

Biomechanika

1. Definice:

Biomechanika je transdisciplinární obor, který se zabývá mechanickou strukturou, mechanickým chováním a mechanickými vlastnostmi živých organismů a jeho částí, a mechanickými interakcemi mezi nimi a vnějším okolím.

Biomechanika člověka, jakožto živého organismu

Makrobiomechanika – rozeznává orgány, orgánové struktury

Mikrobiomechanika – rozeznává jednotlivé buňky

Aplikovaná biomechanika člověka

2. Postavení biomechaniky jako vědy:

- Spadá do kinantropologických věd

- Opírá se o fyziku, anatomii, kineziologii, fyziologii, matematiku, kybernetiku, ..

3. Dělení:

Biomechanika vnitřní - práce svalů → vnitřní síly = svalové, zabývá se funkcí pohybového ústrojí

Biomechanika vnější - vnější síly → vnější časoprostorová charakteristika

4. Biomechanické analýzy:

Kinematická analýza

Dynamická analýza

5. Význam biomechaniky:

Při analýze sledujeme příčiny pohybu (svalové síly),

kvalitu pohybu (biologická připravenost) a

průběh pohybu (na velikosti a vzájemném poměru vnějších a vnitřních sil závisí mechanický průběh pohybu).

Komplexní **zkoumání struktury** pohybu tedy není možné bez biomechaniky.

Velmi úzká souvislost s **technikou** sportovního pohybu (technika x styl).

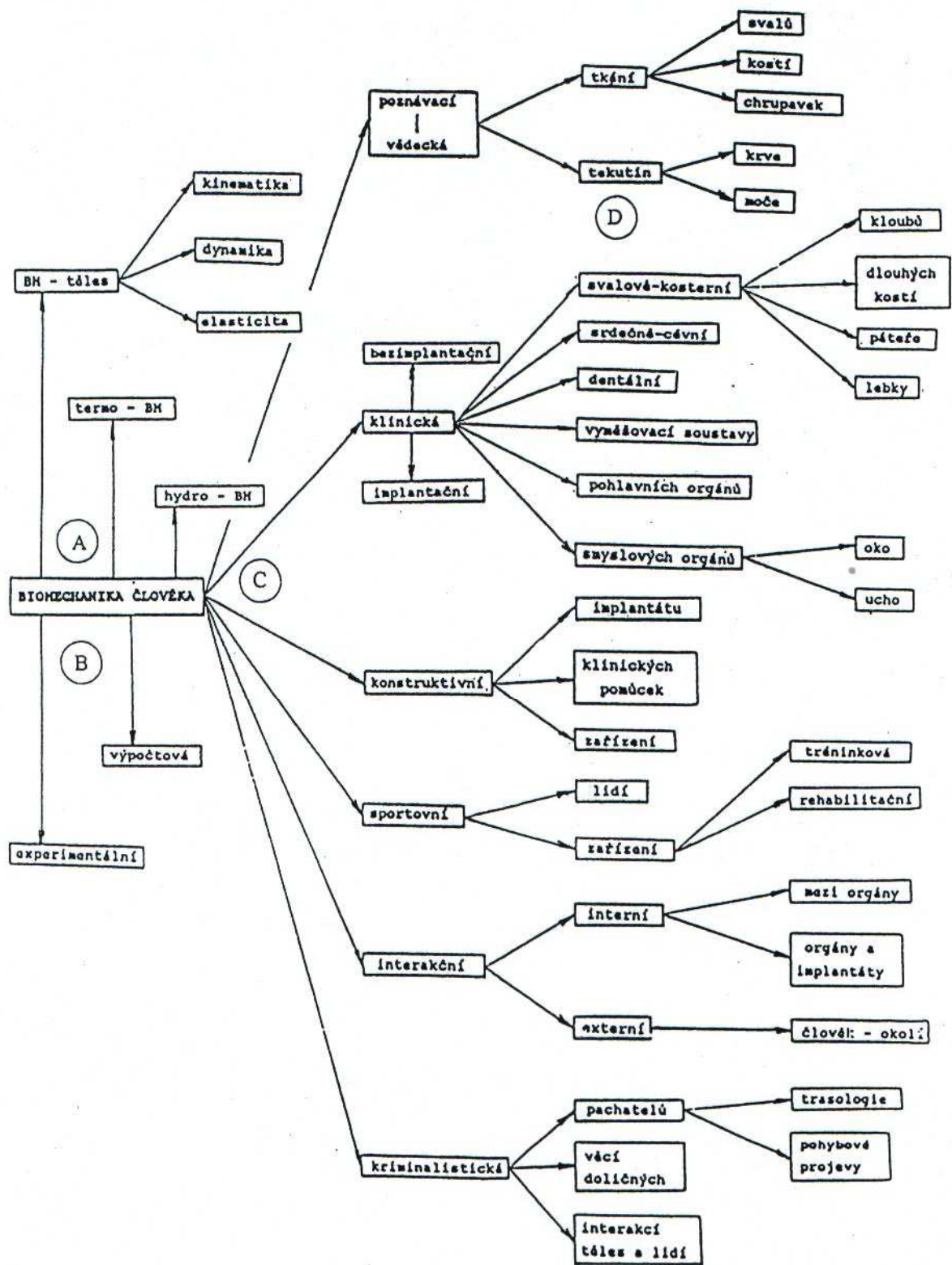
Význam:

Optimalizace techniky (ekonomičnost a efektivita)

Zdravotní aspekty

Rozpoznání chyb

Sestavení metodických postupů



Obr. 2. 2. 1. Struktura biomechaniky člověka

MECHANIKA

zkoumá mechanické vlastnosti těles, pohyb a jeho příčiny

Dělí se na:

- KINEMATIKU – poloha, rychlost, zrychlení... Popisuje pohyb tělesa, aniž by zkoumala, proč pohyb nastává.
- DYNAMIKU – hmotnost, hybnost, síla... Studuje příčiny pohybu těles a jejich změn.
- STATIKU – síla a rovnováha sil v klidu

Fyzikální veličiny:

- SKALÁRNÍ – číselná hodnota a jednotka (hmotnost, objem, délka...)
- VEKTOROVÉ – číselná hodnota, jednotka a směr (rychlost, zrychlení, síla...)

Sčítání vektorů – rovnoběžníkové pravidlo

KINEMATIKA

Pohybový stav tělesa je určen jeho rychlostí.

Hmotný bod:

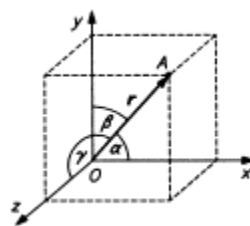
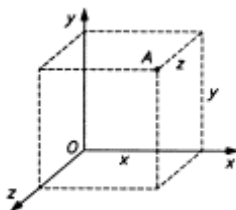
- zanedbatelné rozměry
- nahrazuje těleso
- má stejnou hmotnost
- poloha hmotného bodu - v těžišti

Vztažná soustava – soustava těles, ke kterým vztahujeme pohyb nebo klid sledovaného tělesa

Trajektorie – geometrická čára, kterou opisuje hmotný bod

Podle tvaru trajektorie rozlišujeme pohyby **přímočaré** a **křivočaré**.

Popis pomocí **souřadnic**:



Kartézská soustava souřadnic

KINEMATICKÝ POPIS POHYBU

Dráha:

- délka trajektorie, kterou hmotný bod opíše za určitou dobu
- skalární veličina
- jednotka – metr (m)

Průměrná rychlost:

- podíl dráhy s a doby t , za kterou hmotný bod tuto dráhu urazí

$$v_p = \frac{s}{t}$$

- skalární veličina
- jednotka – metr za sekundu ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Okamžitá rychlost:

- průměrná rychlost mezi dvěma nekonečně blízkými body trajektorie

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

- vektorová veličina

Zrychlení:

- **vyjadřuje změnu vektoru rychlosti – velikosti i směru**
- vektorová veličina
- jednotka – metr za sekundu na druhou ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Sekunda = čas trvání 9 192 631 770 period záření...cesia 133

Metr = délka trajektorie, kterou proběhne světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy.

Podle tvaru trajektorie: **pohyby přímočaré a křivočaré**

Podle časové změny velikosti rychlosti: **pohyby rovnoměrné a nerovnoměrné**
(zrychlené a zpomalené)

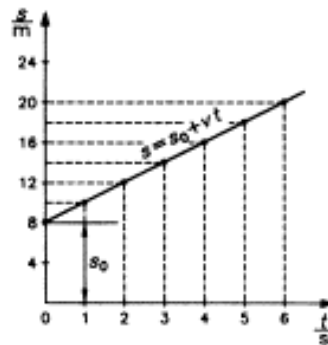
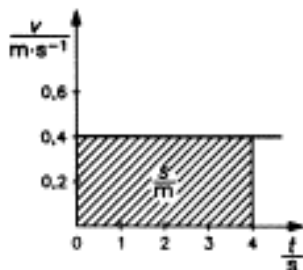
Nejjednodušší pohyby:

- rovnoměrný přímočarý pohyb
- rovnoměrně zrychlený, resp. rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb
- rovnoměrný pohyb po kružnici

ROVNOMĚRNÝ PŘÍMOČARÝ POHYB

- rychlost je konstantní
- dráha je přímo úměrná času:

$$s = vt$$



Příklad 1:

Auto jelo rovnoměrnou rychlostí $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Do cíle dorazilo za $1,5 \text{ h}$. Jak daleko jelo?

$$s = vt = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 1,5 \text{ h} = 120 \text{ km}$$

Auto ujelo 120 km .

Příklad 2:

Běžec uběhl rovnoměrným pohybem 100 m za $9,35 \text{ s}$. Jakou měl rychlost?

$$v = \frac{s}{t} = \frac{100 \text{ m}}{9,35 \text{ s}} = 10,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Atlet běžel rychlostí $10,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Příklad 3:

Sportovec běží rychlostí $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Za jak dlouho uběhne 500 m ?

$$t = \frac{s}{v} = \frac{500 \text{ m}}{8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 62,5 \text{ s}$$

Sportovec uběhne 500 m za 62,5 s.

ROVNOMĚRNĚ ZRYCHLENÝ, RESP. ROVNOMĚRNĚ ZPOMALENÝ PŘÍMOČARÝ POHYB

- zrychlení je konstantní
- okamžité zrychlení je časová změna rychlosti

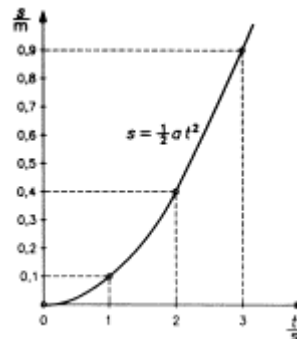
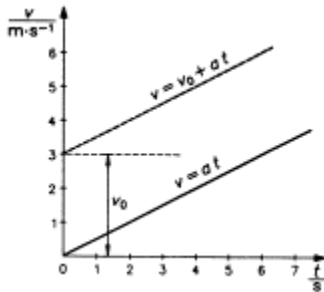
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- velikost rychlosti je přímo úměrná času:

$$v = at$$

- dráha je při nulové počáteční rychlosti přímo úměrná druhé mocnině času

$$s = \frac{1}{2} at^2$$



Příklad:

Lyžař se pohybuje na svahu se stálým zrychlením $a = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Jakou bude mít rychlost v 3,5 s?

$$v = at = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \cdot 3,5\text{s} = 17,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$17,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 0,0175 \cdot 3600 = 63 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$$

Lyžař bude mít rychlost $63 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Volný pád – zvláštní případ rovnoměrně zrychleného pohybu s nulovou počáteční rychlostí. Zrychlení volného pádu se nazývá **tíhové zrychlení g** .

- rychlost volného pádu:

$$v = gt$$

- dráha volného pádu:

$$s = \frac{1}{2} gt^2$$

ROVNOMĚRNÝ POHYB HMOTNÉHO BODU PO KRUŽNICI

- velikost rychlosti se nemění, mění se však směr rychlosti
- úhlová rychlost:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Jednotkou úhlové rychlosti je radián za sekundu ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$).

- obvodová rychlost:

$$v = r\omega$$

- Rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici je pohyb periodický. Polohový vektor r opíše plný úhel $\varphi = 2\pi$ rad vždy za stejnou dobu T . Doba T se nazývá perioda pohybu. Jednotkou periody je sekunda (s).
- frekvence f je počet oběhů hmotného bodu za sekundu:

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

Jednotkou frekvence je hertz (Hz), přičemž $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

- dostředivé zrychlení – směřuje do středu kružnice, kolmé k vektoru okamžité rychlosti

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

- úhlové zrychlení:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

DYNAMIKA HMOTNÉHO BODU (cvičence) zkoumá

- příčiny změn stavu těles.
- vzájemné působení těles (interakce):
 - slabé (elementární částice)
 - silné (jaderná)
 - elektromagnetické
 - gravitační

Interakce se projevuje:

1. při vzájemném dotyku těles
2. prostřednictvím silových polí

Hmotnost

Síla

- vektorová fyzikální veličina, která je určena velikostí, směrem a polohou svého působení
- vždy vyvolána vzájemným působením hmotných objektů
- hlavní jednotkou síly je newton (N)
- skládání sil – podle pravidel počítání s vektory

Vnitřní síly – svalová síla

Svalová síla je lidská pohybová **vlastnost** umožňující sobě i ostatním tělesům změnit pohybový stav. Tvoří ji přeměna energií ve svalových vláknech. Svalová síla je daná rovnicí (Karas, 1993):

$$F = a \left(e^{\alpha(x-\lambda)} - 1 \right),$$

kde $a = \frac{\beta}{\alpha}$ a α , β jsou konstanty:

α = směrnice tuhosti svalu

β = posun závislosti ve směru osy y = východisková tuhost

$e = 2,7$

x = okamžitá délka svalu

λ = nulová délka pružiny

Vnější síly

Newtonovy pohybové zákony

1. pohybový zákon – zákon setrvačnosti:

Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno silovým působením jiných těles svůj pohybový stav změnit.

Setrvačnost – schopnost těles zachovávat velikost a směr rychlosti. Její míra je setrvačná hmotnost m (viz. 2. pohybový zákon).

2. pohybový zákon – zákon síly

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

$$a = \frac{F}{m} \quad \Rightarrow \quad F = ma$$

m = setrvačná hmotnost

Směr zrychlení a je shodný se směrem výslednice F .

Podle druhého pohybového zákona působí na těleso o hmotnosti m v blízkosti Země tíhová síla F_G .

3. pohybový zákon – zákon akce a reakce

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

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

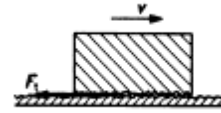
Akce a reakce se ve svých **účincích** nikdy neruší, protože každá síla působí na jiné těleso. Pohybové účinky ale mohou být různé, závisí totiž jak na velikosti síly, tak i na hmotnosti tělesa.

Třecí síla

- vzniká na stykových plochách těles
- působí na těleso proti směru jeho pohybu
- je přímo úměrná velikosti tlakové síly F_N působící na podložku a součiniteli smykového tření f :

$$F_t = f F_N$$

- velikost třecí síly nezávisí na plošném obsahu styčných ploch!!!



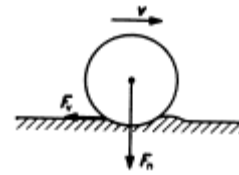
Valivý odpor

- vzniká u valivého pohybu oblého tělesa po pevné podložce
- vyvolán deformací podložky, která vzniká působením tlakové síly F_N
- velikost odporové síly:

$$F_V = \xi \frac{F_N}{R}, \text{ kde}$$

ξ (ksí) = rameno valivého odporu

R = poloměr tělesa



Síla odporová

- prostředí působí na těleso proti směru jeho relativního pohybu
- velikost odporové síly:

$$F_x = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2$$

C_x = součinitel odporu závisící na tvaru tělesa (0,03 – 1,33)

ρ = hustota tekutiny

S = obsah příčného řezu kolmého ke směru rychlosti

v = rychlost pohybu tělesa

Síla pružné deformace (F_p):

$$F_p = k \Delta l$$

k = koeficient pružnosti

Δl = prodloužení

Síla reakce opory (F_{ro}):

$$F_{ro} = F_G$$

$$F_{ro} + F_G = 0$$

Síla odstředivá a dostředivá (v inerciální vztažné soustavě):

- dostředivé zrychlení a_d tělesa pohybujícího se po kružnici je způsobeno dostředivou silou F_d , která má stejný směr jako toto dostředivé zrychlení – do středu kružnice
- pro velikost dostředivého zrychlení platí:

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

- podle 3. Newtonova zákona současně působí na těleso stejně velká odstředivá síla F_{od} opačného směru:

$$F_d = F_{od}$$

Hybnost tělesa

- určuje pohybový stav tělesa v dynamice
- vektorová veličina
- je rovna součinu hmotnosti tělesa m a jeho okamžité rychlosti v
$$p = mv$$
- jednotkou hybnosti je kilogram metr za sekundu ($\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- každá změna hybnosti tělesa je vyvolána silovým působením jiného tělesa

Impuls síly

- je roven změně hybnosti:

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

- změna hybnosti závisí na velikosti působící síly i na době jejího působení
- jednotkou impulsu síly je kilogram metr za sekundu ($\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Zákon zachování hybnosti:

Celková hybnost izolované soustavy těles se vzájemným silovým působením nemění. Hybnosti jednotlivých těles se však mohou při tom měnit.

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

izolovaná soustava: $F = 0$

$$0 = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

$$mv = m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots + m_n v_n = \textit{konst.}$$

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \textit{konst.}$$