



Fakulta
tělesné kultury

ŠKOLA DIAGNOSTIKY

Biomechanika hodů a vrhů

Zdeněk Svoboda

Miroslav Janura

Lucia Bizovská

Tomáš Klein

Olomouc 2023

Tento studijní materiál vznikl za podpory projektu s názvem Digitalizácia a inovácia vzdelávania v diagnostike pohybového systému (č. p. 304011AYX7).



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Úvod a fyzikální základ

Definice

Hody a vrhy mají své nezastupitelné místo v několika atletických disciplínách (hod oštěpem, hod diskem, hod kladivem, vrh koulí) a jsou součástí všech míčových sportovních disciplín ve formě nadhozů, podání, rozehrávek nebo přihrávek. Svou roli sehrávají také v dalších sportovních disciplínách zaměřených na práci s náčiním (např. moderní gymnastika), ale i během běžných denních aktivit. Základní rozdíl mezi hodem a vrhem spočívá v načasování sekvence pohybů jednotlivých segmentů horní končetiny. Zatímco u hodu se ve směru odhodu pohybuje nejprve loketní kloub, který je následován zápěstím, při vrhu je pořadí opačné a loketní kloub zůstává po celou dobu za vrhaným náčiním.

Vrhy a hody se obecně řadí k pohybovým aktivitám s krátkou dobou trvání. Cíl této pohybové činnosti souvisí se sportovní disciplínou, ve které je použita. Např. v atletických disciplínách, kde je délka vrhu nebo hodu přímým ukazatelem výkonu, je cílem sportovce dosáhnout co nejvyšší rychlosti odhodu a díky tomu hodit nebo vrhnout náčiní co nejdále. Vrhy a hody se tu vyznačují krátkým trváním s maximálním výkonem. U dalších sportovních disciplín může být cílem kombinace vysoké přesnosti a co nejvyšší odhodové rychlosti (např. střelba v házené, nadhoz v baseballu), nebo vysoké přesnosti se zabezpečením odpovídající délky trvání pohybu náčiní (např. střelba v basketbalu, vyhazování náčiní v moderní gymnastice).

Složené pohyby

Z fyzikálního pohledu se hody a vrhy řadí ke složeným pohybům, které podle trajektorie tělesa (tedy v tomto případě vrhaného nebo

házeného náčiní) dělíme na **vrh svislý, vodorovný a šikmý**¹. Vrh svislý je ve sportu možné pozorovat např. jako nadhoz míče před tenisovým nebo volejbalovým podáním. Vrh vodorovný je častým v případě, kdy chce sportovec rychle a prudce zakončit, např. střelba v házené. Nejčastěji se vyskytující, jak už v atletice, tak i v ostatních sportovních disciplínách, je však vrh šikmý.

Pro maximální délku x_{\max} vrhu šikmého realizovaného z nulové počáteční výšky (tj. neuvažujeme odpor prostředí), platí následující vztah

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g},$$

ve kterém v_0 je velikost počáteční rychlosti, g je tíhové zrychlení a α úhel odhodu. Z tohoto vztahu vyplývá optimální velikost elevačního úhlu $\alpha = 45^\circ$.

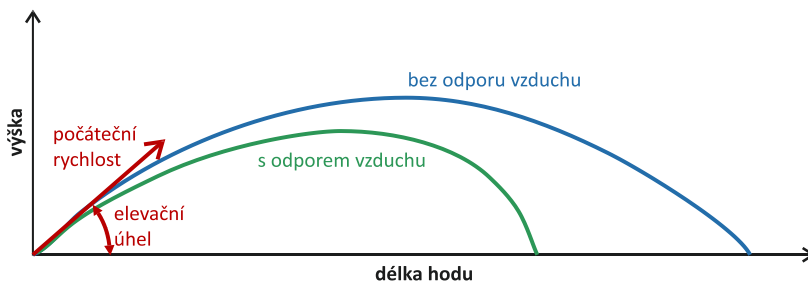
Pro vrhy a hody zpravidla platí, že vrhané nebo hozené náčiní nezačíná svůj pohyb z nulové výšky nad podložkou. Jeho počáteční výška h pak musí být zohledněna ve vztahu pro maximální délku vrhu

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \cos 2\alpha}{g} \left(\sin \alpha + \sqrt{(\sin \alpha)^2 + \frac{2gh}{v_0^2}} \right).$$

Zatímco v ideálních podmínkách (zanedbáváme odpor prostředí) je trajektorie tělesa vrženého vrhem šikmým popisována jako část paraboly, v reálných podmínkách dochází vlivem odporu prostředí k deformaci ideální trajektorie na tzv. **balistickou křivku** (obr. 1). Velikost odporu prostředí přímo souvisí s tvarem, hmotností a velikostí vrženého tělesa. Vlivem odporu prostředí dochází ke zkrácení maximální délky vrhu, vržené těleso dosáhne nižší výšky, dopadne na podložku pod větším úhlem než elevačním a ke změně dochází i

¹ Pro detailní vysvětlení jednotlivých typů složených pohybů a vyjádření vztahů popisujících délku nebo výšku hodu viz studijní materiál Biomechanika: fyzikální základ.

v optimální velikosti elevačního úhlu, která je nižší než 45° (viz dále specifika pro jednotlivé sportovní disciplíny).



Obr. 1 Trajektorie tělesa vrženého vrhem šikmým

Newtonovy pohybové zákony

Pro úplné porozumění problematice hodů a vrhů je nutné zopakování základních pojmů z kinematiky a dynamiky², na které další kapitoly navazují, a to především pojmy jako úhlová a obvodová rychlost, Newtonovy zákony, hybnost, zákon zachování hybnosti, moment síly, impuls síly a další. S ohledem na způsob pohybu jednotlivých segmentů lidského těla vůči sobě (rotační pohyb) a často i pohybu samotného házeného nebo vrhaného náčiní, je vhodné podívat se také na interpretaci Newtonových pohybových zákonů pro rotační pohyb. **Zákon setrvačnosti** je možné **pro rotační pohyb interpretovat** následovně:

Moment hybnosti daného tělesa zůstává konstantní, dokud na těleso nezačne působit nenulový výsledný vnější moment síly.

Moment hybnosti **b** je možné určit jako součin momentu setrvačnosti **J** a úhlové rychlosti tělesa **ω**

² Viz Biomechanika: fyzikální základ

$$\mathbf{b} = J\boldsymbol{\omega},$$

přitom platí zákon zachování momentu hybnosti. Moment setrvačnosti J je možno pomocí Steinerovy věty obecně vyjádřit jako

$$J = J_T + md^2,$$

kde J_T je moment setrvačnosti tělesa vzhledem k ose procházející těžištěm, m je hmotnost tělesa, d je vzdálenost těžiště od okamžité osy otáčení.

Zákon síly zní v interpretaci po rotační pohyb následovně:

Změna momentu hybnosti tělesa je přímo úměrná výslednému momentu síly, který na toto těleso působí a tato změna má směr vnějšího momentu síly.

Jestliže na těleso působí výsledný vnější moment síly \mathbf{M} , těleso získá úhlové zrychlení $\boldsymbol{\varepsilon}$, které má směr tohoto momentu síly, platí

$$\mathbf{M} = J\boldsymbol{\varepsilon}.$$

Výsledný moment vnější síly, který působí na těleso, je přímo úměrný rychlosti změny momentu hybnosti

$$\mathbf{M} = \frac{\Delta \mathbf{b}}{\Delta t}.$$

Zákon akce a reakce má v interpretaci na rotační pohyb následující znění:

Moment síly, kterým působí první těleso na těleso druhé, vytváří stejně velký moment síly, jimž působí druhé těleso na první ve stejném čase, ale v opačném směru. Tyto momenty síly mají stejnou osu rotace.

Z hlediska interpretace těchto vztahů pro pohyb lidského těla je možné využití několika příkladů ze sportovní praxe³. V pohybových činnostech, během kterých je cílem rotovat co nejrychleji (např. hod diskem), atlet nejdříve zaujme polohu, při které dosahuje maximální moment setrvačnosti. Takto může déle působit momentem síly a maximalizovat změnu momentu hybnosti, což mu umožní ve správné fázi pohybu (odhod) zvýšit úhlovou rychlost pohybu zmenšením momentu setrvačnosti⁴.

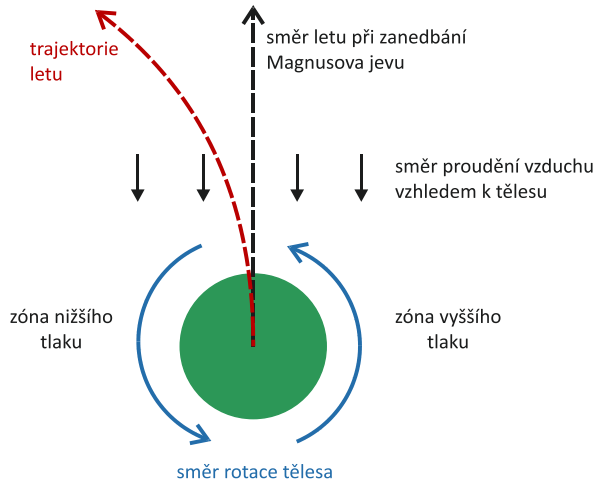
Magnusův jev

Při letu tělesa kruhového průřezu může dojít k situaci, že těleso rotuje a směr jeho letu se v průběhu letu viditelně mění. To je způsobeno Magnusovým jevem, který můžeme popsat následovně:

Když těleso rotuje, má tendenci strhávat vrstvy vzduchu, které jsou kolem něj. Následně vzniká na jedné straně tělesa zóna s nižším tlakem a na druhé straně s vyšším tlakem. Těleso má pak tendenci měnit svou trajektorii letu na stranu s nižším tlakem (obr. 2). Velikost Magnusova jevu je ovlivněna povrchem rotujícího tělesa, např. pro zesílení jevu mají golfové míčky na svém povrchu množství prohlubní.

³ S ohledem na to, že jednoduchý příklad interpretace Zákona setrvačnosti pro rotační pohyb nesouvisí přímo s vrhy a hody, je toto vysvětlení uvedeno jako poznámka pod čarou. Zákon zachování momentu hybnosti je možné si představit např. na případě krasobruslaře, který je schopen měnit rychlost rotace svého těla (tj. velikost úhlové rychlosti) během piruet změnou polohy horních nebo dolních končetin, resp. jejich oddálením nebo přiblížením k ose rotace. Platí zákon zachování momentu hybnosti, tj. součinu velikostí momentu setrvačnosti a úhlové rychlosti ($\mathbf{b} = J\boldsymbol{\omega} = \text{konst.}$). Se změnou velikosti momentu setrvačnosti J , kterou je možné způsobit změnou velikosti d vzdálenosti těžiště od osy otáčení, musí dojít ke změně velikosti úhlové rychlosti $\boldsymbol{\omega}$. Tj. např. připažením nebo vzpažením (tj. zmenšením d) dochází ke zvýšení $\boldsymbol{\omega}$ a naopak. Podobně např. u gymnasty rozdílly plynoucí z polohy, ve které se během rotace nachází – salto skrčmo, schylmo a toporně.

⁴ Vyplyývá z kombinace výše uvedených vztahů: $\Delta \mathbf{b} = J\Delta \boldsymbol{\omega} = \mathbf{M}\Delta t = \mathbf{F}\Delta t$.



Obr. 2 Schematické znázornění Magnusova jevu

Řetězení pohybu

Z biomechanického hlediska jsou hody a vrhy komplexní činnosti, jejichž provedení je ovlivněno postupným a koordinovaným zapojením svalů celého těla tak, aby došlo k přenosu svalové síly z proximálních (dolní končetiny při kontaktu s podložkou) k distálním (horní končetiny) segmentům. Pro posouzení techniky hodu z hlediska přenosu síly využíváme **biomechanický model otevřeného kinetického řetězce** segmentů. Jinými slovy, na hody a vrhy nelze nahlížet jako na pohyb horní končetiny (ruky), ale jako na pohyb celého těla, kdy dochází k postupnému přenosu síly mezi jednotlivými segmenty. V konečném důsledku se jedná o model kinetického řetězce, který umožní sekvenční přenos sil a pohybů, vedoucích k dosažení maximální rychlosti v nejvzdálenějším článku řetězce. Jakákoli dysfunkce v proximálním segmentu může vést ke změně v přenosu síly a k negativním změnám v distálním segmentu, které se projeví v poklesu odhodové rychlosti.

Kinetický řetězec je soustava segmentů spojených klouby, kdy síla vytvořená v rámci jednoho segmentu (nebo soustavy segmentů) se přenáší přes kloub na sousední segment. Je-li jeden segment v pohybu, vytváří posloupnost událostí, které ovlivňují pohyb sousedních kloubů a segmentů. Jednotlivé segmenty se tedy během pohybu vzájemně ovlivňují. Při základním pohledu na lidské tělo, např. při hodu oštěpem, lze kinetický řetězec charakterizovat jako soustavu segmentů, kterou tvoří dolní končetiny(a), pánev, trup (páteř), ramenní pletenec, nadloktí, předloktí, ruka. Síla pro provedení hodu je iniciována ve svalech dolní části těla a přenášena přes trup (*core*) až do svalů horních končetin. Svaly, které jsou zapojeny v rámci kinetického řetězce, se neaktivují současně, ale postupně. Svalové skupiny jednoho článku začínají svou aktivitu dříve, než skupiny článku sousedního a většinou také svou aktivitu dříve končí.

Pohyby segmentů v kinetickém řetězci jsou často popisovány pomocí lineární rychlosti koncových bodů segmentu nebo úhlové rychlosti segmentů. Vysvětlení sekvencí pohybu segmentů závisí na znalosti pohybů v kloubech, kloubních momentů a na interakci mezi segmenty, kdy akcelerace distálního segmentu je zpravidla ovlivněna bržděním proximálního segmentu. Rozdíly ve způsobu, jakým segmenty kooperují, jsou závislé na odchylkách v načasování jednotlivých akcí segmentů.

Jedním z důležitých faktorů, které se uplatňují v rámci řetězení (např. při hodu oštěpem) a informují nás o fungování řetězce v proximálně-distální sekvenci (od kontaktu se zemí až po odhod), je tzv. „oddělení kyčel-rameno“ (*hip-shoulder separation*). Tento parametr je dán časovým rozdílem mezi dosažením maximální rotační rychlosti v dolní a horní části trupu. Prodleva mezi rotací v oblasti kyčlí a rotací horní části trupu umožňuje svalům v horní části těla ukládat elastickou energii získanou při protažení svalů (excentrická kontrakce), příp. šlach a fascií. V rámci kinetického řetězce tedy dochází k využití protahovacího-zkracovacího cyklu (*stretch shortening cycle, SSC*), kdy

po excentrické svalové kontrakci následuje kontrakce koncentrická⁵. Správné načasování tohoto cyklu v rámci sekvence vrhu u svalů na největších segmentech hraje důležitou roli v přenosu hybnosti na distální segment (ruka, oštěp) a v nárůstu odhodové rychlosti.

Správné fungování proximo-distální sekvence při hodu závisí také na pohybu a stabilitě komplexu lumbální část páteře-pánevy-kyčelní klouby (muskuloskeletální struktury, které stabilizují páteř a pánev). Vzhledem k tomu, že dolní končetiny vytvářejí v rámci řetězce nejvíce energie, je stabilita tohoto komplexu nezbytná pro účinný přenos energie na horní část trupu a na horní končetiny. Využití síly produkované v rámci řetězce (zvýšení účinnosti v rámci kinetického řetězce) snižuje nároky na aktivitu v ramenním kloubu, méně ho namáhá a potenciálně snižuje riziko jeho poranění. Správná mechanika hodu tak může sportovci umožnit dosáhnout maximálního výkonu a současně snížit pravděpodobnost vzniku zranění. Jak už bylo uvedeno, jedním ze zásadních předpokladů je využití kinetického řetězce ke generování a přenosu energie z větších částí těla na menší.

Využití uvedených mechanismů v praxi je založeno na fyzikálních základech – princip setrvačnosti, přenos momentu hybnosti, přenos energie. Postupným přičítáním maximální úhlové rychlosti každého segmentu těla k maximální úhlové rychlosti segmentu, který mu předchází (v pořadí od osy těla směrem k ruce odhodové končetiny), bude na posledním článku řetězce – náčiní generován větší moment hybnosti. Toto provedení tedy může zvýšením momentu hybnosti zvýšit výslednou sílu aplikovanou na náčiní.

⁵ Viz Biomechanika: pohybový systém

Specifika hodu ve vybraných sportovních disciplínách

Hod oštěpem

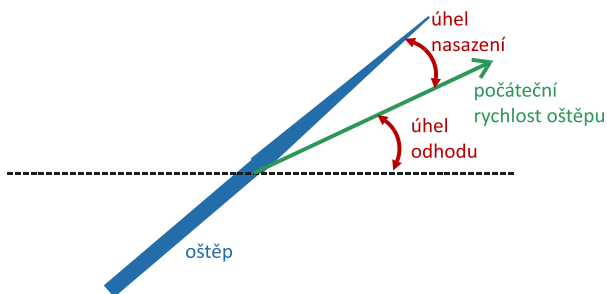
Hod oštěpem můžeme z pohledu biomechaniky rozdělit na následující fáze: rozběh, odhod, brždění, let oštěpu.

Klíčovým aspektem je, jako u jiných hodů, rychlost odhodu, která je ovlivněna zejména nastavením segmentů těla sportovce v okamžiku závěrečného kontaktu nohy s podložkou, jeho schopností přenést hybnost mezi dolní a horní částí těla během hodu a efektivní koordinací pohybu zapojených segmentů těla. Rychlost odhodu se u nejlepších oštěpařů pohybuje kolem hodnoty $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Její nárůst lze dosáhnout prodloužením dráhy, po které působí na oštěp svalová síla, nebo působením větší svalové síly po kratší dráze (v kratším čase). Přitom by nemělo docházet k přerušení působení síly nebo k jejímu kolísání. Z hlediska ekonomičnosti působící svalové síly je totiž výhodnější, pokud se rychlost zvyšuje plynule, než když dochází ke střídání nárůstu a poklesu rychlosti. **Proto by jednotlivé fáze pohybu při odhodu oštěpu měly na sebe plynule navazovat.**

Provedení hodu oštěpem je **komplexní činnost**, do které se zapojuje velké množství svalů. Vedle svalů na horních končetinách je neméně důležitá také aktivita svalů trupu a dolních končetin. V odhodové fázi se pro pohyb horní končetiny jedná zejména o m. pectoralis major, m. latissimus dorsi a m. triceps brachii. Na dolních končetinách se zapojují extenzory kyčelního kloubu (m. gluteus maximus, hamstringy), extenzory kolenního kloubu (m. quadriceps femoris) a plantární flexory hlezna (m. triceps surae). Pohyb trupu v odhodové fázi zabezpečují břišní svaly (m. rectus abdominis, m. oblique abdominis externus, m. oblique abdominis internus). Ve skutečnosti je však počet zapojených svalů v jednotlivých fázích hodu oštěpem výrazně vyšší a popis jejich zapojení je nad rámec tohoto textu.

Maximálních lineárních rychlostí segmentů při hodu oštěpem je při správném provedení dosaženo v pořadí kyčel, rameno, loket a zápěstí. Z výsledků studií vyplývá, že tyto veličiny se mohou pohybovat v následujících hodnotách: kyčel $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ za 0,45 s (ve fázi odhodu); rychlost ramene $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ za 0,6 s; loket $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ za 0,82 s. Pokud tedy není dostatečně využita např. „rychlost kyčle“, pak bude rychlost při vypuštění oštěpu nižší, nebo bude muset být pro dosažení stejné rychlosti vypuštění oštěpu více zapojena oblast ramenního pletence. To však může vést k přetěžování ramenního kloubu a k nárůstu rizika poranění.

Oproti hodům s jiným náčiním sledujeme také polohu oštěpu a to zejména v okamžiku jeho vypuštění. Rozlišujeme úhel odhodu, který vyjadřuje úhel mezi směrem vektoru rychlosti oštěpu a horizontálou, a úhel nasazení, který představuje úhel mezi polohou oštěpu a směrem vektoru rychlosti (obr. 3). U elitních sportovců se úhel vzletu pohybuje přibližně mezi 30° až 45° a úhel nasazení od -5° do 15° . Bylo však zjištěno, že vztah mezi těmito úhly a délkou hodu není u elitních oštěpařů významný. U méně zkušených sportovců však mohou i tyto úhly hrát významnou roli.

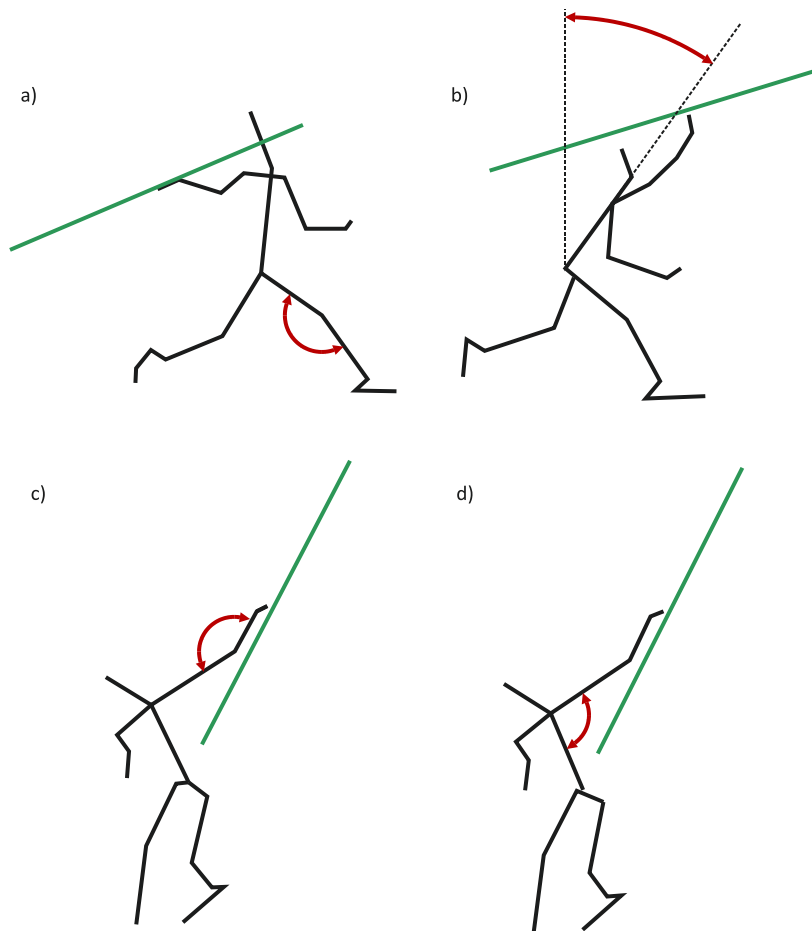


Obr. 3 Úhel odhodu a úhel nasazení. Upraveno podle Morris a Bartlett (1996).

Maximalizaci rychlosti odhodu, která je klíčová pro dosažení maximálního výkonu, ovlivňují zejména rychlost rozběhu, menší flexe

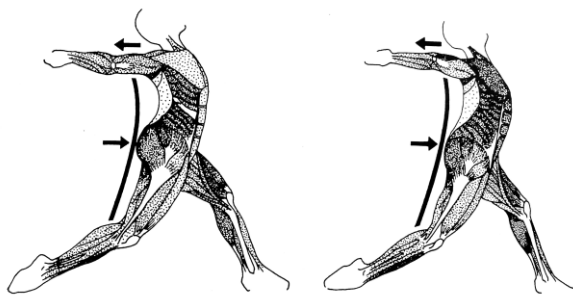
v kolenní při závěrečné fázi hodů, která oštěpařům napomáhá využít rozběhovou rychlost a dosáhnout větší flexe trupu (obr. 4a, 4b).

U elitních závodníků byla také nalezena při flexi trupu mírně vyšší flexe v loketním kloubu a menší abdukce v kloubu ramenním (obr. 4c, 4d). Toto nastavení segmentů by jim mělo umožnit efektivně využít vnitřní rotaci ramenního kloubu ke zvýšení rychlosti odhodu.



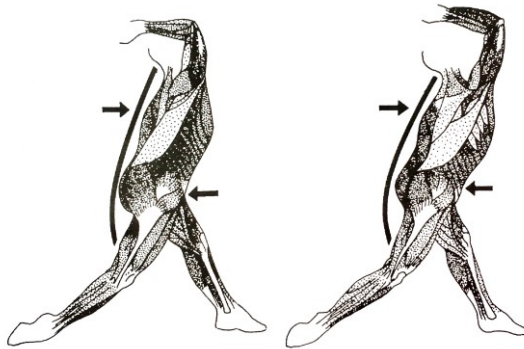
Obr. 4 Schematické znázornění klíčových úhlů ovlivňujících rychlost odhodu oštěpu. Upraveno podle Murakami et al. (2006).

K tomu, aby v rámci kinetického řetězce mohlo dojít k přenosu hybnosti a ke zrychlení segmentu, musí dojít k určité „stabilizaci“ v rámci řetězce, která se projeví ve zpomalení pohybu. V okamžiku, kdy oštěpař začíná zaujímat odhodové postavení, dochází k náhlému zpomalení (zabrdění) systému vrhač + oštěp. Na tomto zpomalení pohybu se významně podílí „zapření“ levé dolní končetiny (předpokládáme hod pravou horní končetinou). Díky tomuto zpomalení vznikají setrvačné síly, které zvyšují účinnost při přenosu hybnosti. Pohybová energie z dolních končetin se vlivem tohoto zpomalení přenáší na trup a dále na odhodovou horní končetinu. Tato fáze bývá nazývána jako „napínání luku“ (obr. 5). To způsobí předpoklad pro výrazný nárůst rychlosti pohybu odhodové končetiny, a tedy i oštěpu. Je třeba si uvědomit, že v odhodovém postavení, které musí být stabilní, se uplatňuje SSC cyklus, kdy dochází k dynamickému protažení svalů, které se přímo podílejí na výkonu, k nárůstu jejich předpětí a k ukládání elastické energie.



Obr. 5 Fáze napínání luku. Převzato z Šimon (2004).

Druhá fáze, ve které dochází díky přenosu hybnosti na segmenty těla s menší hmotností k jejich výraznému zrychlení, se nazývá „spuštění luku“ (obr. 6). Vyjdeme-li ze zákona o zachování hybnosti, pak zjednodušeně platí, že $m_1\Delta v_1 = m_2\Delta v_2$. Jestliže tedy část těla o hmotnosti m_1 , která je výrazně větší než hmotnost horní končetiny m_2 , změní rychlost pohybu (zpomalení) o Δv_1 , dojde k větší změně rychlosti (zrychlení pohybu) Δv_2 u horní končetiny.



Obr. 6 Fáze spuštění luku. Převzato z Šimon (2004).

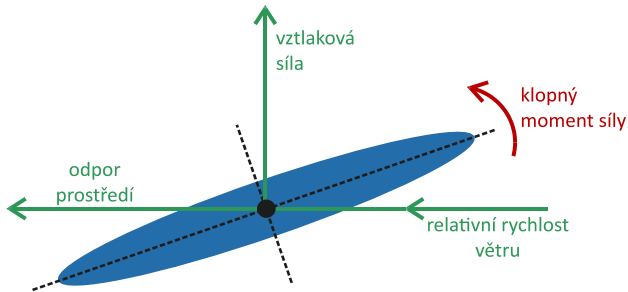
Hod diskem

Hod diskem se od hodu oštěpem zásadně liší provedením otočky, kdy rotační pohyb těla kolem jeho podélné osy se převádí na odhodovou rychlost disku. Vedle již zmíněné úhlové rychlosti hraje roli také vzdálenost disku od osy otáčení. Tedy např. pokrčení horní končetiny s diskem má při stejné úhlové rychlosti za následek snížení odhodové rychlosti.

Fáze hodu diskem zahrnují přípravu, vstup do otočky, letovou fázi, přechodovou fázi a odhod.

Výstupní proměnné jsou obdobné s klíčovými proměnnými u hodu oštěpem (rychlost odhodu, úhel odhodu, úhel nasazení). Rychlost odhodu se pohybuje u elitních sportovců kolem 20 až 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, úhel odhodu mezi 35° a 45° a úhel nasazení mezi -5° až -15°.

Ve srovnání s hodem oštěpem nemá disk tak výhodné aerodynamické vlastnosti, tedy zde hrají významnější roli síly působící při letu (odpor prostředí a aerodynamická vztlková síla). Tyto síly jsou ovlivněny relativní rychlostí větru a polohou disku (obr. 7).

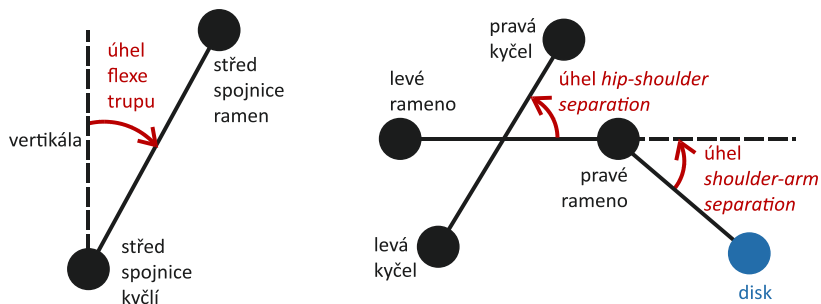


Obr. 7 Aerodynamické síly působící na disk po odhodu a jejich důsledky. Upraveno podle Bartlett (1992).

Pro dosažení co nejdelší vzdálenosti hodu je nutné maximalizovat délku trajektorie disku při provádění hodu, čímž dojde ke zvětšení poloměru otáčení a zvýšení obvodové rychlosti. Dalším důležitým faktorem je zvýšení velikosti sil generovaných vrhačem, ke kterému dochází zvýšením síly prostřednictvím silového tréninku.

Je důležité také mít na paměti, že provedení hodu diskem se liší mezi jednotlivými závodníky i mezi muži a ženami. Ženy využívají více sofistikovanou techniku, jejíž cílem je současné zvyšování rychlosti disku ve vertikálním i horizontálním směru. Zatímco muži více spoléhají na fyzickou sílu. Tento rozdíl může souviset také s různou hmotností disku u žen (1 kg) a mužů (2 kg).

Mezi důležité parametry řadíme úhel flexe trupu, tzv. úhel „*hip-shoulder separation*“ a úhel „*shoulder-arm separation*“ (obr. 8) které se spolupodílejí na výšce odhodu a na velikosti odhodové rychlosti.



Obr. 8 Schematické znázornění úhlu flexe trupu a úhlů *hip-shoulder separation* a *shoulder-arm separation*. Upraveno podle Leigh et al. (2008).

Vrh koulí

Ve vrhu koulí jsou využívány dvě různé techniky. První z nich je tzv. zádová technika (technika sunem), která zahrnuje lineární posun ze zadní do přední části kruhu zády ke směru odhodu a následnou rotaci vpřed. Tato technika byla vyvinuta v 50. letech 20. století a byla po dlouhou dobu technikou nejvíce využívanou. Vrh koulí s otočkou se objevil v 70. letech a je preferovaným stylem v dnešní době.

Stejně jako u hodů se sportovci snaží dosáhnout maximální rychlosti vrhu. V průběhu vrhu rychlost koule roste, avšak její hodnota kolísá. U zkušenějších vrhačů narůstá rychlost postupněji.

Vrh koulí při použití zádové techniky zahrnuje následující fáze: přípravná, zahájení, sun, přechodová, odhodová a závěrečná.

Z hlediska biomechaniky je zajímavé, že vektor rychlosti koule má během sunu a závěrečné fáze odlišný směr, což může limitovat výslednou rychlost odhodu. Z tohoto důvodu vrhači na začátku vrhu obvykle zaujmou snížené postavení, díky kterému dojde k „narovnání“ trajektorie pohybu koule a ztráta rychlosti vrhu je tak minimalizována.

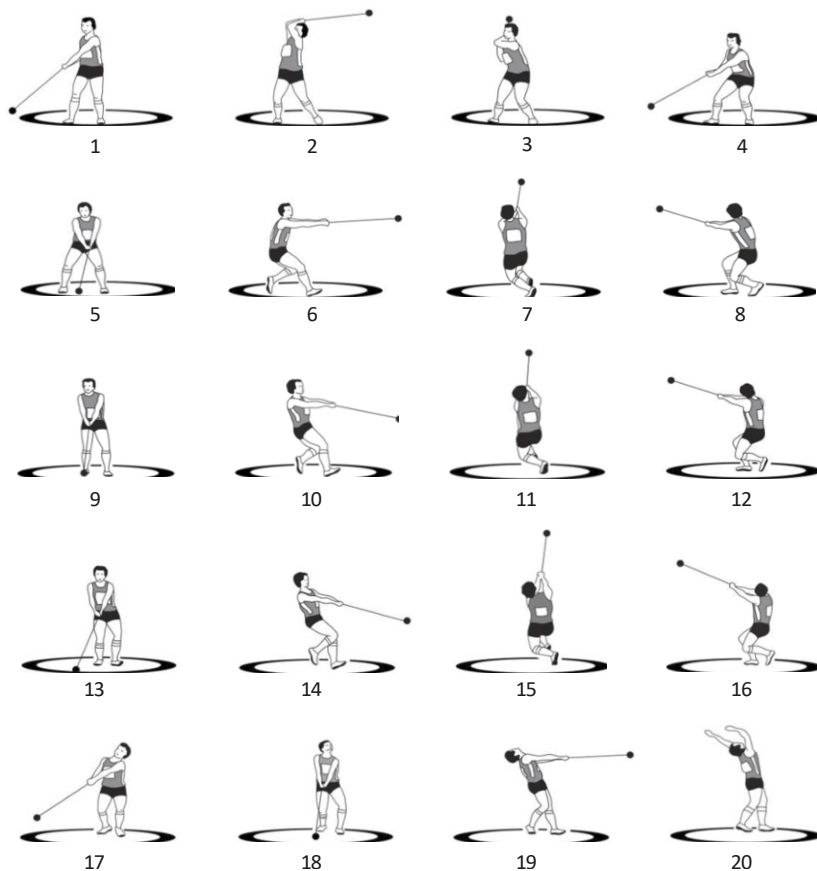
U techniky s otočkou můžeme rozlišovat první dvouoporovou fázi, první jednooporovou fázi, letovou fázi, druhou dvouoporovou a jednooporovou fázi a odhod.

Pro dosažení maximálního výkonu je zásadní správné načasování činnosti dolních a horních končetin. Vysoká rychlost vrhu je výsledkem adekvátního nárůstu momentu hybnosti (rotační pohyb) v průběhu všech fází.

Hod kladivem

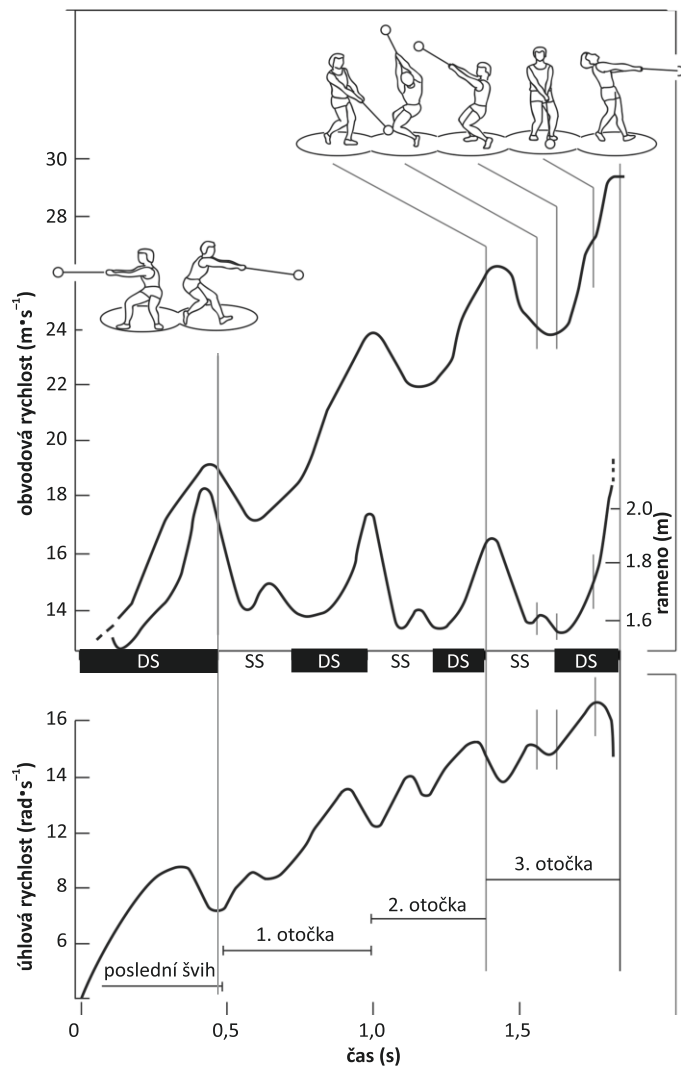
Hod kladivem má několik fází. Začíná úvodními nášvihy následovanými zpravidla třemi až čtyřmi otočkami a pak odhodem kladiva (obr. 9). Každá otočka se skládá z jednooporové a dvouoporové fáze. Více času závodníci tráví v dvouoporové fázi, protože ta je efektivnější při zrychlování pohybu kladiva.

Jak už bylo naznačeno výše, zvýšení odhodové rychlosti hlavice kladiva (rychlost obvodová) můžeme docílit jednak zvýšením úhlové rychlosti, tak prodloužením ramene (vzdálenosti těžiště hlavice kladiva od osy otáčení). Změny těchto tří parametrů v průběhu hodu jsou znázorněny na obr. 10.



Obr. 9 Fáze hodu kladivem. Úvodní nášvihy (1–3), první otočka (3–8), druhá otočka (8–12), třetí otočka (12–16), odhod (16–20).

Jednooporovou fází je během otoček možné vidět na 11 a 15, dvouoporové fáze probíhají na 4–6, 8–10, 12–14. Upraveno podle Castaldi et al. (2022).



Obr. 10 Změny úhlové a obvodové rychlosti kladiva v průběhu hodu. DS – dvooporová fáze, SS – jednooporová fáze. Upraveno podle Castaldi et al. (2022).

Kontrolní otázky a úkoly

1. Uveďte základní rozdíl mezi hodem a vrhem.
2. Jak se liší trajektorie letu při šikmém vrhu, když uvažujeme odpor prostředí?
3. Na příkladu vysvětlete důsledky Newtonových zákonů pro rotační pohyb.
4. Co je Magnusův jev a jak se využívá ve sportu?
5. Definujte kinetický řetězec a popište jeho praktické využití u hodů a vrhů.
6. Popište, jaké proměnné ovlivňují kinematiku letu tělesa po odhodu.

Literatura

- Bartlett, R. M. (1992). The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, 10(5), 467–510. <https://doi.org/10.1080/02640419208729944>
- Bartonietz, K. (2000). Hammer throwing: Problems and prospects. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport* (pp. 458–486). Blackwell Science.
- Brice, S. M., Ness, K. F., & Rosemond, D. (2011). An analysis of the relationship between the linear hammer speed and the thrower applied forces during the hammer throw for male and female throwers. *Sports Biomechanics*, 10(3), 174–184. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.592210>
- Castaldi, G. M., Borzuola, R., Camomilla, V., Bergamini, E., Vannozzi, G. & Macaluso, A. (2022). Biomechanics of the hammer throw: Narrative review. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, Article 853536. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.853536>
- Dinu, D., Houel, N., & Louis, J. (2019). Effects of a lighter discus on shoulder muscle activity in elite throwers, implications for injury prevention. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(4), 592–602. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6670055>
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Prentice Hall.
- Hubbard, M. (1989). The throwing events in track and field. In C. L. Vaughan (Ed.), *Biomechanics of sport* (pp. 213-238). CRC Press.
- Jandačka, D. (2012). *Základy biomechaniky tělesných cvičení*. Masarykova univerzita. <https://publi.cz/books/47/index.html>
- Lanka, J. (2000). Shot putting. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport* (pp. 435-457). Blackwell Science.

- Leigh, S., Gross, M. T., Li, L., & Yu, B. (2008). The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters. *Sports Biomechanics*, 7(2), 173–193. <https://doi.org/10.1080/14763140701841399>
- Menzel, H.-J. (1986). Biomechanics of javelin throwing. *New Studies in Athletics*, 3, 85–98.
- Morriss, C., & Bartlett, R. (1996). Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw. *Sports Medicine*, 21(6), 438–446. <https://doi.org/10.2165/00007256-199621060-00005>
- Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P. V., & Ito, A. (2006). Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 21(2), 67–80.
- Schofield, M., Cronin, J. B., Macadam, P., & Hébert-Losier, K. (2019). Rotational shot put: A phase analysis of current kinematic knowledge. *Sports Biomechanics*, 21(3), 278–296. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1636130>
- Šimon, J. (2004). *Atletické vrhy a hody*. Olympia.
- Vindušková, J. et al. (2003). *Abeceda atletického trenéra*. Olympia.