



Fakulta
tělesné kultury

ŠKOLA DIAGNOSTIKY

Biomechanika odrazu

Miroslav Janura
Lucia Bizovská
Zdeněk Svoboda
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

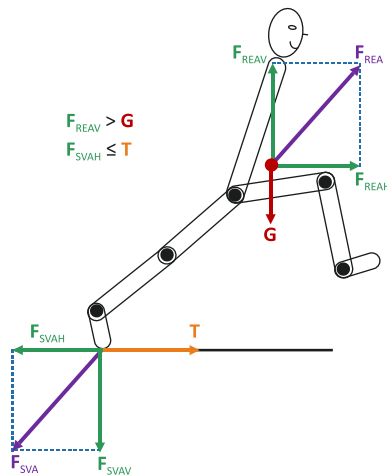
Odras provází každého člověka v průběhu většiny jeho života. Na tuto činnost se můžeme dívat z hlediska snahy o dosažení maximálního výkonu (např. skok daleký, skok vysoký, skok na lyžích, ...), ale také jako na základní činnost, bez které by nemohly být realizovány běžné lokomoční aktivity – opakované odrazy při chůzi a běhu. Jedná se o komplex multikloubních akcí, při kterém spolupůsobí svaly kotníku, kolenního a kyčelního kloubu atd. při vytváření výsledného pohybu.

Do skupiny odrazových aktivit můžeme také, vedle tradičně používaného odrazu pomocí dolních končetin, zařadit odraz s využitím horních končetin (např. odraz horních končetin při přeskoku, při přemetu, ...).

Princip odrazu

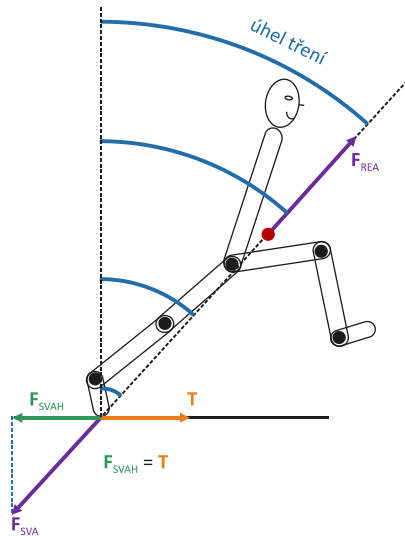
Princip odrazu je schematicky znázorněn na obr. 1. Na každé těleso v tíhovém poli Země, tedy i na lidské tělo, působí tíhová síla. Proto je nezbytné, chceme-li „zvednout“ tělo do určité výšky nad zemský povrch, vyvinout sílu. Nebudeme-li uvažovat situace, kdy se tělo dostává do bezoporové fáze např. při kontaktu dopravního prostředku s terénní nerovností (lyžař, cyklista, ...), je touto silou síla svalová. Ta působí na kontaktu chodidla a podložky směrem šikmo dolů. Za předpokladu, že provádíme odraz na vodorovné podložce pod úhlem z intervalu (0° ; 90°), dochází k rozkladu svalové síly do dvou směrů. Její složka F_{SVAV} kolmá k povrchu způsobuje deformaci povrchu. Složka F_{SVAH} působící ve směru povrchu ovlivňuje posun chodidla po podložce – uklouznutí. Uklouznutí brání třecí síla T , která působí na kontaktu chodidla s podložkou proti působení síly F_{SVAH} . Při splnění nerovnosti $T \geq F_{SVAH}$ jsou vytvořeny podmínky pro uskutečnění odrazu, k uklouznutí nedojde.

Na základě zákona akce a reakce působí na lidské tělo síla stejně velká opačně orientovaná – reakční síla podložky. Reakční sílu rozložíme podobně jako sílu svalovou do dvou složek, tj. vertikální a horizontální složku při odrazu na vodorovné podložce. V tomto případě působí proti tíhové síle vertikální složka reakční síly F_{REAV} . Podmínkou pro uskutečnění odrazu je splnění nerovnosti $F_{REAV} > G$.



Obr. 1 Princip odrazu

Se změnou úhlu odrazu dochází ke změně velikosti jednotlivých složek svalové síly při zachování její velikosti. Při zmenšení úhlu odrazu se postupně snižuje velikost vertikální složky svalové síly F_{SVAV} , horizontální složka svalové síly F_{SVAH} narůstá. Dochází k porušení nerovnosti $T \geq F_{SVAH}$ a k následnému uklouznutí. Tyto změny nejsou způsobeny pouze nárůstem horizontální složky svalové síly, ale také zmenšením velikosti třecí síly, kterou určíme ze vztahu $T = f \cdot F_{SVAH}$, kde f je koeficient smykového tření. Úhel, ve kterém lze vzhledem ke stávající úrovni tření uskutečnit odraz, se nazývá **úhel tření** (obr. 2).

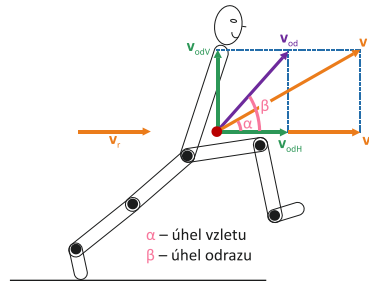


Obr. 2 Úhel tření

V praxi předchází vlastní odrazové aktivitě další pohybová činnost – rozběh při skoku do dálky, rozběh při skoku přes překážku, nájezd ve skoku na lyžích apod. Tato činnost ovlivňuje výchozí podmínky pro provedení odrazu a podílí se na dosaženém výkonu. Jestliže provádíme např. skok do dálky s rozběhem, musíme k vektoru odrazové rychlosti přičíst vektor rychlosti rozběhu. Výslednice obou vektorů nám udává, pod jakým úhlem (v jakém směru) se bude pohybovat naše tělo.

Trajektorie těžiště těla po odrazu (s výjimkou vertikálního skoku) odpovídá šikmému vrhu. Pro dosažení maximálního výkonu je tedy důležitá velikost a směr vektoru počáteční rychlosti \mathbf{v}_0 . Složením rozběhové rychlosti \mathbf{v}_r a horizontální složky odrazové rychlosti \mathbf{v}_{odH} získáme výslednou rychlost v horizontálním směru \mathbf{v}_H . Jejím složením s vertikální rychlostí odrazu \mathbf{v}_{odV} je vektor výsledné rychlosti \mathbf{v} . Úhel

mezi vektorem výsledné rychlosti \mathbf{v} a horizontálou se nazývá **úhel vzletu**. Tento úhel je menší než úhel odrazu (obr. 3).



Obr. 3 Úhel odrazu a úhel vzletu

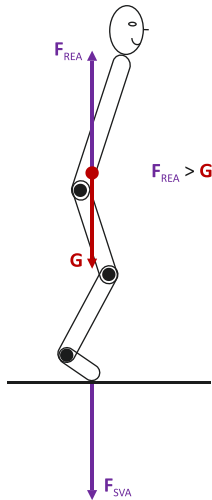
Vertikální skok

Vertikální skok (obr. 4) je speciálním případem odrazu, kdy svalová síla působí ve vertikálním směru (platí $\mathbf{F}_{\text{REA}} = \mathbf{F}_{\text{REAV}}$). Pro uskutečnění odrazu musí být v tomto případě splněna podmínka $\mathbf{F}_{\text{REA}} > \mathbf{G}$.

Po úpravě dostáváme základní **pohybovou rovnici** ve tvaru

$$\mathbf{F}_{\text{REA}} - \mathbf{G} - m \cdot \mathbf{a} = 0,$$

kde $m \cdot \mathbf{a}$ je setrvačná síla.



Obr. 4 Princip vertikálního odrazu

Vertikální skok patří do skupiny svislých vrhů. Dosažená výška je určena velikostí počáteční (odrazové) rychlosti v_{od} . Je považován za základní test pro posouzení výbušné síly dolních končetin¹. Jeho výhodou je relativní jednoduchost pohybové struktury, s minimálními prostorovými nároky na provedení (limitujícím prostorovým faktorem je např. výška stropu v místnosti). Nevýhodou je obtížné určení přesné výšky skoku.

Při testování výbušné síly dolních končetin jsou využívány různé modifikace vertikálního skoku v závislosti na typu řešené úlohy. Jednotlivé varianty se mohou lišit počáteční polohou těžiště, doprovodnými pohyby paží a trupu, počtem opakování apod. Jedním z často používaných postupů je dělení vertikálního skoku na:

¹ Úroveň výbušné síly dolních končetin lze také zjistit pomocí výkonu ve skoku do dálky z místa, kdy změření délky je relativně jednoduché. Musíme si však uvědomit, že tuto dovednost nemá mnoho jedinců dobře zvládnutou. Výsledek skoku může tedy být významně ovlivněn jeho špatným provedením.

- Skok z počáteční statické pozice – *squat jump*
Výchozí poloha: flexe v kolenním kloubu s mírnou flexí v kyčelním kloubu, zahájení pohybu směrem vzhůru.
- Skok s protipohybem – *countermovement jump*
Výchozí poloha: vzpřímený stoj, zahájení pohybu směrem dolů.
- Skok po seskoku – *drop jump*
Vlastnímu odrazu předchází brždění pohybu při dopadu.

Mezi tři základní postupy pro měření výšky skoku patří **dosahovací metoda (Sargentův skok)**, určení výšky skoku **z doby trvání bezoporové fáze** a na základě **velikosti silového impulsu**. Každá z uvedených metod má své uplatnění. Budeme-li chtít průběžně zjišťovat úroveň výbušné síly dolních končetin a její změny např. v průběhu přípravného období, použijeme Sargentův skok. Současně si však musíme uvědomit, že malé rozdíly ve výšce skoku mohou být způsobeny nejen změnami v odrazové síle, ale také chybou měření. Budeme-li se zajímat např. o vliv specializované tréninkové intervence, potom je pro měření výšky skoku vhodnější použít silovou plošinu.

Dosahovací metoda – Sargentův skok

Dosahovací metodou je výška výskoku určena jako rozdíl maximální výšky dosahu při stoje v plantární flexi a výškou dosahu při výskoku. Tato metoda patří mezi nejstarší používané postupy. Její výhodou je jednoduchý způsob měření a minimální nároky na použité zařízení. Při jejím nejjednodušším provedení mohou být značky znázorňující dosažené výšky vyznačené na zdi např. křídou. Je však možné využít i různé pomůcky, např. konstrukce typu Vertec. Nevýhodou je možnost vzniku chyb různého původu, např. nesprávná počáteční poloha nohou, rušivý vliv prostředí (nízký strop), výskok v jiném než vertikálním směru, nevhodné načasování pohybu horní končetiny a další.

Určení výšky skoku z doby trvání bezoporové fáze

Pro svislý vrh platí, že doba výstupu tělesa do maximální výšky je stejná jako doba sestupu (volného pádu). Při použití měřicího zařízení, které umožní určení doby trvání bezoporové fáze výskoku (např. kontaktní podložky, systémy založené na principu fotobuněk apod.), vypočítáme výšku skoku ze vztahu

$$h = \frac{gt_{bf}^2}{8},$$

kde $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ je tíhové zrychlení, t_{bf} je doba trvání bezoporové fáze. Při odvození tohoto vzorce vycházíme ze vztahu pro dráhu tělesa pohybujícího se volným pádem

$$s = \frac{1}{2}gt^2,$$

kde t je čas pádu. Za t je proto nutno dosadit polovinu změřeného času trvání bezoporové fáze

$$t = \frac{t_{bf}}{2}.$$

Výhodou této metody je relativně přesné a jednoduché měření. Mezi nevýhody můžeme zařadit nutnost speciálního měřicího zařízení a možnost ovlivnění výšky skoku změnou doby trvání bezoporové fáze skoku (pokrčení dolních končetin před dopadem, dopad na plná chodidla).

Určení výšky skoku na základě velikosti silového impulsu

Výšku skoku určíme z velikosti silového impulsu vertikální složky reakční síly podložky \mathbf{F}_{REAV} během odrazu. Časový průběh této síly získáme ze záznamu provedení odrazu na speciálních silových plošinách (obr. 5, 6). Velikost silového impulsu I určíme ze vztahu

$$I(t) = \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F}_{REAV}(t)dt = m\mathbf{v}_{od},$$

kde m je hmotnost skokana, t_1 je doba začátku odrazu, t_2 je okamžik ukončení kontaktu nohou s podložkou (konec odrazu), \mathbf{v}_{od} je odrazová rychlost skokana. Při výpočtu vycházíme ze vztahu pro maximální výšku tělesa vrženého ve svislém směru

$$h = \frac{v_0^2}{2g'}$$

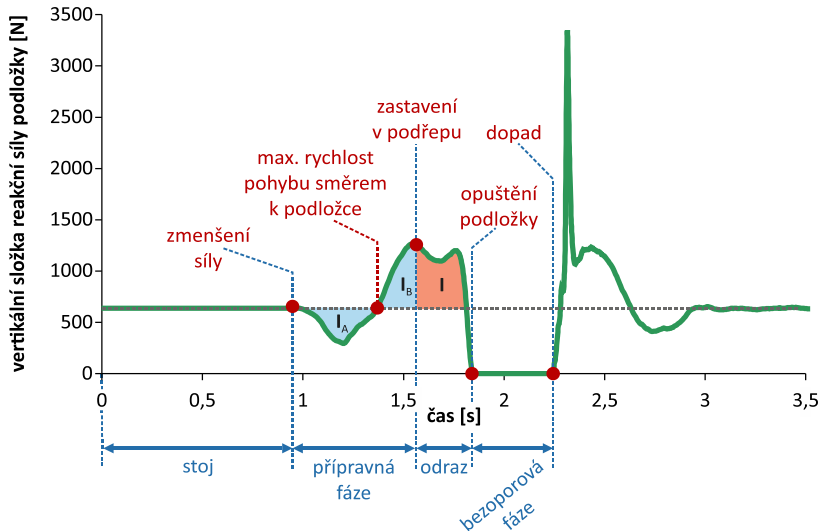
kde $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ je tíhové zrychlení a v_0 je počáteční rychlost vrženého tělesa. Tato rychlost je v tomto případě odrazovou rychlostí \mathbf{v}_{od} skokana, proto z rovnice pro impulz síly vyjádříme odrazovou rychlost jako

$$\mathbf{v}_{od} = \frac{I}{m'}$$

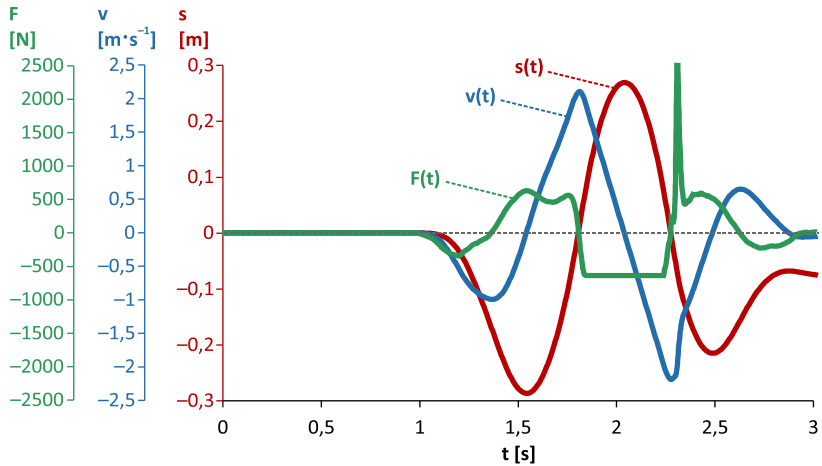
a dosadíme ji do výše uvedeného vztahu pro výšku. Po úpravě dostáváme výsledný vztah pro určení výšky skoku

$$h = \frac{I^2}{2gm^2}$$

Výhodou tohoto postupu je přesnost měření, nevýhodou je nezbytnost pořízení finančně nákladné měřicí plošiny.



Obr. 5 Záznam vertikální složky reakční síly podložky v průběhu času při provedení vertikálního skoku s protipohybem (tzv. *countermovement jump*). Vyznačené plochy I_A a I_B během přípravné fáze odrazu mají stejný obsah a znázorňují akcelerační (I_A) a brzdící (I_B) části této fáze. Obsah plochy I je impuls síly využívaný pro výpočet výšky skoku.



Obr. 6 Odvození závislosti rychlosti (v) a dráhy (s) na čase ze závislosti reakční síly (F) na čase (t) při provedení vertikálního skoku s protipohybem (tzv. *countermovement jump*)

Kontrolní otázky a úkoly

1. Vyjmenujte nutné podmínky pro uskutečnění odrazu. Co se stane při jejich porušení? Uveďte praktický příklad.
2. Na čem závisí velikost třecí síly?
3. Jak se liší podmínky pro uskutečnění odrazu od podmínek pro uskutečnění vertikálního skoku?
4. Na testování čeho se v praxi využívá vertikální skok?
5. Vyjmenujte metody pro určení výšky vertikálního skoku a popište, z čeho vychází určení výšky výskoku u každé z nich. Která z metod je nejpřesnější?

Literatura

- Ackland, T. R., Eliot Bruce, S., & Bloomfield, J. (2009). *Applied anatomy and biomechanics in sport* (2nd ed.). Human Kinetics.
- Chapman, A. E. (2008). *Biomechanical analysis of fundamental human movements*. Human Kinetics.
- Jandačka, D., & Uhlář, R. (2011). *Základy biomechaniky sportu a tělesných cvičení*. Ostravská univerzita.