# Studium silových a momentových účinků

Patrik Kutílek

## Úkoly měření a výpočtu

- Určete velikost izometrické síly, kterou musejí vytvářet svaly, aby vytvořily vámi měřenou sílu segmentu, kterou působí segment těla na dynamometr

- Určete velikost momentu sil svalu z měřeného momentu sil segmentu, kterým segment působí na dynamometr

## Teoretický základ řešených úloh

Významnou oblastí kvantitativního měření zdravotného stavu v rehabilitaci je měření silových resp. momentových účinků od těla a jeho částí. Určování silových a momentových účinků se realizuje přímým měřením nebo nepřímým měřením veličin, z kterých jsou uvedené účinky určovány. Přímé měření se realizuje pomocí tzv. dynamometrů (tj. siloměrů). Měřítkem velikosti síly či momentu síly je stupeň deformace určité části siloměru. Rozdělení dynamometrů lze podle těchto hledisek:

1. Podle počtu měřených složek síly jde o dynamometry jednosložkové, dvousložkové, třísložkové a pro měření točivých (krouticích) momentů, které mohou mít jednu, dvě či tři složky.

2. Podle aplikované měřicí metody respektive dle způsobu přenosu působení síly z deformačního členu na indikační. V tomto případě se jedná o rozdělení dynamometrů na mechanické, hydraulické, pneumatické, elektrické (indukční, kapacitní, odporové, využívající piezoelektrického jevu), optické atp.

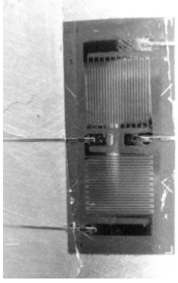
Dnes se nejčastěji se dynamometry realizují pomocí tzv. tenzometrů. Tenzometrický snímač se skládá ze dvou částí a to:

Mechanické - jedná se o kovové profily různých tvarů a provedení, které jsou v určitém místě narušeny (otvorem, nebo řezem). Narušením vytvoříme nejslabší místo snímače, které je nejvhodnější pro umístění tenzometrických známek, Obr.1.

Elektrické - jedná se o tenzometrické známky tvořící Wheatstoneův můstek, které jsou umístěné většinou uvnitř mechanické části těla snímače. Tenzometrické známky jsou jednoosé nebo víceosé, které tvoří obvykle více tenzometrů, tedy tzv. půl či celý most.

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Obr.1: Na konstrukci dynamometru nalepená tzv. tenzometrická známka tvořená dvouosým tenzometrickým křížem (půlmůstek) před nanesením ochranného povlaku, který chrání tenzometry před vlhkostí a mechanickým poškozením.

Obr.2: Využití tenzometrického snímače v dynamometru pro měření síly stisku ruky.

S tenzometrií se můžeme nejčastěji setkat v dynamometrech měření sil a vážních čidlech, například v rámci dynamometrie, během které je vytvořena specifická situace, při které sval či svalová skupina působí proti kontrolovanému, přizpůsobujícímu se odporu. Ten způsobuje, že segment těla setrvává v konstantní poloze nebo se pohybuje předem definovaným pohybem konstantní či proměnnou úhlovou nebo lineární rychlosti. Dynamometrické snímače jsou také základem siloměrných a tlakoměrných plošiny pro měření a hodnocení reakčních sil pod chodidly.

V případě řešení silových poměrů v horní končetině se jedná o prostorovou úlohu řešení využívající základů vektorové algebry. Sílu v prostoru můžeme popsat vztahem:

$$\vec{F} = F_x \cdot \vec{i} + F_y \cdot \vec{j} + F_z \cdot \vec{k}\,, \tag{1}$$

kde $\vec{F}$ je celková síla a $F_x$ je složka síly v ose *x*, $\vec{i}$ je jednotkový vektor v ose *x*, $F_y$ je složka síly v ose *y*, $\vec{j}$ je jednotkový vektor v ose *y*, $F_z$ je složka síly v ose *z*, $\vec{k}$ je jednotkový vektor v ose *z*. Točivý moment pak může být definován jako vektorový součin vektoru síly a polohového vektoru působiště síly:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = (r_y \cdot F_z - r_z \cdot F_y) \cdot \vec{i} + (r_z \cdot F_x - r_x \cdot F_z) \cdot \vec{j} + (r_x \cdot F_y - r_y \cdot F_x) \cdot \vec{k} \tag{2}$$

Pro obecný systém v prostoru můžeme definovat podmínky statické rovnováhy, tj. podmínky rovnováhy sil a momentů:

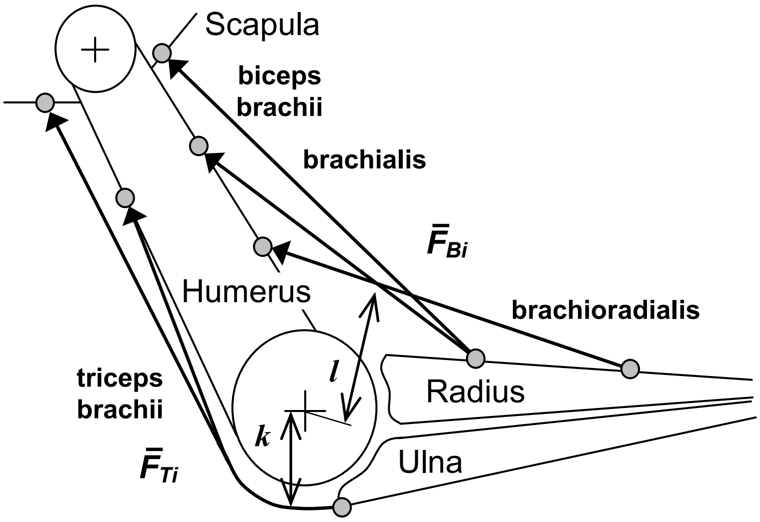
$$\sum F_x = 0 , \sum F_y = 0 , \sum F_z = 0 , \tag{3}$$

$$\sum M_x = 0 , \sum M_y = 0 , \sum M_z = 0 . \tag{4}$$

Pokud úlohu zjednodušíme na rovinnou úlohu, pak budou rovnovážné podmínky definovány pouze vztahy:

$$\sum F_x = 0 , \ \sum F_y = 0 , \tag{5}$$

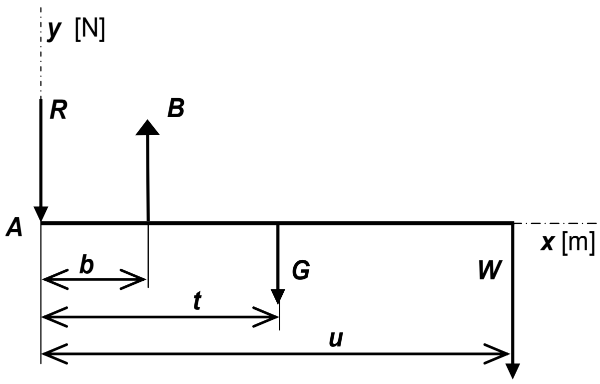
$$\sum M_z = 0 . \tag{6}$$




Obr.3: Schéma silových poměrů v horní končetině.

***Výpočet sil svalů horní končetiny***

Síly generované svalovými skupinami horní končetiny mohou být reprezentovány vektory sil ve zjednodušeném modelu horní končetiny resp. předloktí.




EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obr.2: Silové poměry v rámci předloktí.

Nechť $\vec{R}$ je reakční síla v loketním kloubu, $\vec{B}$ je síla vytvářena svaly $\vec{B} = \sum \vec{F}_{Bi}$ a pro zjednodušení úlohy bude její nositelka rovnoběžná s osou *y*. Sílu $\vec{B}$ můžeme odhadnout, neboť 1cm$^2$ průřezu v relaxovaném stavu může vytvořit přibližně 50N, m. biceps brachii může zabírat cca 40 % plochy řezu paže. Hlavní šlacha m. biceps brachii se upíná na drsnatinu radia (tuberositas radii). Ta se nachází přibližně v 1/9 délky radia distálně od loketního kloubu. Síla $\vec{G}$ je gravitační síla od hmotnosti předloktí, určená z antropometrie, a $\vec{W}$ je hmotnost zátěže držené v ruce. Vzhledem k tomu, že žádná ze sil nemá složku působící ve směru osy *x* a *z*, můžeme psát rovnici rovnováhy sil pro staticky stabilní polohu předloktí:

$$\sum F_y = 0 \text{, tj. } B_y - W_y - G_y - R_y = 0 \qquad (7)$$

Pro momentovou podmínku rovnováhy je nutné postupně určit vektorový součin polohových vektorů a vektorů sil. Pro sílu v bicepsu můžeme napsat následující vektor síly:

$$\vec{B} : B_x \cdot \vec{i} + B_y \cdot \vec{j} + B_z \cdot \vec{k} = 0 \cdot \vec{i} + B_y \cdot \vec{j} + 0 \cdot \vec{k} \text{ ,} \qquad (8)$$

a této síle odpovídající polohový vektor:

$$\vec{b} : b_x \cdot \vec{i} + b_y \cdot \vec{j} + b_z \cdot \vec{k} = b_x \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j} + 0 \cdot \vec{k} \text{ .} \qquad (9)$$

Vektorový součin pro výpočet momentu je tedy:

$$\vec{b} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ b_x & 0 & 0 \\ 0 & B_y & 0 \end{vmatrix} = (0 \cdot 0 - 0 \cdot B_y) \cdot \vec{i} + (0 \cdot 0 - b_x \cdot 0) \cdot \vec{j} + (b_x \cdot B_y - 0 \cdot 0) \cdot \vec{k} = 0 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j} + b_x \cdot B_y \cdot \vec{k} \qquad (10)$$

Obdobným způsobem se řeší vektorové součiny pro stanovení momentů od ostatních sil. Výše uvedený výpočet nám ukazuje obecné řešení prostorové úlohy, jenž je převedena na úlohu rovinnou.

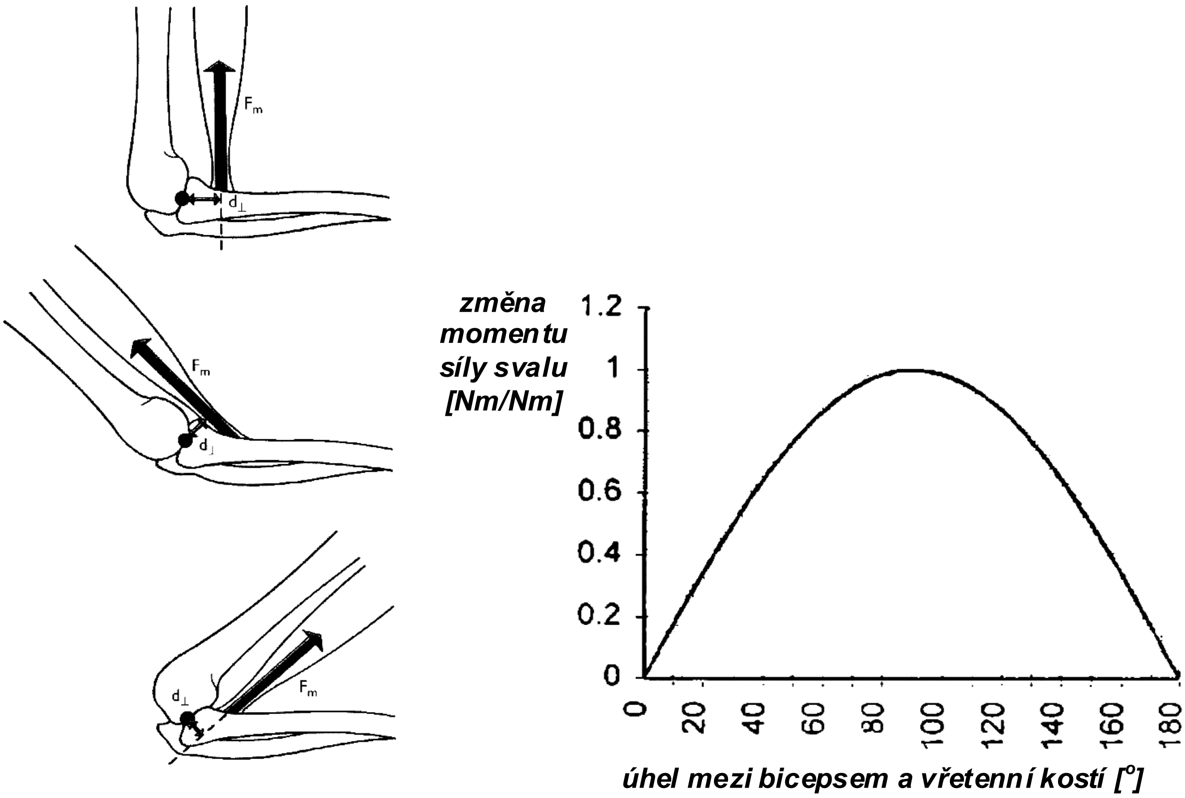
Po stanovení neznámých momentů sil můžeme definovat momentovou podmínku rovnováhy:

$$\sum \vec{M}_z = 0, \quad \text{tj.} \quad b_x \cdot B_y - u_x \cdot W_y - t_x \cdot G_y - 0 \cdot R_y = 0 \text{ .} \qquad (11)$$

Z výše uvedených rovnic rovnováhy sil a momentu můžeme určit dvě neznámé - $\vec{R}$ (reakční sílu v kloubu) a $\vec{B}$ (výslednou sílu, kterou působí svaly), tj.:

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

$$B_y = \frac{u_x \cdot W_y + t_x \cdot G_y}{b_x}, \qquad R_y = B_y - W_y - G_y. \tag{12}$$



Obr.4: Změna momentu síly od flexorů loketního kloubu.


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY