Biomechanická 3D analýza hodu oštěpem
Biomechanical 3D analysis of javelin throw

Martin Sebera, Martin Novotný, Martin Zvonař, Lenka Beránková

Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, Brno, Česká republika

***Abstrakt**: Práce se věnuje biomechanickému rozboru techniky oštěpaře za použití speciálního snímacího zařízení SIMI Motion. Srovnává pojetí konkrétní techniky s technikou světové atletické špičky, stanovuje slabiny, hledá mechanismy nápravy a zvýšení sportovní výkonnosti. Je metodickou pomůckou pro atletické trenéry a jejich svěřence.*

***Abstract**: This thesis is engage in biomechanics analysis of javelin technic with help of special capture system SIMI Motion. It compares individual javelin style with style of the best world javelin throwers; it finds out the deficiency, ways how to fix that and improve the performance. It's a methodical tool for athletes and their coaches.*

Klíčová slova: biomechanická, pohybová analýza, 3D model, SIMI, snímání pohybu, hod oštěpem

Keywords: biomechanical, kinetic analysis, 3D model, SIMI, motion capture, javelin throw

ÚVOD

Kde hledat rezervy ve sportovním výkonu? Co je příčinou rozdílu, který se projeví na cílové pásce nebo při měření vzdálenosti vrhačského pokusu? Jedním z mnoha faktorů ovlivňující konečný sportovní výkon je technické provedení daného pohybového úkolu. O teoriích sportovního výkonu jednotlivých disciplín se popsalo mnoho knih. Žádný převratný vývoj se v této oblasti čekat nedá a všechna biomechanická měření dávají stávajícím technikám za pravdu. Učebnicově realizovaný pohyb je v ideálním případě tím neefektivnějším způsobem, jak dosáhnout maximálního výkonu. Míra odchylek od ideálního modelu je potom také příčinou rozdílů mezi jednotlivými sportovci. Každá individualita však techniku své disciplíny absorbuje podle svých možností a předpokladů, podle zažitých pohybových stereotypů. Vytvoří tak svůj osobitý, zcela unikátní styl.

Hod oštěpem je jednou z technicky nejsložitějších atletických disciplín. O výkonu zde rozhoduje celá řada faktorů a z biomechanického hlediska se jedná o komplex působících sil

CÍL PRÁCE

Cílem je vytvořit, popsat a analyzovat 3D model atletické disciplíny – hod oštěpem.

Popis výzkumu

Jedná se o případovou studii, kterou charakterizujeme jako rozbor stavu, vývoje a interakcí s prostředím jednoho jedince, k popisu a vysvětlení jejich stavů a vztahů k interním a externím ovlivňujícím faktorům. Případová studie zahrnuje záměrné pozorování v přirozených podmínkách (Hendl 1999). Předmětem navržené případové studie je hodnocení vybraných kinematických parametrů v atletické disciplíně hod oštěpem.

POUŽITÉ METODY

Předmětem analýzy a syntézy byla určena část pohybového obsahu hodu oštěpem. Pro vymezení strukturálně podobných vrhačských dovedností, profilujících pohybových činností a jejich technických základů pohybu jsme použili kinematicko-geometrickou analýzu. Zdrojovým materiálem byl počítačově zpracovaný videozáznam. Videozáznam byl zpracován programem SIMI Motion, který umožňuje 3D analýzu.

METODIKA SLEDOVÁNÍ

V rámci naší analýzy jsme se rozhodli podrobit rozboru techniku brněnského oštěpaře J. Č. s osobním rekordem 71,40 m z roku 2007. Měření proběhlo v září 2007 v Brně na stadionu Pod Palackého vrchem. Figurant provedl celkem 6 pokusů, 3 nejdelší jsme posléze analyzovali. Somatické parametry nejsou ideální, ale tělesná hmotnost 95 kg a tělesná výška 183 cm poukazují na rychlostní a výbušný typ oštěpaře. Figurant je výborně fyzicky vybaven, což dokazuje tabulka 1, která shrnuje osobní rekordy oštěpaře ve vrhačsky relevantních disciplínách.

Tabulka 1 Vybrané osobní rekordy sledovaného atleta

„disciplína“	**výkon**
Hod oštěpem	71,40 m
30 m	3,96 s
Skok z místa	2,95 m
Hod 3 kg medicinbalem obouruč vrchním obloukem	18,60 m
Hod 3 kg medicinbalem obouruč vrchním obloukem z nákroku	20,20 m
Vrh koulí obouruč přes hlavu	22,00 m

Zpracování obrazu biomechanické 3D analýzy

Ve srovnání s většinou ostatních metod měření má námi použitá analýza obrazu tu výhodu, že nemá přímý negativní dopad. To znamená, že stanovení kvantitativních rozměrů prostřednictvím měřicího systému nemá žádný dopad na pohybový projev měřeného objektu, protože samotné měření není prováděno na konkrétním objektu, ale na jeho obrazu.

Problémy související s analýzou obrazu

Abychom analýzu mohli provést, musí být určeny body na těle a nebo body, které jsou určitým způsobem důležité pro vykonání pohybu. Použitými body na těle jsou většinou průsečíky kloubních os nebo jejich středy. Při tomto určování můžeme narazit na několik chyb (Sebera 2007).

Identifikace bodů

3D biomechanickou analýzu lze provést v závodě i na tréninku. Pro lepší identifikaci tzv. bifurkačních bodů jsou atletovi připevněny na vybrané části těla reflexní body, které budou sloužit jednak pro snazší rozpoznání pohybu jednotlivých segmentů z videozáznamu, jednak pro výpočet těžiště. Gubitzův model výpočtu těžiště vyžaduje informace o těchto bodech: hlava, levé a pravé rameno, levý a pravý loket, levé a pravé zápěstí, levý a pravý kyčel, levé a pravé koleno, levý a pravý kotník. V závodě není možné na atleta připevnit žádné reflexní body, vyhodnocení je posléze pracnější, není možné využít automatického trackování[1] a automatického rozpoznání pomocí specializovaného softwaru SIMI Motion.

Vyhodnocení

Hodnocení bylo provedeno s trenérem, k dispozici máme velké množství informací:

- délkové, úhlové, časové a rychlostní charakteristiky jednotlivých segmentů těla, resp. těžiště,
- jsme schopni sledovat úhly a postavení jednotlivých segmentů před, při a po odhodu, úhly vzletu a položení náčiní v prostoru, postavení a vzájemné polohy segmentů,
- dráhu těžiště, resp. jednotlivých segmentů v průběhu celého hodu,
- dráhy, rychlosti a zrychlení v jednotlivých osách X, Y a Z trojrozměrného obrazu aj.

[1] Detailní analýza pohybu bodu; sledování, stopování.

ZÍSKANÉ VÝSLEDKY A JEJICH INTERPRETACE

Výsledek analýzy

Po dokončení analýzy předkládáme několik výsledků jednak pro stanovení teoretických aspektů konkrétního výkonu, svěřencovi a jeho trenérovi nabízíme naše poznatky, které mohou sloužit k zpřesnění technického provedení nebo ke změnám v tréninkovém procesu.

- 3D model pohybu s možností náhledů a podhledů z jakékoliv perspektivy,
- individuální biomechanická charakteristika vrhače,
- možnost srovnání konkrétního analyzovaného oštěpaře s absolutní světovou špičkou, hledání jeho silných a slabých stránek,
- možnost duálního porovnání parametrů výkonu, např. v přípravném a závodním období.
- hledání výrazných odchylek od ideálního technického provedení,
- kinogram (Manuál SIMI Motion).

Při sledování nezávisle proměnných aspektů vrhačského výkonu jsme se zaměřili na objektivně měřitelné parametry, jejichž hodnoty jsou k dispozici také u špičkových světových oštěpařů. Při porovnávání těchto proměnných jsme tak nebyli omezeni pouze zjištěnými hodnotami v rámci našeho měření, ale mohli jsme je okamžitě analyzovat i ve vztahu k nejlepším světovým výkonům.

Pro začátek uvádíme přehled parametrů výkonu, které jsme sledovali v rámci třech pokusů hodu oštěpem u oštěpaře (Tabulka 2).

Pro větší přehlednost jsme se rozhodli získané výsledy interpretovat v rámci tematických odstavců, které vždy měřený parametr výkonu zhodnotí ve vztahu k ideálnímu provedení, v souboru tří různých pokusů a také v relaci k technice špičkových oštěpařů. Vyhodnotíme slabiny a přednosti figurantovy techniky. V závěrečném shrnutí odhalíme příčiny nedostatků a s nalezením možností jejich eliminace.

Tabulka 2. Tabulka sledovaných parametrů

nezávislé proměnné	formulace	jed.	DOP	P1	P2	P3	odst.
délka měřeného hodu		m	max	58,60	56,40	52,10	
trvání přípravné fáze (t1 - t2)	*čas od dopadu pravé do zaujetí dvouoporového postavení*	s	min	0,28	0,29	0,27	a
trvání odhodové fáze (t2 - t3)	*čas od zaujetí dvouoporového postavení po okamžik odhodu*	s	min	0,11	0,09	0,12	
úhel v lokti odhodové ruky v momentu dokroku pravé nohy – ukončení impulsního kroku (L.u - t1)	*úhel tvořen třemi body: zápěstí/loket/rameno*	°	max	159,40	171,00	152,00	d
úhel v lokti odhodové ruky v momentu zaujetí dvouoporového postavení – tzn. po dokroku levé nohy (L.u - t2)	*úhel tvořen třemi body: zápěstí/loket/rameno*	°	max	134,00	112,00	148,00	
úhel v lokti odhodové ruky momentu odhodu (L.u - t3)	*úhel tvořen třemi body: zápěstí/loket/rameno*	°		130,00	144,00	125,00	

nezávislé proměnné	formulace	jed.	DOP	P1	P2	P3	odst.
úhel v koleni levé nohy v momentu zaujetí dvouoporového postavení – tzn. po dokroku levé nohy (K.u - t2)	*úhel tvořen třemi body: kotník/koleno/kyčel*	°	max	168,50	148,00	143,00	c
maximální hodnota flexe v koleni levé nohy od zaujetí dvouoporového postavení – tzn. po dokroku levé nohy do momentu odhodu (K.u max flex – t2-t3)	*úhel tvořen třemi body: kotník/koleno/kyčel*	°	min	121,10	128,00	107,00	
úhel v koleni levé nohy v momentu odhodu (K.u - t3)	*úhel tvořen třemi body: kotník/koleno/kyčel*	°	max	121,10	131,00	108,00	
odhodová rychlost (v.o. - t3)	*rychlost náčiní v momentu odhodu*	m/s	max	27,70	33,20	29,70	b
výška odhodu	*vzdálenost odhodového zápěstí od roviny xy*	m		2,20	2,46	2,30	
odhodový úhel	*tvořen dvěma body a rovinou: 1/2 oštěpu t3/1/2 oštěpu t4/rovina xy*	°	32-42	33,90	31,00	32,50	
úhel vzletu oštěpu	*tvořen dvěma body a rovinou: hrot oštěpu/ 1/2oštěpu/rovina xy*	°	32-42	43,20	42,60	44,40	
položení oštěpu	*13-12*	°	0	9,30	11,60	11,90	
akcelerační dráha v momentu dopadu pravé nohy (akc. dr. - t1)	*vzdálenost úchopu oštěpu od pravého boku na ose x*	m	max	1,14	1,10	1,14	e
akcelerační dráha v momentu zaujetí 2opo postavení (akc. dr. - t2)	*vzdálenost úchopu oštěpu od pravého boku na ose x*	m	max	0,89	0,89	1,17	
náběhová rychlost	*max. rychlost těžiště na ose x*	m/s	max	9,10	8,96	8,70	f
výška těžiště při zaujetí dvouoporového postavení (Tz - t2)	*vzdálenost těžiště od podložky na ose z*	m	min	1,05	1,04	1,08	
výška těžiště v momentu odhodu (Tz - t3)	*vzdálenost těžiště od podložky na ose z*	m	max	1,05	1,07	1,08	
délka posledního kroku	*vzdálenost pravého a levého kotníku při zaujetí 2opor. postavení*	m		1,60	1,43	1,60	
míra ukročení při zaujetí 2 opor postavení	*vzdálenost pravého a levého kotníku při zaujetí 2opor. postavení na ose y*	m		0,41	0,31	0,38	

nezávislé proměnné	formulace	jed.	DOP	P1	P2	P3	odst.
vzdálenost od břevna při zaujetí 2 opor. postavení		m	2 - 2,5	4,80	5,10	5,30	
absolutní posun těžiště od dopadu pravé po zaujetí 2 opor postavení (akcelerační dráha) (Tx - t1-t2)	*délka dráhy těžiště v daném čase na ose x*	m	max	2,17	2,20	2,00	

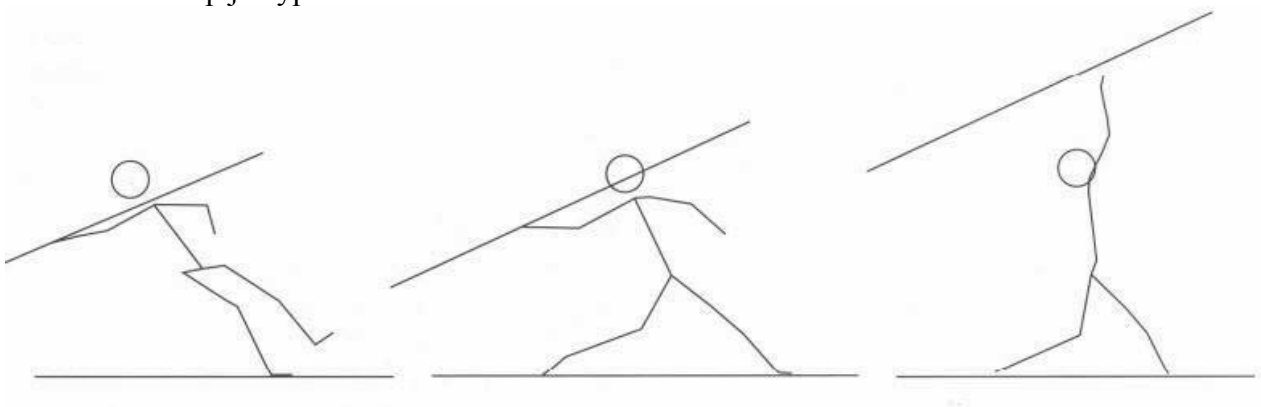
Legenda:

jed. - jednotka
DOP - doporučená hodnota
P1, 2, 3 - pokus číslo 1, 2, 3
odst. - odstavec, kde jsou dané proměnné analyzovány
t1 - okamžik došlapu pravé nohy na podložku – začátek přípravné fáze pro pravoruké oštěpaře (jednooporové postavení)
t2 - okamžik došlapu levé (oporné) nohy na podložku – zaujetí dvouoporového postavení
t3 - okamžik odhodu
L.u - úhel v lokti (pravém)
K.u - úhel v koleni (levém)
K.u max flex - maximální hodnota flexe v koleni
Tx - horizontální posun těžiště
Tz - kolmá výška těžiště nad oporou

Vlastní biomechanickou analýzu techniky jsme zaměřili především na přípravnou a odhodovou fázi hodu. Právě tyto fáze jsou nejdůležitější ve vztahu ke konečnému výkonu a umožňují nám tak nejlépe porovnávat jeho technické provedení našich a světových atletů.

Jako hlavní časové body jsme stanovili (Obrázek 1):

- **t1** – došlap pravé nohy – ukončení impulsního kroku a zaujetí jednooporového postavení pro pravoruké oštěpaře; začátek přípravné fáze
- **t2** – došlap levé nohy – zaujetí dvouoporového postavení pro pravoruké oštěpaře; začátek odhodové fáze
- **t3** – oštěp je vypuštěn – okamžik odhodu



Obrázek 1 Časové body t1, t2 a t3

Komentář k výsledkům je členěn podle tematických odstavců z Tabulky 1. Na konci každého odstavce provádíme krátké shrnutí s naznačením pozitivních (silných) stránek a negativních aspektů (nedostatků) v provedení figuranta. Používáme k tomu znaky plus (+) a minus (-).

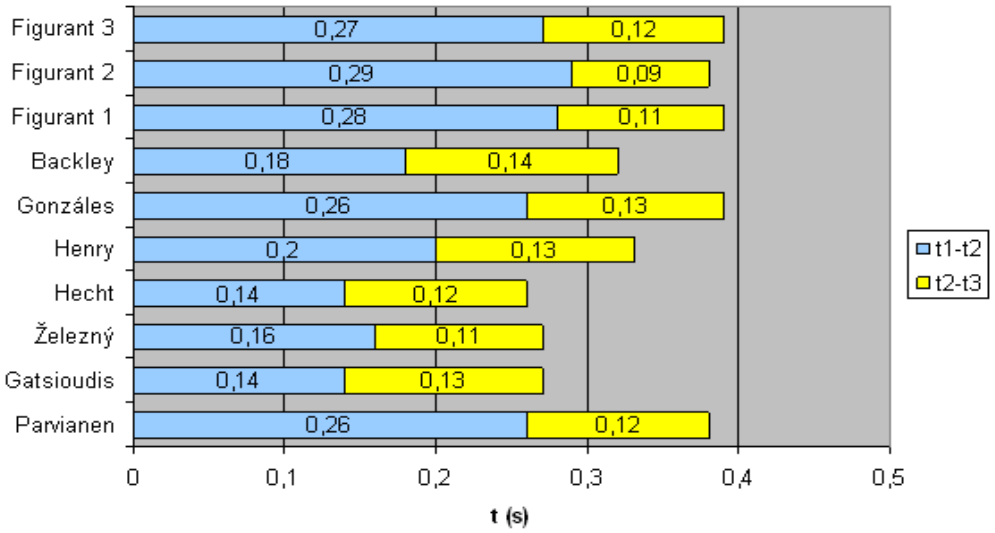
a) Délka trvání přípravné a odhodové fáze

Tyto parametry přímo vychází z časových bodů t1, t2 a t3 zmíněných výše

- Přípravná fáze: doba mezi t1 a t2
- Odhodová fáze: doba mezi t2 a t3

Největší rozdíly můžeme zaznamenat při porovnávání délky trvání přípravné fáze, která vyjadřuje rychlost zaujetí dvouoporového postavení. Podle (Kněnický 1977), levá noha po ukončeném odrazu do přeskoku se co nejrychleji přemisťuje nízko nad zemí do opory. Časový interval mezi dokrokem pravé nohy a zapřením levé nohy o zem musí být co nejmenší a ve značné míře rozhoduje o kvalitě finální fáze hodu.

Všechny pokusy se vyznačují dlouhou dobou zaujetí dvouoporového postavení (0,27–0,29 s), kdy figurant ztrácí horizontální rychlost. Rychlost provedení odhodové fáze je však na velmi vysoké úrovni (0,9–0,11 s), což však může být důsledkem krátké dráhy, po kterou v odhodové fázi na oštěp působí. Srovnání se světovými oštěpaři obsahuje obrázek 2 (Campos, 1999).



Obrázek 2 Trvání přípravné a odhodové fáze

Shrnutí odstavce a):

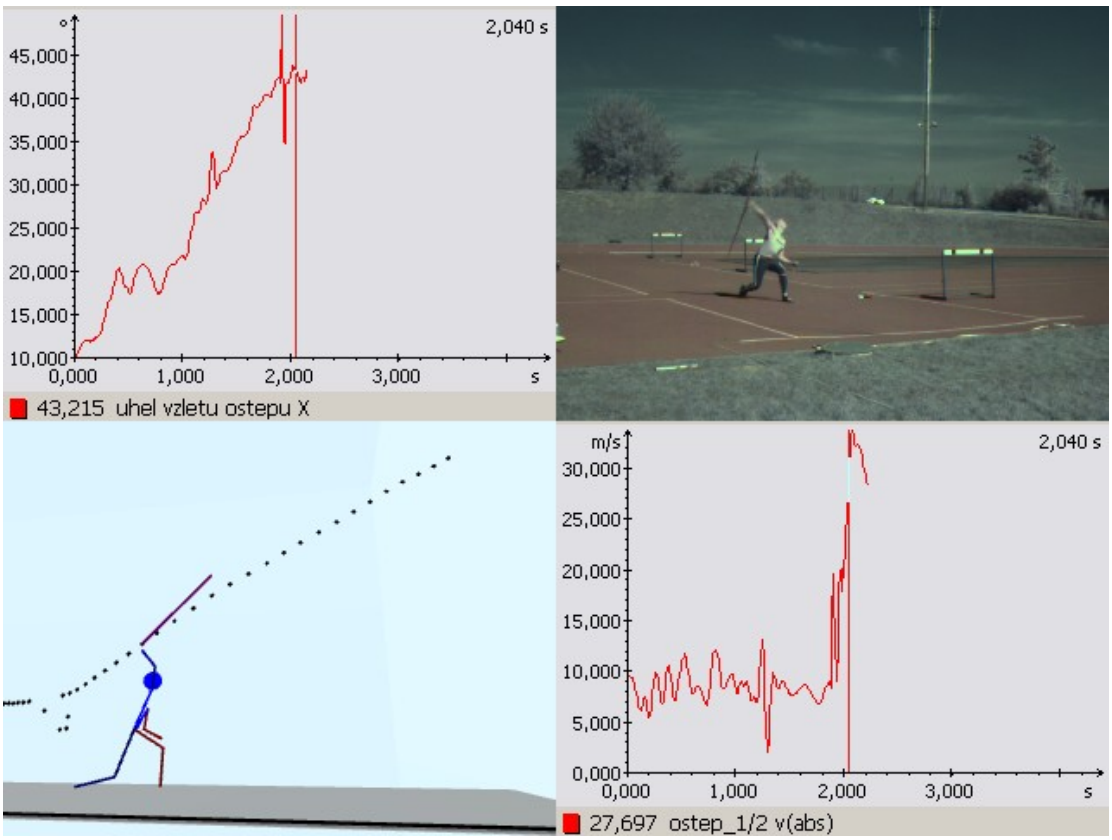
- rychlost zaujetí dvouoporového postavení

\+ rychlost provedení odhodu

b) Parametry odhodu (výška odhodu, odhodový úhel a položení oštěpu)

Výška odhodu je jedním z parametrů, který ovlivňuje výslednou letovou dráhu oštěpu. Je závislá na výšce oštěpaře, boční stabilizaci trupu a úhlu v koleni přední oporové nohy v momentu odhodu. Oštěpaři by se měli snažit odhazovat oštěp co možná nejvýš, ovšem vždy musí udržovat dvouoporový kontakt s podložkou. Výška odhodů u našeho figuranta dosahovala v porovnání se světovými oštěpaři extrémních hodnot 2,20–2,46 m. Při třetím pokusu (2,30 m) byla příčinou pravděpodobně nezvládnutá fáze před přechodem do odhodového postavení, kdy se v momentu vypuštění dostává takřka do jedooporového postavení, při absenci opory na zadní pravé noze. To v kombinaci s úhlem v lokti odhodové paže (Tabulka 2, odst. d) a ztrátou stability, která zapříčinila vychýlení na levý bok, umožnilo vypustit oštěp v relativně velké výšce.

Podle Vinduškové (2003), pokud zvýšíme místo odhodu, zvětší se automaticky délka dopadu. Se zvyšující se výškou odhodu se automaticky zvyšuje délka (vodorovná vzdálenost) dopadu náčiní. To znamená, že vrhači vyšší postavy mají automaticky výhodu oproti menším.



Obrázek 3 - ↑← graf úhlu vzletu oštěpu; →↑ snímek z kamery; ↓← schéma vzletu oštěpu a dráhy odhodu; →↓ graf odhodové rychlosti

Dalšími parametry ovlivňujícími vzdálenost hodu jsou odhodový úhel, úhel vzletu oštěpu a konečně položení oštěpu, které závisí na předchozích dvou proměnných. Odhodový úhel je dán vektorem rychlosti a horizontální rovinou a položení oštěpu tak znamená rozdíl mezi úhlem odhodu a úhlem vzletu oštěpu (Obrázek 3).

Podle Kněnického (1977) pro maximální délku šikmého hodu nám fyzikální zákony určují jako nejpříznivější úhel 45°, odhodový úhel oštěpu je však vždy, jak je potvrzeno řadou autorů, pod 42°. Zmenšení odhodového úhlu je výhodné jen do určité hranice. Příliš malý úhel způsobuje stržení oštěpu a plochou dráhu jeho letu. Při větším než optimálním úhlu letí oštěp do zbytečné výšky, jeho dráha je strmá. Oba hody jsou nehospodárné, výkon neodpovídá vynaloženému úsilí.

Teoretické odhodové úhly by se měly pohybovat mezi 32°–37° a úhel položení oštěpu by neměl přesáhnout + 8°. Figurant při svém nejdelším pokusu odhazoval pod úhlem 33,9°, což se pozitivně promítlo do výkonu, ovšem úhel položení + 9,3° již naznačuje přílišné podtržení oštěpu. Další pokusy se vyznačují příliš nízkým odhodovým úhlem, při druhém pokusu dokonce 31°. Třetí pokus vykazuje úhel položení až +11,9°, což je příčinou velmi neefektivní letové dráhy a velkého odporu prostředí působícího na plochu oštěpu.

Tabulka 3 Odhodové parametry (Campos 1999)

Atlet	Výkon (m)	Rychlost odhodu (m/s)	Výška odhodu (m)	Úhel vzletu (°)	Odhodový úhel (°)	Položení oštěpu (°)
Parvianen	89,52	29,7	2,14	35,7	36,6	-0,9
Gatsioudis	89,18	29,6	1,90	37,5	31,6	5,9
Železný	87,67	29,2	1,80	36,9	31,1	5,8
Hecht	85,24	28,5	2,09	41,7	40,1	1,6
Henry	85,43	28,1	1,99	25,3	32,1	-6,8
Gonzáles	84,32	29,4	1,83	36,5	27,7	8,8
Backley	83,84	28,5	2,08	40,8	35,3	5,5
Figurant 1	58,60	27,7	2,20	43,2	33,9	9,3
Figurant 2	56,40	33,2	2,46	42,6	31,0	11,6
Figurant 3	52,10	29,7	2,30	44,4	32,5	11,9

Nejzávažnější činitel, který má vliv na délku hodu, je odhodová rychlost. Každá změna této rychlosti má pro výkon daleko větší význam než percentuálně stejná změna úhlu (Kněnický 1977). Horizontální složka odhodové rychlosti má ve vztahu k výsledné délce hodu nejvyšší korelační součinitel (r) ze všech měřených parametrů. Podle Kravceva (In Šimon, 2004) až r = 0,87.

Figurant dosahuje špičkových hodnot odhodové rychlosti – při druhém pokusu dokonce 33,2 $m.s^{-1}$, ovšem vzhledem k jeho pojetí přílišného strhávání oštěpu lze vyvozovat, že převážná část výsledné rychlosti je tvořena složkou vertikální. Celkové srovnání odhodových parametrů můžeme vidět v tabulce 3 a ilustrační záběry vyhodnocování jednotlivých proměnných (konkrétně nejdelší pokus – 58,60 m, čas t3) na obrázku 3.

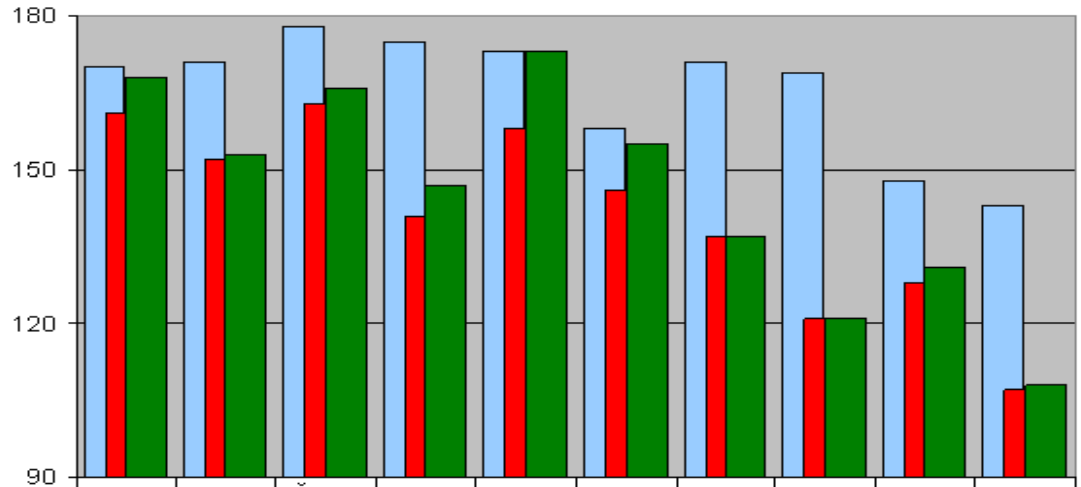
Shrnutí odstavce b):

- \- přílišné položení oštěpu, resp. úhel vzletu, vysoký podíl vertikální rychlosti při odhodu
- \+ výška odhodu, rychlost odhodu

c) Úhel v koleni levé oporné (brzdící) nohy

Brzdicí a oporová funkce levé nohy při zaujetí dvouoporového postavení a samotné fázi odhodu je nezbytná pro dosažení maximální odhodové rychlosti. Umožňuje efektivní přenesení horizontální rychlosti nabyté atletem v rozběhu do kinetické rychlosti působící na oštěp. Schopnost realizovat tento transfer je dobře patrná právě na úhlu oštěpařova brzdícího kolena. Právě tato akce se zdá být rozhodující složkou výkonu vzhledem k faktu, že 60 % kinetické energie oštěpu je generováno v posledních 50 ms před odhodem (Campos 1999). Koleno levé nohy je mírně pokrčeno v okamžiku, kdy koleno pravé nohy přešlo do polohy souhlasné s rovinou hodu. Zapřením levé nohy je zajištěna fixace levé strany oštěpařova těla (Kněnický 1977).

Teoretická východiska efektivity hodu vycházejí z principu zachování maximální extenze v kolením kloubu levé oporné nohy. Úhel v kolenu by měl mít hodnoty v rozmezí 160°–180°, přičemž maximálních hodnot extenze je třeba dosáhnout v okamžiku odhodu. Levá noha tak funguje jako páka. Obrázek 4 poukazuje na úhel v koleni levé nohy v čase t2, při maximální flexi během odhodové fáze a v čase t3.



	Parv	Gats	Železz	Hecht	Henry	Gonz	Back	Fig 1	Fig 2	Fig 3
K.u - t2	170	171	178	175	173	158	171	169	148	143
K.u max flex t2-t3	161	152	163	141	158	146	137	121	128	107
K.u - t3	168	153	166	147	173	155	137	121	131	108

Obrázek 4 Úhel v koleni levé nohy v čase t2, při maximální flexi a čase t3

Figurant má v této složce výkonu velké nedostatky. Přes 160° extenze se dostal pouze při svém nejdelším pokusu, a to jen v momentu zaujetí dvouoporového postavení ((K.u-t2 = 169°). Ostatní hodnoty jsou ve srovnání se světovou špičkou podprůměrné, především fakt, že největší míra flexe v kolením kloubu (K.u max flex) je prakticky vždy shodná s hodnotou flexe v momentu odhodu (Ku-t3). Tento fakt poukazuje na velmi špatný přenos energie atleta do oštěpu. Při nejkratším pokusu dosáhla flexe v koleni při odhodu dokonce 108°, což oštěpaři v podstatě nedovoluje zapojit opornou nohu do pákového systému energetického transferu. Nikdo ze světové špičky nemá hodnotu maximální flexe shodnou s flexí v momentu odhodu. Výjimkou je Backley, ovšem i ten je schopný hod realizovaž s extenzí větší řádově o 10° než náš figurant. Domníváme se, že tento faktor je největší slabinou figurantovy výkonnosti.

Shrnutí odstavce c):

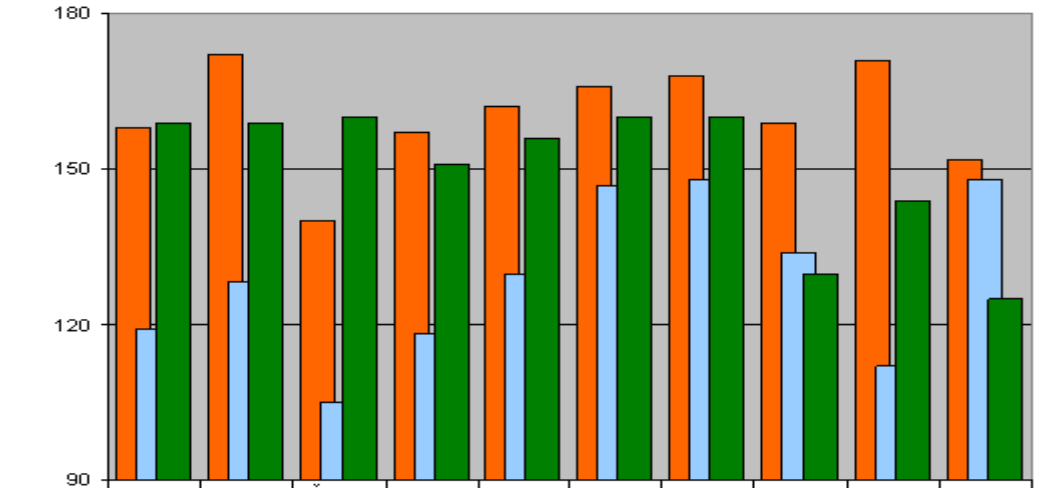
- maximální extenze v kolením kloubu levé oporné nohy

d) Úhel v lokti pravé (odhodové) paže

Úhel, který svírá loket odhodové paže, je v odborné literatuře často zmiňovaným parametrem výkonu a faktorem ovlivňujícím přenos kinetické energie na oštěp. Z pohledu optimální oštěpařské techniky by odhodová paže měla dosahovat maximální extenze až do chvíle t2 (zaujetí dvouoporového postavení) s ohledem na snahu dosáhnout maximálního zrychlení náčiní v odhodové fázi. Čím napjatější paže je, tím po delší dráze atlet na oštěp působí a tím větší zrychlení mu udílí.

Klíčový činitel je práce pravé paže, která je před zaujetím odhodového postavení pasivní a snaží se jen udržet oštěp v přímém směru a pod příslušným úhlem. Pravá paže zůstává co nejdéle a nejdále vzadu. Přestože je napjata, hod se neprovádí napjatou paží. Záleží na individuálních schopnostech, dokdy má být napjatá. Oštěpaři s uvolněným pletencem ramenním ji dokážou držet napjatou déle (Kuchen 1969).

Při pozorování extenze v loketním kloubu odhodové paže jsme se opět soustředili na hodnoty ve třech časových bodech t1, t2, t3 (Obrázek 5). Nejvyšší hodnoty extenze v čase t1 dosáhl figurant při svém druhém nejdelším pokusu (171°). Nicméně při tomto pokusu měla míra extenze v čase t2 zároveň hodnotu nejmenší (112°).



	Parv	Gats	Želez	Hecht	Henry	Gonz	Back	Fig 1	Fig 2	Fig 3
L.u - t1	158	172	140	157	162	166	168	159	171	152
L.u - t2	119	128	105	118	130	147	148	134	112	148
L.u - t3	159	159	160	151	156	160	160	130	144	125

Obrázek 5 Úhel v lokti odhodové ruky v časech t1, t2 a t3

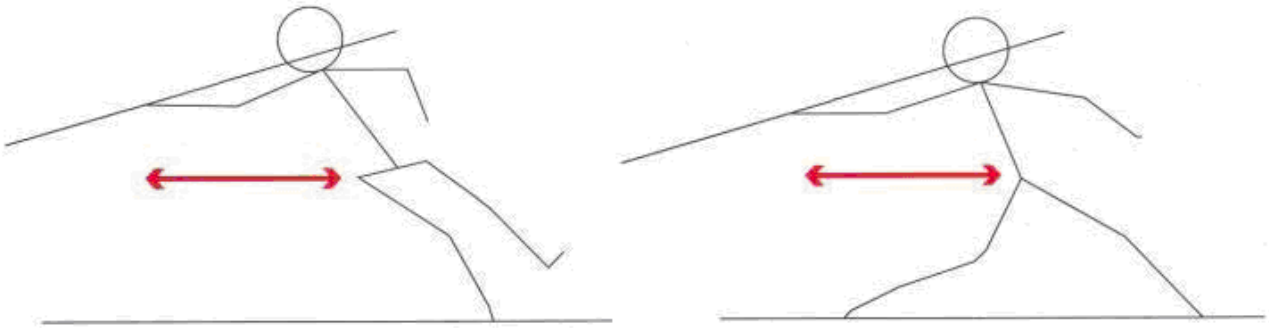
Při porovnání v časech t1 a t2 se světovou špičkou nejsou figurantovi parametry významněji rozdílné. Rozpětí hodnot extenze špičkových oštěpařů se pohybuje od 140° do 172° v čase t1, resp. 105°–147° v čase t2. Figurant potom 152°–171° (t1) a 112°–148° (t2). Obrovský rozdíl však můžeme registrovat v čase t3. Figurantovy hodnoty 130°, 144° a 125° jsou výrazně nižší než „světový průměr“ přesahující 156° (Obrázek 5). Přílišné pokrčení lokte při odhodu tak opět zamezuje dostatečnému kinetickému přenosu a výrazně zmenšuje poloměr otáčení, po kterém paže jako páka udává oštěpu zrychlení.

Shrnutí odstavce d):

- \- míra flexe v čase t3
- \+ extenze v časech t1 a t2

e) Akcelerační dráha

Akcelerační dráha oštěpu bývá zmiňována jako významný výkonnostní ukazatel atleta. Dlouhá dráha usnadňuje optimální působení sil na oštěp a umožňuje uskutečnit efektivněji proces smrštění zapojených svalových skupin. Význam délky působení na náčiní je zdůrazňován v literatuře, včetně dvou různě definovaných parametrů souhrnně nazývaných „Akcelerační dráha“. Ta je definována jako horizontální vzdálenost pravého boku oštěpaře od těžiště oštěpu v momentu zaujetí jednooporového postavení v čase t1. Někdy také jako horizontální vzdálenost pravého boku oštěpaře od středu vinutí oštěpu v momentu zaujetí dvouoporového postavení v čase t2 (Campos 1999). Ilustrační animace je na Obrázek 6.

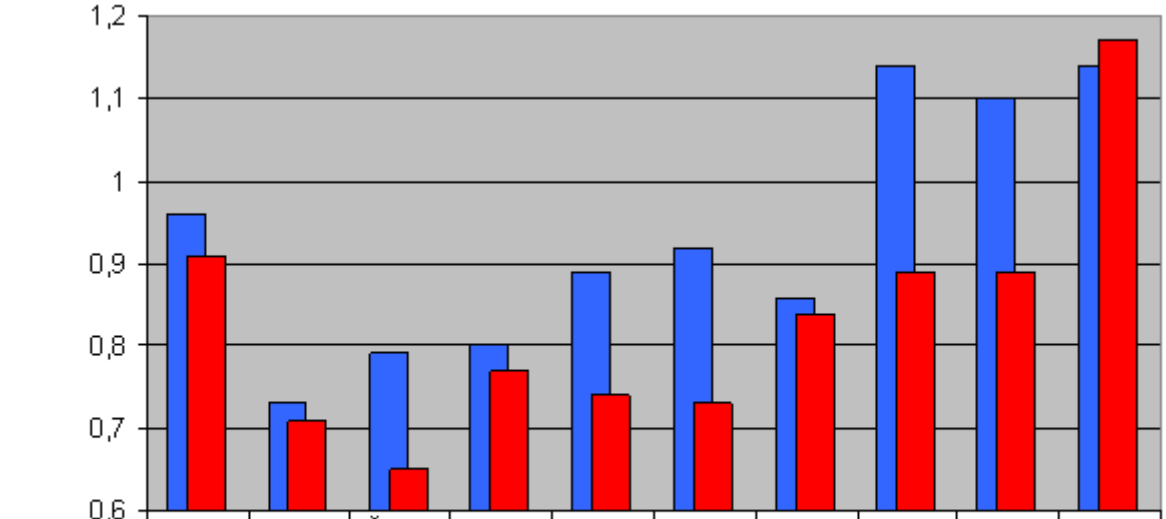


Obrázek 6 Akcelerační dráha v časech t1 a t2

Světoví oštěpaři se pohybují v intervalu t1 (0,73–0,96 m); t2 (0,65–0,91 m). Platí pravidlo, že všichni oštěpaři dosahují delší akcelerační dráhy v čase t1. Figurant v tomto parametru dosahuje extrémních hodnot a paradoxně při svém nejhorším pokusu také popírá pravidlo kratší dráhy v momentě zaujetí dvouoporového postavení (graf. 4). V čase t1 dosahuje vzdálenost jeho pravého boku od středu vinutí oštěpu 1,14 m a v čase t2 dokonce maxima 1,17 m.

Příčiny tohoto zjištění můžeme hledat v kvalitním impulsním kroku a také ve snaze o maximální délku posledního kroku (dvouoporového postavení), který může definovanou akcelerační dráhu absolutně prodloužit.

Jak víme z předchozího textu, extenze v lokti odhodové paže nehraje v délce akcelerační dráhy významnou roli. V případě figuranta je srovnatelná s úrovní ostatních oštěpařů.



	Parv	Gats	Želez	Hecht	Henry	Gonz	Back	Fig 1	Fig 2	Fig 3
akc.dr.t1	0,96	0,73	0,79	0,8	0,89	0,92	0,86	1,14	1,1	1,14
akc.dr.t2	0,91	0,71	0,65	0,77	0,74	0,73	0,84	0,89	0,89	1,17

Obrázek 7 Akcelerační dráha v čase t1 a t2

Obecně vzato je tento parametr výsledkem komplexní technické a anatomické úrovně oštěpaře a výsledné hodnoty je třeba analyzovat s ohledem na předchozí zjištění (Campos 1999).

Shrnutí odstavce e):

- delší akcelerační dráha v čase t2 pravděpodobně není žádoucí
+ výjimečně dlouhé hodnoty akceleračních drah

f) Další relevantní parametry ovlivňující výkon

- Velký rozsah pohybů figurant deklaroval již v odstavci akceleračních drah a potvrdil jej i při měření absolutního horizontálního posunu těžiště v době t1–t2, tzn. během kroku zaujímání dvouoporového postavení. Hodnota dráhy těžiště dosahovala v maximu 2,2 m.
- Rozběh musí být vyměřen tak, aby přeskok nebyl prováděn příliš blízko u odhodového břevna – obavy z přešlápnutí by se nepříznivě projevily při odhodu. Také ale ne příliš daleko, hod se měří až od oblouku. Optimální je vzdálenost 2–2,5 m od oblouku (Bartušek, 1968).
- Figurant při všech měřených pokusech odhazoval výrazně daleko od odhodové čáry (4,8 m, 5,1 m, 5,3 m). Jeho opatrnost však byla poměrně zbytečná, neboť výška těžiště v odhodové fázi dosahovala velmi nízkých hodnot a umožňovala mu tak pohodlné tlumení horizontální rychlosti.
- Rychlost rozběhu v jeho závěrečné části se pohybuje u mužů v rozmezí 6–8 $m.s^{-1}$. (Šimon 2004).
- Figurant dosahoval velmi vysokých hodnot v náběhové rychlosti. Hodnoty kolem 9 $m.s^{-1}$ poukazují na obrovský fyzický a výkonnostní potenciál oštěpaře, pokud bude schopný přenést

horizontální rychlost a kinetickou energii získanou náběhem do oštěpu pomocí dostatečných pák levé nohy a pravé paže.

- Chodidlo levé nohy došlapuje asi na šířku stopy až ramen vlevo od pravého chodidla (Kuchen 1969).
- Míra ukročení do boku v čase t2 zcela odpovídá požadavkům na oštěpařskou techniku 0,41 m; 0,31 m; 0,38 m.
- Výška těžiště při zaujetí dvouoporového postavení a výška těžiště v momentu odhodu byla prakticky při všech pokusech shodná a pohybovala se okolo 1,05 m. Ovšem podle Kuchena, (1969) by oštěpař měl zvednout těžiště těla přes levou nohu vzhůru a vypustit oštěp nad levou nohou.
- Figurant se však snaží o příliš dlouhý poslední krok a „dlouhé“ zaujetí dvouoporového postavení. Neúměrně předkopává levou oporovou nohu a prodlužuje tak délku posledního kroku (1,60 m; 1,43 m; 1,60 m), ze kterého není schopný udržet optimální úhel v koleni a využít tak pákového principu hodu. Příliš dlouhý krok je také příčinou neschopnosti zvednout těžiště při odhodové fázi a aktivně tak působit na dráhu oštěpu.

DISKUSE

V předchozí kapitole jsme porovnali několik aspektů techniky našeho figuranta s vrcholovými oštěpaři, kteří svoji výkonnost dlouhodobě dokazují výkony atakujícími devadesátimetrovou hranici. Nejeden výsledek našeho rozboru byl zajímavý. Můžeme konstatovat, že v mnoha parametrech sportovního výkonu a pojetí techniky se figurant naprosto vyrovnává oštěpařské elitě a v některých faktorech je dokonce schopný ji předčít.

Hod oštěpem však představuje velmi komplexní a náročný pohybový úkol a sladění všech faktorů technického provedení je pro dosažení špičkového výkonu nezbytné. Slabiny, které se v našem porovnávání objevily, mají velký vliv na výkonnost oštěpaře, přestože jsme označili řadu parametrů jako nadprůměrné.

Největší figurantovou předností je velký fyzický potenciál a pohybový rozsah. Je velmi dobře silově a rychlostně vybaven a má veškeré předpoklady k dosažení vrcholných výkonů.

Nezbytné však bude odstranit několik technických chyb, které celkový výkon velice sráží. Nejpodstatnějšími nedostatky jsou velké rezervy ve využívání „pákových“ principů přenosu kinetické energie z horizontální formy tvořené rozběhem do kinetické energie oštěpu. Snaha o protažení posledního kroku a příliš dlouhý postoj v dvouoporovém postavení zabraňuje oštěpaři zaujmout výhodnou pozici přední oporné nohy s maximální možnou extenzí v koleni. Naopak zde dochází k výrazné flexi, která způsobuje ztrátu horizontální rychlosti kumulované rozběhem a znemožňuje plynulý pohyb vpřed z dvouoporového postavení. Pokrčené koleno nepouští zbytek těla vpřed, kyčel tak nemůže přes napnuté koleno urychlovat tělo v horizontálním směru. Z pokrčeného kolena, které se postupně napíná, se velká část energie transformuje především v energii vertikální, což není při hodu oštěpem žádoucí. V návaznosti na tuto skutečnost pak oštěpař v odhodové fázi příliš ohýbá loket a tato flexe odhodové paže se opět negativně promítá do celkového zrychlení, které má paže oštěpu udělit. V konečném důsledku tak přebytek vertikální složky odhodové rychlosti působí nepříznivě na položení oštěpu při odhodu. Dochází k přílišnému podtržení oštěpu v odhodové fázi. Oštěp tak při letu opisuje neefektivní dráhu, stoupá příliš vysoko a pak prudce klesá. Vzhledem k položení náčiní při odhodu na něj působí velký odpor vnějšího prostředí a zpomaluje jej. Je třeba si uvědomit, že při takto položeném oštěpu, působí značná část horizontální složky odhodové rychlosti do vinutí oštěpu, ovšem téměř kolmo na směr odhodu. V takovém případě dochází ke známému „rozvibrování“ obou konců oštěpu, zhoršují se letové charakteristiky náčiní a značná část odhodového úsilí se míjí účinkem.

Menším nedostatkem je pak příliš velká vzdálenost od odhodového břevna v okamžiku vypuštění oštěpu, resp. při zaujetí dvouoporového postavení. Pohyb těla vzhůru způsobený napínáním kolene přední nohy z původně výrazné flexe působí jako výskok z podřepu a znesnadňuje oštěpaři zvládnout doznění horizontální energie na kratším prostoru.

Vyřešení problému s nedostatečnou extenzí v levém koleni by tak mělo vyřešit i problém zbytečné rezervy určené k přeskoku a doznění odhodu.

ZÁVĚRY

Domníváme se, že tento způsob zkoumání pohybu je velkým přínosem pro komplexní analýzu libovolné pohybové činnosti. Pro sportovního trenéra se pak může stát vítanou pomůckou při řešení specifických pohybových úkolů. I ten nejzkušenější trenér či expert nepostihne všechny aspekty provedení komplexnějšího pohybu pouhým okem a díky kinematické analýze si alespoň může potvrdit svoje praxí nabyté zkušenosti nebo ověřit své domněnky. Získané výsledky potvrzené exaktním měřením mohou být také motivačním faktorem samotného oštěpaře, který pochybuje o tvrzení trenéra, založeném jen na schopnosti vizuálního odezírání technických nedostatků.

Doporučení pro trenéra a jeho svěřence vyplývající z našeho konkrétního rozboru uvádíme:

- zlepšit přechod do dvouoporového postavení s kladením důrazu na výraznou extenzi v koleni levé nohy – zaměřit se na rytmizaci posledních kroků s důrazem na rychlé zaujetí dvouoporového postavení,
- koncentrovat tréninkové úsilí na extenzi loketního kloubu odhodové paže ve fázi odhodu,
- upravit rozběh, přesunutí odhodu blíže k odhodovému břevnu.

Literatura

DOVALIL, J. a kol. *Výkon a trénink ve sportu.* Praha: Olympia, 2002. ISBN 80-7033-928-4.

HENDL, J. *Úvod do kvalitativního výzkumu.* Praha: Karolinum, 1999. ISBN 80-246-0030-7.

JANURA, M.; Zahálka, F. *Kinematická analýza pohybu člověka.* 1. vyd. Olomouc: 2004. ISBN 80-244-0930-5.

KAMPMILLER, T. *Sborník vědeckých prací III.* 1. vyd. Bratislava: SVS, 1999, s. 3–12. ISBN 80-968252-0-8.

KARAS, V. *Biomechanika tělesných cvičení.*1. vyd. Praha: SPN, 1990, s. 12 – 13. ISBN 80-04-20554-2.

KNĚNICKÝ, K. a kol., *Technika lehkoatletických disciplín.* Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1977.

KOVAŘÍK, V.; Langer, F. *Biomechanika tělesných cvičení.* 1. vyd. Brno: UJEP, 1985.

KUCHEN, A. *Atletika – vrhy.* 1. vyd. Bratislav a: STV, 1977.

KUCHEN, A. *Lehkoatletické hody a vrhy.* 1. vyd. Praha: Olympia, 1971.

KUCHEN, A. *Teória a didaktika atletiky.* 1. vyd. Bratislava: Slov. PN, 1987.

LUŽA, J. *Technika atletických disciplín.* 1. vyd. Brno: MU, 1995. ISBN 80-210-1127-0.

Manuál SIMI Motion. SIMI Reality Motion Systems GmbH. [online] [cit. 19. 5. 2008] Dostupné na WWW: <www.simi.com>

SEBERA, M. *Využití multimediálních prostředků v práci trenéra atletiky*. Brno: MU. 2006. 1. trenérské třídy atletiky. Závěrečná práce.

SEBERA, M.; MICHÁLEK, J.; CACEK, J.; LAJKEB, P. *Jednoduchá biomechanická analýza během 3 minut.* In Atletika 2006. Bratislava: FTVŠ UK Bratislava, s. 191–195. ISBN 80-89257-01-1.

SEBERA, M.; JOUKAL, S.; ZVONAŘ, M. 3D biomechanická analýza v atletice. *Atletika*, 2007, roč. 6, č. 56, s. 1–2. ISSN 0323-1364.

ŠIMON, J. *Atletické vrhy a hody.* 1. vyd. Praha: Olympia, 2004. ISBN 8070338156

VINDUŠKOVÁ, J. a kol. *Abeceda atletického tréninku*. Praha: Olympia, 2003. ISBN 80-7033-770-2.

Elektronické zdroje

FREEMAN, W. T et al. Computer Vision for Interactive Computer Graphics. [online]. 1998. [cit. 19. 5. 2008] Dostupné na WWW: <http://www.merl.com/papers/docs/TR99-02.pdf>

CAMPOS, J; BRIZUELA, G.; RAMÓN, **V.** Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers. [online]. 1999. [cit. 19. 5. 2008] Dostupné na WWW: <http://www.coachr.org/threedimensional_kinematic_analysis_of_elite_javelin_thrower.htm >

SIMI – Motion system. [online] [cit. 19. 5. 2008] Dostupné na WWW:<http://www.tracksys.co.uk/product-details.php?id=6>

The Canadian Athletics Coaching Centre – biomechanics javelin section. [online] [cit. 19. 5. 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.athleticscoaching.ca/?pid=7&spid=37&sspid=64>