SVALOVÁ, SILOVÁ A ODRAZOVÁ ASYMETRIE U MLADÝCH FOTBALISTŮ

MUSCLE, STRENGTH AND REBOUND ASYMMETRY IN YOUNG FOOTBALL PLAYERS

P. Bahenský,¹ P. Tlustý,² D. Marko¹ & L. Veithová¹

¹Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra tělesné výchovy a sportu

²Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra matematiky

Abstract

The aim of our study was to verify the relationship between the amount of muscle mass (MM), the rebound force (one-leg jump) and the speed of power output (1s power in the Wingate test), all measured on each leg separately. The study participants were players in the highest national youth football competition ($n = 69$, age = 16.0 ± 1.2 years, height = 178.8 ± 6.4 cm, weight = 70.8 ± 8.7 kg). The amount of MM was measured on the lower legs (LL), the height of reflection of the one-foot on the reflecting board and the one-second maximum power in the 30s Wingate test (WAnT). Dependency was sought through correlation analysis ($p < 0.05$). The differences in the amount of MM between limbs do not increase as a result of football training. A significant relationship was confirmed between the height of the jump and the maximum 1s power in WAnT ($r = 0.294$, $p < 0.05$), similarly between the amount of MM and the absolute power for individual limbs in WAnT ($r = 0.829$ for right LL and 0.798 for left LL, $p < 0.01$). There is no general relationship (when analysing the results on the two LL) between the reflecting force and the quantity of MM, nor is there a relationship between the quantity of MM and the maximum 1s power at the speed force load. The amount of MM does not affect the reflecting force or the speed of power in WAnT. This is an important factor in the choice of empowerment methods for adolescent footballers.

Keywords: asymmetry; football; force; bounce; muscles; adolescent

Souhrn

Ve hrách ovlivňuje laterálnost motorický výkon. Hlavním cílem naší studie bylo ověřit vztah množství svalové hmoty (SH), odrazové síly (výskok jednožej) a rychlostně silového výkonu (1s výkon při Wingate testu), měřeno zvlášť na jednotlivých dolních končetinách (DK). Účastníci studie byli hráči nejvyšší národní mládežnické fotbalové soutěže ($n = 69$, věk = $16,0 \pm 1,2$ let, výška = $178,8 \pm 6,4$ cm, hmotnost = $70,8 \pm 8,7$ kg). Na DK bylo měřeno množství SH, výška výskoku jednožej na odrazové desce a jednosekundový maximální výkon při 30s Wingate testu (WAnT). Závislost jsme hledali prostřednictvím korelační analýzy ($p < 0,05$). Rozdíly v množství svalové hmoty mezi končetinami se v důsledku fotbalového tréninku nezvětšují. Mezi výškou výskoku a maximálním 1s výkonem ve WAnT ($r = 0,294$, $p < 0,05$) byl potvrzen významný vztah, podobně i mezi množstvím SH a absolutním výkonem u jednotlivých končetin při WAnT ($r = 0,829$ pro pravou DK a $0,798$ pro levou DK, $p < 0,01$). Neexistuje obecný vztah (při analýze výsledků na obou DK) mezi odrazovou silou a množstvím SH, ani vztah mezi množstvím SH a maximálním 1s výkonem při rychlostně silovém zatížení. Množství SH neovlivňuje odrazovou sílu ani rychlostně silový výkon ve WAnT. To je důležitým faktorem při volbě posilovacích metod adolescentních fotbalistů.

Klíčová slova: asymetrie; fotbal; síla; odraz; svaly; adolescent

Úvod

Lateralita se vyvíjela v průběhu evoluce člověka. Má genetický základ a vede k tendenci preferovat jednu stranu těla při pohybových činnostech. Projevuje se zejména volbou jedné horní či dolní končetiny (DK) spojené s motorickými dovednostmi a ovlivňuje provedení pohybu i dosažený výkon (Hepper, 2013; Serrien, Ivry, & Swinnen, 2006). Na rozdíl od horní končetiny, kde pravou ruku preferuje 90 % populace, pravou DK pro odraz preferuje pouze 25 – 45% lidí (Čuk, Leben-Seljak, & Stefancic, 2001). Na lateralitu mají také vliv různé faktory prostředí, které mohou ovlivnit jeho podobu, a to i v časném postnatálním období (Alibejk & Angaji, 2010; Elliot & Roy, 1996; Orsini & Satz, 1986).

V týmových sportech včetně fotbalu hraje lateralita významnou roli. S ohledem na stále se zrychlující tempo a úroveň hry získávají výhodu ti hráči, kteří jsou schopni hrát na vysoké úrovni oběma nohama (Stöckel & Weigelt, 2012; Stöckel & Carey, 2016). Takových hráčů je ve fotbale stále více (Grouios, Kollias, Tsorbatzoudis, & Alexandris, 2002). Většina (71 %) hráčů má odlišnou odrazovou DK a preferovanou DK pro kopání (Čuk et al., 2001). Hráči, kteří píší pravou rukou, preferují převážně i pravou DK pro kopání a levou DK pro odraz. U písících levou rukou je situace opačná (Gabbard, 1996).

Cyklický pohyb je ve fotbale zastoupen během a chůzí, což jsou symetrické pohybové aktivity. Mezi asymetrické aktivity zpravidla patří hra s míčem, zejména vedení míče, střelba, nahrávky, atd. Pokud je ale tréninkové zatížení stanoveno optimálně, preferovaná i nepreferovaná DK jsou rozvíjeny stejně (Teixeira & Caminha, 2003; Teixeira & Teixeira, 2008). V tom případě s rostoucí úrovní hráčů klesá praktická míra preference DK (Buchheit & Mendez-Villanueva, 2014; Stöckel & Carey, 2016). Snaha o symetrické pohybové zatížení je důležitá i ze zdravotního hlediska, může předcházet zraněním (Vagenas & Hoshizaki, 1992).

Existují sporty, v nichž je hypertrofie svalu žádoucí (Haff & Triplett, 2015; Zatsiorsky, Kraemer, & Fry, 2020). Úroveň síly a objem svalové hmoty (SH) jsou zpravidla v přímé závislosti (Schmidtbleicher, 1992). Ve sportech, kde je dominantní dovednostní složka, je vhodné sílu hodnotit při specifickém pohybu. Provedení některých pohybových úkonů je podmíněno určitou úrovní svalové síly a určitým množstvím SH, ale jen do určité míry. Fotbal patří mezi sporty, kde svalová síla hraje svoji roli, ale hypertrofie svalu není žádoucí. Je potřeba volit takové metody posilování, kdy dochází k minimální svalové hypertrofii (Hoff & Helgerud, 2004; Støren, Helgerud, Støa, & Hoff, 2008; Haff & Triplett, 2015). V tréninku fotbalistů jsou hlavním cílem specifické pohybové dovednosti, ne hypertrofie svalů (Behm & Sale, 1993; Almåsbaek & Hoff, 1996; Millet, Jaouen, Borrani, & Candau, 2002; Støren, Helgerud, Støa, & Hoff, 2008).

Jedním z častých silových projevů fotbalistů při hře je výskok. Proto k cílům silového tréninku ve fotbale patří i dosažení maximálního výšky výskoku (Wisloff, Helgerud, & Hoff, 1998; Ostojic, 2004). Vedle výšky výskoku se síla při optimálním tréninku také podílí na rozvoji rychlostních schopností (Yamauchi & Ishii, 2007). Pro hodnocení úrovně odrazové síly lze použít Boscův výskokový test, pro test rozvoje lokomočních silových schopností lze použít Wingate anaerobní test (WAnT) (Bouchard, Malina, & Pérusse 1997). Při tréninku silových schopností u fotbalistů jde o dosažení optimální velikosti svalů, které umožní rychlé a racionální provedení požadovaného pohybového úkonu. Dominantní je v tomto případě nervová koordinace (Behm & Sale, 1993; Hoff & Helgerud, 2004). Cílem tréninku síly je kultivace rozhodující pohybových dovedností (Rutherford & Jones, 1986; Behm & Sale, 1993).

Vlastní fotbalový trénink je zaměřen na kultivaci specifických pohybových dovedností a ovlivňuje přednostně pohybové dovednosti, rozvoj kondice není do určité úrovně u dětí a mládeže primární. Je třeba mít na paměti, že vyvážený trénink přiměřený věku by měl pomoci k optimálnímu rozvoji sportovce (Bahenský & Bunc, 2018). Rozvoj „obecných“ pohybových schopností musí dosáhnout takové úrovně, která je nezbytná pro realizaci specifického fotbalového výkonu (Hoff & Helgerud, 2004). Obecně neplatí, že čím vyšší je úroveň silových a rychlostních předpokladů, tím vyšší bude i specifická fotbalová výkonnost. Na hráče různých postů jsou také vynakládány rozdílné požadavky (Reilly, 1990; Davis, Brewer, & Atkin, 1992; Bangsbo & Ekblom, 1994).

Studie, které se zabývají problematikou vztahu množství SH dolních končetin a rychlostně-silového výkonu, jako je výskok, založené na hodnocení jednotlivých končetin, u adolescentů prakticky neexistují. Cílem této studie je zjištění asymetrie a souvislosti mezi množstvím SH, rychlostně silovým výkonem a odrazovou silou jednotlivých DK u dospívajících fotbalistů vrcholové úrovně.

Metodika

Soubor probandů

Účastníci studie jsou členy fotbalového týmu hrajícího nejvyšší národní soutěž, v kategoriích U16 – U19 ($n = 69$, věk = $16,0 \pm 1,2$ let, výška = $178,8 \pm 6,4$ cm, hmotnost = $70,8 \pm 8,7$ kg). Všichni účastníci trénují v klubu národní úrovně nejpozději od 10 let věku, jejich průměrná tréninková zátěž je v rozsahu 12–16 hodin týdně. Testování proběhlo v Laboratoři zátěžové diagnostiky na KTVS PF JU v Českých Budějovicích těsně před začátkem soutěžního období. Všichni účastníci byli zdraví, nikdo nebyl zraněn nebo v procesu rehabilitace po zranění. Všichni účastníci nebo jejich rodiče podepsali informovaný souhlas. Všechny procedury byly v souladu s etickými standardy a s Helsinskou deklarací.

Procedury

Všichni účastníci byli testováni ve stejnou denní dobu, mezi 15. a 17. hodinou, před tréninkem, nejméně 3 hodiny po obědě, bez užití kofeinu a v poslední hodině i bez pití. Prostřednictvím testu výskoku na basketbalový koš z krátkého rozběhu a kopu na terč v bráně z krátkého rozběhu, jsme stanovili preferovanou DK pro odraz a kopání do míče. Oba testy byly provedeny dvakrát, v případě použití rozdílné DK byl test opakován potřetí, což se stalo u výskoku na koš ve dvou případech. Laboratorní hodnocení začalo posouzením tělesného složení. Pět minut poté byl změřena výška výskoku. WAnT byl použit asi 5 minut po odrazovém testu. Složení těla, včetně množství (SH) na jednotlivých končetinách, bylo měřeno na přístroji Tanita BC 418 MA (Tanita Corp., Tokio, Japonsko). Poté byla na odrazové desce (Lode, Groningen, Nizozemí) změřena výška výskoku z pravé a z levé DK. Odraz byl proveden z podřepu (úhel v kolenou 90°), ruce v bok.

V průběhu 30s WAnT byla měřena anaerobní síla jednotlivých DK. Test byl použit pro stanovení maximální absolutní a relativní síly za 1 sekundu pro každou DK. WAnT byl prováděn na bicyklovém ergometru Excalibur (Lode, Groningen, Nizozemí). Protokol testu se skládal z pětiminutového zahřátí, 30 s all-out testu a tříminutového zklidnění. Zjišťovali jsme velikost rozdílu mezi levou a pravou DK v množství SH a rozdíly v motorickém výkonu mezi jednotlivými končetinami pomocí měření výšky výskoku jednoho a výkonu při WAnT v maximální (jednosekundové) intenzitě zátěže.

Statistická analýza

Data byla prezentována jako průměr a směrodatná odchylka (SD), pokud není uvedeno jinak. Závislost množství SH, odrazových schopností a silových schopností při WAnT byla hodnocena prostřednictvím korelační analýzy (Spearmanův korelační koeficient). Základní hladina významnosti byla stanovena na hranici $p < 0.05$. Kritická hodnota Spearmanova korelačního koeficientu pro jednostranný test u 69 probandů na hladině $p = 0,05$ je 0,237, na hladině $p = 0,01$ je 0,309, na hladině $p = 0,001$ je 0,390. Rozdíly u skupin hráčů dle preference končetin v jednotlivých parametrech u jednotlivých hráčů jsme posuzovali prostřednictvím t-testu na hladině významnosti $p < 0,05$. Graficky jsme vyjádřili rozdíly mezi preferovanou a nepreferovanou DK u jednotlivých hráčů z pohledu množství SH, výšky výskoku a výkonu při maximální (jednosekundové) intenzitě WAnT. Tyto rozdíly jsme také vyhodnotili vzhledem k věku hráčů. Pro vyhodnocení odlišností mezi končetinami jsme také použili kumulativní hodnocení tří parametrů ve formě bezrozměrných veličin. Data byla zpracována v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a v programu Statistica 12.

Výsledky

V souboru participantů převažují jedinci s preferovanou pravou DK pro kopání (83 % hráčů) a preferovanou levou DK pro odraz (68 %), viz obrázek 1. Nebyly ale prokázány významné rozdíly ve sledovaných parametrech mezi hráči s rozdílnou odrazovou končetinou ($p = 0,81$) ani s rozdílnou preferovanou DK během hry ($p = 0,84$).

Obrázek 1./ Figure 1.

Procentuální zastoupení hráčů dle preferované DK pro kopání a pro odraz./ Percentage of players by preferred lower leg for kicking and for rebounding.

Pozn.: 1. písmeno: kterou nohu preferují při kopu, 2. písmeno: která noha je preferovaná pro odraz; L – levá, P – pravá

V tabulce 1 jsou uvedeny základní somatické, odrazové parametry a silové parametry testovaných hráčů v průběhu WAnT. U hráčů je významně vyšší množství SH na pravé DK, než na levé ($p < 0,01$), bez ohledu na preferenci DK.

Tabulka 1./ Table 1.

Naměřené parametry./ Measured parameters.

parametr	hodnota
počet probandů [n]	69
výška [cm]	$178,8 \pm 6,4$
hmotnost [kg]	$70,8 \pm 8,7$
věk [roky]	$16,0 \pm 1,2$
svalová hmota P [kg]	$10,53 \pm 1,23^{***}$
svalová hmota L [kg]	$10,13 \pm 1,19$
výskok P [cm]	$19,5 \pm 3,3$
výskok L [cm]	$19,8 \pm 3,3$
max. výkon na bicyklu P [W]	$1508,4 \pm 213,5^{***}$
max. výkon na bicyklu L [W]	$1438,0 \pm 209,1$
*** - významný rozdíl ($p < 0,001$)	

Tabulka 2./ Table 2.

Vztah mezi jednotlivými proměnnými, korelační koeficienty./ Relationship between variables, correlation coefficients.

Hodnocené parametry	Korelační koeficient	Hladina významnosti
Rozdíl mezi P a L DK: výška výskoku a 1s výkon při WAnT	0,294	$p < 0,05$
Vztah svalová hmota a 1s výkon u P DK	0,829	$p < 0,001$
Vztah svalová hmota a 1s výkon u L DK	0,798	$p < 0,001$
Rozdíl mezi P a L DK: množství SH a 1s výkon při WAnT	0,098	$p > 0,50$
Rozdíl mezi P a L DK: množství SH a výška výskoku	0,085	$p > 0,50$

V tabulce 2 je prezentován vztah mezi několika parametry (výška výskoku, množství SH a 1s výkon při WAnT z jednotlivých DK). Zjistili jsme, že při posuzování parametrů v rámci jedné DK je významný vztah mezi množstvím SH a 1s výkonem při WAnT. Pokud ale tento vztah hodnotíme na obou končetinách zároveň, neexistuje významná souvislost mezi množstvím SH a 1s výkonem při tomto testu. Stejně tak nebyl potvrzen významný vztah mezi množstvím SH a výškou výskoku z jedné DK. Byla ale potvrzena významná pozitivní souvislost mezi výškou výskoku jednohož a výkonem jedné DK při 1s WAnT (tabulka 2, obrázek 2).

Obrázek 2 prezentuje závislost 1s výkonu jedné DK při WAnT a výskoku jednohož komplexně u obou DK.

Obrázek 2./ Figure 2.

Vztah 1s výkonu při WAnT a výšky výskoku./ Relationship of 1s power at WAnT and jump height.

Obrázek 3 zachycuje porovnání výkonů (pravá DK × levá DK) ve třech parametrech – vrcholný výkon při WAnT (za 1 sekundu), výšku výskoku a množství SH. Jako referenční hladina (100 %) byla zvolena příslušná hodnota výkonu pro levou nohu (v grafu vyznačena bílým kroužkem). Výkony pro pravou DK byly přepočteny (vyjádřeny v procentech) vzhledem k referenčním hodnotám výkonů levé nohy. Z obrázku 3 je patrné, že bez ohledu na preferenci odrazu je u více než třetiny hráčů pravá DK zcela preferovaná. Obrázek 3 pomocí rozpětí znázorňuje variabilitu sledovaných parametrů jednotlivých hráčů.

Obrázek 3./ Figure 3.

Vztah věku a rozptylu sledovaných parametrů u jednotlivých končetin (množství SH, výška odrazu, výkon při WAnT za 1s)./ Relationship of age and dispersion of the parameters of interest for each limb (amount of muscle mass, height of jump, power at WAnT in 1s).

Pozn.: Osa y vyjadřuje míru odchylky pravé DK od levé v %. Bíle je uvedena hodnota levé DK. Na ose x je uveden věk hráče (černě) a číslo hráče (červeně).

Opačný případ, tj. že by levá noha byla ve všech sledovaných ukazatelích lepší než noha pravá, se v našem souboru nevyskytuje, a to ani mezi hráči, kteří preferují levou nohu při odrazu i kopání (hráči číslo 5, 22, 29, 43, 52). U dvou z těchto hráčů je naopak zcela preferovaná pravá noha (hráči 5 a 43). Z grafů je dále patrné, že ve sledovaných ukazatelích vykazují někteří hráči nevyrovnanost parametrů (největší rozptyl parametrů 35 %), zatímco u jiných jsou rozdíly mezi měřenými ukazateli pro pravou a levou nohu malé (nejméně 4 %). Průměrný rozptyl rozdílu ve sledovaných ukazatelích mezi končetinami je $15,9 \pm 8,1$ %.

Na obrázku 4 je prezentován rozdíl množství SH mezi jednotlivými DK. Je zaznamenáno její nevýznamné snižování rozdílu s rostoucím věkem v důsledku tréninku mládežnických fotbalistů.

Obrázek 4./ Figure 4.

Vztah procentuálního rozdílu SH hmoty jednotlivých DK a věku./ Relationship of percentage difference in muscle mass of individual lower limbs and age.

Diskuze

V této studii bylo zjištěno, že rozdíly v zapojení jednotlivých končetin jsou mezi adolescentními hráči fotbalu velmi rozdílné. Pohybují se od 4 do 35 %, nejčastěji okolo 15 %. Prokázali jsme, že tyto rozdíly v množství svalové hmoty se s narůstajícím věkem neztvrdzují, předpokládáme, že při vhodně stanoveném tréninku by se mohly i snižovat. To je dáno, větším efektem učení v adolescentním věku a dlouhodobým efektem učení (Faigenbaum, 2009; Behringer, vom Heede, Matthews, & Mester, 2011). Nezjistili jsme ale významné rozdíly v silových testech mezi výkonem preferované a nepreferované DK, podobně jako Mangine, Noyes, Mullen, & Barber (1990).

Poměr hráčů přednostně používajících pro hru pravou a levou nohu (83 % : 17 %) se neliší od publikovaných dat (Loffing, Sölter, & Hagemann, 2014), stejně jako poměr pravé a levé (30 % : 70 %) odrazové dolní končetiny (Loffing et al., 2014).

Výsledky ukazují, že při hodnocení jednotlivých DK zvláště existuje významná souvislost mezi množstvím SH a velikostí svalové síly u příslušné DK. Neexistuje ale souvislost mezi silou DK při WAnT a množstvím SH při hodnocení obou jednotlivých končetin společně. To je v souladu se závěry při hodnocení 30s testu (Bahenský, Marko, Bunc, & Tlustý, 2020). Souvislost také nebyla nalezena mezi úrovní odrazové síly a množstvím SH na DK. Tyto závěry potvrzují, že maximální úroveň svalové síly, resp. množství SH, nejsou nezbytné podmínky výkonu ve fotbalu. Rozhodují zejména pohybové dovednosti (Hoff & Helgerud, 2004; Støren, Helgerud, Støa, & Hoff, 2008), ty je potřeba testovat specifickým testem (Marko, Bahenský, Snarr, & Malátová, 2021). Z toho vyplývá, že ve sportech, kde je součástí sportovního výkonu odraz a rychlostní síla, je nezbytné upravit v současnosti používané metody posilování tak, aby při zvyšování silových schopností nedocházelo ke zbytečnému nárůstu

svalové hmoty. Rozdíly v množství svalové hmoty mezi končetinami se v důsledku fotbalového tréninku nezměňují.

Výška výskoku a rychlostní síla zjištěná při WAnT spolu významně korelují. Sílu DK lze tedy testovat oběma z uvedených způsobů. Nalezená významná souvislost výšky výskoku z jedné DK a 1-sekundovým výkonem jedné DK při WAnT znamená, že silový výkon DK je do určité míry nezávislý na způsobu hodnocení, což odpovídá závěrům publikovaných studií, které použily jinou metodiku: hodnocení obou končetin a výskoku snožmo (Wisloeff, Helgerud, & Hoff 1998; Nikolaidis et al., 2016; Nikolaidis & Knechtle, 2021).

Mezi limity studie patří příslušnost všech hráčů do výběru jednoho klubu z nejvyšší národní soutěže. Dalším limitem je nejednotná tréninková historie. Všichni sice hrají fotbal na vrcholové mládežnické úrovni po dobu minimálně 5 let, ale jejich tréninkové zatížení nebylo po celou dobu zcela totožné, odlišnosti byly dány různými trenéry jednotlivých kategorií.

Určitá úroveň odrazových a rychlostně silových dispozic je ve fotbale žádoucí. Její navýšení ale nutně nesouvisí s nárůstem SH. Práce přináší potvrzení užitečných poznatků ohledně zapojení jednotlivých končetin a podněty pro praxi ohledně způsobů posilování. Ukazuje, že vyvážené tréninkové zatížení mladých fotbalistů nezpůsobuje strukturální rozdíly mezi končetinami a může vést k rovnoměrnému zapojení DK.

Závěr

Tato studie prokázala souvislost mezi odrazovou silovou schopností prezentovanou výškou výskoku a rychlostní silovou schopností jedné končetiny prezentovanou 1s maximálním výkonem při WAnT. Prokázali jsme, že při hodnocení obou DK není souvislost mezi množstvím SH a 1s výkonem při WAnT. Také jsme prokázali, že není absolutní souvislost mezi odrazovou silou a množstvím SH. To je důležitým faktorem při volbě posilovacích metod. Rozdíly mezi DK jsou u adolescentních hráčů rozmanité, ale za použití dostatečného a vyváženého tréninkového zatížení se v průběhu sportovní kariéry nezhoršují.

Literatura

- Alibek, H., & Angaji A. (2010). Developmental Aspects of Left-handedness. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(5), 877–881.
- Almåsbaek, B., & Hoff, J. (1996). Coordination, the determinant of velocity specificity?. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2046–2052.
- Bahenský, P., & Bunc, V. (2018). *Trénink mládeže v bězích na střední a dlouhé tratě*. Praha: Karolinum.
- Bahenský, P., Marko, D., Bunc, V., & Tlustý, P. (2020). Power, Muscle and Take-off Asymmetry in Young Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6040. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17176040>
- Bangsbo, J. (1994). Physiological demands. In B. Ekblom (Ed.), *IOC Handbook of Sports Medicine and Science: Football (Soccer)* (pp. 43–58), Blackwell Scientific Publications: Oxford.
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine*, 15(6), 374–388.
- Behringer, M., vom Heede, A., Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatric exercise science*, 23(2), 186–206.
- Bouchard, C., Malina, R. M., & Pérusse, L. (1997). *Genetics of Fitness and Physical Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Effects of age, maturity and body dimensions on match running performance in highly trained under-15 soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1271–1278.
- Čuk, T., Leben-Seljak, P., & Stefancic, M. (2001). Lateral asymmetry of human long bones. *Variability and Evolution*, 9, 19–23.
- Davis, J. A., Brewer, J., & Atkin, D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 10(6), 541–547.
- Elliott, D., & Roy, E. A. (1996). *Manual asymmetries in motor performance*. Boca Raton: CRC Press.

- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, S60–S79.
- Gabbard, C. (1996). Foot laterality in children, adolescents, and adults. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 1(3), 199–206.
- Grouios, G., Kollias, N., Tsorbatzoudis, H., & Alexandris, K. (2002). Over-representation of mixed-footedness among professional and semi-professional soccer players: an innate superiority or a strategic advantage?. *Journal of Human Movement Studies*, 42(1), 19–30.
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (Eds.). (2015). *Essentials of strength training and conditioning 4th edition*. Human kinetics.
- Hepper, P. G. (2013). The developmental origins of laterality: Fetal handedness. *Developmental Psychobiology*, 55(6), 588–595.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports medicine*, 34(3), 165–180.
- Loffing, F., Sölter, F., & Hagemann, N. (2014). Left preference for sport tasks does not necessarily indicate left-handedness: sport-specific lateral preferences, relationship with handedness and implications for laterality research in behavioural sciences. *PloS one*, 9(8).
- Mangine, R. E., Noyes, F. R., Mullen, M. P., & Barber, S. D. (1990). A physiological profile of the elite soccer athlete. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 12(4), 147–152.
- Marko, D., Bahenský, P., Snarr, R. L., & Malátová, R. (2021). VO2peak Comparison of a Treadmill Vs. Cycling Protocol in Elite Teenage Competitive Runners, Cyclists, and Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, DOI: 10.1519/JSC.0000000000004005
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(8), 1351–1359.
- Nikolaidis, P. T., Afonso, J., Clemente-Suarez, V. J., Alvarado, J. R. P., Driss, T., Knechtle, B., & Torres-Luque, G. (2016). Vertical jumping tests versus wingate anaerobic test in female volleyball players: the role of age. *Sports*, 4(1), 9.
- Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2021). Development and validation of prediction formula of Wingate test peak power from force-velocity test in men soccer players. *Frontiers in Psychology*, 5481.
- Orsini, D. L., & Satz, P. (1986). A syndrome of pathological left-handedness: Correlates of early left hemisphere injury. *Archives of Neuropsychology*, 43(4), 333–337.
- Ostojic, S. M. (2004). Elite and nonelite soccer players: preseasonal physical and physiological characteristics. *Research in Sports Medicine*, 12(2), 143–150.
- Reilly, T., Secher, N., Snell, P., & Williams, C. (1990). Physiology of sports: An overview. *Physiology of sports*, 465–485.
- Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(1), 100–105.
- Serrien, D. J., Ivry, R. B., & Swinnen, S. P. (2006). Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(2), 160–166.
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. *Strength and power in sport*, 1, 381–395.
- Stöckel, T., & Carey, D. P. (2016). Laterality effects on performance in team sports: insights from soccer and basketball. In *Laterality in sports*, 309–328. Academic Press.
- Stöckel, T., & Weigelt, M. (2012). Plasticity of human handedness: Decreased one-hand bias and intermanual performance asymmetry in expert basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 30(10), 1037–1045.
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(6), 1087–1092.
- Teixeira, L. A., & Caminha, L. Q. (2003). Intermanual transfer of force control is modulated by asymmetry of muscular strength. *Experimental Brain Research*, 149(3), 312–319.
- Teixeira, M. C. T., & Teixeira, L. A. (2008). Leg preference and interlateral performance asymmetry in soccer player children. *Developmental Psychobiology*, 50(8), 799–806.
- Vagenas, G., & Hoshizaki, B. (1992). A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running. *International Journal of Sport Biomechanics*, 8, 11–29.

- Wisloeff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(3), 462–467.
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 703–709.
- Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.

PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta, katedra tělesné výchovy a sportu
Na Sádkách 2a/305
370 05 České Budějovice
pbahensky@pf.jcu.cz