

# Biomechanika 7

## Kinematika otáčivého pohybu

Daniel Jandačka, PhD.

Projekt: Cizí jazyky v kinantropologii - CZ.1.07/2.2.00/15.0199



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost**



UNIVERSITAS  
OSTRAVIENSIS



**INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ**

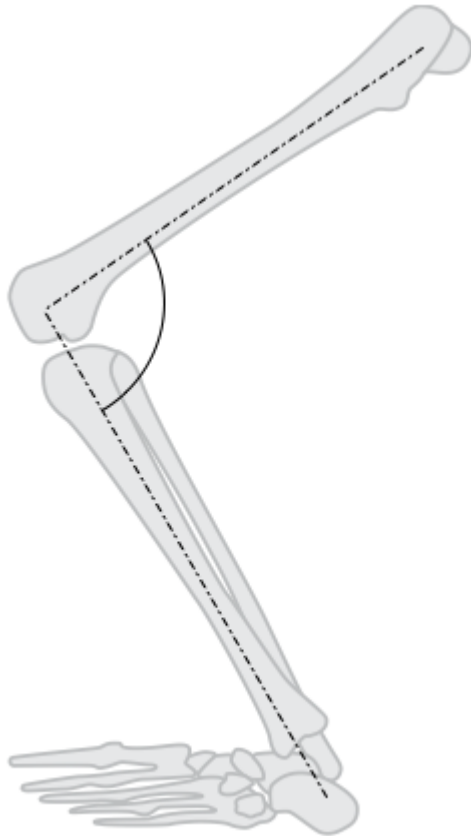
# Kinematika otáčivého pohybu

Většina lidských pohybů je výsledkem otáčivého pohybu v jednotlivých kloubních spojeních segmentů lidského těla.

Typickým příkladem otáčivého pohybu je **hod kladivem**. Jak je možné odhodit kladivo o hmotnosti 7,265 kg do vzdálenosti **86,74 m**, což je světový rekord Jurije Sedycha (SSSR) ze dne 30. 8. 1986 (atletický závod ve Stuttgartu)? **Jak Jurij Sedych využil otáčivý pohyb k tomu aby dohodil s kladivem tak daleko?** Když uvážíme, že při **vrhu koulí** se používá naprosto **identická koule o hmotnosti 7,265 kg** jako při hodu kladivem a světový rekord Randy Barnese (USA) ze dne 20. 5. 1990 (atletický závod ve Westwoodu) je **„pouze“ 23,12 m?**



# Úhel a úhlová dráha



Úhel vyjadřuje vzájemnou orientaci přímek, rovin nebo přímky a roviny.

Úhel mezi jednotlivými segmenty těla často potřebujeme při popisu, hodnocení a zdokonalování dovedností v tělesné výchově a sportu

# Úhel a poloha

**Absolutní úhel** například vytváří bérec vzhledem k horizontální rovině, která je fixní.

Jestliže se obě přímky nebo roviny vzájemně vůči sobě pohybují, potom hovoříme o **relativním úhlu**.

Úhly, které měříme v jednotlivých kloubních spojeních, jsou úhly, jež popisují relativní vzájemnou polohu jednotlivých částí našeho těla.

$$\varphi = \frac{l}{r},$$

kde  $\varphi$  je rovinný úhel (rad),  $l$  délka oblouku, který vytínají polopřímky na kružnici se středem ve vrcholu úhlu (m) a  $r$  poloměr kružnice (m).

# Úhlová dráha

Úhlová dráha je změnou absolutního úhlu mezi počáteční a konečnou polohou segmentu našeho těla.

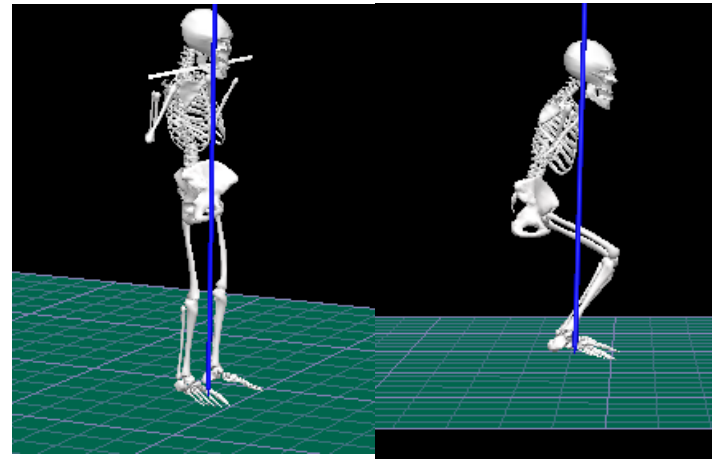
Úhlová dráha je vektor, jehož vektorová přímka leží v ose otáčení a míří na tu stranu, ze které se otáčení jeví v kladném smyslu, tedy proti směru hodinových ručiček.

Můžeme také použít pravidlo pravé ruky: Jestliže přiložíme palec pravé ruky tak, že označuje správný směr vektoru úhlové dráhy v ose rotace, potom prsty označují kladný směr rotace.

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{final}} - \varphi_{\text{initial}}$$

$$\Delta\varphi = 45 - 5$$

$$\Delta\varphi = 40^\circ,$$





Počet otoček v průběhu salta provedených v gymnastice, akrobatickém lyžování nebo při skocích do vody, je mírou úhlové dráhy a hrají důležitou roli v přidělování bodů v rámci pravidel.

- Zášvihy u gymnastických prvků jako je kotoul do zášvihu je nutno popsat úhlem zášvihu.
- Rozpory u silových prvků v gymnastice jsou také hodnoceny pomocí úhlové dráhy.
- Úhlová dráha švihu při fotbale, tenise, golfu a podobně významně ovlivňuje výsledný úder do projektilu.

# Úhlová dráha, dráha a posunutí

- Když používáme hokejky, tenisové rakety, golfové hole a podobně, prodlužujeme tak krátké dráhy pohybu našich končetin na delší dráhy pohybu těchto náčiní.



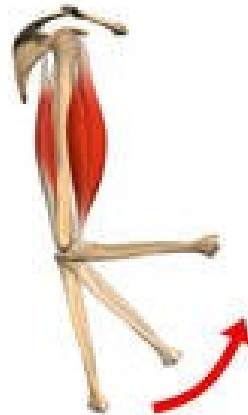
Délka trajektorie / kteréhokoliv bodu rotujícího objektu

$$l = \Delta\varphi r .$$

Když si představíme flexi v loketním kloubu při zvedání závaží, naše dlaň se pohybuje přibližně po desetkrát delší dráze než úpon biceps brachii.

Jedna výhoda toho, že úpony našich svalů jsou velmi blízko osám našich kloubů, je nyní jasnější. Svaly mohou kontrahovat na menší dráze, aby vytvářely delší dráhy pohybu našich končetin.

Délka zkrácení našich svalů je limitována na 50 % jejich původní klidové délky. Z tohoto důvodu by rozsah pohybu končetin byl také limitován tím více, čím dále od osy rotace by byly svaly upnuty.





# Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi_{\text{konečná}} - \varphi_{\text{počáteční}}}{\Delta t}.$$

Úhlová rychlost je vektorová veličina a její směr je dán pravidlem pravé ruky stejně. Jednotkou úhlové rychlosti je radián za sekundu (rad/s).

**Úhlová rychlost je podíl změny úhlové dráhy a doby, kterou tato změna trvala.**

Okamžitá úhlová rychlost tenisové rakety při úderu (kontaktu) determinuje následnou rychlost letu tenisového míčku.

Ve sportech jako gymnastika je důležitější faktor sportovní výkonnosti průměrná úhlová rychlost, neboť ta nám určuje, kolik salt a vrutů daný sportovec vykoná.

# Vztah mezi úhlovou a obvodovou rychlostí

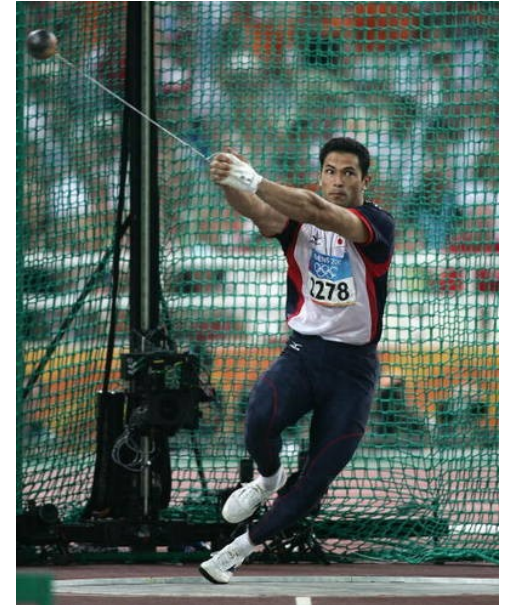
Velikost obvodové rychlosti jakéhokoliv bodu na rotujícím tělese je rovna součinu úhlové rychlosti tělesa a poloměru kružnice, po níž se tento bod pohybuje.

$$v = \omega r,$$

Například delší golfové hole jsou použity při odpalech větší počáteční rychlosti na větší vzdálenosti.

Kratších golfových holí se používá u kratších vzdáleností jamky od místa odpalu.

Pokud chytíme tenisovou raketu co nejvíce na vnějším okraji držadla, jsme schopni produkovat největší obvodovou rychlost akční části tenisové rakety, a tím také počáteční rychlosti míčku po úderu.



# Efektivní rádius

Ve jmenovaných sportech je důležitý pojem efektivní rádius. Efektivní rádius není vytvářen pouze délkou končetin a náčiní, ale také celkovou technikou provedení úderu.



Vztah mezi obvodovou rychlostí a úhlovou rychlostí nám poskytuje teoretický základ k pochopení další výhody, kterou nám poskytuje aranžmá našich úponů a svalů ve vztahu k ose rotace v daných kloubech.

Například naše chodidla se pohybují mnohem rychleji, než se musí zkracovat a prodlužovat naše svaly, které kontrolují pohyby dolních končetin při chůzi či běhu.



# Úhlové zrychlení

Úhlové zrychlení je definováno jako poměr změny úhlové rychlosti a doby této změny.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_{\text{konečná}} - \omega_{\text{počáteční}}}{\Delta t},$$

Jednotkou úhlového zrychlení je (rad/s<sup>2</sup>)

Úhlové zrychlení vzniká, když se zvyšuje rychlost otáčení těles, snižuje rychlost jejich otáčení, případně když osa jejich otáčení mění svou orientaci.



# Úhlové, tečné a dostředivé zrychlení

Když se zvyšuje velikost úhlové rychlosti těles  $\omega$ , obvodová rychlost těles  $v$  se zvyšuje rovněž

Tečné zrychlení

$$a_t = \varepsilon r,$$

Dostředivé zrychlení

$$a_d = \frac{v^2}{r} \quad \text{nebo také} \quad a_d = \omega^2 r,$$

Tečné zrychlení je složka zrychlení a má směr tečny k trajektorii.



Přestože těleso rotuje s konstantní úhlovou rychlostí, vzniká nenulové zrychlení. Toto zrychlení souvisí se změnou směru obvodové rychlosti

Pokud si představíme, jakou silou musíme působit, když měníme směr při carvingovém lyžařském oblouku, uvědomíme si směr dostředivého zrychlení. Náš náklon a síly, které zakřivují trajektorii sjezdu, směřují do středu lyžařského oblouku.

- Když například běžíme v první atletické dráze, musíme působit větší dostředivou silou a zrychlovat tak do středu více než v poslední dráze. Z toho důvodu vzniká větší tření mezi botou a podložkou, pokud běžíme v první dráze. V tomto případě je naše tečná rychlost při běhu stejná, liší se jen poloměr zakřivení dráhy, po které běžíme.

$$a_d = \frac{v^2}{r}$$

- Představme si hokejistu s různě dlouhými hokejkami. Obě hokejky mají přibližně stejnou hmotnost, ale jejich délka je různá. Jak velkou silou musí hokejista působit na tyto různě dlouhé hole při střele z příklepu, pokud zachová stejnou úhlovou rychlost?

$$a_d = \omega^2 r,$$

Děkuji za pozornost



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost**



UNIVERSITAS  
OSTRAVIENSIS



**INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ**