

ZMĚNY SVALOVÝCH A NERVOSVALOVÝCH FUNKCÍ U ADOLESCENTNÍCH BASKETBALISTŮ U17 A U19 PO ABSOLVOVÁNÍ SPECIFICKÉHO ÚNAVOVÉHO PROTOKOLU

CHANGES IN MUSCULAR AND NEUROMUSCULAR FUNCTIONS IN U17 AND U19 MALE BASKETBALL PLAYERS FOLLOWING SPECIFIC FATIGUE PROTOCOL

M. Lehnert, K. Hůlka, Z. Xaverová, E. Maixnerová, P. Milichová & P. Reich

Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury, Katedra sportu

ABSTRACT

Insufficient neuromuscular control is considered a risk factor of non-contact injuries. The aim of the present study is to examine the acute effects of a basketball-specific fatigue protocol (BUP28) on muscular and neuromuscular functions in U17 and U19 basketball players and to compare the indicators between the two categories. The assumption of the research is that specific fatigue in adolescent basketball players has a negative effect on the monitored characteristics. The study involved a total of 11 U17 players ($n = 11$; age = 16.1 ± 0.4 years; body height = 185.26 ± 0.51 cm, body weight = 74.55 ± 9.97 kg), and 18 U19 players ($n = 18$; age = 17.71 ± 0.51 years; body height = 188.84 ± 7.51 cm, body weight = 79.12 ± 8.27 kg). Hamstring and quadriceps strength in the dominant (DLL) and non-dominant (NLL) lower limb was measured using an isokinetic dynamometer at angular velocities of $60^\circ/\text{s}$ and $180^\circ/\text{s}$. Peak torque (PT) of knee joint flexors and extensors was measured and functional (H/Q_{FUNK}) and conventional (H/Q_{CONV}) ratio of their muscle strength calculated. After BUP28 in both groups of U17 and U19, PT in DLL quadriceps in concentric action at angular velocity of $60^\circ/\text{s}$ ($p = 0.039$, $d = 0.57$, $p = 0.047$, $d = 0.51$) and PT in hamstrings in eccentric action at angular velocity of $60^\circ/\text{s}$ ($p = 0.022$, $d = 0.52$, $p = 0.002$, $d = 0.88$) was compromised. In addition, in the group of U17, PT in NLL hamstrings in concentric action at angular velocity of $180^\circ/\text{s}$ ($p = 0.004$, $d = 0.83$) and in the group of U19 in eccentric action at angular velocity of $60^\circ/\text{s}$ ($p = 0.010$, $d = 0.80$) also in NLL was compromised. A significant difference was observed between U17 and U19 players in average PT values in both DLL and NLL quadriceps before and after BUP28 (except PT in DLL at angular velocity of $180^\circ/\text{s}$ before BUP28) and in H/Q_{FUNK} in NLL at $60^\circ/\text{s}$ before and after BUP28 and at $180^\circ/\text{s}$ before BUP28. The research suggested a trend of a greater decrease in muscle strength in the group of U17 players than in the group of U19 players. The changes in the monitored parameters did not unequivocally confirm an increased risk of lower limb injury as a result of worsened muscular and neuromuscular functions.

Keywords: ACL; fatigue; muscle strength; isokinetic; knee joint

SOUHRN

Nedostatečná neuromuskulární kontrola je považována za rizikový faktor nekontaktních zranění. Cílem předkládané studie je zkoumat akutní účinky specifického basketbalového únavového protokolu (BUP28) na svalové a nervosvalové funkce u basketbalistů kategorií U17 a U19 a porovnat sledované indikátory mezi kategoriemi. Sledováno bylo 11 hráčů kategorie U17 ($n = 11$; věk = $16,1 \pm 0,4$ let; tělesná výška = $185,26 \pm 0,51$ cm a tělesná hmotnost = $74,55 \pm 9,97$ kg) a 18 hráčů kategorie U19 ($n = 18$; věk = $17,71 \pm 0,51$ let; tělesná výška = $188,84 \pm 7,51$ cm a tělesná hmotnost = $79,12 \pm 8,27$ kg). Síla hamstringů a kvadricepsu byla měřena pomocí izokinetického dynamometru v úhlových rychlostech $60^\circ/\text{s}$ a $180^\circ/\text{s}$ před a po absolvování BUP28 u dominantní (DDK) a nedominantní (NDK) dolní končetiny. Byl stanoven maximální moment síly (peak torque; PT) flexorů a extenzorů kolenního kloubu a dále vypočten funkční (H/Q_{FUNK}) a konvenční (H/Q_{KONV}) poměr jejich svalové síly. Po absolvo-

vání BUP28 došlo u věkových kategorií U17 i U19 k zhoršení PT kvadricepsu DDK v koncentrické akci v úhlové rychlosti 60°/s ($p = 0,039$, $d = 0,57$, resp. $p = 0,047$, $d = 0,51$) a PT hamstringů při excentrické akci v rychlosti 60°/s ($p = 0,022$, $d = 0,52$, resp. $p = 0,002$, $d = 0,88$). Navíc u U17 došlo k zhoršení PT hamstringů NDK v koncentrické akci při rychlosti 180°/s ($p = 0,004$, $d = 0,83$) a u U19 při excentrické akci při rychlosti 60°/s ($p = 0,010$, $d = 0,80$) rovněž u NDK. Hráči kategorií U17 a U19 se signifikantně lišili v případě průměrných hodnot PT kvadricepsu DDK i NDK před i po absolvování BUP28 (kromě PT DDK při úhlové rychlosti 180°/s před BUP28) a v případě H/Q_{FUNK} NDK v rychlosti 60°/s před i po BUP28 a v rychlosti 180°/s před absolvováním BUP28. Uvedené změny sledovaných parametrů jednoznačně nepotvrdily zvýšení rizika zranění dolních končetin v důsledku zhoršení svalových a nervosvalových funkcí.

Klíčová slova: ACL; únava; svalová síla; izokinetika; kolenní kloub

Úvod

Riziko zranění se vyskytuje ve všech sportech, na všech výkonnostních úrovních a ve všech věkových kategoriích. Incidence zranění u mládeže je nejvyšší v adolescentním věku (Croisier, Ganteaume, Binet, Genty, & Ferret, 2008; Mahler, 2015; Theisen, Malisoux, Seil, & Urhausen, 2014; Thiel, Schubring, Schneider, Zipfel & Maxer, 2015). Jako nejrizikovější věková skupina byli identifikováni hráči a hráčky ve věku 16–18 let (Shea, Pfeiffer, Wang, Curtin, & Apel, 2004; Yu, Kirkendall, Taft, & Garrett, 2002), což bylo rovněž potvrzeno v případě zranění předního zkříženého vazy (ACL) ve sportech jako basketbal a fotbal (Lohmander, Englund, Dahl, & Roos, 2007). Z pohledu sportů patří k nejrizikovějším basketbal společně s fotbalem a s alpským lyžováním (Prodromos et al., 2008). V 70 až 80 procentech případů se jedná o převažující nekontaktní poranění (Alentorn-Geli et al., 2009), tj. poranění, která vznikají bez přímého působení vnější síly. K nejzávažnějším nekontaktním zraněním patří zranění ACL, ke kterým dochází především při dopadech a prudkých změnách směru (Hughes & Watkins, 2006; Silvers & Mandelbaum, 2007; Walden, Hagglund, Werner, & Ekstrand, 2011). Zranění ACL jsou spojena s nejdelším vynuceným přerušením tréninkové a soutěžní činnosti a rovněž predisponují k opětovnému poranění a dalším obtížím včetně časnějších degenerativních změn (Alentorn-Geli et al., 2009; Thacker et al., 2003). Z výše uvedeného vyplývá, že zranění ACL mohou negativně ovlivnit další vývoj sportovní kariéry mladých hráčů.

Při specifických pohybech, jako jsou sprinty, změny směru, výskoky, osobní souboje se významně uplatňuje svalová síla hamstringů (H), tj. kolenních flexorů a kvadricepsů (Q), tj. kolenních extenzorů. Kolenní extenzory jsou hlavními hybateli při běhu a skoku (fáze odrazu a brzdění při dopadu, kdy stabilizují koleno při excentrické svalové činnosti). Kolenní flexory ovlivňují délku kroku a stabilizují koleno při akceleraci, změnách směru, deceleraci a dopadu (Mair, Seaber, Glisson, & Garrett, 1996; Newman, Tarpenning, & Marino, 2004).

Svalové a nervosvalové řízení kolenního kloubu je klíčovým vnějším faktorem pro redukci napětí ACL a snížení rizika jeho zranění (Dai, Mao, Garrett, & Yu, 2014; Smith et al., 2012; Oliver, De Ste Croix, Lloyd, & Williams, 2014; Renstrom et al., 2008; Zahradnik, Jandacka, Uchytíl, Farana, & Hamill, 2015). Pro redukci zatížení ACL při výše uvedených pohybech je za jeden z klíčových faktorů souvisejících s rizikem zranění ACL považována síla H a Q (Dai et al., 2014; Hawkins, Hulse, Wilkinson, Hodson, & Gibson, 2001; Hughes & Watkins, 2006; Woods et al., 2004). Aktivace H a Q a koordinace jejich svalové činnosti redukuje stres působící na měkké struktury kolena a má zásadní význam pro stabilitu kolenního kloubu (Wojtys, Huston, Lindendorf, Hewett, & Greenfield, 1998). Síla H ovlivňuje funkce ACL při kontrole anteriorní translace tibie. Včasná a koordinovaná antagonistické aktivace H během koncentrické kolenní extenze působí proti vektoru destabilizující složky síly Q (zajišťují kompresi kloubu) a pozitivně tak ovlivňuje stabilizaci kolenního kloubu, redukuje nadbytečné napětí předního zkříženého vazy a funguje tak jako přirozený ochranný mechanismus (Tourny-Chollet & Leroy, 2002; Myer et al., 2009; Starman, Ferretti, Järvelä, Buoncristiani, & Fu, 2008). H hrají rovněž klíčovou roli z hlediska stabilizace a neutralizace působících sil při dopadech a vykonávání rychlých pohybů (Smith et al. 2012; Renstrom et al., 2008). Síla Q je důležitá při dopadech pro eliminaci flexního momentu síly, který vzniká v průběhu pohybu v kolenním kloubu v důsledku reakční síly podložky. Přitom dochází ke vzniku přední střížné síly, která způsobí posun femuru vůči tibii, čímž

dojde k zvýšení napětí ACL (DeMorat, Weinhold, Chudik, & Garrett, 2004; Markolf, O'Neill, Jackson, & McAllister, 2004).

Za jednu z příčin zranění měkkých struktur kolenního kloubu a H je považována unilaterální asymetrie síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu (Dauty, Potiron, & Rochcongar, 2003; Ayala, De Ste Croix, Sainz de Baranda, & Santonja, 2012; Colak, 2012; Coombs & Garbutt, 2002; Lehance, Binet, Bury, & Croisier, 2009). Význam koaktivace excentricky pracujících H při extenzi kolena pro udržení dynamické stability kolenního kloubu narůstá se zvyšující se úhlovou rychlostí pohybu (Coombs & Garbutt, 2002). Z uvedených důvodů se hodnotí tzv. funkční poměr H a Q (H/Q_{FUNK}), tj. poměr síly při excentrické akci H a koncentrické akci Q, který vyjadřuje schopnost flexorů kolene brzdit pohyb prováděný zapojením Q (Dvir, Eger, Halperin, & Shklar, 1989; De Ste Croix, 2007; Warren & Heusel, 2001). Pro hodnocení míry svalové dysbalance se rovněž využívá tzv. konvenčního poměru (H/Q_{KONV}), tj. poměru síly H a Q při koncentrické akci (Colak, 2012; Croisier, 2004; Yeung, S. S., Suen, & Yeung, E. W., 2009). Ukazuje se, že při snížení poměru H/Q_{KONV} dochází k většímu zatížení intraartikulárních struktur a je snížena také schopnost znovu nastavení optimální pozice kloubu, což vede ke změně biomechaniky KOK (Dauty et al., 2003; Rosene, Fogarty, & Mahaffey, 2001).

Riziko zranění ve sportu se zvyšuje s únavou (Delextrat, Gregory, & Cohen, 2010; Ekstrand, Hägg, & Waldén, 2009; Krstrup, Mohr, Steensburg, Bencke, Kjaer, & Bangsbo, 2005). Mezi etiologické faktory zranění ACL spojené s únavou patří zhoršení funkce dynamických stabilizátorů kolenního kloubu způsobené zvýšeným deficitem svalové síly H a Q, zvýrazněním jejich unilaterální svalové dysbalance a zpožděnou aktivací H. Únava tak vede k snížení stability kolenního kloubu a často také k většímu riziku poranění zejména předního zkříženého vazů (Hawkins et al., 2001; Melnyk & Gollhofer, 2007; Oliver & Smith, 2010; Theisen et al., 2014; Yu & Garrett, 2007). Projevy svalové únavy jsou provázeny nejen poklesem svalové síly, ale i zhoršenou kontrolou pohybu a sníženou rychlostí jeho provedení (Latash, 1998; Theisen et al., 2014).

Výše uvedené poznatky o výskytu zranění ACL v basketbalu ukazují, že se jedná o závažný fenomén, v jehož etiologii má důležitou roli svalová únava. Problematikou izokineticke síly kolenních flexorů a extenzorů u hráčů mládežnických kategorií a jejich změn se dosud zabývalo jen málo studií, přičemž sledování byla převážně provedena u fotbalistů (Lehance et al., 2009; Lehnert, Xaverová, & De Ste Croix, 2014; Maly, Zahalka, & Mala, 2013) a výjimečně u dalších sportovních her (Andrade et al., 2012; Xaverova et al., 2015). Rovněž výsledky několika studií zkoumajících vliv specifické únavy na PT kolenních stabilizátorů a jejich poměry u mladých hráčů a hráček byla zaměřena na fotbal (De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver, 2014; De Ste Croix, Priestley, Lloyd, & Oliver, 2015; Lehnert et al., 2016). Jejich výsledky se však liší, stejně jako u kategorie dospělých. Pokud je však autorům známo, nebyla dosud provedena studie, která by zkoumala interakce mezi svalovou silou, poměry H/Q a specifickou únavou u mladých basketbalistů. Hlavním cílem předkládané studie je proto zkoumat akutní účinky specifického basketbalového únavového protokolu BUP28 na svalové a nervosvalové funkce u mladých basketbalistů. Dílčím cílem je porovnat hodnoty sledovaných parametrů mezi kategoriemi U17 a U19.

Metodika

Soubor

Výzkumu se zúčastnilo celkem 29 hráčů basketbalu kategorií U17 a U19. Z toho 11 hráčů kategorie U17 (věk = $16,1 \pm 0,4$ let; tělesná výška = $185,26 \pm 0,51$ cm a tělesná hmotnost = $74,55 \pm 9,97$ kg) a 18 hráčů kategorie U19 (věk = $17,71 \pm 0,51$ let; tělesná výška = $188,84 \pm 7,51$ cm a tělesná hmotnost = $79,12 \pm 8,27$ kg). Testování hráči hráli v sezóně 2015/2016 nejvyšší a druhou nejvyšší republikovou soutěž a měli za sebou minimálně osm let tréninku basketbalu. Během sezóny absolvovali čtyři týmové tréninky, jeden kondiční trénink a jeden individuální trénink týdně. Devět hráčů U17 a patnáct hráčů U19 mělo dominantní pravou dolní končetinu. Dva hráči U17 a tři hráči U19 měli dominantní levou dolní končetinu. Dominance byla určena dle preference kopu do míče. Před samotným měřením byli hráči seznámeni s průběhem a cílem měření, následně podepsali informovaný souhlas s účastí na měření.

Postup měření

Měření se uskutečnilo podle předem připraveného harmonogramu v srpnu 2015. Hráči nejdříve absolvovali řízené nespecifické rozcvičení, které obsahovalo 5 min jízdy na statickém bicyklovém ergo-

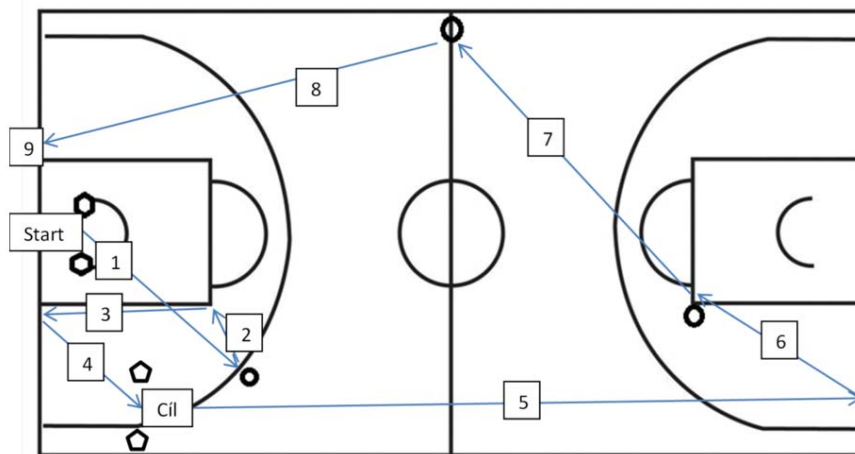
metru při zatížení 1,5 W/kg při frekvenci 70–80 RPM, dynamické protažení hlavních svalových skupin v délce 6 min a 15 podřepů s progresivním snižováním. Poté následovalo měření izokinetické svalové síly flexorů a extenzorů kolenního kloubu. Po tomto vstupním měření absolvovali probandi specifický basketbalový únavový protokol BUP28 a bezprostředně po jeho skončení výstupní měření ve stejném rozsahu jako měření vstupní.

Metody sběru dat

Pro měření síly dominantní dolní končetiny (DDK) i nedominantní dolní končetiny (NDK) během koncentrické a excentrické akce kolenních flexorů a koncentrické akce kolenních extenzorů byl využit izokinetický dynamometr IsoMed 2000 (D. & R. Ferstl GmbH, Hemau, Germany). Probandi byli testováni v pozici vsedě s úhlem 100° v kyčelním kloubu. Testovaný rozsah pohybu se pohyboval mezi 10–90° flexe v koleni (0° = plná extenze). Probandi byli zafixováni v oblasti ramen, trupu, stehna testované dolní končetiny a při testování se přidržovali postranních madel. Testovací protokol zahrnoval vždy 2 série svalových akcí (zahřívací a testovací). Zahřívací série sloužila jako specifické rozcvičení. Testovány byly flexory a extenzory (hamstringy a kvadriceps) v koncentrickém režimu a úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s a H v excentrickém režimu při úhlové rychlosti 60°/s a 180°/s. Testování v koncentrickém režimu předcházelo testování v excentrickém režimu. Zahřívací série obsahovala 3–5 opakování, testovací 3 opakování. Mezi sériemi byl zařazen interval zotavení v trvání 1 min a mezi jednotlivými opakováními 20 s. Pořadí testovaných končetin probíhalo randomizovaně. Hráči navštívili laboratoř pro účely seznámení se s testovacím izokinetickým protokolem týden před realizací výzkumu (familiarizace). V průběhu testování byli probandi povzbuzováni zaškoleným odborníkem, který realizoval měření. Pro vyhodnocení izokinetické síly byl použit maximální moment síly (peak torque – PT; N·m), který byl dále použit pro výpočet funkčního poměru (H/Q_{FUNK}), tj. poměru excentrické akce H a koncentrické akce Q a konvenčního poměru (H/Q_{KONV}), tj. poměru koncentrické akce H a koncentrické akce Q.

Obrázek 1./ Figure 1.

Schéma měřených úseků testu BUP28 (Pětúhelníky označují umístění fotobuněk; kolečka označují kužely)./ Scheme of measured sections of BUP28 (pentagons indicate the location of the photocells; wheels represent cones).



Zatížení hráčů během utkání basketbalu bylo simulováno pomocí specifického únavového protokolu BUP28 (Hulka et al., n.d.) (Obrázek 1), který byl konstruován tak, aby kopíroval zatížení hráčů během 28 minut utkání basketbalu, což je průměrná hrací doba osmi nejvíce nasazovaných hráčů družstev nejvyšší české basketbalové soutěže. Každý hráč absolvuje čtyři měřené fáze, kdy po první a třetí fázi je 2 min přestávka a po druhé fázi pak 15 minut. Každá fáze se skládá ze 17 okruhů, které obsahují pohybové činnosti maximální intenzitou (běh s rychlostí nad 5,01 m/s), submaximální intenzitou (běh rychlostí 2,99 až 5,00 m/s), nízkou intenzitou (chůze a běh rychlostí 1,50 až 3,00 m/s), stoj na místě

(10 s) a výskoky. Rychlost pohybů prováděných v rámci první fázi maximální intenzitou byla měřena fotobuňkami s přesností na setiny sekundy (Alge Comet 1462, Rakousko).

Tabulka 1./ Table 1.

PT extenzorů a flexorů kolenního kloubu před a po absolvování únavového protokolu u kategorií U17 (n = 11) a U19 (n = 18)./ PT of knee extensors and flexors before and after fatigue protocol in U17 (n = 11) and U19 (n = 18).

	Kategorie	Pre (M \pm SD)	Post (M \pm SD)	t	p	d
DDK_Q-C60	U17	210,76 \pm 30,75	199,05 \pm 32,62	2,39	0,039*	0,57
	U19	245,31 \pm 48,16	234,97 \pm 44,33	2,14	0,047*	0,51
DDK_Q-C180	U17	201,24 \pm 41,44	200,16 \pm 43,78	0,11	0,913	0,02
	U19	233,13 \pm 20,23	236,30 \pm 37,33	0,4	0,697	0,11
NDK_Q-C60	U17	195,96 \pm 25,80	189,41 \pm 25,60	1,01	0,337	0,25
	U19	244,67 \pm 42,08	234,95 \pm 40,40	1,99	0,063	0,23
NDK_Q-C180	U17	196,65 \pm 35,04	200,03 \pm 41,75	0,54	0,604	0,09
	U19	233,48 \pm 44,43	235,81 \pm 47,43	0,24	0,809	0,05
DDK_H-C60	U17	155,11 \pm 29,16	157,55 \pm 29,60	0,46	0,653	0,08
	U19	169,09 \pm 27,26	167,76 \pm 24,29	0,29	0,772	0,05
DDK_H-C180	U17	182,72 \pm 34,39	182,12 \pm 31,99	0,13	0,9	0,02
	U19	197,93 \pm 30,87	198,24 \pm 26,59	0,06	0,952	0,01
DDK_H-E60	U17	167,91 \pm 35,13	157,52 \pm 28,30	2,71	0,022*	0,52
	U19	185,49 \pm 30,42	171,28 \pm 28,75	3,71	0,002**	0,88
DDK_H-E180	U17	206,45 \pm 34,03	197,74 \pm 34,03	2,08	0,064	0,25
	U19	225,78 \pm 25,89	216,78 \pm 27,55	3,03	0,007**	0,84
NDK_H-C60	U17	143,66 \pm 22,06	146,18 \pm 27,96	0,54	0,598	0,10
	U19	164,08 \pm 29,48	157,12 \pm 30,91	1,04	0,311	0,23
NDK_H-C180	U17	177,73 \pm 27,09	163,8 \pm 25,30	3,73	0,004**	0,83
	U19	193,72 \pm 30,20	191,93 \pm 28,47	0,43	0,675	0,06
NDK_H-E60	U17	157,68 \pm 22,27	153,58 \pm 27,76	0,95	0,366	0,16
	U19	169,57 \pm 34,28	157,54 \pm 28,33	2,9	0,010**	0,80
NDK_H-E180	U17	199,39 \pm 26,63	201,30 \pm 27,69	1,27	0,231	0,07
	U19	221,67 \pm 32,57	217,53 \pm 32,00	1,27	0,22	0,12

Vysvětlivky. Pre = hodnoty měření před BUP29; Post-hodnoty měření po BUP29; DDK_H-C60-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; DDK_H-C180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; DDK_H-E60-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při excentrické akci; DDK_H-E180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při excentrické akci; NDK_H-C60-PT = maximální moment síly hamstringů nedominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; NDK_H-C180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; NDK_H-E60-PT = maximální moment síly hamstringů nedominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při excentrické akci; NDK_H-E180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při excentrické akci; DDK_Q-C60-PT = maximální moment síly kvadricepsu dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; DDK_Q-C180-PT = maximální moment síly kvadricepsu dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; NDK_Q-C60-PT = maximální moment síly kvadricepsu nedominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; NDK_Q-C180-PT = maximální moment síly kvadricepsu dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; M \pm SD = průměr \pm směrodatná odchylka; t = hodnota testovacího kritéria t-testu; p = hladina statistické významnosti (*p < 0,05; **p < 0,01); d = hodnota effect size.

U všech sledovaných parametrů byly vypočteny základní statistické charakteristiky (aritmetický průměr, minimální a maximální hodnota, směrodatná odchylka). Statistická významnost rozdílů mezi jednotlivými měřeními byla stanovena párovým t-testem, mezi skupinami nepárovým t-testem. Effect size byl stanoven pomocí Cohenova d (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009) a klasifikován jako malý ($0,00 \leq d \leq 0,49$), střední ($0,50 \leq d \leq 0,79$) a velký ($d \geq 0,80$). Stanovení významnosti rozdílů bylo posuzováno na hladině statistické významnosti $p < 0,05$. Pro statistické zpracování dat byl použit software STATISTICA 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, USA).

Výsledky

Hodnoty svalové síly flexorů a extenzorů před i po absolvování specifického únavového protokolu BUP28 hráčů obou kategorií jsou uvedeny v Tabulce 1. Po absolvování BUP28 došlo u obou sledovaných věkových kategorií k statisticky významnému poklesu průměrných hodnot PT extenzorů v koncentrické akci při úhlové rychlosti $60^\circ/\text{s}$ u DDK. V případě flexorů došlo u kategorie U17 k signifikantnímu poklesu průměrných hodnot PT DDK při úhlové rychlosti $60^\circ/\text{s}$ v excentrickém režimu a u NDK v koncentrickém režimu při úhlové rychlosti $180^\circ/\text{s}$. V kategorii U19 nastal signifikantní pokles průměrných hodnot PT flexorů v excentrickém režimu u DDK při úhlové rychlosti $60^\circ/\text{s}$ a $180^\circ/\text{s}$ a u NDK při úhlové rychlosti $60^\circ/\text{s}$. V případě poměrů H/Q_{FUNK} a H/Q_{KONV} (Tabulka 3) nebyly u obou kategorií zjištěny statisticky významné rozdíly mezi hodnotami naměřenými před a po absolvování BUP28. Hráči kategorií U17 a U19 se signifikantně lišili v případě průměrných hodnot PT Q DDK i NDK před i po absolvování BUP28 (kromě PT DDK při úhlové rychlosti $180^\circ/\text{s}$ před BUP28) (Tabulka 2) a také v případě H/Q_{FUNK} NDK v rychlosti $60^\circ/\text{s}$ před i po BUP18 a v rychlosti $180^\circ/\text{s}$ pouze před absolvováním BUP18 (Tabulka 4).

Tabulka 2./ Table 2.

Porovnání PT extenzorů a flexorů mezi kategoriemi U17 ($n = 11$) a U19 ($n = 18$)./ Comparison of PT in extensors and flexors between U17 ($n = 11$) and U19 ($n = 18$).

		t	p	d
DDK_Q-C60	Pre	2,12	0,043★	0,85
	Post	2,23	0,03★	0,71
DDK_Q-C180	Pre	1,77	0,088	0,97
	Post	2,37	0,025★	0,87
NDK_Q-C60	Pre	3,45	0,002★★	1,39
	Post	3,34	0,002★★	1,34
NDK_Q-C180	Pre	2,06	0,049★	0,92
	Post	2,4	0,024★	0,54
DDK_H-C60	Pre	1,3	0,204	0,49
	Post	1,01	0,32	0,38
DDK_H-C180	Pre	1,23	0,228	0,97
	Post	1,47	0,154	0,54
DDK_H-E60	Pre	1,42	0,166	0,54
	Post	1,26	0,219	0,48
DDK_H-E180	Pre	1,83	0,079	0,63
	Post	1,65	0,11	0,61
NDK_H-C60	Pre	1,98	0,058	0,78
	Post	1,04	0,305	0,37
NDK_H-C180	Pre	1,43	0,162	0,56
	Post	2,69	0,012★	1,04
NDK_H-E60	Pre	1,02	0,316	0,41
	Post	0,37	0,716	0,14
NDK_H-E180	Pre	1,91	0,067	0,67
	Post	1,39	0,175	0,54

Vysvětlivky. Pre = hodnoty měření před BUP29; Post-hodnoty měření po BUP29; DDK_Q-C60-PT = maximální moment síly kvadricepsu dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti $60^\circ/\text{s}$ při

koncentrické akci; DDK_Q_C180-PT = maximální moment síly kvadricepsu dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; NDK_Q_C60-PT = maximální moment síly kvadricepsu nedominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; NDK_Q_C180-PT = maximální moment síly kvadricepsu dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; DDK_H_C60-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; DDK_H_C180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; DDK_H_E60-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při excentrické akci; DDK_H_E180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při excentrické akci; NDK_H_C60-PT = maximální moment síly hamstringů nedominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při koncentrické akci; NDK_H_C180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při koncentrické akci; NDK_H_E60-PT = maximální moment síly hamstringů nedominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 60°/s při excentrické akci; NDK_H_E180-PT = maximální moment síly hamstringů dominantní dolní končetiny při úhlové rychlosti 180°/s při excentrické akci; t = hodnota testovacího kritéria t -testu; p = hladina statistické významnosti ($\star p < 0,05$; $\star\star p < 0,01$); d = hodnota effect size.

Tabulka 3./ Table 3.

Funkční a konvenční H/Q poměr dominantní a nedominantní DK před a po absolvování únavového protokolu u kategorií U17 ($n = 11$) a U19 ($n = 18$)./ Functional and conventional H/Q ratio of dominant and non-dominant lower limb before and after fatigue protocol in U17 ($n = 11$) and U19 ($n = 18$).

	kategorie	Pre (M \pm SD)	Post (M \pm SD)	t	p	d
DDK_H/Q _{FUNK} -60	U17	0,78 \pm 0,64	0,80 \pm 0,16	0,42	0,686	0,23
	U19	0,77 \pm 0,18	0,75 \pm 0,18	1,11	0,286	0,66
DDK_H/Q _{FUNK} -180	U17	1,05 \pm 0,22	1,02 \pm 0,26	0,31	0,761	0,51
	U19	0,98 \pm 0,18	0,93 \pm 0,12	1,96	0,066	0,58
NDK_H/Q _{FUNK} -60	U17	0,81 \pm 0,10	0,82 \pm 0,18	0,25	0,806	0,11
	U19	0,69 \pm 0,10	0,67 \pm 0,10	1,11	0,282	0,16
NDK_H/Q _{FUNK} -180	U17	1,04 \pm 0,17	1,03 \pm 0,19	0,26	0,798	0,09
	U19	0,94 \pm 0,09	0,94 \pm 0,10	0,11	0,913	0,01
DDK_H/Q _{KONV} -60	U17	0,72 \pm 0,07	0,80 \pm 0,16	1,62	0,136	0,64
	U19	0,70 \pm 0,16	0,74 \pm 0,18	1,45	0,166	0,23
DDK_H/Q _{KONV} -180	U17	0,92 \pm 0,15	0,94 \pm 0,23	0,23	0,824	0,11
	U19	0,86 \pm 0,21	0,85 \pm 0,15	0,2	0,843	0,05
DDK_H/Q _{KONV} -60	U17	0,74 \pm 0,07	0,78 \pm 0,16	0,77	0,458	0,32
	U19	0,67 \pm 0,11	0,68 \pm 0,12	0,27	0,791	0,08
DDK_H/Q _{KONV} -180	U17	0,93 \pm 0,14	0,84 \pm 0,18	1,97	0,078	0,56
	U19	0,82 \pm 0,12	0,83 \pm 0,12	0,29	0,774	0,08

Vysvětlivky. DDK_H/Q_{FUNK}-60 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; DDK_H/Q_{FUNK}-180 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; NDK_H/Q_{FUNK}-60 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; NDK_H/Q_{FUNK}-180 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; DDK_H/Q_{KONV}-60 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; DDK_H/Q_{KONV}-180 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; NDK_H/Q_{KONV}-60 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; NDK_H/Q_{KONV}-180 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; M \pm SD = průměr \pm směrodatná odchylka; d = Cohenovo d ; t = hodnota testovacího kritéria t -testu; p = hladina statistické významnosti ($\star p < 0,05$; $\star\star p < 0,01$).

Tabulka 4./ Table 4.

Porovnání funkčního a konvenčního H/Q poměru mezi kategoriemi U17 (n = 11) a U19 (n = 18)./ Comparison of functional and conventional H/Q ratio of dominant and non-dominant lower limb before and after fatigue protocol in U17 (n = 11) and U19 (n = 18).

		t	p	d
DDK_H/Q _{FUNK} -60	Pre	0,08	0,94	0,02
	Post	0,75	0,461	0,29
DDK_H/Q _{FUNK} -180	Pre	0,93	0,363	0,34
	Post	1,32	0,199	0,44
NDK_H/Q _{FUNK} -60	Pre	2,95	0,006**	1,2
	Post	2,88	0,008**	1,03
NDK_H/Q _{FUNK} -180	Pre	2,26	0,032*	0,74
	Post	1,78	0,087	0,59
DDK_H/Q _{KONV} -60	Pre	0,43	0,671	0,16
	Post	0,94	0,354	0,35
DDK_H/Q _{KONV} -180	Pre	0,87	0,394	0,33
	Post	1,23	0,229	0,46
NDK_H/Q _{KONV} -60	Pre	1,78	0,086	0,76
	Post	1,97	0,058	0,71
NDK_H/Q _{KONV} -180	Pre	2,32	0,028*	0,84
	Post	0,3	0,762	0,07

Vysvětlivky. DDK_H/Q_{FUNK}-60 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; DDK_H/Q_f-60 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; NDK_H/Q_{FUNK}-60 = funkční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; NDK_H/Q_{FUNK}-60: funkční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; DDK_H/Q_{KONV}-60 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; DDK_H/Q_{KONV}-180 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu dominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; NDK_H/Q_{KONV}-60 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 60°/s; NDK_H/Q_{KONV}-180 = konvenční poměr hamstringů a kvadricepsu nedominantní DK při úhlové rychlosti 180°/s; Pre = hodnoty před intervencí; Post = hodnoty po intervenci; t = hodnota testovacího kritéria t-testu; p = hladina statistické významnosti; d = hodnota effect size.

Diskuze

Hlavním zjištěním provedené studie je, že po absolvování specifického basketbalového únavového protokolu BUP28 došlo u obou kategorií k statisticky významnému poklesu průměrných hodnot PT flexorů kolena DDK v excentrické akci při úhlové rychlosti 60°/s a PT extenzorů kolena DDK v koncentrické akci při úhlové rychlosti 60°/s. V prvním případě významnost vlivu BUP28 na svalovou sílu potvrzují i hodnoty effect size, které ukazují na velký efekt BUP28 na PT flexorů, zatímco v druhém případě ukazují na střední efekt. V případě excentrické akce při úhlové rychlosti 180°/s byl zaznamenán signifikantní pokles pouze u DDK v kategorii U19 (velký efekt). Naopak hodnoty poměrů H/Q_{FUNK} a H/Q_{KONV} se po absolvování BUP28 u obou skupin signifikantně nezměnily. Dalším zjištěním je, že signifikantní rozdíly mezi věkovými kategoriemi U17 a U19 byly zjištěny pouze v případě PT kvadricepsů obou dolních končetin (s výjimkou PT kvadricepsu DDK při úhlové rychlosti 180°/s před BUP28). Vliv věku na svalovou sílu extenzorů potvrzují i hodnoty effect size, které kromě dvou případů ukazují na velký efekt.

PT flexorů a extenzorů kolenního kloubu před a po absolvování únavového protokolu u kategorií U17 a U19

V případě PT kolenních extenzorů (Tabulka 1) došlo u obou kategorií sledovaných hráčů k statisticky významnému poklesu PT v rychlosti 60°/s (U17 DDK 5,61 %, U17 NDK 3,54 %, U19 DDK 2,44 %, U19 NDK 3,57 %). Přihlédneme-li však k hodnotě ES (střední velikost efektu) a rovněž

k standardní chybě měření extenzorů kolena při koncentrické svalové akci na izokinetickém dynamometru Isomed 2000, tj. 6,1 Nm (Dirnberger, Kösters, & Müller, 2012), nepovažujeme rozdíl za prakticky významný. Při posouzení změn síly flexorů kolena (Tabulka 1) jsme u obou kategorií zaznamenali v rychlosti 60°/s statisticky i prakticky (střední efekt) významné rozdíly PT (U17 6,58 %; U19 7,55 %) v případě excentrické akce u DDK. U kategorie U17 byl zjištěn rozdíl na hladině významnosti 0,05 a u U19 na hladině významnosti 0,01 s vysokou pravděpodobností (velký efekt), že výsledek není způsoben náhodou (tedy s jistotou můžeme tvrdit, že je zde významný efekt). U NDK došlo v rychlosti 60°/s k významnému poklesu pouze při excentrické akci flexorů u kategorie U19 (7,11 %). V rychlosti 180°/s byl u flexorů zaznamenán signifikantní pokles PT ($p < 0,05$; 7,88 %) pouze v případě excentrické akce u DDK v kategorii U19 (velký efekt) a v případě koncentrické akce ($p < 0,05$; 7,91 %) u kategorie U17 (velký efekt).

Především pokles excentrické síly flexorů v rychlosti 180°/s pouze u kategorie U19 není v souladu s tvrzením některých autorů (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011a; Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011b), kteří uvádějí, že tyto negativní změny v důsledku únavy se v průběhu vývoje a zrání redukuje v důsledku vyžívání nervové soustavy a s tím spojeným lepším neuromuskulárním řízením. Změny především u kategorie U19 ukazují na zhoršení stabilizační funkce kolenních svalů, které by mohly mít za následek zvýšení rizika zranění ACL při specifických pohybech (Alentorn-Geli et al., 2009; Hughes & Watkins, 2006) a také H (Woods et al., 2004). Navíc projevy svalové únavy jsou provázeny nejen poklesem svalové síly, zhoršenou kontrolou pohybu, ale také sníženou rychlostí jeho provedení (Latash, 1998), což se může také projevit v kvalitě herního výkonu.

Zjištěné změny u našich hráčů jen částečně podporují tvrzení, že únava výrazněji narušuje svalovou koaktivaci H, které obsahují více rychlých vláken podléhajících rychlejší únavě, a tím se zvyšuje riziko zranění ACL a H (Garrett, Califf, & Bassett, 1984; Chavez, Knudson, Harter, & McCurdy, 2013; Melnyk & Gollhofer, 2007; Sagnier & Tourny-Chollet, 2007; Theisen et al., 2014). Jsou však v rozporu s tvrzením, že excentrická svalová činnost je více odolná vůči únavě než koncentrická (Roig et al., 2009).

Porovnání průměrných hodnot PT před a po BUP28 u obou skupin dále ukazuje na rozdílný trend ve změnách PT extenzorů kolena v rychlosti 60°/s i 180°/s. Zatímco v rychlosti 180°/s došlo v kategorii U17 k nevýznamnému snížení hodnoty PT extenzorů, u kategorie U19 došlo k jejich nevýznamnému nárůstu. V úhlové rychlosti 60°/s jsme již u obou kategorií sledovali podobný trend snížení hodnot po BUP28. V kategorii U17 v úhlové rychlosti 60°/s nastal pokles hodnot PT extenzorů přibližně o 6 %, v kategorii U19 o 4 %.

Výsledky naší studie můžeme porovnat pouze se studiemi zaměřenými na vliv specifické únavy na PT kolenních stabilizátorů a jejich poměry u mladých hráčů a hráček fotbalu (De Ste Croix et al., 2014; De Ste Croix et al., 2015; Greig, 2008; Rahnama, Reilly, Lees, & Graham-Smith, 2003; Small, McNaughton, Greig, & Lowell, 2010). Výsledky provedených studií se však liší, stejně jako výsledky u kategorie dospělých. Například Small et al. (2010) a také Greig (2008) zjistili statisticky významný pokles PT H po absolvování specifického únavového fotbalového protokolu, zatímco ve studii Rahnama et al. (2003) došlo u hráčů k poklesu PT H i Q.

Při porovnání výsledků naší studie s výše uvedenými studiemi je nutné zohlednit rozdílný pohybový obsah BUP28 a použitých únavových protokolů ve fotbalu, kdy v basketbalovém protokolu jsou kromě běhu obsaženy vertikální skoky, při kterých se zapojují extenzory kolena (Fukashiro, & Komi, 1987; Rodacki, Fowler, & Bennett, 2002).

Závažnost změn svalové síly měřených svalových skupin ve vztahu k riziku zranění je také ovlivněna výchozí úrovní jejich síly. U hráčů s větší silou dochází k menším úbytkům síly v posledních fázích utkání, čímž se riziko zranění snižuje (Rumpf & Cronin, 2012). Orientační porovnání hodnoty PT kolenních flexorů a extenzorů námi sledovaných hráčů s výsledky fotbalistů podobného věku v uvedených studiích ukazuje na vyšší hodnoty u námi sledované skupin basketbalistů.

Poměry PT flexorů a extenzorů kolenního kloubu před a po absolvování únavového protokolu u kategorií U17 a U19

Dále jsme hodnotili změny poměrů PT flexorů a extenzorů kolena (Tabulka 3). Hodnoty H/Q_{FUNK} , který je považován za indikátor úrovně nervosvalové kontroly v kolenním kloubu, a rovněž hodnoty H/Q_{KONV} , jako indikátoru svalové dysbalance, se u sledovaných kategorií U17 a U19 po absolvování

BUP28 významně nezměnily. Toto zjištění koresponduje s výsledky novější studie provedené u fotbalistů kategorie U15 (Lehnert et al., 2016), ve které po absolvování specifického fotbalového protokolu SAFT90 nebyly zjištěny statisticky významné změny H/Q_{FUNK} . Naopak v několika dřívějších studiích podobného zaměření provedených u fotbalistů (Greig, 2008; Small et al., 2010) a fotbalistek (Delextrat et al., 2010) byl zaznamenán pokles hodnot H/Q_{FUNK} , což ukazuje na zhoršení neuromuskulární kontroly kolenního kloubu v souvislosti s únavou.

Při posuzování změn v neuromuskulárním řízení v kolenním kloubu v souvislostech s rizikem zranění ACL a H je nezbytné přihlédnout k faktu, že hodnoty H/Q_{FUNK} poměru se před i po absolvování BUP28 pohybovaly nad hodnotou 0,7 (Tabulka 2), která je z hlediska rizika zranění považována za hraniční (Yeung et al., 2009). Výjimkou byla NDK u kategorie U19 při úhlové rychlosti $60^\circ/s$, u které byly před i po absolvování BUP28 zjištěny hodnoty těsně pod uvedenou hodnotou. Vzhledem k tomu, že poměr H/Q_{FUNK} ukazuje na schopnost flexorů kolene brzdit pohyb prováděný zapojením Q (Coombs & Garbutt, 2002; Delextrat et al., 2010; De Ste Croix, 2007), je možno stabilitu kolenního kloubu sledovaných skupin hráčů před i po absolvování BUP28 hodnotit jako dostatečnou. Při interpretaci zjištěných výsledků je však třeba přihlédnout k názoru jiných autorů (Coombs & Garbutt, 2002), kteří za optimální hodnotu H/Q_{FUNK} při úhlové rychlosti $60^\circ/s$, která ukazuje na adekvátní stabilitu kolena a rovněž na redukci rizika zranění H, považují hodnotu 1,0.

Na zvýšené riziko zranění sledovaných hráčů rovněž neukazují hodnoty poměru H/Q_{KONV} při úhlové rychlosti $60^\circ/s$ (Tabulka 2). H/Q_{KONV} neklesl před ani po absolvování BUP28 pod hodnotu 0,6, která je z hlediska rovnováhy mezi silou kolenních flexorů a extenzorů, resp. dynamické stabilizace kolenního kloubu, považována za hraniční (Coombs & Garbutt, 2002). Většina autorů se shoduje, že je-li H/Q_{KONV} v případě rychlosti $60^\circ/s$ menší než 0,6, dochází k většímu zatížení intraartikulárních struktur a je snížena také schopnost znovu nastavení optimální pozice kloubu, což vede ke změně biomechaniky kolenního kloubu. Domníváme se, že uspokojivé hodnoty poměru H/Q_{KONV} našeho souboru jsou především ovlivněny úrovní síly H, která byla, jak jsme uvedli výše, v porovnání se soubory měřeními v předchozích studiích, vyšší.

Rozdíly mezi skupinami ve sledovaných parametrech a orientační porovnání jejich změn u kategorií U17 a U19

Skupiny hráčů U17 a U19 se v obou rychlostech signifikantně nelišily ve velikosti PT flexorů a extenzorů, a to před i po absolvování BUP28 (s výjimkou PT extenzorů kolenního kloubu při úhlové rychlosti $180^\circ/s$ DDK) (Tabulka 2). Toto zjištění není v souladu s poznatky o nárůstu svalové síly s věkem (De Ste Croix, Deighan, & Armstrong, 2003). Vysvětlením je však skutečnost, že z informací od trenérů obou kategorií vyplynulo, že hráči kategorie U17 se dlouhodobě věnují silové přípravě, včetně tréninku dolních končetin, v daleko větší míře, než hráči kategorie U19. U flexorů byly rozdíly PT mezi skupinami před i po absolvování BUP28 statisticky nevýznamné s výjimkou PT H NDK při úhlové rychlosti $180^\circ/s$ v koncentrickém režimu v post-testu, tj. po absolvování BUP28 (9,4 %), kde jsme našli statisticky i prakticky významný rozdíl mezi U17 a U19 (Tabulka 2). Uvedený rozdíl po BUP28 vysvětlujeme zjištěním, že u skupiny U17 došlo k poklesu PT o 7,9 %, zatímco u skupiny U19 se hodnoty PT téměř nezměnily. Menší snížení hodnot PT H NDK při úhlové rychlosti $180^\circ/s$ v koncentrickém režimu u skupiny U19, tj. u starší věkové kategorie přisuzujeme vyzrálější nervovou soustavou a s tím spojenou lepší neuromuskulární kontrolou kolenního kloubu (Lloyd et al., 2011a; Lloyd et al., 2011b). Porovnání hodnot sledovaných parametrů mezi oběma věkovými kategoriemi před a po absolvování BUP28 rovněž ukazuje na rozdíly ve velikosti změn měřených parametrů pouze u extenzorů kolena.

Porovnání u H/Q poměrů (Tabulka 4) ukázalo, že obě skupiny se dále lišily ($p < 0,01$) v případě H/Q_{KONV} poměru u NDK v úhlové rychlosti $180^\circ/s$ před absolvováním BUP28. V případě H/Q_{FUNK} se skupiny hráčů se prakticky a statisticky ($p < 0,01$) lišily u NDK v úhlové rychlosti $60^\circ/s$ před i po absolvování BUP28 ($p < 0,01$). V úhlové rychlosti $180^\circ/s$, jsme našli statisticky i prakticky významný rozdíl mezi kategoriemi pouze před absolvováním BUP28 ($p < 0,05$). Z hlediska potenciálního rizika zranění v souvislosti s únavou pouze u hráčů U19 klesla po absolvování BUP28 u NDK průměrná hodnota H/Q_{FUNK} v úhlové rychlosti $60^\circ/s$ těsně pod hraniční hodnotou 0,7, což by mohlo potenciálně znamenat větší riziko poranění. Vyšší hodnoty H/Q_{FUNK} byly zjištěny u hráčů kategorie U17, což vysvětlujeme, jak jsme výše uvedli, kvalitnější silovou přípravou hráčů této skupiny. Orientační

porovnání změn hodnot H/Q_{KONV} ukazuje na menší pokles u kategorie U19, což opět přisuzujeme lepší neuromuskulární kontrole v souvislosti s vývojem a zráním. Je však třeba poznamenat, že tito hráči měli před absolvováním BUP28 vyšší hodnotu H/Q_{KONV} poměru a že z hodnoty ve všech případech převyšovaly hraniční hodnotu 0,6. Orientační porovnání změn hodnot H/Q_{FUNK} mezi oběma kategoriemi ukazuje na podobnost změn u obou kategorií.

Závěr

Zjištěné změny svalové síly H a Q a jejich poměrů jednoznačně nepotvrdily zhoršení svalových a nervosvalových funkcí u sledovaných skupin hráčů po absolvování specifického basketbalového únavového protokolu BUP28. Především pokles hodnot PT flexorů v úhlové rychlosti $60^\circ/s$ po absolvování BUP28 však indikuje zhoršení stabilizační funkce kolenních svalů a v důsledku toho zvýšení rizika zranění ACL a H při sportovní činnosti. Hráči věkových kategorií U17 a U19 se signifikantně lišili pouze v případě PT Q obou dolních končetin. Orientační provnání hodnot sledovaných parametrů ukazuje na trend většího poklesu svalové síly u mladší kategorie hráčů, který lze přisuzovat horší kvalitě nervosvalového řízení mladších hráčů. Výsledky provedené studie a jejich srovnání s výsledky předchozích studií zaměřených na mladé sportovce ukazují na potřebu hlubšího zkoumání vlivu únavy na mechanismy spojené s rizikem zranění ACL a H u mladých sportovců, kteří se věnují sportům s vysokým výskytem nekontaktních zranění dolních končetin (např. studie experimentálního charakteru, zaměřené na zhodnocení inter individuálních rozdílů ve změnách v důsledku únavy).

Literatura

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17, 705–729.
- Andrade, M. D. S., De Lira, C. A. B., Koffes, F. D. C., Mascarin, N. C., Benedito-Silva, A. A., & Da Silva, A. C. (2012). Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio: The influence of sport modality, gender, and angular velocity. *Journal of Sports Sciences*, 30, 547–553.
- Ayala, F., De Ste Croix, M., Sainz de Baranda, P., & Santonja, F. (2012). Absolute reliability of hamstring to quadriceps strength imbalance ratios calculated using peak torque, joint angle-specific torque and joint ROM specific torque values. *International Journal of Sports Medicine*, 33, 1–8.
- Colak, S. (2012). Effects of dynamic stretches on isokinetic hamstring and quadriceps femoris muscle strength in elite female soccer players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 34(2), 15–25.
- Coombs, R. & Garbutt, G. (2002). Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance, *Journal of Sports Science and Medicine*, 1, 56–62.
- Croisier, J. L. (2004). Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Medicine*, 34(10), 681–695.
- Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469–1475.
- Dai, B., Mao, D., Garrett, W. E., & Yu, B. (2014). Anterior cruciate ligament injuries in soccer: Loading mechanisms, risk factors, and prevention programs. *Journal of Sport and Health Science*, 3, 299–306.
- Dauty, M., Potiron, M., & Rochcongar, P. (2003). Identification of previous hamstring injuries by isokinetic concentric and eccentric torque measurement in elite soccer players. *Isokinetics and Exercise Science*, 11, 139–144.
- Delextrat, A., Gregory, J., & Cohen, D. (2010). The use of the functional H:Q ratio to assess fatigue in soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 192–197.
- DeMorat, G., Weinhold, P. B., Chudik, S., & Garrett, W. (2004). Aggressive quadriceps can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 2, 477–483.
- De Ste Croix, M. B. (2007). Advances in paediatric strength assessment: Changing our perspective on strength development. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 292–304.
- De Ste Croix, M. B., Deighan, M. A., & Armstrong, N. (2003). Assessment and Interpretation of Isokinetic Muscle strength during growth and maturation. *Sports Medicine*, 33, 727–744.

- De Ste Croix, M. B., Priestley, A., Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2015). ACL injury risk in elite female youth soccer: changes in neuromuscular control of the knee following soccer fatigue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 531–538.
- Dirnberger, J., Kösters, A., & Müller, E. (2012). Concentric and eccentric isokinetic knee extension: A reproducibility study using the IsoMed 2000-dynamometer. *Isokinetics and Exercise Science*, 20, 31–35.
- Ekstrand, J., Häggglund, M., & Waldén, M. (2009). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45, 553–558.
- Fukashiro, S., & Komi, P. V. (1987). Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 8 (Suppl. 1), 15–21.
- Garrett, W. E., Califf, J. C., & Bassett, F. H. (1984). Histochemical correlates of hamstring injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 12, 98–103.
- Greig, M. (2008). The Influence of Soccer-Specific Fatigue on Peak Isokinetic Torque Production of the Knee Flexors and Extensors. *American Journal of Sports Medicine*, 36, 1403–1409.
- Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 43–47.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12.
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Medicine*, 36, 411–428.
- Hulka, K., Lehnert, M., & Belka, J. (n.d.) Reliability and validity of a basketball fatigue protocol simulating match load. *Acta Gymnica*.
- Chavez, A., Knudson, D., Harter, R., & McCurdy, K. (2013). Activity-Specific Effects of Fatigue Protocols May Influence Landing Kinematics: A Pilot Study. *International Journal of Exercise Science*, 6, 242–249.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensburg, A., Bencke, A., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2005). Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1165–1174.
- Latash, M. L. (1998). *Neurophysiological basis of movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lehance, C., Binet, J., Bury, T., & Croisier, J. L. (2009). Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport*, 19, 243–251.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M., Zaatar, A., Hughes, J., Varekova, R., & Lastovicka, O. (2016). Muscular and neuromuscular control following soccer-specific exercise in youth male footballers: Changes in injury risk mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, Epub ahead of print, doi: 10.1111/sms.12705.
- Lehnert, M., Xaverová, Z., & De Ste Croix, M. (2014). Changes in Muscle Strength in U19 Soccer Players During an Annual Training Cycle. *Journal of Human Kinetics*, 42, 175–185.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011a). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 1889–1897.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011b). Age-related differences in the neural regulation of stretch-shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(1), 37–43.
- Lohmander, L. S., Englund, P. M., Dahl, L. L., & Roos, E. M. (2007). The long term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: Osteoarthritis. *American Journal of Sports Medicine*, 35, 1756–1769.
- Mahler, P. B. (2015). Epidemiology and prevention of injuries in young sportsmen. A 35 year observational study of the sport and art classes in the Canton of Geneva. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 63(3), 22–26.
- Mair, S. D., Seaber, A. V., Glisson, R. R., & Garrett Jr, W. E. (1996). The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *American Journal of Sports Medicine*, 24, 137–143.

- Markolf, K. L., O'Neill, G., Jackson, S. R., & McAllister, D. R. (2004). Effects of applied quadriceps and hamstrings muscle loads on forces in the anterior and posterior cruciate ligaments. *The American Journal of Sports Medicine*, 32, 1144–1149.
- Maly, T., Zahalka, L., & Mala, L. (2013). Isokinetic strength characteristics and norms in the best Czech soccer players of U16 category. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(5), 167–168.
- Melnyk, M. & Gollhofer, A. (2007). Submaximal fatigue of the hamstrings impairs specific reflex components and knee stability. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 15, 525–532.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Barber Foss, K. D., Liu, C., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2009). The relationship of hamstrings and quadriceps strenght to anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 19(1), 3–8.
- Newman, M. A., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2004). Relationships between isokinetic knee strength, single-sprint performance, and repeated-sprint ability in football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 867–872.
- Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Lloyd, R. S., & Williams, C. A. (2014). Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 2241–2249.
- Oliver, J., & Smith, P. (2010). Neural control of leg stiffness during hopping in boys and men. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 973–979.
- Prodromos, C. C., Brown, C., Fu, F. H., Georgoulis, A. D., Gobbi, A., Howell, S. M., . . . Shelbourne, K. D. (2008). *The Anterior Cruciate Ligament: Reconstruction and Basic Science*. Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Rahnama, N., Reilly, T., Lees, A., & Graham-Smith, P. (2003). Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, 21, 933–42.
- Renstrom P., Ljungqvist, A., Arendt, E., Beynnon, B., Fukubayashi, T., Garrett, W., . . . Engebretsen, L. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 394–412.
- Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., & Bennett, S. J. (2002). Vertical jump co-ordination: Fatigue effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 105–116.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., & Reid, W. D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 556–568.
- Rosene, J. M., Fogarty, T. D., & Mahaffey, B. L. (2001). Isokinetic hamstrings:quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *Journal of Athletic Training*, 36, 378–383.
- Rumpf, M. C., & Cronin, J. (2012). Injury incidence, body site, and severity in soccer players aged 6-18 years: Implications for injury prevention. *Strength and Conditioning Journal*, 34, 20–31.
- Sangnier, S., & Tourny-Chollet, C. (2007). Comparison of the decrease in strength between hamstrings and quadriceps during isokinetic fatigue testing in semiprofessional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 952–957.
- Shea, K. G., Pfeiffer, R., Wang, J. H., Curtin, M., & Apel, P. J. (2004). Anterior cruciate ligament injury in pediatric and adolescent soccer players: An analysis of insurance data. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 24, 623–628.
- Silvers, H. J., & Mandelbaum, B. R. (2007). Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 152–159.
- Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 13, 120–126.
- Smith, H. C., Vacek, P. Johnson, R. J., Slauterbeck, J. R., Hashemi, J., Shultz, S., & Beynnon, B. D. (2012). Risk factors for anterior cruciate ligament injury: A review of the literature - Part 1: Neuromuscular and anatomic risk. *Sports Health*, 1, 69–78.
- Starman, J. S., Ferretti, M., Järvelä, T., Buoncrisiani, A., & Fu, F. H. (2008). Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. In Ch. C. Prodromos (Ed.), *The anterior cruciate ligament* (pp. 3–11). Philadelphia, PA: Elsevier.

- Thacker, S. B., Stroup, D. F., Branche, C. M., Gilchrist, J., Goodman, R. A., & Porter Kelling, E. (2003). Prevention of knee injuries in sports: A systematic review of the literature. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 165–179.
- Thiel, A., Schubring, A., Schneider, S., Zipfel, S., & Maxer, J. (2015). Health in elite sports a "bio-psycho-social" perspective. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 66(9), 241–247.
- Theisen, D., Malisoux, L., Seil, R., & Urhausen, A. (2014). Injuries in youth sports: Epidemiology, risk factors and prevention. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 65(9), 248–252.
- Tourny-Chollet, C., & Leroy, D. (2002). Conventional vs. dynamic hamstring-quadriceps strength ratios: A comparison between players and sedentary subjects. *Isokinetics & Exercise Science*, 10(4), 183–192.
- Walden, M., Hagglund, M., Werner, J., & Ekstrand, J. (2011). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 13, 3–10.
- Warren, B. L., & Heusel, L. (2001). Pre-season hamstring/quadriceps relationship recorded on professional soccer players. *Biomechanics Symposia*, 27–29.
- Wojtys, E. M., Huston, L. J., Lindenfeld, T. N., Hewett, T. E., & Greenfield, M. L. (1998). Association between the menstrual cycle and anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 26, 614–619.
- Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., & Hodson, A. (2004). The football association medical research programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 36–41.
- Xaverova, Z., Dirnberger, J., Lehnert, M., Belka, J., Wagner, H., & Orechovska, K. (2015). Isokinetic strength profile of elite female handball players. *Journal of Human Kinetics*, 49, 257–266.
- Yeung, S. S., Suen, A. M. Y., & Yeung, E. W. (2009). A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 589–594.
- Yu, B., & Garrett, W. E (2007). Mechanisms of non-contact ACL injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 41 (Suppl. 1), 147–151.
- Yu, B., Kirkendall, D., Taft, T., & Garrett, W. (2002). Lower extremity motor control-related and other risk factors for non-contact anterior cruciate ligament injuries. *Journal Beauty (ed.) Instructional Course Lectures*, 50, 315–324.
- Zahradnik, D., Jandacka, D., Uchytel, J., Farana, R., & Hamill, J. (2015). Lower extremity mechanics during landing after a volleyball block as a risk factor for anterior cruciate ligament injury. *Physical Therapy in Sport*, 16, 53–58.

doc. PaedDr. Michal Lehnert, Dr.
Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury
Tř. Míru 115
771 11 Olomouc, Česká republika
michal.lehnert@upol.cz