



České vysoké učení technické  
v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství



Úloha KA03/č. 7:

## Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

### Metodický pokyn pro vyučující se vzorovým protokolem

Ing. Patrik Kutílek, Ph.D., Ing. Adam Žižka  
(kutilek@fbmi.cvut.cz, zizka@fbmi.cvut.cz)

#### Poděkování:

Tato experimentální úloha vznikla za podpory Evropského sociálního fondu v rámci realizace projektu „Modernizace výukových postupů a zvýšení praktických dovedností a návyků studentů oboru Biomedicínský technik“, CZ.1.07/2.2.00/15.0415.

Období realizace projektu 11. 10. 2010 – 28. 2. 2013.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

## Zadání úlohy

- 1) Určete počet DoF myoelektrické robotické paže a počet DoF paže probanda.
- 2) Určete za zjednodušujících předpokladů velikost sil svalů (momentů), má-li se paže udržet v upažení.

Porovnejte počet DoF u robotické paže a paže probanda, pto celou paži i pro jednotlivé klouby. dále spočítejte momenty v jednotlivých kloubech při upažení paže a opět porovnejte paži probanda s robotickou paží. obě paže jsou zatíženy pouze vlastní vahou.

Měření a výsledky uveďte do protokolu.

## Pomůcky

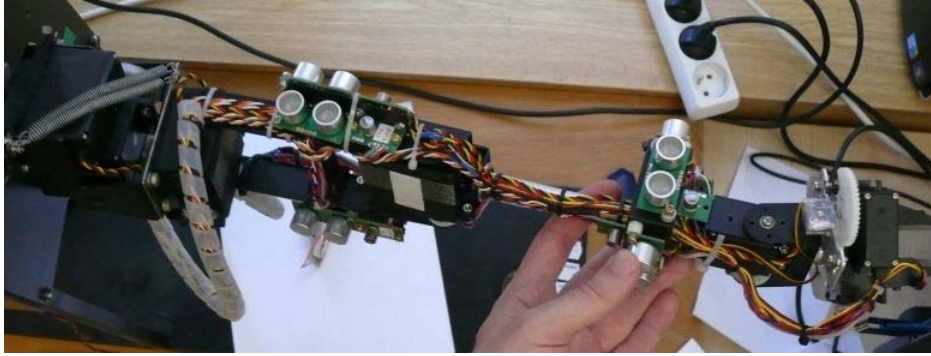
Robotická paže.

Délkové měřidlo.

Proband.

## Postup vypracování úlohy

Příprava robotické paže k měření, pohled na robotickou paži je na následujících obrázcích:

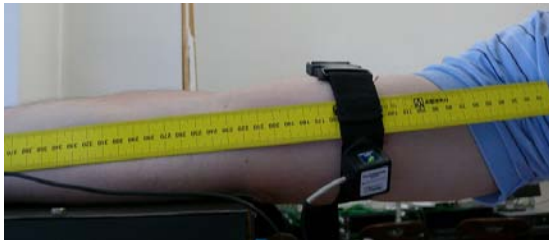
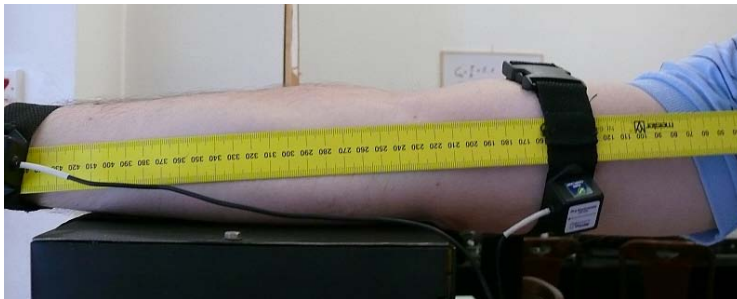


Změření délky paže a jejich jednotlivých segmentů u probanda (studenta) a na robotické paži.

Délky segmentů paže probanda:

nadloktí = 230 mm, předloktí = 230 mm a zápěstí = 100 mm.

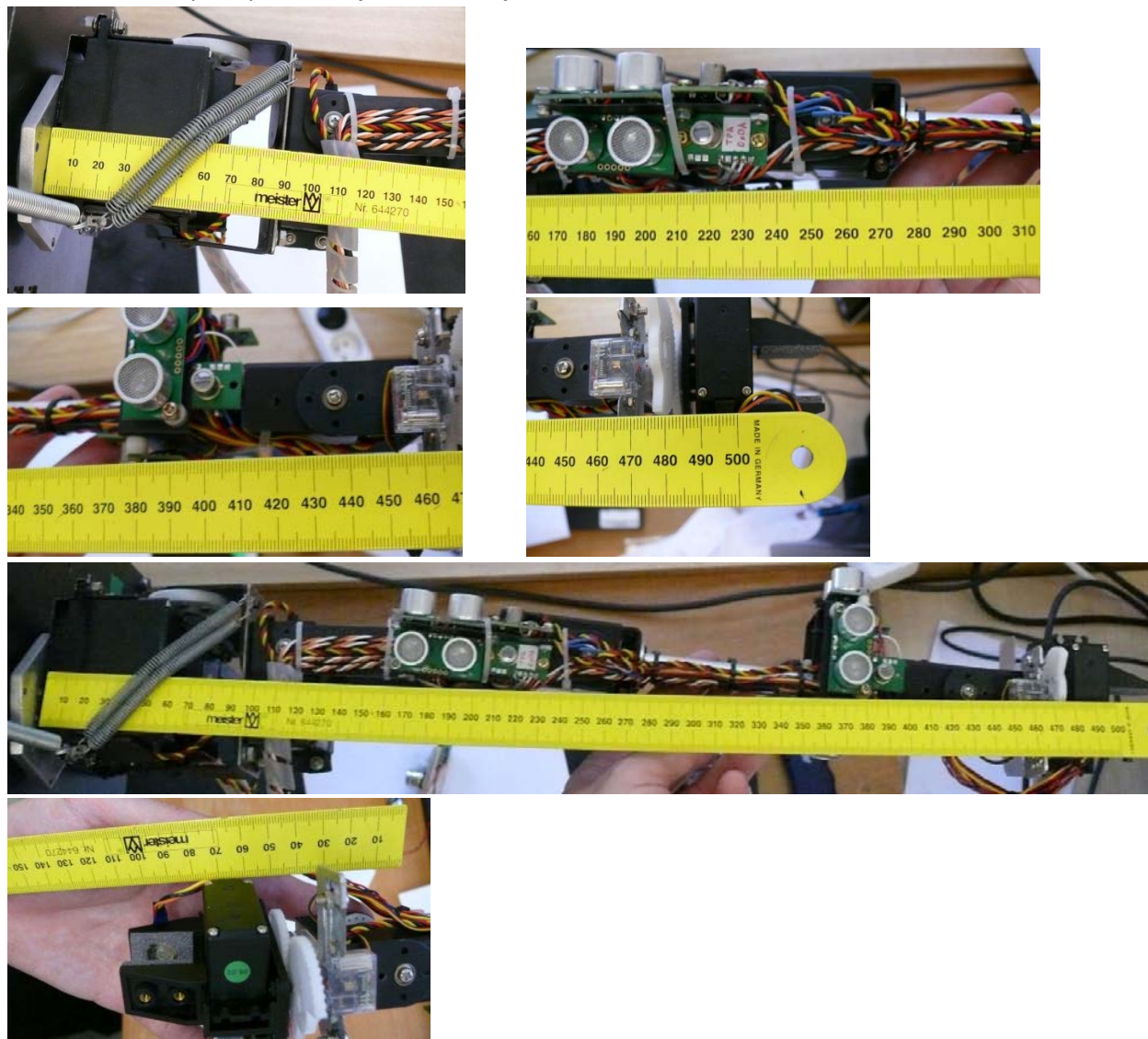
Změření paže probanda je na následujících obrázcích:



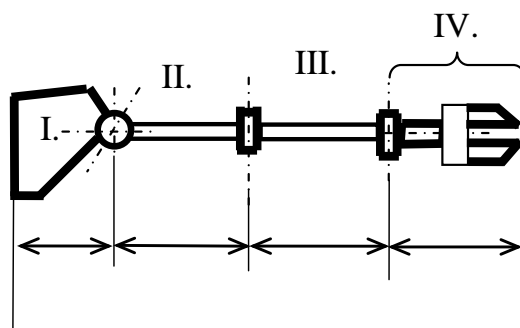
Délky segmentů robotické paže :

nadloktí = 230 mm, předloktí = 230 mm a zápěstí = 100 mm.

Změření paže probanda je na následujících obrázcích:



Určení parametrů robotické paže a výpočet momentů v paži potřebných pro udržení polohy paže v upažení:



Obdobně jako u probanda se změří délky jednotlivých segmentů a zjistí jejich hmotnost a těžiště.

Určení parametrů paže probanda a výpočet momentů v paži potřebných pro udržení polohy paže v upažení:

Hmotnosti segmentů paže probanda se spočítají dle [1 s.67] kap. 3.6 vzorce (12), koeficienty z [1 s.68] kap. 3.6 tab.1 , vzdálenost těžiště jednotlivých segmentů [1 s.67] kap. 3.6 a těžiště paže dle [1 s.67] kap. 3.6 vzorce (14). Z toho se vypočítají momenty v jednotlivých kloubech při upažení. DoF jednotlivých kloubů paže [1 s.117] kap. 4.3 a možnosti manipulace celé paže dle [1 s.116] kap. 4.3 vzorce (3), možnosti úchopu nejsou započítány.

Vypočtení momentů v odpovídajících kloubech robotické paže při upažení, a stanovení DoF jednotlivých kloubů paže [1 s.117] kap. 4.3 a možnosti manipulace celé paže dle [1 s.116] kap. 4.3 vzorce (3). Možnosti úchopu nejsou započítány a rozklad odpovídajících kloubů na jednotlivé reálné vazby je pro výpočet momentů zjednodušen pouze na odpovídající (rotační) spojení.

Vypracování protokolu.

### **Použitá lit.**

[1] = Kutílek, P., Žížka, A.: Vybrané kapitoly z experimentální biomechaniky. ČVUT v Praze, 2012[]

# BIOMECHANIKA

Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

## Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže


# BIOMECHANIKA

## Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

### Zadání

- 1) Určete počet DoF myoelektrické robotické paže a počet DoF paže probanda.
- 2) Určete za zjednodušujících předpokladů velikost sil svalů (momentů), má-li se paže udržet v upažení.

Porovnejte počet DoF u robotické paže a paže probanda, pro celou paži i pro jednotlivé klouby. dále spočítejte momenty v jednotlivých kloubech při upažení paže a opět porovnejte paži probanda s robotickou paží. obě paže jsou zatíženy pouze vlastní vahou.

Měření a výsledky uveďte do protokolu.

### Pomůcky

Robotická paže.

Délkové měřidlo.

Proband.

# BIOMECHANIKA

## Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

### Postup měření

Změření délky jednotlivých segmentů paže jak na probandovi, tak na robotické paži a zjištění hmotností jednotlivých segmentů robotické paže.

Výpočet hmotnosti jednotlivých segmentů probandovi paže a zjištění polohy těžiště jednotlivých segmentů (a jejich vhodných kombinací) u probanda i na robotické paži.

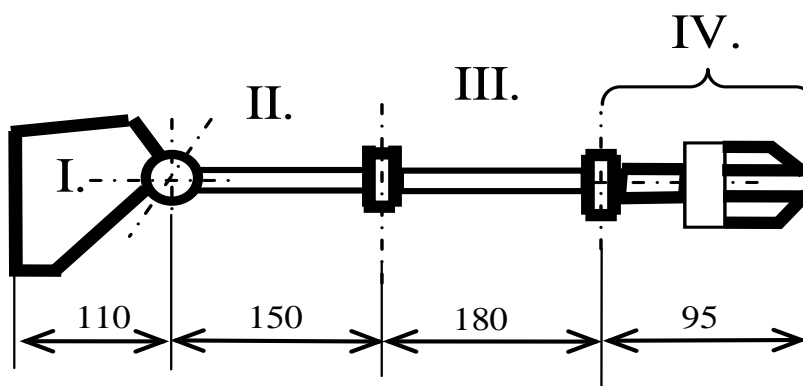
Určení stupňů volnosti pro jednotlivé klouby i celou paži probanda a robotickou paži.

Výpočet momentů v kloubech paže probana a v odpovídajících rotačních spojeních robotické paže pro případ upažení, kdy je paže zatížena jen vlastní hmotností.

Vytvoření protokolu.

### Naměřená data

Robotická paže:



Hmotnosti jednotlivých segmentů:

I. 160 g

II. 60 g

III. 120 g

IV. 70 g

Těžiště jednotlivých segmentů robotické paže jsou v polovině jejich délky.

První segment není započítán – celý odpovídá ramenímu kloubu (a jeho připojení k rámu).

Paže probanda

Délky segmentů paže probanda:

nadloktí = 230 mm, předloktí = 230 mm a zápěstí = 100 mm.



# BIOMECHANIKA

## Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

### Výsledky

Proband:

Proband								
parametry segmentů těla								
ruka			předloktí			nadloktí		
hmotnost	délka	poloha těžiště od prox. konce	hmotnost	délka	poloha těžiště od prox. konce	hmotnost	délka	poloha těžiště od prox. konce
$m_{ruka}$	$l_{ruka}$	$d_{ruka}$	$m_{předloktí}$	$l_{předloktí}$	$d_{předloktí}$	$m_{nadloktí}$	$l_{nadloktí}$	$d_{nadloktí}$
kg	mm	mm	kg	mm	mm	kg	mm	mm
0.4775	100	39	1.2725	230	98.9	2.172	230	101.2

Paže probanda						
rameno		loket		zápěstí		paže celk.
DoF	moment $M_{ram}$	DoF	moment $M_{lok}$	DoF	moment $M_{zap}$	DoF
-	Nm	-	Nm	-	Nm	-
3	8.766042	2	2.542978	1	0.186225	6

Robotická paže:

Robotická paže								
parametry segmentů								
IV. (ruka)			III. (předloktí)			II. (nadloktí)		
hmotnost	délka	poloha těžiště od prox. konce	hmotnost	délka	poloha těžiště od prox. konce	hmotnost	délka	poloha těžiště od prox. konce
$m_{IV}$	$l_{IV}$	$d_{IV}$	$m_{III}$	$l_{III}$	$d_{III}$	$m_{II}$	$l_{II}$	$d_{II}$
kg	mm	mm	kg	mm	mm	kg	mm	mm
0.07	95	47.5	0.12	180	90	0.06	150	75

Robotická paže						
"rameno"		"loket"		"zápěstí"		paže celk.
DoF	moment $M_{ram}$	DoF	moment $M_{lok}$	DoF	moment $M_{zap}$	DoF
-	Nm	-	Nm	-	Nm	-
3	0.59725	1	0.26725	2	0.03325	6

# BIOMECHANIKA

## Analýza pohybu a stupňů volnosti robotické paže

### Závěr

Pro obě paže, jak paži probanda, tak robotickou paži, platí, že mají 6 DoF. V obou případech nebyl zahrnut úchop a rotace kolem osy (následujícího) segmentu (1 DoF) se přesunula z lokte u probanda (pronace / supinace) na zápěstí u robotické paže.

Délky segmentů se výrazně liší (s výjimkou ruky) – u robotické paže jsou segmenty výrazně kratší (a kratší je i celá paže) než u probanda. Rozdíl v délce segmentu je u nadloktí ještě zvládnutelně nezapočítáním délky celého systému (110 mm), který nahrazuje ramenní kloub (technicky není nejjednodušší dosáhnout řízených rotací ve všech 3 osách v jedné vazbě).

Hmotnost segmentů robotické paže (tedy i celková hmotnost této paže) je opět výrazně menší (až více než 10x) než u paže probanda.

Je tedy zřejmé, že momenty v kloubních spojeních, resp. vazbách, jsou u paže probanda výrazně větší než u robotické paže, a to cca 10x.

### Použitá lit.

[1] = Kutílek, P., Žižka, A.: Vybrané kapitoly z experimentální biomechaniky. ČVUT v Praze, 2012