



Fakulta
tělesné kultury

ŠKOLA DIAGNOSTIKY

Posturální stabilita

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

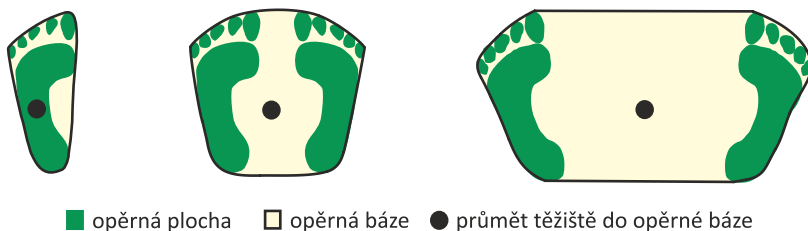


EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Základní terminologie

Plochy a body

Opěrná plocha (*area of support*) je část podložky, která je v přímém kontaktu s částí těla, kde je realizována opora. **Opěrná báze** (*base of support*) je plocha vzniklá spojením všech vnějších hranic opěrné plochy (obr. 1). S určitým zjednodušením tedy můžeme předpokládat, že při stoji na jedné dolní končetině je obsah plochy pro opěrnou bázi a opěrnou plochu stejný. V některých literárních pramenech je opěrná plocha uváděna jako část **plochy kontaktu** (*area of contact*), na které je realizována opora. Pro určité situace (pohyb novorozence, bezvědomí apod.) je definována ještě **úložná plocha** (*area of load*), kdy na ploše kontaktu nedochází k organizaci řízené opory. Pro většinu situací je však dostačující použití dvou základních pojmů – opěrná plocha, opěrná báze.



Obr. 1 Grafické znázornění opěrné plochy a opěrné báze

Těžiště (**COM**, *center of mass*) je působiště tíhové síly, resp. hypotetický bod, vzhledem ke kterému je výsledný moment tíhových sil, působících na jednotlivé segmenty daného tělesa, roven nule. Polohu těžiště lze stanovit pomocí experimentálních biomechanických metod. Nejčastěji využívanou je tzv. **analytická metoda**, která je

založena na určení těžišť jednotlivých segmentů těla a na určení momentů tíhových sil působících na tyto segmenty¹. Vertikální projekce COM do opěrné báze (průsečík svislé těžnice s opěrnou bází) je v literatuře označována jako **COG** (*center of gravity*). **COP** (*center of pressure*) je označení pro působiště vektoru výsledné reakční síly podložky². Jedná se o vážený průměr všech tlaků působících na kontaktní plochu.

Rovnováha z fyzikálního pohledu

Z pohledu klasické mechaniky je **rovnováha** takový stav tělesa, kdy výsledkem působení silového pole tvořeného všemi na něj působícími silami, je klidový stav tělesa (vzhledem k pevně zvolenému bodu, např. počátek soustavy souřadnic, se těleso nepohybuje). Termínem **statická rovnováha** označujeme stav tělesa, který nastává, když **vektorový součet sil** působících na těleso a **vektorový součet jejich momentů** vzhledem k dané ose otáčení, je **roven nule**. Tyto podmínky rovnováhy můžeme zapsat pomocí následujících vztahů pro působící síly

$$\sum_i \mathbf{F}_i = 0,$$

a jejich momenty

$$\sum_i \mathbf{M}_i = 0.$$

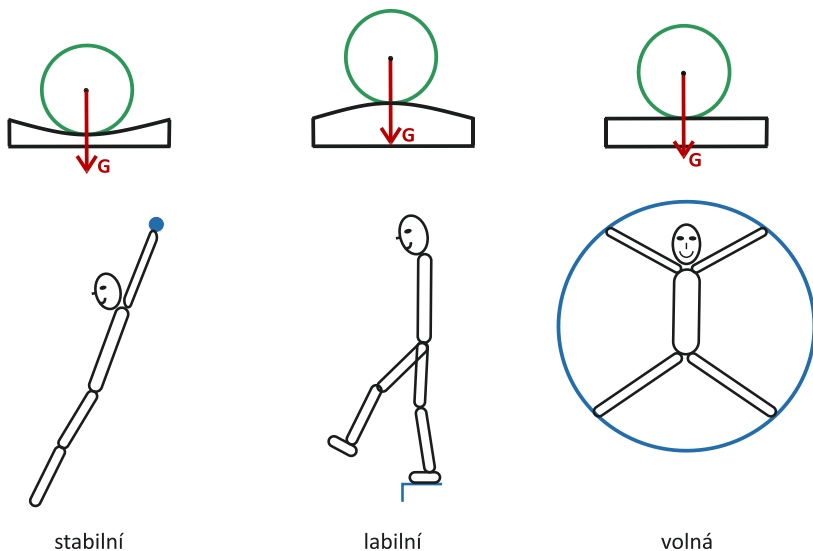
Zjednodušeně tedy můžeme říct, že **statická rovnováha nastane, jestliže se působící síly a jejich účinky vyruší**.

Z uvedeného fyzikálního základu vyplývá, že pro těleso, které je ve stavu (statické) rovnováhy, platí, že jeho těžiště se nachází nad opěrnou bází. Těleso v tomto případě zaujímá jednu ze tří základních rovnovážných poloh, které se liší podle změny polohy těžiště po

¹ Pro detailní vysvětlení pojmu těžiště a analytické metody viz studijní materiál Biomechanika: pohybový systém.

² Pro vysvětlení vzniku reakční síly podložky a podrobnosti k pohybu COP viz studijní materiál Biomechanika odrazu a Biomechanika chůze.

vychýlení tělesa – stabilní (stálou), labilní (vratkou) a indiferentní (volnou) rovnovážní polohu (obr. 2). Obecně platí, že těleso se snaží po vychýlení zaujmout takovou polohu, ve které bude jeho potenciální energie minimální, platí tzv. **princip minima potenciální energie**.

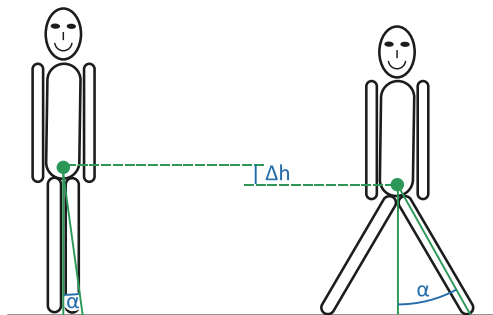


Obr. 2 Schematické znázornění rovnovážných poloh pro těleso kruhového průřezu (horní část) a lidské tělo (dolní část)

Stabilní (stálá) rovnovážná poloha je typická pro každé zavěšené těleso, kdy potenciální energie dosahuje minimální hodnoty. Po vychýlení tělesa těžiště stoupá, potenciální energie tělesa se zvyšuje. Po ukončení působení síly se těleso vrací zpět do původní polohy nebo kolem ní začne kmitat. Potenciální energie tělesa nacházejícího se v **labilní (vratké) rovnovážní poloze** dosahuje maximální hodnoty. Po vychýlení těžiště dojde ke snížení potenciální energie tělesa, proto je k návratu do původní polohy nezbytné vykonání práce. **Indiferentní**

(volná) rovnovážná poloha je charakteristická konstantní výškou těžiště a hodnotou potenciální energie po vychýlení tělesa. Vertikální těžnice prochází v průběhu celého pohybu kontaktním bodem tělesa s podložkou. U lidského těla se tato poloha vyskytuje pouze výjimečně (např. zorbing).

Statickou rovnováhu je u těles možné zvýšit snížením polohy těžiště a zvětšením opěrné báze. Zatímco pro tuhá tělesa platí toto pravidlo obecně, u lidského těla musíme brát v úvahu „velikost rozkročení“. Při velké vzdálenosti chodidel se zvyšuje naše stabilita v rovině frontální, avšak omezením velikosti svalové kontrakce a zmenšením reaktibility se zhoršuje stabilita v rovině sagitální. Parametrem pro posouzení stability tělesa je úhel stability (obr. 3), který určuje míru stability tělesa proti převržení.



Obr. 3 Změna výšky těžiště nad podložkou (Δh) a velikost úhlu stability (α) při porovnání stoje spojného a rozkročného

V dynamických situacích svíslá těžnice neprochází vždy opěrnou bází, rovnováha je zajištěna působením soustavy vnitřních a vnějších sil. Jejich výslednice, kterou získáme složením těchto sil, musí procházet opěrnou bází (obr. 4 vlevo). Příkladem rovnováhy v dynamické situaci je pohyb těla při běhu v zatáčce (obr. 4 vpravo). Působení odstředivé

síly F_{od} je vyrovnáno náklonem těla tak, že výsledná síla F , která vzniká složením tíhové síly G a síly F_{od} , prochází opěrnou bází. Pro úhel náklonu platí

$$\tan \alpha = \frac{F_{od}}{G}.$$

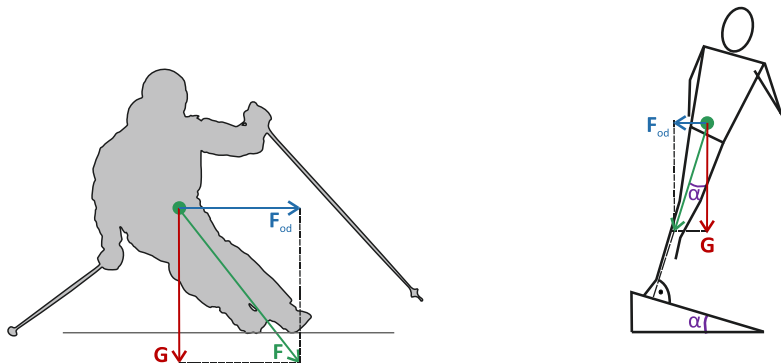
Odstředivou sílu F_{od} určíme jako součin odstředivého zrychlení běžce a_{od} a jeho hmotnosti m . S ohledem na výpočet velikosti odstředivého zrychlení jako

$$a_{od} = \frac{v^2}{r},$$

kde v je rychlost běžce a r je poloměr zatáčky, dostáváme po dosazení

$$\tan \alpha = \frac{ma_{od}}{mg} \rightarrow \tan \alpha = \frac{v^2}{rg},$$

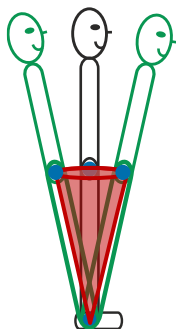
kde g je tíhové zrychlení. Úhel α značí zároveň úhel sklonu dráhy, po které se běžec pohybuje.



Obr. 4 Rovnováha v dynamických situacích

Stabilita lidského těla

Lidské tělo se během stoje nachází v labilní rovnovážné poloze. Aby nedošlo k pádu jedince, musí být pozice COM resp. COG ve stoji udržována ve specifických hranicích, vztahujících se k individuální opěrné bázi, tzv. **limity stability** (obr. 5). Limity stability v bipedálním stoji jsou maximální výchylky (vzdálenosti, úhly), ve kterých se může jedinec naklánět v jakémkoli směru bez ztráty stability, nedochází ke změně opěrné báze. Tyto výchylky ve vzpřímeném stoji vytvářejí plášť kužele.



Obr. 5 Limity stability tvořící plášť kužele

Postura je z biomechanického hlediska definována jako orientace tělesných segmentů vzhledem k vektoru tíhové síly. Termínem **stabilita** je fyzikálně označována schopnost systému se při působení podnětu ustálit v rovnovážném stavu (v limitech stability) a po odeznění podnětu se vrátit do výchozího stavu. Stabilitu lze tedy „kvantifikovat“ na základě míry úsilí, které je nezbytné k opětovnému získání rovnováhy tělesa bezprostředně po jejím narušení v tíhovém poli Země. Pro stojícího člověka se tak jedná o schopnost udržet ve stoji COG v opěrné bázi. V tomto případě preferujeme termín **posturální stabilita**, který se často definuje jako schopnost zajistit

vzpřímené držení těla a reagovat na změny zevních a vnitřních sil tak, aby nedošlo k nezamýšlenému nebo neřízenému pádu.

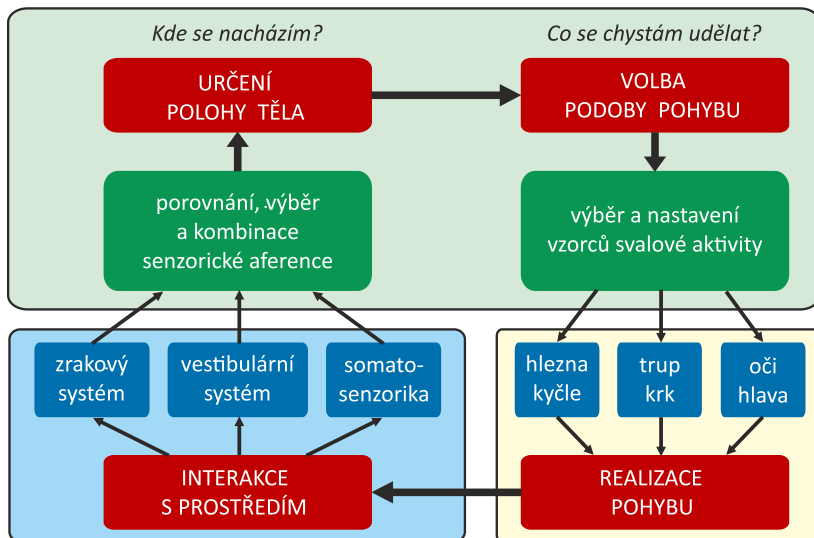
K zajištění posturální stability je nutný soubor statických a dynamických strategií, který označujeme pojmy **rovnováha** (*balance*). Pokud se nemění opěrná báze, je možné označit **rovnováhu** jako **statickou**. Je-li tělo v pohybu, při kterém dochází ke změně opěrné báze, jedná se o **rovnováhu dynamickou**. Termín statická rovnováha není přesný, neboť nebere v úvahu fyziologické kolísání, tzv. **posturální titubace** (*body sway*). Jedná se o kontinuální korekční pohyby za účelem udržení vertikální postury při klidném stoji. K vytvoření podmínek pro odpovídající posturální stabilizaci je nutné nastavení účelově orientované postury – **atitudy**. Jedná se o situační startovací posturu, ze které je možné provést plánovaný pohyb.

Z fyzikálního hlediska je úroveň posturální stability nepřímo úměrná výšce těžiště nad opěrnou bází a přímo úměrná hmotnosti tělesa a velikosti opěrné báze. Je ovlivněna také charakterem kontaktu těla s opěrnou plochou, postavením a vlastnostmi segmentů a vzdáleností COG od hranic opěrné báze. Je však nutné si uvědomit, že větší velikost opěrné báze obecně zvyšuje posturální stabilitu pouze u tuhých těles. V případě lidského těla musíme vzít v úvahu, že důležitou roli pro udržení posturální stability hraje kombinace pohybů v jednotlivých kloubech. Se zvětšující se opěrnou bází např. při širokém stoji rozkročném, se tak zvyšuje posturální stabilita pouze v rovině frontální. V rovině sagitální naopak dochází vlivem omezení pohybu v kloubech ke zhoršení stability. Podobně větší hmotnost jedince zvyšuje posturální stabilitu v situacích, kdy se snažíme tohoto jedince vychýlit z dané polohy. V situacích, kdy došlo k narušení statické rovnováhy a člověk se snaží o její obnovení, však může být větší hmotnost faktorem, který obnovení rovnováhy ztěžuje. Záleží např. na tom, co je příčinou větší hmotnosti, jinými slovy, která tkáň (aktivní, pasivní) má na zvýšení hmotnosti hlavní podíl.

Posturální stabilizace a posturální kontrola

Ve funkčním pojetí je **posturální kontrola** popisována vzhledem k aktivitám běžného denního života, jako je chůze, manipulace s předměty, vstávání ze židle, umístování předmětů, dosahování do dálky apod. Správně fungující posturální kontrola je pro provedení těchto aktivit základním požadavkem. Posturální kontrolou rozumíme neurální mechanismy, které jsou zodpovědné za udržení polohy a za umožnění provedení účelného pohybu v tíhovém poli Země. Klíčovou roli má v tomto případě nervový systém, který nestabilitu detekuje (*feedback*, **zpětná kontrola**) a předvídá (*feedforward*, **dopředná kontrola**). Dále pak iniciuje produkci odpovídající svalové aktivity pro koordinaci, prováděnou motorickými programy, s dalšími silami, které na tělo působí.

Základní **schéma organizace posturální kontroly** znázorňuje obr. 6. Posturální kontrola je na základě tohoto schématu popisována jako komplexní chování, vyžadující centrální zpracovávání a integraci mnoha senzoryckých impulsů. Ty vedou k výběru odpovědi, která je pro danou situaci, respektive funkci, specifická. Následná realizace pohybu představuje fázově načasované vzorce svalové aktivity, zahrnující svaly celého těla.



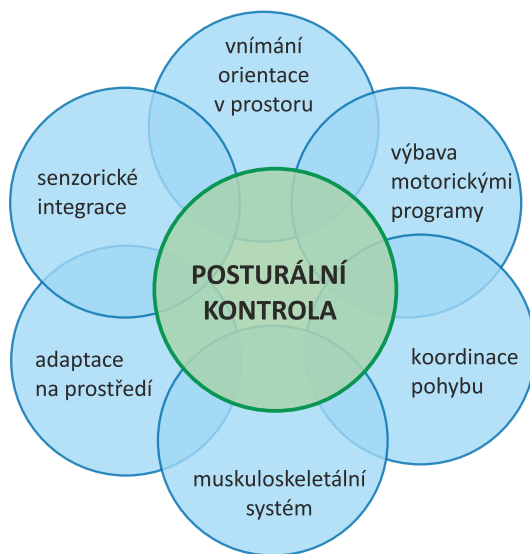
složky posturální kontroly: řídící sensorická výkonná

Obr. 6 Schéma principu posturální kontroly
Upraveno podle <http://www.onbalance.com>

Zjednodušeně tedy můžeme uvažovat tři hlavní složky posturální kontroly:

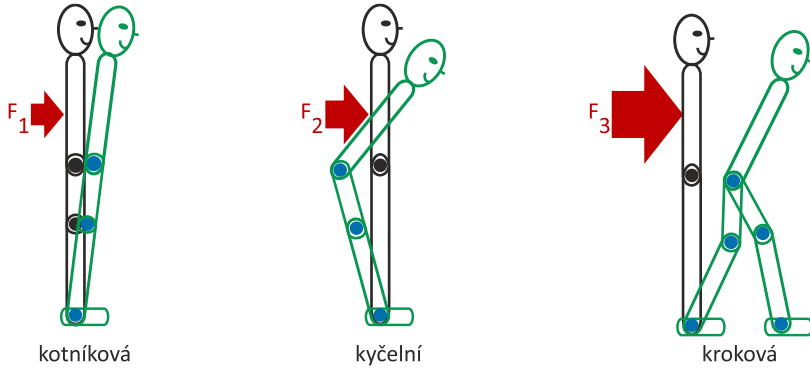
- **senzorickeu** – somatosenzorický systém, zrak a vestibulární systém,
- **řídící** – mozek + mícha = centrální nervová soustava,
- **výkonnou** – kosterně svalový systém.

Pro zajištění optimální posturální reakce je nutné, aby existovala odpovídající kvalita pro vnímání orientace těla v prostoru, sensorickou integraci, prediktivní centrální složku („zásobník motorických programů“), muskuloskeletální systém i pohybovou koordinaci (obr. 7). Posturální kontrola je v tomto případě proaktivní, adaptabilní a centrálně organizovaná, založená na předešlé zkušenosti a záměru.



Obr. 7 Systémové komponenty posturální kontroly
Upraveno podle Massion a Woollacott (1996).

Udržování vzpřímené postury se děje s využitím tzv. **stabilizačních strategií**. Na krátkodobé narušení v anterio-posteriorním nebo mediolaterálním směru může osoba reagovat buď **kotníkovou strategií** (*ankle strategy*) nebo **strategií kyčelní** (*hip strategy*), které se skládají z odlišných vzorců aktivace svalů nohy a trupu (obr. 8). Další ze základních strategií je **strategie kroková**, je uplatňována v situacích, kdy se COG dostane za hranici opěrné báze. Pro zabránění pádu je tak nutné opěrnou bázi úkrokem nebo výkrokem zvětšit. Tyto tři základní typy reakcí jsou zjednodušené v porovnání s reálnou situací, nicméně pro řešení otázek posturální kontroly je jejich přínos významný.



Obr. 8 Základní stabilizační strategie (F – velikost působící síly)

Kontrolní otázky a úkoly

1. Na praktickém příkladu vysvětlíte rozdíl mezi opěrnou plochou a opěrnou bází.
2. Popište rozdíly mezi pojmy, které jsou označeny zkratkami COM, COG a COP.
3. Proč u lidského těla není pravdivé obecné tvrzení, že větší velikost opěrné báze zlepšuje posturální stabilitu?
4. Vysvětlíte rozdíl mezi rovnováhou ve statických a dynamických situacích.
5. Vysvětlíte termín posturální titubace.
6. Vyjmenujte tři hlavní složky posturální kontroly a popište je.
7. Popište, na základě čeho si lidské tělo vybírá vhodnou stabilizační strategii (kotníková/kyčelní/kroková).

Literatura

- Bizovská, L., Janura, M., Míková, M., & Svoboda, Z. (2017). *Rovnováha a možnosti jejího hodnocení*. Univerzita Palackého v Olomouci. <https://doi.org/10.5507/ftk.17.24452593>
- Massion, J., & Woollacott, M. H. (1996). Posture and equilibrium. In A. M. Bronstein, T. Brandt, & M. H. Woollacott (Eds.), *Clinical disorders of balance, posture and gait* (pp. 1–18). Arnold.
- Vařeka, I. (2002a). Posturální stabilita (I. část). Terminologie a biomechanické principy. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 9(4), 115–121.
- Vařeka, I. (2002b). Posturální stabilita (II. část). Řízení, zajištění, vývoj, vyšetření. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 9(4), 122–129.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait and Posture*, 3(4), 193–214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470549148>