



České vysoké učení technické
v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství



Úloha KA03/č. 1:

Měření sil pod chodidly na odrazové desce

Ing. Patrik Kutílek, Ph.D., Ing. Adam Žižka
(kutilek@fbmi.cvut.cz, zizka@fbmi.cvut.cz)

Poděkování:

Tato experimentální úloha vznikla za podpory Evropského sociálního fondu v rámci realizace projektu „Modernizace výukových postupů a zvýšení praktických dovedností a návyků studentů oboru Biomedicínský technik“, CZ.1.07/2.2.00/15.0415.

Období realizace projektu 11. 10. 2010 – 28. 2. 2013.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

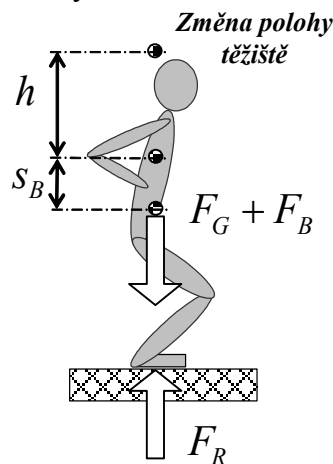
1. Měření sil pod chodidly na odrazové desce

Úkoly měření a výpočtu

- Stanovte maximální velikost síly svalů a její průměrnou hodnotu.
- Porovnejte velikosti sil na plošině pro skok snožmo a na jedné noze, a bez a se zátěží (např. batohem).
- Určete přibližnou velikost impulzu síly svalů.
- Určete přibližně práci a výkon svalů.
- Určete za zjednodušujících předpokladů velikost práce svalů a výšku skoku.

Teoretický základ řešených úloh

Ve sportovní biomechanice a ergonomii se můžeme setkat s měřením dynamiky pohybu siloměrnou deskou. Při měření zjišťujeme průběh velikosti celkové síly pod chodidly například během chůze po rovině, výskoku, chůzi po schodech, atd. Základní analýzou naměřených hodnot síly pod chodidly lze například určit impulsy síly, rychlost výskoku při odrazu a odtud výšku skoku. Z grafu závislosti síly na čase lze určit závislost změny rychlosti pohybu na čase. Sestrojením závislosti síly na změně polohy těžiště lze určit vykonanou práci a výkon.



Obr.1: Změna polohy těžiště a silové účinky při výskoku.

Výpočet síly, práce a výkonu svalů

Za zjednodušených předpokladů lze určit sílu působící vertikálně na podložku, která je generována svalstvem, využitím druhého a třetího Newtonova zákona:

$$0 = F_R - F_G - F_B \Rightarrow F_B = F_R - F_G, \quad (1)$$

kde síla F_R je reakční síla změřena pomocí siloměrné podložky a $F_G = m \cdot g$ je tíhová síla. Nechť celková vykonaná práce svalů je dána obecným vztahem:

$$W_B = \int_{s_0}^{s_B} F_B \cdot ds. \quad (2)$$

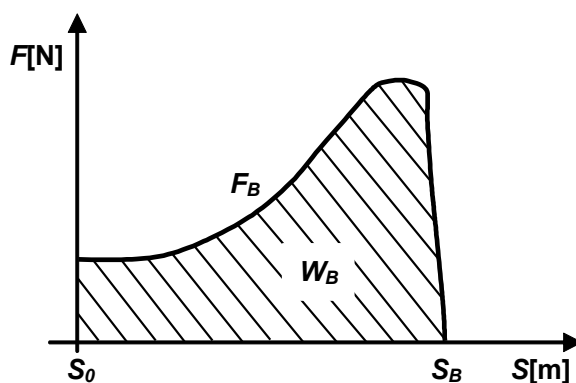
Za zjednodušujících předpokladů konstantní velikosti F_B je vykonaná práce svalů:

$$W_B = F_B \cdot s_B,$$

kde s_B je hloubka podřepu, resp. dráha vykonaná těžištěm během odrazové fáze. Průměrný výkon svalů skokana určíme vztahem:

$$P_B = \frac{W_B}{t_B}, \quad (3)$$

kde t_B je doba, za kterou byla práce vykonána, tj. doba působení svalů z podřepu až do odrazu, kterou je možné odečíst z grafu silových poměrů na siloměrné desce.



Obr.2: Určení práce svalů.

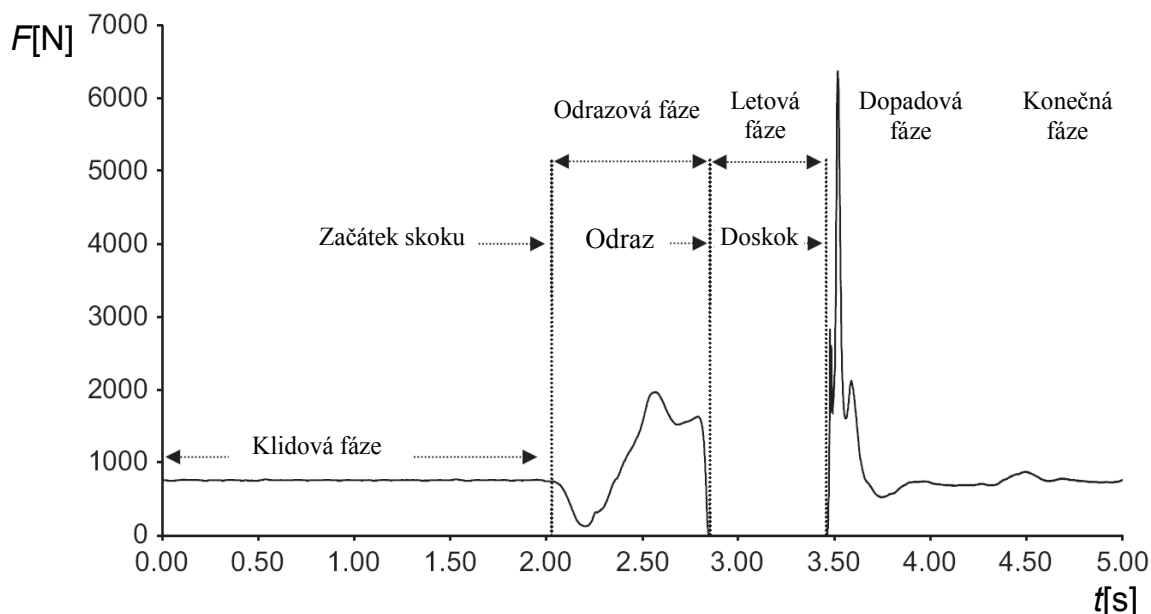
Určení kinematických veličin pohybu

Víme, že impulz síly je:

$$\vec{I}_B = \int_{t_0}^{t_B} \vec{F}_B \cdot dt \quad (4)$$

a za zjednodušujících předpokladů konstantní velikosti \vec{F}_B tedy:

$$\vec{I}_B = \vec{F}_B \cdot t_B. \quad (5)$$



Graf 1: Typický průběh silových účinků měřených siloměrnou odrazovou deskou při skoku.

Neboť je impulz síly roven změně hybnosti tělesa, pak můžeme psát za předpokladu $v_0 = 0$ počáteční nulové rychlosti tělesa, že v okamžiku odrazu:

$$\vec{F}_B \cdot t_B = m \cdot \vec{v}_B, \quad (6)$$

a odtud tedy rychlost v okamžiku odrazu:

$$\vec{v}_B = \frac{\vec{F}_B \cdot t_B}{m}. \quad (7)$$

Rychlost v okamžiku odrazu také můžeme určit z předpokladu, že změna kinetické energie je rovna práci, a neboť $v_0 = 0$, pak:

$$E_k = W_B = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}_B^2, \quad (8)$$

a odtud velikost rychlosti v okamžiku odrazu:

$$|\vec{v}_B| = \sqrt{\frac{2 \cdot W_B}{m}} \quad (9)$$

a zrychlení při odrazu:

$$\vec{a}_B = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad (10)$$

za předpokladu zjednodušení tj. rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu je zrychlení:

$$a_B = \frac{v_B}{t_B}. \quad (11)$$

Pokud je velikost okamžité rychlosti ve směru osy y :

$$v = v_B - g \cdot t, \quad (12)$$

pak pro maximální výšku výstupu, kde je okamžitá rychlost tělesa nulová, platí:

$$0 = v_B - g \cdot t \Rightarrow t = \frac{v_B}{g}, \quad (13)$$

a odtud určíme po dosazení do rovnice pro svislý pohyb maximální dosaženou výšku výskoku:

$$y_{\max} = h = y_0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_B^2}{g}. \quad (14)$$

Pokud víme, že síly svalů pohybují tělem člověka a konají práci, pak práce svalů je rovna změně potenciální polohové energie těla během pohybu a můžeme psát:

$$W_B = E_p \quad (15)$$

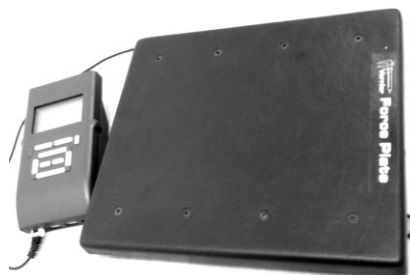
a úpravou vztahu:

$$s_B \cdot F_B = (s_B + h) \cdot F_G, \quad (16)$$

kde h je výška skoku, tj. rozdíl polohy těžiště skokana před podřepem a při dosažení maximální výšky skoku. Odtud za zjednodušujících předpokladů víme, že svalová síla:

$$F_B = \left(\frac{s_B + h}{s_B} \right) \cdot F_G \Rightarrow h = \frac{s_B \cdot (F_B - F_G)}{F_G}. \quad (17)$$

K měření síly můžeme použít běžné robustnější váhy nebo tzv. odrazových desek sloužících k určení sil pod chodidly a spojených k PC z důvodu záznamu a analýzy dat. Výstupem je záznam průběhu velikosti síly na čase.



Obr.3: Siloměrná odrazová deska firmy Vernier s jedním vážním čidlem uprostřed desky.