


# FYZIKA V BOJOVÝCH UMĚNÍCH



# PROČ FYZIKA?

- ▶ Bojová umění by měla být také předmětem teoretického studia, ne jen praxe
  - ▶ Fyzikálním zákonitostem se podřizuje všechno, co se ve světě děje
  - ▶ Porozumění těmto základním principům nám pomůže lépe pochopit techniku
  - ▶ Toto porozumění z nás udělá lepší učitele i sportovce
- 

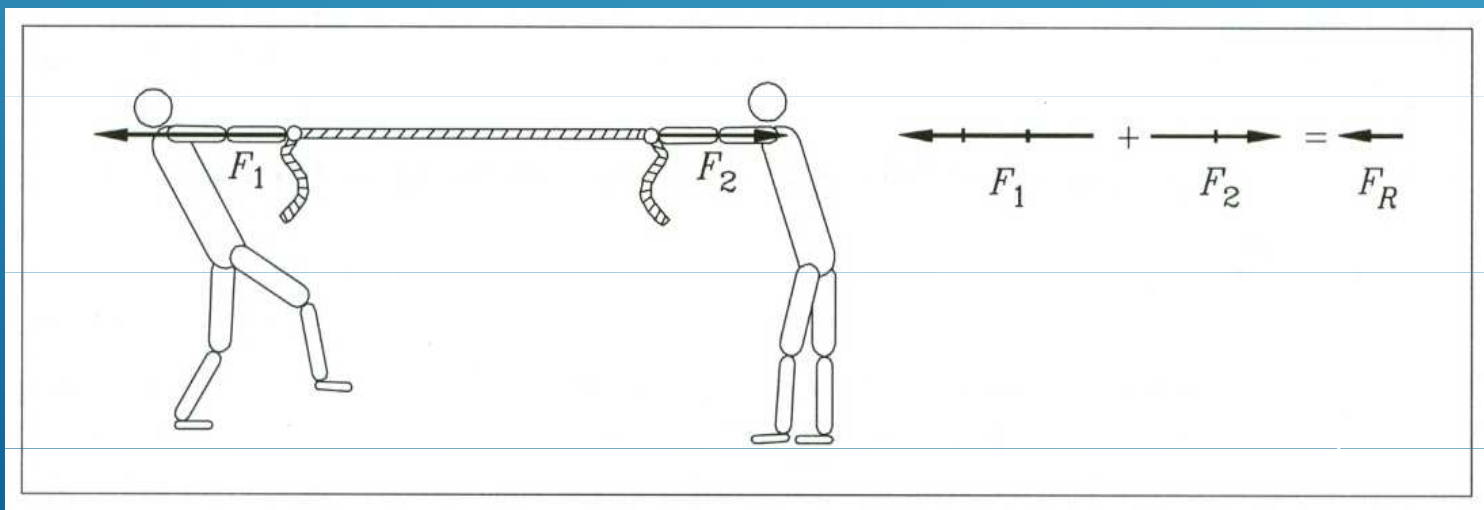
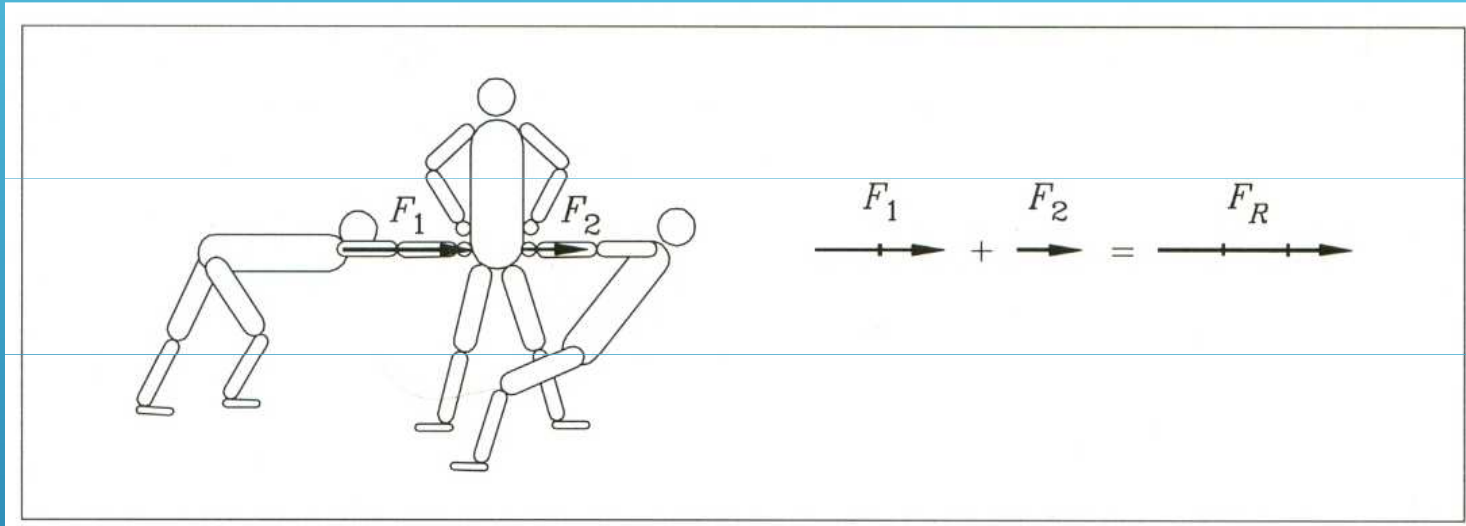
- ▶ **Kinematika** popisuje pohyb těles bez ohledu na příčiny tohoto pohybu. Zabývá se tím, jak pohyb vypadá v čase a v prostoru, jde tedy o vnější časoprostorové charakteristiky pohybu. Kinematika se tedy zaměřuje na sledování prostorových a rychlostních změn, např. dráhy, úhly, rychlosti, zrychlení.
- ▶ **Dynamika** studuje příčiny pohybu. Vyšetřuje vzájemné působení těles (síly), které vedou ke změnám pohybu tělesa. Částí dynamiky je statika zabývající se podmínkami rovnováhy.

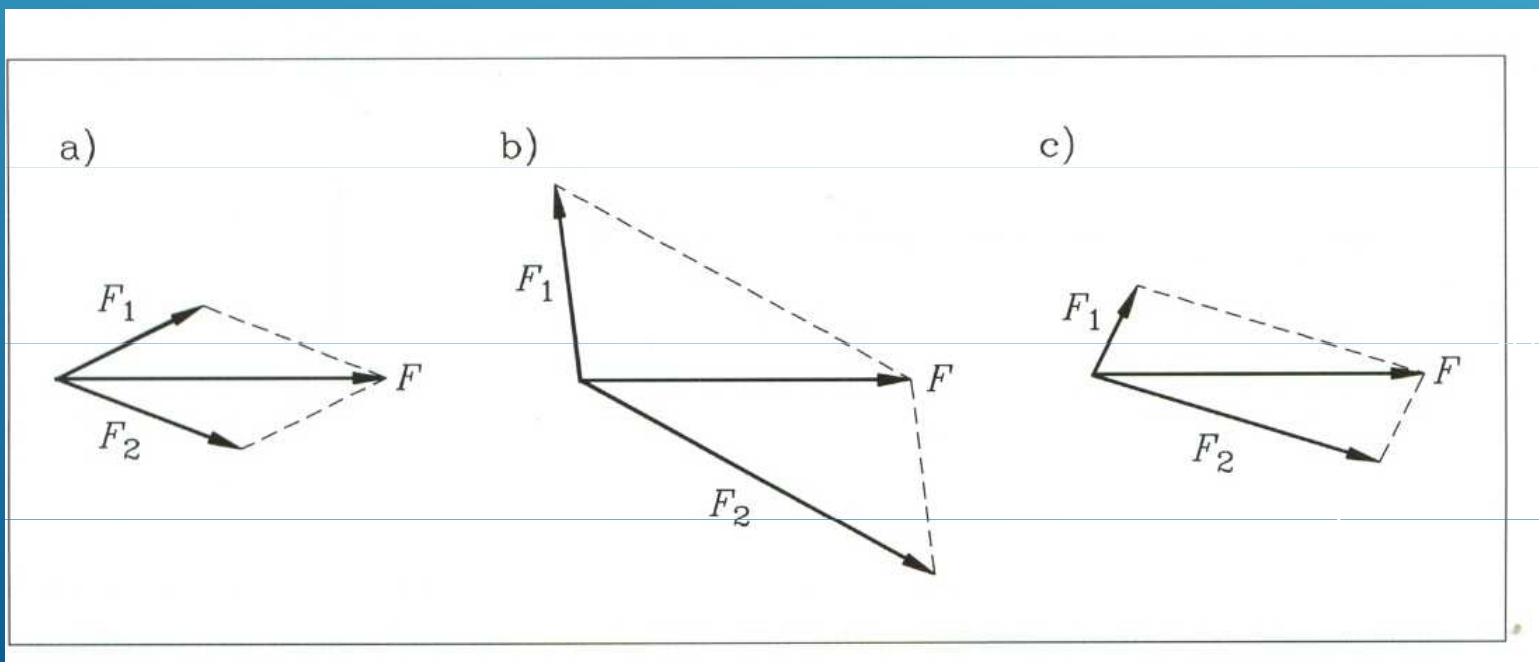
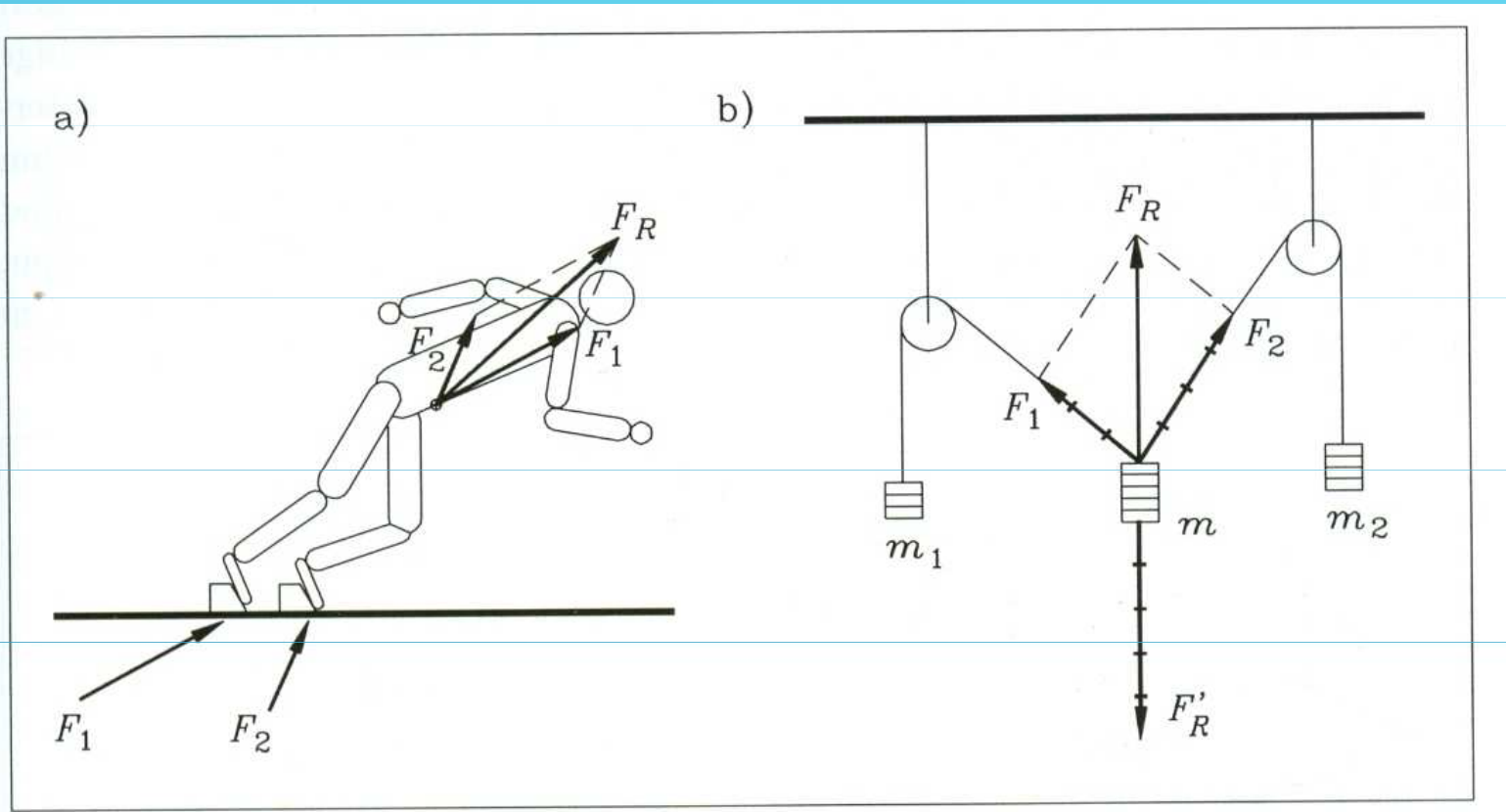
# VELIČINY A JEDNOTKY

- ▶ Skalární
- ▶ Vektorové

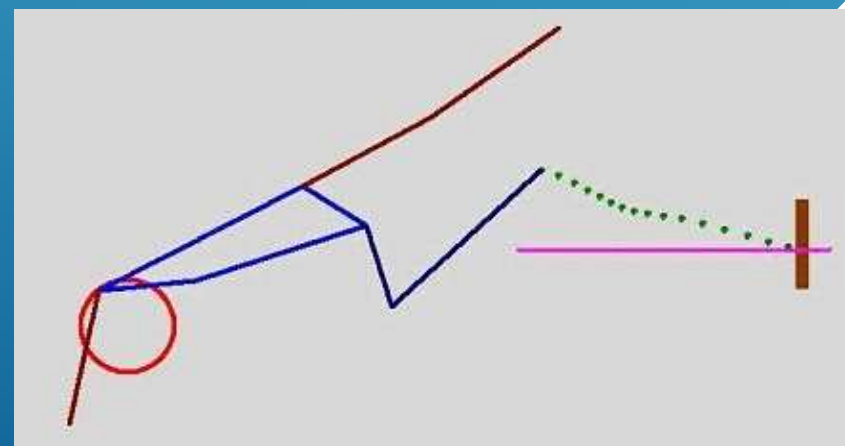
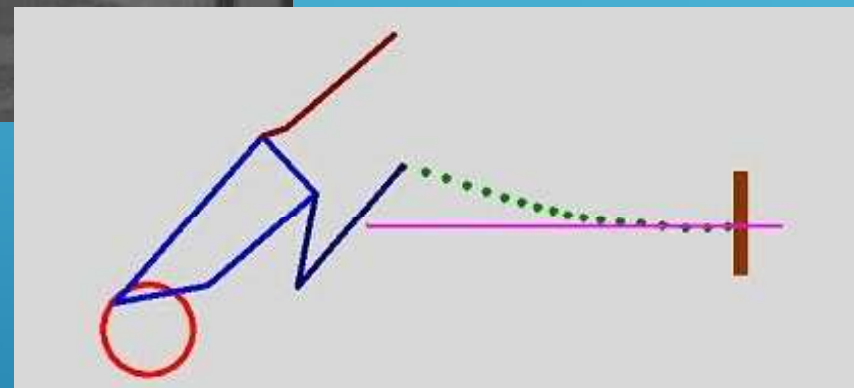
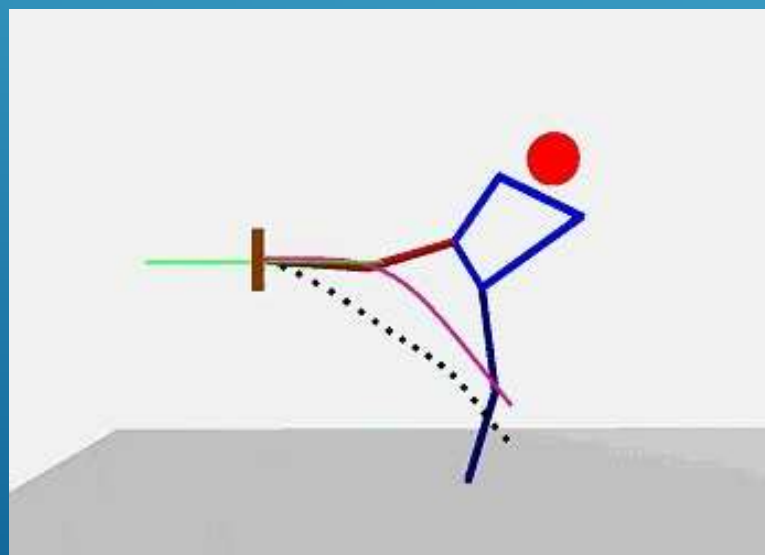
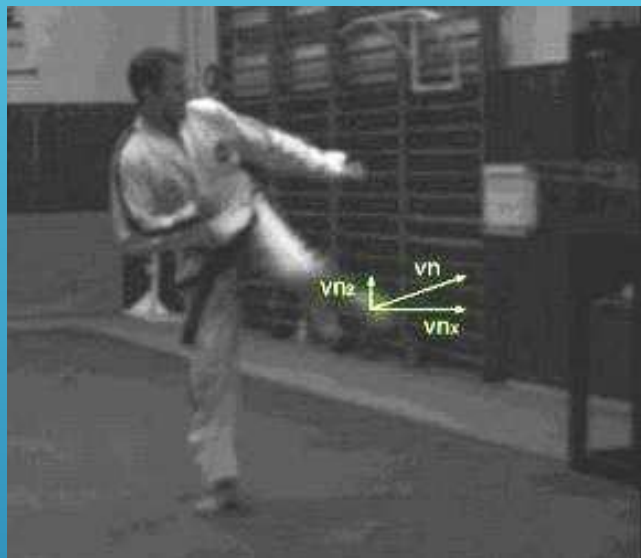
činitel	předpona	značka
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hekto	h
$10^1$	deka	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a

# POČÍTÁNÍ S VEKTORY





► boční kopu (yop chagi) v taekwondo



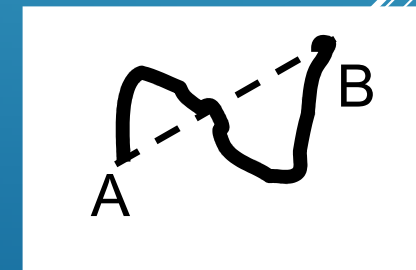
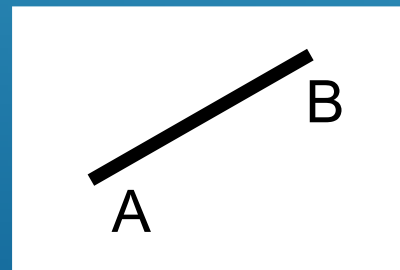
# STĚŽEJNÍ POJMY - KINEMATIKA

- ▶ Pro zjednodušení můžeme těleso za určitých okolností nahradit **hmotným bodem**. Jedná se o abstraktní náhradu skutečného tělesa v případě, že můžeme při řešení problému zanedbat tvar a rozměry tělesa.



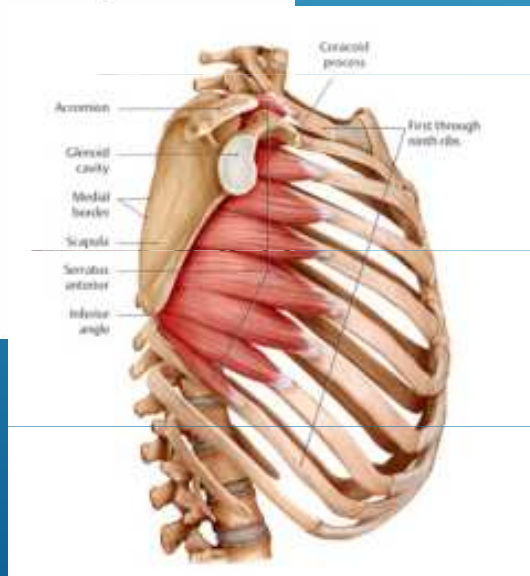
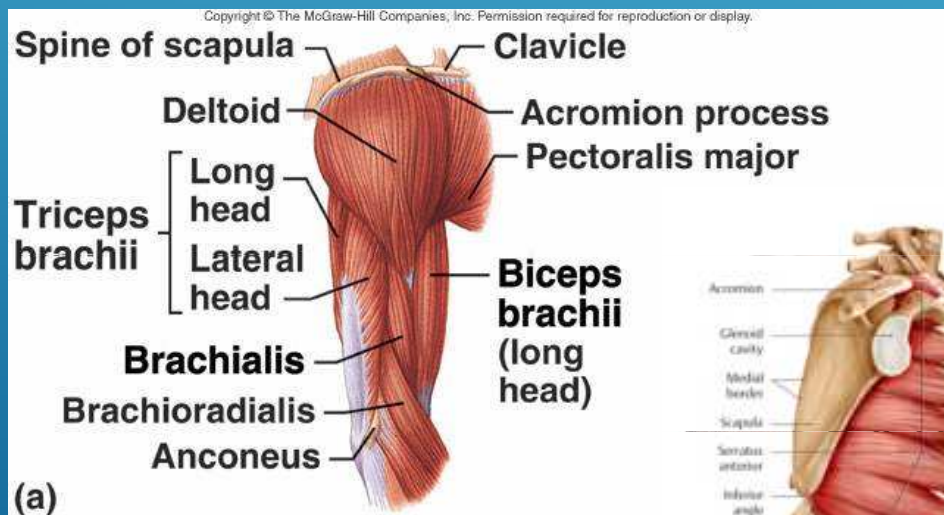
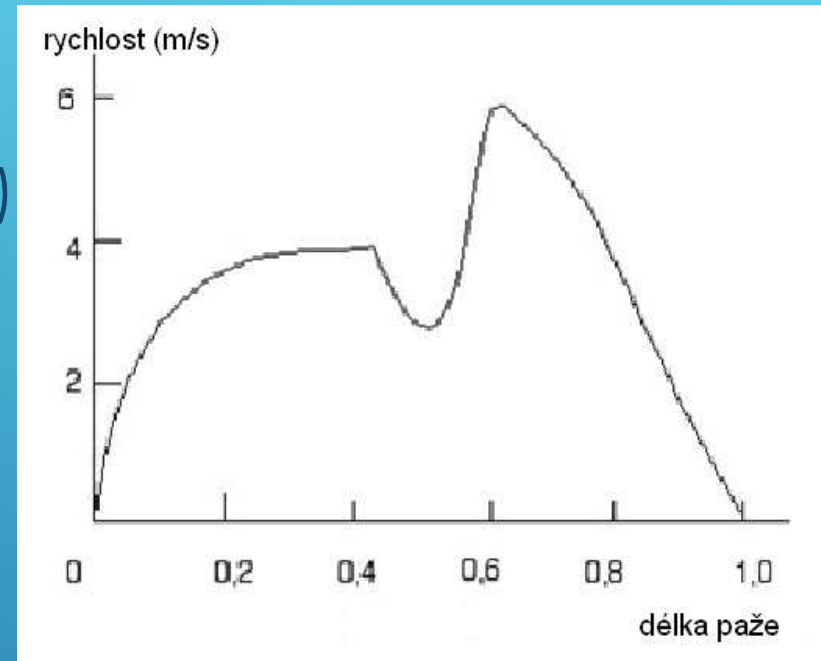
# STĚŽEJNÍ POJMY - KINEMATIKA

- ▶ **Poloha** – Kde se objekt nachází vzhledem k vztažné soustavě (kartézská soustava souřadnic)
- ▶ **Pohyb** – posuvný  
otáčivý (pevná osa x volná osa)  
cirkundukční
- ▶ **Trajektorie** (pohyb přímočarý x křivočarý)
- ▶ **Dráha**



- ▶ **Rychlost [m/s]  $ds/dt$** - Jak se poloha mění s časem (pohyby rovnoměrné x nerovnoměrné)
- ▶ **Zrychlení [m/s<sup>2</sup>] –  $dv/dt$**  – Jak se rychlost mění s časem
  - ▶ Okamžitá rychlost i okamžité zrychlení jsou **vektory**, což znamená, že mají **velikost i směr**
  - ▶ Průměrná rychlost a průměrné zrychlení jsou skaláry

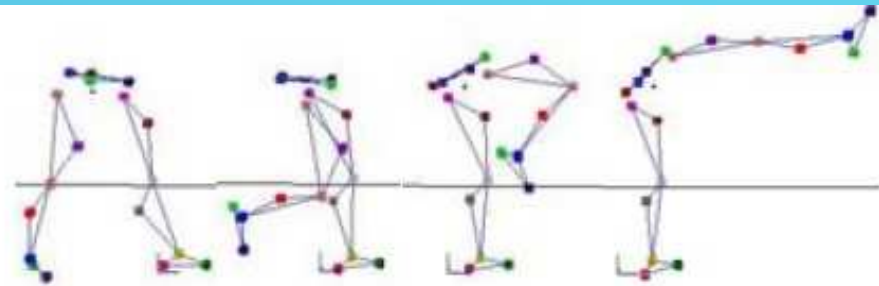
- ▶ Karate – přímý úder (Feld a kol., 1979):
- ▶ Max. rychlost v 70 - 80% celkového času, 75% plně extendované paže = 10 – 14 cm před plnou extenzí
- ▶ Kineziologická analýza:
  1. supinace → pronace  
(m. biceps brachii a musculus pectoralis)
  2. Dokončení úderu  
(m. triceps brachii, m. deltoideus a m. serratus)



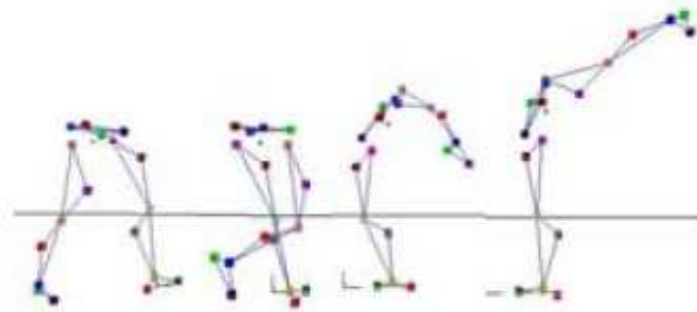
<b>Technika</b>	<b>Maximální rychlost (m/s)</b>
přímý úder (forward punch)	5,7 – 9,8
kladivový úder (hammer-fist strike)	10 – 14
(reverse punch)	5,3 – 8,1
(downward knife-hand strike)	10 – 14
obloukový kop (roundhouse kick)	9,5 – 11
(wheel kick)	7,3 – 10
kyvadlový přímý kop (front snap kick)	9,9 – 14,4
boční kop (side kick)	9,9 – 14,4

- ▶ Swing kick – kopy švihem
- ▶ Thrust kick – kopy trčením
- ▶ Combined kick – kombinovaný kop
- ▶ Kim et al. (2006) analyzovali:

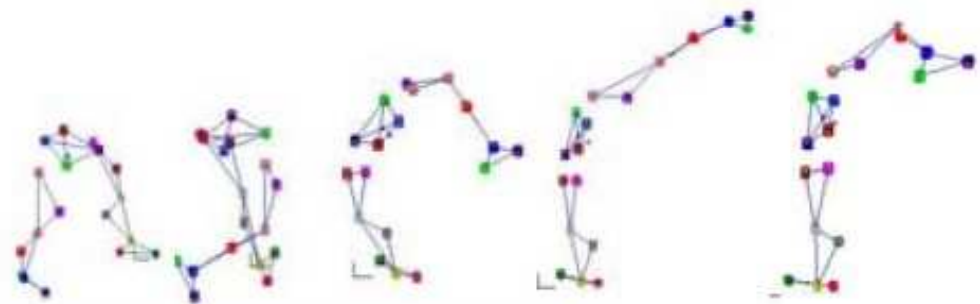
přímý kop (front kick -FR),  
obloukový kop (roundhouse kick - RH),  
boční kop (side kick - SD),  
zadní kop (back kick - BA),  
háková kop (hook kick - HO),  
zadní hákový kop (back hook kick - BH)



**Front Kick (Swing Kick)**

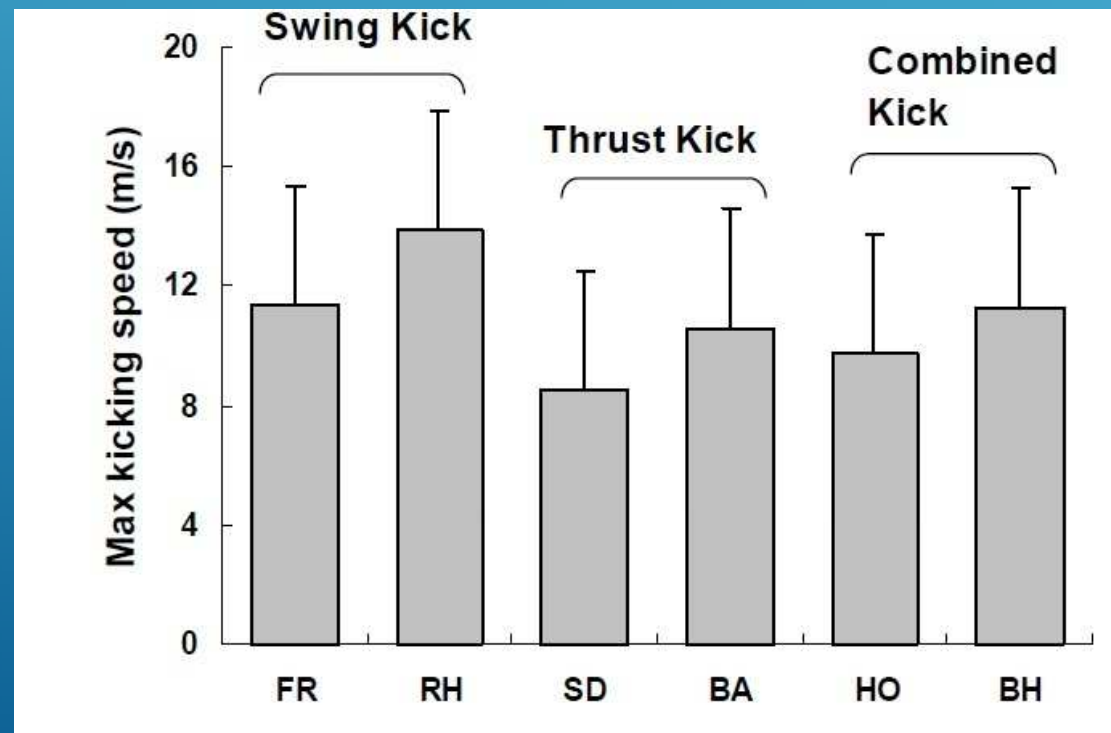


**Side Kick (Thrust Kick)**



**Hook kick (Combined kick)**

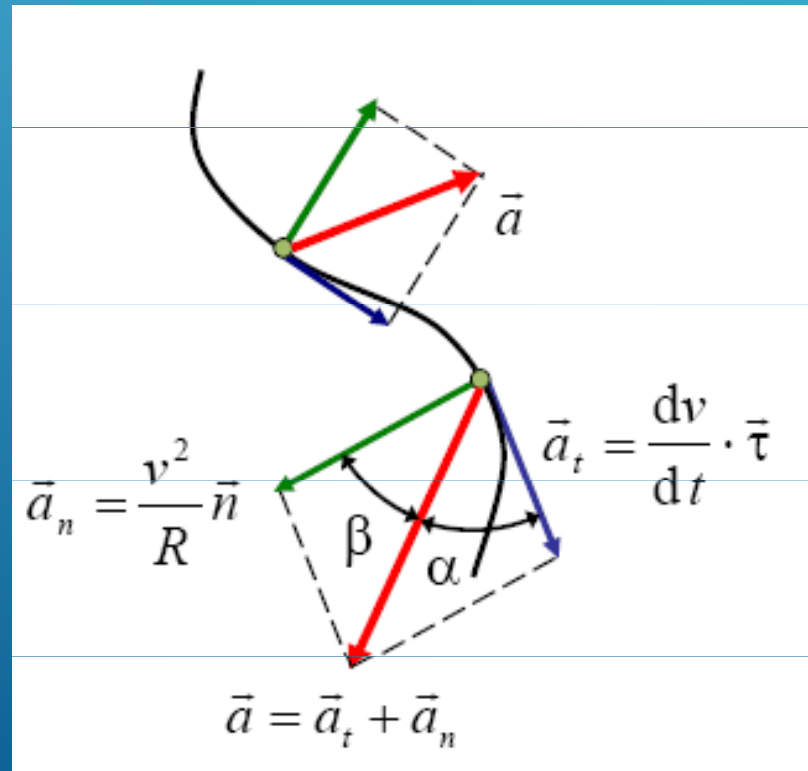
- ▶ Výsledky ukázaly významně vyšší rychlosti u obloukového kopu ( $13.9 \pm 0.72$  m/s) než u SD, BA a HO.
- ▶ Rychlost bočního kopu ( $8.55 \pm 0.53$  m/s) byla významně nižší než FR a RH.
- ▶ Švihové kopy (FR, RH) - maximalizace lineární rychlosti distálního konce - mechanická energie.
- ▶ Kopy trčením – (SD, BA) – nižší rychlost, větší síla
- ▶ Kombinované kopy – (HO, BH) – v určitém poměru obojí – rychlost i síla



- ▶ Chuang a kol. (2005): kinematické charakteristiky téhož úderu při zásahu různých cílů – rychlost zápěstí, při které došlo ke kontaktu s cílem, byla rozdílná.
- ▶ Největší rychlost byla průměrně naměřena u kartonové desky ( **$6.98 \pm 0.72$  m/s**), nižší v malého pytle ( **$6.06 \pm 0.68$  m/s**) a nejmenší při úderu do velkého pytle ( **$5.43 \pm 0.82$  m/s**).
- ▶ Také doba kontaktu se v jednotlivých případech lišila. Nejkratší doba kontaktu byla zjištěna pro kartonovou desku ( **$0.03 \pm 0.00$  s**), delší u malého pytle ( **$0.10 \pm 0.01$  s**) a nejdelší u velkého pytle ( **$0.14 \pm 0.05$  s**).
- ▶ Hwang (1989) porovnával rychlosti u kopu na cíl a kopu bez konkrétního cíle u pokročilých taekwondistů. Při kopu na cíl bylo dosaženo vyšší rychlosti ( **$11$  m/s**) než při kopu bez cíle ( **$9$  m/s**). Snížení se projevilo zejména na horizontální složce rychlosti.

# ZRYCHLENÍ

- ▶ Velikost **tečného zrychlení**  $a_t$  vyjadřuje změnu velikosti rychlosti.
- ▶ Velikost **normálového zrychlení**  $a_n$  vyjadřuje změnu směru rychlosti.



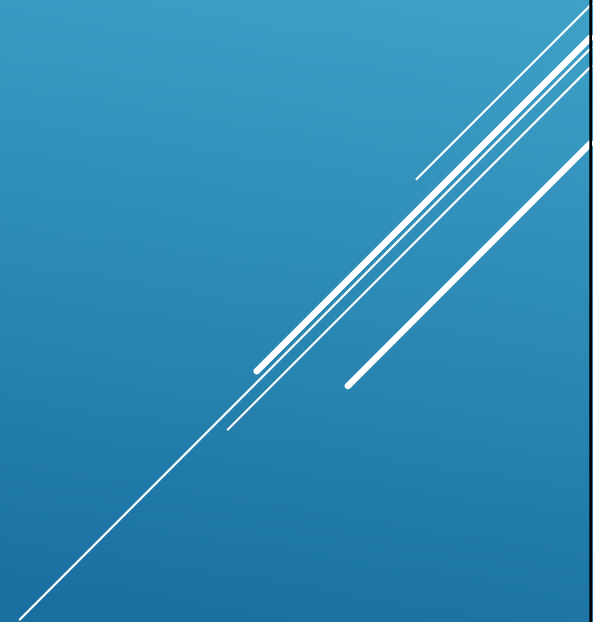


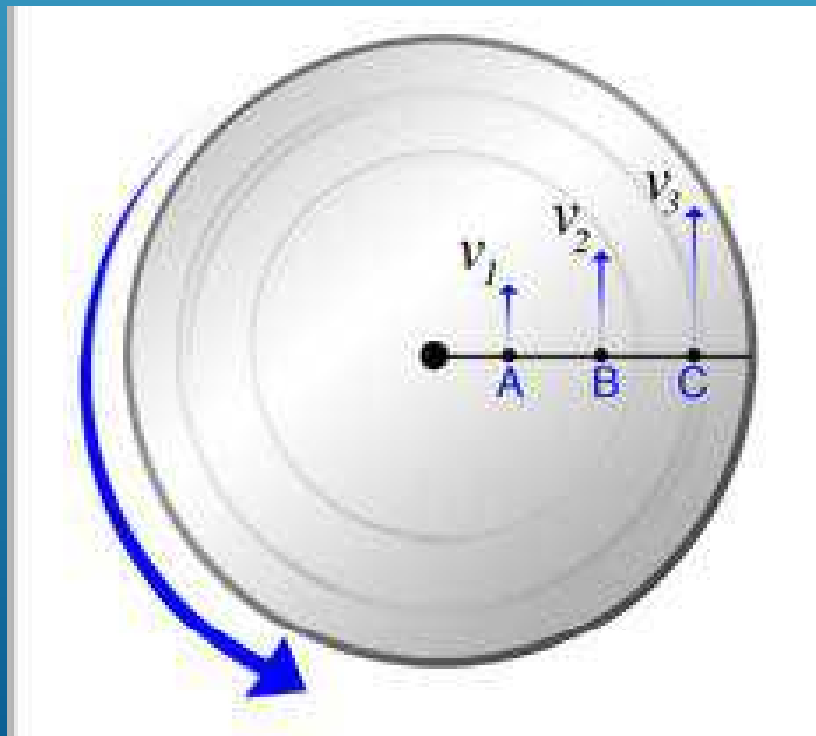
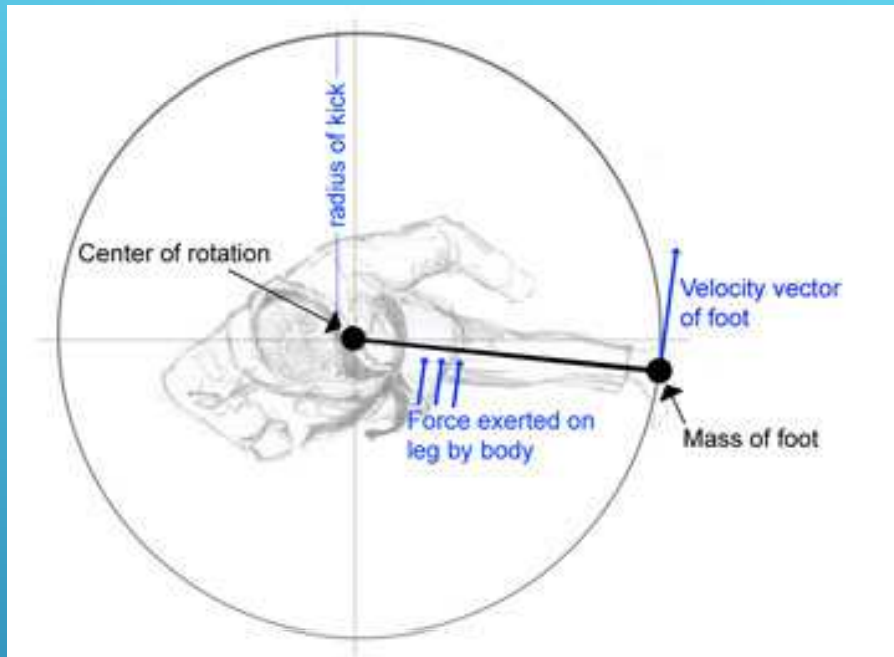
# POHYB PO KRUŽNICI

- ▶ **Obvodová rychlost  $v$**  se rovná podílu dráhy  $\Delta s$ , kterou hmotný bod opíše na obvodu kružnice, a času  $\Delta t$
- ▶ **Úhlová rychlost  $\omega$**  se rovná podílu úhlu  $\Delta\varphi$ , který opíše polohový vektor, a času  $\Delta t$


kde  $r$  je poloměr kružnice.

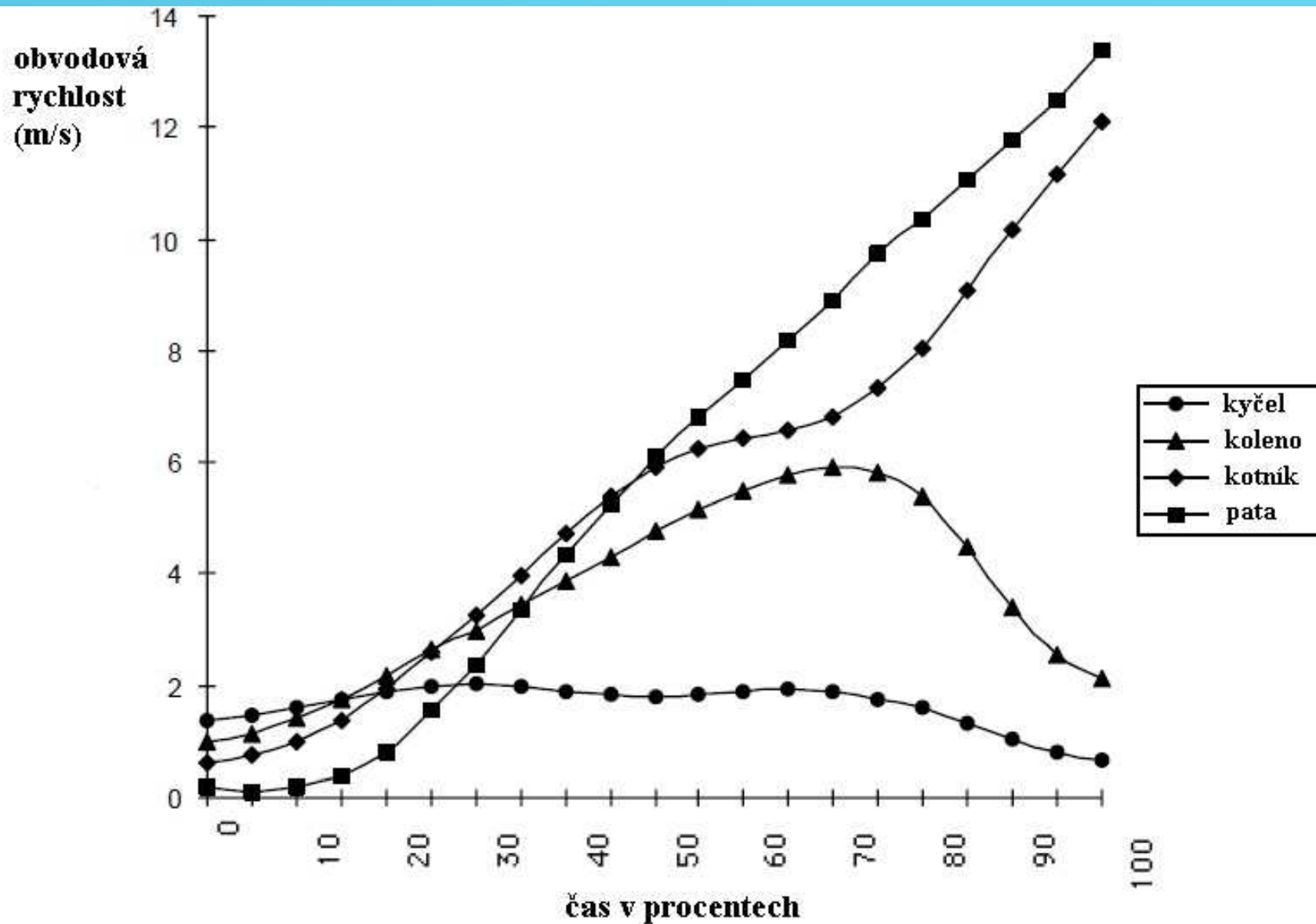
$$v = \omega r$$





# ÚHLOVÁ RYCHLOST

- ▶ Úder nebo vzdálenější částí končetiny nebo koncem zbraně dosahuje vyšší lineární (obvodové) rychlosti
  - ▶ Kinetická energie =  $\frac{1}{2} mv^2$
  - ▶ Takže, náraz vzdálenější částí končetiny způsobí silnější, prudší zásah cíle
- 



průběh lineárních rychlostí jednotlivých bodů kopající dolní končetiny u kopu s otočkou (turning kick)

- ▶ Protože se v každém okamžiku mění směr rychlosti, je přítomné normálové zrychlení, které nazýváme také dostředivým zrychlením  **$a_d$** . Pro velikost dostředivého zrychlení platí  $a_d = \frac{v^2}{r}$  nebo  $a_d = \omega^2 r$ .

- ▶ **Perioda  $T$**  je doba, za kterou hmotný bod opíše úhel  $360^\circ$ . Počet oběhů hmotného bodu za sekundu se nazývá **frekvence  $f$** . Mezi frekvencí a periodou nacházíme vztah

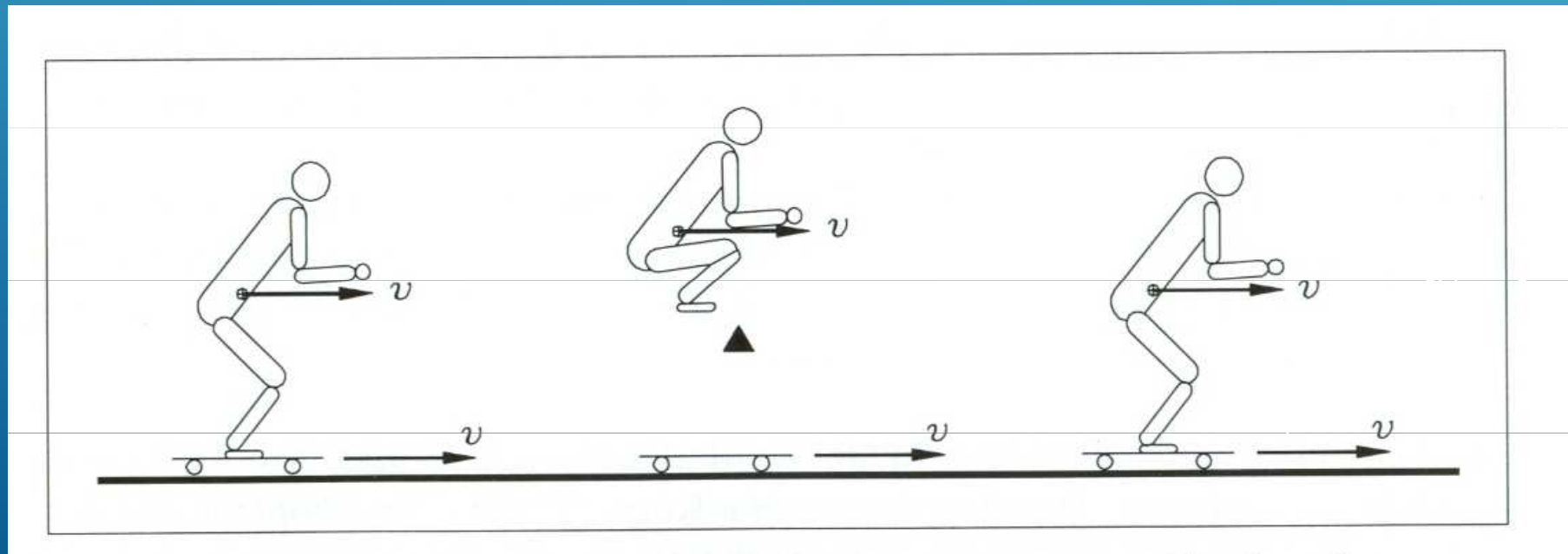
$$f = \frac{1}{T}$$

- ▶ Pomocí periody a frekvence můžeme úhlovou rychlost také vyjádřit

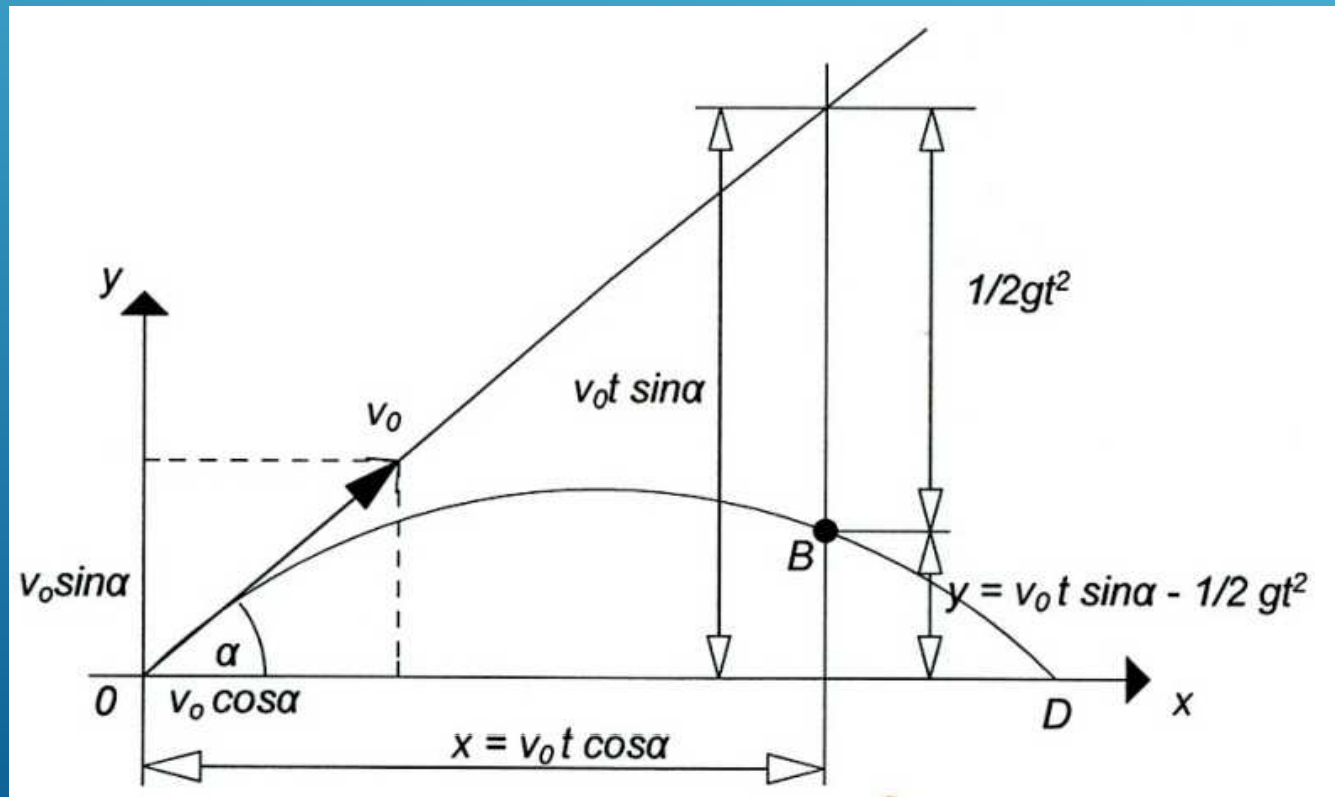
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

# NEZÁVISLOST POHYBŮ

- ▶ Z principu nezávislosti pohybů vyplývá, že **pohyby, které se odehrávají ve dvou vzájemně kolmých směrech, se neovlivňují.**



- ▶ Kopy prováděné ve výskoku – šikmý vrh vzhůru – rozklad pohybu
- ▶ „Koná-li těleso současně dva nebo více pohybů po dobu  $t$ , je jeho výsledná poloha taková, jako kdyby konal tyto pohyby postupně v libovolném pořadí, každý po dobu  $t$ .“ (Glileo Galilei, 1564-1642)



$$x = v_{0x} t$$

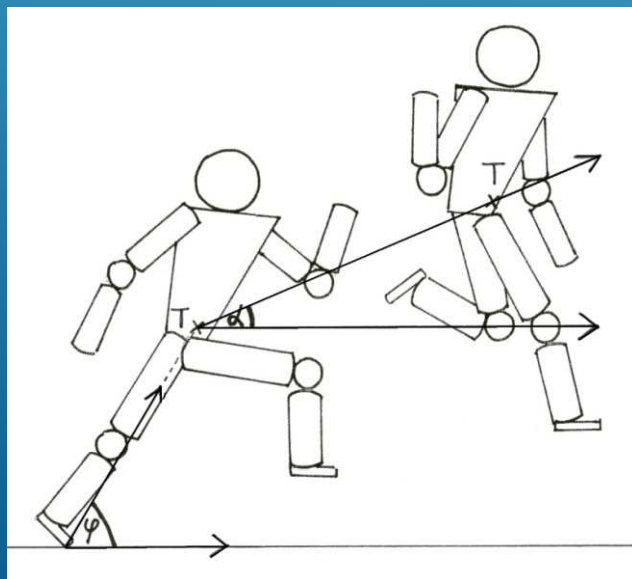
$$y = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

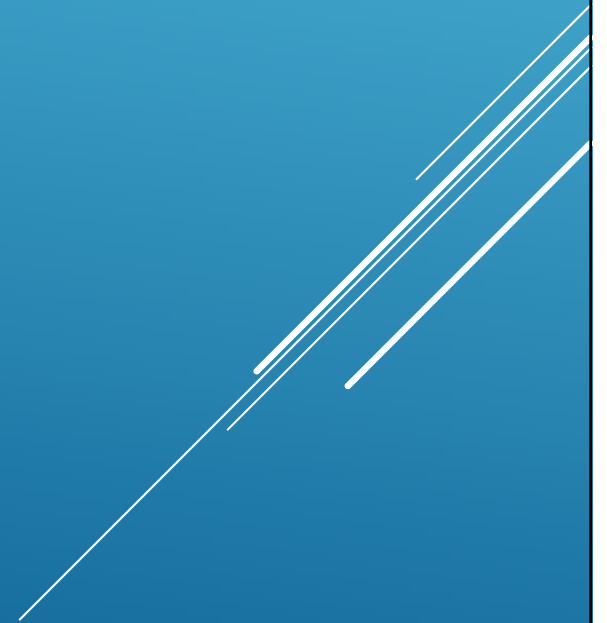


Trajektorie těžiště těla u  
skákaného bočního kopu  
(flying side kick)





DYNAMIKA



# NEWTONOVY POHYBOVÉ ZÁKONY

## První pohybový zákon – zákon setrvačnosti

*Těleso zůstává v klidu nebo, rovnoměrném přímočarém pohybu, není-li nuceno vnějšími silami tento stav změnit.*



## Využití 1. NZ v úpolech:

- ▶ Snaha zachovat klidovou polohu vlastního těla
- ▶ Snaha narušit klidovou polohu soupeře
- ▶ Snaha zachovat soupeřovo tělo v pohybu (rovnoměrném přímočarém) – např. hod o goshi



## Druhý pohybový zákon – zákon síly

Velikost zrychlení  $a$  tělesa je přímo úměrná velikosti výslednice sil  $F$  působících na těleso a nepřímo úměrná hmotnosti  $m$  tělesa.

Působí-li na těleso síly, jejichž výslednice se nerovná nule, pohybový stav tělesa se mění, to znamená, že se mění vektor rychlosti, těleso se pohybuje se zrychlením.

Druhý pohybový zákon matematicky zapisujeme ve tvaru

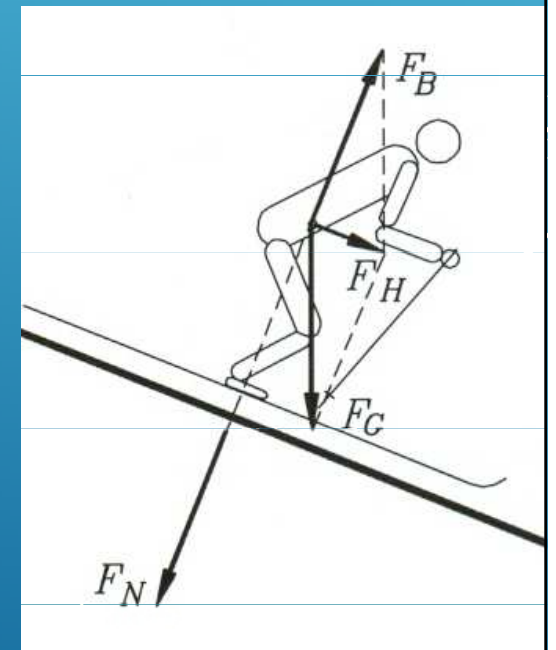
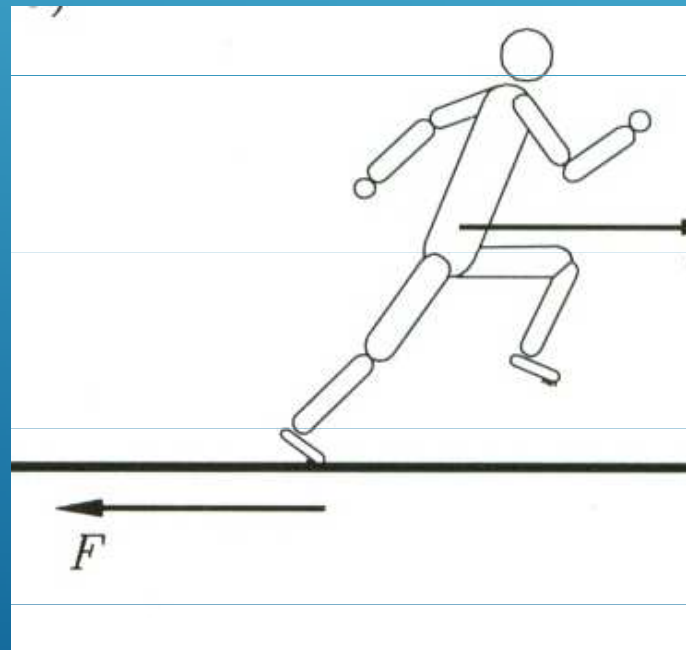
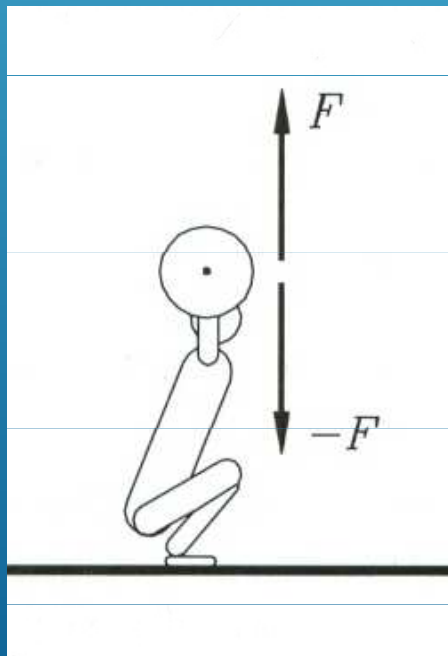
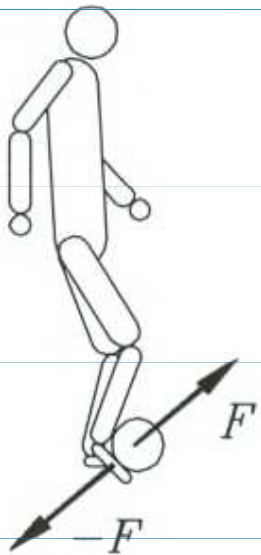
$$F = ma$$

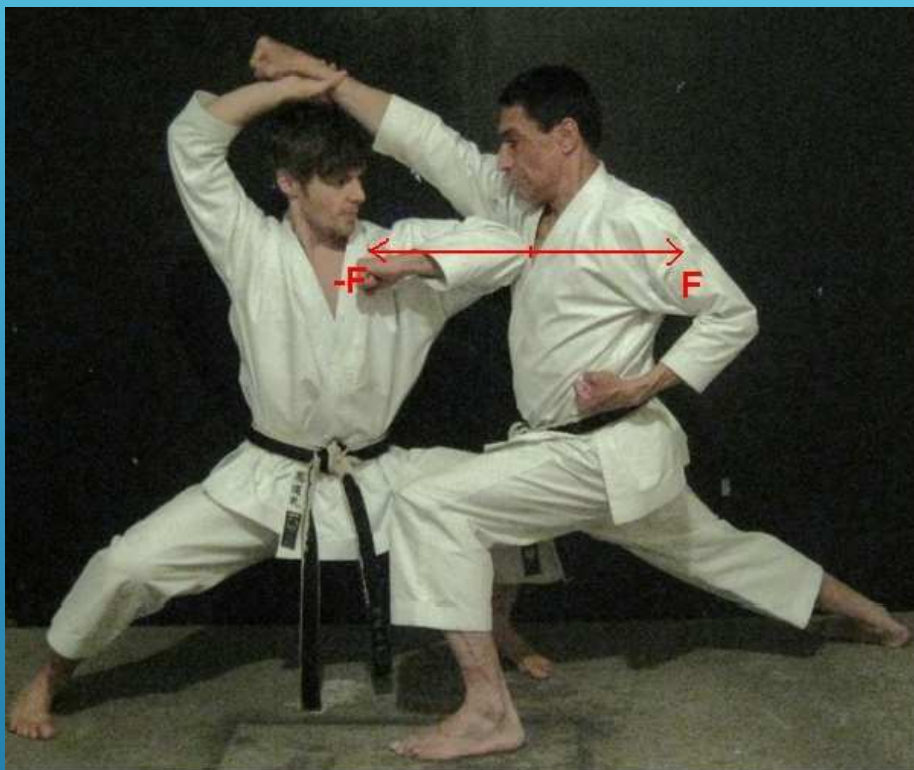
## Využití 2. NZ v úpolech:

- ▶ Působí-li svalová síly  $F$  na dané segmenty o hmotnosti  $m$ , způsobí jejich zrychlení  $a$  se snahou dosáhnout maximální rychlosti.
- ▶ Při úderu vzniká síla nárazu  $F$ , jestliže je hmota o hmotnosti  $m$  tímto nárazem zpomalena s určitým zpomalením  $a$  (viz impuls síly)
- ▶ Útočník působí silou úderu  $F$  na protivníka a tím uvádí jeho tělo o hmotnosti  $m$  do pohybu se zrychlením  $a$ .

## Třetí pohybový zákon – zákon o vzájemném působení těles neboli zákon akce a reakce

*Síly, kterými na sebe působí dvě tělesa, jsou stejně velké, navzájem opačného směru a současně vznikají a zanikají.*





- ▶ Nejedná se o rovnováhu sil, jejich účinky se tedy neruší!



- ▶ Kolikrát je útočník hmotnější, tolikrát menší bude zrychlení, se kterým se začne pohybovat oproti soupeři. Pohybové účinky obou sil jsou tedy v závislosti na hmotnosti různé.





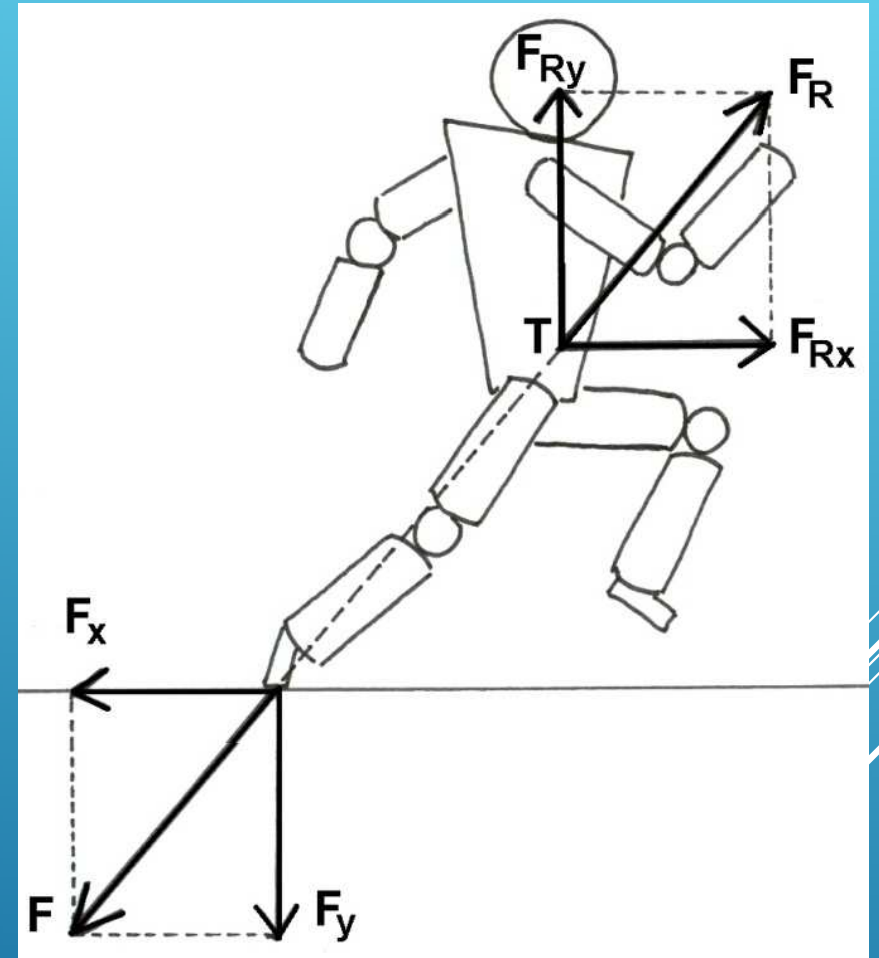
- ▶ Deformační účinky síly závisí na části těla, na kterou síla působí.



Význam **síly reakce podložky  $F_R$**  v bojových uměních:

Východní tradice říká, že bojovník může čerpat svou sílu ze Země.

Jindy je zdůrazňován význam uzemnění se. Tato opora je podmíněna pevnou půdou pod nohama, což je součástí bojových technik a pevných postojů.



VNĚJŠÍ SÍLY



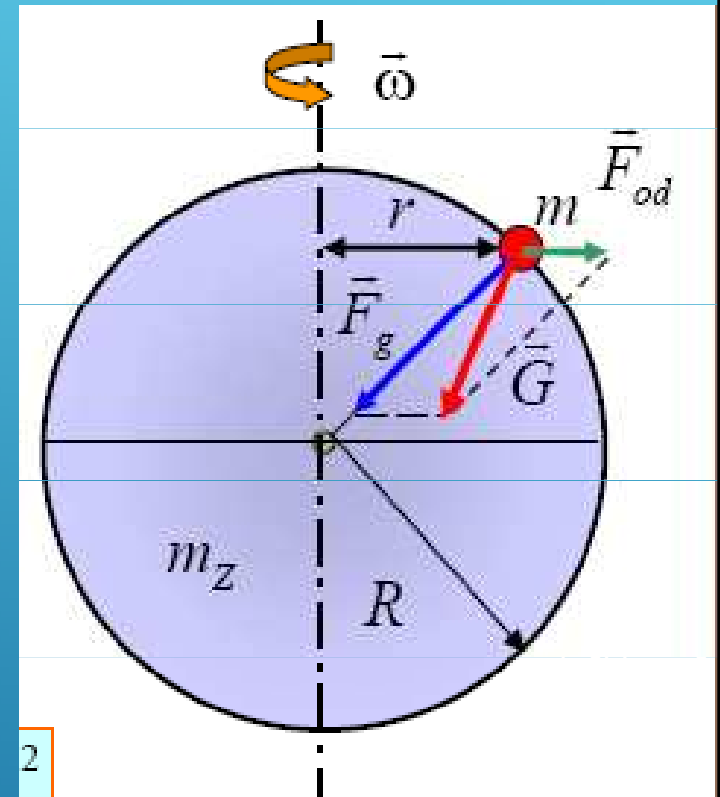
$$F_G = mg$$

## Tíhová síla (x gravitační síla)

Někdy jí využíváme k dosažení výkonu, např. v judu jestliže vyvedeme soupeře z rovnováhy, je to tíhová síla, která nám ho následně pomáhá dostat na zem.

Jindy ji musíme svalovými silami překonávat, např. u výskoku nebo při zvedání kopající dolní končetiny.

Při vzpřímeném postoji ji musíme překonávat aktivitou posturálních svalů.



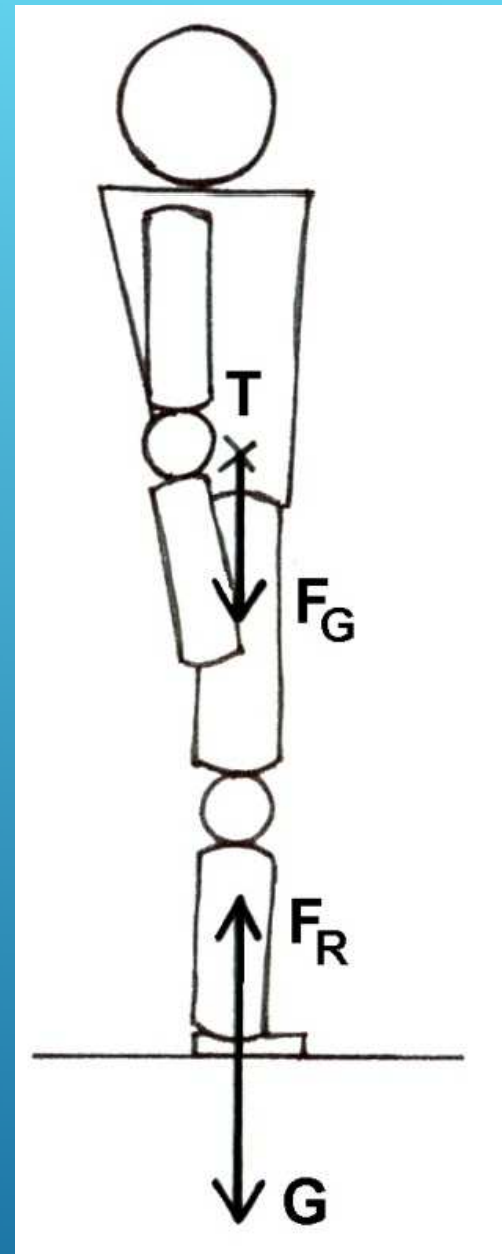
Násobky tíhového zrychlení  $g$ :

Např. při nárazu do hlavy figuríny s využitím technik karate byla naměřena velikost zrychlení  $120 g$ , což odpovídá hodnotám dosažených při automobilové nehodě (Schwartz a kol., 1989).

Tíha  $G$

síla, kterou působí těleso na podložku nebo na závěs, projevuje se tedy jako tlaková nebo tahová síla

závisí také na dalších silách působících na těleso – na setrvačných silách, např. při odrazu a doskoku

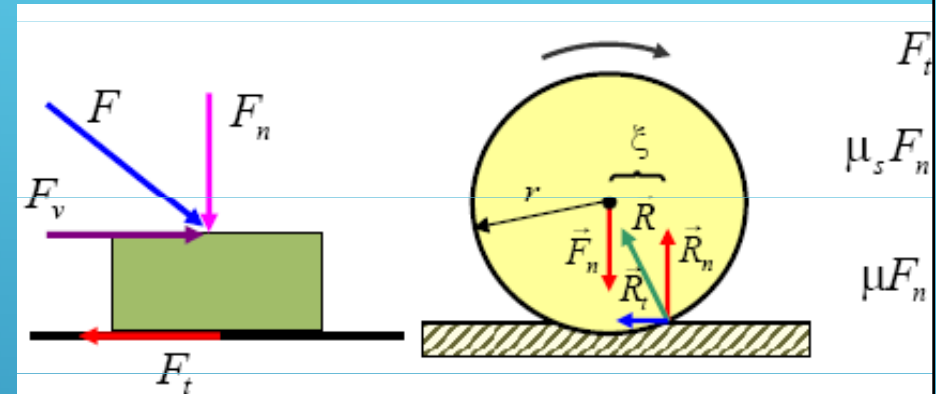


- ▶ Tíhová síla v úpolech:
- ▶ judo - čím je soupeř těžší, tím větší tíhová síla na něho působí. Po vyvedení z rovnováhy se soupeř zákonitě začne pohybovat směrem dolů. Zatímco je jeho noha v pohybu, soupeř mu podrazí nohu ve směru, ve kterém se pohybuje. V tom okamžiku jeho nohy nevytvoří potřebnou plochu opory, těžiště se tedy dostává mimo ni a tíhová síla okamžitě způsobuje pád těla na zem.
- ▶ zápas - často musí být tíhová síla soupeře překonána při chvatech, kdy je soupeř zvedán do výšky, následně je však využita při hodech.

$$F_t = f F_N$$

## Třecí síla

Reakce podložky má úzkou spojitost s třecí silou, která je úměrná síle, kterou tělo působí kolmo na podložku a koeficientu smykového tření.



SMYKOVÉ TŘENÍ	$\mu_s$	$\mu$
Sklo-sklo	0,94	0,4
Ocel-ocel	0,3	0,25
Kov-dřevo	0,6	0,2-0,6
Pneu-beton	0,9	0,7
Dřevo-dřevo	0,45-0,6	0,2-0,48
Ocel-led	0,27	0,014



► Směr třecí síly





# Dostředivá a odstředivá síla

$$F_d = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$$

## Setrvačné síly (D'Alembertovy síly) -

V neinerciální soustavě vzniká v důsledku zrychlení setrvačná síla  $F_s$ . Tato síla má opačný směr než zrychlení, které ji vyvolává.

$$F_s = -ma$$

# HYBNOST, IMPULS SÍLY

$$p = mv$$

Druhý Newtonův zákon

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$m\Delta v = \Delta p$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F\Delta t = \Delta p$$

změna hybnosti bude tím větší, čím déle a čím větší síla na těleso působila

$$I = F\Delta t$$

## 1. Impulsová věta:

*Časová změna hybnosti tělesa je rovna výsledné vnější síle.*

Na čem závisí velikost dosažené rychlosti?

$$F\Delta t = m\Delta v$$

$$v = \frac{F\Delta t}{m} = \sqrt{2as}$$

Větší rychlosti můžeme dosáhnout zvětšením působící síly, prodloužením dráhy s použitím stejné síly, čímž dojde i k prodloužení doby, po kterou působíme.

# SÍLA NÁRAZU A IMPULS SÍLY

Obránce – snížit sílu nárazu (box, ....):  
prodloužit čas předávání hybnosti  
kolikrát se zvětší čas, tolikrát se zmenší síla

Možnosti zastavení hybnosti o velikosti  $200 \text{ N}\cdot\text{s}$

$$\Delta p = I = F\Delta t$$

Síla	Čas	Impuls
200	1	200
100	2	200
50	4	200
20	10	200
8	25	200
4	50	200
2	100	200
0.2	1000	200

konkrétní hodnoty získané biomechanickými měřeními úderu profesionálního boxera na světové úrovni, Franka Bruna (Atha a kol., 1985):

Během 0,1 s urazilo jeho zápěstí dráhu 0,49 m v okamžiku nárazu dosáhlo rychlosti  $8,9 \text{ ms}^{-1}$ . Síla nárazu byla 4096 N, přičemž náraz trval 14 ms.

Při nárazu do hlavy o hmotnosti 6 kg by jí tato síla udělila zrychlení  $683 \text{ ms}^{-2}$ , tedy 70 g.

jak lze dosáhnout co nejtvrděšího úderu  
hybnost X energie

síla je rovna součinu hmotnosti a zrychlení  $F = ma$ , hybnost součinu hmotnosti a rychlosti  $p = mv$ .

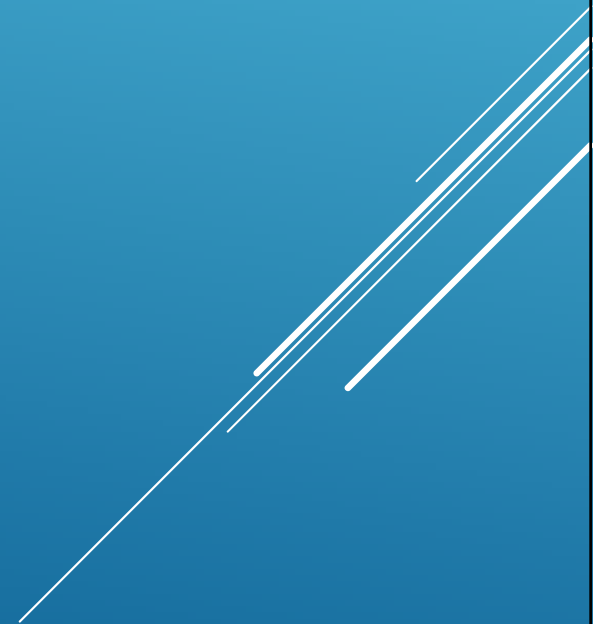
vztah mezi těmito dvěma veličinami:  $\Delta p = Ft \rightarrow$   
působící síla v čase se projeví změnou hybnosti.

že při vzájemném silovém působení těles se  
hybnost jednoho z nich zvýší o tolik, o kolik se  
tímto silovým působením sníží hybnost druhého  
tělesa (zákon zachování hybnosti, který vyplývá  
z 3. Newtonova zákona).

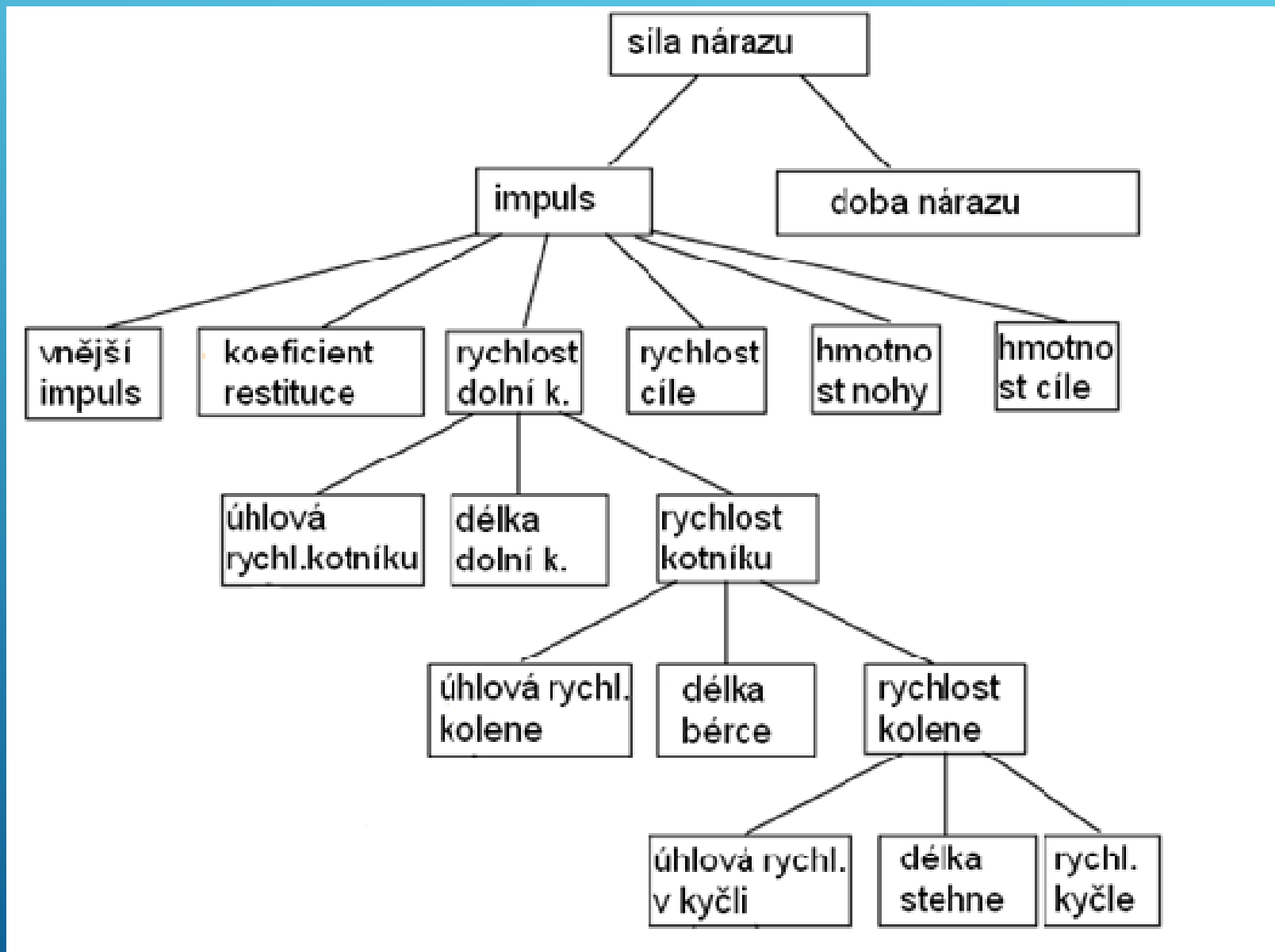
Čím větší je síla nárazu, tím udělí cíli větší  
zrychlení či deformaci.

# ODRAZ

Čím kratší bude doba, během které brzdíme v první mikrofázi odrazu rychlost získanou rozběhem, tím působíme na podložku větší tlakovou (nárázovou) silou. Čím je tato síla větší, tím vznikne větší reakce na ni – reakce podložky, které nás v druhé mikrofázi odrazu urychluje.



## Závislosti pro sílu nárazu u kopu s otočkou





Síla nárazu – výzkumy:

Naměřené síly se pohybují od 470, až po 14 000 N. Podle nás se reálné hodnoty u vyspělých sportovců pohybují mezi 4000 a 8000 N.

box:

4536 N (sledgehammer)

taekwondo:

6804 N (spinning back kick)

3482 N (roundhouse kick),

Karate:

4000 N (front forward punch)

4900 N (reverse punch).

# PÁDOVÉ TECHNIKY

Pádové techniky můžeme dělit na pády

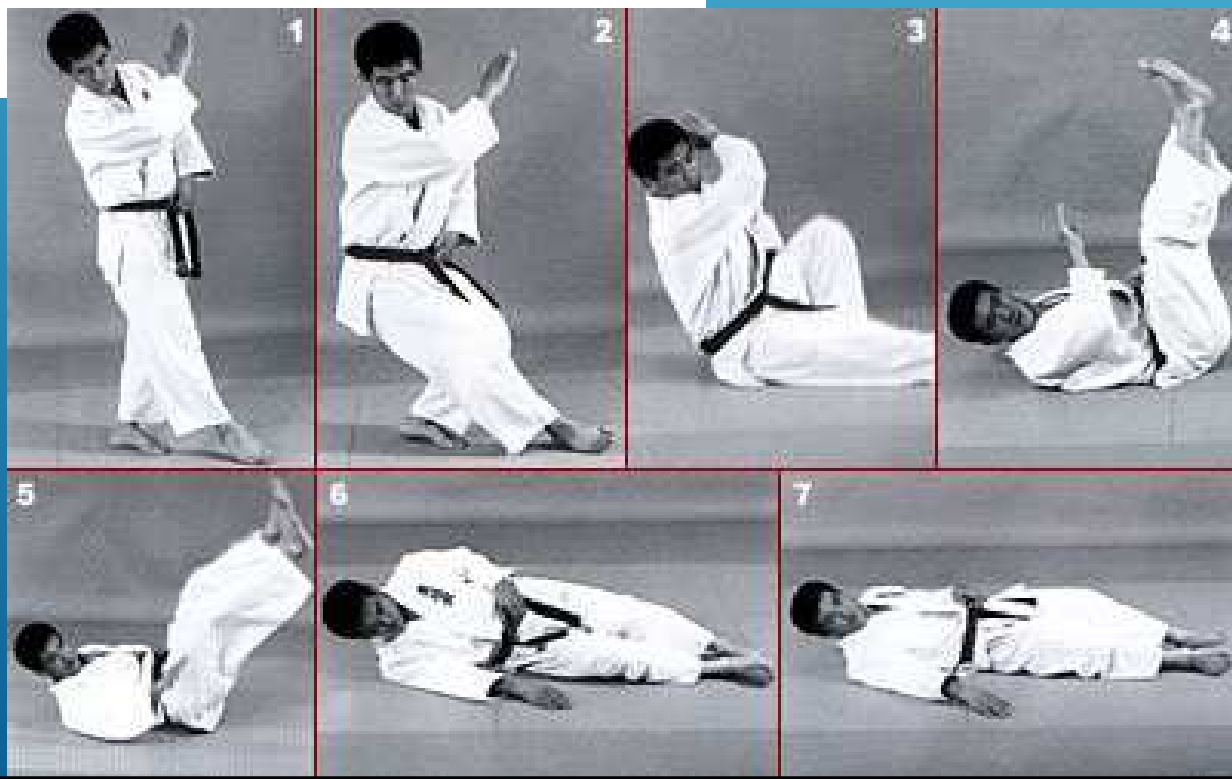
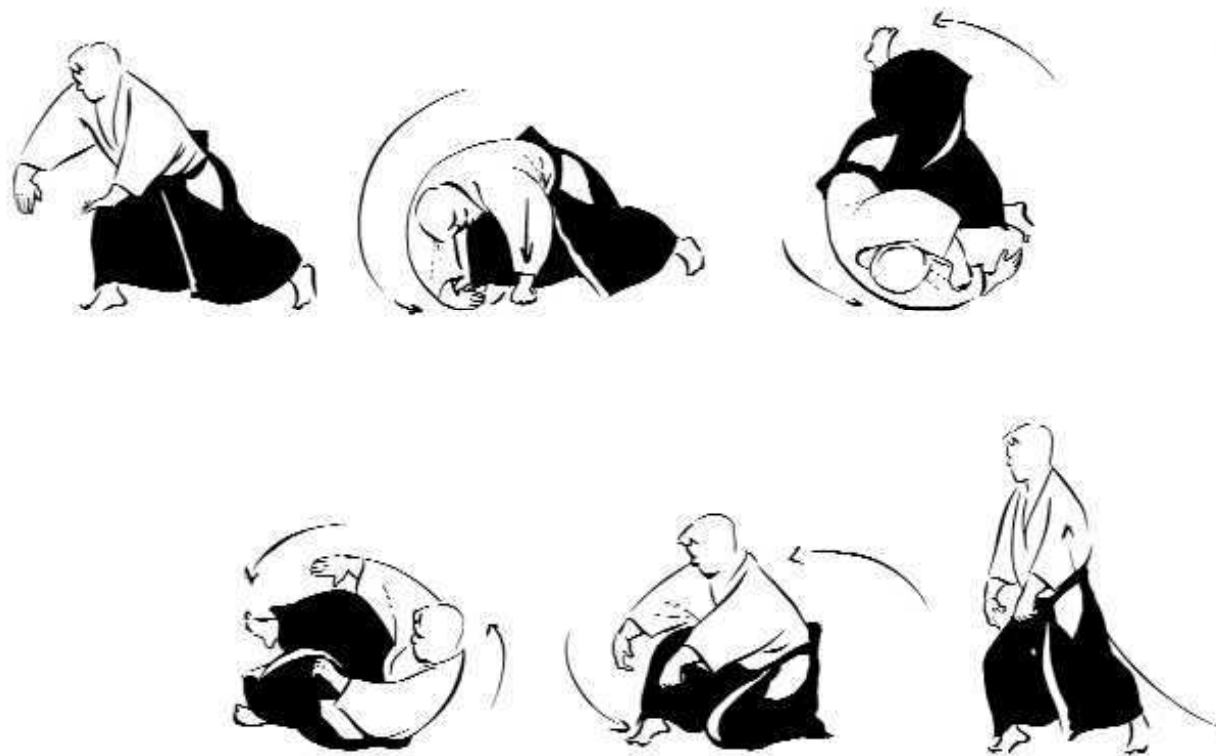
- ▶ vpřed
- ▶ vzad
- ▶ stranou
- ▶ kombinované

Dále pád může být proveden

- ▶ s převratem
- ▶ bez převratu

Podle způsobu tlumení pádu rozeznáváme pády

- ▶ se zaražením
  - ▶ bez zaražení
- 



- ▶ Hybnost vytvořená při pádu je rovna součinu hmotnosti padajícího judisty a jeho rychlosti. Rychlost judisty a jeho hybnost získaná během pádu se při kontaktu s podložkou snižuje až na nulovou hodnotu. Jde o zpomalený pohyb, kdy působící síla směřuje proti směru pohybu tělesa. Síla, kterou judista udeří do podložky, působí také na tělo sportovce jako síla reakce podložky. Mluvíme zde o nárazových silách. Ze vztahu vyplývá, že nárazová síla je tím větší, čím je větší hmotnost tělesa, čím je větší změna rychlosti a čím je kratší čas, během kterého k této změně došlo.

# TLAK

U technik jako jsou údery, kopy, pády je podstatný tlak, který je roven síle rozložené na určité ploše:

$$p = \frac{F}{S}$$

Je to právě velikost tlaku, co způsobuje při nárazu zranění.

Např. – pády v judu, útok nožem, přerážení desek – minimalizace plochy, kterou dochází k přenosu hybnosti a energie

úder o reálné energii 190 J:

celá dlaň - na 1 cm<sup>2</sup> by tak připadlo 1,3 J

polštářek dlaně - na 1 cm<sup>2</sup> tak připadá 10,1 J

# ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

Znamená to, že je-li výsledná vnější síla působící na těleso rovna nule, časová změna hybnosti je také nulová. Izolované těleso tedy nemění svou celkovou hybnost působením vnitřních sil.

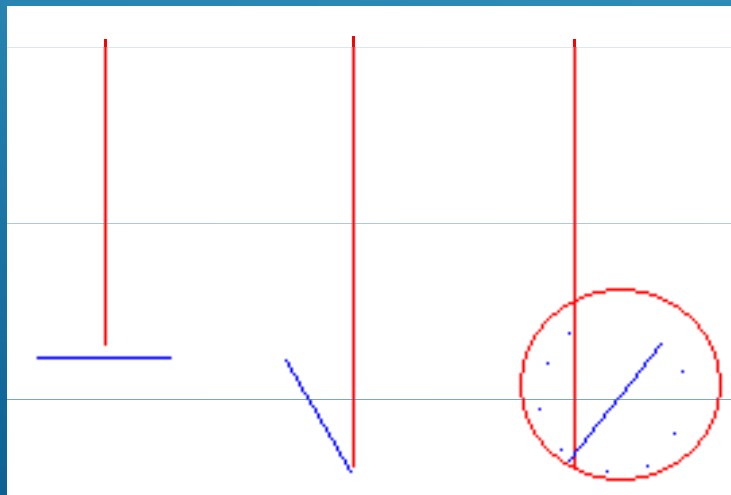
zákon lze odvodit z 3. Newtonova zákona a

1. impulsové věty

$$\mathbf{F}_1 t_1 = -\mathbf{F}_2 t_2$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 = -m_2 \mathbf{v}_2$$

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = 0$$



$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = \mathbf{v}(m_1 + m_2)$$

# ENERGIE

Kinetická energie:

$$W = F s = m a s = m a \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} m (a t)^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

Blum (1977) uvádí, že využitelná energie např. u zadního úderu (reverse punch) nabývá hodnot 171 – 697 J.

Hmotnost:

např. box: direkt x hákový úder



Tíhová potenciální energie

$$W = F_G h = mgh$$

Potenciální energie pružnosti

$$E_p = \frac{1}{2} k \Delta l^2$$

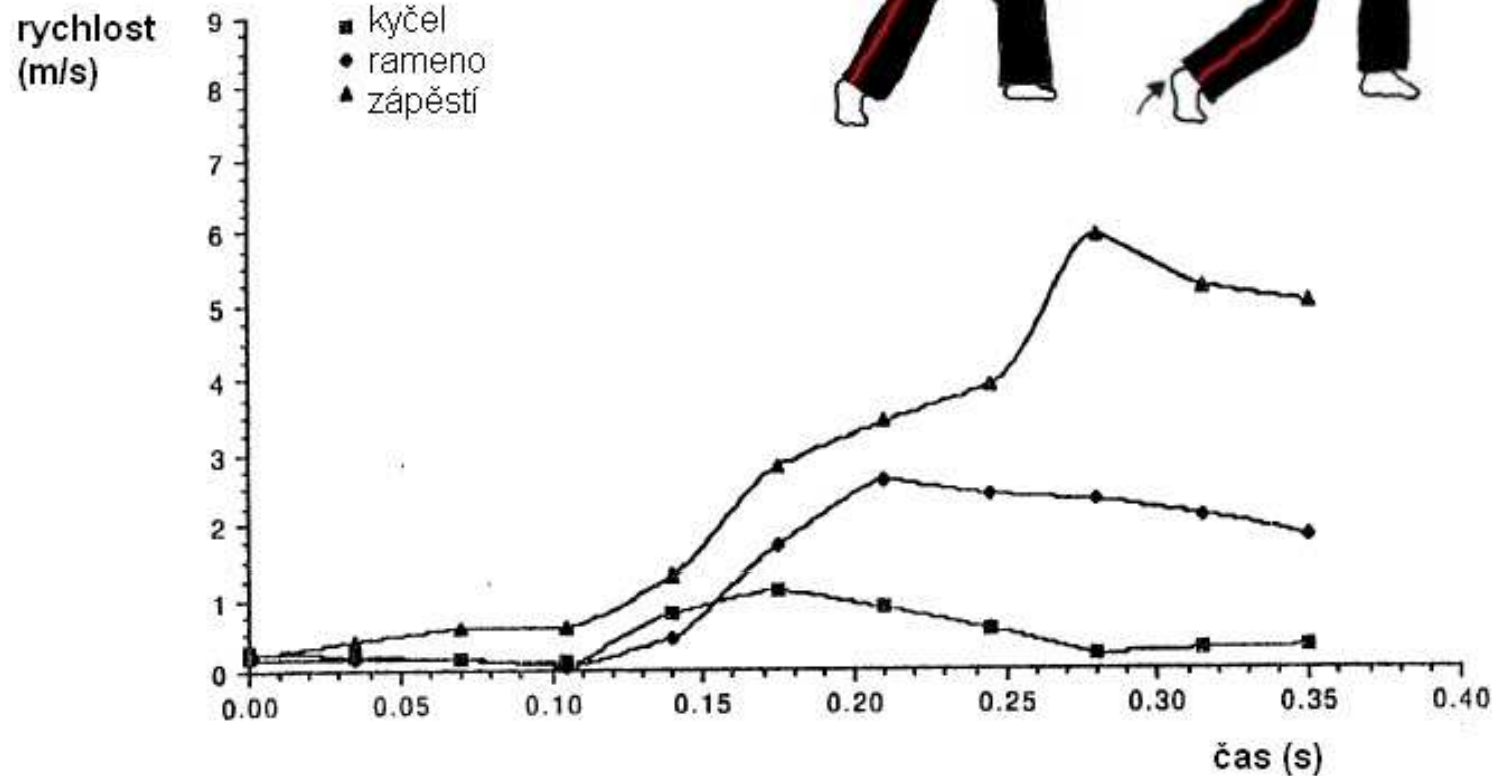
Zákon zachování energie

$$E = E_k + E_p = \text{konst.}$$



# Zákon zachování energie

gyaku tsuki (Gheluvelle a Schandevij (1983))



## Hara Gei – „umění břicha“

Svaly břicha umožňuje přeměnu kinetické energie rotačně-translačního pohybu prvního řetězce (pánev – dolní končetiny) na potenciální energii pružnosti břišních svalů a její následnou přeměnu na kinetickou rotační energii druhého řetězce (trup – horní končetiny). Můžeme to vyjádřit matematicky:

$$E_{t1} \rightarrow E_{sp} \rightarrow E_{r2}$$

$$\frac{1}{2} (I_1 \omega_1^2 + m v_1^2) \rightarrow \frac{1}{2} k x^2 \rightarrow \frac{1}{2} I_2 \omega_2^2$$

pádu vpřed s převratem bez zaražení



# MOMENT SÍLY, DVOJICE SIL

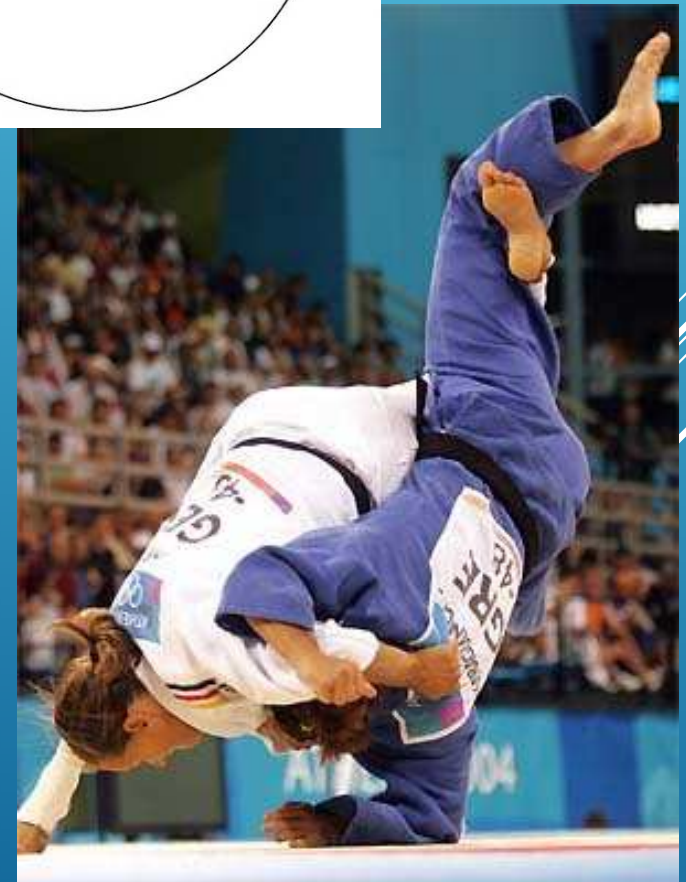
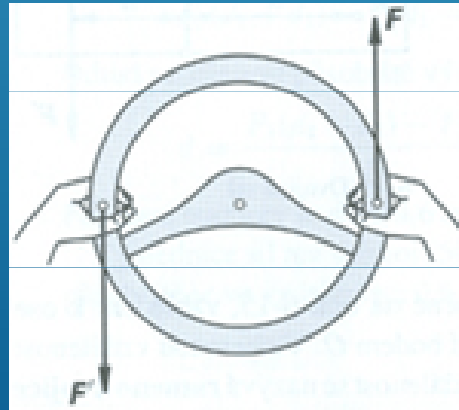
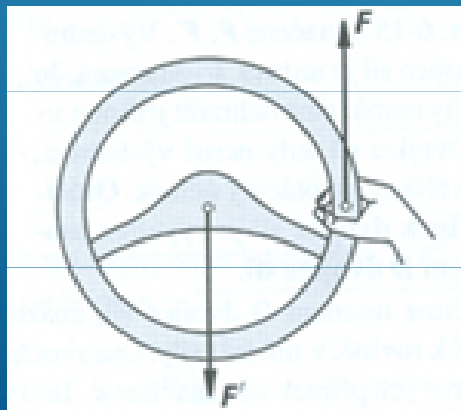
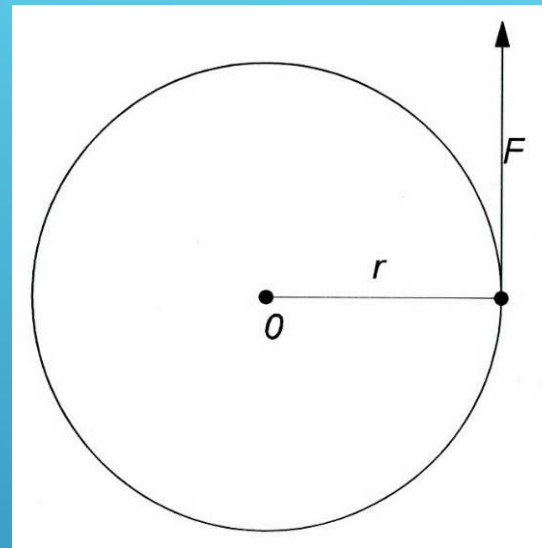
Moment síly

$$M = Fr$$

Dvojice sil – působení dvou rovnoběžných sil stejné velikosti opačného směru.

Rotace způsobená dvojicí sil je přímo úměrná velikosti sil a kolmé vzdálenosti mezi nimi.

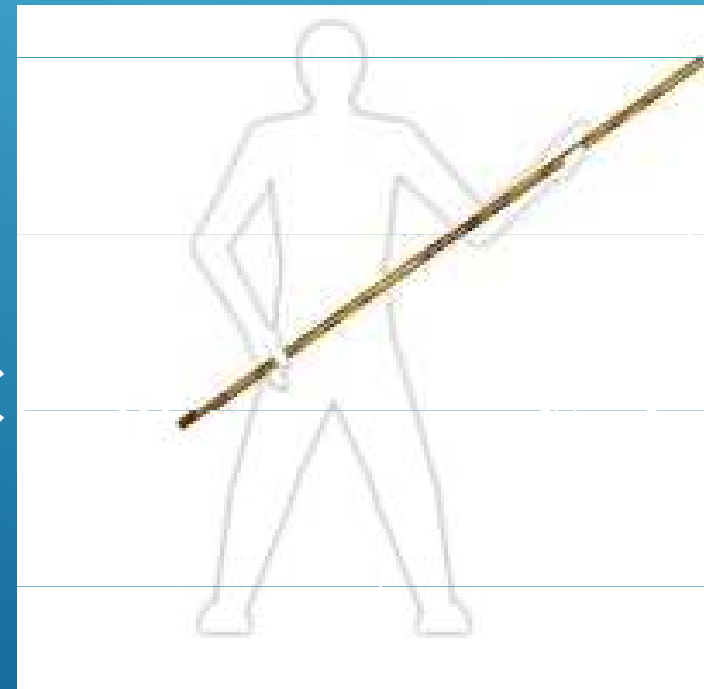
$$D = r \times F$$



- ▶ Dvojice sil jsou používány v Taekwondo při práci s tyčí - bongsul, u technik rukou
- ▶ Dvojice sil se často využívá také u technik grapplingu – páčení, přehozy,..



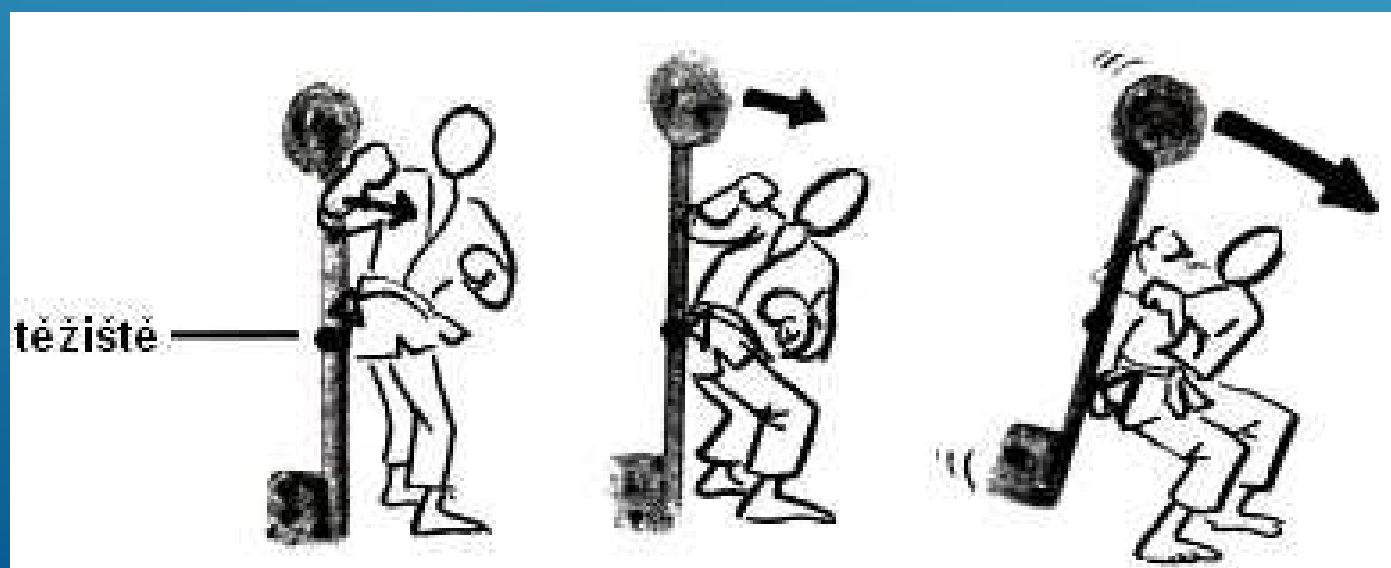
C





# ROTAČNÍ POHYBY V JUDU

Těžiště těla





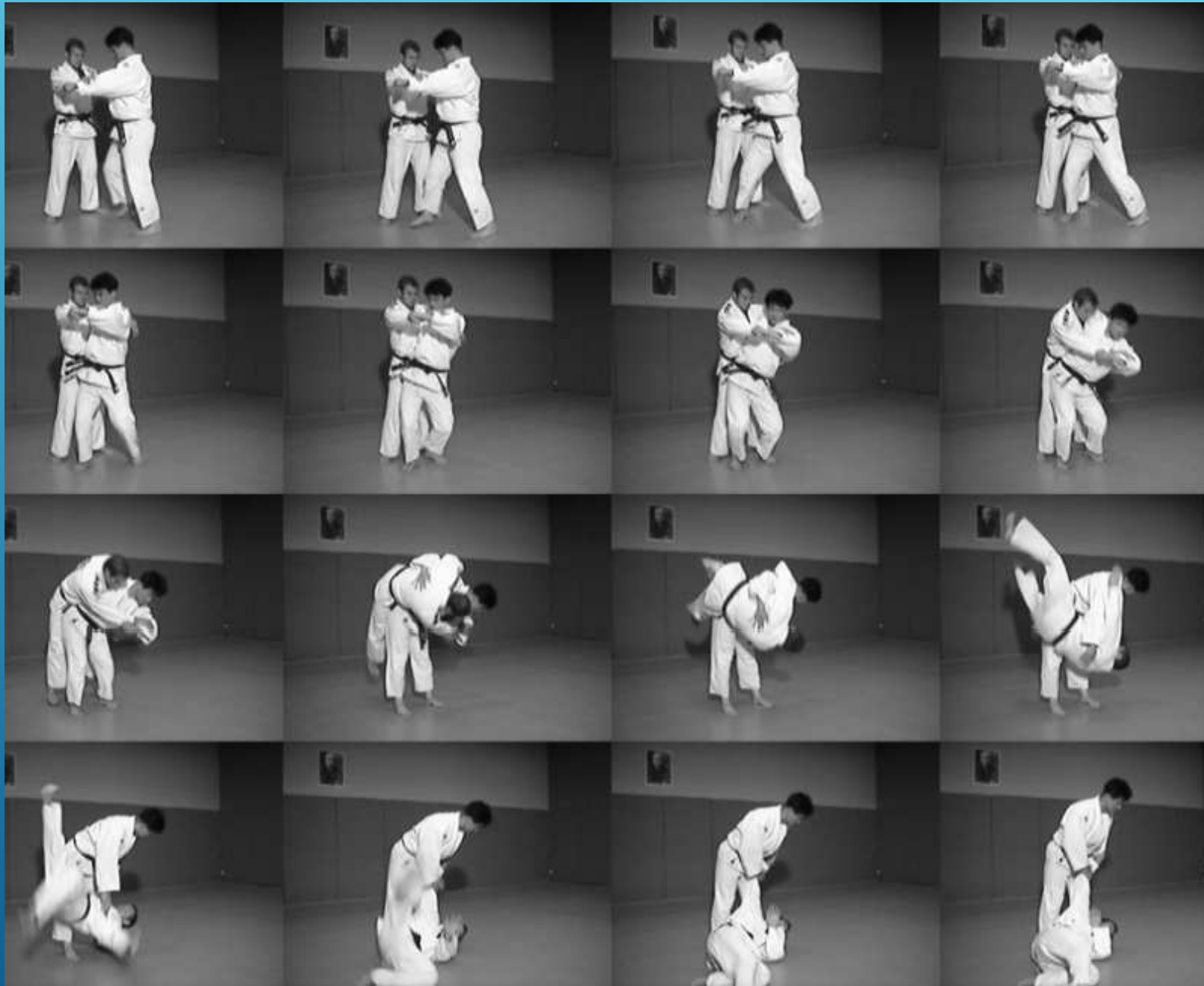
Kuzushi – vyvedení soupeře z rovnováhy:  
se zvětšujícím se vychýlením soupeře  
roste otáčivý účinek gravitační síly

Rychlost provedení chvatu nesmí být  
na úkor techniky!





# ○ GOSHI

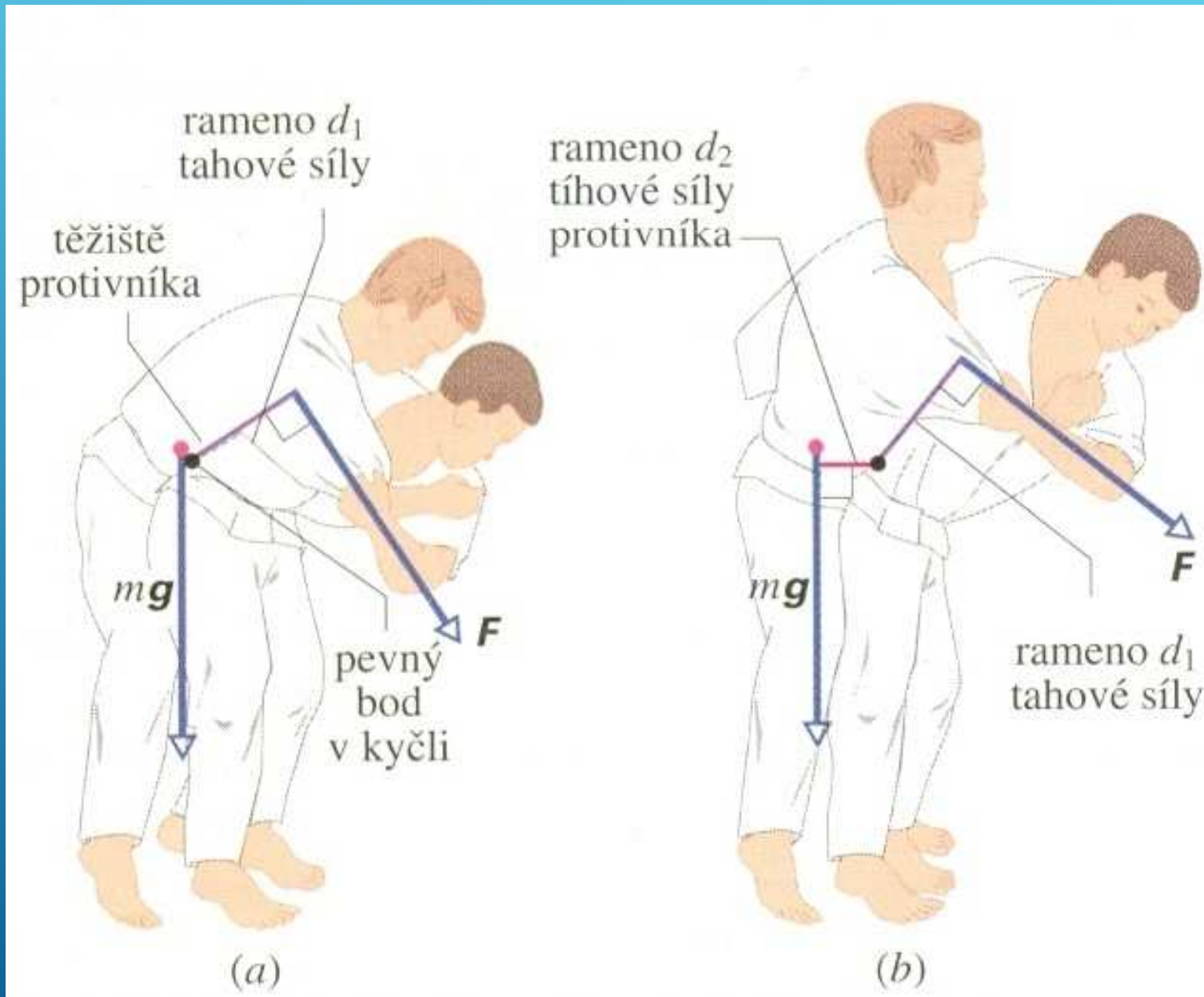


rychlá rotace levým bokem vzad se současným tahem soupeře nad pravý bok, kolem kterého se soupeř otáčí – těžiště mimo plochu opory po co nejkratší dráze

posun soupeřova těžiště vpřed – vznik osy otáčení procházející kyčlí útočníka



# Vznik momentů sil – svalová síla x tíhová síla



## Modelový výpočet:

Judista uchopí svého soka za oděv na rameni a snaží se jej otočit kolem svého těla. Přitom na něj působí **silou  $F$** . Osa otáčení prochází kyčelním kloubem judisty. **Rameno působící síly** vzhledem k této ose má v běžných situacích velikost  $d_1 = 30$  cm. Předpokládejme, že judista udělí soupeři **úhlové zrychlení**  $6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$  ve směru otáčení hodinových ručiček. **Moment setrvačnosti  $J$**  soupeře vzhledem k ose otáčení je zhruba  $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . Porovnejme velikost potřebné síly při správném a špatném provedení tohoto chvatu, má-li soupeř **hmotnost**  $80 \text{ kg}$ . **Rameno tíhové síly** při špatném provedení je  $12 \text{ cm}$ .

## Správné provedení

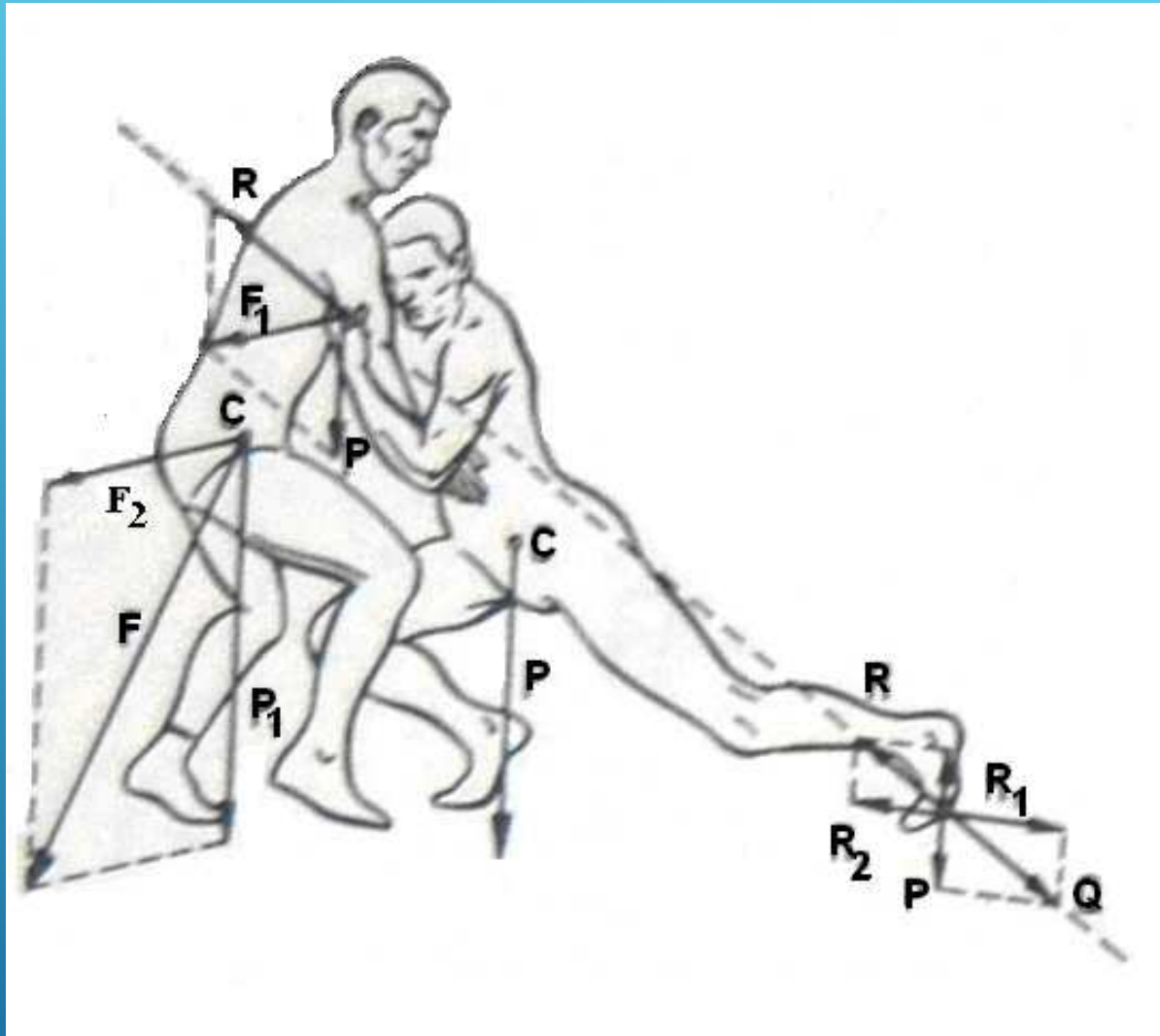
$$M = d_1 F = J\varepsilon$$

$$F = \frac{J\varepsilon}{d_1} = \frac{15 \cdot 6}{0,30} = 300\text{N}$$

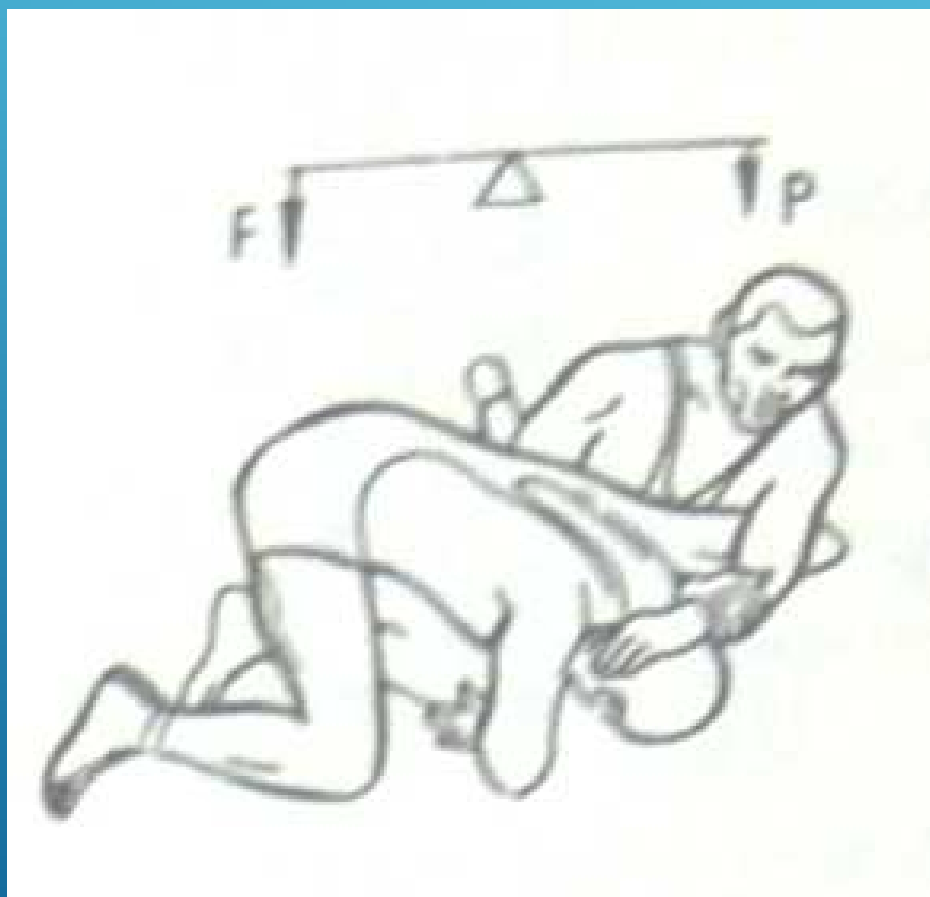
## Špatné provedení

$$M = M_F - M_{F_E} = d_1 F - d_2 F_E = d_1 F - d_2 mg = J\varepsilon$$

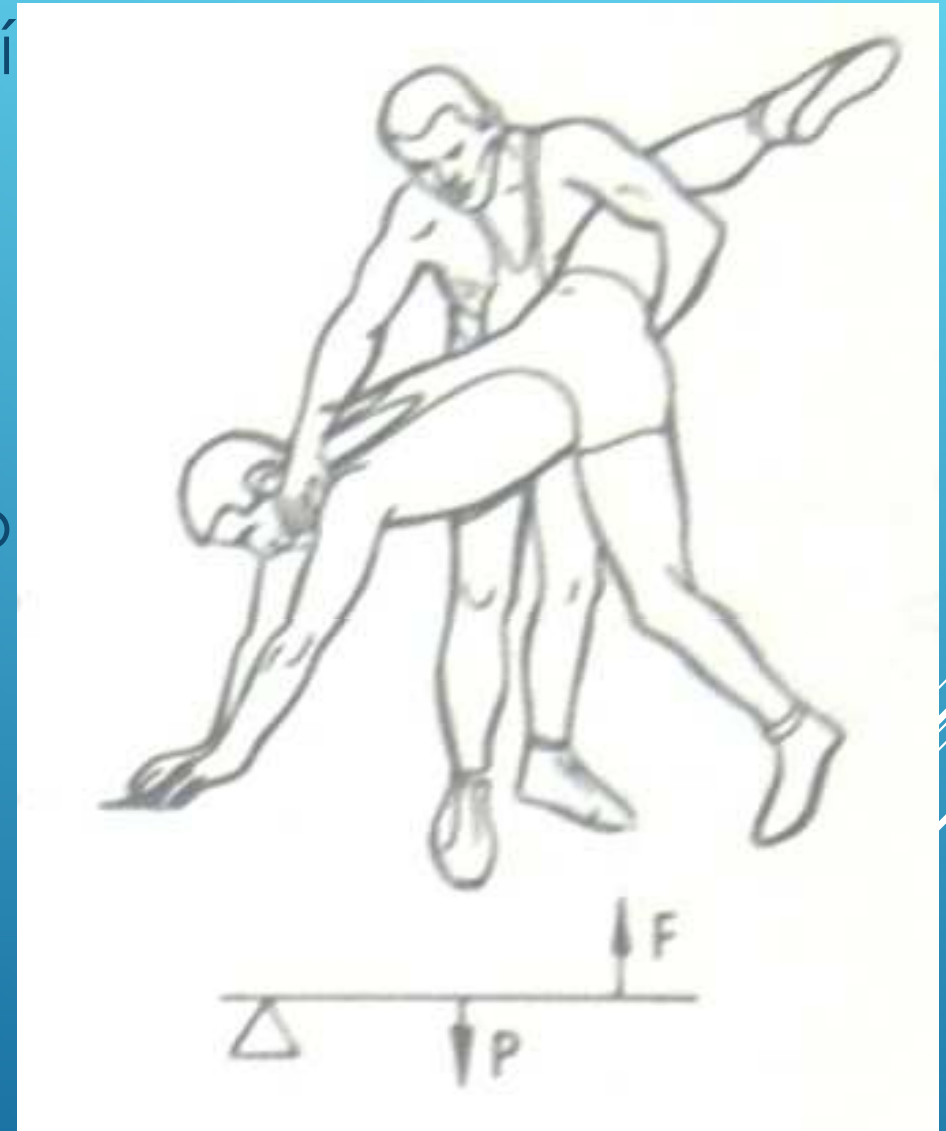
$$F = \frac{J\varepsilon + d_2 mg}{d_1} = \frac{15 \cdot 6 + 0,12 \cdot 80 \cdot 9,81}{0,30} = 613,3\text{N}$$



- ▶ **Páka prvního stupně** (dvojzvratná) má osu otáčení mezi vektorem svalové síly a vektorem tíhové síly. Bývá nazývaná pákou rovnováhy

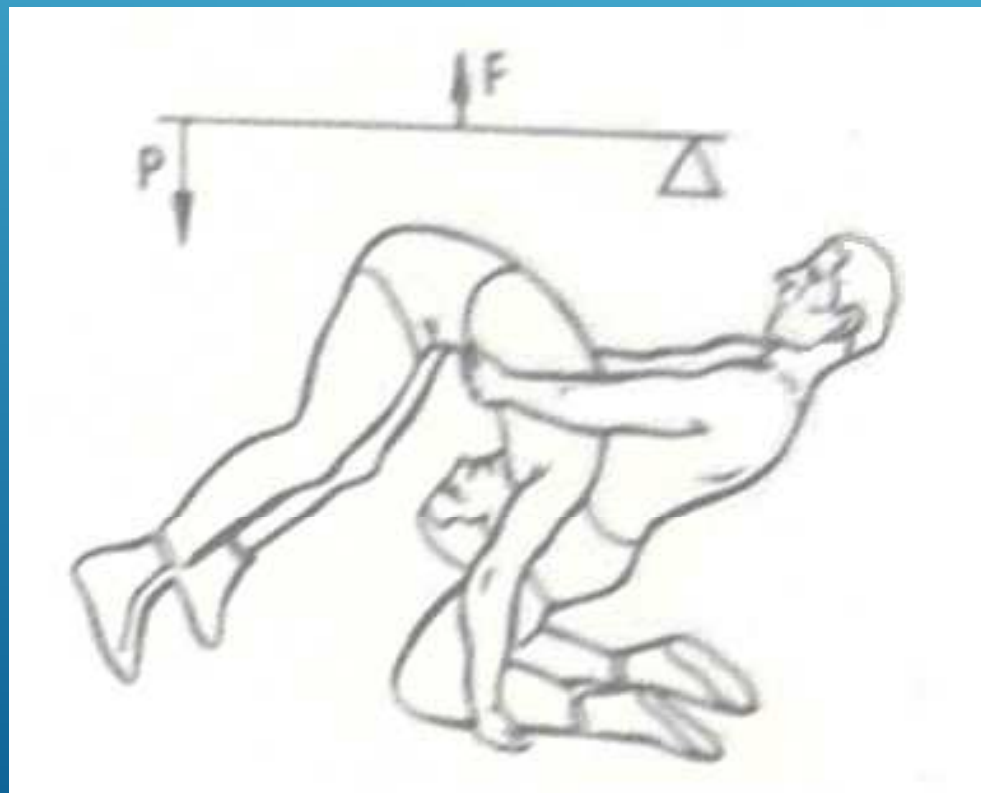


- ▶ **Páka druhého stupně** (jednozvratná) má vektor břemena mezi opěrným bodem a vektorem působící svalové síly. Rameno síly je delší než rameno břemena. Můžeme konstatovat, že ve statické poloze je svalová síla tolikrát menší než tíhová síla, kolikrát je rameno svalové síly větší než rameno síly tíhové. Bývá nazývána pákou úspory.

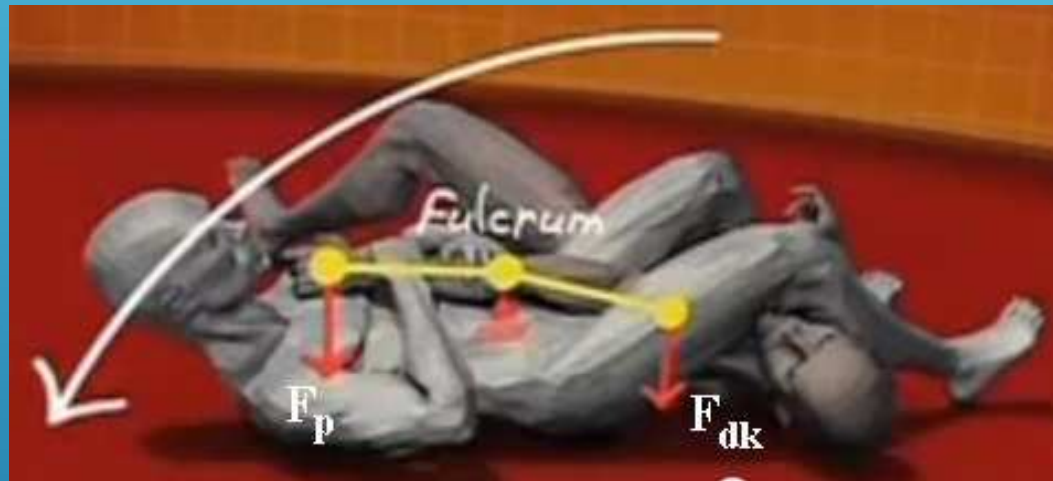




- ▶ **Páka třetího stupně** (jednozvratná) má rameno síly kratší než rameno břemena. Síla na této páce působí mezi opěrným bodem a břemenem. Vzhledem k poměru ramen sil je podmínkou statické polohy větší svalová síla než tíhová síla břemene. Bývá nazývaná pákou síly a rychlosti.



- ▶ **Techniky znehybnění – juji gatame:**  
techniky držení, škrcení a páčení



$$M = F_p r_p + F_{dk} r_{dk}$$

# ROVNOVÁHA

Statická rovnováha

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \dots + \mathbf{M}_n = \mathbf{0}$$

Podmínka: těžiště nad plochou opory

Statická rovnovážná poloha

Stabilní - stálá

Labilní - vratká

Indiferentní - volná

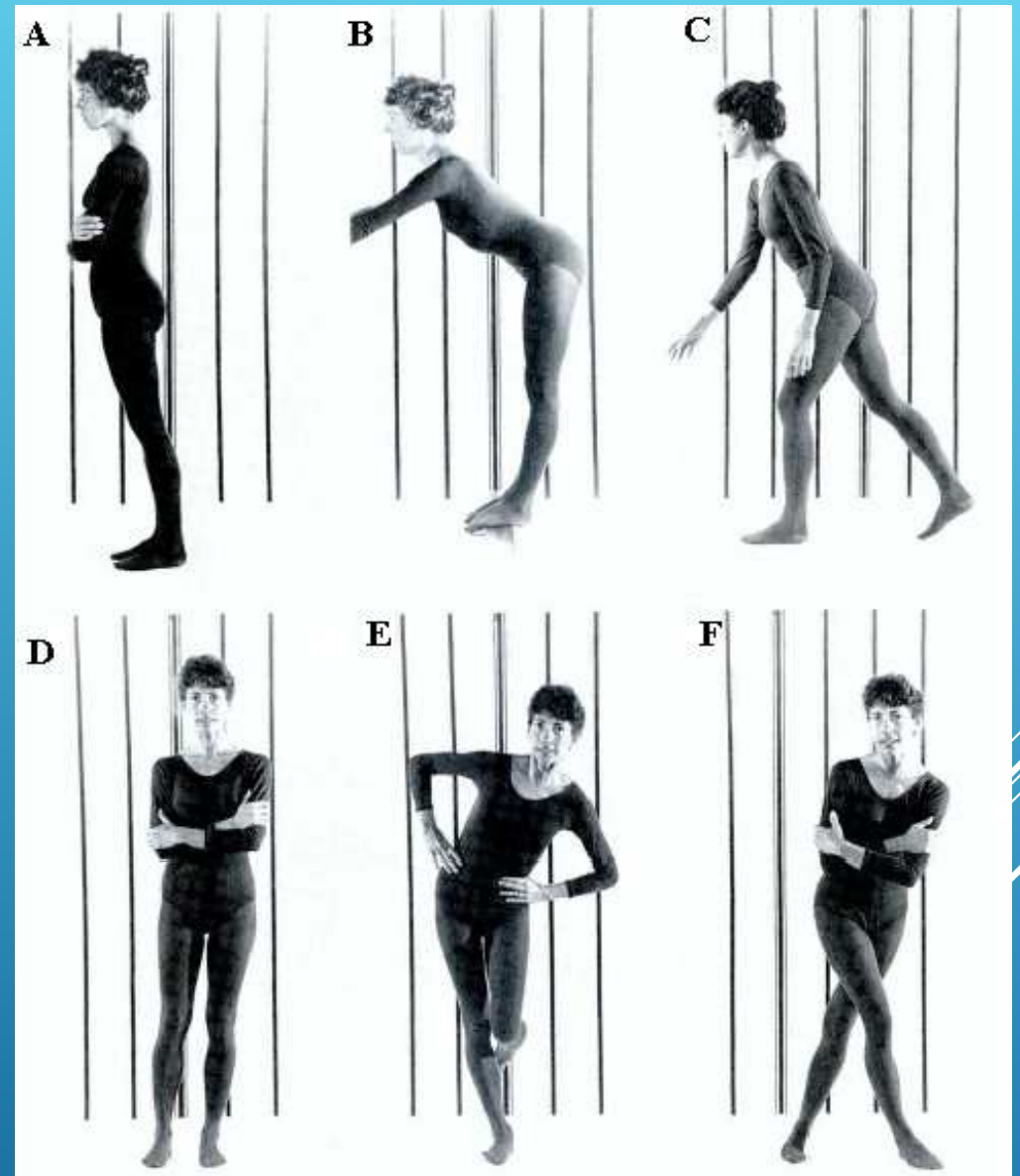
neustálý proces  
obnovování rovnováhy těla



korekční pohyby

Pohybový aparát –  
soustava inverzních kyvadel

balanční strategie ve  
vzpřímeném postoji:  
strategie kotníku, strategie  
kyčle a strategie kroku

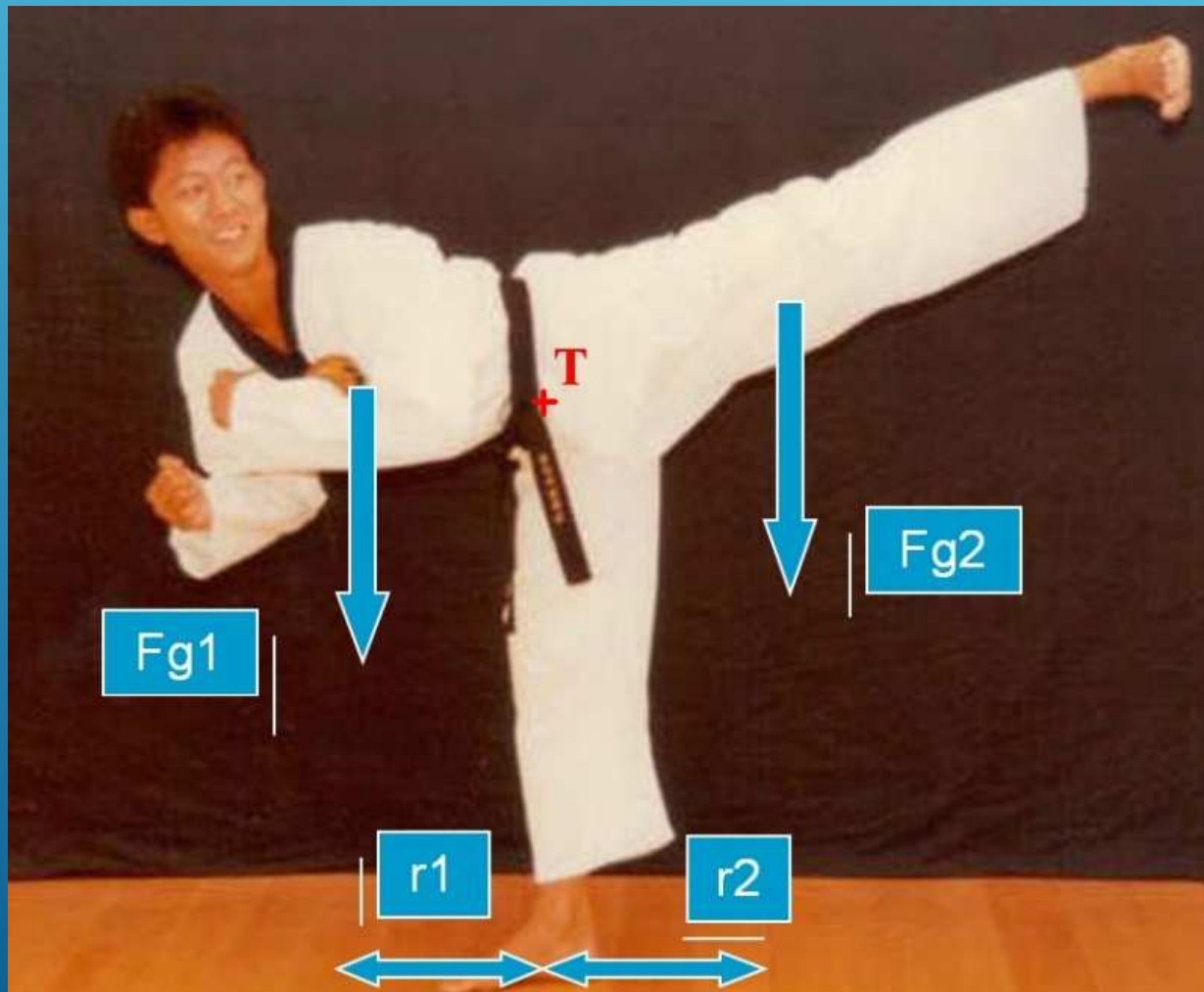


# Udržování rovnováhy v bojových uměních (boční kop - strategie kroku)



$$M_{Fg1} = M_{Fg2}$$

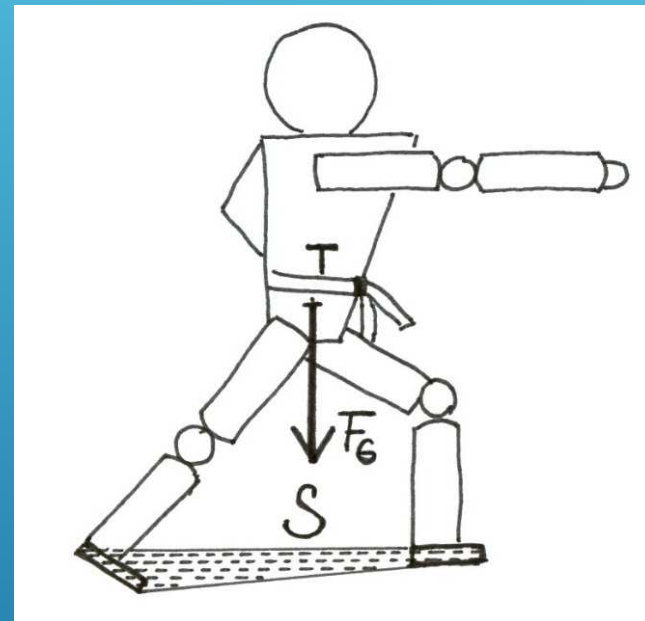
$$F_{g1}r_1 = F_{g2}r_2$$



# STABILITA

= množství mechanické práce, kterou je třeba vykonat, abychom podepřené těleso přemístili ze stálé rovnovážné polohy do vratké

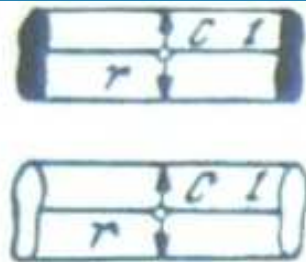
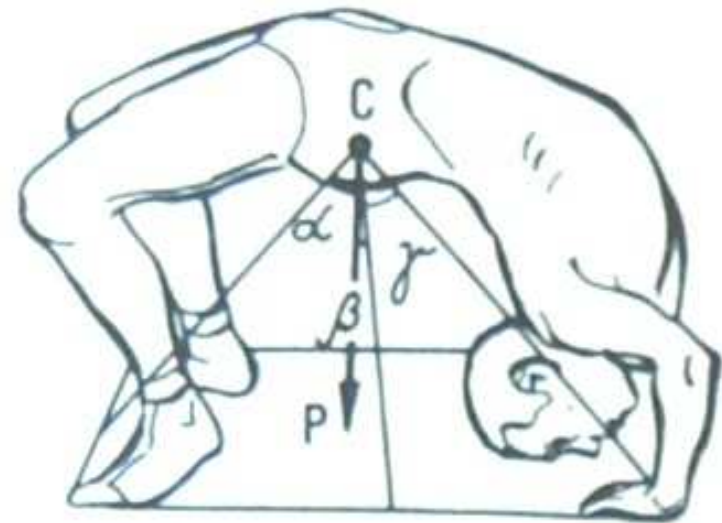
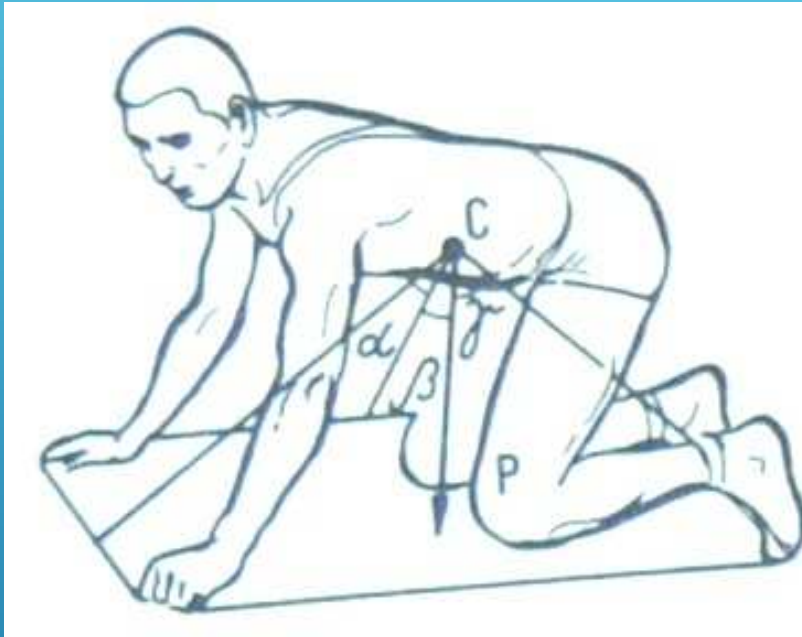
Stabilita tělesa roste s  
**rostoucí hmotností,**  
**nižší polohou těžiště**  
**rostoucí opěrnou bází.**



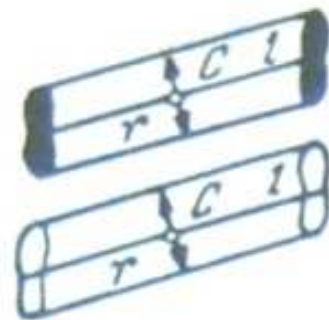
Čím zaujme soupeř stabilnější postoj, tím musíme vynaložit větší práci, tedy působit větší silou po delší dráze, abychom jeho rovnováhu narušili.



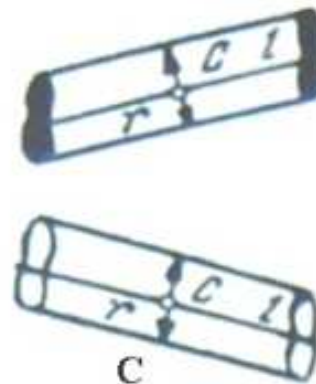
# OPĚRNÁ BÁZE



A



B



C

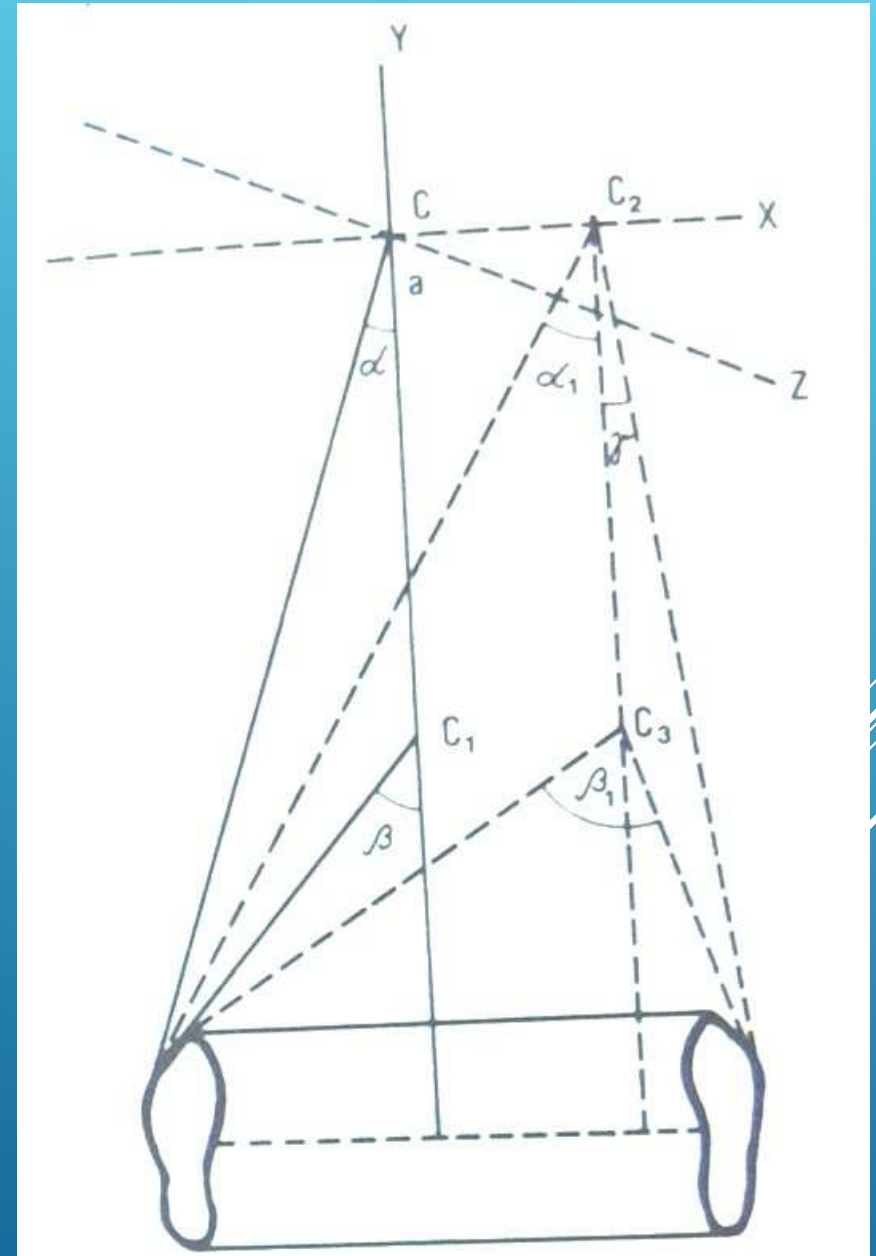


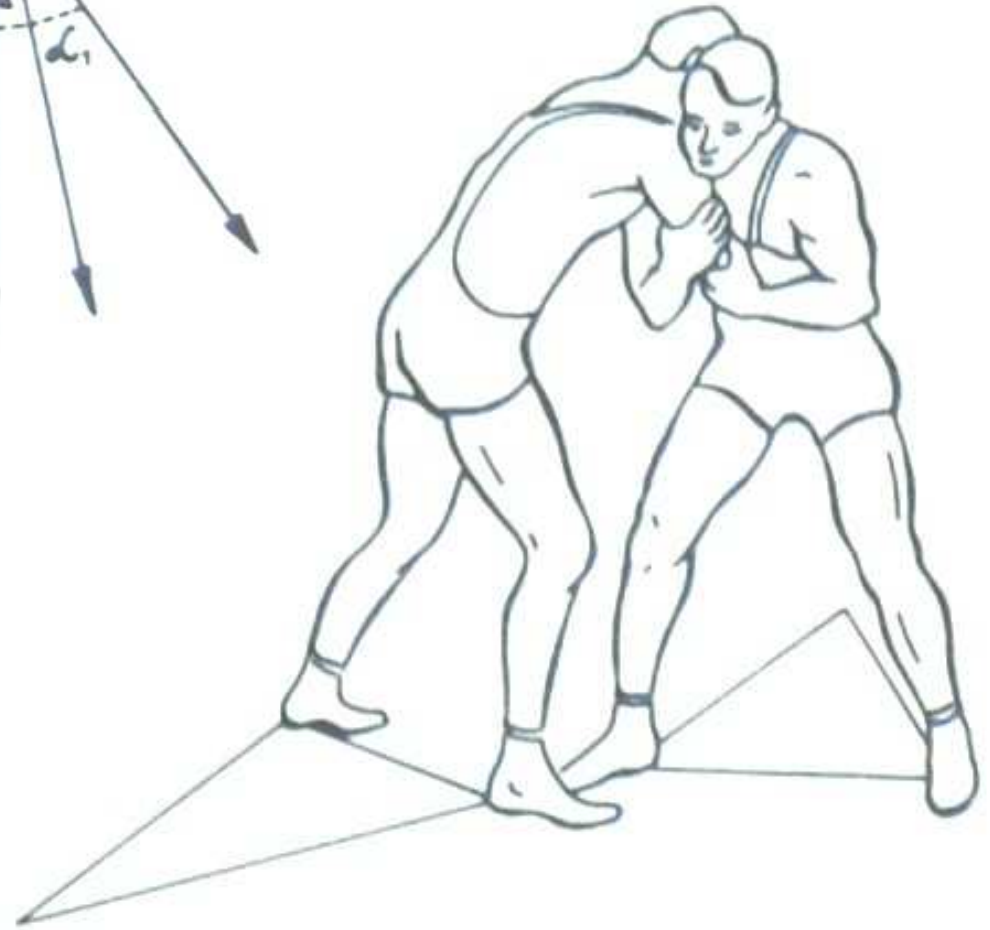
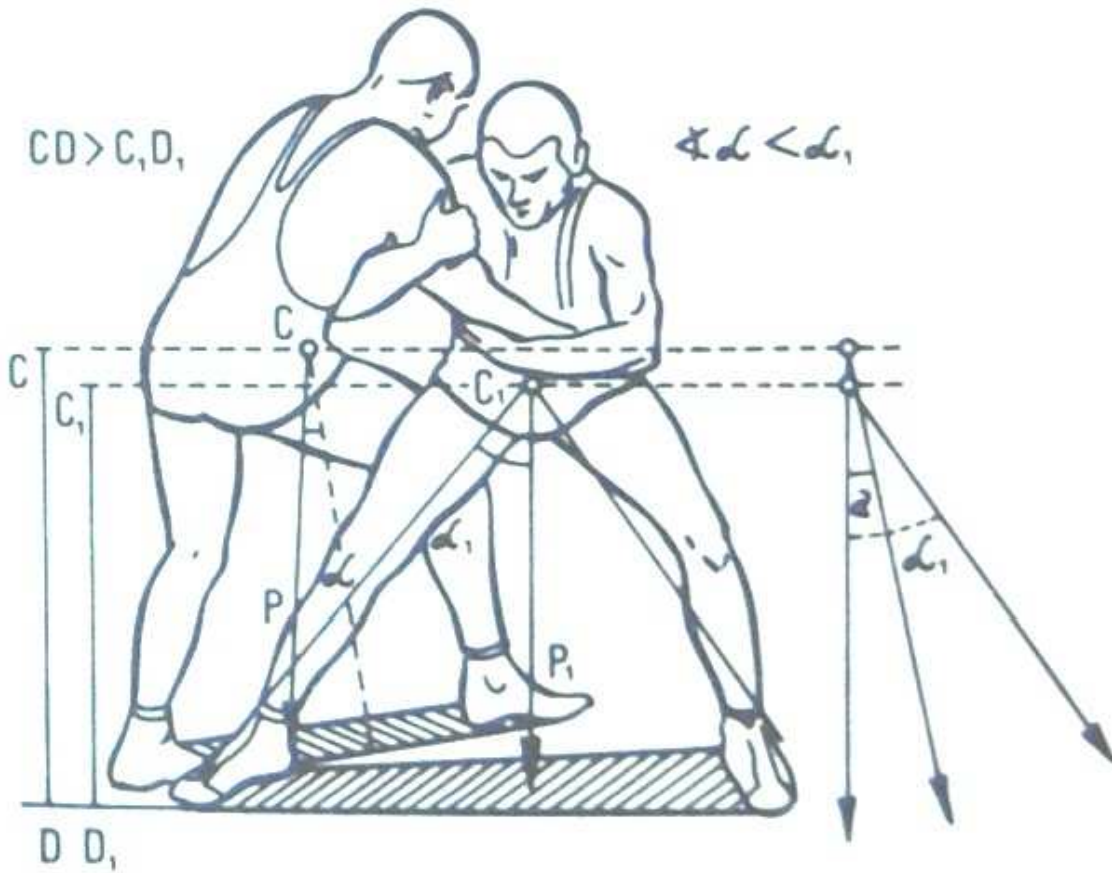
D



# POLOHA TĚŽIŠTĚ - ÚHEL STABILITY

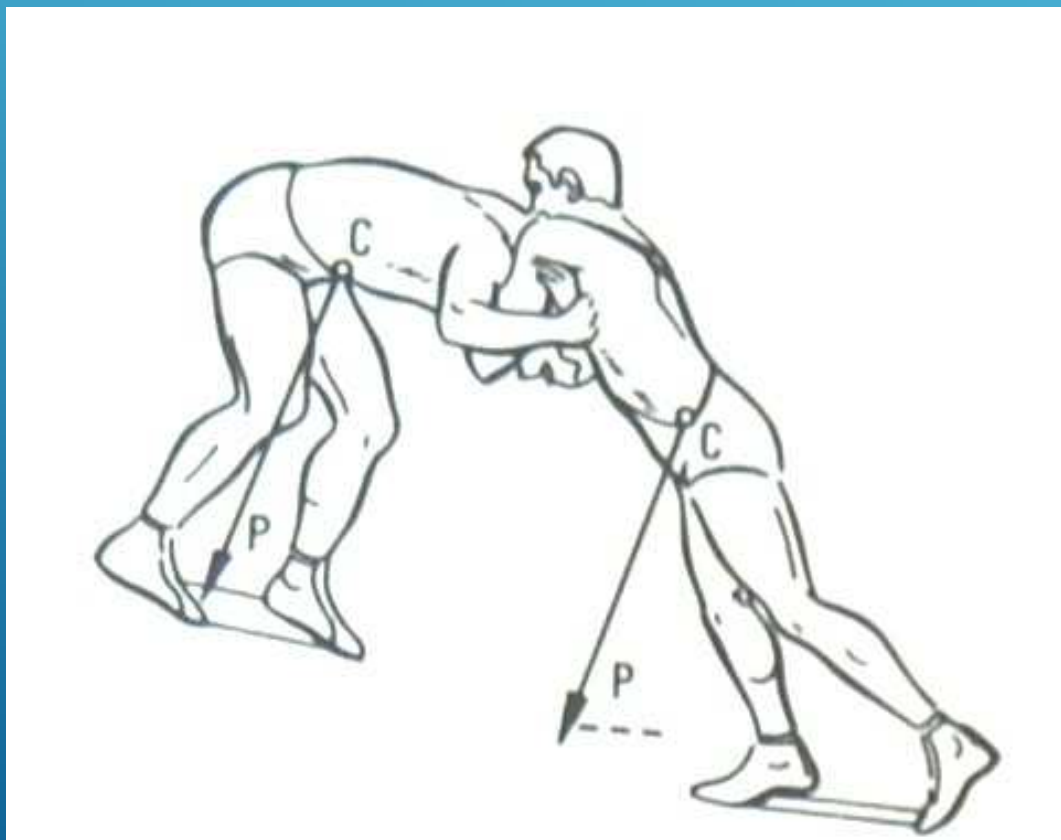
Výchylky těžnice vedou ke změnám úhlu stability, čímž nazýváme úhel mezi vektorem těžnice a přímkami směřujícími do krajů opěrné báze.





Hmotnost zápasníka – kategorie podle hmotnosti

Při zápase nejde o stabilitu ve statických, ale v dynamických podmínkách - Závisí na okamžitém pohybu soupeře a z toho vyplývající opory, kterou protivník jistým způsobem vytváří.



Z pohledu biomechaniky představuje míra stability a potřebná síla tahu na vyvedení soupeře z rovnováhy základní determinanty úspěchu v judu. Mechanické faktory ztráty rovnováhy představují následující parametry (Nowoisky, 2005):

- ▶ Ø Síla útočníka ve směru pohybu
- ▶ Ø Úhel mezi silou útočníka a směrem pohybu
- ▶ Ø Okamžitá úhlová rychlost těžiště soupeře
- ▶ Ø Poloha těžiště soupeře
- ▶ Ø Hmotnost soupeře
- ▶ Ø Úhel mezi vertikálou a spojnicí osy otáčení a těžiště oponenta
- ▶ Ø Plocha opory soupeře
- ▶ Ø Moment setrvačnosti (zahrnuje v sobě antropometrické parametry)

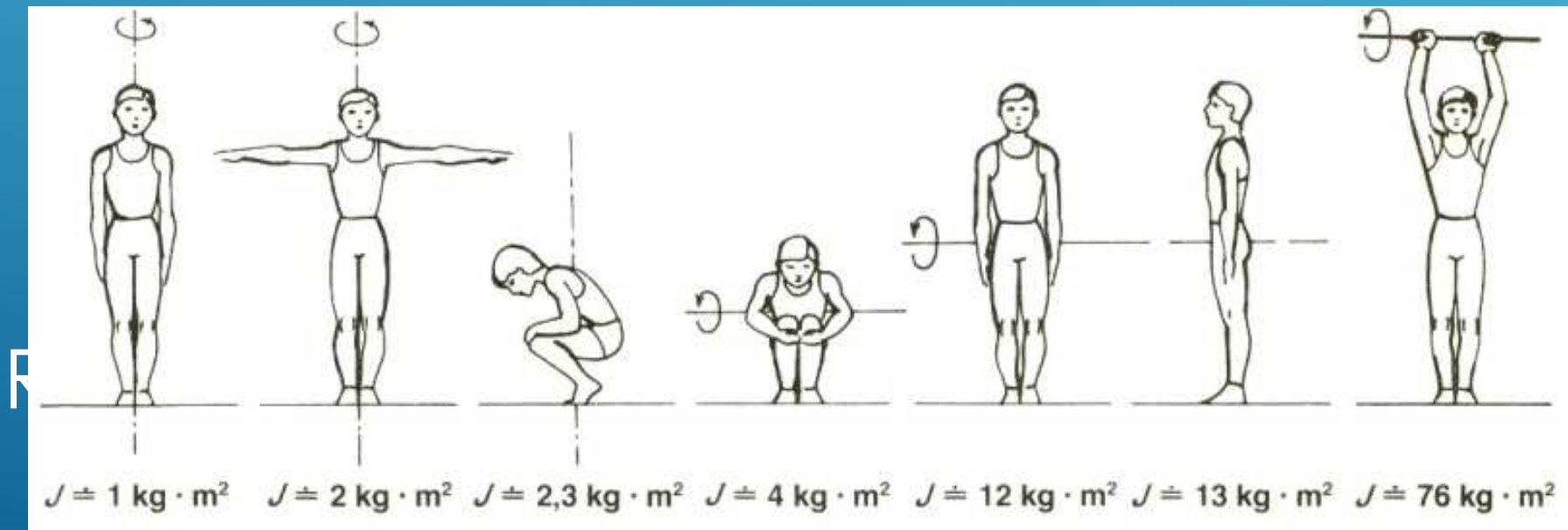
# DYNAMICKÁ ROVNOVÁHA, D'ALEMBERTŮV PRINCIP

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_s = \vec{0}$$

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 + \dots + \vec{M}_s = \vec{0}$$

► Moment setrvačnosti

$$J = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2$$



## Kinetická energie

- ▶ posuvného pohybu

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

- ▶ rotačního pohybu

$$E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$$

- ▶ celková kinetická energie

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2$$

Působí-li na těleso moment síly  $\mathbf{M}$ , dochází na základě 2. Newtonova zákona ke změnám momentu hybnosti  $\mathbf{L}$ . Matematicky tuto skutečnost vyjádříme:

$$\mathbf{M} = \frac{\Delta \mathbf{L}}{\Delta t}$$

$$\mathbf{M}t = \mathbf{J}\omega$$

## 2. IMPULSOVÁ VĚTA

*Časová změna momentu hybnosti tělesa je rovna výslednému momentu síly působící na těleso.*

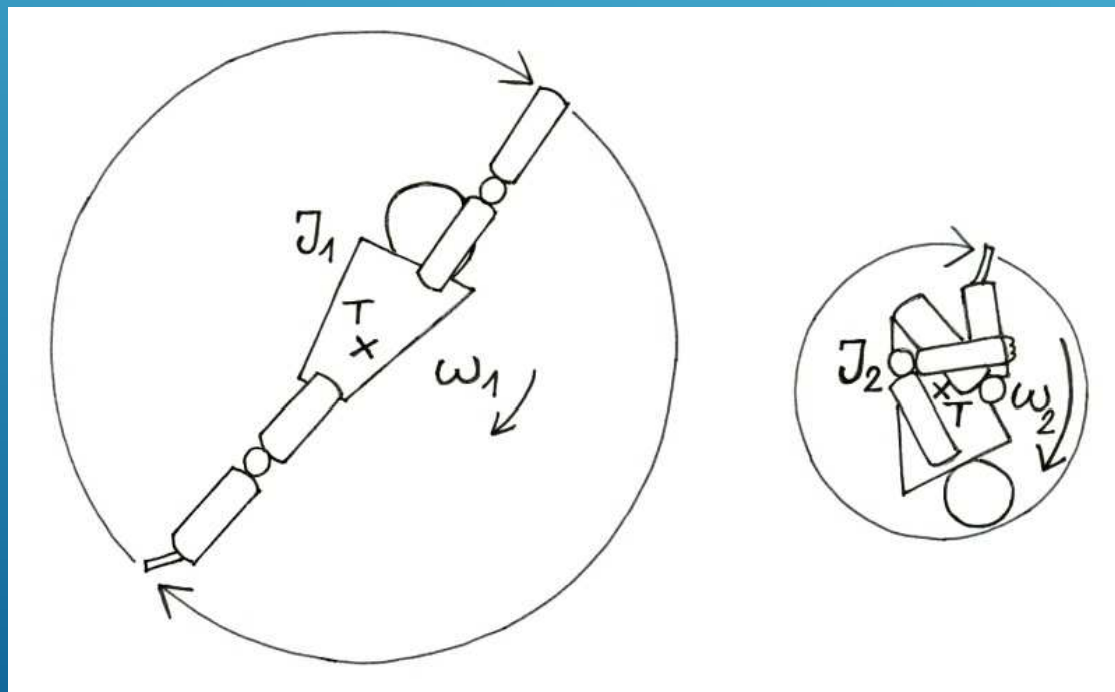


# ZÁKON ZACHOVÁNÍ MOMENTU HYBNOSTI

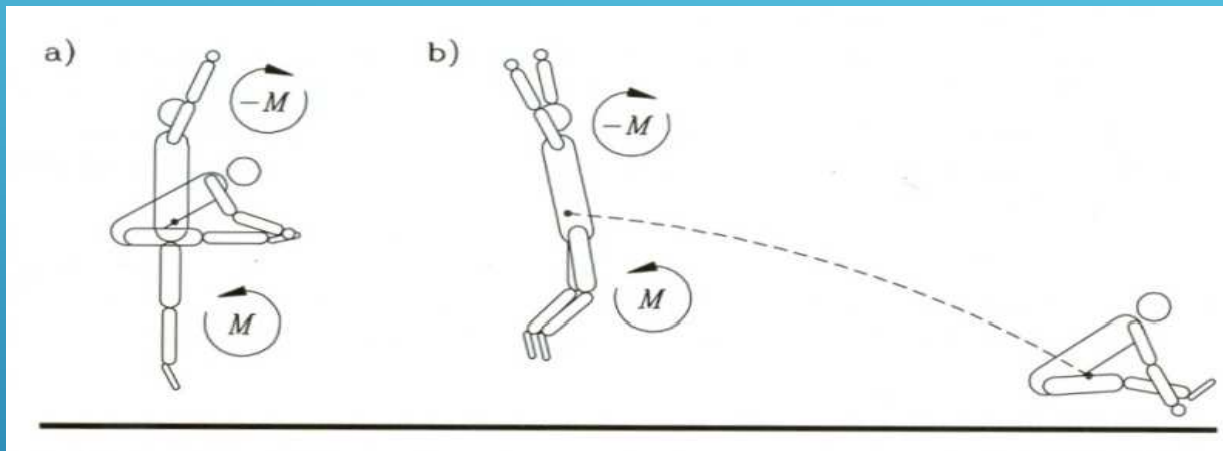
*Je-li vzhledem k některému bodu soustavy výsledný moment vnějších sil působících na danou soustavu nulový, pak celkový moment hybnosti vzhledem k uvažovanému bodu se zachovává.*

$$\mathbf{L}_1 = \mathbf{L}_2$$

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2$$



# Důsledky z.z.m.hybnosti pro pohyb těla v bezoporové fázi.



$$J_1\omega_1 = -J_2\omega_2$$

$$J_1\omega_1 + J_2\omega_2 = 0$$

Double front kick break



## Butterfly kick



## 750 roundhouse kick



# ANALOGIE MEZI POSUVNÝM A ROTAČNÍM POHYBEM

posuvný pohyb		otáčivý pohyb	
dráha	$s$	úhlová dráha	$\varphi$
rychlost	$v$	úhlová rychlost	$\omega$
zrychlení	$a$	úhlové zrychlení	$\varepsilon$
hmotnost	$m$	moment setrvačnosti	$J$
síla	$F$	moment síly	$M = r \times F$
1. impulzová věta	$ma = \sum F$	2. impulzová věta	$J\varepsilon = \sum M$
kinetická energie	$\frac{1}{2} mv^2$	kinetická energie	$\frac{1}{2} J\omega^2$

# RÁZ TĚLES

- ▶ Obvykle na základě známého rozložení hmotností soupeřů a jejich segmentů, jejich rychlostí, mechanických vlastností a pohybových stavů před rázem, hledáme rychlosti, deformace, nárazové síly a momenty během rázu i po něm.
- ▶ Využíváme přitom zákon **zachování energie** a **impulsové věty**, tedy zákon zachování hybnosti a zákon zachování momentu hybnosti.

Ráz přímý x ráz šikmý

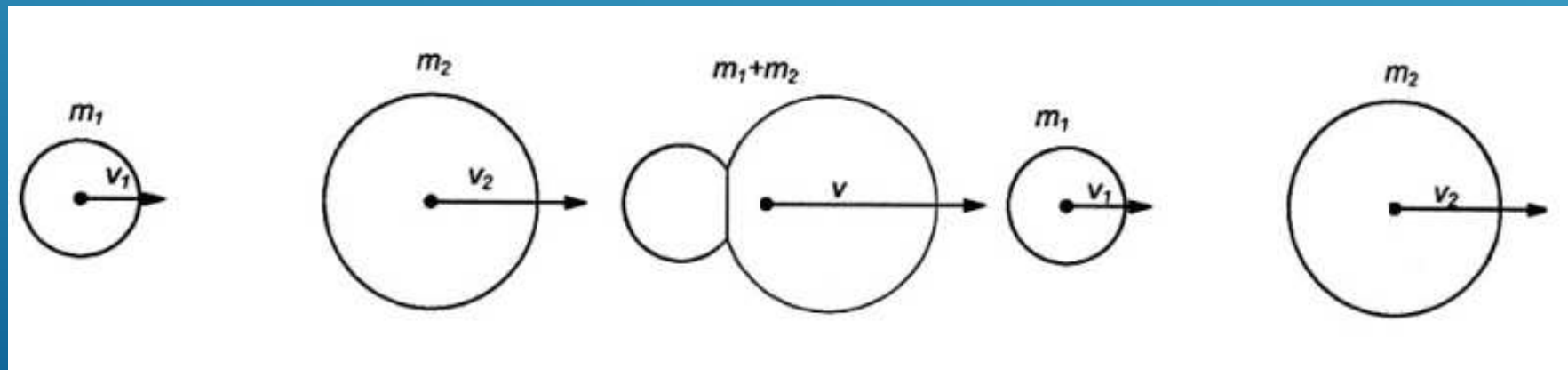
Dokonale pružný ráz x nepružný ráz

# PRUŽNÁ SRÁŽKA

$$E_{k1} + E_{k2} = E'_{k1} + E'_{k2} = E_k$$

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 = p$$

- ▶ Platí při ní impulsové věty i zákon zachování mechanické energie.



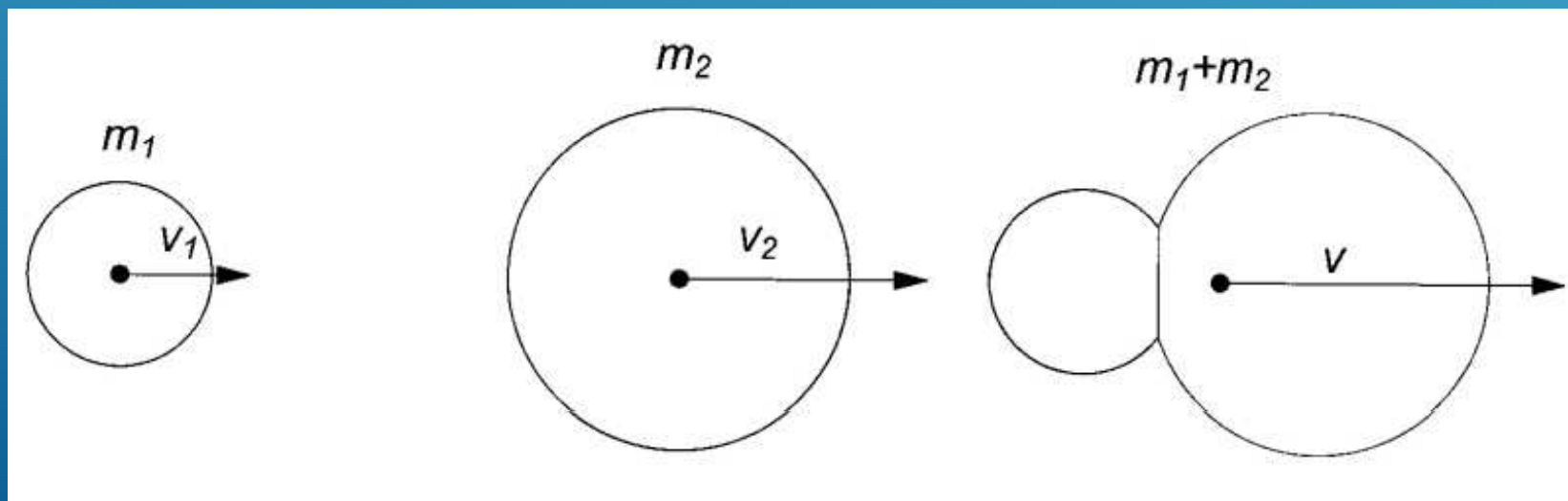


# NEPRUŽNÁ SRÁŽKA

- U nepružných srážek platí pouze zákon zachování hybnosti a zákon zachování momentu hybnosti. Mechanická energie se zde nezachovává.

$$\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = \mathbf{p}'_1 + \mathbf{p}'_2 = \mathbf{p}$$

$$\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 = \mathbf{L}'_1 + \mathbf{L}'_2 = \mathbf{L}$$



Množství energie způsobující deformaci, tedy množství mechanické energie, které se přemění na vnitřní energii, můžeme vyjádřit následně:

$$\Delta E = \frac{(1-e^2)}{2} \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2$$

kde  $e$  je koeficient restituce.

Pro dokonale pružný ráz nabývá činitel restituce hodnoty 1, pro dokonale nepružný ráz hodnoty 0.

Rázy skutečných těles – nedokonale pružné neboli částečně pružný.

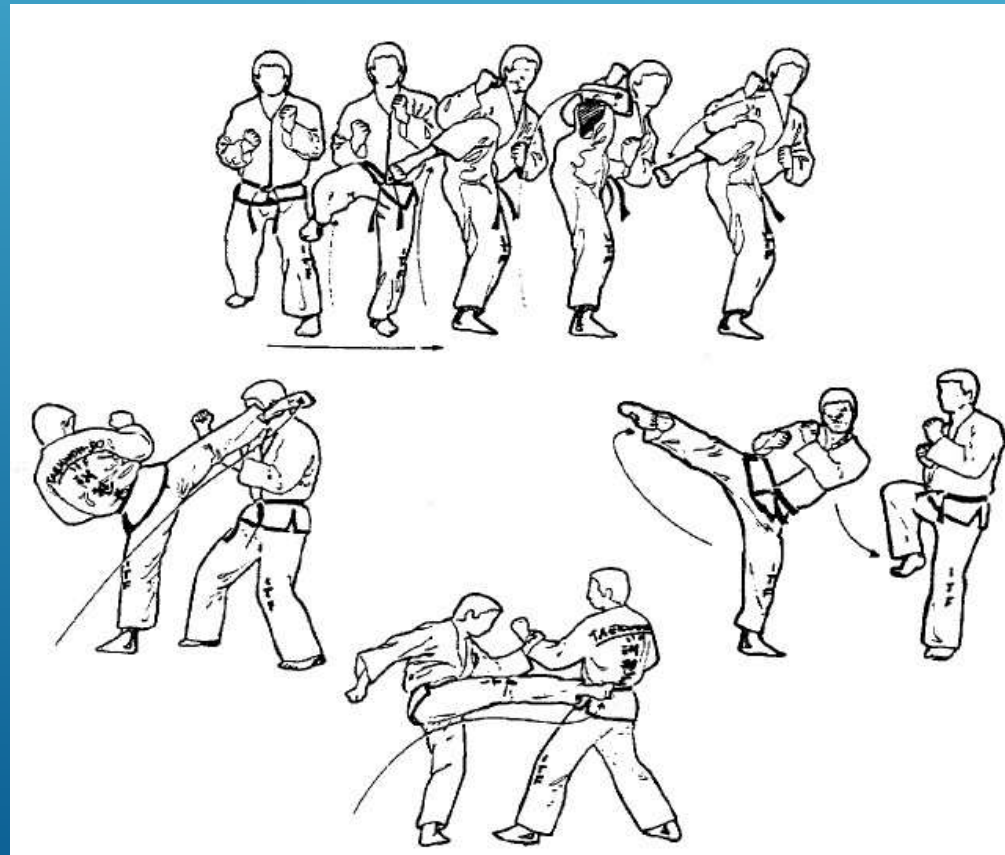


## ▶ Kinetická energie

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

- ▶ Podstatná rychlost  $v$  – vzdálenější segment může udeřit s větší kinetickou energií (využití zbraně – tyče, ...)
- ▶ Podstata švihových kopů (max.  $v$ )
- ▶ S rostoucím přenosem energie roste deformace
- ▶ Ve spojitosti s ní se objevuje důležitá veličina - výkon, která vyjadřuje množství předané energie za jednotku času.

Ve chvíli, kdy při obloukovém kopu dopadne noha na hrudník soupeře, předá mu kinetickou energii. Část kinetické energie nohy se přemění na tepelnou energii a zvuk a zbytek energie proniká do soupeřova těla. Je to právě energie, která způsobuje poškození, ne síla nebo hybnost.



- ▶ Energie je tedy také např. příčinou přeražení desek.
- ▶ Tato energie koná práci  $W$ , kterou můžeme vyjádřit jako součin síly  $F$  a dráhy  $s$ , po které síla působí. V případě přerážení desek dojde působením síly k jejich prohnutí a je-li toto prohnutí (dráha, po které síla působí) dostatečně velké, dojde k přelomení.



Mistr karate zlomil jediným úderem (hmotnost ruky je asi  $m_1 = 0,70$  kg) dřevěnou desku o hmotnosti  $0,14$  kg. Totéž provedl s betonovou dlaždicí o hmotnosti  $3,2$  kg. Tuhost  $k$  pro pružný ohyb desky má hodnotu  $4,1 \cdot 10^4$   $\text{Nm}^{-1}$  a pro dlaždicí  $2,6 \cdot 10^6$   $\text{Nm}^{-1}$ . Deska praskne v okamžiku, kdy je prohnuta o  $d = 16$  mm, u dlaždice stačí prohnutí o pouhý  $1$  mm. Jaká je pružná energie při deformaci desky a dlaždice bezprostředně před zlomením?

Aby se zlomila dlaždice, musí být úder ruky asi o  $20\%$  rychlejší než u dřevěné desky. Vlivem větší hmotnosti dlaždice se na zvýšení vnitřní energie soustavy spotřebuje větší část původní kinetické energie ruky než v případě dřevěné desky.

Důležitou věcí je fakt, že hybnost se vždy zachovává

=

všechna hybnost přenášená jedním tělem je absorbovaná tělem druhým

impuls síly

$$\Delta p = I = F\Delta t$$

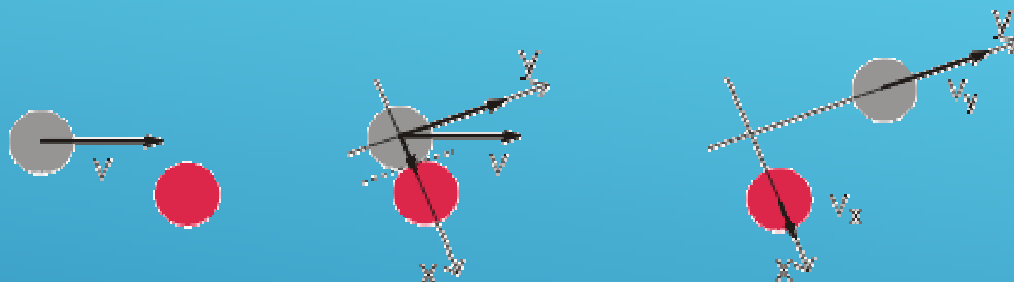
pushing kicks – přerážející neboli silové kopy (využití hmotnosti těla):

cílem je uvést soupeřovo tělo do pohybu

=

čím kratší bude doba kontaktu útočníka se soupeřem, tím větší bude změna jeho hybnosti.

# ŠIKMÝ RÁZ TĚLES



Čím víc se bude situace blížit centrálnímu rázu, tím větší bude při srážce složka rychlosti  $v_x$  vůči  $v_y$  a tím větší bude po srážce rychlost druhé koule vůči první

# ZÁKONY ZACHOVÁNÍ PŘI SRÁŽCE

Celková hybnost soustavy před srážkou je dána hybností  $p$  první koule před srážkou



Předpokládejme, že po srážce se koule rozlétnou obecně pod úhlem  $\varphi$  s hybnostmi:  $p_1 = mv_1$        $p_2 = mv_2$

vektorový součet těchto hybností musí být roven původní hybnosti první koule:  $p = mv$

Pro velikosti hybností dostáváme s využitím kosinovy věty rovnost:

$$p^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \cos \varphi$$

$$m^2v^2 = m^2v_1^2 + m^2v_2^2 + 2mv_1mv_2 \cos \varphi$$

Považujeme-li srážku za ideálně pružnou, platí také zákon zachování kinetické energie ve tvaru:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2$$

Po vykrácení hmotností  $m$  v obou vztazích a polovin ve vztahu vidíme, že řešením této soustavy (za předpokladu nenulových rychlostí  $v_1$  a  $v_2$ ) je

$$\cos \varphi = 0$$

což splňuje pravý úhel

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$