

# APLIKOVANÁ BIOMECHANIKA

# TEORIE CHAOSU

- Složité jevy biomechaniky člověka jsou výsledkem působení velkého množství jevů jednoduchých
- Tyto jevy není možné nahradit lineárními vzorci klasické mechaniky (velké množství)
- Velmi malá změna na úrovni dílčího systému může mít velký vliv na úrovni celého systému

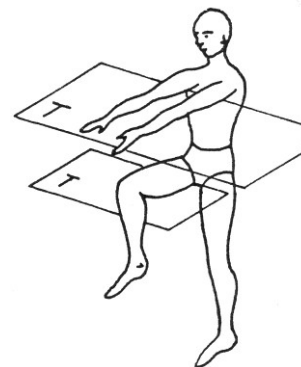
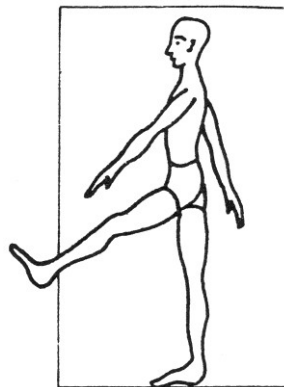
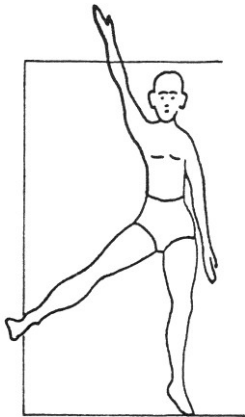
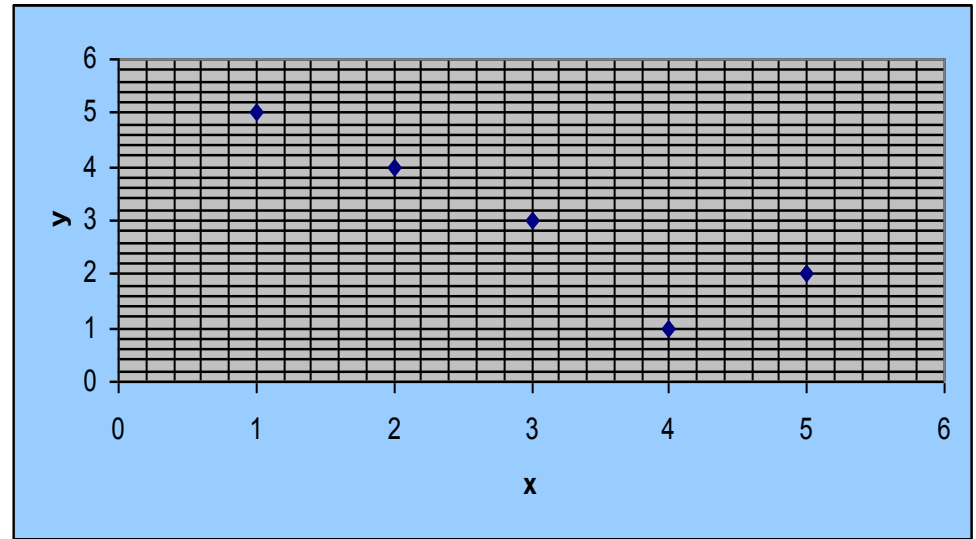
# STRUKTURA POHYBOVÉHO SYSTÉMU

- ŘÍDÍCÍ PODSYSTÉM
- SVALOVÝ PODSYSTÉM
- KOSTERNÍ PODSYSTÉM + MEZILEHLÉ PRVKY
- ENERGETICKÝ PODSYSTÉM
- (MOŽNOST ZPĚTNÉ VAZBY)

# Základní charakteristiky a veličiny

## ● Souřadný systém:

- kartézská varianta dvousouřadnicová (rovinný systém, 2D)
- třísouřadnicová (prostorová, 3D)



# Mezinárodní systém jednotek SI

- Veličiny skalární
- Veličiny vektorové

# Základní jednotky

<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Symbol</b>
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sekunda	s
elektrický proud	amper	A
termodynamická teplota	kelvin	K
látkové množství	mol	mol
svítivost	kandela	cd

Odvozené jednotky

Další jednotky

# Segmentární struktura těla

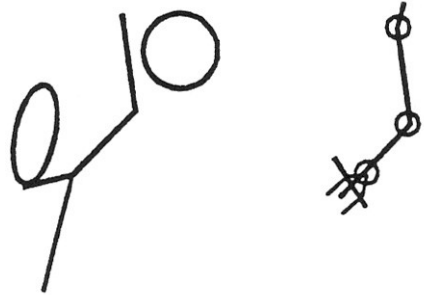
- strukturální základ pohybového aparátu člověka
  - hmotnost
  - těžiště
  - tvorba biokinematických dvojic

# Biokinematické dvojice

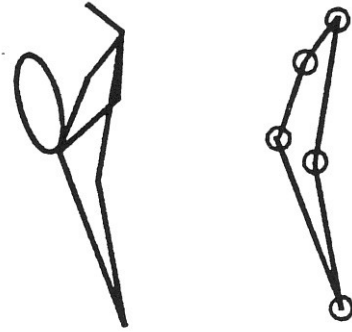
- sdružují mechanické vlastnosti pohybového segmentu
  - stupeň volnosti
  - charakter pohybu
  - atd.
- čím složitější (čím více parametrů zohledníme), tím reálnější (tím bližší živým strukturám)



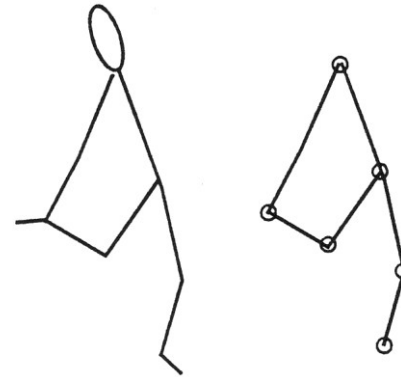
•otevřený  
biokinematický  
řetězec



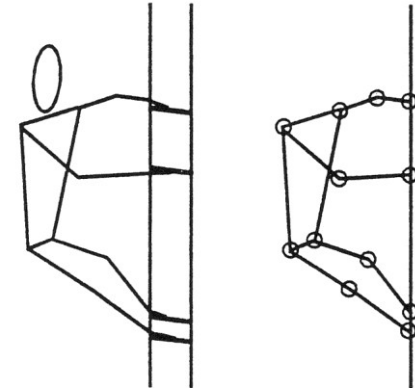
•uzavřený  
biokinematický  
řetězec



•smíšený  
biokinematický  
řetězec



•biomechanizmu



## **Spojení plynulé pojivovou tkání**

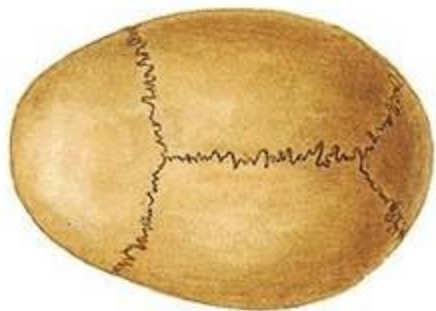
**Vazivem – syndesmosis, sutura, gomphosis**

**Chrupavkou – synchondrosis, symphysis**

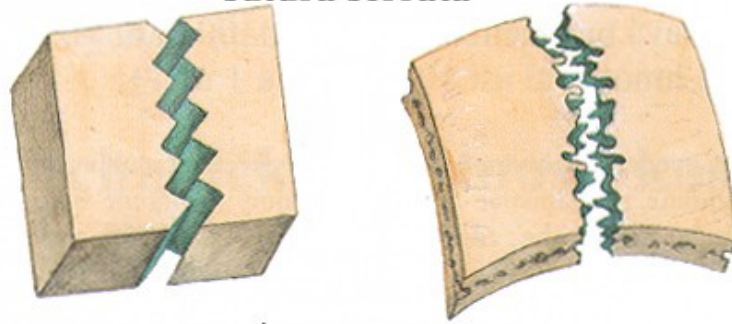
**Kostí – synostosis**

## **Spojení na dotyk**

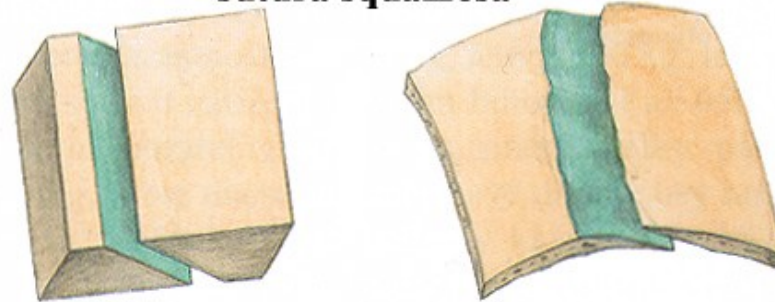
**kloub – articulatio synovialis**



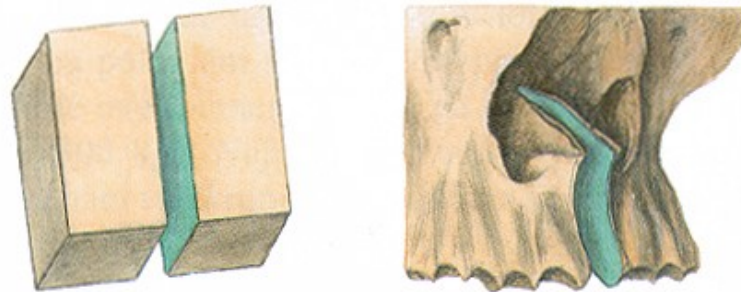
**sutura serrata**



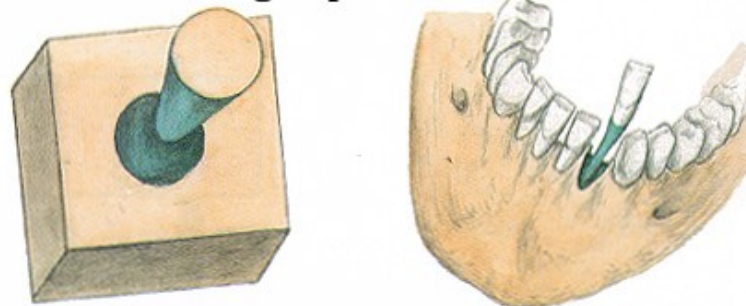
**sutura squamosa**



**sutura plana**



**gomphosis**





„Klouby umožňují pohyb“

## Druhy kloubů dle počtu stýkajících se kostí

- kloub jednoduchý (articulatio simplex)
- kloub složený (articulatio composita; více než 2 kosti, 2 kosti + discus nebo meniscus)

# Rozdělení kloubů podle tvaru styčných ploch

<b>a. plana</b> <i>/plochý, plane joint/</i>		a. acromioclavicularis, SI, intermetatarsales, zygapophysiales
<b>a. cylindrica</b> <i>/hinge joint and pivot joint/</i>	<b>Ginglymus</b> <i>/válcovitý, hinge joint/  <i>patří sem i kladkový kloub</i> </i>	a. interphalangeae proximales et distales, humeroulnaris, subtalaris
	<b>A. trochoidea</b> <i>/kolový, pivot joint/</i>	a. radioulnaris prox. et dist., atlantoaxialis mediana
<b>a. bicondylaris</b> <i>/dvojhrbolový/</i>		a. genus, temporomandibularis
<b>a. sellaris</b> <i>/saddle joint/</i>		a. carpometacarpalis pollicis
<b>a. ellipsoidea</b>		a. radiocarpalis, metacarpophalangeae, atlantooccipitalis
<b>a. spherioidea</b> <i>/ball-and-socket/</i>	<b>kulovitý volný</b>	a. humeri, humeroradialis, sternoclavicularis
	<b>kulovitý omezený</b>	a. coxae

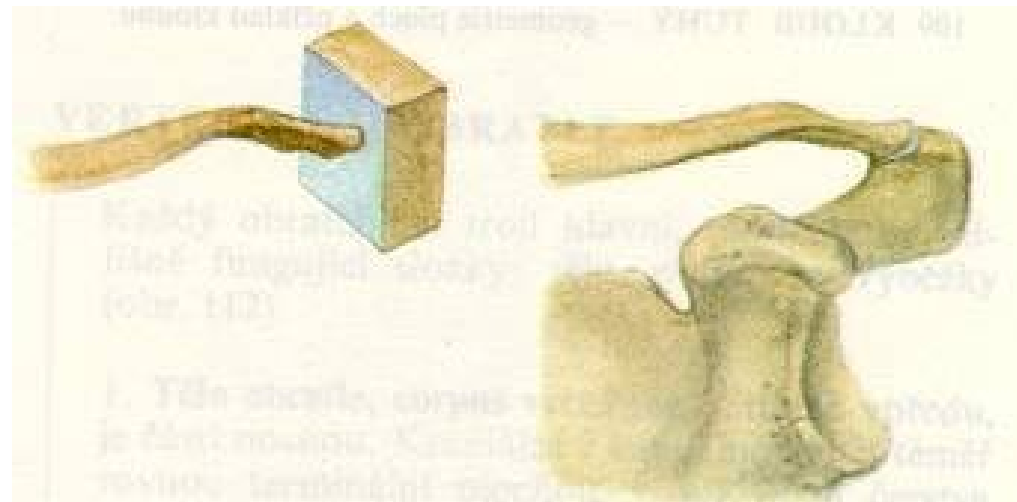
# Druhy kloubů

## dle stupně pohyblivosti a počtu pohybových os:

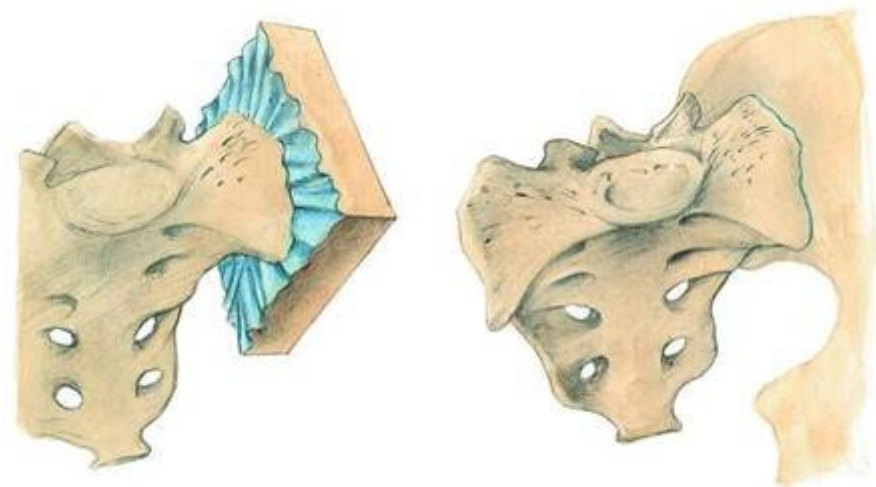
- klouby s minimálními pohyby (amphiarthrosis)
- klouby s posuvnými pohyby (klouby ploché)
- klouby s rotačními pohyby
  - klouby jednoosé (s jedním stupněm volnosti)
  - klouby dvouosé (se dvěma stupni volnosti)
  - klouby trojosé (se třemi stupni volnosti)



**Kloub plochý – AC skloubení**  
**Kývavé pohyby a posuny, vloženy**  
**disky**



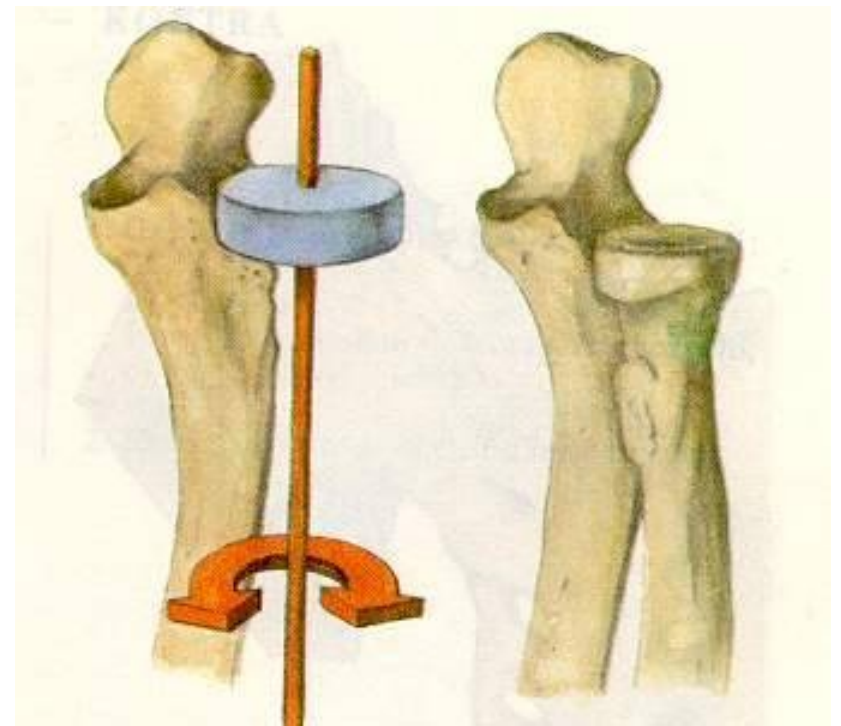
**Kloub tuhý – SI skloubení**  
**Nepravidelné plochy, pohyby**  
**minimální**





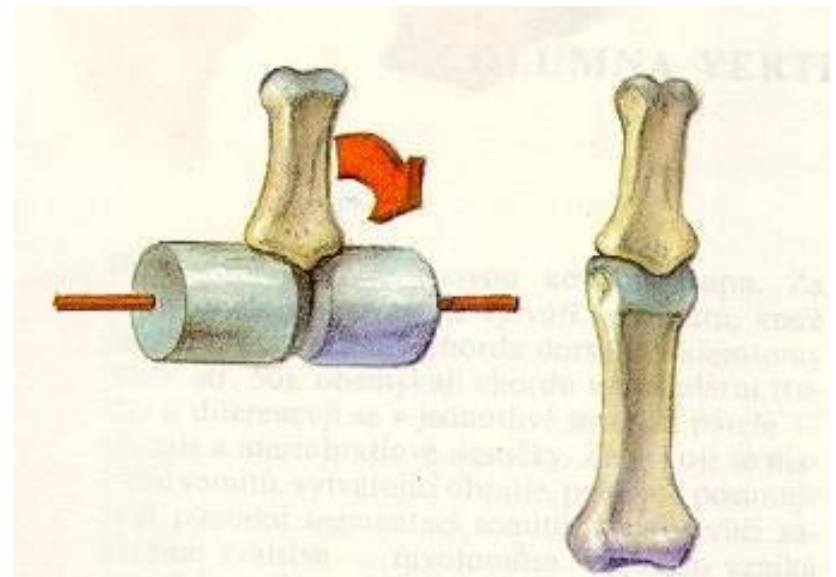
**Kloub kolový**

**R-U skloubení**



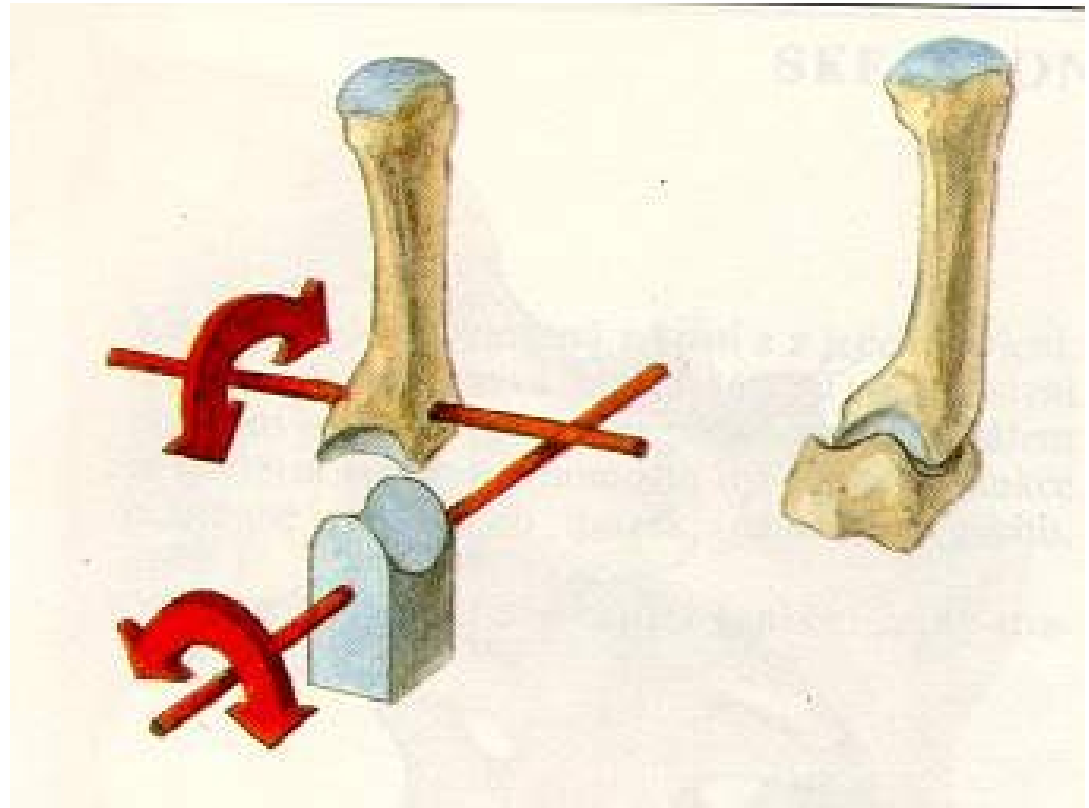
**Kloub kladkový**

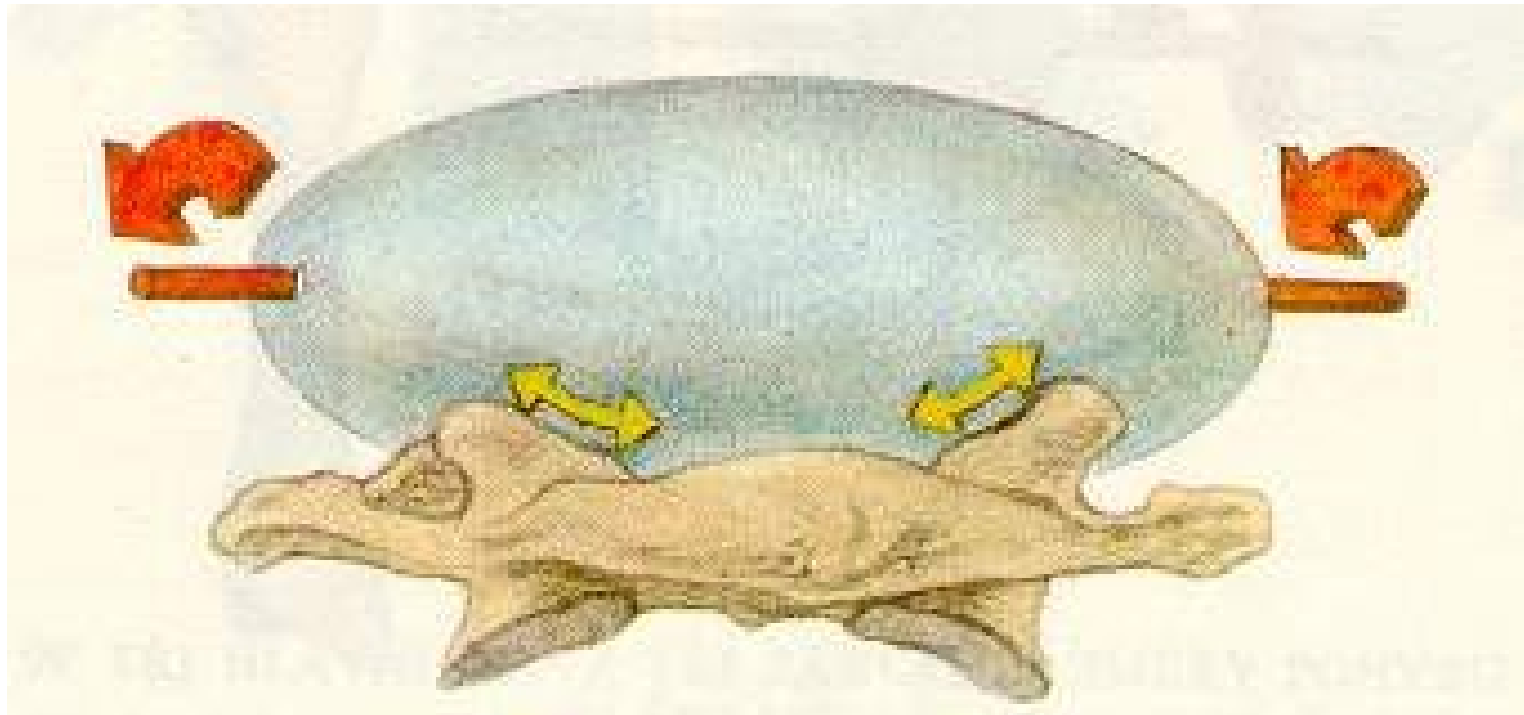
**IP klouby**



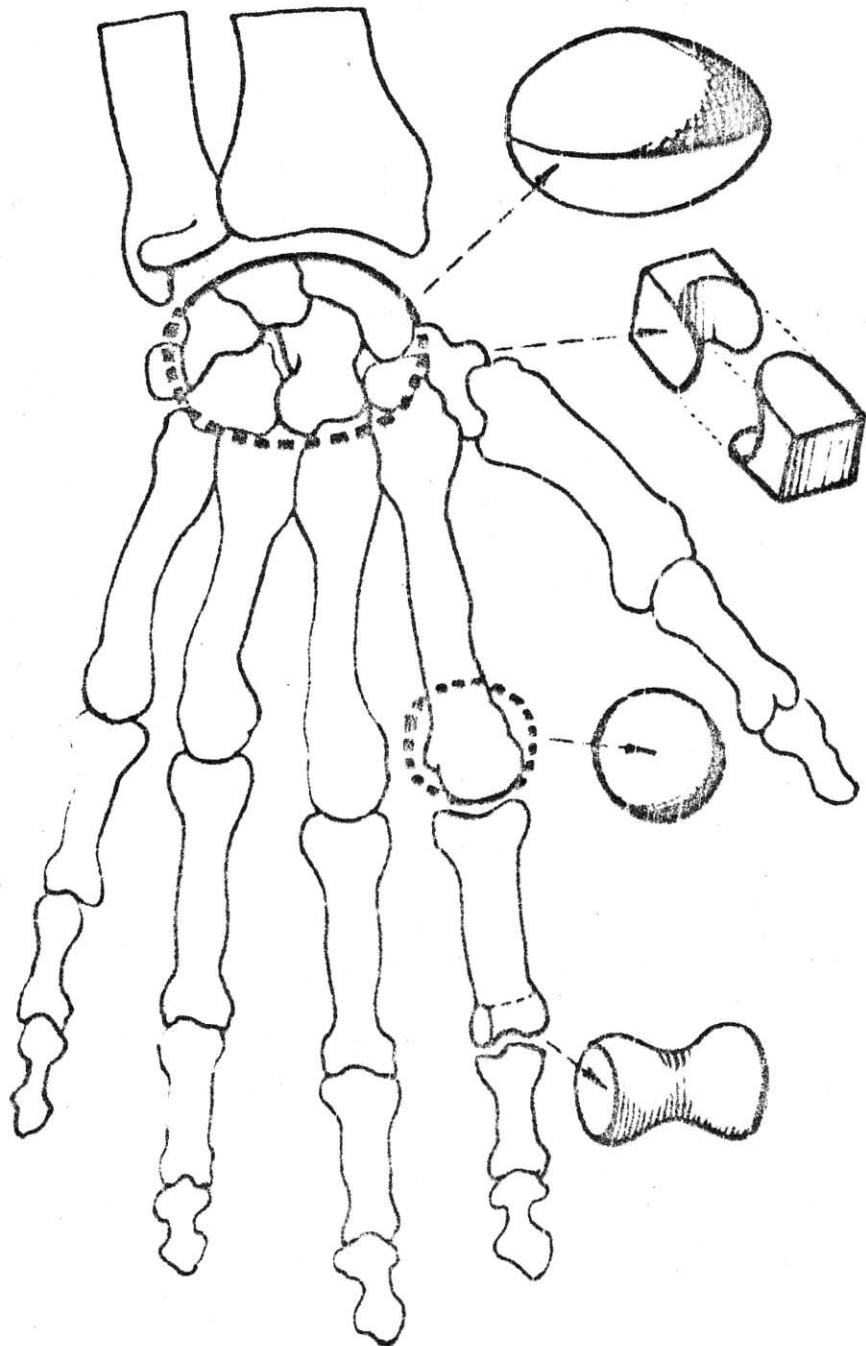
**Kloub sedlový –  
Art . CMTC I.**

**Pohyby ve dvou na  
sebe kolmých rovinách**





**Elipsovité kloub – atlanto-occipitální**



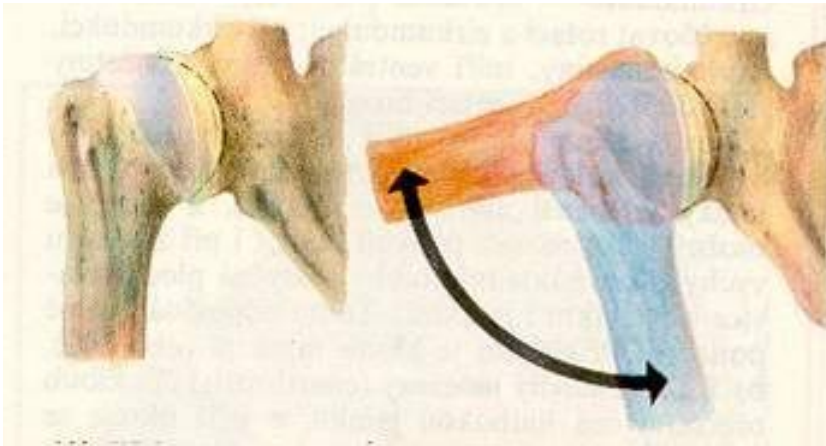
1

2

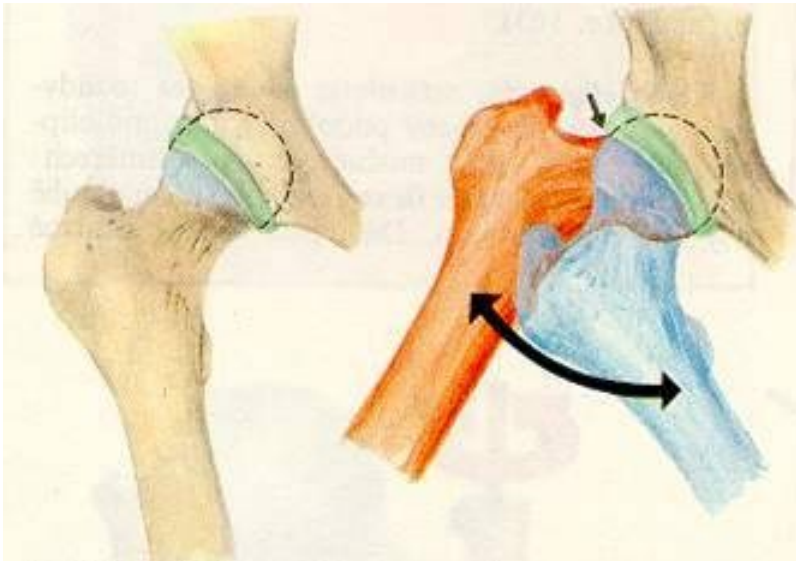
3

4

kloub vejčitý - č. 1  
(articulatio ellipsoidea)



**Kloub kulový volný**



**Kloub kulový s omezením**

# Postavení v kloubech

## základní postavení

– odpovídá základnímu anatomickému postavení

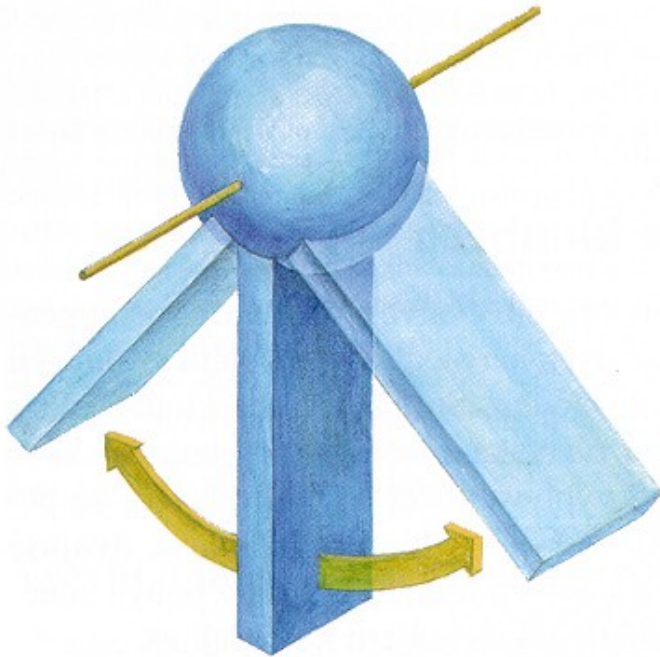
## střední postavení

– kloubní pouzdro nejvíce volné

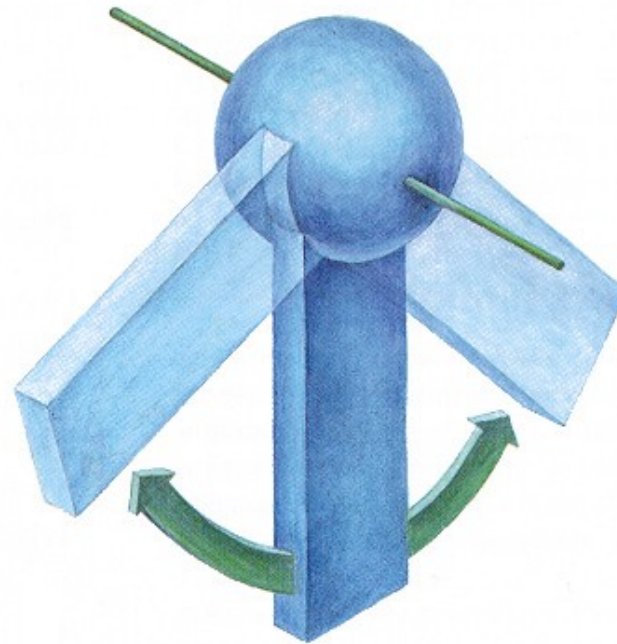
- výpočet středního postavení ramenního kloubu  
a kyčelního kloubu ...

# Základní pohyby v kloubech

**flexe - extenze**



**abdukce - addukce**



**rotace**



plantární flexe - dorzální flexe

= flexe/extenze – extenze/flexe ?!?

# Pohyby v kloubech

## pronace - supinace

= zvláštní typ rotace radia kolem ulny

## opozice - repozice

= zvláštní pohyb palce do polohy oproti ostatním prstům

## elevace - deprese

## protrakce - retrakce

## ulnární dukce - radiální dukce

= abdukce x addukce v zápěstním kloubu



# Složené pohyby v kloubech



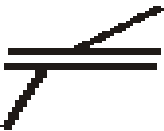
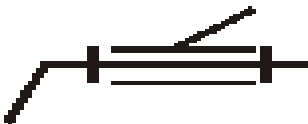

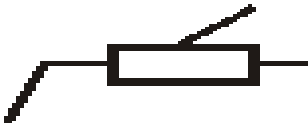


## cirkumdukce

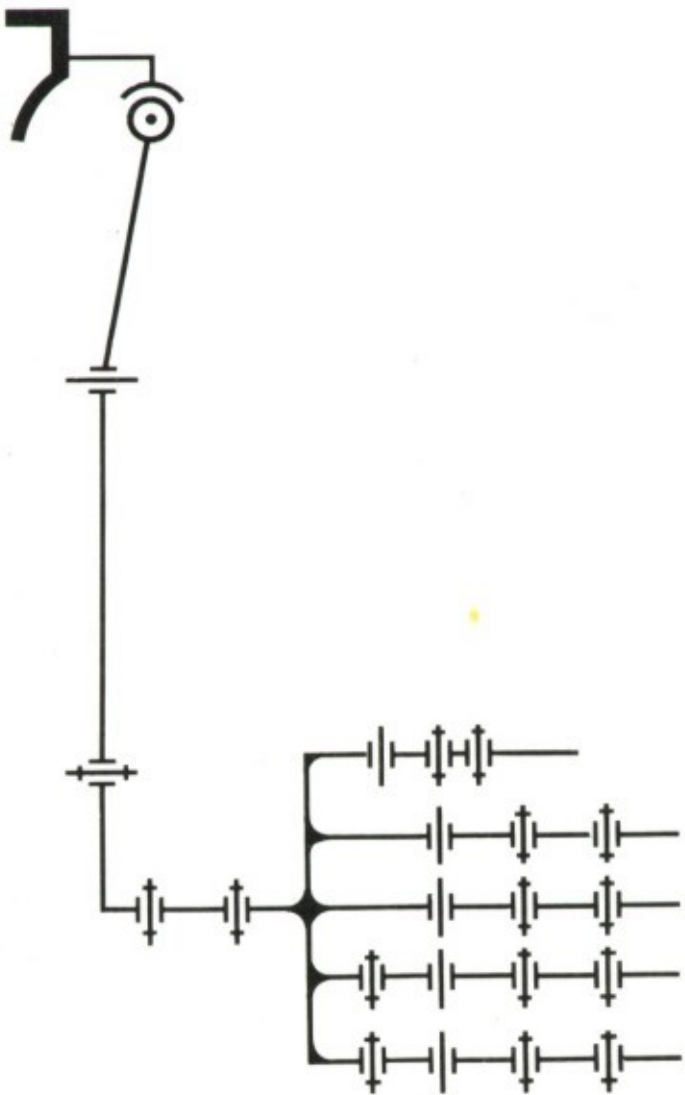
= cirkumdukující segment opisuje plášť kužele

## inverze - everze

= pronace+abdukce - supinace+addukce

# JEDNODUCHÉ KINEMATICKÉ DVOJICE

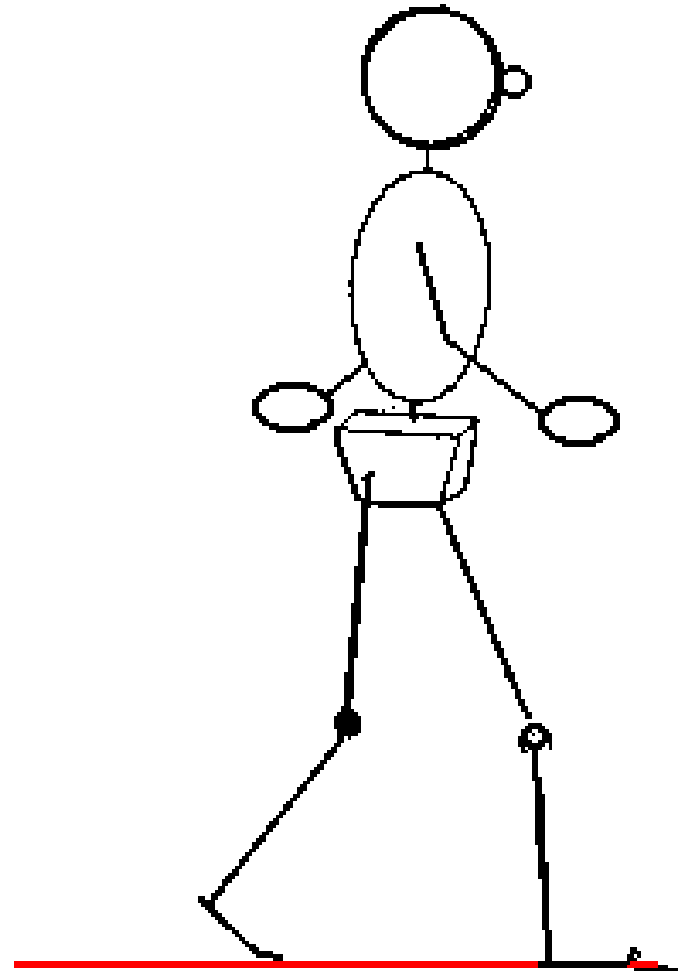
název	Symbol	$i$	značka	třída	příklad
LIBOVOLNÁ	K	1		6-i	-
SFÉRICKÁ	S	3		3	Kyčelní a ramenní kloub
PLOCHÁ	F	3		3	-
ROTAČNÍ	R	1		5	Klouby prstů
VÁLCOVÁ	C	2		4	-
POSUVNÁ	P	1		5	-
OBEČNÁ	G	5		1	Lopatka-hrudník
ROZPOJE- NÁ					-

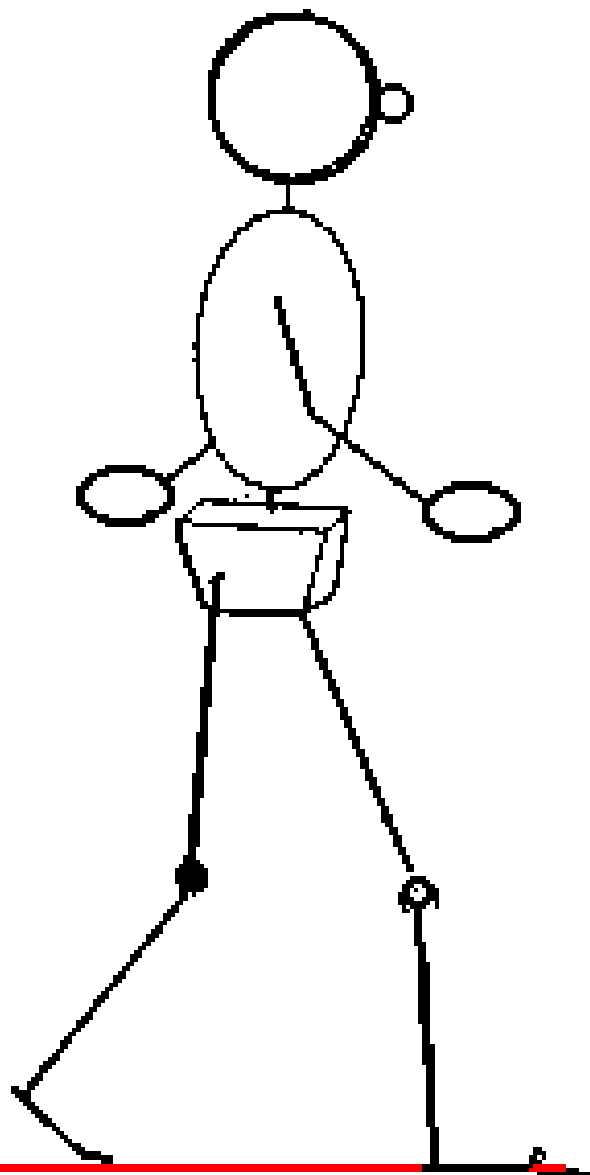


**schéma zápisu**

# Antropomorfní mechanismus

Náhradní mechanická soustava, která je tvořena hmotnými mechanickými členy vzájemně svázanými geometricky definovanými vazbami (kinematickými dvojicemi)





Simuluje tvar a hmotnostní geometrii těla, kinematickou a dynamickou charakteristiku vnitřních a vnějších vazeb pohybového aparátu člověka





File Help

Stick Figure



Markers



Move



Connect



Line Colour



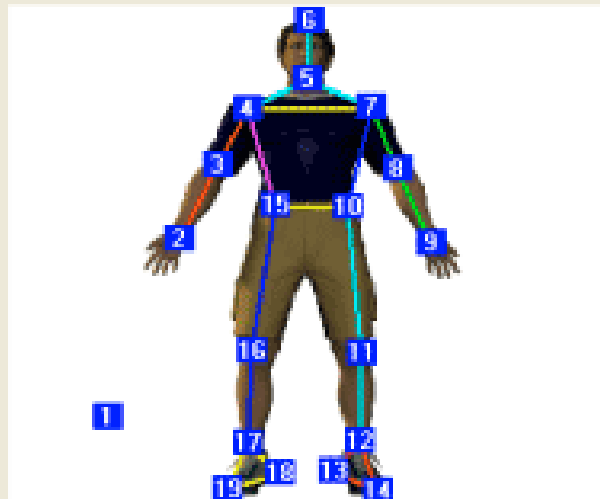
Snapshot



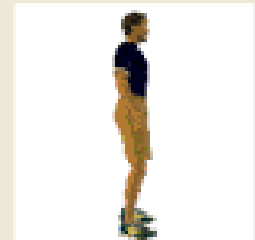
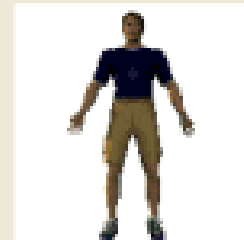
Save



Exit



Clothed | Quadriped | Skeleton | Colour








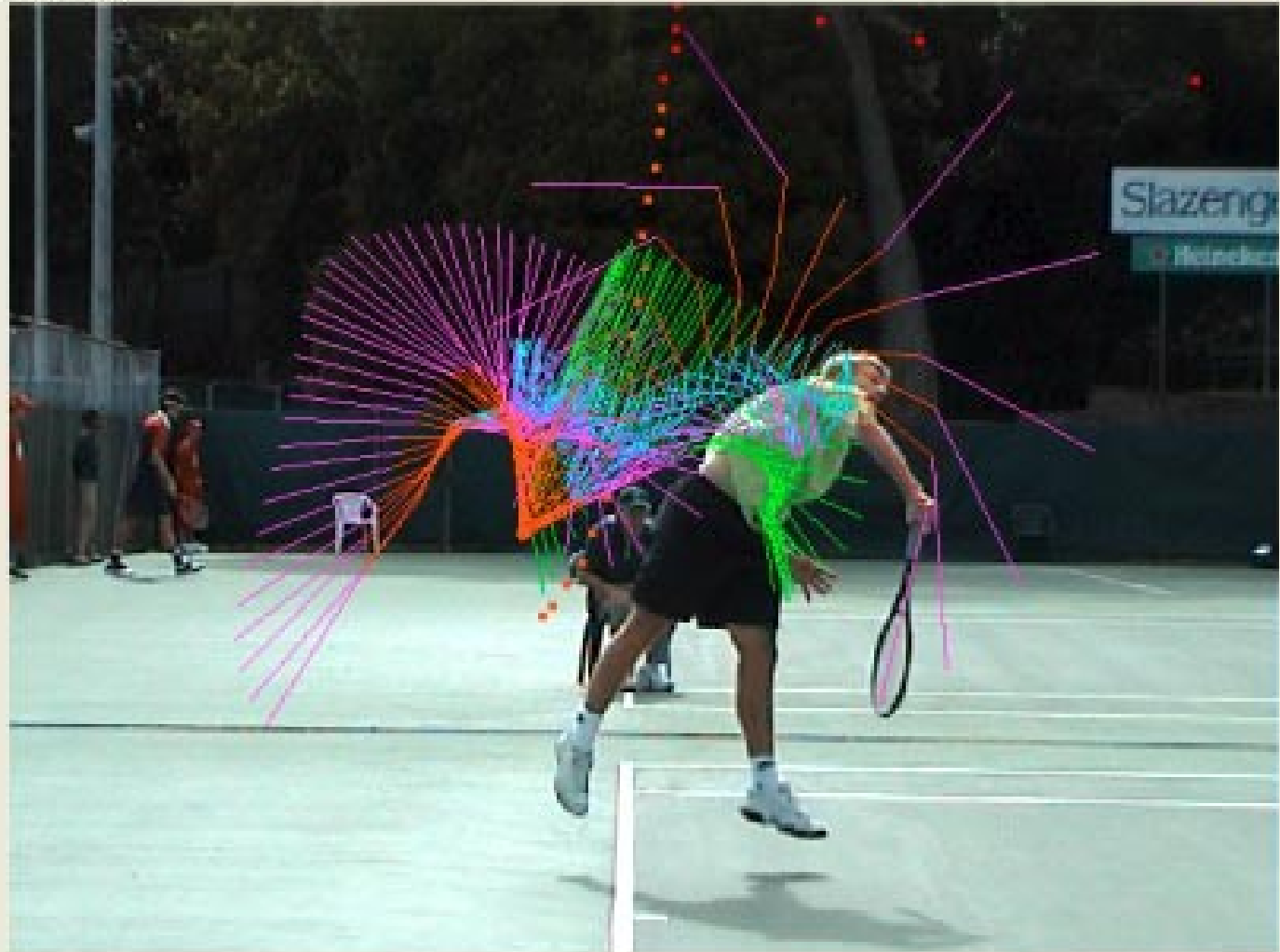
Point #	Name	Connection 1	Connection 2	Color 1	Color 2
1	ball			Fuchsia	
2	rt hand	3		Red	
3	rt elbow	4		Red	
4	rt shoulder	5	7	Aqua	Yellow
5	crni	6	7	Aqua	Aqua
6	apex				
7	lt shoulder	8	10	Line	Blue
8	lt elbow	9		Line	
9	lt hand				
10	lt hip	15		Yellow	
11	lt knee	10	12	Aqua	Aqua
12	lt ankle	13		Red	
13	lt heel	14		Red	
14	lt toe	12		Red	








Main

Digitiser Screen

-  View Points
-  View Lines
-  Show Trace
-  Show Data
-  Magnify
-  Snapshot



Play out of Bounds   Click on the : Racket Head      

# Geometrie hmotností lidského těla

## Statika lidského těla

Zjištění hmotnosti segmentů těla:

- z tabulek procentuálního rozložení (nutná znalost výšky a váhy)
- dle koeficientů zjištěných radioizotopovou metodou (Zaciorski, Selujanov, 1979)



# ... dle tabulky procentuálního rozložení

<b>Body part</b>	<b>% of total body mass (female)</b>
<b>Head</b>	<b>6.68</b>
<b>Trunk</b>	<b>42.57</b>
<b>Upper Arm</b>	<b>2.55</b>
<b>Forearm</b>	<b>1.38</b>
<b>Hand</b>	<b>0.56</b>
<b>Thigh</b>	<b>14.78</b>
<b>Calf</b>	<b>4.81</b>
<b>Foot</b>	<b>1.29</b>

... dle koeficientů zjištěných  
radioizotopovou metodou

$$M_j = \beta_0 + \beta_1 m + \beta_2 v$$

m = hmotnost těla (kg), v = výška těla (cm)

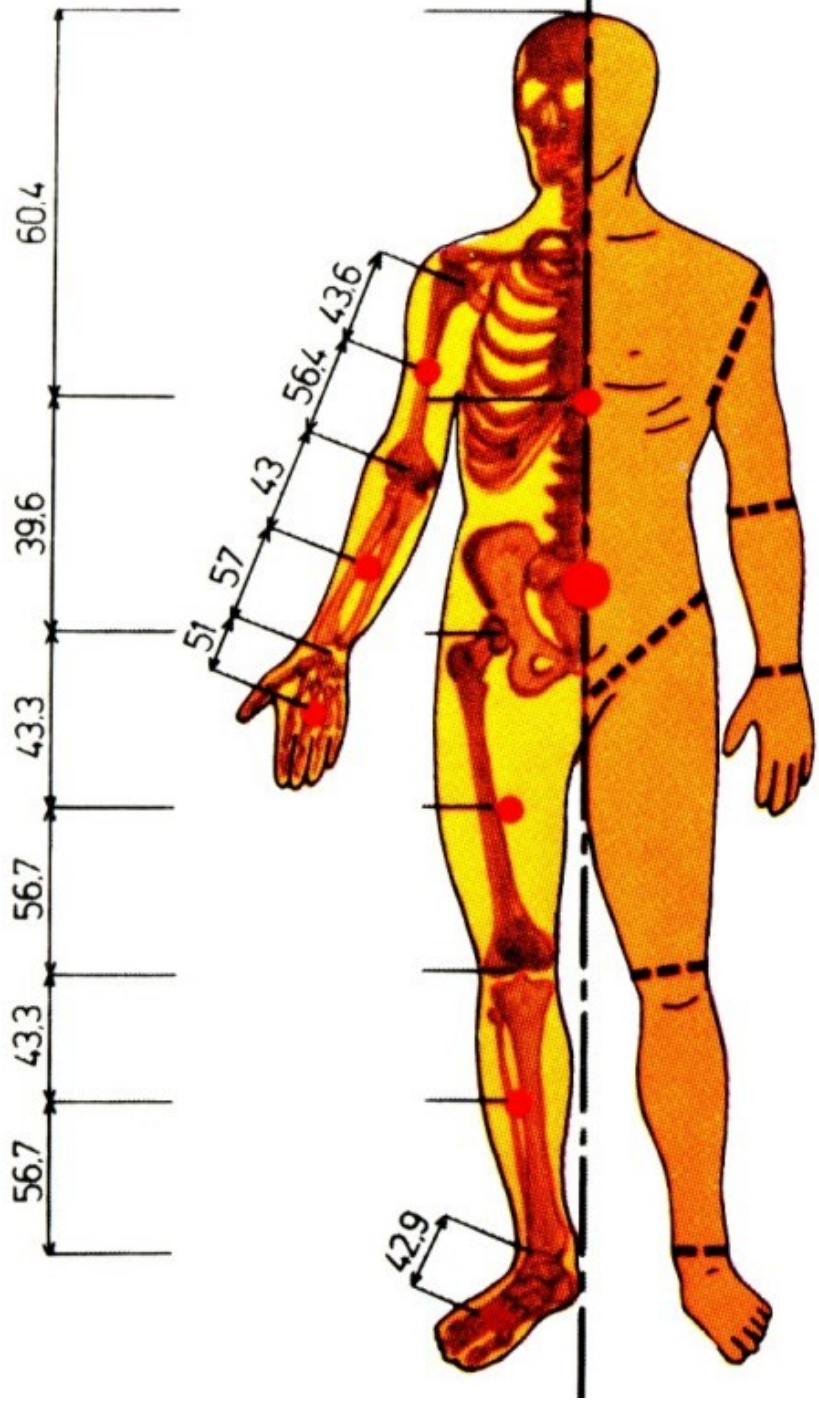
<b>název segmentu</b>	<b>B<sub>0</sub> (kg)</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub> (kg.cm<sup>-1</sup>)</b>
hlava	1,296	0,0171	0,0143
trup - horní část	8,2144	0,1862	-0,0584
trup - střední část	7,181	0,2234	-0,0663
trup - dolní část	-7,498	0,0976	0,04896
stehno	-2,649	0,1463	0,0137
bérec	-1,592	0,03616	0,0121
noha	-0,829	0,0077	0,0073
nadloktí	0,25	0,03013	-0,0027
předloktí	0,3185	0,01445	-0,00114
ruka	-0,1165	0,0036	0,00175

<b>Segment</b>	<b>B<sub>0</sub>[kg]</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub>[kg/cm]</b>	<b>Hmotnost [kg]</b>
<b>Hlava</b>	<b>1.296</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.0143</b>	<b>5.4438</b>
<b>Ruka</b>	<b>-0.1165</b>	<b>0.0036</b>	<b>0.00175</b>	<b>0.5147</b>
<b>Předloktí</b>	<b>0.3185</b>	<b>0.01445</b>	<b>-0.00114</b>	<b>1.28452</b>
<b>Nadloktí</b>	<b>0.25</b>	<b>0.03012</b>	<b>-0.0027</b>	<b>2.20144</b>
<b>Noha</b>	<b>-0.829</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.0073</b>	<b>1.204</b>
<b>Bérec</b>	<b>-1.592</b>	<b>0.03616</b>	<b>0.0121</b>	<b>3.69632</b>
<b>Stehno</b>	<b>-2.649</b>	<b>0.1463</b>	<b>0.0137</b>	<b>11.978</b>
<b>Trup</b>				<b>34.94572</b>
<b>Horní část trupu</b>	<b>8.2144</b>	<b>0.1862</b>	<b>-0.0584</b>	<b>12.27</b>
<b>Střední část trupu</b>	<b>7.181</b>	<b>0.2234</b>	<b>-0.0663</b>	<b>12.7702</b>
<b>Dolní část trupu</b>	<b>-7.498</b>	<b>0.0976</b>	<b>0.04896</b>	<b>9.90552</b>
<b>Horní končetina celkem</b>				<b>4.00066</b>
<b>Dolní končetina celkem</b>				<b>16.87832</b>
<b>Celkem:</b>				<b>82.14748</b>

# Těžiště segmentů těla

Segment	Lokace těžiště
ruka	39:61 %
předloktí	43:57 %
nadloktí	44:56 %
hlava + krk	50:50 %
trup	42:58 %
stehno	43:57 %
bérec	41:59 %
nohy	v těžišti trojúhelníku vymezeného krajními body chodidla a středem hlezenního kloubu

Experi-  
mentálně  
zjištěné  
hodnoty



Segment	Definition	Segment Wt /Total Body Wt	Centre of Mass /Segment engh	Centre of Mass/ Segment length
<a href="#">Hand</a>	wrist/knuckle II digit 3	.006	.506 <i>Proximal</i>	.494 <i>Distal</i>
Forearm	elbow/ulnar styloid	.016	.430	.570
Upper arm	G.H jt/elbow	.028	.436	.564
F'arm+hand	elbow/ulnar styloid	.022	.682	.318
Upper limb	G.H jt/ ulnar styloid	.050	.530	.470
Foot	Lat. mall/hd. MT2	.0145	.50	.50
Shank	Fem.cond./med. mall	.0465	.433	.567
Thigh	Gr.troch/fem. cond.	.100	.433	.567
Foot+shank	fem. cond./med. mall.	.061	.606	.394
Lower Limb	Gr.troch/med. mall.	.161	.447	.553
Head, neck, trunk	Gr troch/G.H joint	.578	.66	.34
Head, neck, arms, trunk	Gr troch/G.H joint	.678	.626	.374
Head and neck	[C7-T1 and 1st rib]/ear canal	.081	1.000*	.000*

# Celkové těžiště těla

## Metody výpočtu

- grafická
- výpočtem (nutná znalost dílčích těžišť)

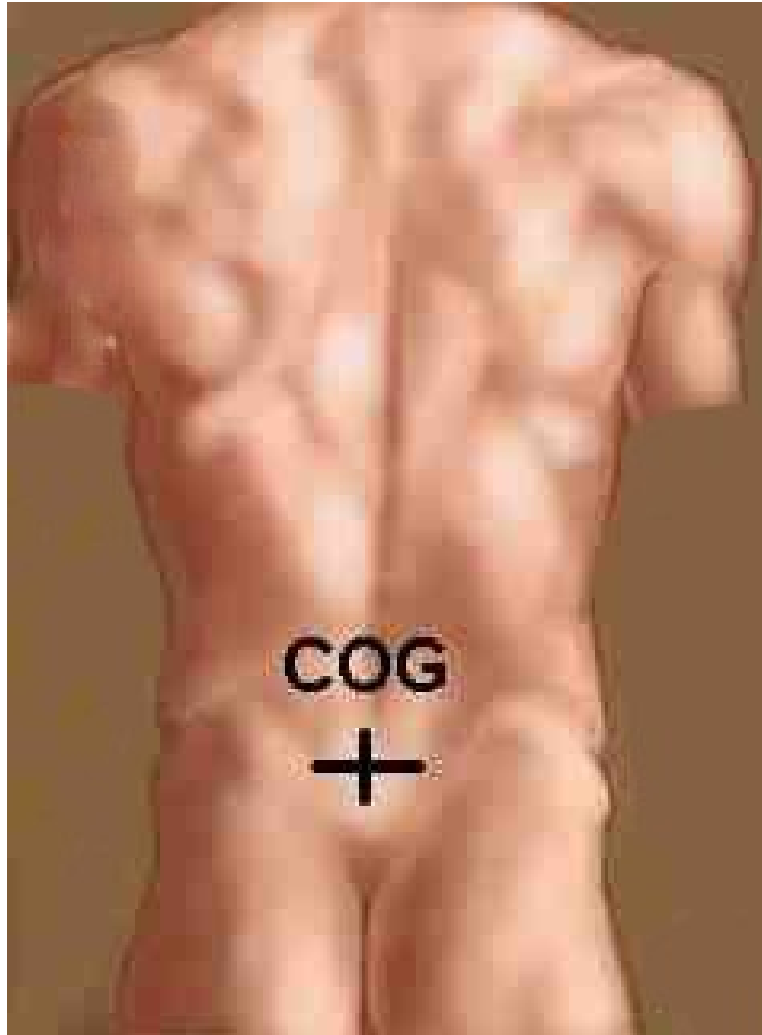
$$x_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$y_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$z_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$



# Celkové těžiště těla ve stoji (základní anatomické postavení)



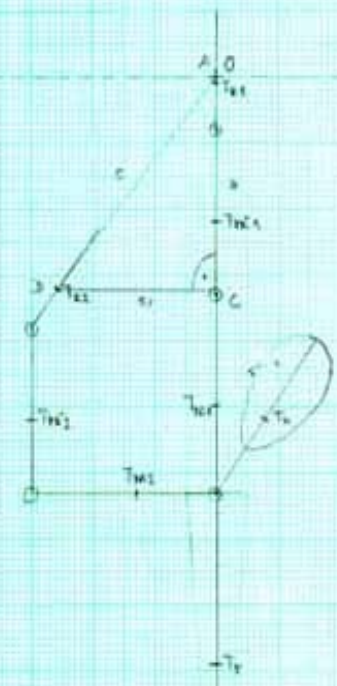
**4-6 cm před  
promontoriem  
ve výši S2-S3**

**u žen o cca 1-2  
% níže**



angle = 45°

width = 56 mm



# NEWTONOVY ZÁKONY

# ZÁKON SETRVAČNOSTI:

Izolované těleso setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém pokud není přinuceno vnějšími silami tento pohybový stav změnit.

Soustavy, ve kterých setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém se nazývají soustavy setrvačné neboli inerciální.

# ZÁKON SÍLY

**Zrychlení je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.**

(Na těleso působí síla 1N, když tělesu o hmotnosti 1 kg udělíme zrychlení 1 m.s<sup>-2</sup>)

Důsledky zákona síly:

a) pohyb rovnoměrný přímočarý  $v = \text{konst.}$   $F = a \cdot m$   $F = 0$

b) pohyb rovn. zrychlený  $a = \text{konst.}$   $F = a \cdot m$   $F = \text{konst.}$

c) volný pád  $g = \text{konst.}$   $F_g = m \cdot g$   $F_g \dots$  Tíhové zrychlení

# ZÁKON AKCE A REAKCE

**Silové působení těles je vždy vzájemné.  
Síly vzájemného působení se nazývají síly akce a reakce.**

**Síly akce a reakce jsou stejně velké opačně orientované, zároveň vznikají a zanikají.**

$$F = a * m$$

$$F = v/t * m$$

$$F * t = m * v$$

**Jestliže síla působí určitou dobu na těleso uděluje tělesu tzv. hybnost.**

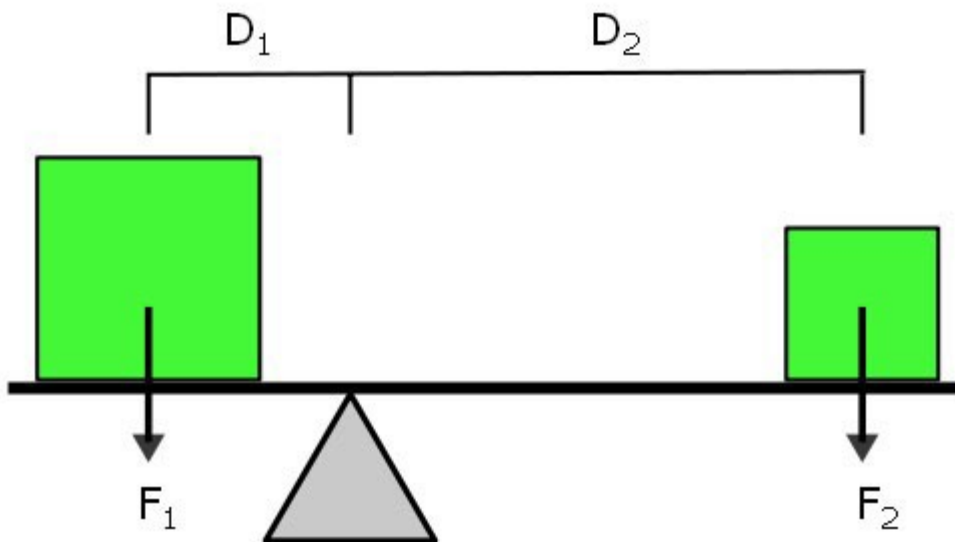
**Hybnost má v daném okamžiku směr okamžité rychlosti.**

$$p = m * v \text{ [kg*m*s}^{-1}\text{]}$$

# Aplikace Newtonových zákonů - páky

"Πα βω και χαριστιωνι ταν γαν κινησω πασαν."

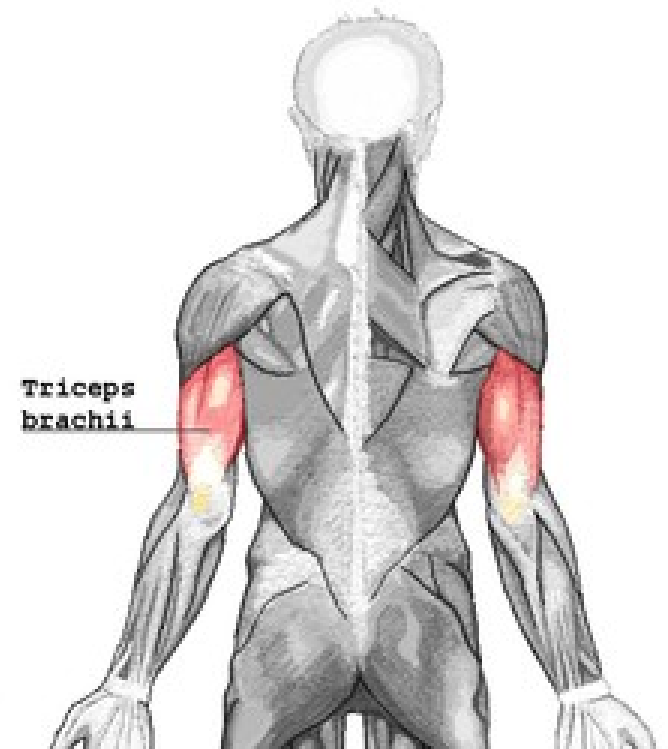
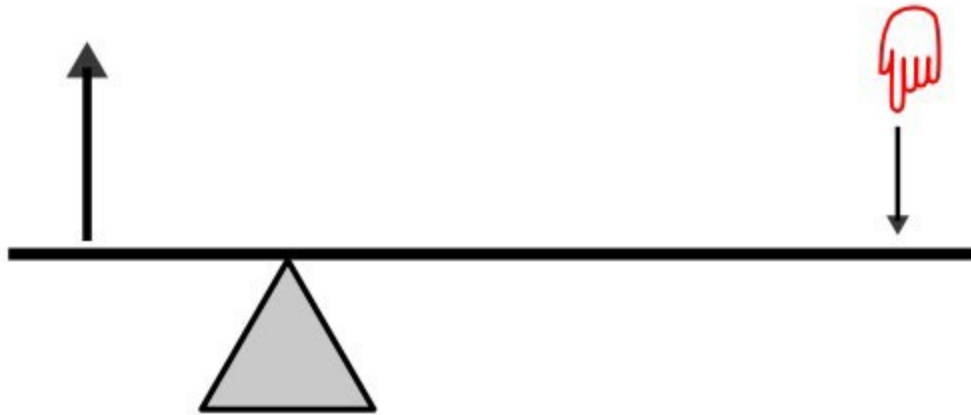
Give me a place to stand and with a lever I will move the whole world (Archimedes)



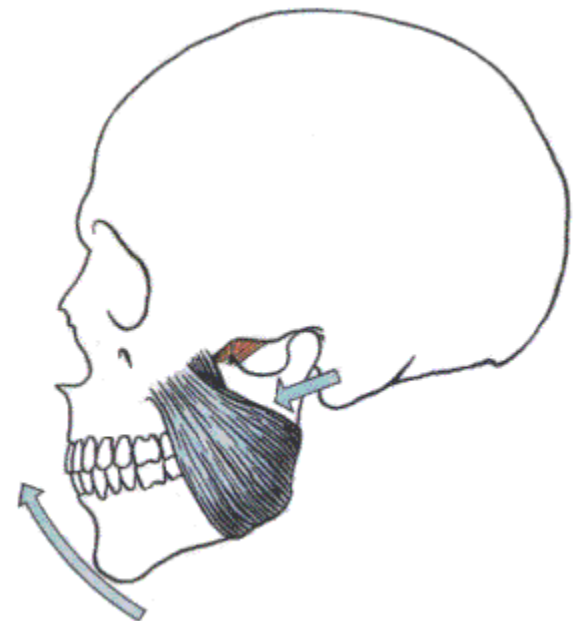
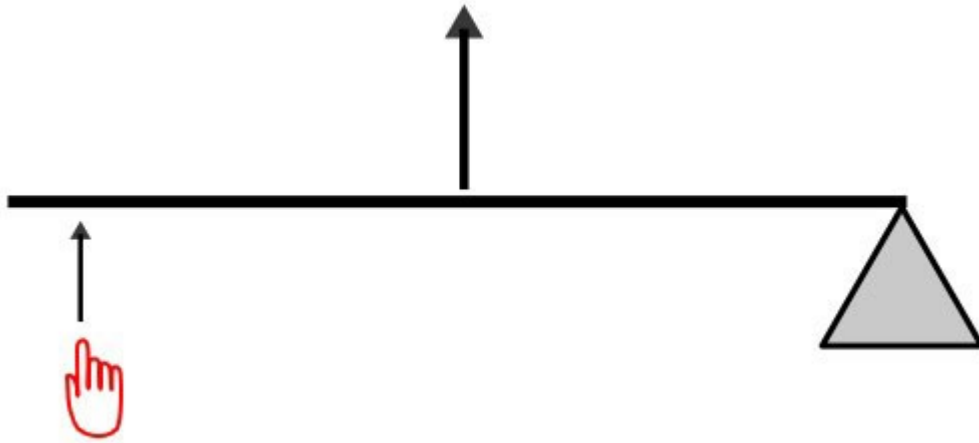
$$F_1 * D_1 = F_2 * D_2$$



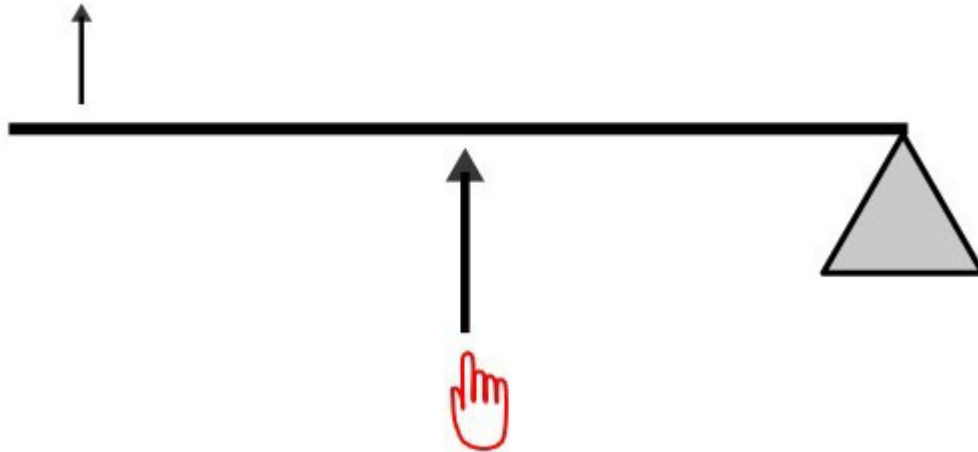
# Páky I. třídy



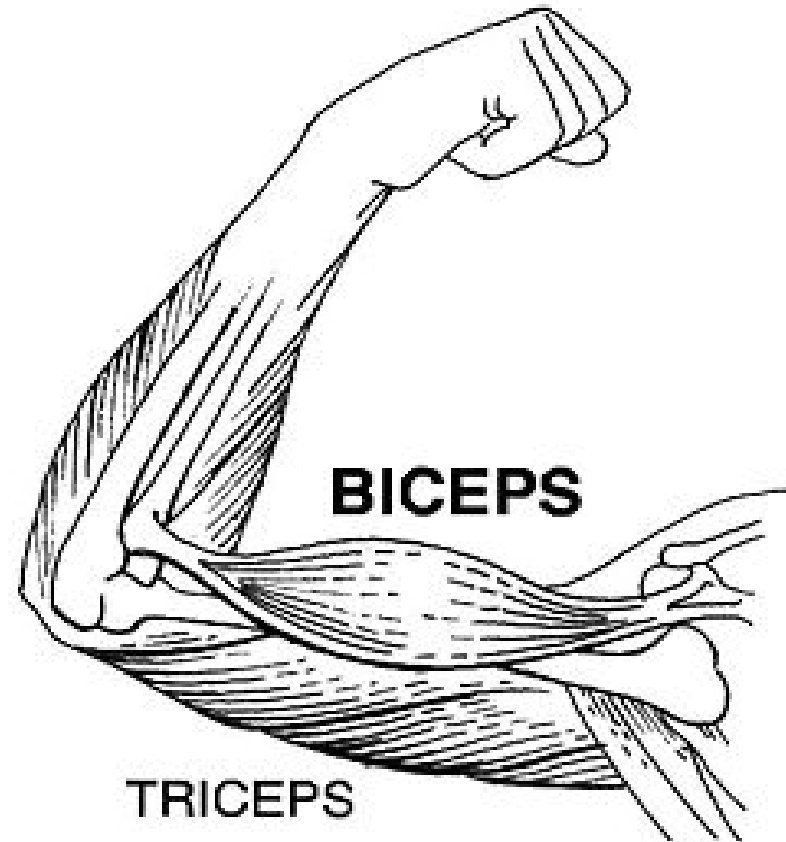
# Páky II. třídy



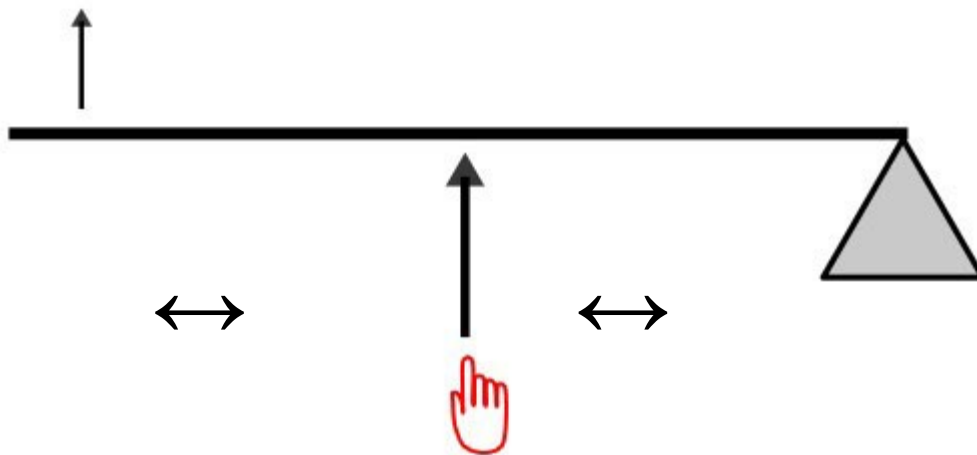
# Páky III. třídy



většina svalů člověka je pákou III. třídy



páky síly  $\leftrightarrow$  páky rychlosti



# MOMENT SETRVAČNOSTI

- = název pro rotační setrvačnost (rotační analog hmoty pro lineární pohyb)
- objevuje se ve vztahu k dynamice rotačního pohybu
- moment setrvačnosti musí být specifikován vzhledem k vybrané rotační ose
- pro hmotný bod platí:

$$J = m r^2 \quad \left[ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

- každý objekt je možné charakterizovat jako soustavu segmentů, soubor hmotných bodů:

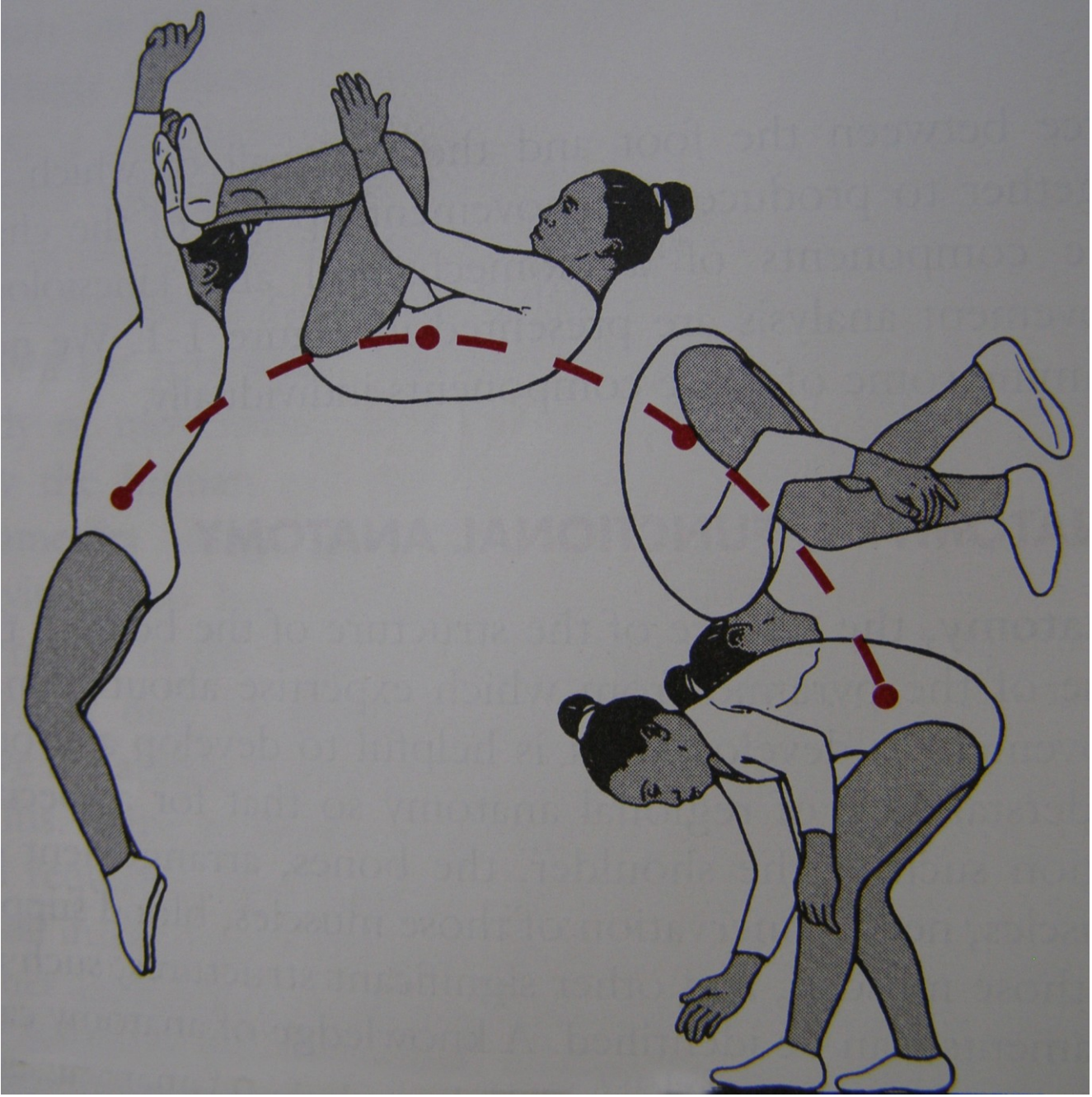
$$J = \sum_1^{\infty} m_i r_i^2 \quad J_0 = \int r^2 dm \quad \left[ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

# MOMENT SETRVAČNOSTI

Význam:

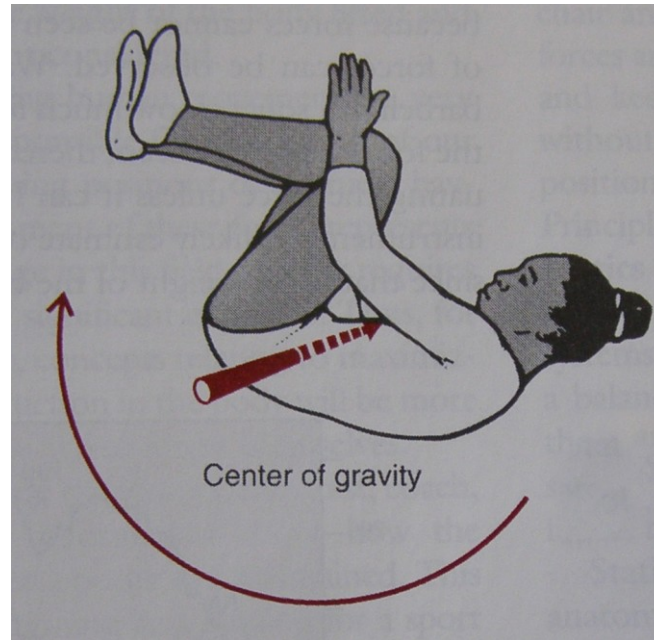
- vyskytuje se ve většině rovnic řešících rotaci člověka
  - točivost
  - kinetická energie rotačního pohybu  $E_K = \frac{1}{2} J \omega^2$
- dle zákona o zachování točivosti (momentu hybnosti) izolované soustavy lze využít změn velikosti momentu setrvačnosti v letových fázích rotačního pohybu ke změnám úhlové rychlosti během letu, tj. přiblížením hmotností některých segmentů těla k ose otáčení (neboli zmenšením celkového momentu setrvačnosti) zvýšit rychlost rotace a naopak
  - salta
  - vruty
  - přemety
  - přeskoky přes náčiní s rotací atd.





# Moment setrvačnosti tělesa závisí na ose otáčení tělesa:

osa otáčení  
prochází  
těžištěm těla

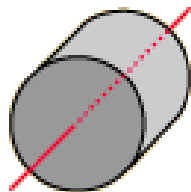




# ● osa otáčení prochází těžištěm tělesa

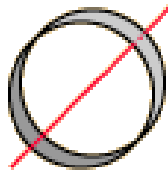
- velikosti momentů setrvačnosti pro homogenní pravidelná tělesa lze nalézt ve fyz. tabulkách.

Solid cylinder or disc, symmetry axis



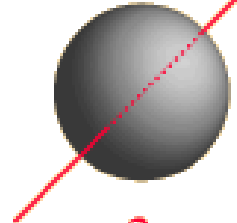
$$I = \frac{1}{2} MR^2$$

Hoop about symmetry axis



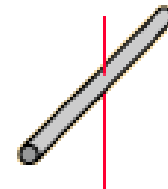
$$I = MR^2$$

Solid sphere



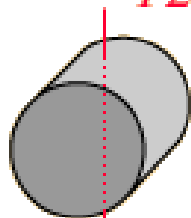
$$I = \frac{2}{5} MR^2$$

Rod about center



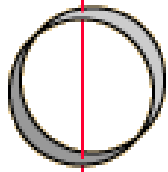
$$I = \frac{1}{12} ML^2$$

$$I = \frac{1}{4} MR^2 + \frac{1}{12} ML^2$$



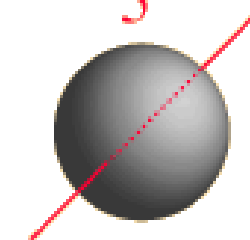
Solid cylinder, central diameter

$$I = \frac{1}{2} MR^2$$



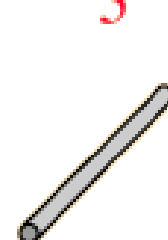
Hoop about diameter

$$I = \frac{2}{3} MR^2$$



Thin spherical shell

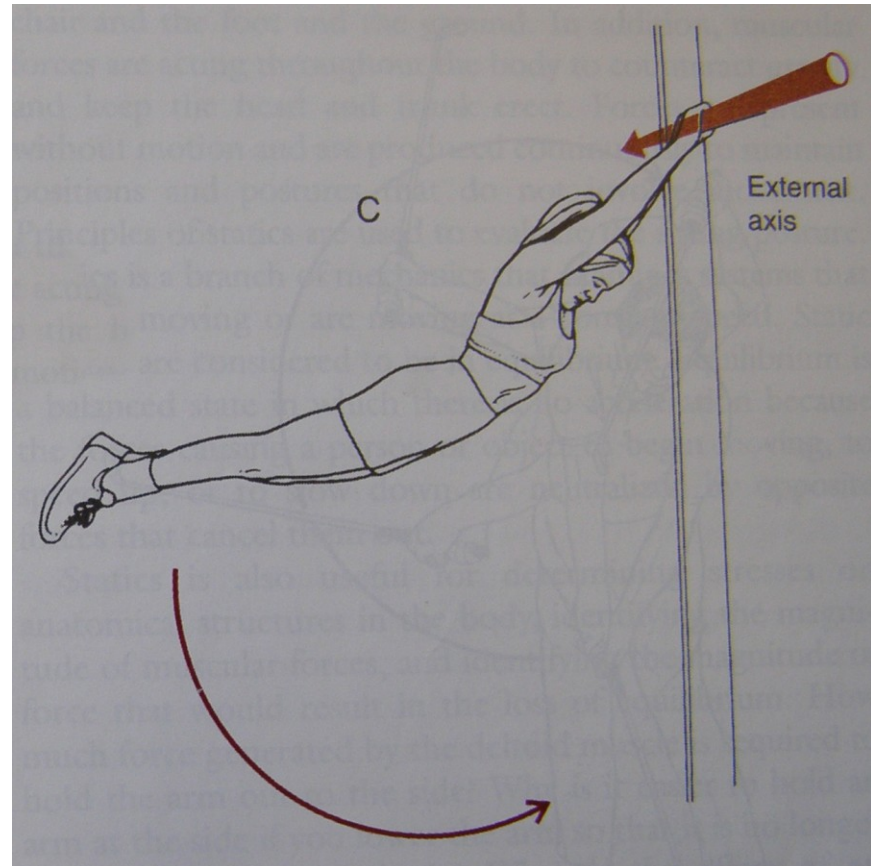
$$I = \frac{1}{3} ML^2$$



Rod about end

# Moment setrvačnosti tělesa závisí na ose otáčení tělesa:

osa otáčení  
neprochází  
těžištěm těla



## ● osa otáčení neprochází těžištěm tělesa:

- pro výpočet celkového momentu setrvačnosti použijeme Steinerovu větu:

$$J = J_0 + md^2 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

***J*** celkový moment setrvačnosti tělesa

***J*<sub>0</sub>** moment setrvačnosti tělesa vzhledem k rovnoběžné ose procházející těžištěm tělesa

***d*** vzdálenost osy otáčení a osy procházející těžištěm

***m*** hmotnost tělesa.

# Momenty setrvačnosti „ $J_0$ “ segmentů lidského těla

● vzhledem k osám kolmým na rovinu frontální (např. provádění veletočce) a sagitální (např. provádění vrutů) byly zjišťovány experimentálně Zaciorskim a Selujanovem (1979) a lze je vyjádřit na základě znalosti celkové hmotnosti a výšky jedince rovnicí:

$$J_0 = B_0 + B_1 m + B_2 v \quad \left[ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \right]$$

Platí pro jednotlivé segmenty

# Výpočet momentů setrvačnosti segmentů těla dle Zaciorského a Selujanova, 1979

frontální rovina

segment	$B_0$ [kg.cm <sup>2</sup> ]	$B_1$ [kg.cm <sup>2</sup> ]	$B_2$ [kg.cm]
noha	-100	0,48	0,626
bérec	-1105	4,59	6,63
stehno	-3557	31,7	18,61
ruka	-19,5	0,17	0,116
předloktí	-64	0,95	0,34
nadloktí	-250,7	1,56	1,512
hlava	78	1,171	1,519
vrchní část trupu	81,2	36,73	-5,97
střední část trupu	18,5	39,8	-12,87
spodní část trupu	1568	12	7,741

$$J_y = B_0 + B_1 m + B_2 v \quad (\text{kg.cm}^2)$$

kde  $m$  (kg) je celková hmotnost  
a  $v$  (cm!) je výška pokusné osoby.

Všechny výše uvedené koeficienty byly stanoveny experimentálně, mají stochastický charakter a jejich použití na „průměrnou“ populaci je tedy provedeno s jistou pravděpodobností a zatíženo určitou chybou měření.

# Celkový moment setrvačnosti člověka

Steinerova věta pro soustavu hmotných  
segmentů, tj. platí rovnice:

$$J = \sum_1^n J_{0i} + \sum_1^n m_i d_i^2 \quad [kg \cdot m^2]$$

Frontální rovina:

Segment	$B_0$ [kg.cm <sup>2</sup> ]	$B_1$ [kg.cm <sup>2</sup> ]	$B_2$ [kg.cm]	$J_0$ [kgcm <sup>2</sup> ]
Hlava	-112	1.43	1.73	337.42
Ruka	-13.68	0.088	0.092	11.2
Předloktí	-67.9	0.855	0.376	74.402
Nadloktí	-232	1.526	1.343	150.988
Noha	-97.09	0.414	0.614	54.746
Bérec	-1152	4.594	6.815	533.188
Stehno	-3690	32.02	19.24	2629.72
Trup				
Horní část trupu	367	18.3	-5.73	767.44
Střední část trupu	263	26.7	-8	916.4
Dolní část trupu	934	11.8	3.44	2562.08

# Sagitální rovina

Segment	$B_0$ [kg.cm <sup>2</sup> ]	$B_1$ [kg.cm <sup>2</sup> ]	$B_2$ [kg.cm]	$J_0$ [kgcm <sup>2</sup> ]
Hlava	-78	1.171	1.519	309.67
Ruka	-19.5	0.17	0.116	16.712
Předloktí	-64	0.95	0.34	79.18
Nadloktí	-250.7	1.56	1.512	167.524
Noha	-100	0.48	0.626	59.552
Bérec	-1105	4.59	6.63	544.34
Stehno	-3557	31.7	18.61	2615.52
Trup				
Horní část trupu	81.2	36.73	-5.97	1946.82
Střední část trupu	18.5	39.8	-12.87	811.06
Dolní část trupu	1568	12	7.741	4038.272



# Kinematika pohybu člověka

## Pohyb tělesa:

složka posuvná a otáčivá

- pohyb posuvný (translační): všechny hmotné body tělesa mají v témž okamžiku stejnou rychlost a zrychlení (jednotlivé hmotné body tělesa opisují shodné křivky, jež lze posunutím ztotožnit)
- pohyb otáčivý (rotační): všechny hmotné body tělesa mají v témže okamžiku stejnou úhlovou rychlost

V situacích, kdy je možné redukovat těleso nebo soustavu těles na bod (např. těžiště), je výhodné jej analyzovat klasickým Newtonovským způsobem buď jako pohyb rovinný (2D), nebo pohyb prostorový (3D).

# Kinematika pohybu člověka

## ● Základní veličiny:

- dráha (změna polohy)
- rychlost
- zrychlení

Pohyb je pojem relativní, vždy je nutno zvolit souřadnicovou soustavu, vzhledem k níž pohyb uvažujeme

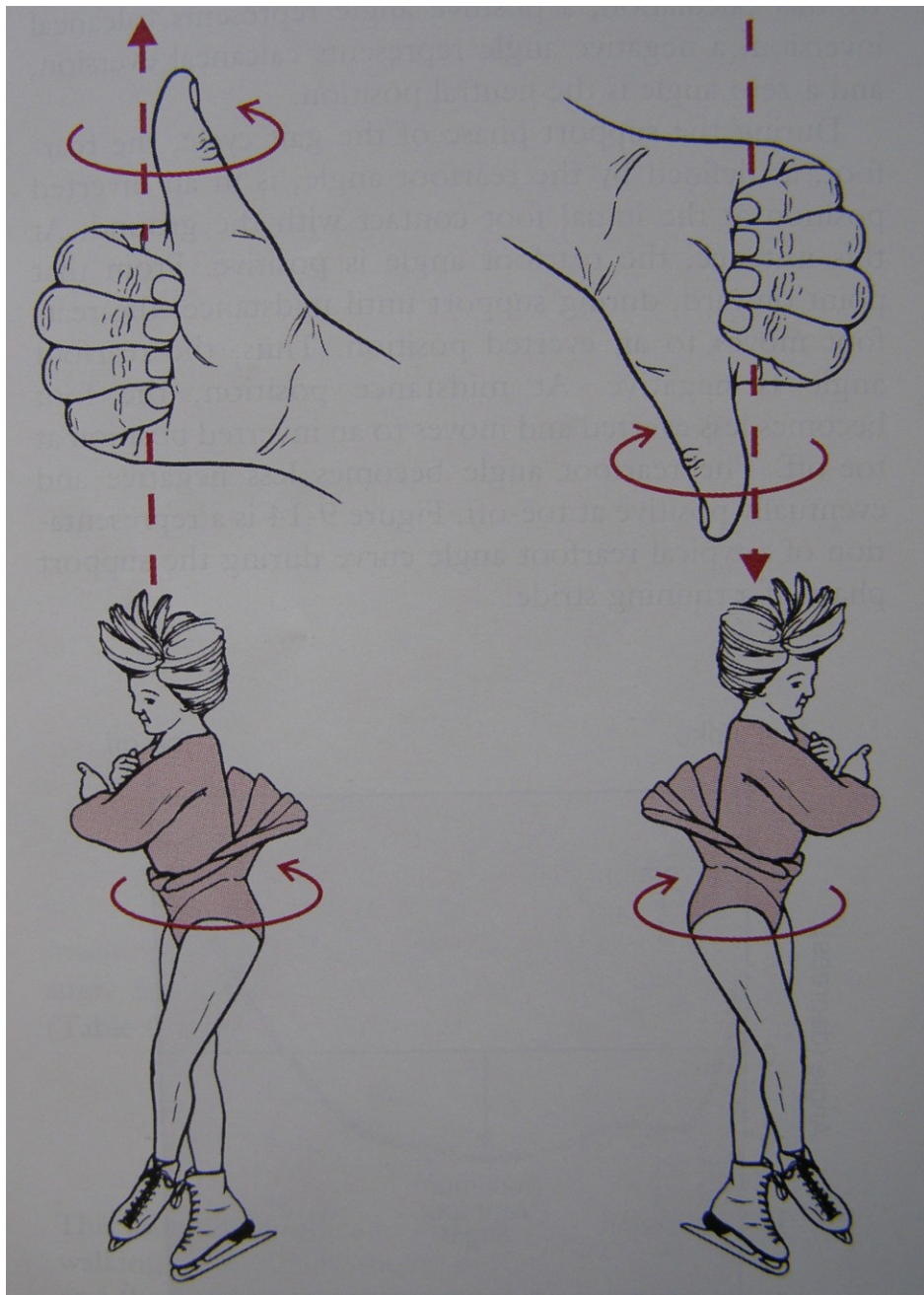
# Rychlost

- Rychlost „ $v$ “ = změna dráhy v čase ( $\text{ms}^{-1}$ )
- Úhlová rychlost „ $\omega$ “ = změna úhlu v čase ( $\text{s}^{-1}$ )

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

- Mezi úhlovou a obvodovou rychlostí  $v$  platí vztah

$$\omega = \frac{dv}{dr} \quad r \text{ poloměr otáčení}$$



Určení  
polarity  
vektoru  
úhlové  
rychlosti

# Zrychlení

● změna rychlosti v čase „a“ ( $\text{ms}^{-2}$ )

$$a = v / t$$

$$a = (v - v_0) / t$$

$$a = (s - v_0 t) / \frac{1}{2}t^2$$

velikost lze zjistit z grafu závislosti rychlosti na čase

# Kritéria dělení pohybu:

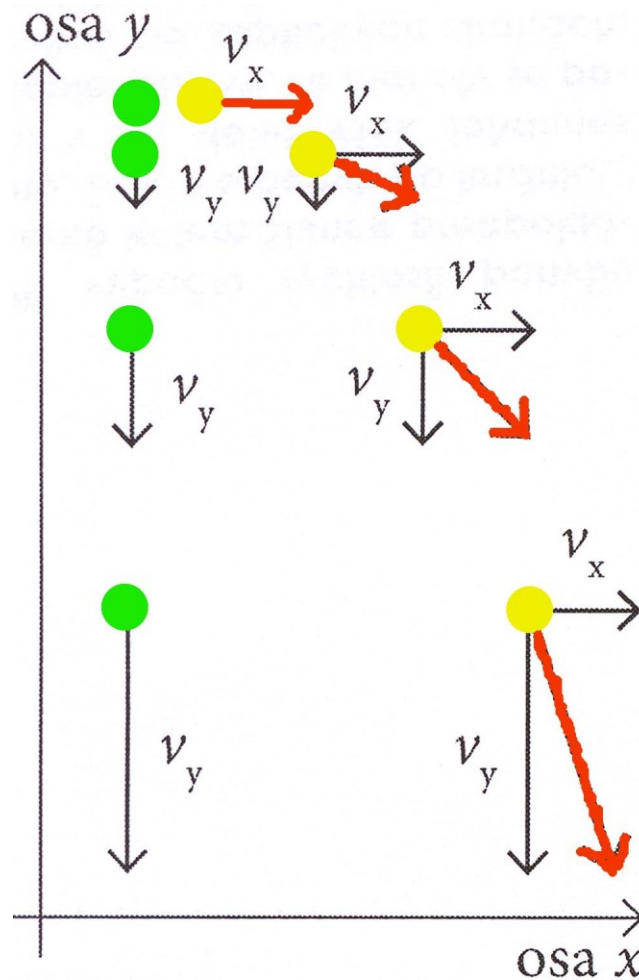
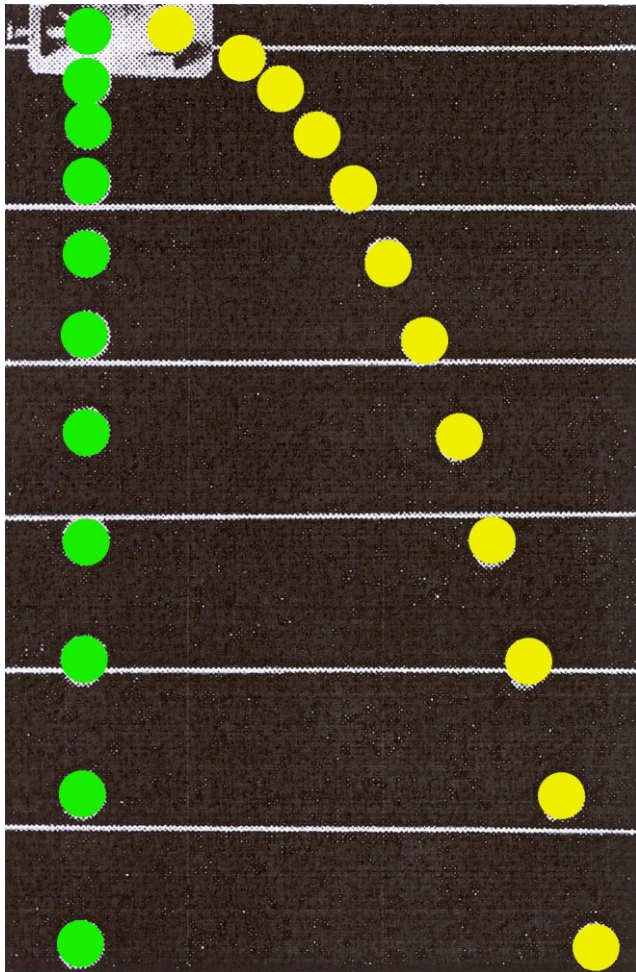
- dle předmětu pohybu:
  - pohyb bodu
  - pohyb tělesa
  - pohyb soustavy těles
- dle trajektorie
  - pohyb přímočarý
  - křivočarý
  - pohyb otáčivý
- dle rychlosti
  - rovnoměrný ( $v = \text{konst}$ )
  - nerovnoměrný

# Kinematika hmotného bodu

## Pohyb hmotného bodu:

- přímočarý
  - volný pád
  - svislý vrh
  - vodorovný vrh
  - šikmý vrh
- křivočarý
  - pohyb kruhový
- otáčivý

# Volný pád, vodorovný vrh



$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$



# Svislý vrh

Složky:

- rovnoměrný přímočarý pohyb směrem vzhůru
- volný pád

Výpočet okamžité výšky  $h$  svislého vrhu:

$$h = h_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

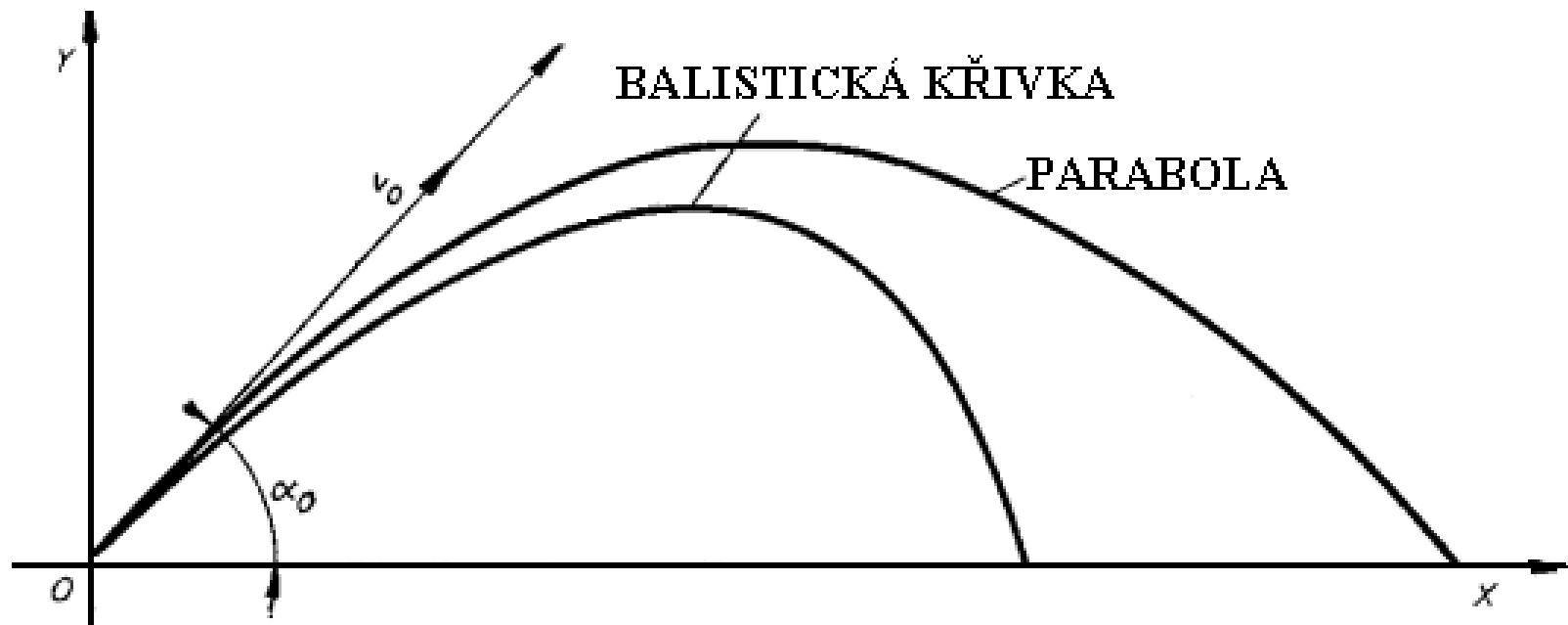
Výpočet největší výšky  $h$  svislého vrhu:

$$h = h_0 + v_0^2 / 2g$$

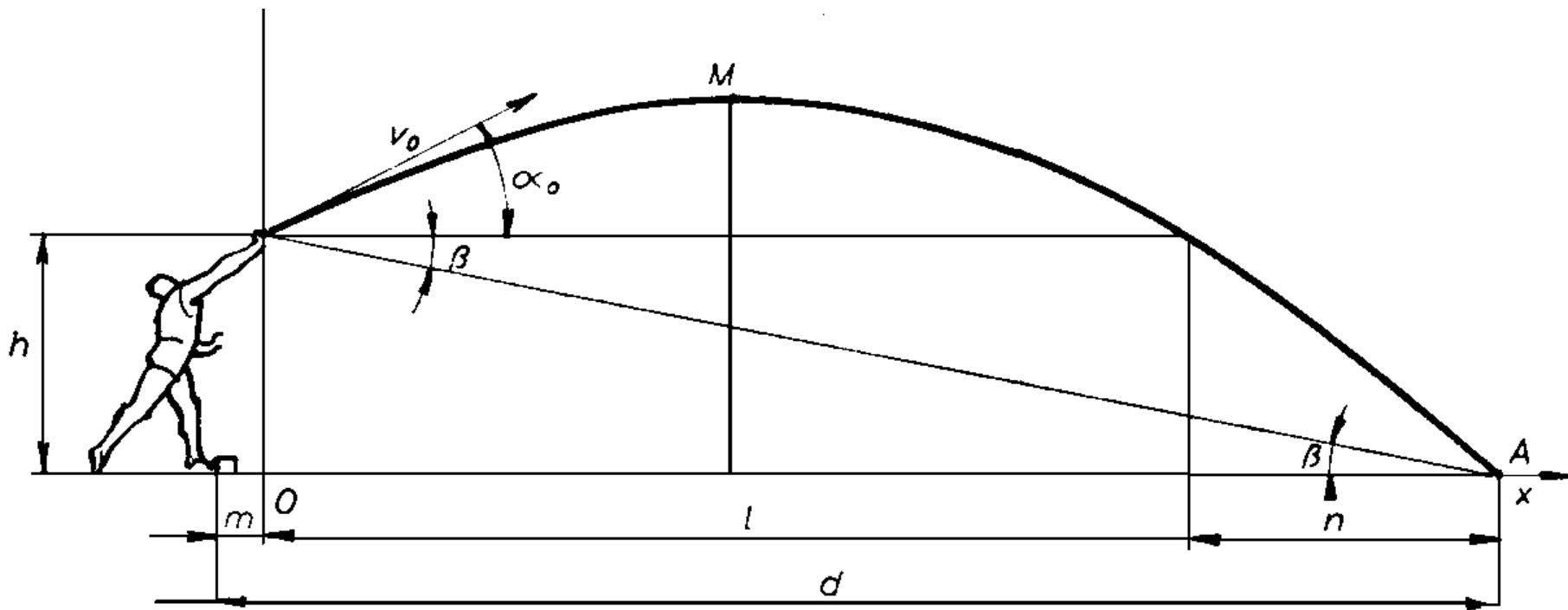
Výpočet času  $t$  dosažení největší výšky:

$$t = v_0 / g$$

# Šikmý vrh



Trajektorie šikmého vrhu s nulovou odvrhovou výškou. Porovnání paraboly (idealizovaný případ) a balistické křivky (uvažuje odpor prostředí)



?

**Proč není ideální úhel odvrhu koule v atletice shodný s ideálním úhlem balistické křivky?**

## Šikmý vrh s nulovou odvrhovou výškou:

$$l = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

$l$  délka dopadu  
 $v_0$  odvrhová rychlost  
 $\alpha$  úhel odvrhu

## Šikmý vrh s nenulovou odvrhovou výškou:

$$l = \frac{v_0^2 \cdot \cos 2\alpha}{g} \left( \sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{2 \cdot g \cdot h}{v_0^2}} \right)$$

$l$  je délka dopadu  
 $\alpha$  úhel odvrhu  
 $v_0$  je odvrhová rychlost  
 $h$  odvrhová výška

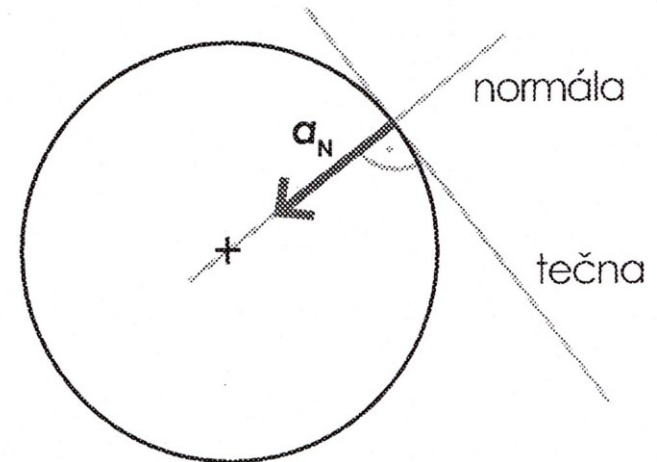
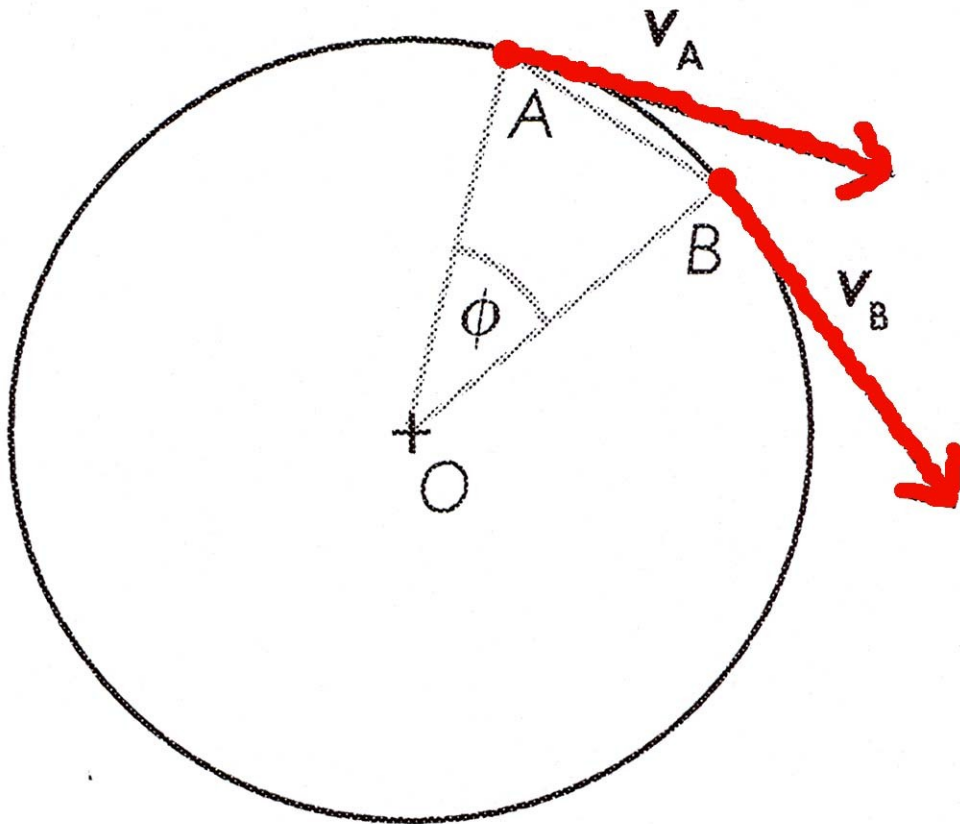
# POHYB (NE-)ROVNOMĚRNÝ

● Není-li pohyb rovnoměrný, je nutno uvažovat tyto druhy zrychlení:

- dostředivé (normálové)
- tečné (tangenciální)
- úhlové zrychlení

Výsledné zrychlení obecného křivočarého pohybu je dáno vektorovým součtem normálové a tangenciální složky.

# Tečné zrychlení



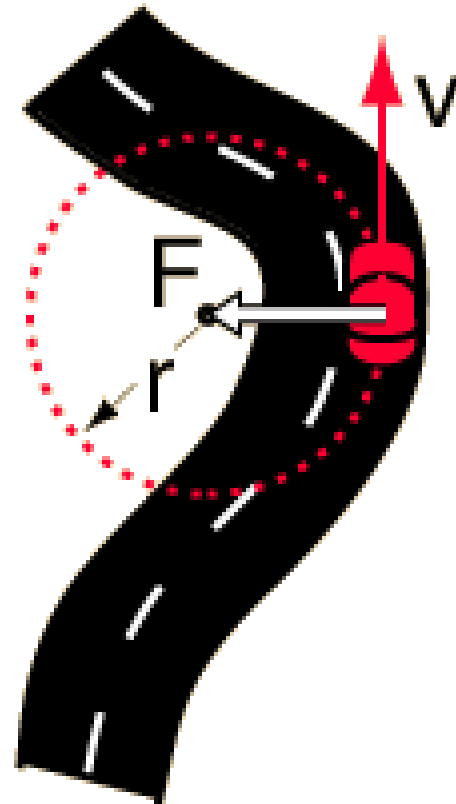
# Dostředivé zrychlení

$$a_d = v^2/r = \omega^2 r$$

$$F_d = m \cdot a_d = m \cdot r \cdot \omega^2$$

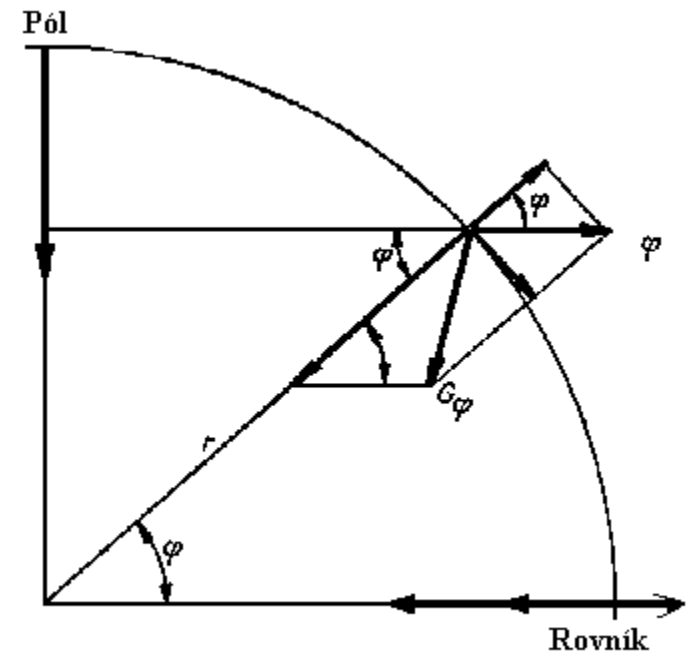
$$F_{\text{centripetal}} = m \frac{v^2}{r}$$

$\frac{v^2}{r}$  is the centripetal acceleration



# Pohyb člověka

- odpor prostředí
- vliv gravitačního pole
  - gravitační síla
  - odstředivá síla (na pólech  $F=0$ )
  - tíhová síla ( $g_{\text{pól}}=9,78 \text{ ms}^{-2}$ ,  
 $g_{\text{rovník}}=9,83 \text{ ms}^{-2}$ )





# Kinematika soustavy těles

## Pohyb soustavy těles:

- pohyb výsledný – výsledek pohybu všech členů vůči nehybné soustavě souřadné
- druhotný (relativní) pohyb – pohyb tělesa vztažený k jinému tělesu nebo prostoru, jenž se současně pohybuje (unášivý pohyb) vzhledem k prostoru základnímu, nehybnému.
- unášivé pohyby – pohyby vykonávané ostatními členy soustavy

# Kinematika soustavy těles

**Vektor výsledné rychlosti daného bodu**, tj. rychlosti k prostoru základnímu, je určen vektorovým součtem vektorů rychlostí tohoto bodu spojeného s unášivým prostorem (unášivá rychlost) a vektoru rychlosti tohoto bodu vzhledem k prostoru druhotnému (relativní rychlost).

**Vektor výsledného zrychlení tohoto bodu** je určen součtem vektorů zrychlení obou pohybů ve zkoumaném bodě (zrychlení unášivého a relativního) a zrychlení Coriolisova.

# Coriolisova síla

setrvačná síla, působící na tělesa, pohybující se v rotující neinerciální vztažné soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení



$$F_c = -2m\omega v \sin \theta,$$

$m$	hmotnost tělesa
$\omega$	úhlová rychlost otáčení soustavy
$v$	rychlost tělesa v neinerciální vztažné soust.
$\theta$	úhel mezi vektorem rychlosti a vektorem úhlové rychlosti

Coriolisova síla má směr kolmý ke spojnici těleso - osa otáčení a způsobuje stáčení trajektorie tělesa proti směru otáčení soustavy

# meteorologie

- jakákoliv hmota pohybující se ve směru poledníků je na severní polokouli odkloňována doprava, na jižní polokouli pak doleva.
  - na severní polokouli se otáčejí tlakové níže vždy doleva, tlakové výše doprava
  - na jižní polokouli se otáčejí tlakové níže vždy doprava, tlakové výše doleva
  - řeky tekoucí ze severu na jih vymílají více východní břeh
  - řeky tekoucí z jihu na sever pak břeh západní

## ● Foucaultovo kyvadlo

- stáčení roviny kyvu na pólech o  $360^\circ$  za 24 hod (v jiných zeměpisných šířkách  $[360 * \sin \omega]^\circ$  za den.  
( $\omega$  zeměpisná šířka)
  - na rovníku k jevu nedochází
  - na severní polokouli se rovina kyvu stáčí po směru hodinových ručiček (pozorováno z místa závěsu)
  - na jižní polokouli je tomu obráceně.
- různé roztočení víru při vypouštění vany podle toho, zda se nalézáme na severní nebo jižní polokouli Země (měřitelné pouze v laboratorních podmínkách)

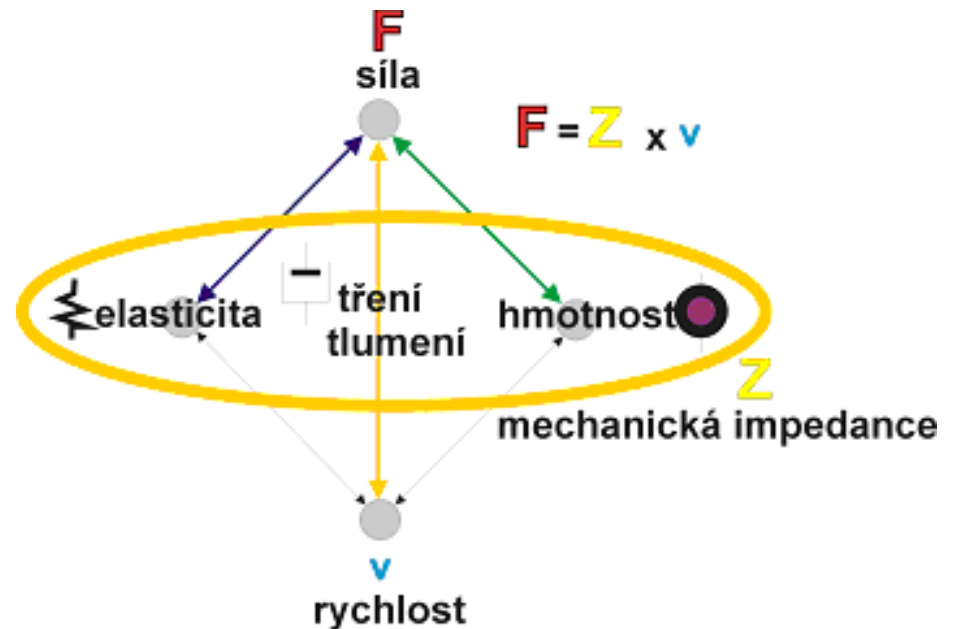


# Dynamika pohybu člověka

obor mechaniky zabývající se pohybem hmotných útvarů v prostoru a čase a akceptující silové působení.

## Základní koncept:

síla  
(míra tendence k pohybu,  $F$ )  
rezistence prostředí  
(mechanická impedance,  $Z$ )  
tok (rychlost změny polohy v  $[m \cdot s^{-1}]$ )  
rychlost tvarové změny  
deformace  
(d)



# Silové pole a silové působení

- **Silové pole** = prostor, ve kt. se projevují účinky sil na hmotný útvar (těleso, soustava těles...)
  - **Silové pole konzervativní** (při všech mechanických procesech dochází ke „konzervaci“ mechanické energie, přeměně potenciální energie v kinetickou a naopak, vždy beze ztrát)
  - **Silové pole nekonzervativní** umožňuje disipaci mechanické energie a její přeměnu např. na teplo (např. účinkem suchého a viskózního tření, odporem vzduchu atd).

## **Reálné prostředí a tělesa jsou vždy nekonzervativního charakteru**

(často užívaný přístup je náhrada reálného tělesa či soustavy reálných těles tělesy dokonale tuhými, či dokonale pružnými která se pohybují v gravitačním poli bez odporu vzduchu)



# Energie pohybu člověka

(Biodynamika)

## Mechanická energie a její druhy

### ● Kinetická energie

$$W_k = \frac{1}{2}mv^2$$

(platí pro částici a tuhé těleso konající pouze posuvný pohyb)

$$W_k = I\omega^2/2$$

(platí pro částici a tuhé těleso konající otáčivý pohyb)

### ● Potenciální energie

$$W_p = m \cdot g \cdot h$$

**Zákon zachování mechanické energie:** celková mechanická energie hmotného bodu (tělesa), na nějž působí pouze konzervativní síly (potenciální síly nezávisející na čase), se nemění

potenciální energie + kinetická energie = konstanta

**Energie napjatosti:** potenciální energie nahromaděná v jednotce objemu hmoty při jeho přetvoření. U dokonale pružného tělesa se energie napjatosti rovná deformační práci.

**Deformace (přetvoření):** změna tvaru tělesa způsobená silovými nebo teplotními a jinými účinky.

- Deformace elastická (vratná) - po odstranění působení “silového“ účinku zaujme svůj původní tvar, tj. těleso se dosti rychle vrátí k původním rozměrům
- Deformace plastická (trvalá) - těleso po odstranění působení “silového“ účinku zůstává ve zdeformovaném stavu (flexibilita).

**Deformační práce:** práce, kterou nutno vynaložit, aby se těleso přetvořilo (deformovalo).

**Disipace energie:** přeměna některé formy energie (např. mechanické třením) v teplo; teplo nelze podle druhé termodynamické věty beze zbytku zpětně přeměnit v jiné druhy energie (např. zpět na mechanickou práci), takže při disipaci energie dochází vždy zároveň k „znehodnocování“ energie.