el entrenamiento excéntrico) puede prevenir eficazmente el desarrollo de la tendinopatía rotuliana [18,19]. En particular, el programa de entrenamiento de fuerza que consiste en ejercicios excéntricos se considera una estrategia efectiva para prevenir lesiones relacionadas con la caída del salto [15,17,18].

Las pruebas isométricas e isocinéticas también pueden utilizarse para evaluar la magnitud de la ratio entre la fuerza desarrollada durante la contracción bilateral y la suma de la fuerza desarrollada por cada extremidad de forma independiente (B/U). Especialmente, la prueba isométrica es muy útil para medir la B/U, porque minimiza los factores externos como el cambio en la longitud del músculo y la velocidad del movimiento [20]. Algunas investigaciones presentaron la B/U isométrica y la B/U isocinética de los extensores de rodilla en sujetos no entrenados [21-24]. Otros estudios se centraron en la evaluación de la B/U en levantadores de pesas y ciclistas [25] y en remeros con diferentes niveles de competición [26].

Un déficit bilateral ocurre cuando la fuerza bilateral es menor que la suma de la fuerza unilateral. Varios estudios han demostrado el déficit bilateral (es decir, B/U<100%) en diferentes poblaciones [20,27], grupos etarios (jóvenes, adultos de mediana edad, adultos mayores) [23,24], grupos musculares (extremidades inferiores versus superiores) [28] y acciones [21,29-31]. Este déficit puede ser el resultado de una reducción de la estimulación de la unidad motora y de la capacidad para reclutar fibras rápidas [30,32]. Otra causa presumible de déficit bilateral incluye el mecanismo de inhibición de la activación de la neurona motora en un miembro por la actividad sensorial del miembro contralateral y viceversa [22].

El objetivo del estudio fue determinar las ratios de torque isocinético concéntrico de isquiotibiales y cuádriceps y la fuerza muscular isométrica de los extensores de rodilla desarrollados en cadena cinética cerrada en jugadoras de baloncesto y voleibol. Se planteó la hipótesis de que las jugadoras de voleibol presentarán una mayor H/Q debido a que se producirán acciones más específicas en el entrenamiento y en el juego (habilidades de remate de 2 o 3 pasos de aproximación y saltos a bloquear) que en todos los movimientos específicos que ocurren en el baloncesto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Declaración de Ética

El estudio recibió la aprobación del Comité de Bioética de la Universidad de Ciencias Médicas de Poznan. Todas las mujeres dieron su consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación. Todos los procedimientos se llevaron a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki. El sujeto en este manuscrito ha dado su consentimiento informado por escrito (como se indica en el formulario de consentimiento de PloS) para publicar estos detalles del caso.

Participantes

Catorce jugadoras de baloncesto y doce jugadoras de voleibol participaron en el estudio. Los datos descriptivos de cada grupo se muestran en la Tabla 1. Todos los atletas estaban actualmente sanos y activos con los equipos de la Asociación Polaca de Deportes Universitarios de las primeras ligas nacionales polacas. Las jugadoras de baloncesto han sido incluidas en un programa de entrenamiento especial que incorpora numerosos ejercicios pliométricos durante la fase preparatoria. Las jugadoras de voleibol han sido sometidas a tales ejercicios en menor grado. Todas las deportistas femeninas presentaron dominio de la LE izquierda. La LE dominante se definió como la extremidad con la que la jugadora realiza el despegue durante el salto.

Tabla 1. *Valores medios (DE) para las características de los participantes.*

Characteristic	Basketball athletes ($n = 14$)	Volleyball athletes ($n = 12$)
Age [years]	19.8 (1.4)	22.3 (4.2)
Body height [cm]	178.1 (7.7)	183.0 (8.7)
Body mass [kg]	67.6 (9.3)	74.4 (10.9)
BMI [kg/m^2]	21.8 (2.1)	22.1 (1.8)

Note: BMI = body mass index; SD = standard deviation.

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191077.t001

Procedimientos Experimentales

Las pruebas de laboratorio se realizaron en dos sesiones independientes durante la primera ronda de la temporada oficial (la segunda mitad de octubre). El período de 6 días (sesión I) incluyó las mediciones del torque isocinético concéntrico de isquiotibiales y cuádriceps. Durante el período de 2 días (sesión II), se examinó la fuerza muscular isométrica de los extensores de rodilla (KE) desarrollada en cadena cinética cerrada (CKC). Se evaluaron las siguientes variables: (a) la ratio de torque máximo entre isquiotibiales-cuádriceps (H/Q) durante la contracción unilateral (isocinética, fórmula:), (b) la ratio de torque máximo de lado a lado (TR) entre isquiotibiales-cuádriceps (isocinética), (c) la ratio de fuerza máxima de lado a lado (SR) para los KE durante la contracción unilateral (isométrica), los valores de la SR y la TR se calcularon mediante esta fórmula: , (donde, X10,05).

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en los valores de torque máximo de cuádriceps e isquiotibiales entre las LEs izquierda y derecha (el *t*-test de muestras pareadas, $p>0,05$) y no mostró valores de TR significativos entre las jugadoras de baloncesto y de voleibol (el *t*-test de muestras independientes, $p>0,05$). Las diferencias en los valores medios de la TR fueron inferiores al 10% (sin déficit de fuerza significativo) y oscilaron entre el 4,4% y el 7,3% en las jugadoras de baloncesto y entre el 5,6% y el 8,6% en las jugadoras de voleibol. Los resultados de la TR se presentan en la Fig. 4.

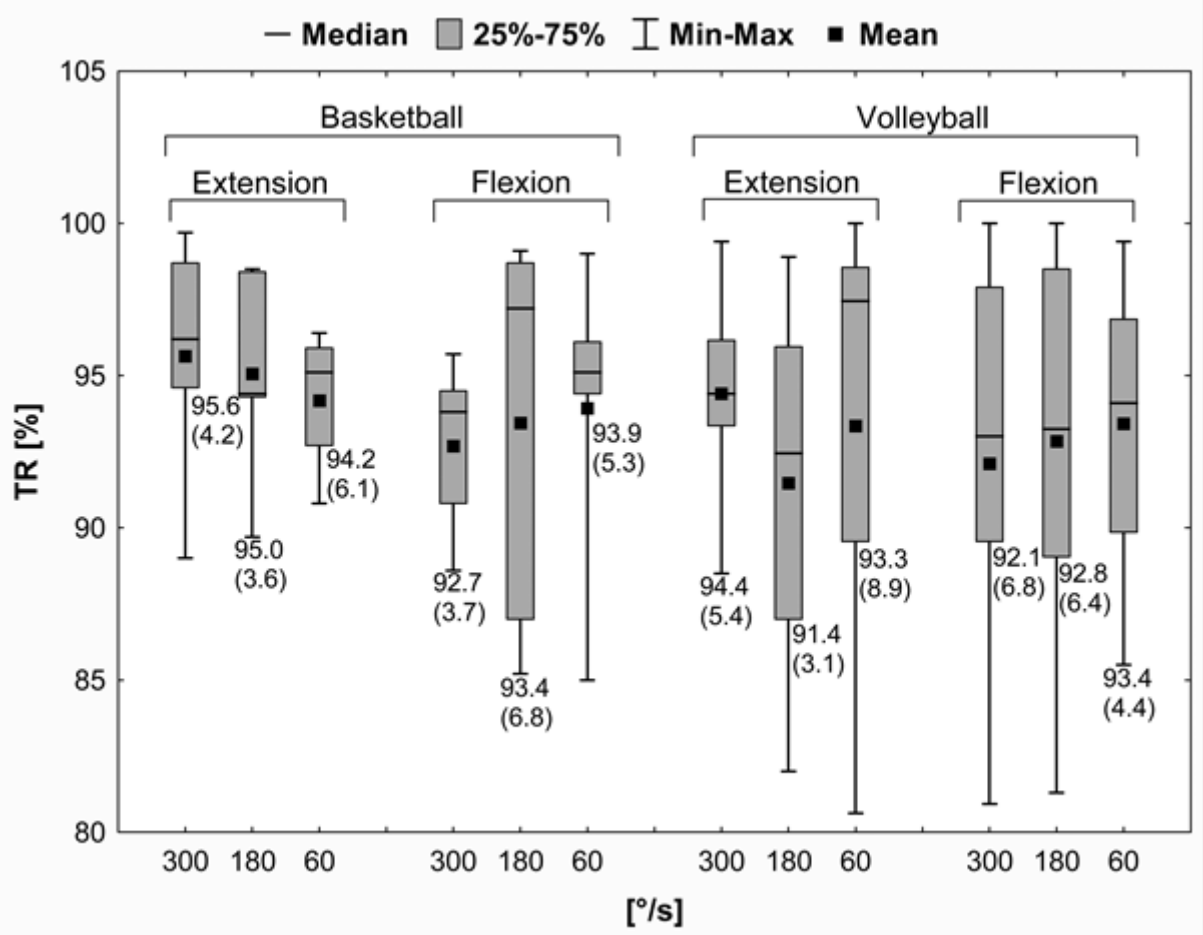

Figura 4. *Valores medios (DE) de la TR para cuádriceps e isquiotibiales en deportistas femeninas.*
TR = ratio de torque máximo de lado a lado para cuádriceps e isquiotibiales; DE = desviación estándar; 25% = primer cuartil; 75% = tercer cuartil; min = mínimo; max = máximo.

En las deportistas femeninas, no hubo diferencias significativas en los valores de fuerza de los KE entre las LEs izquierda y derecha (el *t*-test de muestras pareadas, $p>0,05$). Los resultados de la SR no revelaron déficits significativos de fuerza de lado a lado: 6,0% (jugadoras de baloncesto) y 7,8% (jugadoras de voleibol) (Fig. 5A). Los valores de la B/U fueron superiores al 100%, alrededor del 6,9% en las jugadoras de baloncesto y alrededor del 4,8% en las de voleibol (Fig. 5B). Además, no se encontraron diferencias significativas en los valores de la SR y la B/U entre las jugadoras de baloncesto y voleibol (el *t*-test de muestras independientes, $p>0,05$).

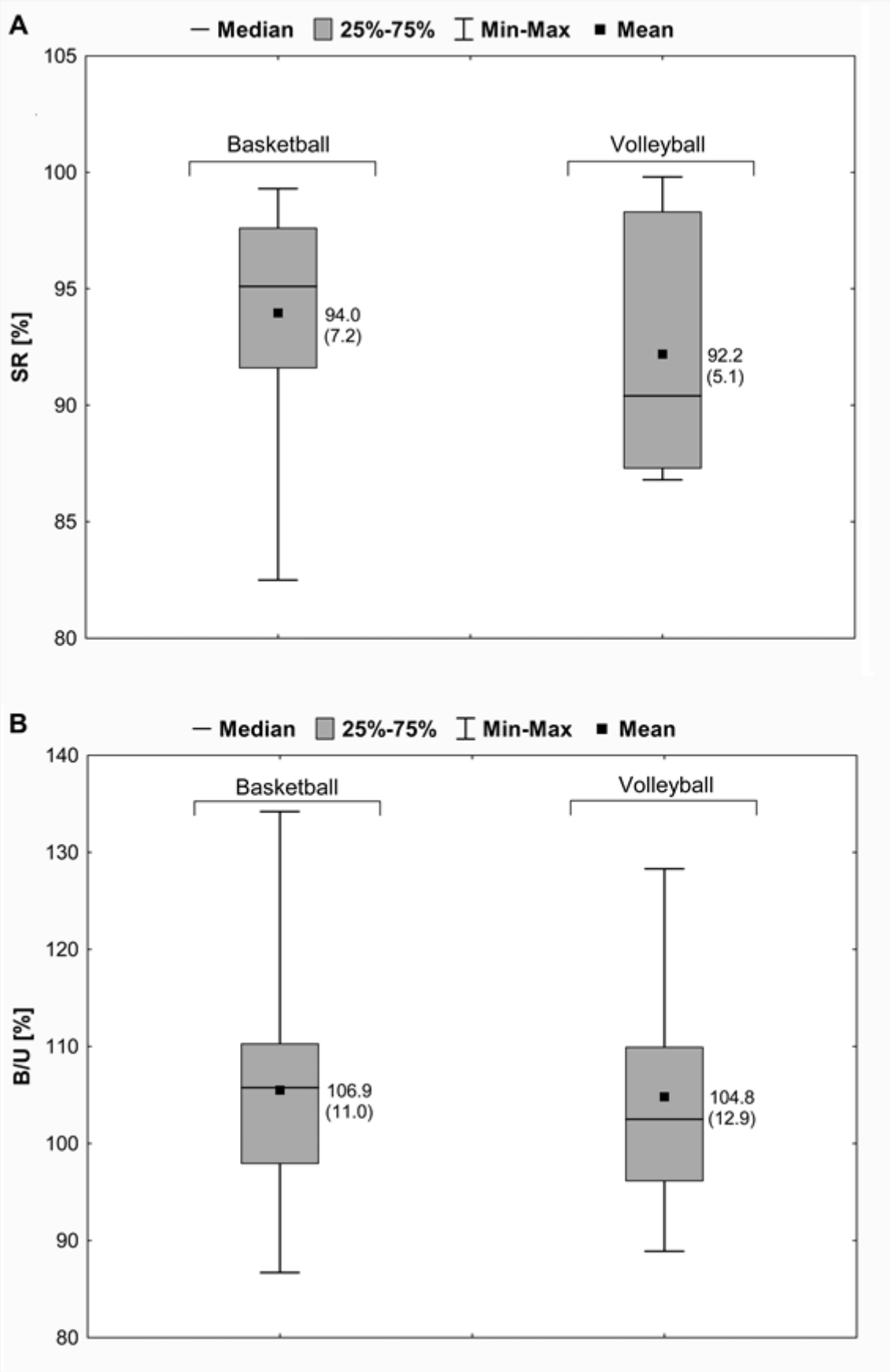

Figura 5. *Valores medios (DE) de las ratios de fuerza isométrica para los KE en deportistas femeninas.*
(A) SR = ratio de fuerza máxima de lado a lado para KE; (B) B/U = ratio de fuerza máxima producida bilateralmente con la suma de la fuerza máxima producida unilateralmente para KE. KE = extensores de rodilla; DE = desviación estándar; 25% = primer cuartil; 75%

= tercer cuartil; min = mínimo; max = máximo.

Discusión

El presente estudio evaluó la H/Q concéntrica de las jugadoras de voleibol y de baloncesto. Los resultados revelaron el equilibrio de la fuerza muscular de la rodilla (la H/Q osciló aproximadamente entre el 50 y el 70%) a velocidades de 60°/s, 180°/s y 300°/s. Los resultados de la H/Q del 50% al 80% -típicos para personas sanas- se recomiendan para la función normal de la articulación de la rodilla [4,5]. La magnitud de esta ratio puede ser determinada por las demandas específicas del deporte relacionadas con los patrones de movimiento durante la carrera o el salto [1-3]. Además, la reducción de la función de los isquiotibiales debido a actividades que enfatizan las cargas sobre los extensores de rodilla puede llevar al desequilibrio de la fuerza muscular entre isquiotibiales y cuádriceps, lo cual está implicado como un factor de riesgo potencial de lesiones de rodilla [1,13]. El aumento de las cargas dinámicas durante el salto (por ejemplo, en voleibol y baloncesto), la finta y el giro (en baloncesto), así como el desequilibrio muscular entre isquiotibiales y cuádriceps pueden contribuir a la lesión del LCA [4]. Por lo tanto, algunos autores han indicado ejercicios adicionales que aumentan la fuerza de los isquiotibiales para proteger de la tensión excesiva del LCA, especialmente en deportistas con una H/Q significativamente baja [14,17,18].

Se observaron diferencias significativas en los valores de la H/Q a una velocidad de 60°/s entre ambos grupos. Por lo tanto, los cuádriceps en relación a los isquiotibiales fueron significativamente más fuertes entre las jugadoras de baloncesto que entre las de voleibol. Los resultados de este estudio apoyaron la hipótesis de que las jugadoras de voleibol femeninas muestran una mayor H/Q. Puede explicarse por una acción más específica que ocurre en el voleibol, en particular durante el remate, en donde los isquiotibiales actúan de forma excéntrica durante 2 ó 3 pasos de aproximación (aceleración). Durante el swing tardío, la cadera se flexiona y la rodilla se extiende. Los isquiotibiales están activos en esta etapa mientras se alargan, lo que podría inducir una fuerte contracción excéntrica, donde en la fase de apoyo, los isquiotibiales permanecen activos, presumiblemente acortándose lo que podría inducir una contracción concéntrica [33,34]. Los estudios de Mackala et al [35] y Coh y Mackala [36] han demostrado que los extensores de cadera (isquiotibiales) muy probablemente contribuyen a la altura del salto vertical durante el despegue, donde permanecen activos de forma excéntrica.

La evaluación isocinética mostró una reducción en los valores de la H/Q con una disminución de la velocidad debido al aumento significativo de los valores de torque máximo del cuádriceps. Los flexores de rodilla y los extensores de rodilla son responsables de diferentes funciones; por ejemplo, durante los saltos de voleibol y baloncesto, el cuádriceps contrarresta principalmente las cargas externas adversas en la fase de caída. Además, hubo diferencias significativas de la H/Q entre las tres velocidades angulares sólo en los jugadores de baloncesto, que obtuvieron valores de H/Q significativamente más altos a 300°/s que a 180°/s y 60°/s, así como valores significativamente más altos a 180°/s que a 60°/s. De manera similar, Rosene et al [1] notaron aumentos significativos en los resultados de la H/Q de 48,8% (LE izquierda) y 50,1% (LE derecha) a 60°/s a 53,5% (LE izquierda) y 56,4% (LE derecha) a 120°/s, y a 58,7% (LE izquierda) y 59,4% (LE derecha) a 180°/s entre las jugadoras interuniversitarias de fútbol femenino, softbol, voleibol y baloncesto.

Los valores de la H/Q en jugadores de varios deportes con niveles de competición similares pueden depender de las exigencias específicas del deporte. Por ejemplo, los jugadores de baloncesto realizan el cambio rápido de posición (desaceleración y aceleración) durante la carrera, el pivote y otras técnicas de salto en comparación con los jugadores de voleibol. Este estudio demostró que la H/Q es significativamente más alta en jugadoras de voleibol que en jugadoras de baloncesto. A su vez, Cheung et al [3] mostraron diferencias significativas en los valores de H/Q entre los jugadores de campo y de cancha (baloncesto y voleibol) a 60°/s para la LE dominante y a 300°/s para la LE no dominante. En contraste, Rosene et al [1] no encontró diferencias significativas en la H/Q entre los jugadores de fútbol, softball, voleibol y baloncesto. Además, Zakas [6] no observó diferencias significativas de esta ratio a 60°/s y 180°/s entre los jugadores de baloncesto y de fútbol.

El análisis comparativo entre las extremidades no reveló diferencias significativas en la fuerza muscular entre la LE izquierda y derecha en las jugadoras de ambos deportes. Otros estudios tampoco mostraron diferencias significativas de fuerza de lado a lado entre las jugadoras de voleibol [1-3,37] y las jugadoras de baloncesto [1,3,6,8,11]. Considerando sólo a las mujeres, Rosene et al [1] no encontraron diferencias significativas en el torque máximo entre las LEs no dominantes y dominantes en las jugadoras de voleibol y baloncesto y Rouis et al [11] en las jugadoras de baloncesto. Estos déficits de fuerza no significativos en las deportistas se explicaron mediante cargas específicas colocadas en las LEs para mantener una fuerza similar en ambos lados. Tanto en las jugadoras de baloncesto como en las de voleibol, las LEs están sujetas a cargas bilaterales durante las técnicas defensivas y ofensivas, lo que muy a menudo requiere un rendimiento de doble-pierna que reduce las diferencias de fuerza muscular de lado a lado. Además, ninguna diferencia significativa en la fuerza de la rodilla entre la LE izquierda y derecha puede enfatizar el patrón bilateral de algunas habilidades de baloncesto y

voleibol, sin embargo, las jugadoras muy a menudo usaron la LE izquierda como la extremidad final durante el despegue antes de un salto de lanzamiento en baloncesto o antes de un salto de remate en voleibol. Sin duda, la ejecución efectiva de estos movimientos deportivos específicos requiere una mejora de la fuerza del lado preferido.

Estudios previos compararon el déficit de fuerza isocinética entre jugadores de varios deportes. Rosene et al [1] informaron que la fuerza muscular de lado a lado del muslo no era significativa entre los jugadores de voleibol, fútbol, baloncesto y softball. Además, Cheung et al [3] no encontraron diferencias significativas en el torque máximo normalizado de los isquiotibiales y los cuádriceps entre los deportistas que juegan en el campo (fútbol) y en la cancha (voleibol y baloncesto). Esta investigación tampoco demostró un déficit de torque máximo significativo entre las jugadoras de baloncesto y de voleibol, que puede determinar patrones de movimiento bilaterales similares durante el salto y la caída. Sin embargo, Magalhães et al [2] mostraron una diferencia significativamente mayor en la fuerza de los isquiotibiales entre las LEs no dominantes y dominantes en los jugadores de fútbol versus los jugadores de voleibol a una velocidad de 90°/s. Este patrón fue explicado por las mayores demandas unilaterales de los isquiotibiales en las acciones estabilizadoras al patear y pasar el balón en el fútbol [2,38].

Los resultados de la B/U fueron comparables entre las jugadoras de baloncesto y voleibol y superiores al 100%. Los participantes desarrollaron una mayor fuerza de los KE bilateralmente debido al mejor uso de las capacidades de fuerza de ambas LEs simultáneamente. La fuerza bilateral mayor que la suma de la fuerza unilateral (B/U>100%) se define como facilitación bilateral y puede resultar de una adaptación neuromuscular de los KE para realizar tareas bilaterales. En las jugadoras de baloncesto y voleibol, las cargas bilaterales de las LEs durante el corte, salto o caída pueden contribuir a la facilitación bilateral.

La B/U por debajo del 100% indica el déficit bilateral. Algunos investigadores han sugerido que la reducción de la capacidad para reclutar fibras rápidas puede causar este déficit [30,32]. Otros autores indicaron que el factor neural, relacionado con la reducción en el reclutamiento de unidades motoras y la consecuente generación de torque en las extremidades, resultó en una disminución de la relación lineal entre el torque y la actividad muscular eléctrica en la condición bilateral [21,23,29]. Además, Botton et al [21] encontraron una mayor suma del torque máximo producido unilateralmente en comparación con el torque máximo producido bilateralmente, posiblemente debido a una inhibición neuronal que ocurre durante la condición bilateral, que inhibe la producción del torque máximo.

Los resultados de la B/U en las jugadoras de los deportes seleccionados dependen del nivel de competición, de los ejercicios unilaterales o bilaterales, así como de los patrones de movimiento. Por ejemplo, Sale [26] informó un pequeño déficit bilateral que ocurrió en remeros nacionales, mientras que los remeros de alto rendimiento tuvieron una mayor fuerza muscular desarrollada bilateralmente. Fleck y Kreamer [25] encontraron la B/U>100% en deportistas que cargan las LEs simultáneamente (por ejemplo, levantadores de pesas) y la B/U<100% en deportistas que realizan movimientos alternados de las LEs (por ejemplo, ciclistas). Además, Beurskens et al [22] mostraron una disminución del déficit bilateral en adultos jóvenes y mayores después del entrenamiento intenso de fuerza bilateral y el entrenamiento de equilibrio. Además, Botton et al [31] evaluaron la B/U en mujeres jóvenes activas recreativamente y demostraron un déficit bilateral significativo en los sujetos después del entrenamiento unilateral y una facilitación bilateral significativa en los sujetos después del entrenamiento bilateral.

Conclusiones

El fortalecimiento de los músculos del muslo, la reducción del déficit de fuerza bilateral y el equilibrio de la H/Q se consideran a menudo actividades importantes, tanto para el alto rendimiento en el deporte como para la prevención de lesiones de rodilla. Una H/Q significativamente mayor a 60°/s en las jugadoras de voleibol indica una mejor utilización del grupo de músculos isquiotibiales en los movimientos específicos del voleibol o un debilitamiento de los cuádriceps en relación con los isquiotibiales en comparación con las jugadoras de baloncesto. Debe enfatizarse que cada LE necesita ser usada en cualquier ambiente de entrenamiento, para mejorar el rendimiento y reducir las lesiones. Además, proporcionar un estímulo racional (fuerza muscular, pliometría o algunas actividades de velocidad) para ambas LEs puede prevenir cualquier desequilibrio resultante de los movimientos unilaterales repetitivos (fuerte dominio de la extremidad preferida) de los movimientos deportivos específicos del deportista. Además, los ejercicios bilaterales específicos de los músculos de las LEs pueden aumentar la B/U. Aunque, el déficit bilateral en algunos deportistas permanece sin cambios significativos, a pesar de la participación de ejercicios bilaterales [25]. A su vez, el uso de ejercicios unilaterales es importante para las actividades que requieren mayor fuerza desarrollada por cada miembro de forma independiente. Así, el entrenamiento y los patrones de movimiento específicos del deporte determinan la magnitud del déficit bilateral, así como las diferencias de fuerza entre las extremidades y el equilibrio muscular entre isquiotibiales y cuádriceps.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todas las jugadoras participantes, así como al equipo técnico del Club, por su colaboración. Este

estudio fue financiado por el Ministerio de Ciencia y Educación Superior de Polonia dentro del programa "Desarrollo del Deporte Académico" (número de beca RSA2 042 52).

REFERENCIAS

1. Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. (2001). Isokinetic hamstrings:quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Athl Training. 2001;36(4):378–83.*
2. Magalhães J, Oliveira J, Ascensão A, Soares J. (2004). Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *J Sports Med Phys Fit. 2004;44(2):119–25.*
3. Cheung RT, Smith AW, Wong DP. (2012). H:Q ratios and bilateral leg strength in college field and court sports players. *J Hum Kinet. 2012;33:63–71. pmid:23487043*
4. Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. (2008). Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport. 2008;11(5):452–9. pmid:17875402*
5. Kong PW, Burns SF. (2010). Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Phys Ther Sport. 2010;11(1):12–7. pmid:20129118*
6. Zakas A. (2006). Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstrings muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides. *J Sports Med Phys Fit. 2006;46(1):28–35.*
7. Huston LJ, Wojtys EM. (1996). Neuromuscular performance characteristic in elite female athletes. *Am J Sports Med. 1996;24(4):427–36. pmid:8827300*
8. Theoharopoulos A, Tsitskaris G, Nikopoulou M, Tsaklis P. (2000). Knee strength of professional basketball players. *J Strength Cond Res. 2000;14(4):457–63.*
9. Gerodimos V, Mandou V, Zafeiridis A, Ioakimidis P, Stavropoulos N, Kellis S. Isokinetic peak torque and hamstring/quadriceps ratios in young basketball players. (2003). Effects of age, velocity, and contraction mode. *J Sports Med Phys Fit. 2003;43(4):444–52.*
10. Lehance C, Crosier JL, Schiltz M, Maquet D, Crielaard JM, Bury T. (2004). Anaerobic power and isokinetic strength of basketball players. *Isokinet Exerc Sci. 2004;12(1):62–3.*
11. Rouis M, Coudrat L, Jaafar H, Filliard JR, Vandewalle H, Barthelemy Y, et al. (2015). Assessment of isokinetic knee strength in elite young female basketball players: correlation with vertical jump. *J Sports Med Phys Fit. 2015;55(12):1502–8.*
12. Dvir Z. (2004). Isokinetics. *Muscle testing, interpretation and clinical applications. 1st ed. London: Churchill Livingstone.*
13. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. (2004). Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention in female athletes. *J Athl Training. 2004;39(4):352–64.*
14. Salci Y, Kentel BB, Heycan C, Akin S, Korkusuz F. (2004). Comparison of landing maneuvers between male and female college volleyball players. *Clin Biomech. 2004;19(6):622–8.*
15. Cumps E, Verhagen EA, Duerinck S, Devillé A, Duchene L, Meeusen R. (2008). Effect of a preventive intervention programme on the prevalence of anterior knee pain in volleyball players. *Eur J Sport Sci. 2008;8(4):183–92.*
16. Kollock R, Van Lunen BL, Ringleb SI, Oñate JA. (2015). Measures of functional performance and their association with the hip and thigh strength. *J Athl Training. 2015;50(1):14–22.*
17. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. (1996). Plyometric training in female athletes. *Decreased impact forces and increased hamstring torques. Am J Sports Med. 1996;24(4):765–73.*
18. Reeser JC, Verhagen E, Briner WW, Askeland TI, Bahr R. (2006). Strategies for the prevention of volleyball related injuries. *Brit J Sports Med. 2006;40(7):594–600.*
19. Visnes H, Hoksrud A, Cook J, Bahr R. (2005). No effect of eccentric training on jumper's knee in volleyball players during the competitive season: a randomized clinical trial. *Clin J Sport Med. 2005;15(4):227–34. pmid:16003036*
20. Jakobi JM, Chilibeck PD. (2001). Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Can J Appl Physiol. 2001;26(1):12–33. pmid:11173667*
21. Botton CE, Radaelli R, Wilhelm EN, Silva BGC, Brown LE, Pinto RS. (2013). Bilateral deficit between concentric and isometric muscle actions. *Isokinet Exerc Sci. 2013;21(2):161–5.*
22. Beurskens R, Gollhofer A, Muehlbauer T, Cardinale M, Granacher U. (2015). Effects of heavy-resistance strength and balance training on unilateral and bilateral leg strength performance in old adults. *PloS One. 2015;10(2):e0118535. pmid:25695770*
23. Owings TM, Grabiner MD. (1998). Normally aging older adults demonstrate the bilateral deficit during ramp and hold contractions. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 1998;53(6):425–9.*
24. Kuruganti U, Seaman K. (2006). The bilateral leg strength deficit is present in old, young and adolescent females during isokinetic knee extension and flexion. *Eur J Appl Physiol. 2006;97(3):322–6. pmid:16770468*
25. Fleck SJ, Kraemer WJ. (1987). Designing Resistance Training Program. *1st ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 1987.*
26. Sale DG. (2008). Neural adaptation to strength training. *In: Komi PV, editor. Strength and power in sport. Oxford: Blackwell Science; 2008. pp. 281–314.*
27. Howard JD, Enoka RM. (1991). Maximum bilateral contraction are modified by neurally mediated interlimb effects. *J Appl Physiol. 1991;70(1):306–16. pmid:2010386*
28. Magnus CR, Farthing JP. (2008). Greater bilateral deficit in leg press than in handgrip exercise might be linked to differences in postural stability requirements. *Appl Physiol Nutr Metab. 2008;33(6):1132–9. pmid:19088771*

29. Koh TJ, Grabiner MD, Clough CA. (1993). Bilateral deficit is larger for step than for ramp isometric contractions. *J Appl Physiol. 1993;74(3):1200–5. pmid:8482658*
30. Kawakami Y, Sale DG, MacDougall JD, Moroz JS. (1998). Bilateral deficit in plantar flexion: relation to knee joint position, muscle activation, and reflex excitability. *Eur J Appl Physiol. 1998;77(3):212–6.*
31. Botton CE, Radaelli R, Wilhelm EN, Rech A, Brown LE, Pinto RS. (2016). Neuromuscular adaptations to unilateral vs. *bilateral strength training in women. J Strength Cond Res. 2016;30(7):1924–32. pmid:26348920*
32. Vandervoort AA, Sale DG, Moroz J. (1984). Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension. *J Appl Physiol. 1984;56(1):46–51. pmid:6693334*
33. Mero A, Komi P. (1987). Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Med Sci Sports Exerc. 1987;19(3):266–74. pmid:3600241*
34. Orchard J. (2002). Biomechanics of muscle strain injury. *N Z J Sports Med. 2002;30(4):92–8.*
35. Mackala K, Stodółka J, Siemienski A, Coh M. (2013). Biomechanical analysis of squat jump and countermovement jump from varying starting positions. *J Strength Cond Res. 2013;27(10):2650–61. pmid:23552341*
36. Coh M, Mackala K. (2013). Differences between the elite and sub-elite sprinters in kinematic and dynamic determinations of countermovement jump and drop jump. *J Strength Cond Res. 2013;27(11):3021–7. pmid:23442283*
37. Schiltz M, Lehance C, Maquet D, Bury T, Crielaard JM, Croisier JL. (2009). Explosive strength imbalances in professional basketball players. *J Ath Train. 2009;44(1):39–47.*
38. Lees A, Nolan L. (1988). The biomechanics of soccer: a review. *J Sports Sci. 1988;16(3):211–34.*