

Závislost pracovní polohy ramenního kloubu na svalovém zatížení předloktí – popis experimentu

Ilona Kačerová ¹, Jana Kleinová ¹, Marek Bureš ¹

¹ Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika

ikacerov@kp.v.zcu.cz

kleinova@kp.v.zcu.cz

buressm@kp.v.zcu.cz

Anotace: Článek se zabývá popisem laboratorního experimentu, který se zabývá závislostí pracovní polohy ramenního kloubu na svalovém zatížení předloktí. Daný experiment je součástí výzkumu, který je zaměřen na návrh modelu pro predikci zatížení horních končetin u výrobních pracovníků.

1 Úvod

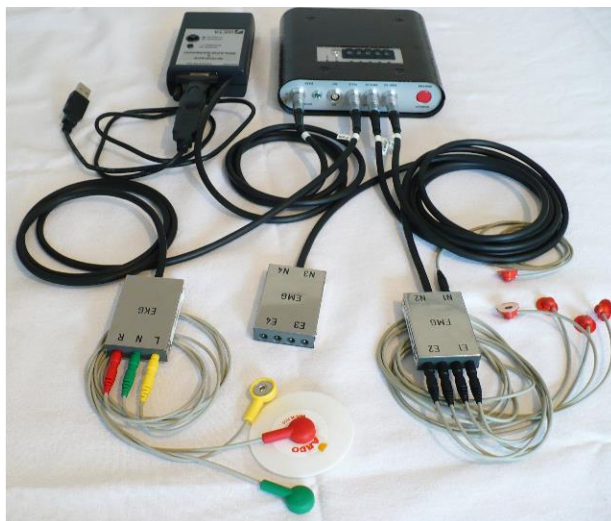
V posledních letech je dán velký důraz na optimalizaci pracovního prostředí. Vývoj vědy a techniky přináší nové postupy a možnosti, jak usnadnit práci člověku, který je i přes vývoj robotizace nedílnou součástí výroby. V současné době se průmyslové podniky zaměřují především na uspořádání pracovišť a eliminaci možných rizik, které následně vedou např. k úrazům, muskuloskeletálním poruchám či v nejhorším případě k nemocem z povolání. Právě nevhodné pracovní podmínky a s nimi související neefektivní výroba, může pro řadu průmyslových podniků znamenat nepříjemnosti. Právě to je jeden důvod, proč by se podniky měly ergonomií zabývat, a to nejenom v důsledku již vzniklých zdravotních komplikací jejich zaměstnanců, ale již v předvýrobní fázi pracoviště. V průmyslových podnicích v České republice roste význam ergonomie, důraz je kladen především na repetitivnost pohybů a pracovní polohy výrobních dělníků. Je však třeba zvážit i další parametry, které se na pracovištích standardně objevují a pracovníky negativně ovlivňují – jedná se především o lokální svalové zatížení horních končetin, které může mít vliv na vznik například syndromu karpálního tunelu, který je v České republice již po několik let nejčastější nemocí z povolání. V budoucnu by jim tuto problematiku mohl usnadnit model pro predikci zatížení horních končetin u výrobních pracovníků. Vzhledem k rozsáhlosti výzkumu bylo nejprve nutné realizovat experimentální měření v laboratorních podmínkách, kde probandi prováděli kontrolované pohyby s různými závažími. Článek se zabývá popisem daného experimentu, včetně popisu měřicí techniky, která je k této činnosti využívána.

2 Měřicí technika

V současné době je v České republice jediná legislativou uznaná oficiální metoda pro měření lokální svalové zátěže. Jedná se o metodu integrované elektromyografie. Měření integrovanou elektromyografií se provádí buď v laboratorních podmínkách – pro zjištění onemocnění svalů, případně při měření a hodnocení lokální svalové zátěže pracoviště a jeho následné kategorizace. S ohledem na legislativu ČR byl pro měření použitý přístroj EMG Holter.

Integrovaná elektromyografie je vyšetření povrchovými elektrodami přiloženými na kůži a využívá metody měření rychlosti vedení nervem, kdy kromě rychlosti vedení udává přístroj také amplitudu a tvar křivky. Lze měřit jak vlákna senzitivní, tak motorická. Integrovaná elektromyografie je vyšetřovací metodou, díky které můžeme hodnotit stav nervového i pohybového systému člověka. Jejím cílem je zaznamenat elektrickou aktivitu zvoleného svalu, která je vyvolána změnou elektrického potenciálu, který vznikne díky aktivaci svalu. Aktivita je zaznamenávána z nervů nebo svalů. [1]

V České republice je využíván přístroj EMG Holter od společnosti GETA Centrum. Balení obsahuje měřicí přístroj (EMG Holter), interface pro propojení s počítačem, elektrody a EMG moduly. Elektrody jsou na jedno použití a po měření se z probanda strhávají. [2]



Obrázek 1 – EMG Holter

3 Popis měření

Měření je standardizováno standardním operačním postupem pro měření lokální svalové zátěže. Měření probíhá následovně:

- **Příprava na měření** - po vyndání přístroje z přepravního kufříku je do něj vložena baterie – jediná možnost, jak přístroj zapnout a opět vypnout. EMG svody jsou propojeny s EMG elektrodami, na které se nalepí lepící kroužky (je vhodnější nalepit lepící kroužky na elektrody v době, kdy ještě nejsou přilepeny na měřeném probandovi, připojování

elektrod k lepícím kroužkům není příjemné a silné stlačení svalu před začátkem měření může ovlivnit jeho výsledky). Balení obsahuje elektrody červené, žluté a zelené barvy.

- **Vyhledání místa pro přilepení elektrod + nalepení elektrod** - elektrody jsou nalepeny na extensor horní končetiny (musculus extensor digitorum) a to při pronaci předloktí a na ohybač zápěstí – neboli musculus flexor carpi radialis. V případě špatného umístění elektrod je měřen a hodnocen jiný ze svalů předloktí – flexor digitorum superficialis, nebo flexor pollicis longus, v případě extensorů se může jednat o musculus extensor pollicis longus, či extensor carpi radialis brevis. [2] Zemnicí elektroda je na obou horních končetinách nalepena v oblasti lokte – mimo osvalení. Moduly integrované elektromyografie jsou přiloženy na předloktí nebo paži tak, aby nepřekáželi pracovní činnosti. Kabely jsou z důvodu snížení šumu systematicky schumlány a zafixovány pružnou bandáží na pracovníkovu horní končetinu. [3]
- **Propojení EMG Holteru s PC** - pokud jsou elektrody přilepeny na probanda, jsou pomocí kabelů připojeny k přístroji.
- **Nastavení měření** – EMG signály jsou zpracovávány ve speciálním softwaru EMG Analyzer. Po prvním zapojení k PC jsou nastaveny základní údaje o měřeném probandovi. [4]
- **Zjištění Fmax (maximální volní síly probanda)** - Na počátku měření je nutné u probanda zjistit Fmax, tzv. maximální volnou sílu. Tato síla je referenční silou pro porovnávání sil naměřených při experimentu. Fmax je síla, kterou je schopen člověk dosáhnout při maximálním volním úsilí vynakládaném konkrétními svalovými skupinami v definované pracovní poloze. [4] Síla je měřena digitálním dynamometrem. Pro účely měření experimentů disertační práce byl využit Dynamometr JAMAR plus. Křivky maximální síly by se v počítači měly pohybovat do 2/3 osy. Citlivost elektrod se dá nastavit pomocí zesilovacích kanálů. [3]
- **Začátek a konec měření** – Samotné měření je spuštěno a vypnuto tlačítkem START/STOP. Zároveň jsou během měření zaznamenávány důležité milníky pomocí tlačítka marker.
- **Vyhodnocení** – vyhodnocení experimentů probíhá v již zmíněném softwaru EMG Analyzer. [2]

4 Popis experimentu

Výzkum byl zaměřen na dynamickou práci horních končetin, především ramenního kloubu a to v 6 polohách. Veškeré experimenty byly provedeny na obou horních končetinách. V rámci experimentu měli probandi v ruce postupně různé typy závaží (0 kg, 2 kg, 4kg, 6 kg, 8kg, 10 kg). Vzhledem k fyzické namáhavosti experimentu bylo závaží pro ženy redukováno pouze do váhy 6 kg. Níže je výčet všech měřených poloh ramenního kloubu:

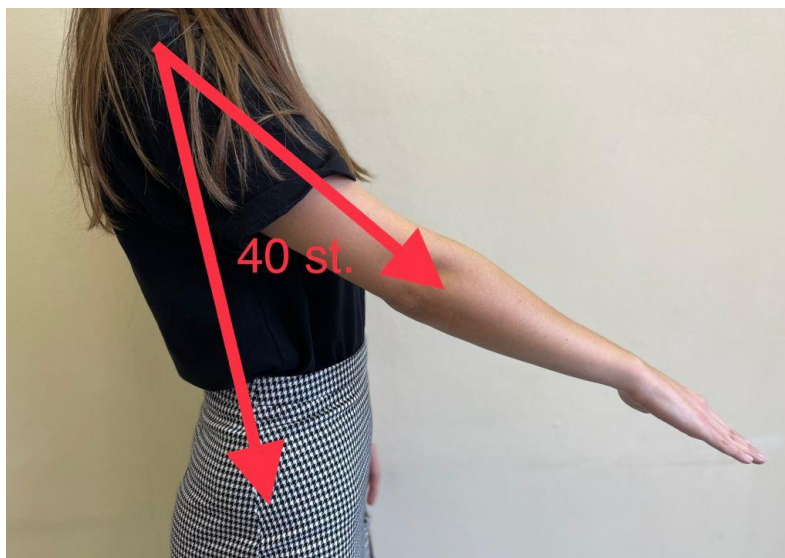
- flexe/extenze ramenního kloubu 0°- 40°,
- flexe/extenze ramenního kloubu 0°- 60°,
- flexe/extenze ramenního kloubu 0°- 80°,
- abdukce/addukce ramenního kloubu 0°- 40°,
- abdukce/addukce ramenního kloubu 0°- 60°,
- abdukce/addukce ramenního kloubu 0°- 80°.

Před samotným nalepením elektrod musela být otestována vhodnost probanda. V rámci experimentu nesměl být měřen člověk, který již má onemocnění horních končetin (zánět šlach, syndrom karpálního tunelu, četrné zlomeniny apod.). I to je jeden z důvodů, proč byl nejprve proband otestován změřením síly stisku. Jeho výsledek byl poté porovnán s výzkumem od J. C. Firrell and G. M. Crain [3]. Ke zjištění maximální síly (F_{max}) byl využit digitální siloměr. Při měření musel splňovat proband určité pokyny jako je vzpřímený postoj, dlaňový úchop siloměru, paže v lokti ohnuta d 90°, síla držení stisku po dobu 2-3s.

Po nalepení elektrod a nastavení měřidla proband postupně manipuloval závažím do určených úhlů končetiny. Probandova končetina byla nastavena pro každý měřený pohyb do neutrální polohy (0°v lokti – ruka podél těla).

a) Flexe/extenze ramenního kloubu 0°- 40°

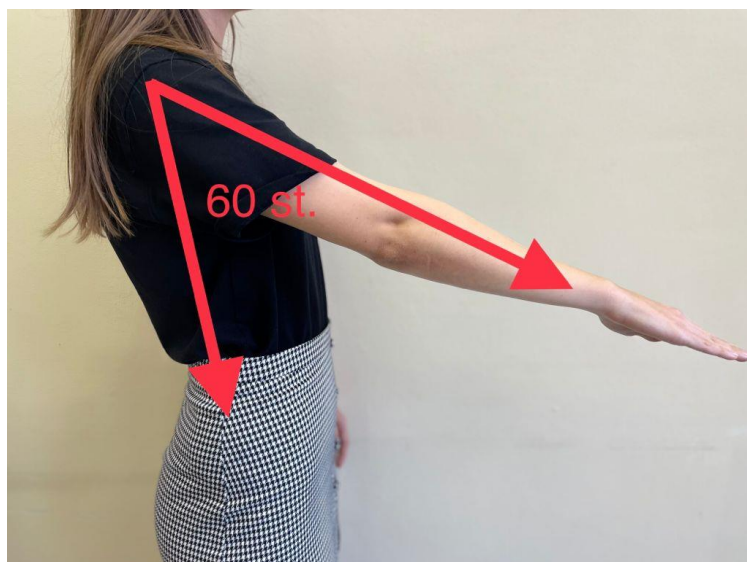
Probandova horní končetina je v neutrální poloze (0° - ruka podél těla), jeho rameno je poté vyrotováno do flexe 40°, proband postupně drží v horní končetině závaží (0 kg, 2 kg, 4 kg, 6 kg, 8 kg, 10 kg – v případě žen pouze do 6 kg). Účastníci experimentu vždy začínají pravou horní končetinou, po provedení pohybu se všemi závažími je závaží předáno do končetiny levé. Závaží je drženo nadhmatem.



Obrázek 2 – Poloha flexe ramene 0 - 40°

b) Flexe/extense ramenního kloubu 0° - 60°

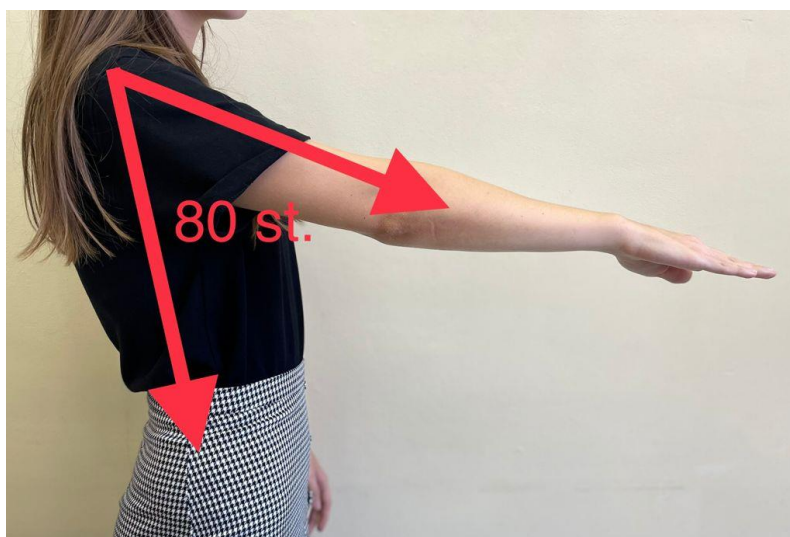
Probandova horní končetina je v neutrální poloze (0° - ruka podél těla), jeho rameno je poté vyrotováno do flexe 60°, proband postupně drží v horní končetině závaží (0 kg, 2 kg, 4 kg, 6 kg, 8 kg, 10 kg – v případě žen pouze do 6 kg). Účastníci experimentu vždy začínají pravou horní končetinou, po provedení pohybu se všemi závažími je závaží předáno do končetiny levé. Závaží je drženo nadhmatem.



Obrázek 3 – Poloha flexe ramene 0 - 60°

c) Flexe/extense ramenního kloubu 0° - 80°

Probandova horní končetina je v neutrální poloze (0° - ruka podél těla), jeho rameno je poté vyrotováno do flexe 80°, proband postupně drží v horní končetině závaží (0 kg, 2 kg, 4 kg, 6 kg, 8 kg, 10 kg – v případě žen pouze do 6 kg). Účastníci experimentu vždy začínají pravou horní končetinou, po provedení pohybu se všemi závažími je závaží předáno do končetiny levé. Závaží je drženo nadhmatem.



Obrázek 4 – Poloha flexe ramene 0 - 80°

Obdobným způsobem probíhá experiment v poloze abdukce ramenního kloubu.

Následně bude provedeno statistické zpracování dat, konkrétně se bude jednat o boxploty, regresní analýzy a spojnicové grafy. V rámci hodnocení se posuzuje využití průměrné svalové síly při manipulaci s určitým závažím do určité pracovní polohy horní končetiny.

5 Závěr

Článek je věnován popisu laboratorního experimentu, zaměřujícího se na hodnocení lokálního svalového zatížení horních končetin. V rámci hodnocení se posuzuje využití průměrné svalové síly při manipulaci s určitým závažím do určité pracovní polohy horní končetiny.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity v Plzni číslo SGS-2021-028 s názvem Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému.

Použitá literatura

- [1] KADAŇKA, Zdeněk., BEDNAŘÍK, Josef., VOHÁŇKA, Stanislav. *Praktická elektromyografie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví BRNO, 1994. ISBN 80-7013-181-0.
- [2] DOUBRAVA, J. Uživatelský Manuál – popis ovládání program. Geta Centrum s.r.o, 2015.
- [3] DUQUE, J., MASSET, D., MALCHAIRE, J. Evaluation of handgrip force from EMG measurements. *Applied ergonomics*. 1995, 26(1), 61–66. doi: 10.1016/0003-6870(94)00003-h.
- [4] EMG Holter | Fyziologie práce. Úvodní stránka – Uživatelský manuál | Fyziologie práce [online]. Copyright © 2018 [cit. 14.7.2019]. Dostupné z: <http://fyziologie.getacentrum.cz/ke-stazeni/>