

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

2D KINEMATICKÁ ANALÝZA HODU OŠTĚPEM

Diplomová práce

Autor: Bc. Martina Všoláková, Tělesná výchova a sport, kombinované magisterské
studium

Vedoucí práce: Doc. Paed. Dr. František Langer, CSc.

Olomouc 2015

Jméno a příjmení autora:	Bc. Martina Všoláková
Název diplomové práce:	2D kinematická analýza hodu oštěpem
Pracoviště:	Katedra sportu
Vedoucí diplomové práce:	Doc. Paed. Dr. František Langer, CSc.
Rok obhajoby diplomové práce:	2015

Abstrakt: Cílem diplomové práce je usnadnit práci trenérům s korekcí chyb v nácviku techniky disciplíny hod oštěpem u svých svěřenců. Diplomová práce poukazuje na dostupnost moderní počítačové techniky v rámci tréninkového nácviku disciplíny hodu oštěpem. Pro korekci chyb jsem použila softwarový program Ariel Performance Analysis system (APAS) určený pro hodnocení pomocí 2D kinematické analýzy pohybu člověka. Pro názornost využití metody jsem natočila videa se čtyřmi oštěpaři tréninkové skupiny Ladislava Všoláka z atletického klubu AO Havířov. Jednalo se o tři oštěpaře a jednu oštěpařku. Probandi byli rozděleni podle věkových kategorií, které korespondovali s délkou nácviku disciplíny hodu oštěpem. Jednalo se o začátečníka staršího žáka, dva mírně pokročilé muže a vrcholově výkonnou ženu. Analýza potvrdila, že délka nácviku techniky zřetelně ovlivňuje kvalitu provedení pokusů. Dalším zjištěním je také možné zautomatizování chyb, z důvodu nepodchycení vzniku chyby na samotném počátku.

Klíčová slova: Technika hodu oštěpem, hod oštěpem, odhodová fáze, úhly odhodové fáze, 2D kinematická analýza, kinogram.

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author: Bc. Martina Všoláková
Thesis Title: 2D Kinematic Analysis of Javelin Throwing
Department: Department of Sport
Supervisor: Doc. Paed. Dr. František Langer, CSc.
Year of Thesis Defence: 2015

Abstract: The thesis aims to facilitate the work of coaches with the correction of errors in practising javelin throw techniques. The thesis shows the possibility of using modern computer technology in training javelin throwing. To correct such errors, I used the software Ariel Performance Analysis System (APAS) designed for evaluation using 2D kinematic analysis of human movement. To illustrate the use of this method, I recorded a video with four javelin throwers of the training group of Ladislav Všolák of the athletic club AO Havířov, of whom three were men and one woman. The probands were divided into age categories that corresponded to the length of their javelin throw training. The group included one beginner junior, two intermediate men, and one top-level woman. The analysis showed that the length of training of javelin throw techniques clearly affects the quality of their attempts. Another finding was automatization of technique errors caused by failing to remove them in the beginning.

Keywords: Javelin throw technique, javelin throw, release phase, release phase angles, 2D kinematics analysis, kinogram.

I agree with lending the thesis under library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením Doc. Paed. Dr. Františka Langer, CSc. a konzultantů Ladislava Všoláka a Mgr. Zdeňka Svobody, Ph.D., uvedla jsem všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala jsem zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. 4. 2015

.....

Děkuji Doc. Paed. Dr. Františku Langerovi, CSc., pracovníkům katedry sportu FTK UP v Olomouci, konzultantům Ladislavu Všolákovi a Mgr. Zdeňkovi Svobodovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytli při zpracování diplomové práce.

V Olomouci 30. 4. 2015

.....

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	PŘEHLED AKTUÁLNÍCH POZNATKŮ	9
2.1	Stručná historie hodu oštěpem	9
2.2	Charakteristika disciplíny hodu oštěpem	10
2.3	Technika hodu oštěpem	12
2.3.1	Držení oštěpu	12
2.3.2	Rozběh	13
2.3.3	Odhodové postavení	17
2.3.4	Odhod	17
2.3.5	Odhodový přeskok	18
2.4	Biomechanika disciplíny hodu oštěpem	18
2.4.1	Fáze odhodu	22
2.4.2	Vypuštění a let náčiní	25
2.5	Kinematická analýza pohybu člověka	26
2.5.1	Historické osobnosti kinematografické vyšetřovací metody	27
2.5.2	Kinematická analýza pohybu	27
2.6	Ariel Performance Analysis Systém (APAS)	41
3	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
3.1	Hlavní cíl	42
3.2	Dílčí cíle	42
4	METODIKA	43
4.1	Měřený soubor	43
4.2	Organizační zabezpečení	43
4.3	Přístroje	44
4.4	Vyhodnocovací metody	45

5	VÝSLEDKY	46
5.1	Vyhodnocení kinogramu oštěpaře (starší žactvo)	46
5.1.1	Analýza odhodové fáze	46
5.1.2	Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS	46
5.2	Vyhodnocení kinogramu oštěpaře (dospělí: TO1, TO2)	47
5.2.1	Analýza odhodové fáze TO1	47
5.2.2	Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS TO1	48
5.2.3	Analýza odhodové fáze TO2	48
5.2.4	Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS TO2	49
5.3	Vyhodnocení kinogramu oštěpařky (dospělí)	49
5.3.1	Analýza odhodové fáze	49
5.3.2	Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS	50
6	DISKUZE	51
7	ZÁVĚRY	55
8	SOUHRN	56
9	SUMMARY	57
10	REFERENČNÍ SEZNAM	58

1 ÚVOD

Technika disciplíny hod oštěpem je pro naučení velmi složitá. Vyžaduje synchronní pohyb odhodové paže, trupu a dolních končetin v průběhu celého rozběhu. Vše musí proběhnout v krátkém časovém úseku. Trenéři oštěpařů musí mít opravdu dobré znalosti o této disciplíně, aby mohli provést optimální korekci chyb při nácviku techniky u svých svěřenců. Diplomová práce se zabývá popisem techniky disciplíny hod oštěpem. Kromě charakteristiky vývoje techniky u této disciplíny se zabývám korekcí chyb za pomoci počítačové techniky.

Pro tento způsob korekcí jsem usoudila za neoptimálnější kinematickou vyšetřovací metodu 2D kinematickou analýzu založenou na analytické geometrii. Celý průběh vyhodnocování pomocí 2D kinematické analýzy může trenér plně využít v průběhu tréninkového procesu. V prvotní fázi této metody je vytyčování bodů segmentů ($n = 22$) pro zjištění souřadnic, kdy svěřenec může hrubě vidět pozice ruky či těla už u této fáze.

V první fázi metody trenér může už vizuálně svěřenci poukázat viditelné chyby v technice. Následné zhodnocení prozkoumá podrobněji možnou chybu pomocí výpočtům například úhlů odhodu a pozice náčiní v odhodové fázi.

Ke zpracování dat je použit počítačový program Ariel Performance Analysis System určený pro vyhodnocování pohybu na principu kinematické analýzy. Pomocí tohoto programu a nasnímaných dat jsou vyhodnoceny body na lidském těle. Jsou provedeny filtrace transformovaných bodů a jejich následně provedené analýzy úhlů v průběhu odhodové fáze rozběhu hodu oštěpem.

Výsledky zjištěné v diplomové práci poukázaly na praktičnost použití metody v rámci tréninkového procesu. Na základě získaných zkušeností s testováním 2D kinematickou videografickou metodou upřednostňuji využití v přípravném nebo předzávodním období, soustředění či těsně před nejdůležitějšími závody v sezóně jako je například mistrovství České republiky.

2 PŘEHLED AKTUÁLNÍCH POZNATKŮ

2.1 Stručná historie hodu oštěpem

Historicky je hod oštěpem druhou nejstarší doloženou disciplínou. Doklady o jeho výskytu nalezneme již na pravěkých jeskynních malbách, kde je vyobrazen při lovu zvěře a dobývání nového území.

Hod oštěpem se objevuje jako sportovní disciplína ve starém Řecku a Římě. V rámci vzniku olympijských her byl hod oštěpem zařazen jako samostatná závodní disciplína a od roku 708 př. n. l. se stal součástí pětiboje Pentathlonu.

V disciplíně hod oštěpem jsou doloženy dva způsoby závodu. Oštěpem se házelo na cíl a do dálky. Uvádí se, že závodníci házeli do vzdálenosti 48 m. V dalším vývoji lidské společnosti se objevuje oštěp už jako lovecký a bojový prostředek (Jirka & Popper, 1990).

Hod oštěpem je se sportem opět spojován až v druhé polovině devatenáctého století. Při závodech, kde se měřila vzdálenost, používali tehdejší závodníci dva způsoby techniky hodu oštěpem. Jednalo se o přímý nebo obloukový způsob hodu s úchopem za vinutí (tzv. „švédský způsob“). První záznamy hodu švédským způsobem dokládají výsledek hodu 35,81 m z roku 1886 (Folprecht, 1988).

Disciplína hod oštěpem se v plné míře objeví na novodobých IV. olympijských hrách v Londýně v roce 1908 a to uspořádáním dvou soutěží, v hodu volným způsobem nebo švédským způsobem. Vítězem obou závodů byl tehdejší sportovec Lemming s výkony 54,43 m (volný způsob) a 54,83 m (švédský způsob).

Od olympijských her v Londýně se technika hodu oštěpem podstatně změnila. V roce 1956 byla použita technika hodu oštěpem otočkou (*barra español*), která byla následně zakázána pravidly z důvodu bezpečnosti na stadiónu (Sheldon, 1940). Poté byla využívána technika s přenášením oštěpu těsně před odhodem a následovala technika s přenesením během dvou posledních kroků. K dalšímu zdokonalování techniky přispěli Finové, kteří využívali plynulejšího přechodu rozběhu a odhodu. Současná technika se od popisovaného provedení příliš neodlišuje.

Vrcholné výkony světových oštěpařů přesáhly díky novodobým technikám hranici 100 m (Uwe Hohn, NDR) a tudíž následovala úprava používaného náčiní. Došlo k posunutí těžiště oštěpu vpřed, což zapříčinilo snížení výkonů na úroveň 80–90 m. Posunutím těžiště oštěpu způsobilo, že v nejvyšším momentu letu oštěpu, se oštěp snáz skláněl hrotem k zemi. Docházelo nejen k menším výkonům, ale omezil se i počet špatných pokusů, kdy nebylo zcela jasné, zda hrot oštěpu se dotkl země dříve než zadní část oštěpu. Vše tedy mělo svůj význam i v rámci bezpečnosti, jelikož i samotný trávník na atletických stadiónech má délku okolo 100 m.

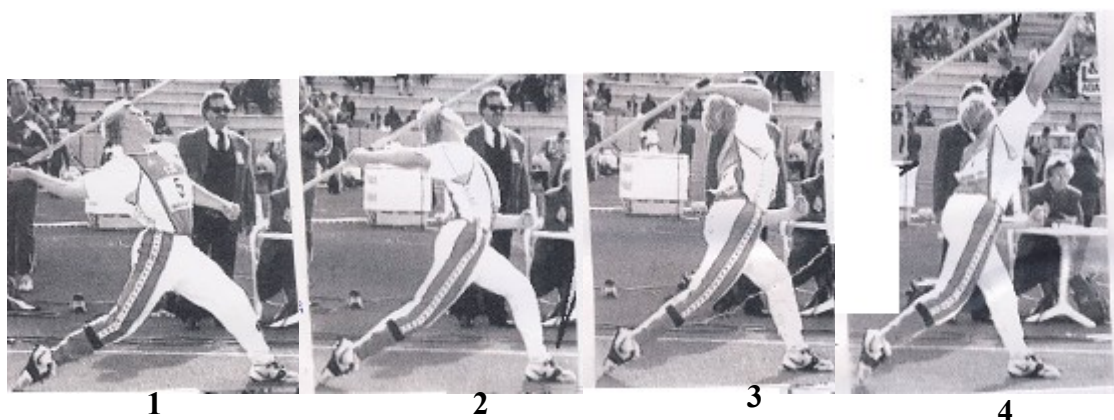
Současným světovým rekordmanem v hodu oštěpem je český reprezentant Jan Železný, jehož výkon s novým typem oštěpu dosahuje 98,64 m a opět se blíží k hranici 100 m. U žen se do historie hodu oštěpem významně zapsala Dana Zátopková výkonem 56,67 m, která vybojovala zlatou medaili na olympijských hrách v Melbourne v roce 1956. Další významnou osobností ve světě oštěpařů je bezesporu Barbora Špotáková, která je držitelkou aktuálního světového rekordu v hodu oštěpem výkonem 72,28 m (Prukner & Machová, 2012).

2.2 Charakteristika disciplíny hodu oštěpem

Hod oštěpem patří mezi rychlostně silové technicky nejnáročnější atletické disciplíny. Na rozdíl od jiných vrhačských disciplín se nevykonává z kruhu, ale z rozběžiště. Oštěpaři po dobu rozběhu uplatňují vysokou rychlost, proto náročnost hodu oštěpem spočívá ve správném technickém vykonání hodu ve velké rychlosti. Důležité je vykonání pohybů následujících v rychlém sledu za sebou, přičemž jsou rytmicky spojené do jednoho pohybového celku od začátku rozběhu až po odhod. Rusina (1987) charakterizuje správnou techniku při hodu oštěpem následovně:

- Zaujmutí optimálního odhodového postavení vyplývajícího
 - z předcházejících pohybů po celý rozběh,
 - z plynulého rytmického přechodu z rozběhu do odhodu,
 - ze zvládnutí švihu po nejdelší dráze v nejkratším čase,
 - ze zapojení potřebných svalových skupin do hodu.

Zvládnutí techniky hodu oštěpem závisí od rozvíjení pohybových schopností rychlostních, silových (výbušná síla), koordinačních a od kloubní pohyblivosti. Rozhodujícím předpokladem je švih paží. Kloubová pohyblivost je mnohem důležitější než u ostatních vrhačských disciplín. V hodu oštěpem je především potřebná pohyblivost v ramenním pletenci horní končetiny, ale i pohyblivost trupu, dolních končetin a pánve. Výhodou je vyšší tělesná výška a tělesná hmotnost, než šířka hrudníku a délka končetin (Čillík, 2013). Trenéři musí mít znalosti v anatomicko-fyzikální oblasti, antropomotoricko-biomechanické oblasti a také v psychologické oblasti, aby mohly podat svým svěřencům optimální korekci chyb při jejich nácviku techniky. V obrázku 1 je vzor korekce chyb a popis techniky zpracovaný podle Juillarda (1994), o který se budu opírat při korekci chyb techniky oštěpařů u vytvořených kinogramů.



Obrázek 1. Vzor korekce chyb a popis techniky oštěpaře (Juillard, 1994).

Popis:

- 1 *Odhodová fáze je důležitou aktivní etapou oštěpaře. Explosivní rotace trupu, rychlé přemístění ramen vlevo, vyvolává akceleraci pravé paže vzhůru a dopředu. Toto zrychlení je iniciátorem setrvačné síly v opačném směru, který vyvolává efekt přepětí svalů ramene a pomáhá k explozivnímu pohybu ramene i paže vzhůru a dopředu. V průběhu odhodové paže zůstává levá DK na pevném chodidle, aby byla solidní oporou pro celou levou DK. Převažující silou je síla dynamická.*
- 2 *Levá DK neprovádí žádný aktivní pohyb, nic méně její dynamický odpor vyvolává návín pravé paže a zkvalitňuje, optimalizuje polohu (úhel) oštěpu a jeho dráhy.*
- 3 *Oštěp opouští ruku při vertikální poloze stojné nohy. V tomto okamžiku je linie ramen (acromion levého a acromion pravého ramene) téměř vertikálně, rameno a paže pravé HK jsou nad levou DK.*

4 *Oštěp je doprovázen tělem vpřed až do přeskočků a je vymršťován z pravého ramene v nejvyšším bodu nad levou DK. Dojde-li k prodloužení působení síly na oštěp za hranici vertikály nebo ke snížení celkového těžiště těla dojde ke ztrátě výkonu:*

a. ke ztrátě optimálního úhlu (dráhy letu) vzletu oštěpu,

b. k nízké dráze letu oštěpu.

Podle Čillíka (2013) závisí výkon v hodu oštěpem:

- na rychlosti oštěpu v momentu jeho vypuštění,
- na úhlu odhodu,
- na úhlu náběhu,
- na rychlosti a směru větru po dobu letu oštěpu.

2.3 Technika hodu oštěpem

Tentýž autor rozděluje techniku hodu oštěpem na následovné části:

- držení oštěpu,
- rozběh,
- odhodové postavení,
- odhod,
- přeskok po odhodu.

2.3.1 Držení oštěpu

Prukner & Machová (2012) rozlišují tři typy držení oštěpu:

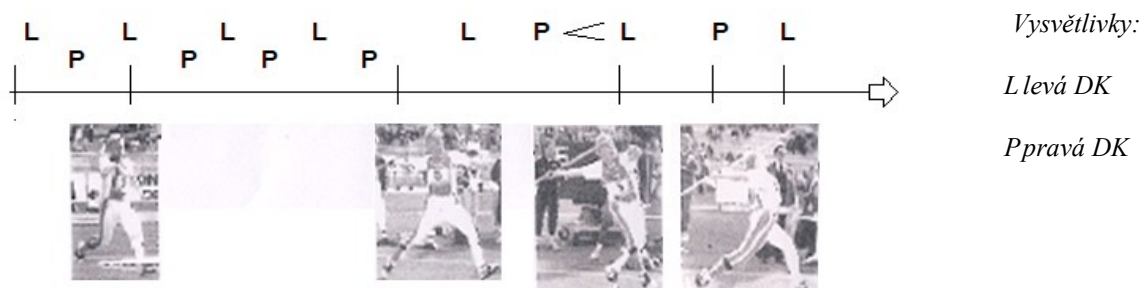
- vidlicovité držení – držení vázání mezi prostředníčkem a ukazováčkem;
- finské držení (Jarvinenovo) – držení mezi palcem a prostředníčkem, nejčastější držení;
- americký styl – držení mezi palcem a ukazováčkem.

Finské držení vinutí leží šikmo v celé dlani tak, že vychází z dlaně žlábkem u zápěstí. Prsty obemykají oštěp, přičemž palec a prostředníček se opírají o zadní konec vinutí,

2.3.2 Rozběh

Rozběh je obvykle označen dvěma značkami, výběhovou (20–22 m) na začátku rozběhu (Šimon, 2004) a náprahovou (7–12 m), která označuje začátek přenášení vzad.

Rychlost rozběhu v jeho závěrečné fázi se pohybuje u mužů v rozmezí 6–8 m.s⁻¹. Rozběhová rychlost u žen je nižší. Rozběh se plynule zrychluje od výběhové k náprahové značce. S rostoucí rychlostí se mění délka a frekvence kroků. Oštěpař dosahuje zpravidla *optimální rychlosti* přibližně dva kroky před náprahovou značkou. V následujících fázích hodu se snaží rychlost udržet, popř. ji ještě vystupňovat. Na úroveň značky označující zahájení náprahu došlapuje buď levou, nebo pravou nohou a velmi často je začátek náprahu signalizován i zdůrazněným odrazem na této značce. Odraz se pak počítá jako první doba vícedobého rytmu odhodových kroků. Dokrok za značkou ve směru běhu je druhou dobou. Jako poslední se do rytmu započítává došlap levé nebo pravé nohy před tělem oštěpaře do odhodového postavení (odhodový krok).



Obrázek 2. Znáznornění uzlového bodu v hodu oštěpem-impulsní krok (upraveno podle Juillarda, 1994).

Rytmus rozběhových a odhodových činností je charakteristickým znakem i důležitým srovnávacím ukazatelem technické varianty hodu. Je dán počtem kroků s proměnami jejich délek a rychlosti. Časové diferenciaci v rytmizaci jsou významným kontrolním ukazatelem optimální techniky. Rytmus předodhodových kroků a odhodového kroku v provedení špičkového oštěpaře se vyznačuje stabilními délkami a rychlosti kroků.

Mezi oštěpaři a oštěpařkami existují v časování odhodových kroků jisté diferenciaci. U zástupců oštěpařských škol stejného státu se projevují velmi příbuzné technické charakteristiky, respektive varianty řešení (Šimon, 2004).

V náprahové části rozlišujeme tři typy rytmu kroků, o kterých se zmiňují ve svých publikacích jak Prukner & Machová (2012), tak Šimon (2004):

- *Pětidobý rytmus* (Prukner & Machová, 2012; Šimon, 2004) předodhodových kroků od náprahové značky je technicky nejjednodušší. S odrazem z levé (pravé) nohy se odhodová paže s oštěpem lehce vykývne vpřed, s výkrokem pravé (levé) nohy začíná náprah (*1. doba*) – odraz z pravé (levé) nohy do druhého kroku (*2. doba*), s došlapem levé (pravé) nohy je ukončen náprah a druhý krok – odraz z levé (pravé) nohy do impulsního kroku (*3. doba*), impulsní krok je v pořadí třetí krok zakončený dokrokem pravé (levé) nohy (*4. doba*) – došlap levé (pravé) nohy oštěpaře před tělo u břevna (*5. doba*), zaujetí dvojí opory v odhodovém postavení je čtvrtý krok.
- *Šestidobý rytmus* (Šimon, 2004) v minulosti uplatňovali někteří úspěšní oštěpaři z bývalé NDR. Řada německých a dalších oštěpařů aplikuje tuto variantu hodu dodnes. Výrazná rytmizace předodhodových kroků začíná zrychleným dokrokem pravé (levé) nohy na značku. Následný intenzivní odraz z této nohy (*1. doba*) je spojen s lehkým vykývnutím odhodové paže vpřed – krok levou (pravou) nohou vpřed je náprahovým krokem a u této varianty je nejdelší – odraz z levé (pravé) nohy do druhého kroku (*2. doba*), odraz z pravé (levé) nohy do třetího kroku s výkrokem levé (pravé) nohy (*3. doba*), oba kroky jsou kratší – silný odraz z levé (pravé) nohy do impulsního kroku (*4. doba*), tento čtvrtý krok je ukončen došlapem pravé (levé) nohy (*5. doba*), impulsní krok je

zde druhým nejdelším krokem – došlapem levé (pravé) nohy do opory před tělem vrhače (6. doba) je ukončeno zaujetím odhodového postavení (pátý krok, odhodový).

- *Sedmidobý rytmus* (Šimon, 2004) přinesl úspěchy maďarským a finským oštěpařům. Větší počet předodhodových kroků s výraznou rytmizací klade značné nároky na odrazovou sílu a rytmizační schopnosti vrhače. Na druhé straně ale umožňuje lepší koncentraci na finální odhodovou činnost.

Obrázek 3 znázorňuje komplexní impulsní krok a zaujetí výchozí pozice pro závěr odhodové fáze. Celá dominantní DK se pohybuje vpřed, zatímco celkové těžiště oštěpaře a horní polovina těla brzdí pohyb dopředu, jenž zůstává v původní poloze. Přemístění neboli předběhnutí segmentů DK je nazýváno zkřížným krokem (impulsním krokem).



Obrázek 3. Optimální provedení fáze impulsního kroku (Juillard, 1994).

V průběhu impulsního kroku se horní část těla pohybuje zcela přirozeně → hlava (pohled) směřuje do směru pohybu, podélná osa oštěpu zachovává vůči zemi stejný úhel vzletu, hrot se nachází přibližně u pravého oka, hrudník (osa ramen) zůstává paralelně v ose směru pohybu.

V druhé fázi je hmotnost (zatížení tělem) soustředěna na levou DK. Pravé rameno je níže než levé bez snížení ruky držící oštěp za hlavou. Levá strana pánve a zároveň levá paže mají tendenci se zvedat vpřed a vzhůru. Pravé rameno a paže jsou uvolněně nataženy co nejdále dozadu za hlavou.

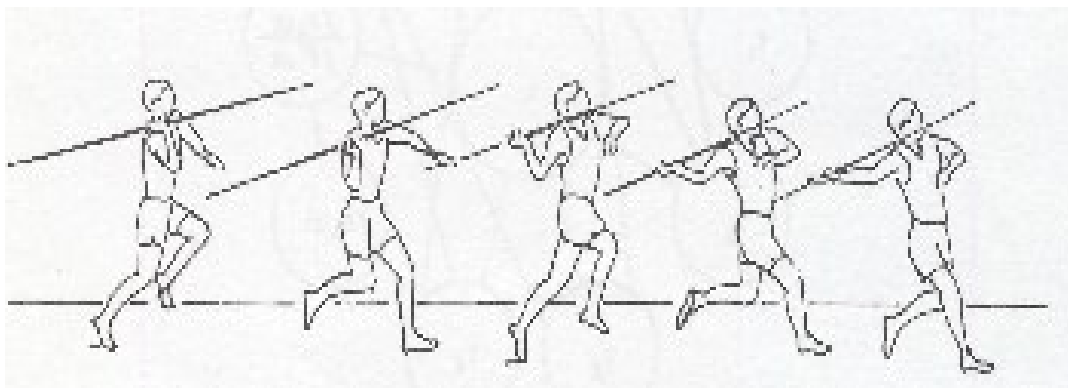
V třetí fázi je osa těla posunuta dozadu za vertikálu. Pohled oštěpaře, rovina ramen a oštěp se přirozeně v návaznosti jednoho na druhé (mezi sebou) zachovají směr rozběhu. Oštěpaři vyšší úrovně se soustředí především na tento prvek, protože:

- zvyšuje napětí svalstva stehna, které umožňuje rychlejší přesunutí levé DK dopředu.
- dlouhý krok dává čas k přesunutí levé nohy.
- pomáhá uspořádat optimálně všechny segmenty (hlava, ramena, paže atd.) pro závěrečnou polohu a následné vymrštění oštěpu při odhodu.

Nápřah a přechod do odhodového postavení je přípravou k hodů. Začíná dokrokem na náprahovou značku a je určena změnou polohy oštěpu (přenášením), změnou rytmu běhu, změnou postavením těla, které zaujímá nejvýhodnější pozici a výrazně stupňovanou rychlostí rozběhových kroků. Celá fáze spolu s odhodem vychází do pěti kroků, proto používáme v technice hodů oštěpem termín pětikrokový nebo pětidobý rytmus (Obrázek 4).

Přenášení oštěpu se provádí většinou vrchním nápřahem, méně spodním. Při nápřahu sportovce praváka začíná přenášení vrchním obloukem tak, že po dokroku levou nohou na značku zůstane oštěp zdánlivě na místě a oštěpař ho následujícími dvěma kroky předběhne. Oštěpař se nesmí vychýlit do stran, ani zvednout. Krok pravou nohou je proveden rychleji, často skokem a je signálem pro změnu rytmu běhu. Třetím krokem levou nohou je dokončen nápřah paže, osa ramen je otočena do směru hodů. Pánev zůstává ve směru hodů. Čtvrtý krok (impulsní, zkřížený) je vlastně přeskokem a je proveden ještě rychleji než předchozí kroky a obě nohy tak předbíhají trup. Pátým krokem je dokrok na levou nohu, která působí jako blok.

Langer (2007) tvrdí, že je nezbytné pro účinnou práci ve fázi opory, která klade důraz na spojení oštěpaře s podložkou, jsou *speciální kotníkové tretry*. Tretry jsou vyrobené z měkké kůže nebo z nylonu, opatřené hřeby na špičkách i patách a významně napomáhají pevnému odhodovému postavení.



Obrázek 4. Náprahový pohyb paže (Šimon, 2004).

2.3.3 *Odhodové postavení*

Podle Čillíka (2013) k zaujetí odhodového postavení dochází při dopadu po zkřížném kroku. Pravá (levá) dolní končetina (DK) je při došlapu pokrčená, ale začíná se narovnávat. Časový interval mezi dokročením pravé (levé) nohy a levé (pravé) nohy musí být co nejkratší a ve značné míře rozhoduje o kvalitě závěrečné části hodu. Ještě před dopadem levé (pravé) nohy pokračuje plynulý pohyb těla vpřed po došlap pravé (levé) nohy. Po přechodu těla po celou dobu opory na pravé (levé) DK dochází k jejímu napnutí se současným vytlačením pravého (levého) boku pánve vpřed. Velmi důležitá je aktivní práce pravé (levé) nohy při vchodu do dvouoporového postavení. Chodidlo levé (pravé) nohy došlapuje na šířku 1–2 stop vlevo (vpravo) od pravé (levé) nohy a je vytočené mírně dovnitř nebo do směru hodu. Zapřením levé (pravé) nohy je zabezpečena fixace levé (pravé) strany oštěpařova těla. Levá (pravá) noha až do opuštění oštěpu má funkci opory oštěpařského luku, potom se zdvihá celé tělo.

V odhodovém postavení levá (pravá) paže je v loktu pokrčená a tlačí lopatky k sobě. Pravá (levá) paže drží oštěp v přímém směru, pod příslušným úhlem a co nejvíce vzadu. Pro správné zaujetí odhodového postavení má vliv také vykonání zkřížného kroku a předběhnutí oštěpu, které rozhoduje o délce posledního kroku.

2.3.4 *Odhod*

Odhod začíná už před dokrokem levé (pravé) nohy vytáčením pravé (levé) nohy do směru hodu a vytlačením pravého (levého) boku pánve vpřed. Bezprostředně po došlapu na levou (pravou) nohu je dokončené dopnutí pravé (levé) nohy. Při pevném postavení levé

(pravé) nohy se levá (pravá) strana oštěpařova těla relativně zastavuje. Naopak pohyb pravé (levé) strany směrem dopředu se urychlí. Ukončením dopnutí pravé (levé) nohy je pravý (levý) bok vytlačen vpřed. Trup se také dotáčí do směru hodu a celé tělo vytvoří pružný oštěpařský luk, ve kterém je hrudník mohutně přetlačený vpřed. Levá (pravá) noha je oporou pro luk, přičemž nesmí povolit, pokud probíhá odhod. Pravá (levá) ruka z maximálního náprahu je stále tažena trupem. Ohýbá se v loketním kloubu a ruka s oštěpem se pohybuje téměř v přímce, která určuje s vodorovnou rovinou úhel odhodu. *Optimální úhel vzletu* uvádí Kampmiller (1996) okolo 35–45°. *Úhel prodloužené osy oštěpu* by měl být totožný s úhlem jeho vzletu. Nepatrné odchylky určuje směr a síla větru (Čillík, 2013).

2.3.5 Odhodový přeskok

Celková energie získaná rozběhem a prací pravé (levé) nohy přenáší oštěpaře přes levou (pravou) nohu dále vpřed, neboť hybnost těla není vzhledem k malé hmotnosti náčiní celkem vyčerpaná. Pohyb přepadajícího těla vpřed je zabrzděný přeskokem na pravou (levou) nohu. Nejvýhodnější došlap levé (pravé) nohy v odhodovém postavení je 2–2,5 m od odhodové čáry (Čillík, 2013).

2.4 Biomechanika disciplíny hodu oštěpem

Délka doletu náčiní v atletických hodech určuje hodnotu sportovního výkonu. Svalová síla je příčinou pohybu systému vrhač náčiní. Rychlost, s jakou se náčiní pohybuje při odhodu, je přímo závislá na velikosti svalové síly vrhače a na míře jejího využití při odhodu. Nejvyšší hodnoty rychlosti vzletu náčiní, optimální úhel jeho vzletu a výška (místo) vypuštění náčiní jsou určujícími podmínkami pro nejdelší let náčiní.

Při výpočtu délky letu náčiní (L) jsou uvažovány fyzikální veličiny:

- rychlost vzletu náčiní,
- výška vzletu náčiní,
- úhel vypuštění (vzletu) náčiní,
- tíhové zrychlení,
- síla odporu vzduchu.

$$L = h_0 + \frac{v_0^2 \times \sin^2 \alpha_0}{g} \times K \quad (1)$$

Vysvětlivky:

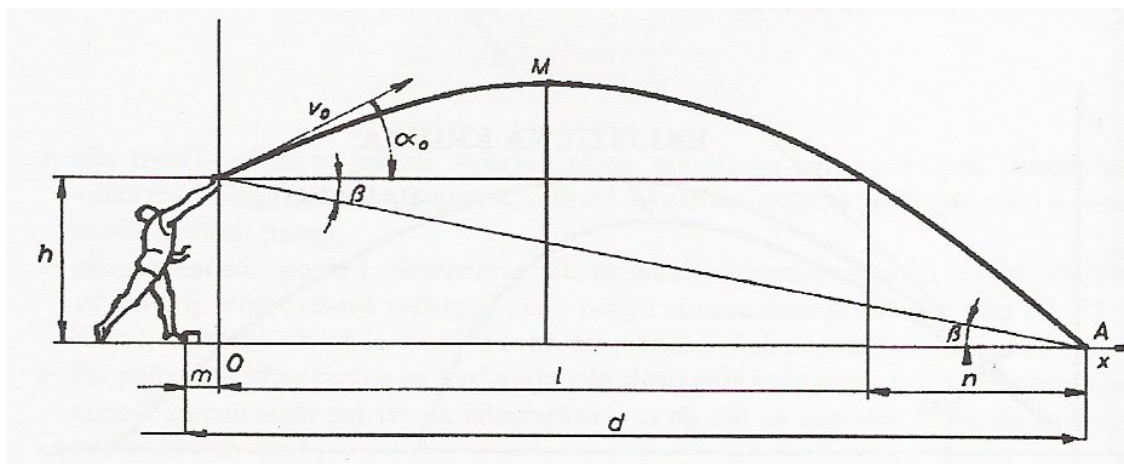
L	<i>délka letu náčiní (oštěpu)</i>
v_0	<i>rychlost vzletu</i>
h_0	<i>výška vzletu</i>
α_0	<i>úhel vzletu</i>
g	<i>tíhové zrychlení</i>
K	<i>síla odporu vzduchu</i>

Z matematického vztahu (1) vyplývá, že rychlost vzletu náčiní (v_0) nejvíce ovlivňuje vzdálenost jeho doletu. Jinými slovy je délka doletu náčiní úměrná druhé mocnině jeho počáteční rychlosti.

Pozn. Vložíme-li do vzorce 1 konkrétní hodnoty, vypočítáme teoretickou délku doletu náčiní (bez vlivu odporu vzduchu). Dosadíme-li při stejných parametrech dvojnásobek původní hodnoty rychlosti, délka doletu náčiní se prodlouží 4x.

Z tohoto důvodu musí být všechny odhodové pohyby vrhače zaměřeny na cíl dosáhnout co možná nejvyšší rychlosti pohybu náčiní při jeho vypuštění. Vysoká odhodová rychlost je navíc předpokladem, že při vypuštění náčiní pod optimálním úhlem mohou být využity síly odporu vzduchu k prodloužení doletu díky plachtícím vlastnostem náčiní.

Úhel vypuštění (vzletu) náčiní (α_0), daný horizontálou v úrovni těžiště náčiní a tečnou k dráze letu, je v pořadí druhý faktor ovlivňující vzdálenost doletu náčiní. Pro trenéry je podstatným ukazatelem úhlu vypuštění postavení odhodové ruky s oštěpem vůči horizontále roviny rozběhu (Obrázek 5).



Obrázek 5. Úhel vzletu (α_0) při znázornění šikmého vrhu (Nosek, 2014; Kovařík a Langer, 1985).

Možnost pro zvýšení výkonu v hodech na úkor tohoto úhlu je omezena optimální polohou náčiní při vypuštění. S ohledem na rozdílnost náčiní pro jednotlivé věkové kategorie disciplíny co do jeho rozměru a hmotnosti existuje rozmezí optimálního úhlu vzletu náčiní. Odklon od tohoto rozmezí na kteroukoliv stranu může způsobit zkrácení doletu náčiní.

Vliv třetího faktoru – *výšky (místa) vypuštění (h_0)* je také omezený. Proto je optimální postava oštěpaře brána okolo 170-185 cm. Jak vyplývá z rozborů techniky soutěžních pokusů u stejného vrhače, je místo vypuštění náčiní dosti stálé a blízké optimální hodnotě.

Tíhové zrychlení (g) $9,81 \text{ m.s}^{-2}$, které je ve výše uvedeném výrazu, je uvažováno jako daná konstanta.

Kinetická energie získaná během rozběhu je dočasně akumulována ve svalech prostřednictvím svalového předpětí jako energie potenciální. Po náhlém odbrzdění předpětí je tato energie opět uvolněna jako kinetická. Veškerá rychlost a energie vytvořená oštěpařem v průběhu rozběhu plynule přechází po odhodu do samotného pohybu náčiní a ovlivní jeho letovou fázi.

U vrhačských disciplín s přímým (posuvným) směrem pohybu systému vrhač náčiní je kinetická energie z mechanického hlediska vysvětlena vzorcem:

$$E_{kin} = \sqrt{m \times v^2} \quad (2)$$

Vysvětlivky

E_{kin} *kinetická energie*

m *hmotnost systému vrhač-náčiní*

v *rychlost*

Jak ze vzorce (2) vyplývá, je kinetická energie systému vrhač náčiní závislá především na rychlosti jeho pohybu. Ve vzorci je rychlost uvedena s druhou mocninou.

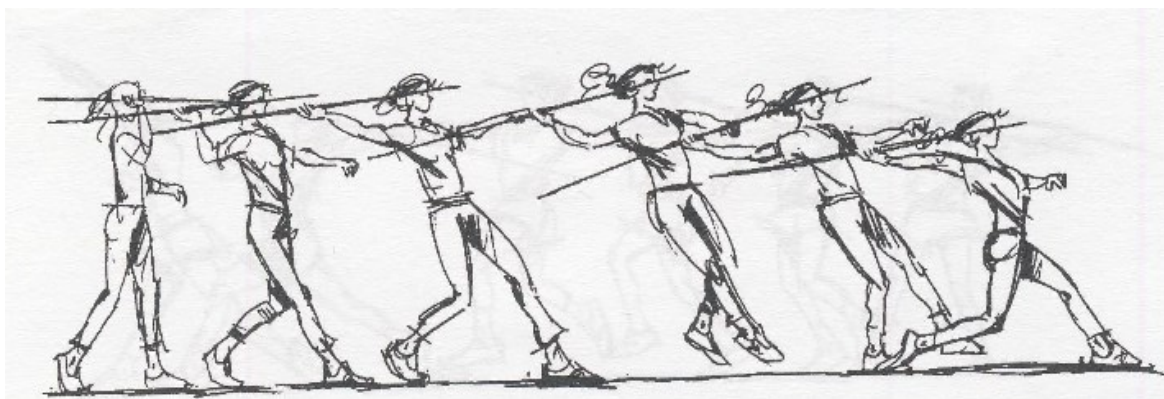
Při hodu oštěpem z rozběhu jde o pohyb posuvný v přímém směru. Rychlost pohybu roste až do konce rozběhových pohybů. Hybnost systému vrhač náčiní (vztah hmotnost x rychlost) roste s nárůstem rychlosti pohybu.

Při hodu oštěpem není využita značná část kinetické energie v důsledku lomu dráhy náčiní při přechodu vrhače do odhodové fáze. Proto oštěpař musí dbát na to, aby tzv. „převodový úhel“ byl co nejpříznivější. Úhel je přitom dán tečnami k dráze celkového těžiště těla vrhače nebo těžiště náčiní před a po zaujetí odhodového postavení. Jako vhodný převodový úhel se uvádí úhel 140°. Přesto ale i při této úhlové hodnotě dochází k nevyužití kinetické energie systému >20 %.

Důležitým znakem „rozběhové činnosti“ u vyspělých oštěpařů je stabilní a více či méně výrazný rytmus. Rytmus představuje časově dynamické členění rozběhových pohybů vrhače. S ním bezprostředně souvisejí fyzikální a biomechanické podmínky odhodové fáze. V hodu oštěpem je rytmus dán počtem kroků s proměnami jejich délek a rychlosti.

Časování rozběhových kroků je zde ovlivněno kroky v době náprahu, tj. v čase přenášení oštěpu co nejdále za tělo oštěpaře a impulsním krokem. Zpravidla je náprahový krok spojený s náprahovým pohybem delší. Obvykle je nejdelší tzv. „impulsní krok“, který je spojovacím článkem mezi rozběhem a odhodovou fází.

U impulsního kroku (IK), je úhel podélné osy dolní končetiny v momentu kontaktu se zemí vzhledem k povrchu v rozmezí 55–65 °. U odhodového kroku (OK) je velikost úhlu v rozmezí 75–85° (Juillard, 1994).



Obrázek 6. Náprah s oštěpem, impulsní krok a odhodové postavení (upraveno podle Šimona, 2004).

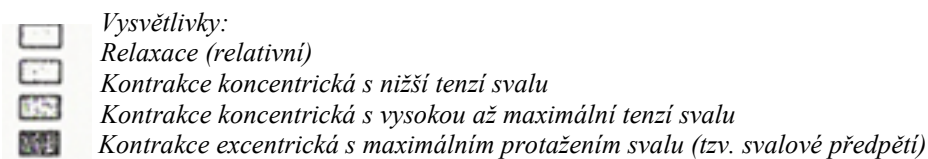
U zástupců různých škol techniky se právě v pohybovém rytmu projevují příbuzné znaky technického řešení (Šimon, 2004).

2.4.1 Fáze odhodu

Přechod od rozběhu k vlastnímu hodu je koordinačně nejsložitější. Čím vyšší je rozběhová rychlost vrhače, tím je přechod složitější.

Impulsní krok v hodu oštěpem má charakter zrychleného, velmi dynamického přeskoku do odhodového postavení. Tato činnost oštěpaři zajistí předběhnutí DK před trup a paže s náčiním se tím dostane do závěsu. Během přechodu do odhodové fáze nesmí dojít k přerušení pohybu, protože poté dochází ke ztrátě rozběhové rychlosti. Ve všech vrhačských disciplínách má fáze odhodu hlavní podíl na přírůstku rychlosti pohybu náčiní. V okamžiku, kdy oštěpař zaujme odhodové postavení, se náhle zbrzdí systém vrhač náčiní. Pohybová energie se velmi rychle přenáší z nohou na trup a dále na odhodovou paži. Výsledkem je výrazné vystupňování rychlosti odhodového pohybu.

Během odhodových pohybů jsou patrné dvě fáze zrychlení. V důsledku zbrzdění velké hmoty spodních segmentů těla dochází k nadsazení trupu. Hovoříme o fázi „napínání luku“.



Obrázek 7. Fáze napínání oštěpařského luku (Nosek, 2014).

Zbrzděním se hybnost rozběhu přenáší na lehčí segmenty těla a tím dochází k prvnímu výraznému zrychlení. S předsazením lokte začíná fáze spuštění oštěpařského luku.

Druhým zrychlením vrcholí odhodová činnost oštěpaře. Prudce se zrychluje pohyb distálních segmentů, které na oštěp bezprostředně působí. Jednotlivé realizované akční síly – počínaje dolními končetinami, dále trupem a nakonec předloktím, musí být nasazeny časově a dynamicky správně.

Pozn. Někteří trenéři se dopouštějí vážné didaktické chyby tím, že nesprávně popisují průběh napínání luku. Vycházejí z chybného předpokladu, že napínání luku začíná náponem dolní končetiny, kterou se vrhač opírá o zem vzadu za tělem. Předpokládají přitom, že v důsledku tohoto náponu je protlačena pánev vpřed ve směru hodu a trup se napne do tvaru luku.

Chybný popis svědčí o nepochopení biomechanického základu této nejdůležitější fáze hodu. Základem účinného lukovitého napnutí těla je blokující (brzdící) činnost dolní končetiny zapřené pevně o zem před tělem. V místě jejího zapření (opory) je začátek napínání luku vrhačova těla. Svaly a vazy této končetiny (u vrhače praváka to je levá dolní končetina) jsou vystaveny velké zátěži. Luk je napínán (excentrická kontrakce) od zapřené nohy vzhůru napříč trupem, dále přes rameno, házející paži k místu úchopu. V rychlém sledu jsou

především napínány břišní a prsní svaly, svaly ramene a házející paže. Krajními body luku těla jsou tedy chodidlo zapřené nohy vpředu před tělem a ruka držící náčiní. K nejvyššímu svalovému napětí dochází v oblasti pletence ramenního. S využitím reflexu silně protažených svalů následuje jejich náhlé odbrzdění. Fáze spuštění luku je důsledkem mohutné koncentrické kontrakce svalů trupu, především svalů pletence ramenního házející paže (Obrázek 7).

Z čistě mechanického hlediska lze vysvětlit závislost rychlosti pohybu náčiní druhým Newtonovým pohybovým zákonem.

$$\Delta v = F \times \Delta t \times m^{-1} \quad (3)$$

Vysvětlivky

Δv	<i>změna rychlosti pohybu náčiní</i>
F	<i>síla, kterou vrhač působí na náčiní</i>
Δt	<i>časový interval</i>
m	<i>hmotnost náčiní</i>

Zrychlující síla je tedy rozhodujícím „hnacím motorem“ sportovního výkonu v hodech. Z matematického výrazu (3) vyplývá, že rychlost pohybu náčiní (tělesa) je přímo úměrná síle a době, po kterou síla oštěpaře působí na náčiní. Při aplikaci tohoto mechanického principu na pohybovou činnost oštěpaře během vlastního hodu je nutné působit na náčiní během odhodu co možno největší silou po optimální dobu a účelným směrem.

Aby oštěpař zmiňovaným požadavkům vyhověl, musí splnit následující podmínky:

1. Působit svou silou na náčiní po optimálně dlouhé dráze a tím dosáhnout jeho zrychlení. Prodlužování dráhy je ale účinné jen tak dlouho, pokud je zajištěn aktivní přenos síly na náčiní.
2. Využití svalového přepětí pro zvýšení účinků síly.
3. Správně koordinovat zapojení všech částí těla do odhodu.

Výchozí poloha pro zahájení vlastní odhodové činnosti je charakterizována optimálním odklonem od směru hodu. Trup je pootočen stranou ve směru náprahu paže a více či méně

„zkroucen“ v opačném směru, než poletí náčiní. Důležité je, aby náčiní bylo před začátkem konečného úsilí co nejdále vzadu od předpokládaného bodu vzletu náčiní.

Po pružném doskoku do opory (u praváka na pravé chodidlo) na začátku odhodového postoje zůstává dolní končetina optimálně pokrčená v kolenním kloubu. Tím jsou vytvořeny dobré podmínky pro prodloužení dráhy, po kterou bude síla působit na pohybový systém vrhač náčiní. Rozmístění chodidel v odhodovém postoji má rovněž určitý význam pro zvětšení dráhy působení síly na náčiní.

Svalová činnost oštěpaře v odhodové fázi je přirovnávána k mechanismu činnosti soustavy tří pružin, které se smršťují a vymršťují. Jsou to: zdvihová pružina nohou, zajišťující jednak energetický zdvih, jednak natažení dalších pružin, spirálové pružiny ovládané svalstvem trupu a nohou a prakovité pružiny trupu a nohou (Šimon, 2004).

2.4.2 Vypuštění a let náčiní

Výška místa vypuštění náčiní se liší u jednotlivých disciplín ve vztahu k tělesné výšce sportovce. V hodu oštěpem je toto místo přibližně na úrovni vzpažené paže sportovce.

V hodech je optimální úhel vypuštění náčiní vždy nižší než 45° . Při výpočtu délky doletu libovolného tělesa v již klasickém příkladu ze školní fyziky (nebere se v úvahu odpor vzduchu) se udává jako optimální hodnota úhlu vypuštění 45° . To, že v hodech je hodnota úhlu nižší, je dáno rozdílem mezi výškou vypuštění a místem dopadu náčiní. Rozdíl se pohybuje v rozmezí od 160 do 200 cm i více. Výška vypuštění náčiní závisí na tělesné výšce sportovce a na technické variantě disciplíny. Důležitá je také skutečnost, že pod menším úhlem než 45° jsou příznivější podmínky pro práci hlavních svalových skupin na hodu. Oštěpař je schopen vyvinout v horizontálním směru větší sílu, a tím i rychlost pohybu náčiní, než ve směru vertikálním.

Od okamžiku vypuštění, podléhá náčiní odporu vzduchu. Proto je nutné správně oštěp do vzduchu položit. Dále je nutné, aby úhel odhodu byl shodný s úhlem položení. Poloha oštěpu v okamžiku jeho vypuštění je tedy důležitá pro celkový výsledek hodu a nelze ji zanedbávat.

Oštěp se vyznačuje dobrými aerodynamickými vlastnostmi. V obou případech náčiní vymrštěné vysokou rychlostí (při špičkových výkonech v mužské kategorii $30\text{--}33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) je

vystaveno značnému vlivu zdvihové síly vzdušného prostředí, což přináší plachtící efekt. Správné vypuštění náčiní s ohledem na jeho tvar, letové vlastnosti a konkrétní povětrnostní podmínky závodu patří k nejdůležitějším dovednostem oštěpaře.

Poloha oštěpu při vypuštění musí být v souladu s trajektorií letu. Příliš velký náklon oštěpu proti trajektorii letu má za následek, že plocha příčného řezu oštěpu bude narážet na vzdušný proud mnohem více, než při úhlu sklonu souhlasném s trajektorií. Zvětšením síly vzdušného odporu se sníží délka letu náčiní. Náčiní vypuštěné pod optimálním úhlem letí téměř po ideální balistické křivce. Plachtící vlastnosti oštěpu se uplatňují zvláště na sestupné dráze letu. Při hodu proti větru se optimální úhel zmenšuje podle míry zvětšení síly větru, ale jen do určité míry. Při hodech s větrem do zad se úhel přiměřeně zvětší.

Ve všech disciplínách se náčiní po závěrečném impulsu během letu otáčí. Zvláštní význam má rotace kolem podélné osy při hodu oštěpem. Rotace oštěpu má jednak stabilizující vliv na polohu náčiní, jednak zvyšuje plochu čelního odporu tím, že se rotující oštěp prohýbá zvláště v počáteční fázi letu (Šimon, 2004).

2.5 Kinematická analýza pohybu člověka

Období, ve kterém jsou pro analýzu lidské motoriky využívány kinematografické přístroje a videotechnika, je relativně krátké. Jedná se o speciální zaměření na oblast optiky.

U analýzy (v první fázi spíše sledování) lidské motoriky nesmíme opomenout umělecká díla, zobrazující pohyb člověka při různých činnostech. Tvůrci těchto děl se zaměřovali především na zachycení loveckých a bojových scén nebo aktivit, které měli vztah k náboženským obřadům.

Objektivní informace o sledované pohybové činnosti lze získat až při použití záznamového média (fotografický papír, film, videokazeta), které umožní dlouhodobé uchování záznamu s možností opakovaného použití při jeho studiu. Dnes nejdůležitějšími přístroji pro záznam pohybu jsou videokamery.

Všechny postupy, které při výzkumu pohybových činností využívají snímání videokamerou, jsou zahrnovány pod společný název fotogrammetrie. Materiály Americké společnosti pro fotogrammetrii definují tento obor jako „...umění, vědu a technologie pro získání informací o fyzických objektech a zařízeních v procesu záznamu, měření a interpretace

fotografických obrazů a modelů, zaznačených pomocí elektromagnetických a dalších zdrojů“ (Janura, 2004).

2.5.1 Historické osobnosti kinematografické vyšetřovací metody

G. Frisius (1508–1555) v roce 1553 sestrojil funkční kameru obscuru.

E. Muybridge (1830–1905) v roce 1877 zkonstruoval zoopraxiskop, který umožňuje zaznamenat fázované obrázky podobné filmu. 19. 10. 1878 byla publikována sekvence koně v pohybu.

J. E. Marey (1830–1904) v roce 1882 sestrojil „fusilphotographique“ pro záznam 12 obrázků na rotační disk. Později vytvořil postup pro záznam pohybu nazývaný chronofotografie.

T. A. Edison (1847–1931), v roce 1889 nechal patentovat přístroj *kinetoskop*, který pro záznam používal 158 skleněných desek (Janura, 2004).

2.5.2 Kinematická analýza pohybu

Analýzu pohybové činnosti můžeme provádět na několika úrovních, které jsou podmíněny cílem analýzy a technickými podmínkami pracoviště.

Při *kvalitativní analýze* popisujeme a hodnotíme pohyb (slovně, písemně) bez měření konkrétních fyzikálních veličin. V tomto případě záleží zejména na odborné úrovni posuzovatele, na jeho zkušenostech a znalostech o sledovaném pohybu. Menší nároky jsou kladeny na technické a přístrojové zabezpečení. Typickým příkladem tohoto způsobu hodnocení je vizuální posouzení reálného pohybu nebo jeho záznamu a výsledky analýzy jsou často jedinou informací o dané činnosti. Popisovaný postup však neumožňuje přesně určit (kvalifikovat) velikosti výstupních veličin.

Kinematická *kvantitativní vyšetřovací metoda* umožňuje získat úplných údajů o průběhu pohybové činnosti. Přesností záznamů se zabývala řada autorů (např. Janura, 1996, Adamec a Novotný, 1998), kteří vesměs uvádějí, že při použití kvalitních záznamových přístrojů může specialista získat informace splňující kritéria v oblastech variability, stability i objektivity. Proces zmiňovaného záznamu, resp. jeho zpracování je časově náročný.

Rozdělení kvantitativních metod v biomechanice vychází z charakteru měřené veličiny. Jestliže je měřeným parametrem síla, nazýváme tyto metody dynamické. V případě, že

sledujeme pohyb bez ohledu na příčiny (síly), které jej způsobují, pohybujeme se v oblasti metod kinematických. Ze základních parametrů – dráha, úhel – a jejich závislosti na čase můžeme odvodit další veličiny pomocí derivování.

Použití obou uváděných metod je komplikováno několika činiteli. Nicméně, pro kinematickou analýzu pomocí videozáznamu stačí většinou pořídit nejvhodnější software. Vyhodnocování videozáznamů však vyžaduje při zpracování velkého množství dat mnoho úkonů a celý proces je časově náročný.

Mezi kinematické metody patří:

1. *Goniometrie (elektrogoniometrie)* – slouží k měření relativní rotace v daném kloubu. Pomocí goniometru, jehož ramena jsou připojena na sousední segmenty (průsečík ramen je ve středu otáčení daného kloubu), lze měřit velikost úhlových změn kolem jedné, dvou nebo tří os. Tímto postupem je tedy určována změna vzájemné polohy segmentů v rovině nebo v prostoru.
2. *Akcelerometrie* – umožňuje měření zrychlení pomocí akcelerometrů. Ty pracují na principu určení odchylek způsobených pohybem hmotného tělesa (umístěné v akcelerometru) při zrychlení segmentu. Tyto změny jsou převáděny a měřeny (např. piezoelektricky) pomocí elektrického výstupního signálu. Podle počtu akcelerometrů je možné měřit zrychlení v jedné ose, v rovině nebo v prostoru. Třidimenzionální zrychlení lze určit pomocí tří akcelerometrů umístěných tak, že jejich osy jsou na sebe kolmé.
3. *Stroboskopie* – vytváří pohybovou sekvenci na jednom filmovém políčku. Princip je podobný jako v případě klasické fotografie. Po otevření závěrky rotuje před objektem disk, na kterém jsou štěrby. Tím dochází ke střídavému osvětlení políčka s citlivou vrstvou, na které jsou zaznamenávány jednotlivé fáze pohybu.
4. *Systémy pracující na elektromagnetickém principu* – jejich přístrojový základ lze zjednodušeně rozdělit na dvě části – zdroj a senzor. Po připevnění senzoru na vybraný bod na lidském těle je zaznamenán pohyb tohoto bodu. S využitím vztahů pro pohyb vodiče v elektromagnetickém poli je určena poloha senzoru vzhledem ke zdroji.

5. *Systémy využívající akustické senzory* – pracují na obdobném principu jako předcházející přístroje, využívají zvukový signál. Ten je emitován ze zdroje (vysílač připevněný na segment), jehož poloha je kvantifikována pomocí tří mikrofónů, které neleží v přímce. Protože rychlost zvuku je přesně definována, lze tuto hodnotu využít k výpočtu polohy daného bodu (zdroje).
6. *Optoelektrické systémy* – využívají optické senzory pro určení souřadnic. Na důležitá místa na lidském těle jsou připojeny aktivní (emitory světla, LED) nebo pasivní zdroje (překrytí retroreflexní páskou). Signál vysílaný nebo odrážený těmito zdroji je zpracován přijímačem a v souřadném systému je určena poloha sledovaných bodů.

Metody (4 až 6) využívají v některých fázích záznamu pohybu a jeho vyhodnocení stejná východiska. Při záznamu sledované pohybové činnosti je zpracován signál z různých zdrojů. Výsledkem tohoto zpracování jsou souřadnice bodů, které umožňují výpočet kinematických veličin. Do této skupiny patří také *kinematografická (videografická) vyšetřovací metoda* – postupy založené na vyhodnocení filmového záznamu nebo videozáznamu (Janura, 2004).

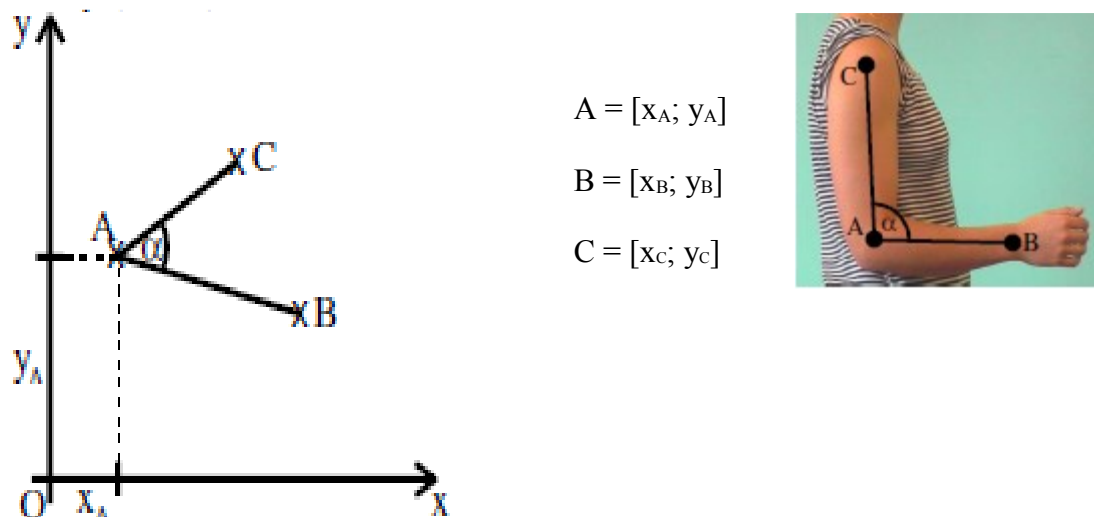
Kinematografická (videografická) vyšetřovací metoda

Podstatou kinematografické (videografické) metody je analýza pohybu důležitých bodů, vybraných segmentů nebo celého těla na základě vyhodnocení filmového záznamu nebo videozáznamu. Označením bodů na záznamu pohybové činnosti získáme jejich rovinné souřadnice, které slouží pro určení základních kinematických veličin, jako jsou např. dráha, úhel, rychlost a úhlová rychlost.

Pro možnost určení polohy bodů a z ní vyplývající polohy segmentů a celého těla je tedy nezbytné definování souřadného systému (obrazová soustava souřadnic na monitoru počítače). Nejčastěji používaným je kartézský systém souřadnic. V rámci kartézské soustavy souřadnic se jedná o kolmě se protínající osy v jednom bodě. Tento bod se nazývá počátkem soustavy souřadnic.

Základní vztahy pro rovinnou (2D) analýzu

Při analýze se používají klasické vztahy z analytické geometrie – počítání s vektory. V obrázku 7 má bod A v soustavě souřadnic s počátkem 0 souřadnice x_A, y_A .



Obrázek 7. Určení polohy bodů a vztahů mezi nimi v kartézské soustavě souřadnic Oxy (Janura, 2004).

Vzdálenost bodů A, B: $v(A, B) = |AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$ (4)

Velikost úhlu α $\cos \alpha = \left| \frac{u_1 \times v_1 + u_2 \times v_2}{|u| \times |v|} \right|$,

kde $u = B - A = (u_1; u_2) = (x_B - x_A; y_B - y_A)$

$$v = C - A = (v_1; v_2) = (x_C - x_A; y_C - y_A)$$

$$|u| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

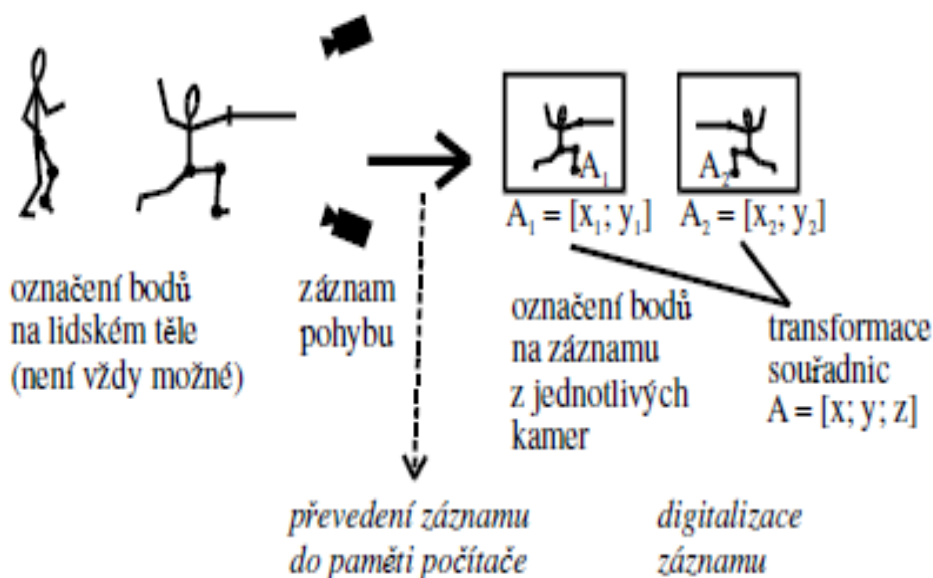
$$|v| = \sqrt{(x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2}$$

V matematickém vztahu (4) nalezneme vzorce pro výpočet úhlů a vektorů bodů A, B vyobrazených v obrázku 7. Označením vybraných bodů na těle člověka a určením jejich rovinných souřadnic tak můžeme vypočítat velikosti (délku) segmentů a úhel mezi nimi. To platí samozřejmě tehdy, jestliže sledovaný pohyb probíhá v rovině, která je kolmá na optickou osu kamery. Ve všech dalších případech lze výpočet provést, ale získané hodnoty jsou zkreslené v závislosti na velikosti vytočení segmentů.

Z teoretického hlediska je postup jasný. Označením důležitých bodů na lidském těle a určením jejich souřadnic můžeme stanovit délky segmentů, velikosti úhlů mezi nimi, polohu těžiště lidského těla a odvodit další parametry. Všechny takto získané informace nám velmi usnadní speciální přípravu disciplíny hod oštěpem. Trenér se v dnešní moderní době nemusí pouze spoléhat na své bystré oko, ale má pomocnou ruku v podobě moderní počítačové techniky.

Základní vztahy pro prostorovou (3D) analýzu

Při přechodu od rovinného k prostorovému znázornění musíme provést rozšíření rovinné soustavy souřadnic. V praxi to znamená, že k původní dvojici os x , y přiřadíme třetí osu z . Bod A je tedy znázorněním tří souřadnic $A = [x_A, y_A, z_A]$.



Obrázek 8. Schéma pro analýzu pohybu při použití 3D videografické metody upraveno podle Janury (2004).

Záznam pohybu

Při záznamu pohybu dochází k zobrazení prostoru (3D) na rovinné dvourozměrné (2D) zobrazení. Pouze v situaci, kdy jsou objekty umístěny do roviny, která je kolmá na optickou osu kamery, odpovídají jejich rozměry ve středu sledovaného úseku reálným velikostem.

Umístění kamer při 2D analýze

V tomto případě by se poloha kamery měla blížit situaci, kdy optická osa kamery, procházející ohniskem objektivu, protíná sledovaný úsek co nejbližše jeho středu. Posun kamery k okraji tohoto úseku má za následek vznik nepřesností, které jsou způsobeny tím, že sledovaný objekt vidíme pod určitým úhlem. Druhou podmínkou je poloha kamery s optickou osou kolmou k rovině pohybu. Vychýlení kamery od tohoto směru způsobuje stejné zkreslení jako pohyb segmentu mimo rovinu pohybu těla. Odchylku lze eliminovat matematicky při přepočtu souřadnic jednotlivých bodů.

Umístění kamer při 3D analýze

Rozhodnutí o umístění kamer v případě prostorové analýzy se řídí typem řešené úlohy a možnostmi pracoviště v počtu použitých přístrojů. Při možnosti volby je vhodné použít takové rozmístění kamer, kdy se úhel mezi jejich optickými osami blíží 90° .

Pohyblivé kamery

Při analýze pohybu s velkými prostorovými nároky jsou používány pohyblivé kamery, které umožňují sledovat snímáný *objekt* v průběhu pohybu. Pohyb kamer je posuzován pomocí jejich rotace v rovině horizontální (*panning*) a vertikální (*tilting*).

Ve všech výše uvedených případech je pro adekvátní použití kamer nutné dodržet základní pravidla, která jsou platná i pro záznam pohybu pro běžné účely. Sem můžeme zařadit např.:

- a) vzdálenost kamery od sledovaného pohybu,
 - b) prostorové možnosti pro záznam pohybu,
 - c) světelné podmínky,
 - d) pozadí za objektem,
 - e) vlivy počasí.
- a) Vzdálenost kamery od sledovaného pohybu

V tomto případě je nutné, aby kamera byla v dostatečné vzdálenosti od pohybujícího se tělesa. Jedná se o situace, kdy je pohyb tělesa prováděn větší rychlostí, při které může dojít

k tomu, že pohyb kamery není schopen tuto rychlost akceptovat. Výsledkem je neúplný záznam pohybu, kdy v určité fázi zkoumaný objekt „zmizí“ ze zorného pole. Na druhé straně je nutné přizpůsobit vzdálenost kamery velikosti snímaného tělesa (lidského těla).

b) Prostorové možnosti pro záznam pohybu

Do této oblasti můžeme zařadit podmínky, kdy je nutné přihlížet zejména k vlivu dalších osob, které se spoluúčastní (aktivně, pasivně) při záznamu daného děje. Může nastat situace, že ty nejkvalitnější záběry budou narušeny přemísťujícími se diváky nebo rozhodčími.

c) Světelné podmínky

Tento faktor lze (mimo natáčení v laboratoři nebo v prostorách, kde máme možnost provádět libovolné změny) ovlivnit pouze minimálně. Při zhoršených světelných podmínkách je možné využít některé parametry kamery, případně změnit rychlost závěrky. Pokud se týká rozmístění světelných zdrojů, musíme dodržovat rovnoměrnost v jejich postavení. Jinak by mohlo dojít ke vzniku stínů, které by mohly vést ke vzniku „falešných kontur“ a ke změně tvaru objektu na záznamu pohybu. Základní chybou, které se lze vyvarovat již při pohledu do hledáčku kamery, je umístění světelného zdroje přímo proti objektivu kamery. To samé platí v terénních podmínkách pro polohu kamery s objektivem proti slunci.

d) Pozadí za objektem

Při natáčení v terénu můžeme pouze tento faktor ovlivnit. Plocha za pohybujícím se objektem má být celistvá, s minimem rušivých prvků. Její barva je kontrastní vzhledem k barvě snímaného tělesa nebo důležitých bodů, umístěných na tomto tělese. Není tedy vhodné natáčet pohyb člověka před jednobarevnou zdí, na které jsou zavěšeny různé předměty – obrazy, květiny apod. Barva pozadí by se tedy neměla blížit tělové barvě – oranžová, hnědá. Vhodnou je například světle zelená (i z hlediska vlivu na psychiku testované osoby).

e) Vlivy počasí

Zhoršení světelných podmínek způsobené mlhou, deštěm, sněžením apod. Pokud podmínky nejsou extrémní, je dobrou pomůckou obyčejná igelitová taška, s otvorem pro

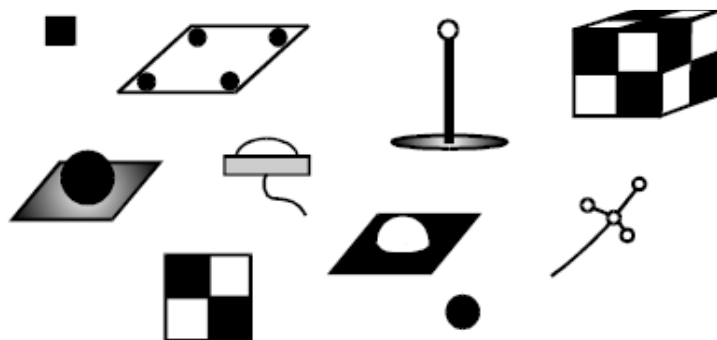
objektiv kamery. Také mlha zvyšuje vlhkost prostředí, která je pro kameru i záznamu i následně, kdy při přechodu do teplé místnosti přilne páska na snímací hlavě. Proto je nutné nepospíchat s vyjmutím kazety a počkat na vyrovnání teplotních rozdílů a alespoň částečné vyschnutí přístroje.

Značky pro identifikaci vybraných bodů

Pro správné vyhodnocení záznamu je nutné vytvoření odpovídajících podmínek ještě před zahájením vlastního natáčení. Jedním z běžně používaných postupů je označení vybraných bodů na sledovaném objektu. Zatímco pro laboratorní měření je tento postup typický, v některých případech (analýza pohybu v rámci soutěží) jej nelze použít, protože by došlo k ovlivnění sledované činnosti.

Hlavní kritéria pro třídění značek

Hlavními vlastnostmi, které charakterizují každou značku, jsou její velikost, tvar, barva. Při označení bodů na lidském těle jsou nejčastěji používány značky ve tvaru koule nebo polokoule. Pro kulovitý tvar je jednodušší na rozdíl například od krychle, určení středu značky při pohledu z různých směrů. Kouli totiž vnímáme při jejím zobrazení do roviny stále jako kruh, jehož střed je možné poměrně přesně určit. Záznam pohybové činnosti v terénu je nejčastěji používán při analýze vybraných sportovních disciplín. Rozsah snímaného pohybu je v tomto případě zpravidla větší v porovnání s laboratorními podmínkami, na tělo sportovce nelze umístit značky pro označení bodů.



Obrázek 9. Základní typy běžně používaných značek (Janura, 2004).

Při hodnocení pohybu pomocí videografické metody musíme použitím značek také vymezit prostor, ve kterém bude pohyb probíhat. Tyto značky jsou samozřejmě jiné než ty, které slouží pro označení bodů na lidském těle. Musí být dobře viditelné i z větší vzdálenosti a zároveň nesmí působit rušivě na sledovaný subjekt a na okolní prostředí. Pro tento účel jsou nejvhodnější dnes už klasické terčíky (nejčastější rozměr strany v rozmezí od 20 cm do 40 cm), které jsou rozděleny na černobílá pole tak, že společný bod těchto polí je středem terčíku.

Používané značky lze rozdělit do tří skupin:

1. *Pasivní* – vytvořené z tradičních materiálů. Jejich označení na záznamu pohybu probíhá manuálně s využitím kurzoru. Hlavním požadavkem je dostatečný kontrast s podložkou a nízká hmotnost
2. *Semiaktivní* – jedná se o pasivní značky, které jsou překryty reflexním materiálem. V tomto případě značky odrážejí elektromagnetické vlnění (nejčastěji v oblasti infračerveného spektra), které dopadá ze zdrojů umístěných v okolí objektivu kamery.
3. *Aktivní* – zpravidla infračervené diody, které emitují elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou okolo 800 nm. V tomto případě je signál z těchto značek zpracován v generátoru souřadnic a pixely příslušných jasů jsou uskupovány dohromady.

Umístění značek na lidské tělo

Pro označení bodů na lidském těle, které slouží pro určení vybraných segmentů, je v první fázi nezbytná palpce odpovídajících kostěných struktur. Jejich projekcí na povrch těla získáme místo pro připevnění značky. Základním problémem, který vzniká v průběhu pohybu, je posun těchto značek způsobený posunem měkkých tkání, nacházejících se mezi kostí a značkou. Velikost těchto změn je nutné posuzovat individuálně, protože tloušťka vrstvy i rozložení tkáně se mohou výrazně lišit.

Pro možnost porovnání výsledků, získaných na různých pracovištích, je nutné používat stejné (nebo mírně modifikované) soubory značek pro vybrané pohybové činnosti. Nejinak je tomu i v případě analýzy chůze, kdy mezi nejčastěji používané soubory značek pro označení dolních končetin lze zařadit „*Kit Vaughan*“ a „*Helen Hayes Hospital*“ soubory.

Z hlediska základních anatomických rovin je nejobtížnější určení velikosti rotace v rovině transverzální (kolem podélné osy segmentu). Z tohoto důvodu nelze značky na segment umístit tak, aby ležely v jedné přímce. Rotaci segmentu je možné charakterizovat pomocí rotace trojúhelníku, vytvořeného pomocí tří značek umístěných na daný segment.

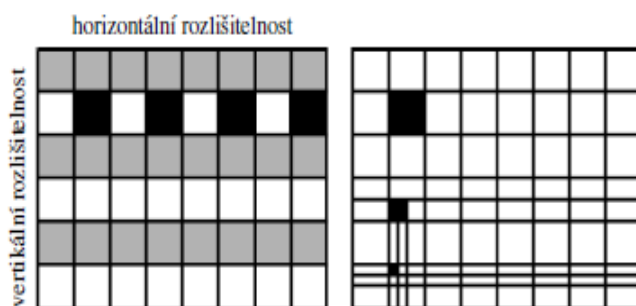
Přenos videosignálu do počítače

Záznam pohybu je pro jeho následné zpracování nutné nejprve převést do počítače. Kamera nebo videorekordér se k počítači připojuje pomocí standardních A/V kabelů. K transportu signálu slouží speciální rozhraní počítače, které se nazývá styková karta (interface, karta rozhraní nebo komunikační karta) a tato karta je součástí počítače PC.

Kvalita obrazu - Rozlišení (rozlišitelnost)

Chceme-li určit kvalitu získaného záznamu, musíme vždy pracovat s určitou „strukturou“. Struktura (počet řádků a sloupců) je charakterizována pomocí *rozlišitelnosti (resolution)*. Rozlišitelnost je nejmenší krok, který můžeme měřit nebo odlišit na objektu měření nebo na přístroji, kterým měření provádíme.

Jestliže začneme strany obdélníku (monitoru) spojovat rovnoběžnými úsečkami, vytvoří jejich průsečíky vrcholy čtverců nebo obdélníků. Plocha původního tvaru je tak tvořena množinou nově vzniklých ploch. S rostoucí hustotou úseček se tyto útvary zmenšují (obrázek 10). V technické praxi se nově vzniklé plošky nazývají *pixely*. Při bližším pohledu na obrazovku televizoru nebo monitoru jsou tyto pixely dobře viditelné. Jestliže nejde dále zmenšovat jejich velikost, dostáváme kritérium pro rozlišitelnost daného přístroje (prvku) v systému.



Obrázek 10. Závislost mezi velikostí pixelu a hodnotou horizontální a vertikální rozlišitelnosti (Janura, 2004).

Vertikální rozlišení (počet horizontálních řádků) je v podstatě dáno formátem videosignálu, *horizontální* rozlišení (počet pixelů v každém řádku) závisí na tom, jak je analogový signál vzorkován.

Vyhodnocení záznamu

Manuální odečet souřadnic

V tomto případě určuje polohu vybraných bodů operátor (vyhodnocovatel) podle svého subjektivního uvážení, a to způsobem:

- s použitím značek,
- bez použití značek.

Odečet s použitím značek, které jsou umístěny na tělo sledované osoby, je klasickým postupem při videografické metodě. Všechny dostupné vyhodnocovací softwary jsou vybaveny možností práce v tomto režimu, kdy vyhodnocovatel pomocí kurzoru označuje na monitoru „středy“ značek. Někdy je tento postup modifikován tak, že vyhodnocovatel zadá oblast značky nebo dokonce širší oblast, ve které by se měla značka nacházet, a vlastní polohu středu značky „vyhodnotí počítač sám“. Odečet bez použití značek je jediným možným způsobem při analýze pohybu, kdy nelze za sledovanou osobu připevnit žádné značky. Jedná se tedy o vyhodnocení neoznačených bodů na lidském těle. To je často jediná možnost při analýzách v oblasti vrcholového sportu.

Automatický identifikátor značek – vyhledávač

Automatické odečty souřadnic jsou založeny na odlišení vybraného bodu od pozadí, na kterém je bod umístěn. To znamená, že automatický odečet lze použít u značek s barevnými, světelnými nebo reflexními vlastnostmi. Jejich aplikace je však až na výjimky soustředěna do laboratorních podmínek. Mezi nejpoužívanější postupy patří např. vyhledávání tvarové symetrie vybrané oblasti, vytvoření korelační šablony vybrané obrazové oblasti apod. Rovněž odečet aktivních značek probíhá automaticky.

Kalibrace

Kalibrace je nezbytná pro určení závislostí mezi reálnými velikostmi a velikostmi získanými ze záznamu. K tomu je nutné, aby součástí záznamu bylo také nasnímání známých

bodů v prostoru (body, jejichž vzdálenost je přesně definována). Ty slouží pro stanovení měřítka (převodního vztahu) mezi skutečnou a obrazovou soustavou souřadnic. Při kalibraci v procesu 2D analýzy je nejčastěji používáno zařízení, na kterém lze určit známou vzdálenost bodů (terčíků) v horizontálním a vertikálním směru. Zařízení je nasnímáno v poloze na začátku, ve středu a na konci sledovaného úseku.

Chceme-li provést 3D kalibraci, musíme znát prostorové souřadnice určitého počtu bodů (jejich minimální množství je dáno matematickými podmínkami řešení soustavy rovnic).

Transformace souřadnic

Při transformaci souřadnic dochází k převodu rovinných obrazových souřadnic získaných ze dvou odpovídajících si poloh daného bodu na různých záznamech do reálných prostorových souřadnic bodu. Jedná se tedy o postup, kdy rovinné souřadnice bodu, které získáme jeho označením na monitoru počítače, „skládáme“ s rovinnými souřadnicemi téhož bodu, zachyceného na záznamu z jiné kamery. Výsledkem tohoto „složení“ (této transformace) jsou prostorové souřadnice sledovaného bodu, které určí jeho polohu v dané soustavě souřadnic.

Úprava vyhodnocených dat

Data získaná použitím 2D videografické vyšetřovací metody jsou ovlivněna množstvím faktorů, z nichž některé lze odstranit pečlivou přípravou měření, další souvisí s úrovní měřicí techniky. Postup, který umožní odstranění nebo oslabení rušivých faktorů z vyhodnocených (hrubých) dat, se nazývá vyhlazení (*smoothing*).

Tento postup je založen na určité plynulosti pohybových aktivit člověka a jeho segmentů. Využívá matematické postupy (polynomická regrese) pro úpravu hodnot, které se nacházejí mimo tuto plynulou křivku. Zatímco při použití polynomů jsou vyhodnocená data upravována jako celek, je při použití splajnů křivka aproximována po částech.

Další možností, jak upravit zpracovaná data, je odstranění komponent signálu, které jsou způsobeny rušivými vlivy. To lze provést pomocí digitální filtrace signálu s využitím různých typů filtrů, v závislosti na typu řešené úlohy. Pro převod neperiodického signálu z časové do frekvenční oblasti se používá *Fourierova transformace*. V naší studii jsme použili digitální filtraci s mezní frekvencí 10 Hz (Mero, Komi, Korjus, Navarro & Gregor, 1994).

Typy výstupů získané zpracováním videozáznamu

Výstupy získané analýzou videozáznamu se liší v závislosti na požadavcích, kladených na rychlost předání informace a na její komplexnost:

- a) kinogram pohybu sestavený z vybraných poloh sledované pohybové činnosti,
- b) kinogram pohybu (*stick figure*) získaný analýzou videozáznamu,
- c) kinogram pohybu vybraného segmentu nebo bodu na lidském těle,
- d) vybraná klíčová poloha nebo kinogram pohybu doplněný o číselné údaje,
- e) číselné údaje charakterizující funkční závislost sledovaných parametrů (zpravidla na čase),
- f) grafické vyjádření nebo porovnání závislostí vybraných parametrů,
- g) kombinace výstupů uvedených v bodech a) až f).

a) Kinogram pohybu sestavený z vybraných poloh sledované pohybové činnosti

Výstup je typem stroboskopického záznamu pohybu. Jeho výhodou je možnost rychlého zpracování materiálů a předání informace do praxe. Slouží zejména trenérům pro možnost vizuálního porovnání a pro další konzultace se sportovcem. Hlavně u mladých jedinců je tímto způsobem možné upozornit na základní nedostatky a tyto chyby názorně prezentovat.

b) Kinogram pohybu (*stick figure*) získaný analýzou videozáznamu

Pro jeho získání je nutné provést označení bodů na záznamu pohybu. Funkce je podobná jako v bodě a), časová náročnost na zpracování je vyšší. Jedná se vlastně o zjednodušenou formu zobrazení, kdy jsou reálné segmenty nahrazeny soustavou úseček a geometrických útvarů. Toto zjednodušení může přispět ke zvýšení názornosti při zrakové kontrole výstupu.

c) Kinogram pohybu vybraného segmentu nebo bodu na lidském těle

V tomto případě se jedná o kvantitativní hodnocení pohybu. Pro analýzu se používají vybrané body (střed kloubů, těžiště), které mají pro způsob provedení stěžejní význam. Osamostatnění těchto bodů a jejich znázornění ve vybrané rovině pohybu (je-li to možné) zvyšuje názornost informace.

d) Vybraná klíčová poloha nebo kinogram pohybu doplněný o číselné údaje

Tento výstup poskytuje grafické i numerické informace o pohybu z hlediska jeho rozhodujících fází – okamžik odhodu, odrazu, kontaktu s podložkou apod. Slouží pro možnost názorného vizuálního porovnání vybraných jedinců nebo skupin, longitudinální sledování, určení hodnot ve vybraných polohách.

e) Číselné údaje charakterizující funkční závislost sledovaných parametrů (zpravidla na čase)

Jejich význam spočívá zejména v možnosti dalšího (statistického) zpracování získaných výsledků. Ty jsou dále využity pro porovnání vybraných jedinců nebo skupin, longitudinální sledování, určení hodnot ve vybraných polohách apod.

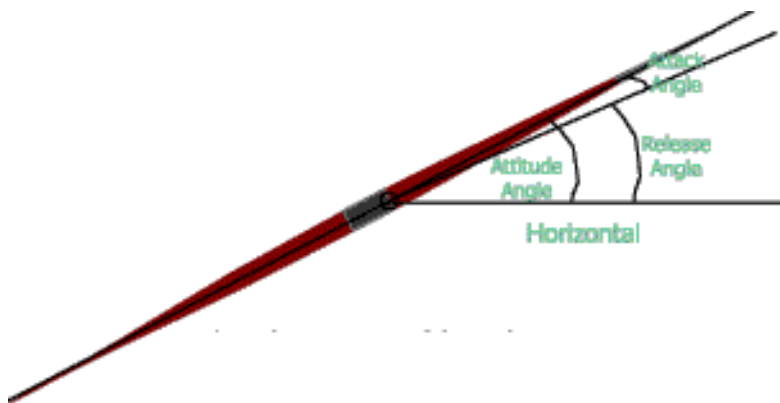
f) Grafické vyjádření nebo porovnání závislostí vybraných parametrů

Výstupy (grafické vyjádření hodnot z bodu e) je možné vytvářet v různých formách, které jsou dány softwarovými možnostmi použitých programů. V jednom výstupu může být zachyceno více charakteristik nebo stejné parametry od různých jedinců. Tímto způsobem lze kvantifikovat rozdíly mezi závodníky různé výkonnosti, změny v pohybové činnosti pacienta po rehabilitaci apod. Závislost je zpravidla určována s přihlédnutím k časovému průběhu pohybu, ale stejně frekventované je např. porovnání změn sousedních úhlů v kinematickém řetězci.

g) Kombinace výstupů uvedených v bodech a) až f)

Umožňuje komplexnější informaci o sledované pohybové činnosti. Množství výstupů však nesmí být na úkor názornosti a přehlednosti.

Videografickou metodu použili Mero, Komi, Korjus, Navarro & Gregor ve vědeckém článku *Body Segment Contributions to Javelin Throwing During Final Thrust Phases* z roku 1994, kde se zabývali analýzou finálových pokusů v závěrečné fázi (odhodové fázi) dvou oštěpařů a dvou oštěpařek na Olympijských hrách v Barceloně v roce 1992. Ve své práci se mimo jiné zmiňují o úhlech odhodové fáze, na jejímž základě se spolu s odbornou literaturou opírá při hodnocení získaných dat parametry úhlů odhodové fáze u svých probandů.



Obrázek 11. Diagram úhlů oštěpu při vypuštění v odhodové fázi upraveno podle Kobayashi (2001).

2.6 Ariel Performance Analysis System (APAS)

Ariel Performance Analysis System (APAS) je 3D pohybová analýza na bázi video systému. APAS dokáže zachytit video z více kamer současně a vytvořit biomechanickou analýzu automaticky.

APAS systém analýza uvádí charakteristiku lidského pohybu. Systém poskytuje prostředky pro kvantifikaci pohybu využitím vstupní informace od některé nebo od všech z následujících médií: vizuální (video), elektromyografie (EMG) a sílu platformy. V diplomové práci se budu zabývat především vizuálním (video) médiem.

Pro profesionální práci pomocí APAS systému umožňuje měření, hodnocení nebo zlepšení lidského výkonu a má počítačovou plně integrovanou sadu nástrojů pro biomechanické měření a analýzy. Lidské tělo jako systémový model, mechanický systém pohybových segmentů, na nichž jsou aplikovány svalové, gravitační, inerciální a reakční síly. Je neinvazivní a nevyžaduje kabely nebo senzory, značky tudíž nejsou povinné.

APAS integruje state-of-the-art počítače a grafický hardware zpracovávající softwarové moduly provádějící sběr dat, analýzy a prezentace. Systém je uživatelsky přívětivý, nevyžaduje žádné speciální znalosti s prací na počítači a zpracovávání dat. V každém bodě během analýzy je uživateli předloženo okno s nápovědou a nabídkou různých funkcí.

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření 2D kinematické analýzy u začátečníka, mírně pokročilých sportovců a vrcholového sportovce.

3.2 Dílčí cíle

Dílčí cíle, kterými se diplomová práce zabývá, jsou:

- Vytvořit kinogramy u všech pokusů probandů se zaměřením na odhodovou fázi.
- Provést korekci chyb v technice hodů u vytvořených kinogramů.
- Analyzovat kinogramy pomocí Ariel Performance Analysis Systemu.
- Porovnat korekce chyb a analýzy s odbornou literaturou a vědeckými články.

4 METODIKA

4.1 Měřený soubor

2D kinematickou analýzu hodu oštěpem jsem prováděla u čtyř oštěpařů z atletického klubu v Havířově ve skupině pod vedením trenéra Ladislava Všoláka. Testované oštěpaře jsem rozdělila podle věkových kategorií. Rozdělení do věkových kategorií koresponduje s mírou zkušeností v nácviu techniky hodu oštěpem. Mezi testovanými svěřenci byli: starší žák (1998) spadá do skupiny začátečníka, mužská dospělá kategorie (1994) se nachází ve skupině mírně pokročilých a ženská dospělá kategorie (1986) svou délkou zkušeností s nácvikem do vrcholově výkonných.

Oštěpaři trénují pětkrát týdně, z toho dvakrát týdně v posilovně a třikrát týdně venku na atletickém stadiónu. Videozáznam byl pořizován na konci přípravného období před hlavní atletickou sezónou.

Starší žák

F. B. – nar. 1998, tělesná výška 171 cm, tělesná hmotnost 57 kg, hod oštěpem (35,50 m osobní rekord – o. r., doba tréninku hodu oštěpem – 3 roky); hmotnost oštěpu 500 g.

Muži

V. P. (testovaná osoba - TO1) - 1994, 177 cm, 73 kg, hod oštěpem (39, 98 m o. r., 4 roky).

M. L. (TO2) – 1994, 185 cm, 85 kg, hod oštěpem (45,69 m o. r., 5 roků).

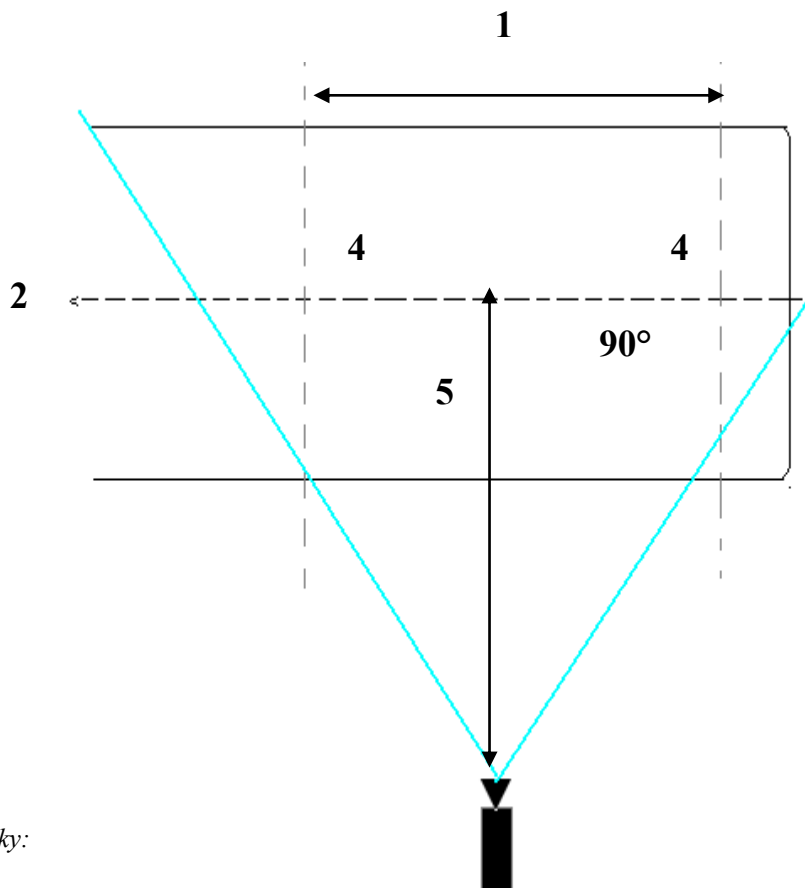
Oba muži používali oštěp o hmotnosti 800 g.

Žena

M. V. – 1986, 170 cm, 70 kg, hod oštěpem (35, 45 m o. r., 15 roků); oštěp o hmotnosti 600 g.

4.2 Organizační zabezpečení

Natočení videa jsem provedla na atletickém stadiónu v Havířově. U každé testované osoby (TO) jsem zaznamenala čtyři pokusy hodu oštěpem se zaměřením na oblast přenesení oštěpu po odhod. Pozice kamery a místo průběhu natočení videa je graficky znázorněn v obrázku 12.



Vysvětlivky:

- 1 Ohnisko zkoumání – oblast odhodové fáze*
- 2 Osa dráhy*
- 3 Umístění kamery (2/3 průměrné výšky TO)*
- 4 Zanedbání možných chyb měření*
- 5 Vzdálenost umístění kamery od osy dráhy*

Obrázek 12. Grafické zobrazení místa výzkumu

4.3 Přístroje

Pro 2D kinematickou analýzu jsem použila digitální kameru Sony HDR-CX115E, 25 x optický zoon, 180 full HD 3,1 m Pixel (Sony, Čína) se zápisem dat na pevný disk. Videokameru jsem umístila na stativ a nasměrovala kolmo na osu oštěpařského rozběžiště v místě, kde probíhá odhodová fáze, což znamená místo mezi křížkem značícím počátek přenášení oštěpu a čarou ohraničující konec rozběžiště (Obrázek 12).

Ke zpracování videozáznamu jsem použila přenosný počítač Acer TravelMate 5720 (Acer Inc., Acer, Čína) s programovým vybavením pro zpracování videa. Kinogramy byly vytvořeny pomocí programu Ariel Performance analysis system (APAS). Po vložení videozáznamů, jsem v programu zadala body segmentů na lidském těle pro vyhodnocení souřadnic bodů segmentů oštěpařova těla v pohybu, pro vyhodnocení úhlu odhodu oštěpu, úhlu polohy oštěpu a úhlové rychlosti odhodové paže, hrudníku a dolních končetin. U sportovců jsem následně zjištěné úhly odhodu oštěpu konfrontovala s optimální technikou a navíc porovnávala se vzorovými schématy.

4.4 Vyhodnocovací metody

K vyhodnocení videí jsem využila videografickou vyšetřovací metodu. Pořízené videozáznamy byly převedeny do počítače, kde jsem provedla převod formátu videa z wmv do avi. Poté pomocí TRIMMER APAS systému jsem převedené video rozstříhala na jednotlivé pokusy a následně přesně pouze na videa, která obsahovala poslední tři kroky odhodové fáze rozběhu hodu oštěpem. Videozáznamy měly délku okolo jedné sekundy.

Pomocí DIGI APAS modul jsem určovala stěžejní body pro znázornění grafického pohybu segmentů těla oštěpařů. Díky nimž můžeme zjistit také výpočet úhlu odhodové ruky po dobu odhodové fáze v rámci posledních třech kroků samotného rozběhu. Postup jsem prováděla u každého pokusu a po vyhodnocení jsem vybrala ten nejoptimálnější pokus. APAS systém umožňuje kromě velikosti úhlu pozorovaných segmentů, například také výpočet úhlové rychlosti jednotlivých segmentů. Díky tomu mohou trenéři s určitostí říct, zda odhodová ruka není příliš rychlá proti zbytku těla, nebo jestli nohy ve správném momentu předběhnou tělo dostatečně tak, aby oštěpař mohl co nejdéle působit na dráhu oštěpu v letu.

Vytvořené obrázky graficky znázorňující pohyb segmentů těla jsem dále využila pro porovnání techniky oštěpařů s dostupnou odbornou literaturou a odbornými články zabývajícími se podobnou problematikou jako se zabývá diplomová práce.

Při pořizování videografických záznamů jsem se řídila pravidly popsanými v předešlých kapitolách.

5 VÝSLEDKY

5.1 Vyhodnocení kinogramu oštěpaře (starší žactvo)

5.1.1 Analýza odhodové fáze



Obrázek 13. Kinogram odhodové fáze hodu oštěpem staršího žáka.

5.1.2 Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS

Tabulka 1. Vyjádření úhlů v průběhu odhodové fáze u staršího žáka

Attitude angle [°]	Release angle [°]	Attack angle [°]	Špička L – těžiště [°]	Hlava-těžiště oštěp [°]	Bérec L [°]	Koleno L [°]	Loket P [°]
36,5		36,5	107,1	109,5	91,5	159,1	114,8
36,5	4,2	32,2	87,3	109,3	74,7	169,3	160,5
39,5	-4,4	43,9	92,2	110,3	75,9	165,0	121,1
41,5	-9,6	51,1	101,6	110,1	84,2	162,5	125,7
44,4	-1,9	46,2	100,2	109,1	86,2	161,7	163,4
46,8	-2,9	49,8	107,3	108,5	90,7	157,5	146,5
46,6	-17,5	64,1	127,4	105,6	114,8	168,8	141,7
45,9	-23,9	69,8	135,1	107,4	123,8	173,7	139,4
46,5	4,9	41,6	134,0	110,3	128,0	174,4	114,8
49,0	-33,2	82,2	134,6	106,6	127,1	178,3	128,9
50,9	-8,6	59,5	128,6	108,9	112,0	161,3	132,9
49,6	9,1	40,5	118,0	116,6	89,9	138,4	112,3
49,5	34,5	15,0	110,7	121,9	81,1	117,9	120,1
53,0	44,0	8,9	107,9	123,8	77,0	117,4	102,6
54,0	41,8	12,2	107,5	119,5	75,1	126,3	54,9
53,8	51,4	2,3	102,4	118,7	70,6	120,8	119,2

Legenda tabulky 1-4 podle Tracey Kobayashi (2001):

- *Attitude angle* – úhel polohy oštěpu,
 - *Attack angle* – rozdíl úhlů polohy oštěpu a polohy zápěstí odhodové paže
 - *Release angle* – úhel polohy zápěstí odhodové paže
 - Špička L (P)-těžiště
 - Běrec L(P)
 - Koleno L(P)
- } úhly přední dolní končetiny (využitelnost pro výpočty úhlové rychlosti)
- *Locket P (L)* – úhel lokte odhodové paže (využitelnost u úhlové rychlosti)

5.2 Vyhodnocení kinogramu oštěpaře (dospělí: TO1, TO2)

5.2.1 Analýza odhodové fáze TO1



Obrázek 14. Kinogram mužské dospělé kategorie (TO1).

5.2.2 Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS TO1

Tabulka 2. Vyjádření úhlů v průběhu odhodové fáze u mužské dospělé kategorie (TO1).

Attitude angle [°]	Release angle [°]	Attack angle [°]	Špička L –těžiště [°]	Hlava-těžiště oštěp [°]	Bérec L [°]	Koleno L [°]	Loket P [°]
33,7		33,7	92,0	101,2	73,6	167,6	133,8
33,0	18,7	14,3	89,6	99,4	74,6	171,5	127,5
32,5	20,7	11,8	89,6	98,5	79,0	175,9	126,1
32,3	-0,2	32,5	85,5	92,4	82,3	171,9	134,1
31,0	-7,3	38,2	78,8	100,1	77,4	156,5	130,8
31,5	-9,4	40,8	70,6	106,6	72,7	137,7	120,5
32,1	-22,0	54,1	63,5	91,5	82,7	140,9	116,5
30,9	-11,1	42,1	56,7	86,6	96,5	145,8	110,2
33,1	-20,1	53,2	49,5	92,9	106,8	139,1	111,6
33,5	-24,4	57,9	45,3	90,8	117,2	154,1	109,9
30,7	3,3	27,4	48,1	91,6	125,9	178,0	103,2
31,1	-0,8	31,9	55,6	95,0	114,7	173,7	104,0
32,1	7,8	24,2	60,2	98,1	95,8	153,5	103,0
29,2	31,4	-2,2	64,9	100,2	87,5	148,7	114,1
28,1	34,1	-6,0	69,0	106,5	89,1	154,9	162,6
32,4	40,1	-7,7	75,5	115,3	78,8	146,5	130,4

5.2.3 Analýza odhodové fáze TO2



Obrázek 15. Kinogram mužské dospělé kategorie (TO2).

5.2.4 Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS T02

Tabulka 3. Vyjádření úhlů v průběhu odhodové fáze u mužské dospělé kategorie (T02)

Attitude angle [°]	Release angle [°]	Attack angle [°]	Špička L –těžiště [°]	Hlava-těžiště oštěp [°]	Bérec L [°]	Koleno L [°]	Loket P [°]
52,5		52,5	108,4	120,4	86,5	153,8	166,0
59,9	-16,3	76,2	83,5	125,0	69,3	144,7	166,3
62,8	4,5	58,3	85,9	121,2	65,2	153,9	172,0
58,7	28,5	30,2	80,1	121,3	54,4	136,9	144,6
60,5	-35,4	96,0	79,4	123,5	72,2	147,7	158,0
64,4	-47,1	111,5	78,3	118,9	82,7	157,7	174,4
57,6	-1,0	58,6	66,1	115,5	92,1	152,2	136,3
56,1	-32,1	88,2	51,6	117,6	120,8	178,1	137,2
57,5	9,4	48,1	51,4	118,2	119,8	175,3	143,7
55,8	23,6	32,2	55,4	120,0	106,8	167,2	120,0
55,8	63,0	-7,2	55,3	118,6	105,2	156,5	142,9
54,2	24,3	29,9	61,2	115,9	97,9	157,6	136,5

5.3 Vyhodnocení kinogramu oštěpařky (dospělí)

5.3.1 Analýza odhodové fáze



Obrázek 16. Kinogram ženské dospělé kategorie.

5.3.2 Analýza úhlů odhodové fáze pomocí APAS

Tabulka 4. Vyjádření úhlů v průběhu odhodové fáze u ženské dospělé kategorie

Attitude angle [°]	Release angle [°]	Attack angle [°]	Špička L –těžiště [°]	Hlava-těžiště oštěp [°]	Bérec L [°]	Koleno L [°]	Loket P [°]
-47,3		-47,3	112,1	118,2	102,3	171,7	144,9
51,9	-24,4	76,4	78,4	122,2	83,2	172,8	159,2
50,8	41,7	9,2	90,6	123,1	74,5	170,9	139,0
53,0	4,1	48,8	88,3	122,6	72,2	161,3	116,6
54,0	-8,5	62,5	79,8	120,3	75,0	152,9	127,6
56,0	-69,7	125,6	75,7	118,8	79,3	148,7	153,1
58,4	-46,7	105,1	65,7	120,8	91,0	150,7	175,4
57,6	26,7	30,9	51,5	121,0	118,3	179,7	165,3
59,4	5,4	54,0	43,7	119,6	140,1	160,9	151,7
59,6	-33,7	93,3	39,3	124,8	140,9	168,8	124,1
57,4	66,1	-8,7	39,6	129,6	133,8	176,3	121,1
60,0	-5,4	65,4	50,0	124,0	121,4	178,0	130,6
64,0	5,0	59,1	57,9	126,4	102,0	162,2	84,6
64,0	37,0	27,1	63,3	137,7	94,4	157,8	95,1
58,5	47,3	11,2	68,8	138,6	98,1	165,4	132,0
56,8	-57,7	114,5	69,5	135,8	99,6	171,0	147,3
66,5	30,2	36,3	72,4	140,0	98,7	166,0	126,4

6 DISKUZE

Hod oštěpem se řadí k těm atletickým disciplínám, ve kterých je konečný výkon v závodě závislý ve značné míře na technické připravenosti oštěpaře a na jeho schopnostech vyrovnat se s podmínkami soutěže. Velmi složitá technika předpokládá vysokou úroveň nervosvalové koordinace. Nejsložitější jsou přípravné pohyby před odhodem a především vlastní odhod. Provedení takových pohybů vyžaduje velkou pohyblivost ramenních, kyčelních a hlezenních kloubů a pružnost páteře. Účelné zkrácení doby vlastního odhodu závisí, kromě úrovně pohybových schopností, na specifické schopnosti vrhače postupně a koordinovaně zapojit svalový systém těla od velkých a silných svalů nohou, trupu až po malé skupiny svalů s velmi rychlou kontrakcí.

Jen oštěpaři, kteří jsou schopni projevit vysokou rychlost odhodových pohybů dosáhnout špičkových výkonů. Mezi špičkovými oštěpaři se prosazují i atleti se středními tělesnými parametry. Jak ukazuje sportovní praxe, vysoké sportovní výkony v hodu oštěpem mohou být dosahovány i značnou rozdílnou technikou (Šimon, 2004).

Technický trénink je v přípravném období před hlavní atletickou sezónou zaměřen na další zdokonalování techniky hodu a na její stabilizaci. Pozornost je věnována sladění hodu v jeden pohybový celek s účinným pohybovým projevem v klíčových fázích: ve spojení rozběhu s vlastní odhodovou činností, v dynamicky a prostorově správném provedení fází napínání a spuštění luku. Zvláštní pozornost je soustředěna na cit pro náčiní při zátahu a vypuštění (Vindušková, 2003).

Většina dostupných studií je zaměřena na problematiku klíčových momentů v odhodové fázi hodu oštěpem. Zabývají se problematikou úhlů segmentů oštěpařova těla v průběhu odhodové fáze, rychlostí pohybů a pozice oštěpařova těžiště. Vědecký článek zabývající se problematikou úhlů ve vlastním odhodu u špičkových oštěpařů při olympijském finále v Barceloně z roku 1994 mě inspiroval k napsání diplomové práce, zabývající se danou problematikou už v rámci tréninkového procesu.

Vyhodnocené výsledky poukazují na podstatu využití kamerové a počítačové techniky. Použitím kamery a následným převedením do počítačové techniky získám pro trenéry vizuální podklad pro korekci chyb při nácviku, resp. výcviku techniky hodu oštěpem.

Následné další zpracování pomocí APAS systémového softwaru získáme přesné vyjádření úhlů odhodové fáze hodu oštěpem. Výsledky jsou v souladu s délkou praxe probandů v nácviku hodu oštěpem a potvrzují zautomatizování techniky hodu oštěpem v průběhu let.

U staršího žáka zjišťuji v prvotní fázi vyšetřovací metody – chybu v podobě pokrčeného lokte odhodové paže po celou dobu odhodové fáze před vlastním odhodem. Váha těla spočívá uprostřed postavení oštěpaře, i když by měla být na zadní opěrné dolní končetině. Příčinou je zrychlení explozivní síly odhodové paže, které předbíhá explozivní sílu dolních končetin, což způsobilo neoptimální předběhnutí horní části těla oštěpaře vůči dolní části a oštěpař tak nedostatečnou dobu působí na oštěp. Oštěpař ve chvíli zavinutí odhodové paže ve vlastním odhodu oštěpu si pomáhá celým tělem a dochází k zborcení oštěpařského luku. Důsledek je způsoben shrbením těla pod oštěp a nedostatečný předstih narovnaných dolních končetin před odhodovou paží. Další rozeznatelnou chybou v samotném závěru odhodové fáze před vlastním odhodem je v přílišné snaze rychle odhodit ještě před došlapem brzdící přední dolní končetiny a celkové zvýšené postavení těžiště těla. Nalezená chyba se velmi často objevuje právě u začínajících oštěpařů, kteří nahrazují působení síly odhodové paže se zvýšením rychlosti při odhodu (Juillard, 1994). Zjištěné úhly odhodu i polohy oštěpu nasvědčují zvýšení nad optimální velikostí úhlů, důsledkem je zvýšení oblouku letícího oštěpu a zkrácení délky hodu. V tabulce 1 vyčteme ve sloupci Release angle (úhel zápěstí odhodové paže = odhodu) rozmezí úhlu 35-52°. Úhel v momentu vlastního odhodu činí 51,4°, což je nad optimální hranicí odhodového úhlu 38-45° (Šimon, 2004). Úhel polohy oštěpu (Attitude angle) těsně před vypuštěním se nachází v rozmezí 36-54°. Úhel polohy oštěpu, úhel zápěstí odhodové paže by se měli pohybovat v přibližné hodnotě, což se stalo. Oštěpař by si měl pohlídat, polohu paže a oštěpu před odhodem tak, aby se více pohybovali v optimální poloze.

V kinogramu u TO1 v mužské dospělé kategorii spatřuji přílišné narovnání oštěpařského luku. Oštěpař provádí svůj pokus po špičkách, což znemožňuje optimální stabilitu a dynamiku nutnou pro hod. Trvajícím napnutím postavení oštěpařova těla s minimálním zavinutím oštěpu v průběhu celé odhodové fáze se projeví v nedostatečném působení oštěpaře na oštěp. Chyba je doplněná předběhnutím trupu před pohybem v kyčlích dolních končetin a pohybem odhodové paže. V tabulce 2 se úhel odhodu (Release angle) v odhodové fázi pohybuje v rozmezí 20-48°. Úhel odhodu ve vlastním odhodu je 47,8°, což je mírně nad

optimální hranicí odhodového úhlu $38-45^\circ$ (Juillard, 1994). Úhel polohy oštěpu (Attitude angle) se pohyboval v rozmezí $28-34^\circ$, což se pohybuje v přibližné blízkosti úhlu odhodu, což je po technické stránce polohy paže a oštěpu správně. Po upravení nácviku techniky přidáním imitačních cvičení v rámci oštěpařského luku, si oštěpař prodlouží dobu působení odhodové paže na oštěp a navýší délku hodu.

Z kinogramu TO2 mužské dospělé kategorie je zřetelné optimální zvládnutí nácviku techniky hodu oštěpem. Jedinou průkaznou chybou je odklon od směru hodu oštěpem ve snaze dát co největší sílu do hodu a napřímení tak celé postavy. Úhel odhodu i polohy oštěpu se pohybuje okolo $28-63^\circ$. Ve vlastním odhodu ale proband srovná techniku a úhel odhodu tak činí $44,3^\circ$, což je v optimálním rozmezí. Úhel polohy oštěpu (Attitude angle) se nacházel v rozmezí $53-65^\circ$, což je nad úroveň úhlu odhodu i nad optimální hranici pro adekvátní délku hodu.

U kinogramu ženské dospělé kategorie nacházím chybu v neoptimálním protažení odhodové paže způsobené pomalejším předběhnutím dolních končetin před tělo. Oštěpařka při snaze optimálně působit na oštěp spustila příliš odhodovou paži a uvolnila zápěstí v odhodovém kroku, což dokazuje i markantní rozdíl v úhlu odhodu $30,2^\circ$ a úhel polohy oštěpu (Attitude angle) $66,5^\circ$. Aby technika hodu oštěpařky byla v optimu, musely by úhly mít obdobnou hodnotu (Šimon, 2004). Úhel polohy oštěpu od impulsního kroku se pohyboval okolo $50-67^\circ$, což je vysoko nad optimální hranicí velikostí úhlů. Oštěpařka by svou chybu mohla pravit imitačními cviky určenými pro optimální předběhnutí dolních končetin před tělo a upravit tak oštěpařský luk a upravit tak optimální polohu odhodové paže a polohy oštěpu.

Hod oštěpem představuje velmi komplexní a náročný pohybový úkol. Sladění všech faktorů technického provedení je nezbytné pro dosažení špičkového výkonu. Technické chyby, které se v kinogramech a grafech objevily, mají obrovský vliv na vlastní výkon oštěpaře. Díky hodnocení techniky 2D kinematickou analýzou a možnosti vizuální korekce vytvořených kinogramů, může trenér názorně zjištěné chyby prokázat a následně zapracovat na jejich odstranění.

Nejčastější chyby byly nesprávné položení odhodové paže, zvýšené těžiště a nesprávné využití momentu optimálního odhodu náčiní. Optimální polohu si můžeme ověřit pozicí špičky oštěpu, která by se měla pohybovat v oblasti periferního vidění oštěpaře v průběhu rozběhu. Pokud tomu tak není, pro oštěpaře je to známka toho, že má příliš spuštěnou odhodovou paži a

loketní kloub není ve výši ramene, proto dochází k oddálení úhlu odhodu oštěpaře a neoptimální polohy oštěpu v letu.

Celý průběh testování poukázal na lepší organizaci příštího testování z důvodu zkoncentrování se testovaných sportovců na prováděnou činnost. Větším přínosem pro navýšení koncentrace oštěpařů by byly např. imitační cvičení či rychlý strečink před dalším měřeným pokusem nebo přímo testování pojmout jako závod.

Nepřesnosti v průběhu analýzy úhlů odhodové fáze jsou způsobeny použitím kamery s rozlišením 25 snímků za sekundu. Testování pomocí kamery se zmíněným rozlišením jsem volila z důvodu dostupnosti pro trenéry.

Limity studie

- nízký počet měřených osob
- nízká motivace sportovců podat co nejlepší výkon
- nepoužití značek v rámci analýzy
- omezený časový prostor pro vyhodnocení měření
- mírná kalibrace
- použití kamery v rozlišení 25 snímků za sekundu

7 ZÁVĚRY

V souladu s cílem diplomové práce jsem zjišťovala praktičnost použití videografické vyšetřovací metody 2D kinematické analýzy pro korekci chyb v technice hodu oštěpem v rámci tréninkového procesu. Testovala jsem použití metody při tréninku hodu oštěpem v přípravném období u staršího žáka, mužské a ženské dospělé kategorie. Použitá metodika pro zhodnocení techniky se projevila jako optimální způsob pro přehlednější vyjádření chyb v technice hodu oštěpem u testovaných oštěpařů a následnou přesnou změnou v nácviku, resp. výcviku techniky hodu oštěpem.

Použití videografické vyšetřovací metody 2D kinematické analýzy a jejím vyhodnocení pomocí Ariel Performance Analysis Systemu (APAS) pro vyhodnocení aktuální techniky hodu oštěpem se jeví jako optimální způsob korekce chyb v technice hodu oštěpem.

Způsob této metody skládající se z pořízení kinogramů pokusů je vhodný pro hodnocení techniky i pro navození možných závodních pokusů, jelikož i při závodu sportovci usilují o neoptimálnější techniku za účelem kvalitního výkonu. Analýza nám ukázala přesné hodnoty jak úhlu zápěstí odhodové paže (úhlu odhodu) vůči rovině rozběžiště, tak úhel polohy oštěpu, který lze pokládat za úhel vzletu náčiní.

Velikosti úhlů odhodové fáze hodu oštěpem zaručují jako jeden z důležitých faktorů optimální průběh pokusu i správný postupný pohyb segmentů oštěpařova těla při vlastním odhodu.

Výsledky měření ukázaly, že hodnocení techniky kinematickou vyšetřovací metodou 2D kinematickou analýzou a jejím hodnocení pomocí APAS je využitelné především z pohledu trenéra nebo tělovýchovného pedagoga. Podle zjištěných výsledků se nám také potvrzuje délka nácviku techniky hodu oštěpem se zjištěnou úrovní techniky u jednotlivých oštěpařů.

Popisovanou metodu doporučuji všem trenérům i pedagogickým pracovníkům především v přípravném nebo předzávodním období, kde je podstata optimální přípravy svěřenců na závodní sezónu. Svou podstatu má i v rámci přípravného soustředění před hlavními závody jako např. mistrovství České republiky. Slouží také jako určitý druh motivace svěřence pro navýšení úsilí při nácviku samotné techniky hodu oštěpem.

8 SOUHRN

V diplomové práci jsou zpracované výsledky 2D kinematické analýzy oštěpařů a oštěpařky atletického klubu Havířov ve vrhačské skupině pod vedením trenéra Ladislava Všoláka. Analyzované údaje jsou z roku 2014, ze závěru přípravného období před nadcházející hlavní atletickou závodní sezónou.

Technické provedení hodu oštěpem je revidováno a vyhodnocováno kinematicko-videografickou metodou jako možný způsob korekce chyb v technice hodu.

Příznivým prvkem prezentované metody je prvotní zpětná vazba vizuální korekcí chyb v technice hodu díky vytvořeným kinogramům. Uvedená možnost korekce je pro svou náročnost spíše vyhovující v rámci soustředění nebo v období bezprostředně před začátkem atletické „venkovní“ sezóny.

Domnívám se, že zvolená metoda praktikovaná v tréninkové skupině oštěpařů je spolehlivá a praktická pro své použití.

Použití 2D kinematické analýzy a její prezentace ve formě kinogramů je vhodné v přípravném období, na soustředěních nebo před důležitými závody atletů. Trenér díky metodě může zpracovat změnu tréninkového procesu a případnou chybu v technice svěřence odstranit včas než se zautomatizuje. Zmiňovaná metoda může sloužit jako ukazatel nezřetelných chyb v technice a jako podklad pro nastavení tréninkových plánů nebo jako motivace pro sportovce navýšit své úsilí.

9 SUMMARY

The thesis presents the results of a 2D kinematic analysis of three male and one female javelin throwers of the athletic club AO Havířov of the training group of Ladislav Všolák. The analysed data is from 2014, from the end of the preparatory period before the main part of the upcoming athletic season.

The technical performance of javelin throws is reviewed and evaluated by means of a kinematic-videographic method with aim to correct errors in the throwing technique.

A positive feature of the presented method is primary feedback by means of visual correction of errors in the throwing technique thanks to kinograms prepared. Due to its demanding character, such visual correction is rather suitable for training camps or for periods immediately before the commencement the athletic outdoor season.

I believe that the chosen method is both reliable and practical for its use.

Using the 2D kinematic analysis and the presentation of its results in the form of kinograms is suitable for the preparatory period, training camps, or before important athletic competitions. Thanks to this method, coaches can implement changes in the training process and eliminate possible errors in the throwing technique before they became automatized. The aforementioned method can serve as an indicator of obscure errors in the throwing technique, as a basis for setting up training plans, or as a source of motivation for athletes to increase their efforts.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Adamec, J., & Novotný, P. (1998). *Použití videografické vyšetřovací metody pro zjišťování výšky vertikálního skoku v praxi*. Sborník referátů z Celostátní studentské vědecké konference s mezinárodní účastí v oboru kinantropologii. Olomouc: UP Olomouc.
- Allard, P. Blanchi, J. P. et al. (2000). *Analyse du mouvement humain par la biomécanique*. Québec: Vigot.
- Anonymous (2009). *Oštěp*. Retrieved 12. 4. 2009 from World Wide Web: <http://www.joesaman.estranky.cz/stranka/ostep>.
- Anonymous (2009). *Hod oštěpem*. Retrieved 5. 5. 2009 from World Wide Web: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hod_ostepem.
- Ballreich, R., & Kuhlow, A. (1986). *Biomechanik der Sportarten. Band 1. Biomechanik der Leichtathletik*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Čillík, I. (2013). *Teória a didaktika atletiky*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela – Belianum (Fakulta humanitních věd).
- Folprecht, V. (1988). *Světová atletika v obrazech*. Praha: Olympia.
- Fortin, F. et al. (2000). *Encyklopedie sportu – svět sportu slovem i obrazem*. Montreal: QA International.
- Janura, M. (2013). *Metody biomechanického výzkumu*. [Učební text]. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Janura, M., Svoboda, Z., Elfmark, M., Janurová, E., & Cabell, L. (2011). Kinematická analýza skoku závodníků v severské kombinaci a ve skoku na lyžích na můstku HS-134 m na MS 2009 v Liberci. *Česká kinantropologii, Vol. 15, č. 4*, s. 9-16.
- Janura, M. et al. (2008). *Biomechanika pohybu*. Retrieved 3. 4. 2014 from the World Wide Web: <http://www.biomechanikapohybu.upol.cz/net/index.php/poloka-menu-2/o-metod>
- Janura, M., & Zahálka, F. (2004). *Kinematická analýza pohybu člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého.

- Janura, M. (1996). *Vývoj kinematografické vyšetřovací metody a její aplikace při výzkumu přechodové fáze skoku na lyžích*. Dizertační práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Jirka, J., & Popper, J. et al. (1990). *Malá encyklopedie atletiky*. Praha: Olympia.
- Juillard, F. (1994). *L'entraîneur fédéral*. Paris: FFA
- Kampmiller, T. et al. (1996). *Teória a didaktika atletiky I. a II.* Bratislava: FTVŠ UK.
- Karas, V. (1990). *Biomechanika tělesných cvičení*. Praha: SPN.
- Kobayashi, T. (2001). *Javelin Throw*. Retrieved 5.11. 2001 from World Wide Web: <http://fog.ccsf.cc.ca.us/~tkobayas/athletics/Track04Jav.shtml>.
- Kollath, E. (1983). Speerwurf. Kinematische Analyse des Anlaufs on Abwurfs. In: Ballreich, R., & Baumann, W. (Hrsg.): *Biomechanische Leistungsdagnostik, Ziele-Organisation-Ergebnisse* Berlin“ Bartelz & Wernitz.
- Kovařík V., & Langer, F. (1985). *Biomechanika tělesných cvičení*. Brno: UJEP.
- Kuchen, A. et al. (1971). *Lehkoatletické vrhy a hody*. Praha: Olympia.
- Kuchen, A. (1987). *Teória a didaktika atletiky*. Bratislava: SPN.
- Langer, F. (2007). *Atletika I*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Murcková, P. (1998). *Využití videografické vyšetřovací metody k analýze chůze u funkčních pohybových poruch*. Sborník referátů z Celostátní studentské vědecké konference s mezinárodní účastí v oboru kinantropologii. Olomouc: UP Olomouc.
- Nosek, M. (2014). *Technika a biomechanika hodu míčkem a oštěpem*. Retrieved 28. 4. 2014. from the World Wide Web: pf.ujep.cz/~nosek/Atlet/prednaska_hodmicekostep.ppt.
- Nosek, M., & Valter, L. (2015). *Hod míčkem a oštěpem, technika a biomechanika*. Retrieved 12. 4. 2015 from the World Wide Web: pf.ujep.cz/~nosek/atletika/hody_ostep_technika.html.
- Novák, A. (1963). *Obecná biomechanika tělesných cvičení*. [Učební texty]. Praha: SPN.
- Prukner, V., & Machová, I. (2012). *Didaktika atletiky*. Olomouc: Univerzita Palackého.

Sheldon, W. (1940). *Varieties of human physique*. London: Oxford.

Šimon, J. (2004). *Atletické vrhy a hody*. Praha: Olympia.

Vindušková, J. (2003). *Abeceda atletického trenéra*. Praha: Olympia.