

POSTURAL STABILITY AND BALANCE

Learning materials:

Janura, M., Bizovská, L., Svoboda, Z., & Klein, T. (2023). *Posturální stabilita. Fakulta tělesné kultury, UP v Olomouci.*

<https://www.skoladiagnostiky.sk/posturalni-stabilita/>

POSTURÁLNÍ STABILITA A ROVNOVÁHA

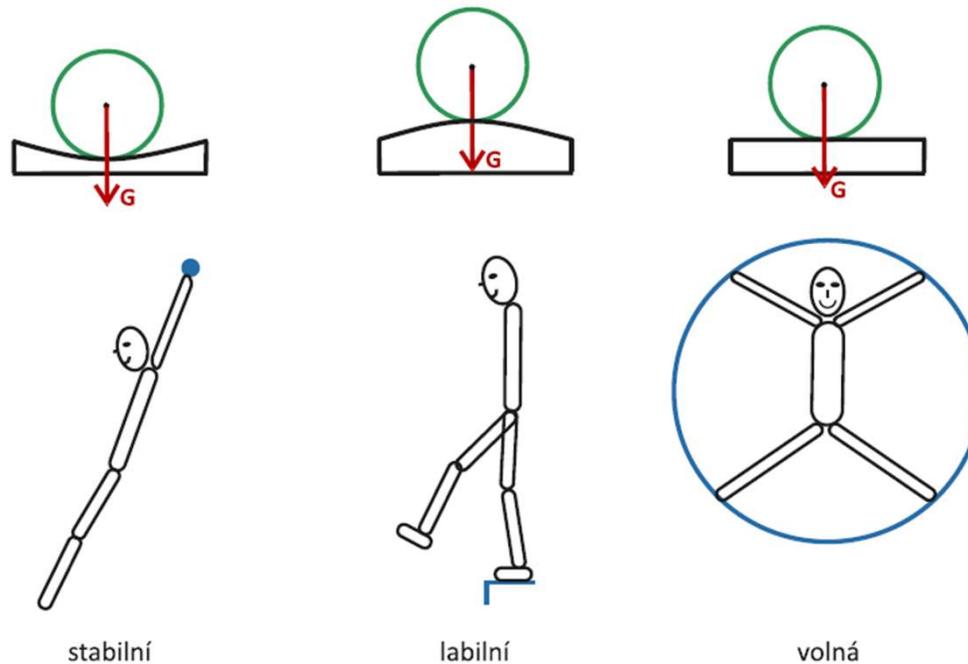
Učební materiály:

Janura, M., Bizovská, L., Svoboda, Z., & Klein, T. (2023). *Posturální stabilita. Fakulta tělesné kultury, UP v Olomouci.*

<https://www.skoladiagnostiky.sk/posturalni-stabilita/>

Tři typy statických rovnovážných poloh

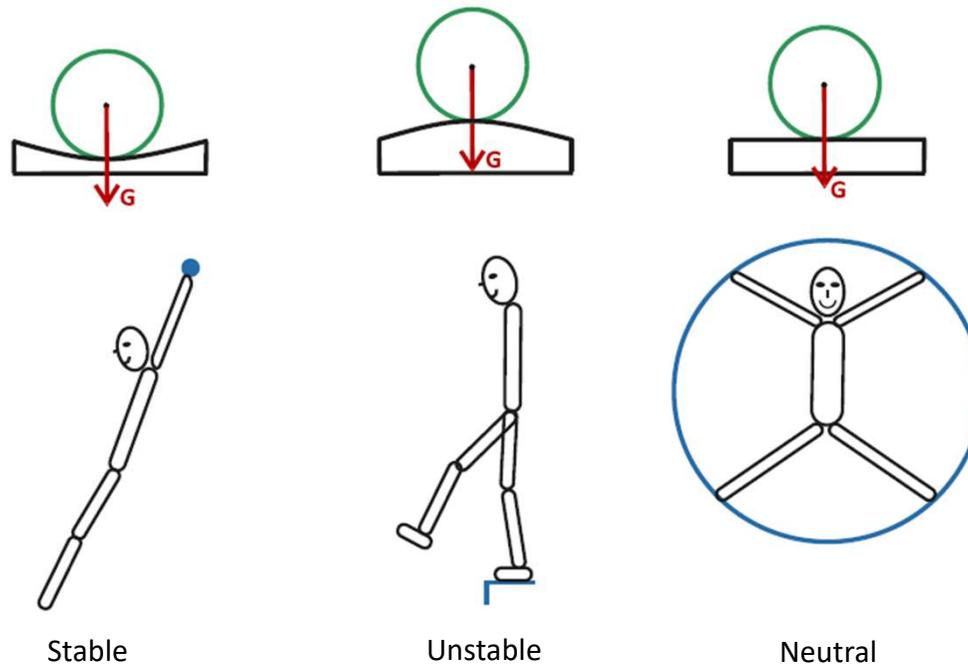
- stabilní (stálá), labilní (vratká) a indiferentní (volná)



- platí tzv. princip minima potenciální energie - těleso se snaží po vychýlení zaujmout takovou polohu, ve které bude jeho potenciální energie minimální

Three types of static equilibrium positions

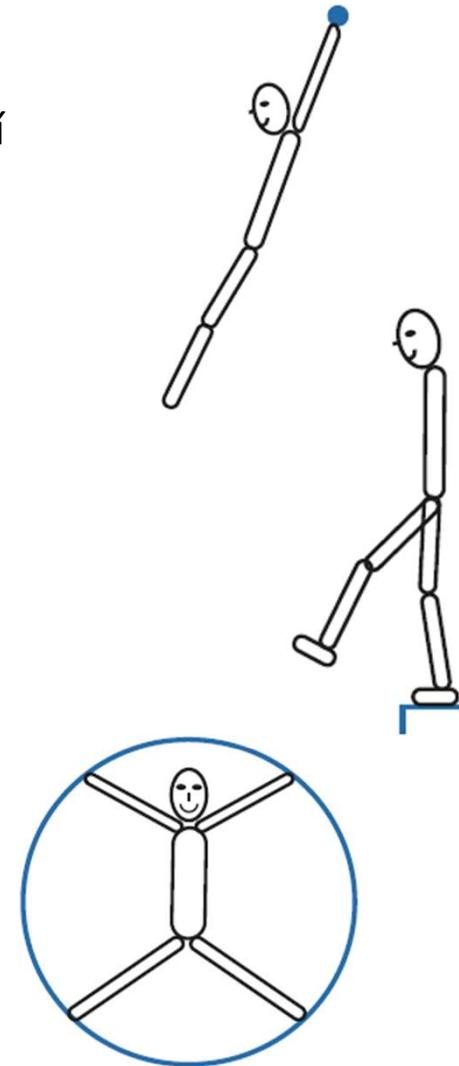
- Stable, unstable, neutral (free)



- The so-called *principle of minimum potential energy* applies – after being displaced, a body tends to assume a position in which its potential energy is minimal

Tři typy statických rovnovážných poloh

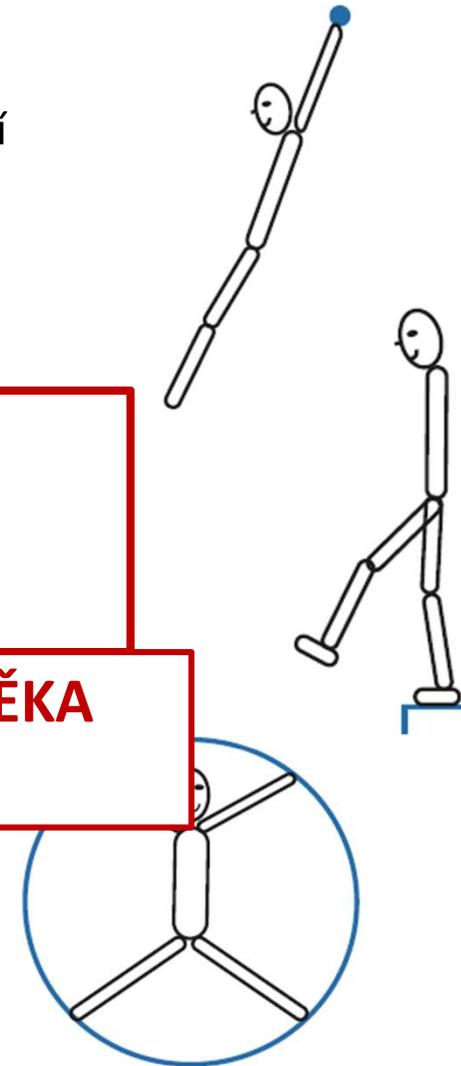
- **Stabilní (stálá) rovnovážná poloha** - typická pro každé zavěšené těleso, kdy potenciální energie dosahuje minimální hodnoty. Po vychýlení tělesa těžiště stoupá, potenciální energie tělesa se zvyšuje. Po ukončení působení síly se těleso vrací zpět do původní polohy nebo kolem ní začne kmitat.
- **Labilní (vratká) rovnovážná poloha** - potenciální energie tělesa zde 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** - 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).



Tři typy statických rovnovážných poloh

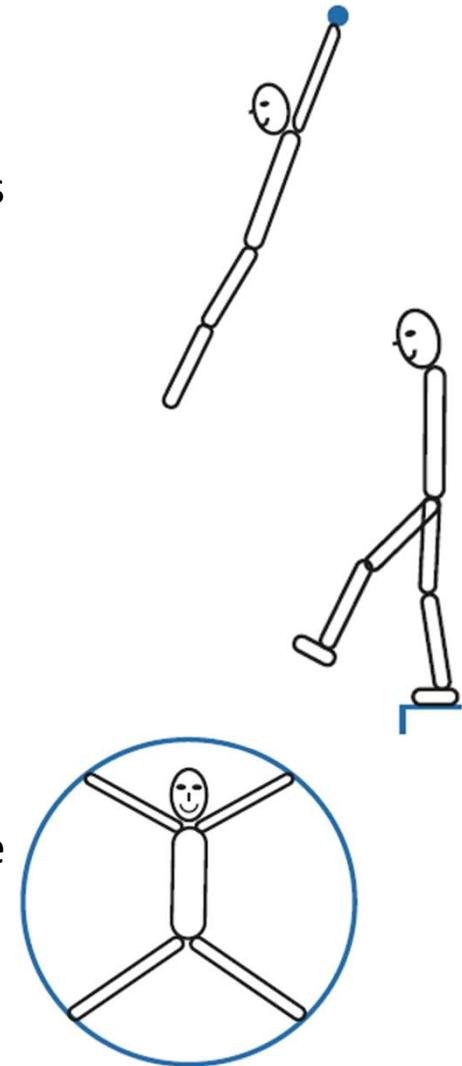
- **Stabilní (stálá) rovnovážná poloha** - typická pro každé zavěšené těleso, kdy potenciální energie dosahuje minimální hodnoty. Po vychýlení tělesa těžiště stoupá, potenciální energie tělesa se zvyšuje. Po ukončení působení síly se těleso vrací zpět do původní polohy nebo kolem ní začne kmitat.
- **Labilní (vratká) rovnovážná poloha** - potenciální energie tělesa zde 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** konstantní výškou těžiště a hodn vychýlení tělesa. Vertikální těžnic celého pohybu kontaktním bodem tělesa s podložkou. U lidského těla se tato poloha vyskytuje pouze výjimečně (např. zorbing).

**TYPICKÁ PRO ČLOVĚKA
VE STOJI**



Three types of static equilibrium positions

- **Stable equilibrium position** – typical of any suspended body, where the potential energy reaches a minimum value. When the body is displaced, its center of gravity rises and its potential energy increases. After the external force ceases to act, the body returns to its original position or begins to oscillate about it.
- **Unstable equilibrium position** – here the potential energy of the body reaches a maximum value. When the center of gravity is displaced, the potential energy decreases; therefore, work must be done to return the body to its original position.
- **Neutral equilibrium position** – characterized by a constant height of the center of mass and a constant value of potential energy after the body is displaced. The vertical line of gravity passes through the point of contact between the body and the surface throughout the entire motion. In the human body, this position occurs only rarely (e.g., zorbing).



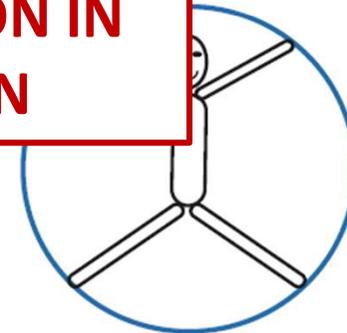
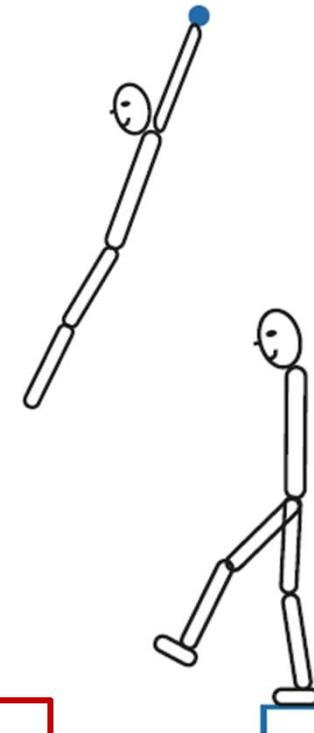
Three types of static equilibrium positions

- **Stable equilibrium position** – typical of any suspended body, where the potential energy reaches a minimum value. When the body is displaced, its center of gravity rises and its potential energy increases. After the external force ceases to act, the body returns to its original position or begins to oscillate about it.

- **Unstable equilibrium position** – here the potential energy of the body reaches a maximum value. When the center of gravity is displaced, the potential energy decreases; therefore, work must be done to return the body to its original position.

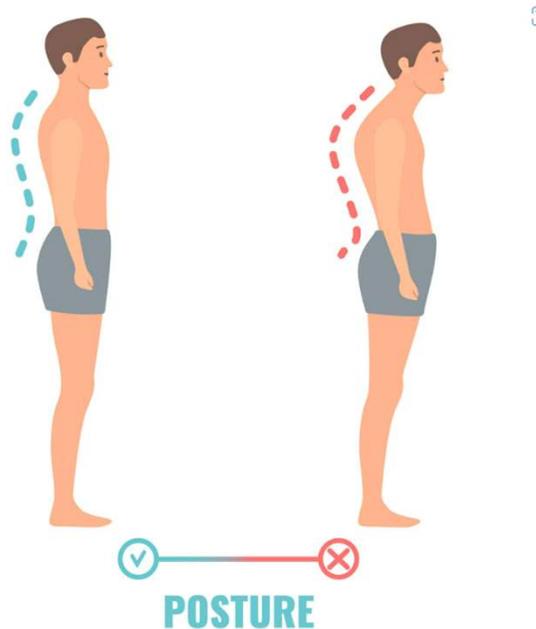
- **Neutral equilibrium position** – c height of the center of mass and potential energy after the body i of gravity passes through the point of contact between the body and the surface throughout the entire motion. In the human body, this position occurs only rarely (e.g., zorbing).

**TYPICAL FOR PERSON IN
STANDING POSITION**



Postura

- Uspořádání segmentů těla ve vztahu ke gravitaci a opěrné ploše
- Zahrnuje statickou i dynamickou složku
- Nejčastěji se popisuje ve stoji, ale může být definována pro různé situace (sed, leh, chůze, ...)



Ilustrace: Chat GPT

Posture

- Alignment of body segments in relation to gravity and the base of support
- Includes static and dynamic components
- Most often described in standing position, but can be defined for various situations (sitting, lying down, walking, ...).”

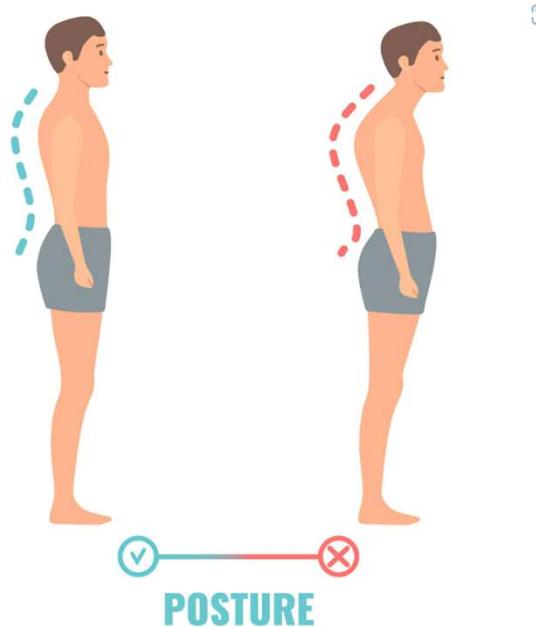


Illustration: Chat GPT

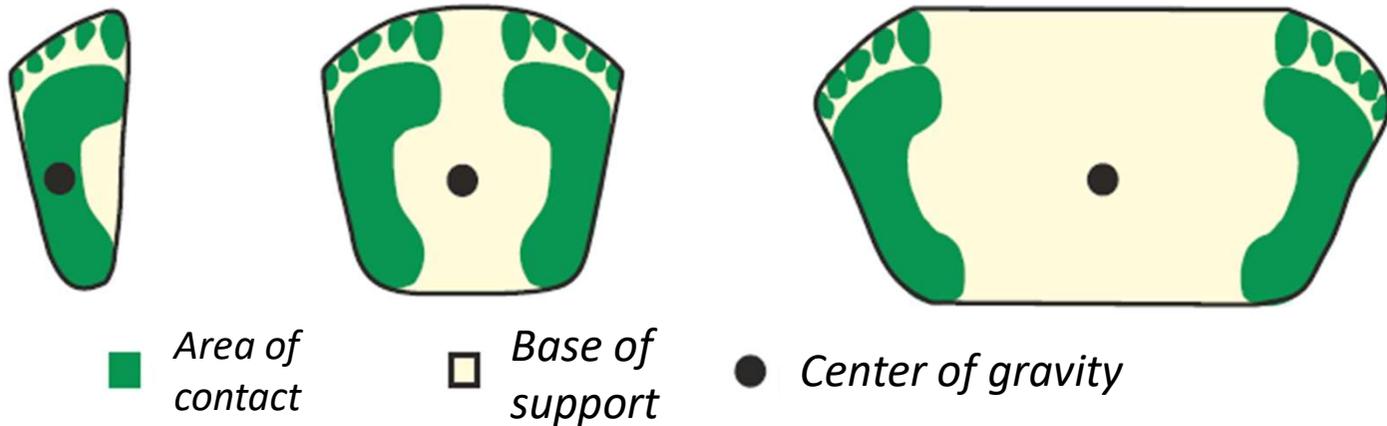
Opěrná plocha a opěrná báze

- Opěrná plocha = plocha kde je kontakt s podložkou
- Opěrná báze (BOS, base of support) = plocha vzniklá spojením všech vnějších hranic opěrné plochy



Area of Contact And Base of Support

- Area of Contact = area of body contact with the supporting surface
- Base of Support = area formed by connecting all the outer edges of the support surface.



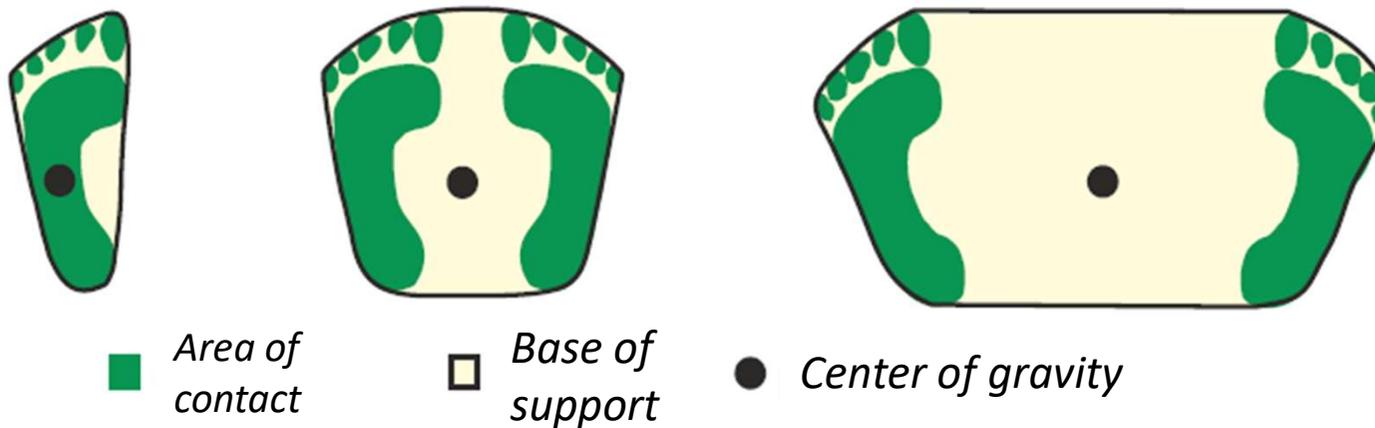
Důležité pojmy

- **Těžiště** (COM, center of mass, někdy také nazýváno Center of Gravity)
- **Průmět těžiště do opěrné báze** (COG, center of gravity)
- **Centrum tlaku** (COP, center of pressure) - působiště vektoru reakční síly podložky, tj. vážený průměr všech tlaků na působící plochu.
- COM a COG se počítají z poloh segmentů. COP se dá přímo měřit pomocí silové plošiny. Pro nepohyblivou stojící figurínu člověka platí $COP = COG$.



Key Concepts

- **COM – Center of Mass** (in some literature also called Centre of Gravity, COG)
- **COG – Center of Gravity** - projection of the COM onto the support base
- **COP – Center of Pressure** - the point of the ground reaction force vector, obtained as the weighted average of all pressures acting on the contact surface
- COM and COG are calculated from the positions of body segments. COP can be measured directly using a force plate. For a motionless standing human (manikin) it holds: $COP = COG$.



Posturální stabilita

- Schopnost vzpřímeného držení těla a zabránění pádu
- Specifičtěji - schopnost udržet těžiště těla nad opěrnou bází i při působení vnějších a vnitřních sil

Rovnováha

- Soubor statických a dynamických strategií využívaných pro posturální stabilitu (kontrola polohy těžiště)

Postural Stability

- The ability to maintain an upright posture and prevent falling
- More specifically - the ability to maintain the body's center of mass within the base of support under static and dynamic conditions.

Balance

- A set of static (passive) and dynamic (active) strategies used for postural stability (control of the COM and COG)

Statická posturální stabilita

- Udržení rovnováhy v klidu (stoj, sed).
- Minimální pohyb těžiště.

Static Postural Stability

- Maintaining balance in quiet standing or sitting.
- Minimal movement of the center of mass.

Dynamická posturální stabilita

- Udržení rovnováhy při pohybu.
- Chůze, změny polohy, reakce na vnější síly a poruchy.
- V tomto kurzu nebude probíráno – více informací na FTK

Dynamic Postural Stability

- Maintaining balance during movement
- Walking, change of position, reaction to position disturbances
- Will be omitted here, for simplicity (more information at the Faculty of Physical Culture)

Statická rovnováha z fyzikálního pohledu

- Statická rovnováha - stav tělesa, kdy výsledkem působení silového pole tvořeného všemi na něj působícími silami, je klidový stav
- vektorový součet sil a momentů působících na těleso vzhledem k dané ose otáčení, je roven nule

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

- statická rovnováha nastane, jestliže se působící síly a jejich účinky vyruší

Static equilibrium from a physical point of view

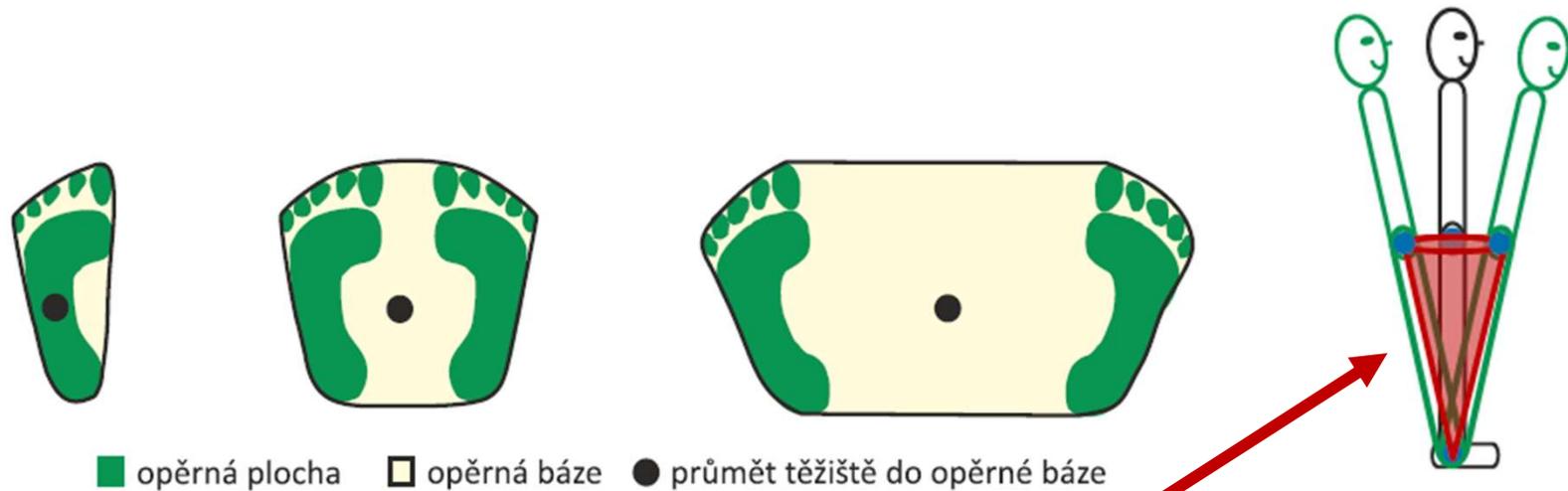
- Static equilibrium – the state of a body in which the result of all the forces acting on it is a state of rest.
- The vector sum of the forces and moments acting on the body with respect to a given axis of rotation is equal to zero.

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

- Static equilibrium occurs when the acting forces and their effects cancel each other out.

Statická rovnováha z fyzikálního pohledu

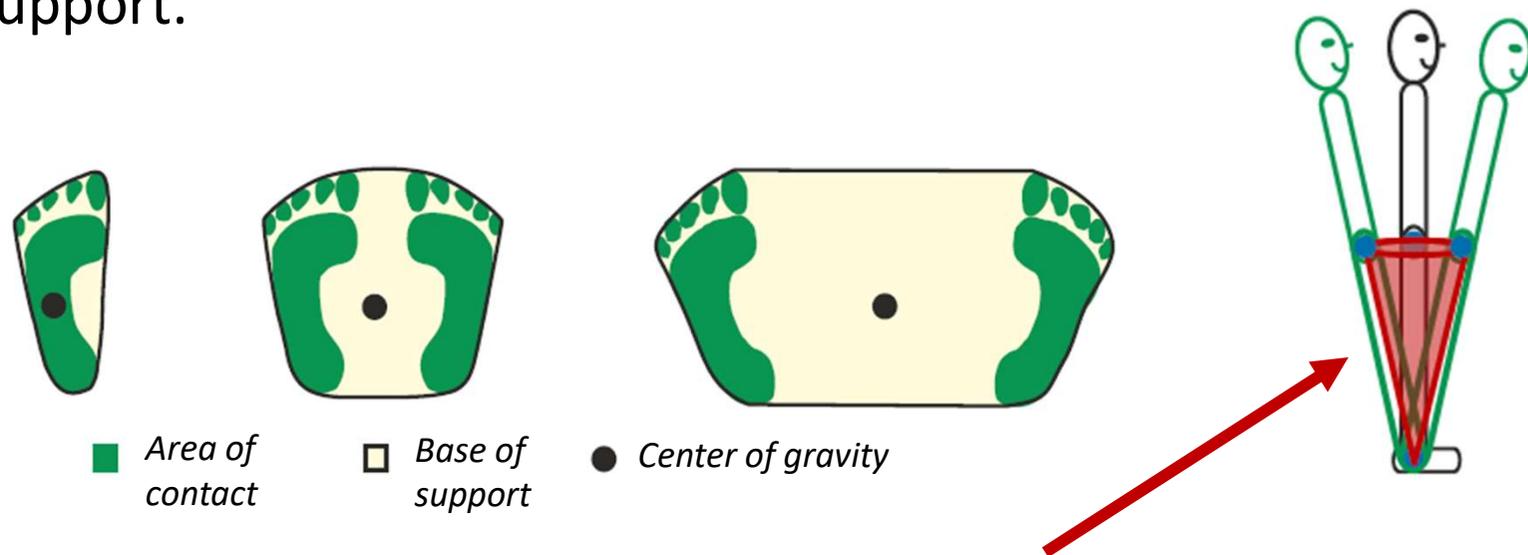
- pro těleso, které je ve stavu (statické) rovnováhy, platí, že jeho těžiště se nachází nad opěrnou bází
- průmět těžiště je dovnitř opěrné báze



Limity stability - maximální výchylky (vzdálenosti, úhly), ve kterých se může jedinec naklánět v jakémkoli směru bez ztráty stability, nedochází-li ke změně opěrné báze.

Static equilibrium from a physical point of view

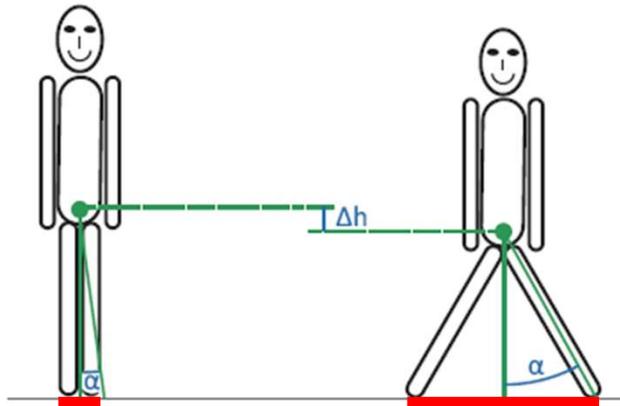
- For a body that is in a state of (static) equilibrium, its center of gravity lies above the base of support;
- the projection of the center of gravity falls within the base of support.



The **limits of stability** - maximum displacements (distances, angles) within which an individual can lean in any direction without losing stability, provided that the base of support does not change.

Stabilita stoje u člověka

- **Stoj rozkročný** – snížení těžiště a zvětšení opěrné báze (statická, pasivní složka rovnováhy)



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

- Stoj rozkročný zlepšuje stabilitu v rovině frontální (pravo-levé rozšíření opěrné báze - červeně)
- ALE lehce zhoršuje stabilitu v rovině sagitální (předo-zadní velikost opěrné báze sice stejná, ale *omezení dynamické, aktivní složky rovnováhy*, tj. velikosti svalové kontrakce a zmenšení reaktivity)
- Parametr pro posouzení stability tělesa - **úhel stability** (obr. 3). Určuje míru stability tělesa proti převržení. Závisí přímo-úměrně na velikosti opěrné báze a nepřímo-úměrně na výšce těžiště
- Stabilita se zvyšuje s hmotností (menší ovlivnitelnost vnějšími silami)

Stability of standing in humans

Straddle stance (standing with feet apart) – lowering of the center of gravity and enlargement of the base of support (static, passive strategy for keeping balance)

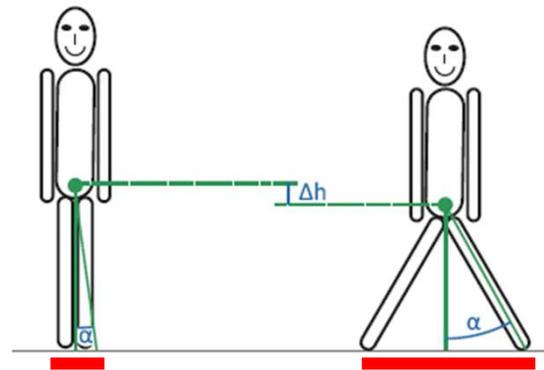


Fig. 3 Change in the height of the center of gravity above the ground (Δh) and the magnitude of the angle of stability (α) when comparing feet-together standing and a straddle stance

- A straddle stance improves stability in the **frontal plane** (right–left widening of the base of support – shown in red),
- BUT it slightly worsens stability in the **sagittal plane** (the anterior–posterior size of the base of support remains the same, but there is a *limitation in the dynamic, active component of balance*, i.e., magnitude of muscle contraction and reduced reactivity).
- A parameter for assessing body stability – the **angle of stability** (Fig. 3). It determines the degree of a body's stability against tipping over. It is directly proportional to the size of the base of support and inversely proportional to the height of the center of gravity.
- Stability increases with body mass (less susceptibility to external forces).

Posturální kontrola

- **aktivní složka rovnováhy člověka**
- neurální mechanismy, které jsou zodpovědné za udržení polohy a za umožnění provedení účelného pohybu v tíhovém poli Země
- klíčovou roli má nervový systém, který nestabilitu detekuje (*feedback*, zpětná kontrola) a předvídá (*feedforward*, dopředná kontrola)
- nervový systém iniciuje produkci odpovídající svalové aktivity pro koordinaci, prováděnou motorickými programy

Postural Control

- **the active component of human balance**
- neural mechanisms responsible for maintaining posture and enabling the performance of purposeful movement in the Earth's gravitational field
- the nervous system plays a key role by detecting instability (feedback control) and anticipating it (feedforward control)
- the nervous system initiates the production of appropriate muscle activity for coordination, carried out through motor programs

Hlavní složky posturální kontroly

- **senzorická**
 - poskytuje informaci v jakém stavu se tělo nachází
- **řídící** – centrální nervová soustava (mozek + mícha),
 - integrace senzorických informací
 - volba vhodné motorické strategie (ze zásobníku naučených motorických programů)
- **výkonná** – kosterně svalový systém
 - zajistí aktivní posun těžiště a segmentů těla pro zabránění pádu

Main Components of Postural Control

- **Sensory component**
 - Provides information about the condition/state the body is in
- **Control component** – central nervous system (brain + spinal cord),
 - integration of sensory information
 - selection of an appropriate motor strategy (from the database of learned motor programs)
- **Executive component** – musculoskeletal system
 - ensures active displacement of the center of gravity and body segments to prevent falling

Senzorické vstupy

- **Zrakový systém**
 - detekce vnějšího prostředí, vnější podmínky pro pohyb
- **Vestibulární systém**
 - labyrint ve vnitřním uchu, kde jsou senzory polohy hlavy
- **Propriocepce**
 - somatosensorický systém - různé druhy receptorů v těle, které poskytují informace o polohách a stavech segmentů

Sensory Inputs

- **Visual system**
 - detection of the surrounding space, reference to our movement possibilities
- **Vestibular system**
 - the labyrinth in the inner ear with sensors of head position
- **Proprioceptive system**
 - various types of receptors in the body, providing information on the position/state of the body segments
 - also called „the somatosensory system“

Hodnocení posturální stability

- Posturální výkyvy (posturální titubace)
 - kontinuální korekční pohyby za účelem udržení vertikální postury při klidném stoji
 - vyskytují se fyziologicky
 - při potížích s rovnováhou se velikost titubací zvětšuje
 - lze hodnotit vizuálně, nebo pomocí přístrojů
 - využívá se různých testů
 - pro řadu přístrojových testů existují normativní data pro velikost titubací – pokud je velikost titubací větší než stanovuje norma, je to známka poruchy rovnováhy

Assessment of postural stability

- Postural sway
 - Continuous corrective movements aimed at maintaining an upright posture during quiet standing.
 - They occur physiologically.
 - In cases of balance problems, the magnitude of postural sway increases.
 - Can be assessed visually or using instruments.
 - Various tests are used.
 - For many instrument-based tests, normative data exist for the magnitude of postural sway – if the magnitude exceeds the established norms, it is a sign of a balance disorder.

Hodnocení posturální stability

- Rombergův test
- Unipedální stoj
- Posturografie

Assessment of Postural Stability

- Romberg test
- Single-leg stance
- Posturography



Obrázek:
<https://geekymedics.com/lower-limb-neurological-examination/>

Rombergův test

Základní jednoduchý **vizuální klinický test** sloužící k hodnocení statické posturální stability a funkce propriocepce a vestibulárního systému.

Provedení testu:

- Pacient stojí vzpřímeně
- Nohy u sebe (úzká báze)
- Paže podél těla nebo předpažené
- Nejprve oči otevřené
- Následně oči zavřené (20–30 s)

Hodnocení - sleduje se:

- zvětšené výkyvy (velikost titubací)
- ztráta rovnováhy
- nutnost rozkročení
- pád

Interpretace:

- Negativní Romberg: stabilní i se zavřenýma očima
- Pozitivní Romberg: výrazné zhoršení po zavření očí → podezření na poruchu propriocepce nebo vestibulární dysfunkci

Pokud je nestabilita už s otevřenýma očima: nejde o „pozitivní Romberg“ ale o obecnou poruchu posturální kontroly.

To může ukazovat např. na:

- cerebelární poruchu
- těžkou vestibulární dysfunkci
- výraznou centrální poruchu řízení rovnováhy
- intoxikaci
- akutní neurologický stav



Romberg test

A basic simple **visual clinical** test used to assess static postural stability and the function of proprioception and the vestibular system

Figure: <https://geekymedics.com/lower-limb-neurological-examination/>

Test procedure:

- Patient stands upright
- Feet together (narrow base of support)
- Arms alongside the body or extended forward
- First with eyes open
- Then with eyes closed (20–30 s).

Hodnocení - sleduje se:

- Increased postural sway
- Loss of balance
- Need to step out (widening base of support)
- Fall

Interpretation:

- Negative Romberg sign: Stable even with eyes closed.
- Positive Romberg sign: Marked deterioration after closing the eyes → suspicion of impaired proprioception or vestibular dysfunction

If instability is already present with the eyes open, this is not a “positive Romberg sign” but rather a sign of a general impairment of postural control. This may indicate, for example:

- a cerebellar disorder
- severe vestibular dysfunction
- a significant central disorder of balance control
- intoxication
- an acute neurological condition

Unipedální stoj

Jednoduchý **vizuální klinický test** hodnotící statickou posturální stabilitu, funkci propiocepce, vestibulárního systému a svalové kontroly dolní končetiny.



Provedení

- Vyšetřovaný stojí vzpřímeně
- Ruce v bok / podél těla
- Zvedne jednu dolní končetinu (flexe kolene cca 90°)
- Test trvá do ztráty rovnováhy (max. 30–60 s)

Lze provést:

- s otevřenýma očima
- se zavřenýma očima

Hodnocení

- Měří se čas výdrže

Sleduje se:

- kolísání trupu
- dotyk zvednuté DK s podložkou
- kompenzační pohyby paží

Orientační normy (dospělí, 20-40 let)

- 30 s = dobrá stabilita (15-25s zavř.oči)
- 10–30 s = snížená stabilita
- <10 s = zvýšené riziko pádu

U seniorů jsou normy nižší.

Klinický význam

- Screening rizika pádu
- Hodnocení po úrazech hlezna/kolene
- Součást funkční diagnostiky ve sportu
- Monitorování rehabilitace

Zavření očí:

- eliminuje vizuální kontrolu
- zvýší nároky na propiocepci a vestibulární systém
- typicky zkrátí výdrž o 30–50 %

Unipedal (single-leg) stance

A simple **visual clinical test** assessing static postural stability, proprioceptive function, vestibular function, and lower-limb muscle control.



Procedure

- Subject stands upright
- Hands on the hips / alongside the body
- One lower limb is lifted (knee flexed to approximately 90°).
- Tested until loss of balance (max. 30–60 s).

It can be performed:

- with eyes open
- with eyes closed

Assessment

- Duration of stance

Observed signs:

- trunk sway
- contact of the raised lower limb with the support surface
- compensatory arm movements

Approximate norms (adults, 20-40 years)

- 30 s = good stability (15–25 s eyes closed)
- 10–30 s = reduced stability
- <10 s = increased risk of falling

Lower normative values for older adults.

Clinical significance

- Screening for risk of falling
- Assessment after ankle/knee injuries
- Part of functional diagnostics in sports
- Monitoring of rehabilitation

Closed eyes:

- eliminates visual control
- increases demands on proprioceptive and vestibular systems
- typically shortens stance time by 30–50%

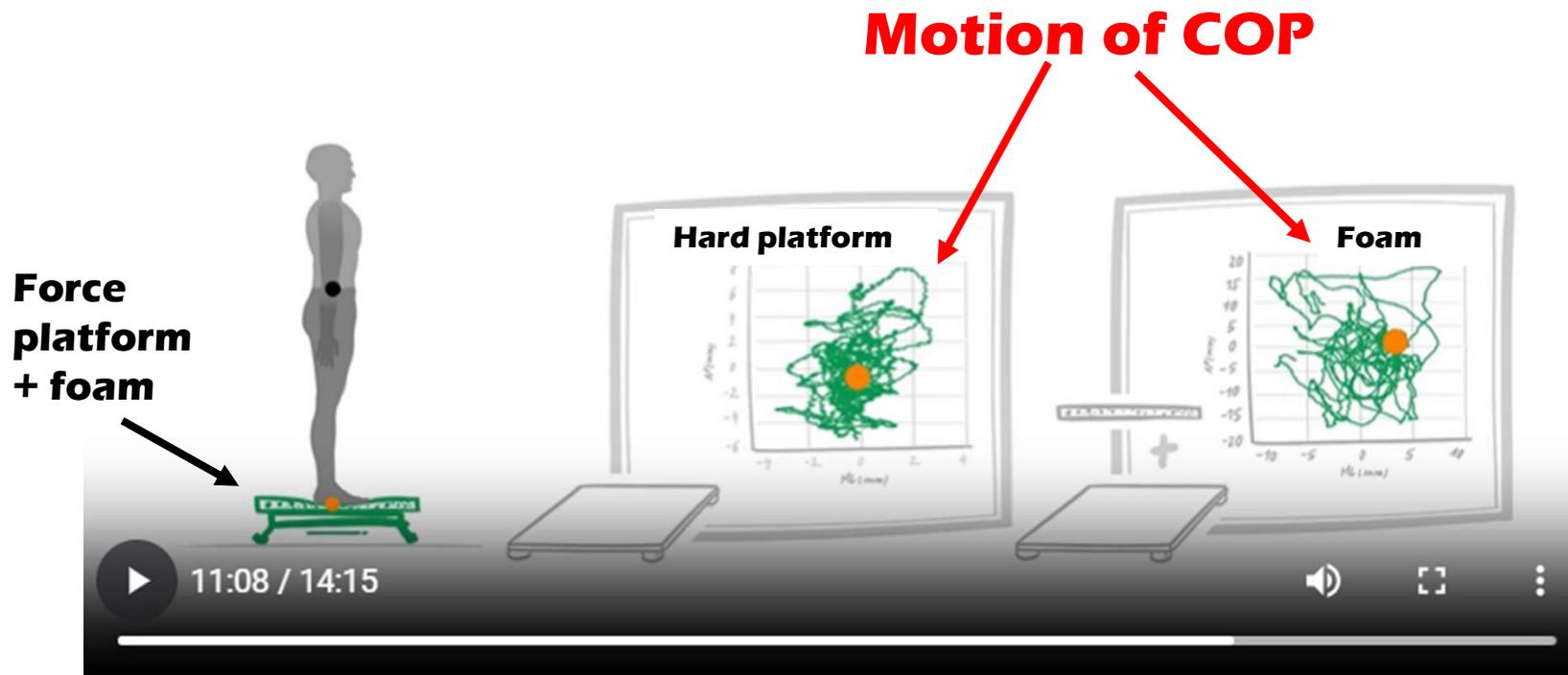
Posturografie

- **Objektivní, přístrojová metoda** hodnocení posturální stability pomocí měření centra tlaku (COP – Center of Pressure) na *silové plošině*



Posturography

- **Objective, instrument-based method** for assessing postural stability by measuring the body Center of Pressure (COP) using a *force platform*

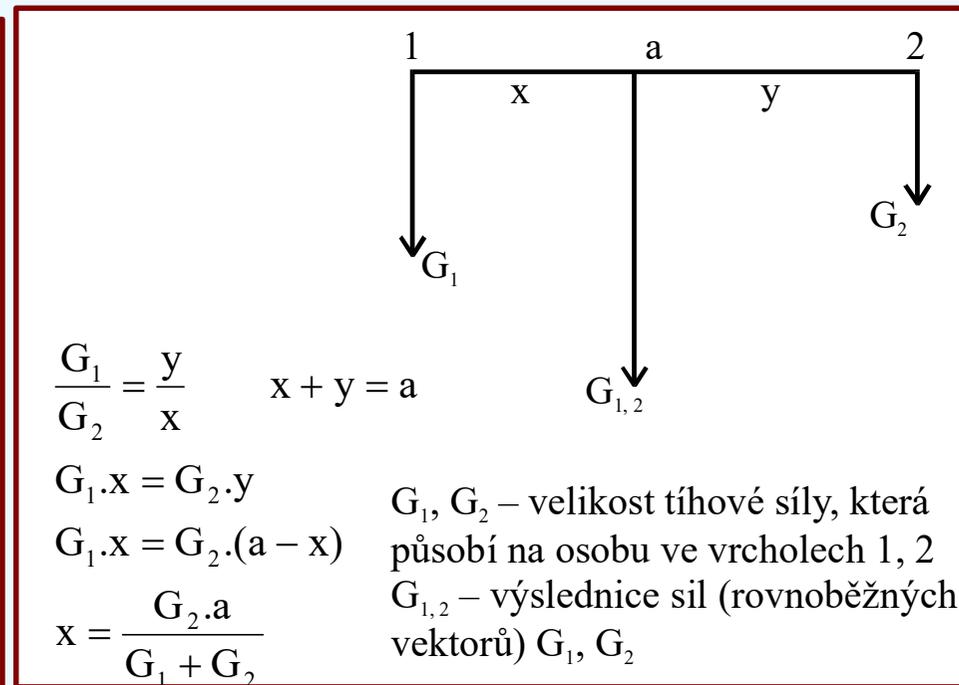
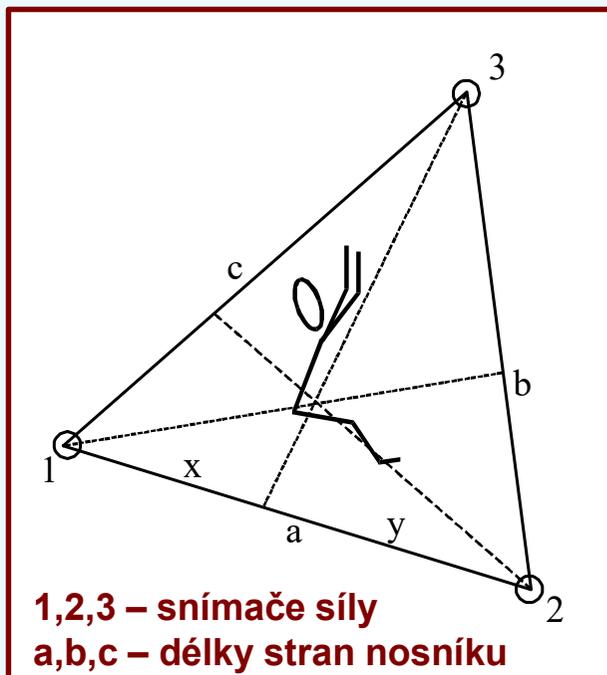


Měření centra tlaku pomocí silové plošiny

Silová plošina: snímače síly měří velikost reakčních sil podložky v rozích nosníkové plošiny

Trojúhelníková plošina: 3 snímače síly v rozích. Složením změřených sil získáme výslednici pro každou ze 3 stran plošiny. Působíště reakční síly podložky síly leží na spojnici působíště výslednice reakčních sil podložky G_1 , G_2 a protějšího vrcholu. Cyklickou záměnou působících reakčních sil podložky získáme odpovídající parametry pro zbývající dvě strany trojúhelníku. Z toho spočítáme reakční sílu podložky. Místo jejího působíště je hledané centrum tlaku (COP).

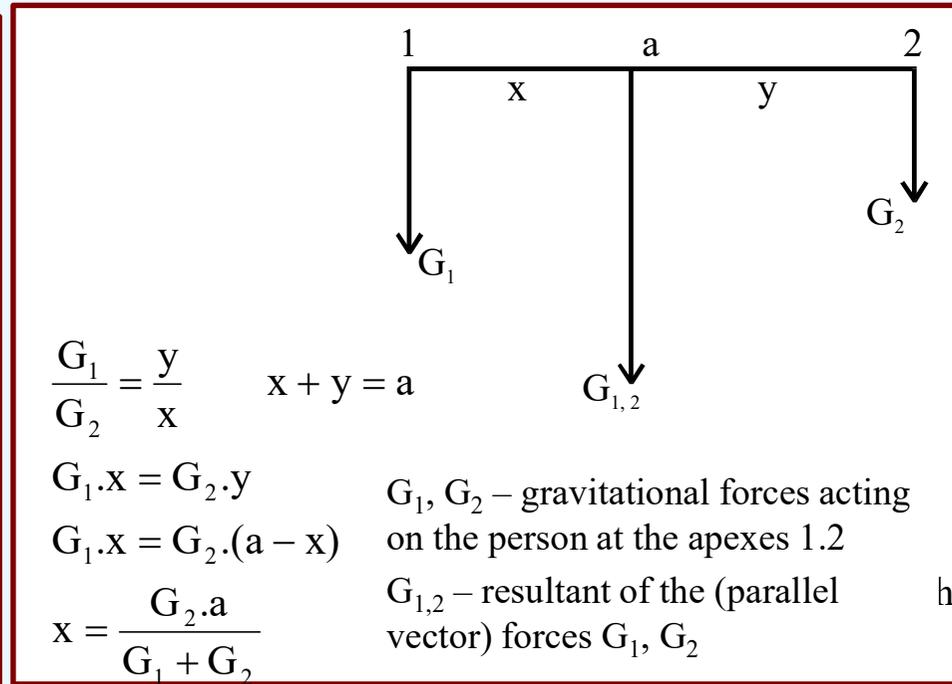
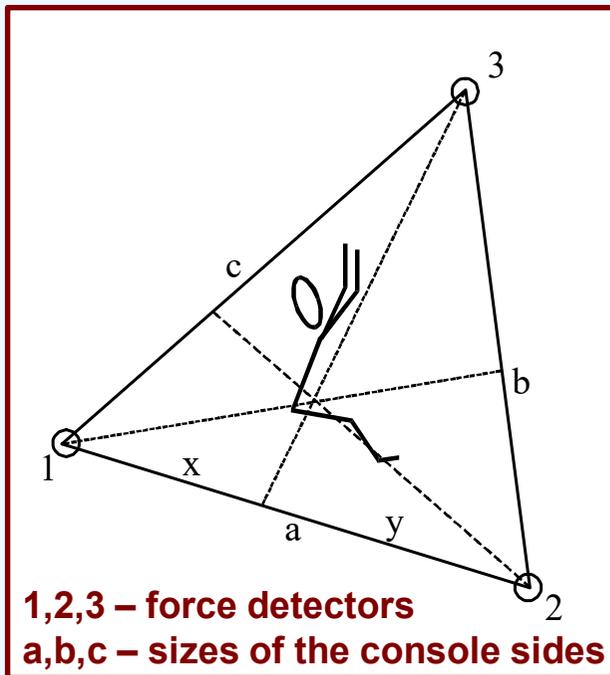
Čtvercová plošina: 4 snímače v rozích. Princip měření COP stejný jako u trojúhelníkové plošiny.



Finding the center of pressure of the body using a Force Platform

Based on addition of parallel vectors - gravitational forces acting on the segments

Triangular platform: 3 force sensors placed at the corners of the platform. They measure gravitational forces acting on the individual sensors. The result of these forces is calculated for each of the platform sides.



COP of the measured object lies on the junction of the resultant of the gravitational forces G_1, G_2 and of the opposite apex. By cyclically exchanging the acting gravitational forces we obtain the corresponding parameters also for the other two sides of the triangle.

Posturografie

- **Objektivní, přístrojová metoda** hodnocení posturální stability pomocí měření centra tlaku (COP – Center of Pressure) na silové plošině. (Demonstrace budou při exkurzi na FTK).

Provedení

Vyšetřovaný stojí na dynamické nebo statické platformě. Snímají se reakční síly podložky, z toho se automaticky spočítá COP a jeho pohyb.

Statická posturografie

- klidný stoj

Ovlivnění sensorického systému:

- zavřené oči - ovlivnění vizuální kontroly
- rychlém otáčení hlavy či piruety - ovlivnění vestibulárního systému
- kvalita povrchu plošiny (molitan) – ovlivnění propiocepce

Analyzuje se velikost a rychlost titubací

- trajektorie COP (délka a plocha oscilace)
- rychlost pohybu COP

Klinický význam

- Neurologická diagnostika
- Vestibulární poruchy
- Hodnocení rizika pádu
- Sportovní a funkční diagnostika – zde je možnost využít alternativní metodu:

Dynamická posturografie (CDP)

- pohybující se podložka
- manipulace vizuálního vstupu (pohybující se virtuální realita)
- hodnotí sensorickou integraci

Posturography

- Objective, instrument-based method for assessing postural stability by measuring the Center of Pressure (COP) on a force plate. (Demonstrations will take place during the excursion to the Faculty of Physical Culture.)

Procedure

- The subject stands on a dynamic or static platform.
- Ground reaction forces are recorded.
- The Center of Pressure (COP) is automatically calculated from these data.

Static posturography

- Quiet standing

Sensory system manipulation:

- **Eyes closed** – reduction of visual control
- **Rapid head rotations or pirouettes** – influence on the vestibular system
- **Surface quality of the platform (foam)** – influence on proprioception

Parameters analyzed

- COP trajectory (sway path length and sway area)
- Velocity of COP movement

Clinical significance

- Neurological diagnostics
- Vestibular disorders
- Fall risk assessment
- Sports and functional diagnostics – here an alternative method may be applied:

Dynamic Posturography (CDP)

- Moving support surface
- Manipulation of visual input (moving virtual reality environment)
- Evaluation of sensory integration

Význam posturální stability

- Prevence pádů
- Rehabilitace
- Sportovní výkon a každodenní funkce

Importance of Postural Stability

- Fall prevention
- Rehabilitation
- Sport performance

Použitá literatura

- Shumway-Cook, A., Woollacott, M. (2017). Motor Control: Translating Research into Clinical Practice.
- Winter, D. A. (2009). Biomechanics and Motor Control of Human Movement.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium.
- Materiály: Škola diagnostiky – Posturální stabilita.

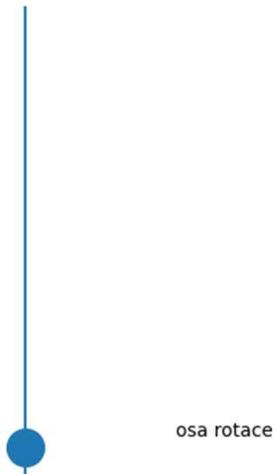
References

- Shumway-Cook, A., Woollacott, M. (2017). Motor Control: Translating Research into Clinical Practice.
- Winter, D. A. (2009). Biomechanics and Motor Control of Human Movement.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium.
- School of Diagnostics – Postural Stability materials.

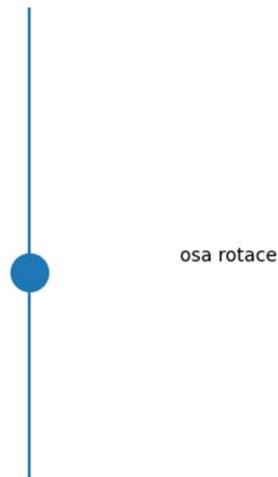
Posturální strategie

- Kotníková strategie
- Kyčelní strategie
- Kroková strategie

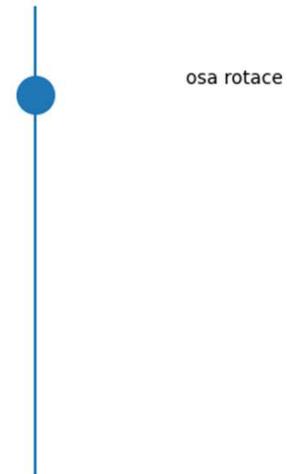
Kotníková strategie



Kyčelní strategie



Kroková strategie



Postural Strategies

- Ankle strategy
- Hip strategy
- Stepping strategy