ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program:	N2301	Strojní inženýrství
Studijní obor:	2301T007	Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití biomechanických systémů pro hodnocení fyzické zátěže

Autor: **Bc. Karolína Pačisková**

Vedoucí práce: **Ing. Marek Bureš, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.
Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: ……. **. . . . . .**
podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Marku Burešovi, Ph.D., za odborné vedení, věcné připomínky, cenné rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Rovněž bych chtěla poděkovat Ing. Iloně Kačerové za pomoc při získávání dat pro praktickou část práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Pačisková	**Jméno** Karolína	
STUDINÍ OBOR	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Ing. Bureš, Ph.D.	**Jméno** Marek	
PRACOVIŠTĚ	ZČU- FST- KPV		
DRUH PRÁCE	**DIPLOMOVÁ**	~~**BAKALÁŘSKÁ**~~	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Využití biomechanických systémů pro hodnocení fyzické zátěže		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KPV		**ROK ODEVZD.**	2019

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	75		**TEXTOVÁ ČÁST**	66		**GRAFICKÁ ČÁST**	9

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Diplomová práce se zabývá porovnáním dvou přístrojů k měření elektrického potenciálu ve svalech při fyzické zátěži v různých polohách. První část je věnována teorii a legislativě potřebné k porozumění a vyhodnocení měření. V praktické části je představena metodika, provedeno samotné měření, porovnání výsledků a další zpracování získaných dat.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	ergonomie, fyzická zátěž, elektromyografie, síla stisku, elektrody, Fmax, lokální svalová zátěž, horní končetiny, předloktí, elektrický potenciál, biomechanika, porovnání, Biometrics DataLog, EMG Holter, Jamar dynamometr

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	**Surname** Pačisková	**Name** Karolína	
FIELD OF STUDY	2301T007 "Industrial Engineering and Management"		
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Ing. Bureš, Ph.D.	**Name** Marek	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	**DIPLOMA**	~~**BACHELOR**~~	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	Use of biomechanical systems for physical load evaluation		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Industrial Engineering and Management		**SUBMITTED IN**	2019

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	75		**TEXT PART**	66		**GRAPHICAL PART**	9

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is focused on comparison of two instruments for measuring the electric potential in muscles during physical exercise in different positions. The first part desribes the theory and legislation needed to understand and evaluate measurements. The practical part introduces the methodology, the actual measurement, the comparison of the results and the further processing of the obtained data.
KEY WORDS	ergonomics, physical load, electromyography, grip streght, electrodes, Fmax, local muscular load, upper limbs, forearm, electric potential, biomechanics, comparison, Biometrics DataLog, EMG Holter, Jamar dynamometer

Obsah

Obsah 7
Seznam obrázků 9
Seznam tabulek 11
Úvod 12
1 Úvod do problematiky 13
1.1 Ergonomie 13
1.1.1 Pracovní zátěž 15
1.1.2 Fyzická zátěž 15
1.1.3 Psychická zátěž 15
1.1.4 Nemoci z povolání 16
1.2 Biomechanika končetin 17
1.2.1 Kosti a struktura kosti 18
1.2.2 Svaly 19
1.3 Elektromyografie (EMG) 21
1.3.1 Povrchová (konduktivní) elektromyografie 22
1.3.2 Jehlová elektromyografie 23
1.4 Legislativa 24
1.4.1 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. 24
1.4.2 Norma ČSN EN 1005-5 32
2 Měřicí technika 35
2.1 EMG Biometrics 35
2.1.1 Programovatelné přenosné sběrače dat – DataLog 35
2.1.2 EMG senzory 36
2.1.3 Goniometry 37
2.2 EMG Holter 39
2.2.1 Konstrukce a charakteristika 40
2.2.2 Elektrody 41
2.3 Jamar Plus+ dynamometr 41
3 Praktická část 42
3.1 Návrh experimentu 42
3.2 Příprava přístrojů na měření – Holter 43
3.2.1 Aplikace elektrod 43
3.2.2 Připojení svodů a elektrod k přístroji 43
3.2.3 Nastavení citlivosti 43

3.2.4 Připojení k počítači 43
3.2.5 Nastavení Fmax 43
3.3 Příprava přístrojů na měření - Biometrics DataLog....44
3.3.1 Připojení elektrod....44
3.3.2 Připojení k počítači, nastavení přístroje 44
3.4 Průběh měření 45
3.5 Problémy během měření 47
3.6 Výsledek měření a zpracování dat....48
3.7 Vyhodnocení měření....53
3.7.1 Porovnání průběhů a grafů 53
3.7.2 Porovnání výsledků....59
Závěr 63
Seznam použité literatury....64
Seznam příloh....67

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Systém člověk - stroj - prostředí [5] 14
Obr. 1-2 Stavba kosti [21] 18
Obr. 1-3 Stavba svalu [9] 19
Obr. 1-4 Makroskopická stavba svalu [28] 20
Obr. 1-5 Syndrom karpálního tunelu [15] 21
Obr. 1-6 Snímání povrchovou elektromyografií [23] 22
Obr. 1-7 Jehlová elektromyografie [14] 23
Obr. 1-8 Hodnocení polohy trupu [19] 28
Obr. 1-9 Hodnocení polohy krku a hlavy [19] 28
Obr. 1-10 Hodnocení polohy horních končetin [19] 29
Obr. 1-11 Hodnocení polohy dolních končetin [19] 30
Obr. 1-12 Polohy a pohyby ramen [20] 32
Obr. 1-13 Polohy a pohyby lokte [20] 33
Obr. 1-14 Polohy a pohyby zápěstí [20] 33
Obr. 1-15 Polohy zápěstí [20] 34
Obr. 2-1 Komplexní balíček Biometrics DataLog [24] 35
Obr. 2-2 Snímací elektroda [24] 36
Obr. 2-3 Ukázka aplikace senzoru na předloktí [24] 36
Obr. 2-4 Měření pomocí goniometrů [24] 37
Obr. 2-5 Dvouosý elektrogoniometr [24] 38
Obr. 2-6 EMG Holter [26] 39
Obr. 2-7 Sestava přepínačů k nastavení citlivost [26] 40
Obr. 2-8 Horní panel Holteru [26] 40
Obr. 2-9 Elektrody a svod Holteru 41
Obr. 2-10 Siloměr Jamar Plus+ [29] 41
Obr. 3-1 Ukázka aplikace zemnící elektrody a elektrod na flexoru 44
Obr. 3-2 Základní polohy během měření 46
Obr. 3-3 Chybně prováděné polohy – nadhmat a předpažení 47
Obr. 3-4 Ukázka vykreslení amplitudy EMG 1 a EMG 2 v programu DataLog 48
Obr. 3-5 Výstupní hodnoty z Biometrics DataLog 48
Obr. 3-6 Vzorec použitý pro získání průměrných hodnot 49
Obr. 3-7 Ukázka vykreslení křivky v Excelu pro EMG 2 50
Obr. 3-8 Vykreslení amplitudy EMG 2 z programu DataLog 50
Obr. 3-9 Komunikace s Holterem 51
Obr. 3-10 Výstupní hodnoty z Holteru v MS Excel 51
Obr. 3-11 Výstupní amplituda EMG z Holteru pro pravou ruku 52
Obr. 3-12 Výstupní amplituda EMG z Holteru pro levou ruku 52
Obr. 3-13 Výsledky EMG 1 Biometrics DataLog 53
Obr. 3-14 Výsledky EMG 1 Holter 53
Obr. 3-15 Výsledky EMG 2 Biometrics DataLog 54
Obr. 3-16 Výsledky EMG 2 Holter 54

Obr. 3-17 Graf EMG 1 pro levou ruku DataLog 55
Obr. 3-18 Graf EMG 3 pro levou ruku Holter 55
Obr. 3-19 Porovnání flexoru a extenzoru 56
Obr. 3-20 Graf EMG 2 pro pravou ruku DataLog 57
Obr. 3-21 Graf EMG 2Holter.....57
Obr. 3-22 Nepříliš čitelný graf DataLog.....58
Obr. 3-23 Nevydařený graf Holter 58
Obr. 3-24 Vztah mV a kg v základní poloze u mužů - flexor.....60
Obr. 3-25 Vztah mV a kg v základní poloze u mužů – extenzor.....60
Obr. 3-26 Vztah mV a kg v základní poloze pravé ruky - flexor ženy 61
Obr. 3-27 Vztah mV a kg v základní poloze levé ruky - flexor ženy 61
Obr. 3-28 Vztah mV a kg u flexoru pravé ruky mužů v nadhmatu.....62
Obr. 3-29 Vztah mV a kg u flexoru pravé ruky mužů v podhmatu 62

Seznam tabulek

Tab. 1-1 Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží dle pohlaví [19] 25
Tab. 1-2 Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – chlapci [19] 25
Tab. 1-3 Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – dívky [19]...25
Tab. 1-4 Hygienické limity pro počty pohybů [19] 26

Úvod

Tato práce se zabývá využitím biomechanických systému v ergonomii pro hodnocení fyzické zátěže. Celorepublikově je schváleno a používáno měření lokální svalové zátěže a posuzováno přetěžování horních končetin v oblasti ruky a předloktí. Právě jednostranné dlouhodobé přetěžování horních končetin je nejčastějším poškozením zdraví při zaměstnání a přiznávanou nemocí z povolání všech dělnických a průmyslových činností. Dodržování hygienických limitů lokální svalové zátěže je stěžejní pro chod celého průmyslového či výrobního podniku. Přetěžovaní pracovníci totiž nepodávají normované výkony a jsou často unavení, což vede k větší zmetkovitosti a zvýšení nákladů podniku. Toto téma je tedy aktuální zejména z důvodu neustálého rozšiřování výrobních podniků a obsazování nových pracovních míst.

Práce je rozdělena na dvě části. První část se zabývá teoretických vysvětlením základních ergonomických pojmů, které se v této oblasti používají, dále samotnou elektromyografií, fungováním muskuloskeletálního systému a legislativou v České republice, upravující problematiku bezpečnosti práce a hygienické limity. V druhé části bude představena měřicí technika, včetně fungování a zapojování jednotlivých přístrojů. Hlavní částí bude praktická část, tedy návrh experimentu a průběh měření, konkrétní postup celého měření a principy zvolených poloh a zátěží. Následně na to budou zpracována data z obou přístrojů a představeny výstupy měření.

Cílem této práce je porovnání výsledků dvou přístrojů pro snímání elektrického potenciálu ve svalech předloktí horní končetiny v nejčastěji používaných polohách úchopu a stisku předmětu. Dílčím cílem je zpracovat získaná data z jednoho z přístrojů a porovnat vliv stisknuté síly na elektrický potenciál v zatěžovaném svalu ve zvolených polohách.

1 Úvod do problematiky

Člověk je se svojí pracovní sílou jedním ze základních prvků pracovního systému. Síla je dána souborem fyzických a duševních schopností každého člověka. Cílem ergonomie je přizpůsobit práci člověku, tak aby vyhovovala jeho fyziologickým a psychologickým aspektům. [1]

1.1 Ergonomie

Samotný pojem je odvozený z anglického slova ergonomics, který vznikl spojením dvou řeckých slov – ergon (práce) a nomos (pravidlo, zákon). Jedná se o vědecký obor zkoumající fyzické a duševní potřeby člověka v souladu s fyziologickými a psychickými požadavky za účelem ochrany života a zdraví při práci v pracovním prostředí. [1][2]
Pojem ergonomie byl poprvé použit v článku profesora Wojciecha Jastrzebowskiho v časopise Przyroda i Przemysl v roce 1857, avšak první ergonomické studie byly provedeny až v 60. letech 20. století. Od té doby jsou pojem ergonomie a její zásady hojně sklovány a prosazují se do všech aspektů moderního života. [2]

Po druhé světové válce začaly vznikat první výzkumné ergonomické společnosti, např. ve Velké Británii Ergonomics Reaserch Society či americká společnost Human Factor Society. Později nato vznikla Mezinárodní ergonomická společnost – International Ergonomcs Association (IEA). Tato společnost podporuje mezinárodní spolupráci v oblasti vědy a praktické aplikace ergonomie pro zlepšení kvality života. [1]

Základní oblasti ergonomie podle IEA [3]:

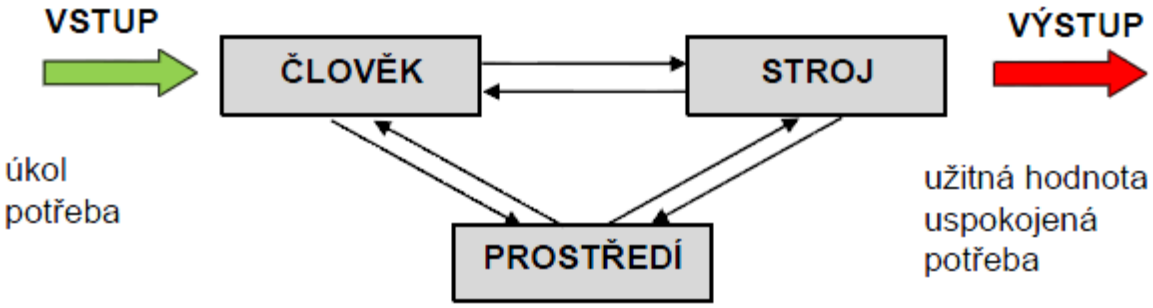
- Fyzická ergonomie – zabývá se lidskými anatomickými, antropometrickými, fyziologickými a biomechanickými vlastnostmi, kterých se týkají fyzické aktivity. Zahrnuje také pracovní postoje, polohy, manipulaci s břemeny, uspořádání pracoviště a bezpečnost práce.

- Kognitivní (psychická) ergonomie – zaměřuje se především na duševní procesy, psychologické aspekty pracovní činnosti jako jsou vnímání, paměť, uvažování, pracovní stres a duševní zátěž.

- Organizační ergonomie – je zaměřená na sociotechnický systém včetně organizačních struktur, procesů a postupů. Zahrnuje také komunikaci, týmovou práci, spolupráci a celkovou sociální politiku.

Předmět zkoumání

Jak již bylo řečeno, ergonomie má za cíl přizpůsobit práci člověku, tak aby vyhovovala jeho požadavkům v pracovním prostředí. Právě toto prostředí lze vymezit jako systém člověk – technika – prostředí. Jedná se o dynamický, otevřený celek, kde je člověk chápán jako rozhodující, limitující složka systému, která ovlivňuje celkové chování systému. [4]



Obr. 1-1 Systém člověk - stroj - prostředí [5]

Technika je termín pro všechno, co člověk používá k vytváření užitkových hodnot. Jedná se především o nástroje, nářadí a stroje. Prostředí pak znázorňuje vše, co člověka obklopuje a co ovlivňuje jeho činnost. Pracovní prostředí lze definovat jako soubor podmínek, ve kterých se práce vykonává.

Předmětem zkoumání jsou tedy prvky ergonomického systému, jejich vazby a vzájemné chování za účelem dosažení užitkové hodnoty či uspokojení potřeb. [1]

Význam ergonomie

Význam ergonomie spočívá především na synergii jednotlivých částí systému člověk – technika - prostředí. Hlavním cílem je zefektivnění lidské práce a vytvoření technických a organizačních podmínek, které sníží nepřiměřenou pracovní zátěž, zvýší pracovní pohodu a omezí prostor pro chyby a následné zdravotní ohrožení člověka.

Tato synergie má hned dva cíle [1]:

- Ekonomický – pohled ze strany zaměstnavatele, podniku. Práce musí být především produktivní, spolehlivá a s co nejmenšími náklady. Proto usiluje o zkrácení časů pracovních činností, zvýšení produktivity práce, omezení pracovních úrazů a zaměstnanecké fluktuace.

- Humánní – zaměření především na pracovníka, jeho spokojenost, zdravotní stav, psychickou pohodu a životní úroveň.

1.1.1 Pracovní zátěž

Jedná se o souhrn požadavků a vnějších podmínek v daném pracovním systému, které ovlivňují fyzický a psychický stav člověka. Každá činnost je pro organismus člověka značnou zátěží. Pokud stupeň zátěže překročí hodnotu, která narušuje úroveň pracovní pohody daného člověka, jedná se o přetížení. Pracovní zátěž zahrnuje jak psychickou zátěž, tak fyzickou, kterou lze objektivně měřit v definovaných jednotkách. [6]

Obě tyto zátěže můžeme dělit na [1]:

- Optimální – zátěž je v ideálních hodnotách a umožňuje přesně a bezpečně vykonávat pracovní činnost,
- Mírná – člověk pociťuje narušení pracovní pohody a dlouhodobou únavu, některé faktory zátěže překročily optimální hodnotu,
- Nepřijatelná – stupeň zátěže překročil povolené hodnoty, pracovní výkon je nemožný, dochází k nevratným následkům a ohrožení zdraví člověka.

Podle velikosti (úrovně) pracovní zátěže se vždy dostaví únava. Na krátkou dobu je možné únavu přemáhat vůlí, avšak k jejímu odstranění je třeba dostatek odpočinku a pravidelné přestávky v práci.

1.1.2 Fyzická zátěž

Fyzická zátěž je práce, kterou vykonávají svaly. Je ovlivňována rozsahem svalových skupin a jejich činnostmi a také spotřebou energie. Lze ji rozdělit na [6]:

- Statickou – je charakteristická tím, že jsou svaly stažené a v této poloze zůstávají dlouhou dobu. Svaly tedy nejsou dostatečně zásobované krví s kyslíkem a jsou přetížené. Z časového hlediska se jedná o statickou zátěž, pokud je sval stažený déle než 3 vteřiny.
- Dynamickou – tato zátěž je naopak charakterizována střídavým zapojováním svalových skupin a tím i napětím v těchto skupinách.

Dynamická zátěž je na rozdíl od statické méně zatěžující. Po ukončení statické zátěže potřebují svaly čas na regeneraci. Stupeň zátěže je samozřejmě závislý na silových schopnostech člověka, stejně také na pohlaví, věku a schopnosti regenerace svalových skupin. [1][6]
Více o fyzické zátěži bude popsáno v podkapitole Legislativa.

1.1.3 Psychická zátěž

Při výkonu práce působí řada vlivů na lidské kognitivní a psychické procesy, které mohou tuto činnost negativně ovlivnit a snížit pracovní schopnosti pracovníka. Psychickou zátěž lze definovat jako faktor zatěžující organismus a proces psychického vnímání a zpracování požadavků pracovního okolí. Pracovním okolím či prostředím jsou veškeré události, společenské vazby a požadavky, co pracovníka obklopují. [1]

Rozlišují se tři typy psychické zátěže [1]:

- Senzorická zátěž – zátěž, která zatěžuje smyslové orgány, zejména sluch a zrak a jejich centrální nervový systém,
- Mentální zátěž – představuje zvýšené nároky na pozornost, představivost a paměť, stejně jako na zpracování přijímaných informací,
- Emoční zátěž – odezva způsobená afektivním prožíváním a stresem.

Všechny typy se mohou vzájemně prolínat. U kombinace senzorické a mentální zátěže je možné u pracovníka pozorovat fyziologické změny, jako například napětí svalů, změna teploty i zbarvení kůže. Tyto stavy se projevují během pracovního procesu a také po jeho skončení. Lze je členit i na bezprostřední, krátkodobé a chronické. [1]

Únava

Při pracovním procesu se vždy postupně snižuje výkon pracovníka. Dochází k únavě svalů a psychiky, tvorbě chyb, snížení pozornosti, zájmu o práci a přichází pocit unavenosti. Vzniká potřeba regenerace a odpočinku. Únava rychle zmizí, pokud se narušují ustálené stereotypy, úkony a také prostředí výkonu práce. Důležité jsou také pravidelné přestávky a výměna spolupracovníků.

Monotonie

Monotonie je stav snížení aktivity, objevující se v průběhu dlouhodobé jednotvárné a opakované pracovní činnosti. Projevuje se pocitem únavy, sníženou reakční schopností a kolísáním výkonnosti.

Stres

Jedná se o reakci těla na vnitřní a vnější faktory – stresory. Tato reakce uplatňuje obranné mechanismy, které umožňují přežití. Ve vypjatých situacích je člověk schopný racionálně uvažovat a rozhodovat se na úkor potlačení emocí. Ke stresu dochází při překročení individuální hranice zátěžové tolerance. Stres se projevuje třesením, zvýšenou svalovou aktivitou a druhotně zvýšenou četností chyb, úrazů a zhoršením pracovního výkonu. [1]

1.1.4 Nemoci z povolání

Vykonávání pracovní činnosti je spojené s opakováním jednotlivých úkonů, a to často cyklicky. Při jednostranném vykonávání těchto úkonů, může dlouhodobě docházet k přetěžování namáhané části těla a vést přes únavu, snížení produktivity až k nemocím z povolání.

Cumulative Trauma Disorder – CTD

Jedná se o stav, kdy je část těla namáhána opakovaným zatížením nebo stresem. Tato opotřebení se neprojeví ihned, ale kumulují se v čase, než se řádně projeví – pracovník si například přes víkend odpočine a bolestivost se projeví znovu až při vykovávání činnosti. Základní příčinou je nerovnováha mezi pevností a pružností šlach, svalů a kostí a samozřejmě nároky kladené vykonávanou pracovní činností, jako je nadměrné používání síly, vysoká opakovanost, zvedání těžkých břemen a nedostatek odpočinku. [1]

Repetitive Strain Injury – RSI

Neboli nemoc z nadměrné opakované zátěže ve špatném postoji a z opakovaných pohybů. V průběhu času se může RSI proměnit v chronické onemocnění především svalů, šlach a nervů a přejít do dalších částí těla.

Obvykle jsou tyto stavy značeny bolestivostí či brněním v místě poranění a snížením pohyblivosti. Nejrozšířenější poruchou je syndrom karpálního tunelu, který vzniká permanentním stlačením nebo dlouhodobým vystavením tlaku na středový nerv v oblasti zápěstí. Dalšími jsou zánět šlach, uzlinové (ganglion) cysty či spoušťový prst. [6] [7]

1.2 Biomechanika končetin

Abychom mohli aplikovat ergonomii a inženýrské koncepty na lidské tělo, je třeba seznámit se se základními funkcemi muskuloskletálního systému. V následující kapitole budou popisovány struktury a principy tohoto systému. Hlavní funkcí je podpírat a chránit tělo včetně orgánů a udržovat ho v pohybu. Aby celé tělo normálně fungovalo, musí každá substruktura pracovat správně. Hlavními substrukturami jsou šlachy, vazy, chrupavky, kosti a svaly. [8]

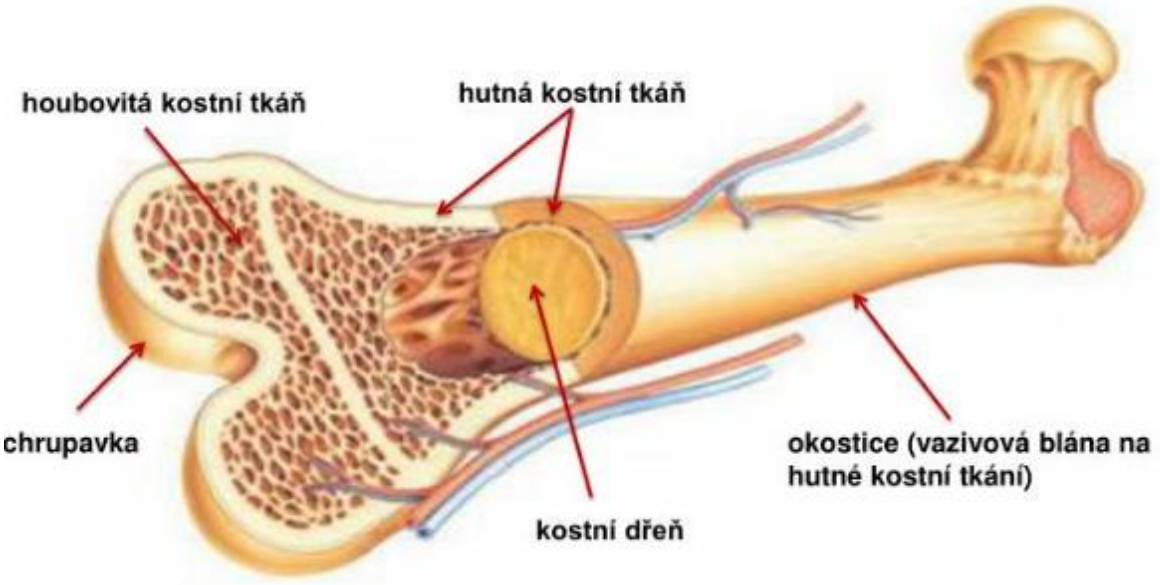
Pojivové tkáně

Kosti, vazy, šlachy a chrupavky jsou pojivové tkáně těla. Poskytují podporu, přenášení síly a udržují strukturální integritu celého těla. Všechny pojivové tkáně jsou tvořeny buňkami a **extracelulárními matricemi**, složených z vláken a základních látek. Vlákna mají dvě složky – kolagen a elasten. Kolagen je materiál s vysokou pevností v tahu a je zvlášť odolný proti deformacím, naopak **elasten** je pružný a má nízkou pevnost v tahu. [8]
Vazy a šlachy jsou husté pojivové tkáně podobné morfologie a funkce. Vazy spojují kost s kostí, podporují stabilitu kloubu, zatímco šlachy uchycují svaly ke kostem a přenášen sílu ze svalů. Chrupavky pokrývají arktikulární kostní povrchy a jsou přítomné ve většině orgánů. Jsou jedinečné díky tomu, že postrádají nervy a cévy. Obdržují živiny difúzí což omezuje jejich tloušťku. [8]

1.2.1 Kosti a struktura kosti

Celá kost se skládá z několika tkání, které poskytují podporu celé kostře a udržují minerální homeostázu. Až 99 % procent vápníku v těle je uloženo v kostech. [8]
Kost je mineralizovaná pojivová tkáň, vznikající osifikací. Kostní matrice tvoří buňky zvané osteoblasty, které se postupně přeměňují na osteocyty. Osteocyty se po provedení své práce izolují uvnitř matrice a tam se mineralizují. Tímto procesem se vytváří samotná kostra. V kostní matrici se nachází také osteoklast, který je důležitý při remodelování kostí, díky kterému kost může měnit svou velikost, tvar a strukturu v reakci na mechanické nároky.

Kosti jsou rozděleny do dvou skupin, dlouhé kosti končetin a axiální kosti – lebka, hrudník, obratle, žebra pánev. Dlouhé kosti jsou oblé a skládají se z diafýzy a epifýzy. Diafýza tvoří vlastní dlouhé tělo kosti. Dutina je vyplněna kostní dření, povrch je pokryt silnou vrstvou kompaktní tkáně. [8]



Obr. 1-2 Stavba kosti [21]

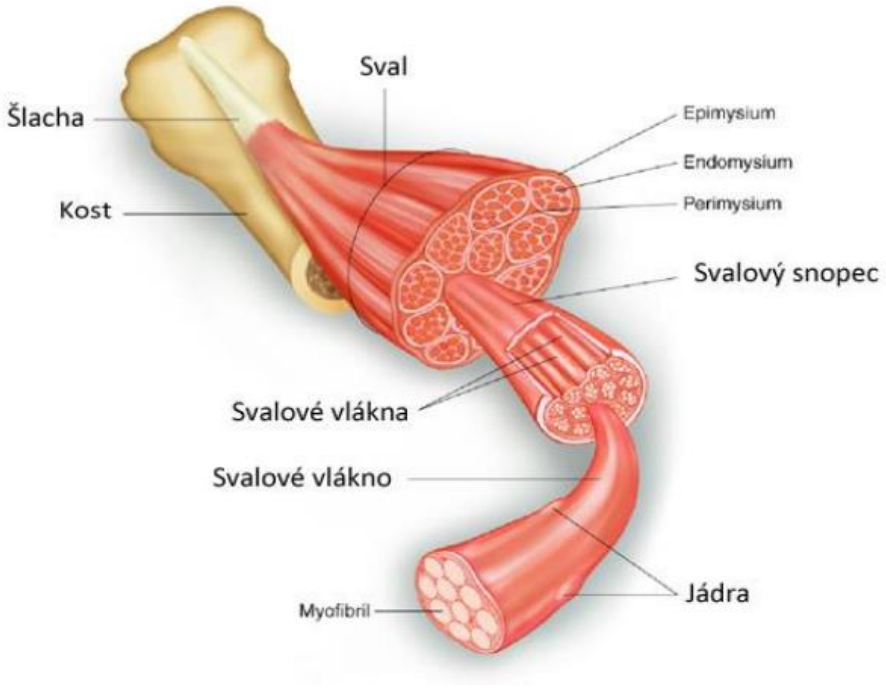
Mechanické vlastnosti kosti

Důležitou strukturou pro mechanické vlastnosti celé kosti jsou kostní tkáně. Okostice (hutná vazivová blána) dlouhé kosti jí poskytuje značnou pevnost a tuhost. V tahu vykazuje kost ještě větší pevnost než v tlaku. Nejméně naopak odolává ve zkrutu. Při vystavení velkému namáhání dochází ke zlomenině. Většina zlomenin kosti se však vyskytuje v důsledku ohybových sil, torzních sil nebo kombinovaných sil. Svaly chrání kost a absorbují inerciální energii a hlavní stres, který by byl jinak přenášen do kosti. [8]

1.2.2 Svaly

Skeletální svaly tvoří téměř 50 procent tělesné hmotnosti. Více než polovina celkové hmotnosti svalstva připadá na svaly dolních končetin a každý z nich má zvláštní funkci. Obecně slouží ke generování pohybu kloubů. Ke kostře jsou svaly připojeny pomocí šlach. [8][9]

Svalovou jednotkou kosterního svalu je svalové vlákno, které je jeho aktivní složkou. Podélně se takové svalové vlákno skládá ze sarkomer. Při kontrakci se pomocí zasouvání kontraktilních bílkovin – myozinu a aktinu, sarkomera zkracuje. Sdružení svalových vláken se nazývá motorická jednotka. Při přenosu nervového vzruchu po buněčných membránách je vyvolána téměř současná kontrakce všech sarkomer vlákna. Délka kontrakce je výsledkem vysoké frekvence impulsů - vzruchů. Při samotné svalové činnosti nikdy nejsou zapojena všechna svalová vlákna, děje se tak pouze při vypjatých situacích jako je záchrana života. Dohromady tyto motorické jednotky tvoří svalové bříško. [27]



Obr. 1-3 Stavba svalu [9]

Funkce svalu a svalové kontrakce

Podle typu pohybu, který sval vykonává v jednotlivých částech končetin, se samotné svaly dají dělit na flexory a extenzory. Jako názorný příklad slouží biceps, což je flexor - ohýbač a proti němu stojí extenzor - natahovač, triceps.[28]

Na svalu se rozlišují tyto funkční části [28]:

- Začátek - upnutí svalu nacházející se na méně pohyblivém místě, u předloktí se začátek upíná k vřetení kosti blíže k lokti,
- Svalové bříško - oblast, která vykonává práci pomocí kontrakce svalových vláken,
- Úpon – uchycení svalu ke kosti pomocí šlachy, úpon je považován, na rozdíl od začátku, pohyblivějším místem. Na předloktí považujeme za úpon ukončení svalu na kosti vřetenní.

Obr. 1-4 Makroskopická stavba svalu [28]

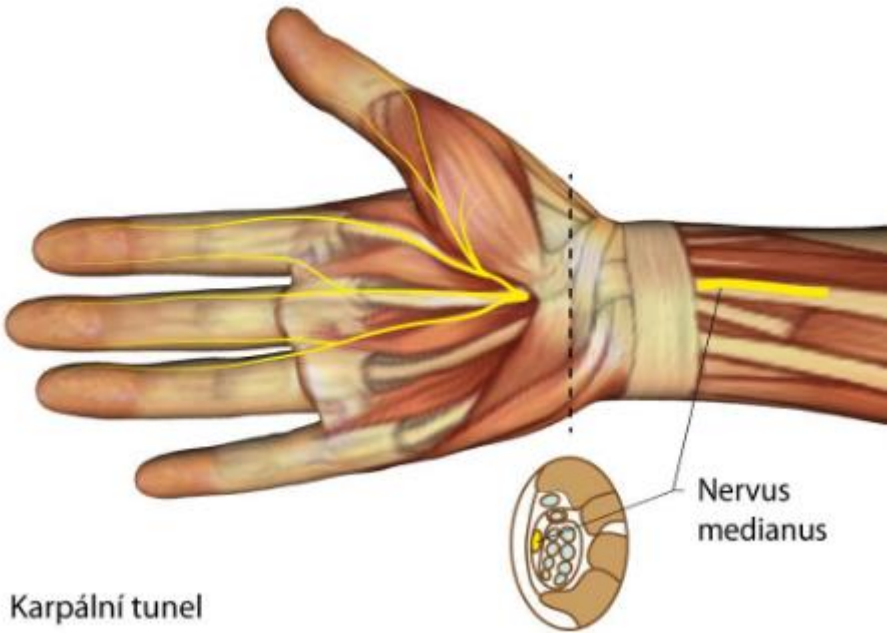
Podnětem pro akci svalu je za normálních podmínek nerv, který vyvolá svalový stah (kontrakci).

Jsou dva typy svalové kontrakce[8][9]:

- Izotonická kontrakce – dynamická kontrakce – mění se pouze délka svalu, např. manipulace s břemenem.
  Pokud se délka svalu zkracuje, jedná se o koncentrickou kontrakci. Ta je typická zvětšením objemu při zkracování svalu. Sval vykonává práci.
  Naopak pokud se svalová vlákna prodlužují, mluvíme o excentrické kontrakci. Vlákna se od sebe vzdalují a výsledkem je pohyb.
- Izometrická kontrakce – statická kontrakce - sval nemění délku, pouze napětí, např. při držení břemene v jedné poloze.

1.3 Elektromyografie (EMG)

Jedná se o elektro diagnostickou metodu, sloužící k diagnostice poruch periferního nervového systému, poruch nervosvalového přenosu a onemocnění svalů. Pomáhá pro měření elektrické aktivity svalu a nervu, a pomáhá hodnotit funkční stav pohybového systému a rozlišit jednotlivé druhy nervosvalových onemocnění. Nejčastěji se jedná o úrazové poškození nervů, úžinové syndromy – syndrom karpálního tunelu či zánětlivé onemocnění periferního nervstva. Díky EMG lze určit míru a místo poškození svalové tkáně nebo poruchy nervového vzruchu. [10] [11]



Obr. 1-5 Syndrom karpálního tunelu [15]

Princip

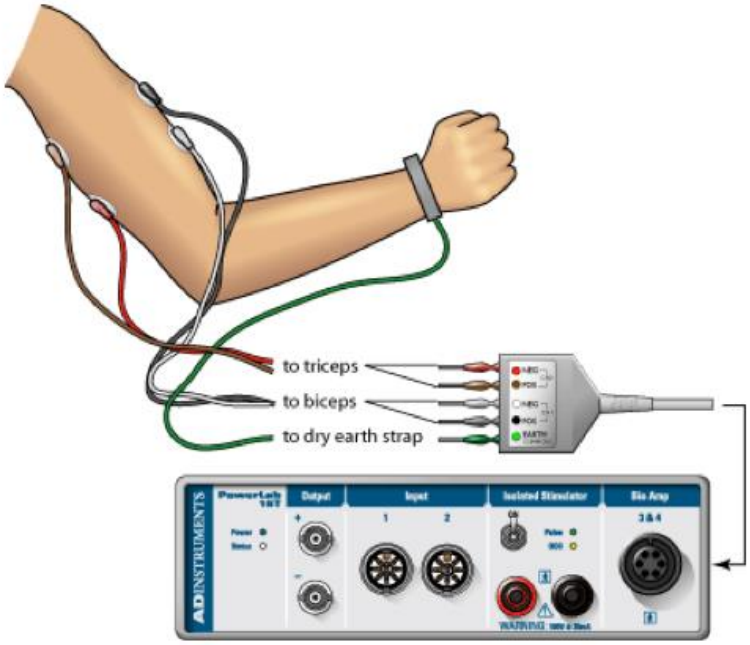
Podstatou elektromyografie je měření elektrických potenciálů, které vznikají činností kosterní svaloviny. K vyšetření je využíván přístroj zvaný elektromyograf. Elektromyograf zaznamenává elektrickou svalovou aktivitu. Skládá se z monitoru, vyhodnocovače, zdroje elektrických pulsů a dvou povrchových elektrod. [11] Elektrody jsou dvojího druhu. Stimulační a registrační. Stimulační vedou elektrický impuls, který je šířen nervem a končí stažením svalu. Registrační elektroda pak snímají akční potenciál motorických jednotek (svalu). Je zde zařazena i zemnící elektroda, která slouží jako zkratovací obvod pro rušivé proudy z napájecí sítě. Nejčastěji se jedná o páskovou či obdélníkovou elektrodu. Při vyšetření lékař používá buď povrchovou, nebo jehlovou techniku, podle charakteru onemocnění. Vyšetření je prováděno ambulantně a není třeba se na něj speciálně připravovat.[12] [22]

Typy elektromyografie

Typ vyšetření EMG se volí podle cíle a charakteru vyšetření. Jedná se především o dva typy EMG.

1.3.1 Povrchová (konduktivní) elektromyografie

Tato metoda měří rychlosti vedení akčního potenciálu ve stimulovaném nervu a velikost odezvy na tuto stimulaci. Vyšetření se provádí pomocí stimulační a snímací elektrody. Na kůži se v blízkosti vyšetřovaného nervu přilepí povrchová elektroda, která fixuje snímací elektrodu. Po jejím nalepení vydává elektrický impuls, kterým je stimulován nerv a který vyvolává jemnou kontrakci svalu. Cílem je porovnání rychlosti vedení v nervu či velikost odezvy ve svalu s věkovou normou. Sleduje se změna elektrické aktivity ve svalu při činnosti. Výsledkem vyšetření je EMG křivka. [12] [22]

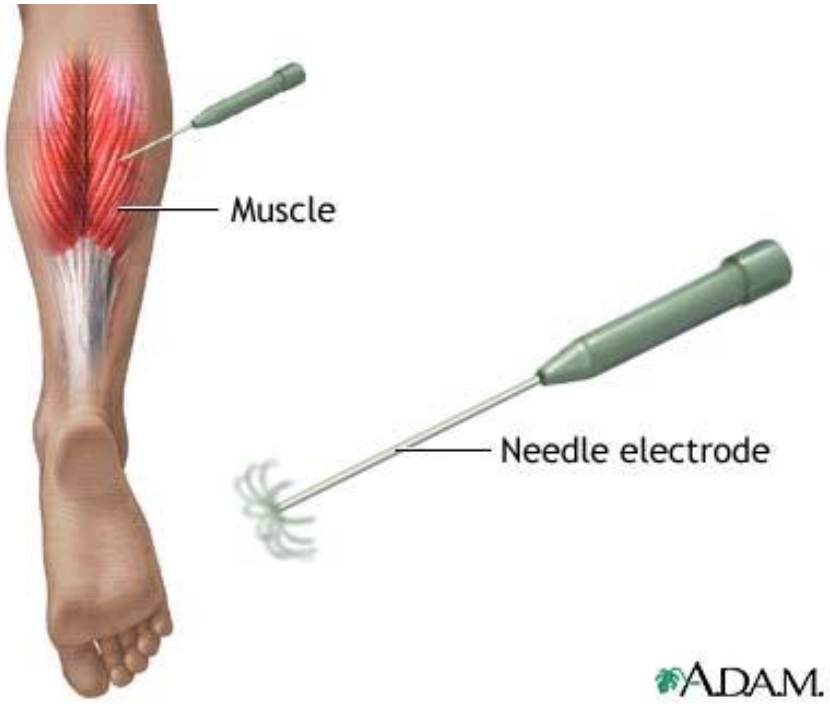


Obr. 1-6 Snímání povrchovou elektromyografií [23]

Pro vyšetření se používají povrchové elektrody. Jedná se o plošné destičky, přiložené a přilepené na kůži v okolí vyšetřovaného svalu. Elektrody se nesmí pohybovat, jinak by byl ovlivněn výsledek měření. Pro lepší vedení se využívá vodivý gel, který snižuje hodnotu vstupního odporu. Povrchové elektrody jsou levnější a pro pacienta příjemnější variantou. [23]

1.3.2 Jehlová elektromyografie

Jehlová EMG je invazivní metoda, při které se zavádí do příslušných svalů jehlové elektrody. Jedná se o tenčí jehlu, než jsou například jehly určené k odběrům krve či aplikaci léků, avšak jsou srovnatelné s inzulínovou jehlou. Jehly jsou sterilní, tudíž nejsou spojeny s rizikem krvácení či zanesení infekce. Jedna elektroda je zanořena do svalu a změnou polohy jehly se vyhledává optimální pozice. [22] Vyšetření se provádí při klidu svalu a při jeho kontrakci. Měří vlastnosti akčních potenciálů ve svalových vláknech. Zachycené změny potenciálů jsou zaznamenávány graficky jako EMG křivka, která se porovnává s věkovou normou. Abnormální hodnoty mohou objevit poškozený sval či nerv. [11] [13]



Obr. 1-7 Jehlová elektromyografie [14]

Výsledek

Sval v klidové fázi za normálních okolností nevykazuje žádnou elektrickou aktivitu. Každá kontrakce se projeví jako vlna na EMG křivce. Rychlost nervové odezvy je porovnávána s tabulkovými hodnotami. Tato hodnota se mění s věkem, u starších lidí se rychlost vedení vzruchu snižuje. Zjištěná elektrická aktivita u svalu v klidu může znamenat zánět či jiné onemocnění svalu nebo poruchu nervu, stejně tak i nepřirozeně nízká rychlost nervového vedení. [12]

1.4 Legislativa

Problematiku ergonomie a bezpečnosti a hygieny práce pokrývají v České republice zákony, předpisy a technické normy včetně legislativních opatření Evropské unie. Tyto opatření mají dva stupně: Směrnice Rady EU, které obsahují všeobecné zásady při práci a pro různé skupiny lidi, vykonávající tuto práci. Na Směrnice navazují normy EN, které jsou konkrétní a lze v nich najít jednotlivé hygienické limity a parametry, požadavky pro vytvoření bezpečného pracoviště, a také podmínky pro zamezení nepřiměřených pracovních zátěží. [16]

Legislativa ČR v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci se skládá ze zákonů, vyhlášek a nařízení vlády [17] [18]:

- Zákon č. 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví – spravuje o právech a povinnostech osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví, včetně požadavků na pitnou vodu, ubytovacích podmínek a postupů při výskytu epidemií či infekčních onemocnění.

- Zákon č. 262/2006 Sb. Zákoník práce – upravuje právní vztahy mezi zaměstnancem a zaměstnavatelem, včetně jejich práv a povinností při výkonu závislé činnosti

- Zákon č. 309/2006 Sb. – upravuje požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci

- Vyhláška č. 107/2013 Sb. – stanovuje podmínky pro zařazování prací, odběru biologického materiálu a hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli

- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

1.4.1 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Jedná se o úpravu dalších požadavků bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Upravuje české předpisy na základě ustanovení evropských předpisů, jako jsou např.

- rizikové faktory pracovních podmínek
- hygienické limity
- hodnocení rizikových faktorů z hlediska ochrany zdraví zaměstnance
- minimální rozsahy opatření k ochraně zdraví zaměstnance
- či podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků [19]

V této práci se bude jednat především o Hlavu IV – Podmínky ochrany zdraví při práci s fyzickou zátěží. Hlava IV se dělí do 4 dílů, z čehož je každý orientován na jinou část fyzické zátěže a budou podrobněji rozebírány v následujících kapitolách.

1.4.1.1 Díl 1 – Celková fyzická zátěž

Fyzickou zátěží se rozumí zátěž při dynamické fyzické práci, vykonávaná velkými svalovými skupinami (trup, paže, končetiny), při níž je zatěžována více než polovina svalové hmoty. [19]

Celkově se fyzická zátěž posuzuje podle energetické náročnosti vykonávané činnosti a pomocí hodnot energetického výdaje a srdeční frekvence. Od energetické náročnosti se dále odvíjí povinné hygienické limity, jako jsou např. limity energetického výdeje na směnu nebo přípustné hodnoty srdeční frekvence při výkonu fyzické zátěže pracovníka při práci. Tyto limity jsou odlišovány podle pohlaví a věku pracovníka. [19]

Energetický výdej	**Jednotky**	**Muži**	**Ženy**
Směnový průměrný	MJ	6,8	4,5
Směnový přípustný	MJ	8	5,4
Roční	MJ	1 600	1 060
Minutový přípustný	$kJ.min^{-1}$	34,5	23,7

Tab. 1-1 Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží dle pohlaví [19]

Dále se zde popisují přípustné hodnoty srdeční frekvence při srdeční zátěži. Hygienický limit pro minutovou hodnotu srdeční frekvence je maximálně 150 tepů za minutu. Avšak jde-li o práci delší, než osmihodinovou směny, hodnoty minutového energetického výdeje se snižují o 20% a taktéž o 20% nesmí být zvýšeny průměrné směnové hodnoty. [19]

Chlapci		**Věková kategorie**		
Energetický výdej	**Jednotky**	**15 až 16**	**16 až 17**	**17 až 18**
Směnový průměrný	MJ	5,9	6,9	7,9
Směnový přípustný	MJ	6,2	7,3	8,5
Roční	MJ	1 390	1 620	1 860
Minutový přípustný	$kJ.min^{-1}$	26,4	30	32,4

Tab. 1-2 Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – chlapci [19]

Dívky		**Věková kategorie**		
Energetický výdej	**Jednotky**	**15 až 16**	**16 až 17**	**17 až 18**
Směnový průměrný	MJ	3,7	3,8	4,8
Směnový přípustný	MJ	4,4	4,6	5
Roční	MJ	870	890	1 130
Minutový přípustný	$kJ.min^{-1}$	20,9	22,2	22,5

Tab. 1-3 Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – dívky [19]

1.4.1.2 Díl 2- Lokální svalová zátěž

Lokální svalová zátěž je definována jako zátěž malých svalových skupin při výkonu práce končetinami. Díl 2 posuzuje, kolikrát je který pohyb učiněn, které svaly jsou nejvíce zatěžovány a namáhány a v jaké poloze se nacházejí při zátěži svaly. [19]
Tato lokální zátěž je vyjádřena hygienickým limitem, který stanovuje přípustné hodnoty v procentech maximální svalové síly Fmax přepočtené na osmihodinovou směnu. Dále se také stanovuje limitní počet pohybů drobných svalů ruky a prstů, rovněž přepočten na osmihodinovou směnu. Pro průměrnou činnost drobných svalů na rukou je to 110 pohybů za minutu při Fmax = 3 % a 90 pohybů za minutu při Fmax=6 %. I zde se tyto limity snižují o 20 % při směně delší než osm hodin. [19]

% Fmax	Počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu	Průměrný minutový počet pohybů za osmihodinovou směnu
7	27600	56
8	24300	50
9	21800	44
10	19800	41
11	18100	37
12	16700	34
13	15500	32
14	14 000	28
15	13 500	27
16	12 700	26
17	12 000	25
18	11 400	24
19	10 900	23
20	10 400	22
21	10 000	21
22	9 600	21
23	9 300	20
24	9 000	19
25	8 700	18
26	8 400	18
27	8 100	17
28	7 800	17
29	7 500	16
30	7 200	15
31	6 900	15
32	6 600	14
33	6 300	14
34	6 000	13
35	5 800	12

Tab. 1-4 Hygienické limity pro počty pohybů [19]

1.4.1.3 Díl 3 – Pracovní poloha

Tento díl se věnuje pracovní poloze a zdravotním rizikům s ní spojených. Je zde popsána takto: „*Zdravotní riziko pracovní polohy se hodnotí při trvalé práci vykonávané zaměstnancem na stejném pracovním místě, nebo provádí-li zaměstnanec opakující se úkony, při nichž si nemůže volit pracovní polohu sám, ale jeho pracovní poloha je přímo závislá na konstrukci stroje, uspořádání pracovního místa a prostorovém uspořádání pracoviště.“* [19]

K hodnocení pracovní polohy je využíván tzv. „dvoukrokový systém“ [19]. Prvním krokem je zhodnocení polohy jednotlivých částí těla, a to pomocí úhlů a ve druhém kroku se tyto polohy posuzují a určují, zda se jedná o polohu přijatelnou, podmíněně přijatelnou či nepřijatelnou. Přehodnocují se i rozdělení některých poloh do jiných kategorií. [19]

Je zde stanovena i doba práce v podmíněně přijatelných pracovních polohách, která nesmí přesáhnout 160 minut, kdy doba trvání jedné polohy nesmí být delší než 1-8 minut v závislosti na typu pracovní polohy. Celková doba v nepřijatelné pracovní poloze nesmí překročit 30 minut. [19]

Hodnocení pracovních poloh

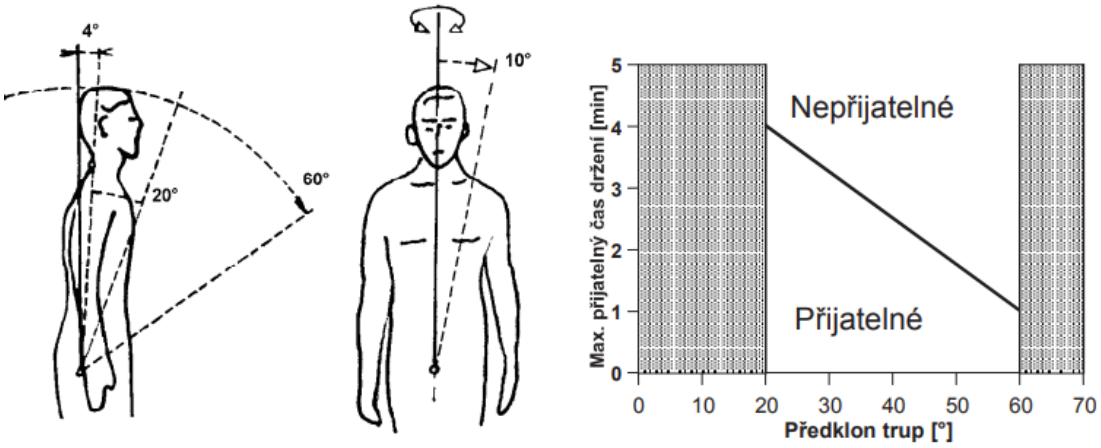
Pro hodnocení pracovní polohy se vychází z části C přílohy č. 5 NV 361/2007 Sb. – Hlava IV. Vždy se vyhodnocují polohy určitě části lidského těla. Rozlišují se zde čtyři základní části – poloha krku a hlavy, poloha trupu, poloha horních končetin a poloha dolních končetin.

1) Hodnocení polohy trupu

Pro hodnocení polohy trupu je třeba definovat neutrální polohu, která vychází z polohy páteřního výrůstku sedmého krčního obratle a horní hrany velkého chocholíku. Avšak úhly k hodnocení polohy trupy jsou zohledňovány k vertikální rovině. Mezi neutrální polohou a vertikální rovinou je úhel 4°.

Při samotném hodnocení je za nepřijatelnou polohu označován ve statické poloze předklon trupu větší než 60°, záklon bez opory a výrazný úklon či vytočení trupu více než o 20°. U dynamické polohy jsou úhly stejné, avšak nesmí být překročena frekvence 2 pohybů za minutu. [19]

U podmíněně přijatelné polohy je předklon trupu 40-60° bez opory, záklon bez opory těla a úklon či rotace od 10° do 20° u statické polohy. U dynamické opět nesmí být překročena frekvence pohybů menší než 2 za minutu. [19]

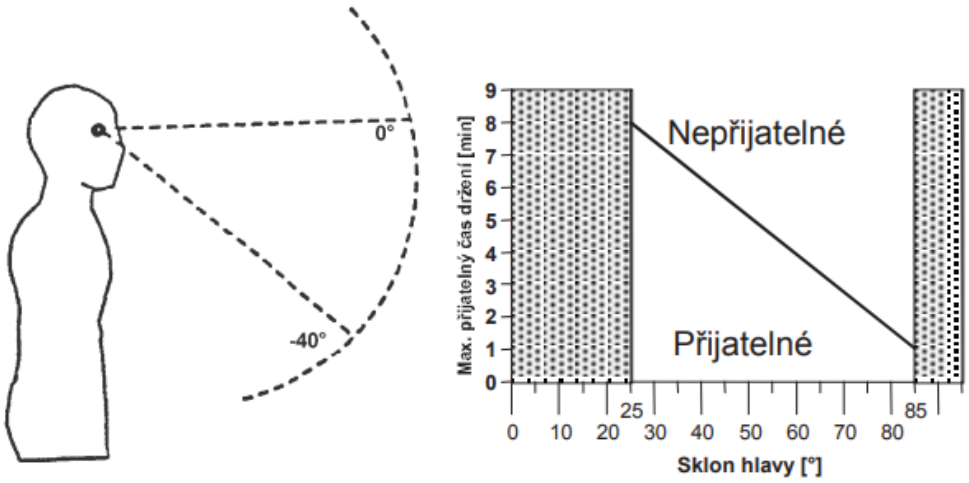


Obr. 1-8 Hodnocení polohy trupu [19]

2) Hodnocení polohy krku a hlavy

U hodnocení polohy krku a hlavy se vychází ze dvou základních poloh. Z úhlu pohledu (úhlu sklonu hlavy) a krku vzhledem k vertikální rovině.

V tomto případě je za nepřijatelnou označuje předklon hlavy větší než 25° bez opory trupu, záklon hlavy bez podpory celé hlavy a úklon či rotace větší než 15° u statické polohy. U dynamické polohy zůstávají hodnoty stejné, ale zohledňuje se frekvence pohybů, která je větší nebo rovna 2 za minutu. U podmíněné polohy je předklon hlavy mezi 25-40° s podporou trupu u statické polohy. Při dynamické poloze je rozmezí předklonu stejné, záklon, úklon a rotace do 15° a vše s frekvencí menší než 2 za minutu. [19]

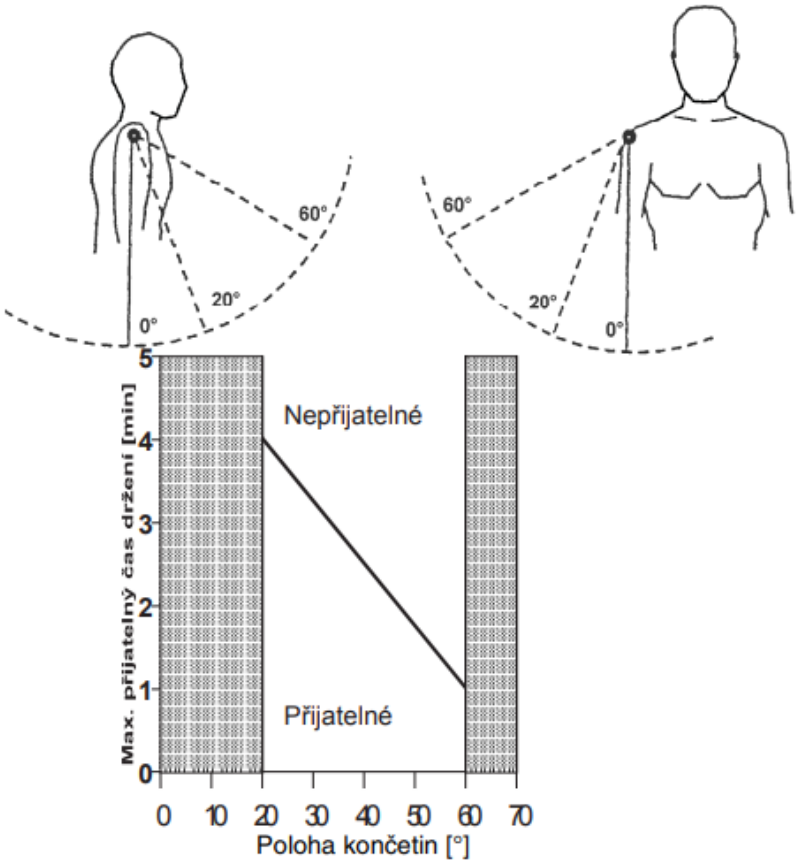


Obr. 1-9 Hodnocení polohy krku a hlavy [19]

3) Hodnocení polohy horních končetin

Při hodnocení polohy horních končetin se stanoví dva body na horní končetině – vnější část klíční kosti a loketního kloubu. Volně visící končetina podél těla je brána jako neutrální poloha. Vzpažení je definováno jako úhel, který svírá končetina v pracovní poloze vzhledem k neutrální poloze paže. [19]

Za nepřijatelnou polohu se označuje zpětné ohnutí paže, krajní zevní rotace paže, zvednuté rameno a extrémní polohy kloubů. Dále pak vzpažení větší než 60°. U dynamické polohy vzpažení paže větší než 60°, zapažení a polohy kloubů v rozsahu, který se blíží maximálním rozpětím. Vše s frekvencí pohybu větší nebo rovné 2/min. Za přijatelnou polohu je pokládáno vzpažení 40°-60° bez podepření u statické polohy. Při dynamické vzpažení 40°-60°, zapažení a polohy kloubů v rozsahu maxima, opět s frekvencí pohybů menší než 2/min. [19]

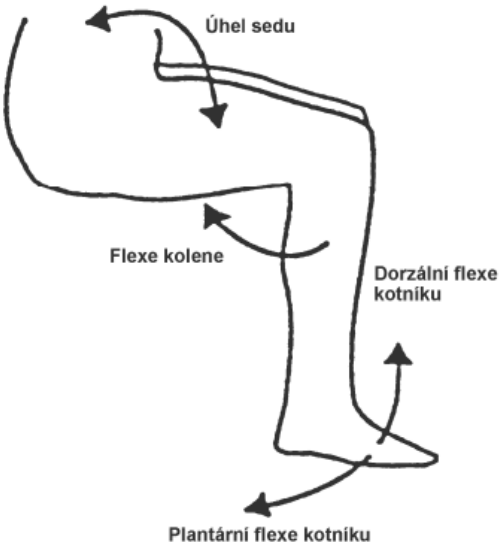


Obr. 1-10 Hodnocení polohy horních končetin [19]

4) Hodnocení poloh dolních končetin

U statických poloh je nepřijatelná poloha extrémní flexe kolena či extrémní dorzální a plantární flexe kotníku. U dynamických poloh jsou to pak polohy kloubů v rozsahu, který se blíží maximu a to s frekvencí pohybů větší nebo rovno 2/min. Zcela nepřijatelná je práce v leže, v dřepu nebo vkleče.

Podmíněné přijatelné polohy se hodnotí pouze u dynamických poloh, kde jsou polohy kloubů v rozsahu, který se blíží maximálnímu rozpětí a s frekvencí pohybů menší než 2 za minutu. [19]



Obr. 1-11 Hodnocení polohy dolních končetin [19]

1.4.1.4 Díl 4- Manipulace s břemeny

Poslední díly Hlavy IV vymezuje ruční manipulaci s břemenem jako „*přepravování nebo nošení břemene jedním nebo současně více zaměstnanci včetně jeho zvedání, pokládání, strkání, tahání, posouvání nebo přemisťování, při kterém v důsledku vlastností břemene nebo nepříznivých ergonomických podmínek může dojít k poškození páteře zaměstnance nebo onemocnění z jednostranné nadměrné zátěže. Za ruční manipulace s břemenem se též pokládá zvedání a přenášení živého břemene.“* [19]

Hygienické limity zahrnují posouzení hmotnosti ručně manipulovaného břemene při občasném zvedání a přenášení u muže na 50 kg, při častém 30 kg. Při práci vsedě 5 kg. U kumulativní hmotnosti manipulování mužem se jedná o limit 10 000 kg za osmihodinovou směnu.

U žen jsou limity přibližně poloviční než u muže. Při občasném zvedání a přenášení je limit 20 kg, při častém zvedání a přenášení 15 kg a při práci vsedě jsou to 3 kg. Kumulativní hmotnost za osmihodinovou směnu přepravovaná ženou je 6 500 kg. Manipulace s břemenem u těhotných, kojících žen, matek do konce devátého měsíce po porodu a mladistvými je upravena zvláštním předpisem (Vyhláškou č. 288/2003 Sb.).

Občasným zvedáním a přenášením je pak tako přerušovaná činnost a souhrnně nepřesahující 30 minut za osmihodinovou směnu. Časté zvedání a přenášení je definováno jako zvedání a přenášení břemene přesahující souhrnně 30 minut za osmihodinovou směnu. Jedná-li se o práci delší než osmihodinová směna, hodnoty limitů jsou u mužů i žen sníženy o 20 % a kumulativní hmotnosti nesmí být zvýšeny o více než 20 % v žádné směně.

U bezmotorového prostředku nesmí vynakládané tlačné síly překročit u muže hodnotu 310 N, u tažné 280 N. U žen pak tlačné síly nesmí překročit hodnotu 250 N a tažné 220 N. [19]

Díl 4 také udává, že zaměstnanec musí být seznámen s přesnými údaji o hmotnosti, umístění a vlastnostech manipulovaného břemene, včetně zacházení a správném uchopení. Rovněž musí být seznámen s riziky, jimž bude čelit při nesprávné manipulaci. Zejména pak:

- s možností poškození bederní páteře v nepřijatelných polohách, prudkých pohybech břemene či při zvýšené fyzické námaze
- s nedostatky v pracovním prostředí, jako je nedostatek prostoru ve svislém směru, kluzký nebo vratký povrch či nevyhovujících mikroklimatických podmínkách
- se stavy, zvyšujícími riziko poškození páteře, a to jak vlivem špatné manipulace, tak i nedostatečného odpočinku a práce v nevyhovujícím pracovním tempu [19]

Práce s břemeny by měla být rovnoměrně rozložena na celou pracovní směnu, aby nedocházelo k přetěžování pracovníka v jedné pracovní poloze a rizika zranění či únavy byla snížena na minimum.

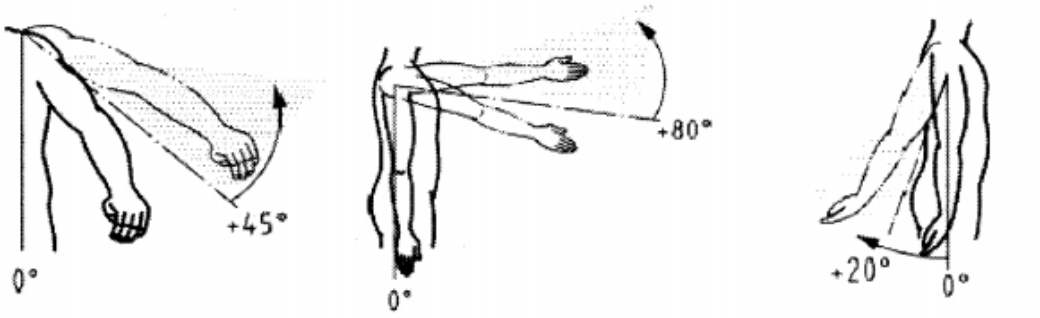
1.4.2 Norma ČSN EN 1005-5

Norma ČSN EN 1005-5 v celém znění: Bezpečnost strojních zařízení – Fyzická výkonnost člověka – část 5: Posuzování rizika velmi často opakované ruční manipulace. Jedná se o českou verzi evropské normy EN 1005-5:2007. Samotná norma se rozděluje na následující části [20]:

- Termíny a definice
- Ruční obsluha strojních zařízení a jejich součásti
- Doporučené mezní síly pro obsluhu strojních zařízení
- Hodnocení pracovních poloh a pohybů ve vztahu ke strojnímu zařízení
- Posuzování rizika velmi často opakované ruční manipulace

Část č. 5 - Posuzování rizika velmi často opakované ruční manipulace mimo jiné specifikuje hodnoty pro četnost úkonů horních končetin při obsluze strojního zařízení a uvažuje metody posuzování rizik svalově kosterního poškození horních končetin spojeného s opakovanou manipulací. [20] V této práci se budu věnovat především příloze B – Polohy a druhy pohybů.
Opakované úkony horních končetin v pracovní činnosti mají význam pro možná rizika různých svalově kosterních poškození. Jedná se především o poškození z dlouhodobých nevhodných pracovních poloh a pohybů kloubů. Proto je třeba podrobně zkoumat jednotlivé části horních končetin a zanalyzovat výskyt, četnost a trvání pohybů příslušné části.

Následující obrázky popisují pohyby kloubů horních končetin, včetně hodnot přijatelných a nevhodných poloh jednotlivých částí. [20]



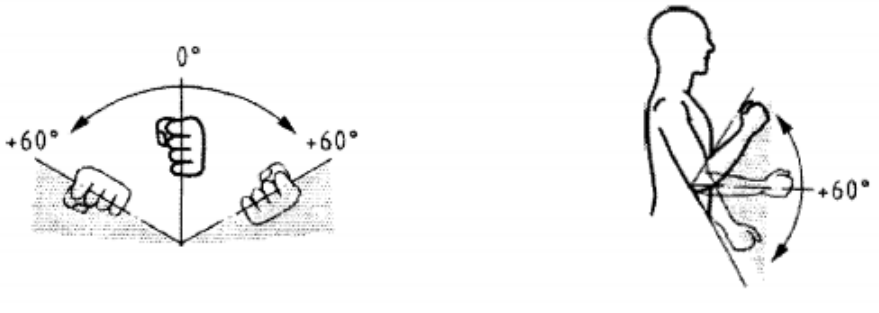
a) Postranní zvedání abdukcí/addukcí (100 % rozsahu kloubu je 90°, nevhodná poloha > 45°)

b) Čelní zvedání ohnutím (100 % rozsahu kloubu je 180°, nevhodná poloha > 80°)

c) Natažení (100 % rozsahu kloubu je 40°, nevhodná poloha > 20°)

Obr. 1-12 Polohy a pohyby ramen [20]

U 1-12 a) se jedná o upažování, kdy maximální rozsah kloubu je 90°od osy páteře. Abdukce je pohyb od těla, tedy upažování, naopak addukce je pohyb směrem k tělu – připažování. V tomto případě se jedná o nevhodnou polohu, když je ruka zvedána do více než 45°.
Obrázek 1-12 b) popisuje flexi ramenního kloubu – předpažení, když rozsah kloubu je 180°, ale nevhodná poloha nastává při více než 80°.
U obrázku 1-12 c) se naopak jedná o extenzi ramenního kloubu, který má rozsah v natažení 40°, nevhodná poloha je při více než 20°.



a) Loket – prono-supinace (100 % rozsahu kloubu je 90°, nevhodná poloha > 60°)

b) Loket – flexe-extenze (100 % rozsahu kloubu je ± 150°, nevhodná poloha > 60°)

Obr. 1-13 Polohy a pohyby lokte [20]

Obr. 1-13 a) popisuje pohyby lokte, který má maximální rozsah 90°, přičemž nevhodná poloha nastává při 60° a to i při pronaci, tak i supinaci. Pronace je pohyb předloktí, kdy je na konci pohybu ruka hřbetem vzhůru, supinace je přesný opak, tedy směrem vzhůru se nachází dlaň.

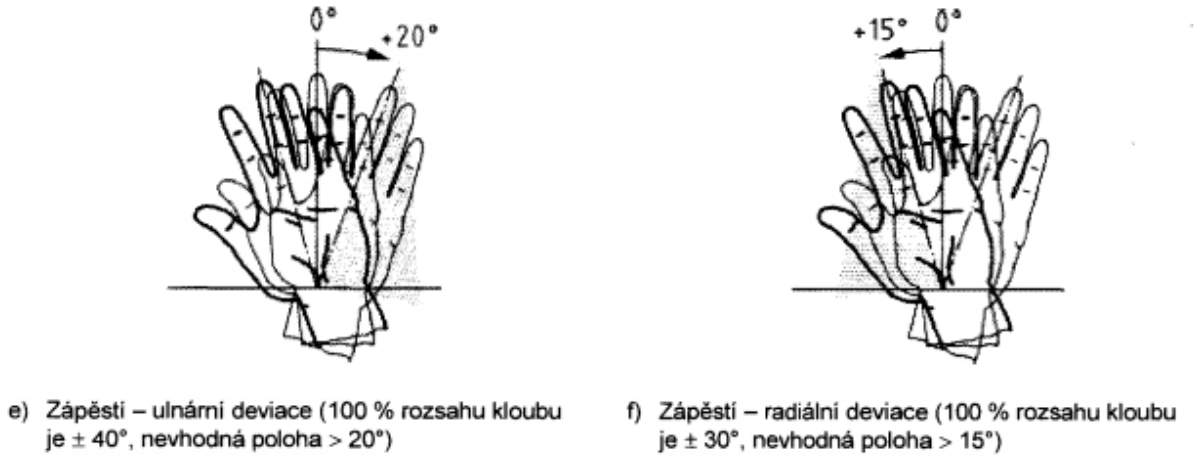
Obr. 1-13 b) loket zde nemá přesně danou neutrální polohu, proto je těžké usoudit, kdy nastává nevhodná poloha. Avšak rozsah loketního kloubu je jasný a to 150°

c) Zápěstí – palmární flexe (100 % rozsahu kloubu je 90°, nevhodná poloha > 45°)

d) Zápěstí – dorsální extenze (100 % rozsahu kloubu je 90°, nevhodná poloha > 45°)

Obr. 1-14 Polohy a pohyby zápěstí [20]

Obr. 1-14 zachycuje palmární flexi zápěstí – ohýbání směrem za dlaní ruky (1-14c)) a dorsální flexi neboli ohyb zápěstí za hřbetem ruky (1-14d)). Maximální rozsah zápěstního kloubu je 90°, v obou případech nastává nevhodná polohy již pře 45°.



e) Zápěstí – ulnární deviace (100 % rozsahu kloubu je ± 40°, nevhodná poloha > 20°)

f) Zápěstí – radiální deviace (100 % rozsahu kloubu je ± 30°, nevhodná poloha > 15°)

Obr. 1-15 Polohy zápěstí [20]

Obr. 1-15 e) Ulnární deviace je pohyb v zápěstí směrem za malíkem, v tomto pohybu je rozsah zápěstí 40°, nevhodná poloha při více než 20°.

Obr. 1-15 f) Ukázka radiální deviace, tedy pohybu zápěstí směrem za palcem. Při tomto pohybu je rozsah zápěstí menší a to okolo 30°, nevhodná poloha pak od 15°.

2 Měřicí technika

Následující kapitola bude zaměřena na měřicí techniku, která bude použita pro snímání dat v praktické části.

2.1 EMG Biometrics

Společnost Biometrics Ltd. je světovou jedničkou v oblasti technologicky vyspělých senzorů, nástrojů a softwarů v oblasti biomedicínského a inženýrského výzkumu, rehabilitace a vzdělávání. Věnuje se výzkumu a výrobě bezdrátových přístrojů a senzorů pro analýzu dynamických pohybů a vývoji počítačových softwarů pro vyhodnocení výkonu klinické rehabilitace. [24]

Počátky společnosti se datují do roku 1991. Od této doby jsou jejich senzory využívány ve velké míře po celém světě. Systémy jsou preferovány především pro svoji rychlou přesnou a snadnou aplikaci při sledování pohybu kloubů. Výsledky jsou rovněž dynamické a velmi přesné. Systémy společnosti Biometrics Ltd. také lze velmi snadno integrovat s dalšími systémy jiných výrobců a umožňují tak pohodlnou vzájemnou synchronizaci získaných dat. Výrobky společnosti Biometrics Ltd. pro sledování namáhání a pohybu kloubů, lze rozdělit do dvou skupin, a to na snímače a systémy a programovatelné sběrače dat. [24]

Snímače a systémy označuje společnost Biometrics Ltd. jako DataLite a nabízí je i v bezdrátové variantě. Obsahují multisenzorový vstup včetně goniometrů a pokročilé schopnosti snímání EMG na povrchu kloubu. Programovatelné sběrače dat jsou společností označovány jako DataLog a DataLink. Jedná se o více kanálové programovatelné sběrače dat, které mají, podobně jako snímače a systémy, mulitsenzorový vstup. [24]

2.1.1 Programovatelné přenosné sběrače dat – DataLog

Jedná se o komplexní balíček senzorů a přístrojů pro statické a dynamické měření v klinickém prostředí, v kanceláři či jiném pracovním prostředí. Obsahují přenosnou jednotku snímání dat MWX8 DataLog. Samotný DataLog je nejnovější technologií v oblasti získávání dat, přenosu dat a sledování lidských výkonů v průmyslové ergonomii. Tento přístroj obsahuje malou lehkou baterii, barevný grafický LCD displej, joystick, rozhraní microSD karty a bezdrátové připojení k počítači přes Bluetooth. Při samotném měření ho lze umístit na rameno, nohu či trup tak, aby pozorovaného nijak nerušil a neomezoval. K zařízení lze připojit různé goniometry a senzory. [24]

Obr. 2-1 Komplexní balíček Biometrics DataLog [24]

2.1.2 EMG senzory

EMG senzory společnosti Biometrics Ltd. nabízejí řadu typů přenosných senzorů. Jsou dostupné ve třech verzích [24]:

- Povrchový senzor EMG, který má integrované elektrody s pevnou vzdáleností 20 mm. U tohoto senzoru není při aplikaci nutná žádná kožní příprava či vodivé gely. Jednoduše se aplikuje pomocí speciálně vyříznuté lepicí pásky rovnou na sval.

Obr. 2-2 Snímací elektroda [24]

- Bezdrátový povrchový senzor EMG s integrovanými elektrodami s dosahem až 40 metrů.
- Bezdrátový EMG Amplifier, který využívá jednorázové elektrody a má variabilní vzdálenost elektrod, maximální vzdálenost mezi elektrodami je 170 mm, minimální závisí na velikosti použitých elektrod.

Obr. 2-3 Ukázka aplikace senzoru na předloktí [24]

2.1.3 Goniometry

Goniometry spadají do oboru goniometrie, což je biomechanická metoda, která slouží k měření úhlů rozsahu pohybu kloubů. Tato metoda se používá v oblasti fyzikální terapie k měření jak aktivního, tak pasivního rozsahu pohybu. Z toho důvodu jsou goniometry vyráběny v různých tvarech a velikostech, aby mohly zaznamenávat co největší rozsah pohybu daného kloubu. [25]

Goniometry společnosti Biometrics Ltd. jsou flexibilní a lehké senzory, které mohou být nošeny pod oblečením. Je zaručeno, že se samotný spoj nehne. Jsou k dostání v několika kanálových konfiguracích nebo plně přenosné v komplexním balíčku. [24]

Obr. 2-4 Měření pomocí goniometrů [24]

Co se měření kloubů na horních končetinách týče, jsou nejvyužívanější tyto přístroje[24]:

- Jednoosé torsiometry - jsou určeny pro měření rotace v jedné rovině.
- Jednoosý elektrogoniometr - měří úhly pouze v jedné rovině, je určen například k měření ohybů a prodloužení prstů.
- Dvouosý elektrogoniometr, který současně měří úhly až ve dvou rovinách pohybu.

Obr. 2-5 Dvouosý elektrogoniometr [24]

Například u měření pohybů zápěstí jsou koncové body připevněny na hřbet ruky pomocí pásky a na středovou linii předloktí. Aplikace probíhá v neutrální poloze. Má dva samostatné výstupní konektory – jeden měří flexi a prodloužení a druhý radiální a ulnární odchylku. Pro měření pohybů jiných kloubů se používají principově stejné goniometry avšak s rozdílnou velikostí.

U goniometrů je aplikace obdobná jako u elektrod. Připevňují se pomocí oboustranné lepicí pásky ke kůži a následně se ještě zajistí jednostrannou páskou či pružnou bandáží.

Goniometr je připevněn do středu rotace kloubu, tak aby mohl odečítat úhly při ulnární a radiální deviaci či palmární flexi a dorsální extensi. Senzory mají přednastavené osy měření těchto pohybů.

2.2 EMG Holter

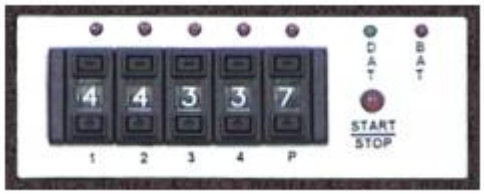
EMG Holter je přístroj, který byl vyvinut pro hodnocení lokální svalové zátěže horních končetin, konkrétně svalů předloktí. Snímá elektrické potenciály ze zatěžovaných svalů při pracovním úkonu. Umožňuje také celosměnový záznam čtyř EMG signálů a pulsní frekvence. Během snímání EMG jsou ukládány integrální hodnoty a frekvence EMG signálů. Přístroj také obsahuje volný DC kanál pro připojení dalšího vnějšího modulu například pro měření teploty. Veškeré snímané hodnoty jsou ukládány do interní paměti přístroje, která umožňuje zaznamenávat data ze všech 4 kanálů až po dobu 17-ti hodin. Takto uložená data se po skončení měření přenáší do počítače k dalšímu hodnocení. [26] [27]

Samotný Holter je malá kompaktní jednotka z ocelového plechu tloušťky 0,8 mm, která zajišťuje vysokou odolnost a zároveň chrání elektroniku přístroje proti elektromagnetickému a elektrostatickému rušení. EMG svody jsou připojovány prostřednictvím konektorů, jejichž konstrukce zabraňuje samovolnému uvolňování a následnému přerušení snímání dat. Do jednoho svodu jsou instalovány dva EMG kanály, což snižuje počet kabelů a zjednodušuje tak samotné snímání.[26]

Obr. 2-6 EMG Holter [26]

2.2.1 Konstrukce a charakteristika

Systém se skládá z několika částí - samotný Holter, dva dvojité EMG moduly, interface a externí modul. Měřící jednotka Holter obsahuje digitální a analogovou část. Na přední straně jsou umístěny hlavní ovládací a signalizační prvky. Jedná se o sestavu 5 přepínačů, kterými je nastavována citlivost signálů, která má 10 stupňů a je znázorněna číslicí. Dále se je zde tlačítko START/STOP, kterým je spouštěna a ukončována činnost přístroje.



Obr. 2-7 Sestava přepínačů k nastavení citlivost [26]

Vrchní část slouží k připojení konektorů s dvojitými kanály označeny EMG 1,2 a EMG 3,4. Je zde také umístěn konektor DATA, který slouží k připojení interface a tím připojení k PC. Stisknutím tlačítka MARKER, se zavádí značka do EMG záznamu. Lze si tak například oddělovat jednotlivé úkony pro další přehlednost. Tlačítko RESET nastavuje výchozí podmínky činnosti přístroje.

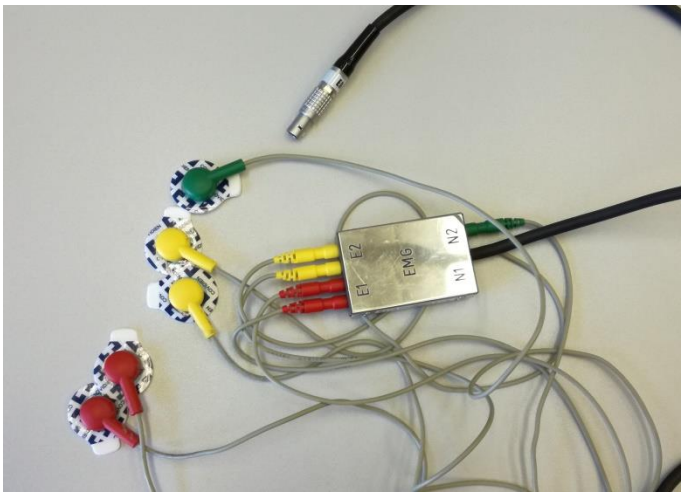
Obr. 2-8 Horní panel Holteru [26]

Moduly se připojují pomocí konektorů, jejichž správné natočení pro připojení je označeno červenou tečkou, která má být v jedné rovině s červenou tečkou na čelním panelu Holteru. Samotné konektory jsou zajištěny pojistkou proti náhodnému vytažení. Holter se k počítači propojuje pomocí interface, který je opět připojen konektorem k portu PC. Zapnutí interfacu signalizuje zelená kontrolka, která indikuje nabití baterie. Výdrž baterie je min 50 hodin čistého provozu.

Dolní část je prostor pro vložení držáku na akumulátory či baterií – 4x typu AA. Celá jednotka je dodávána s koženou brašnou, která díky ramenním a bederním páskům připevňuje Holter na sledovanou osobu. [26]

2.2.2 Elektrody

Stejně jako u předchozího přístroje jsou pro snímání elektrických potenciálů použity snímací elektrody. Elektrody jsou na kůži vybraného svalu připevňovány pomocí jednorázových gelových náplastí. Lze je však ještě zafixovat zdravotní lepicí páskou. Celá sestava – pouzdra zesilovačů, kabelů a elektrod se zajišťuje na tělo vyšetřované osoby pomocí pružné bandáže. [26]



Obr. 2-9 Elektrody a svod Holteru

2.3 Jamar Plus+ dynamometr

Jamar Plus+ je ruční dynamometr, který slouží k měření síly stisku ruky u pozorovaných osob. Vypočítává průměr, standartní odchylku a jasně zobrazuje výsledky v librách či kilogramech. Má snadno čitelný digitální displej, takže zde není potřeba žádný další přístroj pro čtení výsledků. Zobrazuje sílu úchopu v rozsahu od 0 do 90 kg. Lze u něj snadno nastavit rukojeť na jednu z pěti poloh, tak aby odpovídala a padla každé ruce uživatele. Pracuje na dvě baterie AAA. [29]

Obr. 2-10 Siloměr Jamar Plus+ [29]

3 Praktická část

V této kapitole bude popsán návrh experimentu a příprava přístrojů na měření. Poté samotný průběh měření, včetně poloh horních končetin u zkoumaných osob a chyb, které se při měření vyskytly. Později navážu postupem zpracování dat z obou přístrojů, představím výsledky a na závěr proběhne porovnání výstupů a zhodnocení celého experimentu.

3.1 Návrh experimentu

Cílem celého měření a této práce je porovnání výstupních dat z přístrojů EMG Holter a Biometrics DataLog a zjištění zda jsou tyto výstupy srovnatelné, popřípadě, jaké mají odlišnosti a možnosti využití.

Bude provedena série identických měření na zkušebních osobách – mužích i ženách, ve stejných polohách a podmínkách. Měření bude probíhat za pomoci výše zmíněných přístrojů, jejichž výsledky se budou porovnávat.

Skladba průběhu měření bude následující. Za použití snímacích elektrod obou přístrojů bude snímán elektrický potenciál zatěžovaných svalů (flexoru a extenzoru) předloktí obou paží. K zatížení svalů bude využita síla stisku měřena siloměrem a to v jednotlivých polohách paží a zápěstí. Polohy byly zvoleny tak, aby korespondovaly s nejčastěji využívanými polohami úchopu a stisku předmětů nejen v pracovním prostředí, ale také běžném životě.

Základní polohy pro měření EMG paží jsou čtyři - ruka s loktem v pravém úhlu co nejvíce u těla, nadhmat, podhmat a předpažení. U měření zápěstí se jedná o polohy palmární flexe, dorsální extenze a ulnární a radiální deviace.

Síla stisku je zvolena s ohledem na pohlaví zkušebních osob. U měření potenciálu v pažích ve čtyřech základních polohách je u žen rozmezí síly stisku 10 – 30 kg, u mužů 10 – 40 kg. Co se týče zátěže zápěstí, tam je zvolena poloha bez zátěže, s 2 kg a se 4 kg a to v různých úhlech. V polohách palmární flexe a dorsální extenze v úhlech 0°, 15° a 30°. U ulnární deviace, pohyb směrem za malíkem, v polohách 0°a 20°, a u radiální deviace, což je pohyb za palcem, v polohách 0° a 15°. Jednotlivé úhly při zátěži zápěstí budou zjišťovány a kontrolovány pomocí goniometrů.

Zkušební vzorek se bude skládat z 20 zkušebních osob, kdy bude měřeno 15 mužů a 5 žen ve věkovém rozmezí 23-27 let.

3.2 Příprava přístrojů na měření – Holter

V dalších kapitolách je popsáno zapojení a nastavení přístrojů. Prvním připojeným přístrojem je Holter. Důvodem tohoto postupu je příprava pokožky rukou a taky více elektrod a celkově kabelů, které je potřeba připevnit na zkušební osobu. Jinak připojení přístroje Holter a aplikace elektrod zabere pár minut.

3.2.1 Aplikace elektrod

Výsledek měření je ovlivněn správným nalepením elektrod a jejich přilnutí ke kůži vyšetřované osoby. Pokožku je proto třeba pečlivě odmastit a očistit abrazivním gelem. Každá elektroda je na ruce připevněna pomocí jednorázových gelových lepicích kroužků, přicvaknutých k elektrodě. Na jednu ruku se lepí celkem pět elektrod, které jsou barevně rozděleny. Zelená elektroda je zemnící a je lepena na kost lokte vyšetřované ruky. Dvě červené elektrody jsou lepeny na flexory předloktí, tak aby vzdálenost středů elektrod byla 2-3 cm. Dvě žluté elektrody se lepí stejným způsobem, avšak na extenzory předloktí. Pomůckou pro správné místo k nalepení elektrod na sval je opakované zatínání a uvolňování pěsti zkoumané osoby. Při tomto pulzování jsou zapojovány právě flexory a extenzory, pomocí pohmatu lze snadno nalézt vrcholy těchto svalů a tedy správné místo, kam elektrody nalepit. Stejný postup je na obou rukách.

3.2.2 Připojení svodů a elektrod k přístroji

Po aplikaci elektrod je dalším krokem jejich připojení k přístroji. Připojují se do zdířek předzesilovačů EMG označených nápisy E 1,2 a E 3,4. Každý z předzesilovačů má živé vstupy, do nichž se přivádí elektrické potenciály snímané elektrodami ze zkoumaného svalu. Předzesilovače a elektrody jsou připojeny pomocí konektorů k přístroji s označením EMG1,2 a EMG 3,4. Předzesilovače jsou spolu s kabely od snímacích elektrod zajištěny na ruce pozorované osoby promocí pružné bandáže.

3.2.3 Nastavení citlivosti

Po propojení elektrod s přístrojem je třeba nastavit citlivost měření EMG modulů. Nejnižší citlivost je označena číslicí 1, nejvyšší číslicí 9 na ukazateli přepínače. Při přidávání dalšího stupně citlivosti dává následující stupeň dvojnásobek citlivosti předchozího. Vhodná citlivost je odvíjena od svícení červené LED diody umístěné nad přepínačem. Při maximální síle začne dioda svítit. Nastavujeme o jeden stupeň nižší, než když začala svítit červená dioda. U předloktí je vhodná citlivost v rozsahu 6 až 8.

3.2.4 Připojení k počítači

Spojení s počítačem poskytuje INTERFACE, který je opatřen kabelem a zasunut do USB konektoru počítače.

3.2.5 Nastavení Fmax

Amplituda EMG záznamu vyjadřuje procentuální velikost vynakládané svalové síly z maximální výchylky Fmax zaznamenané před vlastním měřením. Amplituda je vykreslována v programu na PC po připojení Holteru. Měření Fmax se provádí před samotným snímáním dvakrát pomocí dynamometru. Jako 100% Fmax je nejvyšší hodnota odečtená z obou pokusů. [27]

Po stanovení Fmax je pak možné začít samotné snímání EMG. Amplituda je zaznamenávána do paměti přístroje, připojeného na těle pokusné osoby, která vykonává stanovený počet pohybů v různých polohách a s různým závažím. Výsledkem je graf (amplituda), který udává průměrné procento vynakládaných sil z 100% Fmax na jednotlivé úkony. [27]

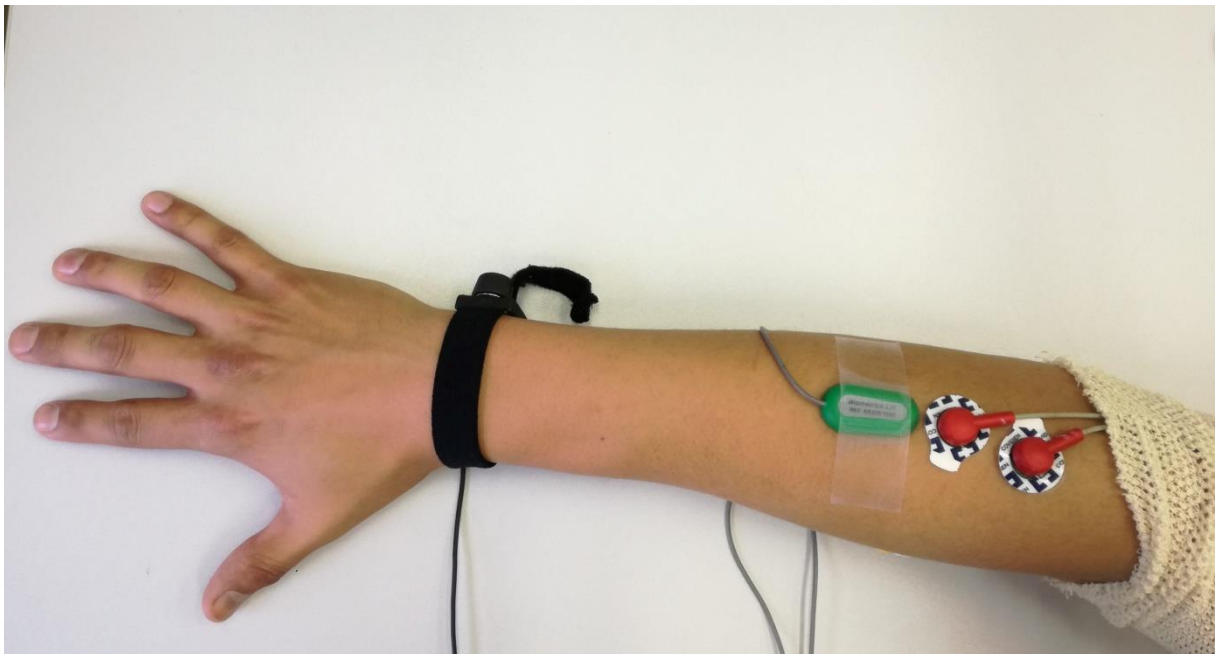
3.3 Příprava přístrojů na měření - Biometrics DataLog

Příprava přístroje Biometrics DataLog je snadnější a rychlejší. Stejně tak i aplikace snímacích elektrod.

3.3.1 Připojení elektrod

Připojení elektrod Biometrics má pár jednoduchých zásad, které umožňují měření. První se vždy aplikuje zemnící elektroda. V tomto případě je elektroda přicvaknuta na gumičce, která se připne na zápěstí, v místě kde vystupuje kost loketní (zápěstí). Výstup elektrody je zapojen do digitálních vstupů na vrchní části hardwaru DataLog.

Samotné elektrody se lepí pomocí zdravotní lepicí pásky podélně doprostřed vyšetřovaného svalu. V našem případě pod elektrody Holteru. Není potřeba žádná zvláštní příprava, kůže by však měla být omytá mýdlem a teplou vodou. Elektrody jsou zapojeny do analogových vstupů 1(flexor) a 2 (extenzor) hardwaru.



Obr. 3-1 Ukázka aplikace zemnící elektrody a elektrod na flexoru

3.3.2 Připojení k počítači, nastavení přístroje

Přístroj je k počítači připojován pomocí bluetooth. Data se ukládají buď do paměti počítače, nebo na SD kartu přístroje. Možná je kombinace obojího. Veškeré změny se dají nastavit jak v programu DataLog, tak i na LCD displeji přístroje. Důležitým krokem je nastavení citlivosti a vzorkovací frekvence. Citlivost kanálů se volí z rozmezí 1mV – 6V. Pro měření na předloktí je nastavena citlivost 1V. Vzorkovací frekvence se volí pro kanál v rozmezí 1Hz – 20 KHz a

vyjadřuje také přesnost snímaných hodnot. Pro měření svalů předloktí byla zvolena vzorkovací frekvence 500Hz, tzn. snímání 500 hodnot za vteřinu.

Po připojení elektrod a zapnutí přístroje je třeba vynulovat všechny kanály. Poté proběhne rychlý test správnosti nalepení elektrod, kdy vyšetřovaná osoba pulzuje pěstí. V programu se vykreslují amplitudy snímaného elektrického potenciálu v zapojovaných svalech. Pokud se amplituda vykreslí správně, nic nebrání začátku samotného měření.

3.4 Průběh měření

Po aplikaci elektrod a nastavení přístrojů je pozorovaná osoba spravena o samotném měření. Principem měření je stlačování siloměru JAMAR PLUS+ na různé síly ve čtyřech základních polohách. Kvůli nedostatku snímacích elektrod u Biometrics DataLog byla nejprve měřena pravá ruka, po přelepení elektrod se přešlo na ruku levou. První základní polohou je ruka s loktem v pravém úhlu co nejvíce u těla. Základní proto, že se v ní naměřují hodnoty Fmax pro Holter. V praxi náměr probíhá tak, že zkoumaná osoba stiskne siloměr nejvyšší silou, která je možná za dodržení dané polohy. Tyto náměry mají dva pokusy, kdy se ruce střídají. Nejvyšší dosažená síla se uvede do snímaných hodnot.

Po náměru Fmax je odpojen INTERFACE Holteru, kvůli lepší pohyblivosti osoby. Data během měření se ukládají do interní paměti přístroje. Po stisknutí MARKERU na Holteru a startu měření na DataLogu je měření zahájeno a již se na oba přístroje zaznamenává EMG signál. Do náměrové tabulky je zaznamenán čas začátku měření.

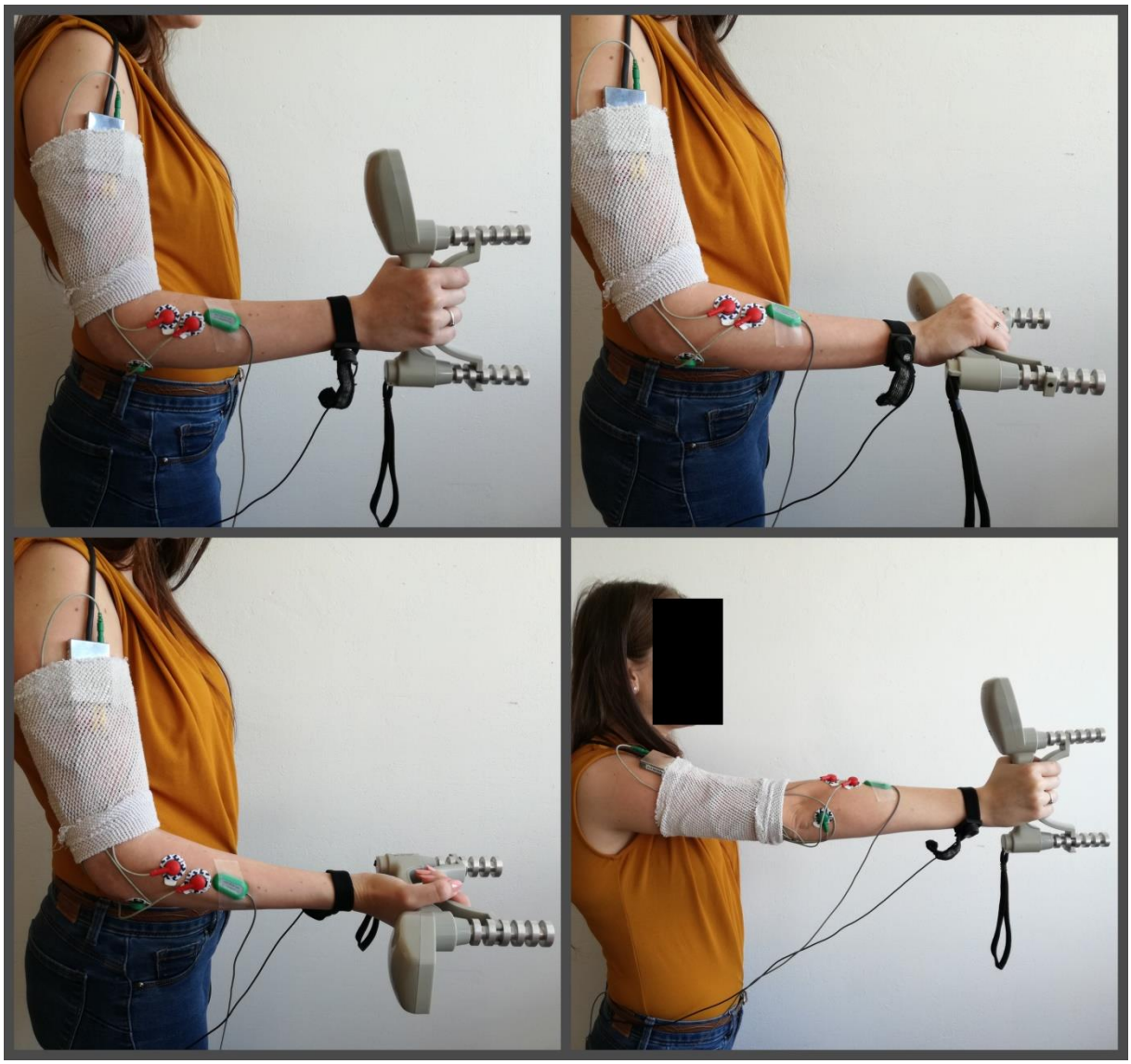
V návrhu experimentu byly zvoleny polohy paží a zápěstí včetně zatěžovaných sil. V počátku měření však bylo zjištěno, že ne všechny zkušební osoby mají dostatek síly na mnou vymezené rozsahy stisknutí siloměru, nebo jsou naopak tyto rozsahy příliš malé – např. u mužů. Z toho důvodu byly tyto rozsahy pozměněny a individuálně pro každou osobu dosahovány v průběhu měření.

Namačkávání sil musí být pozvolné, kvůli zaznamenávání do náměrové tabulky a pozvolnému zatěžování sledovaných svalů. V základní poloze se u mužů namačkává síla 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg a MAX. U žen je to o něco méně – 10 kg, 20 kg a MAX. Tyto hodnoty se individuálně odvíjejí od namáčknuté hodnoty Fmax na počátku měření, takže u slabších mužů či naopak silnějších žen se tyto hodnoty mohou měnit. Po každém stisku se na Holteru mačká tlačítko MARKER, kvůli ohraničení jednotlivých poloh či stisknutí. Několikanásobné zmáčknutí signalizuje opakování náměru, či jinou chybu během měření. Mezi jednotlivými silami a polohami je cca 3-5 vteřinový odpočinek.

Následuje poloha nadhmat, kdy je loket osoby v pravém úhlu a hřbetem ruky vzhůru. Zde je potřeba dohlédnout na správnou polohu zápěstí – v rovině, bez rotace a loket co nejblíže k tělu. V této poloze se u mužů namačkává síla 10 kg, 20 kg, 30 kg a MAX, u žen pouze 10 kg, 20 kg a MAX.

Další polohou je podhmat. Loket zkoumané osoby je stále v pravém úhlu, avšak dlaní vzhůru, stále s loktem co nejblíže tělu. V této poloze se u mužů namačkává síla 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX, u žen pouze 10 kg, 20 kg a MAX.

Poslední polohou je předpažení, kdy pro změnu rameno svírá s tělem úhel 90°. Ruka nesmí být vyosená. V této poloze se u mužů namačkává síla 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX, u žen pouze 10 kg, 20 kg a MAX.



Obr. 3-2 Základní polohy během měření

Po posledním záznamu do náměrové tabulky je zastaveno snímání hodnot u obou přístrojů. Hodnoty jsou staženy a uloženy do interní paměti počítače k dalšímu zpracování. Následuje odlepení a očištění elektrod Biometrics z pravé ruky. Elektrody jsou poté aplikovány pomocí nového útržku lékařské pásky na levou ruku pozorované osoby. S elektrodami Holter se nehýbe a stejně tak není třeba žádné přenastavování přístroje, před začátkem měření se pouze znovu zmáčkne MARKER. Po vynulování kanálů u DataLogu je možné spustit měření pro levou ruku, které má stejný výše zmíněný postup. Náměr jedné ruky trvá 7-10 minut, celé měření pak 20-25 minut.

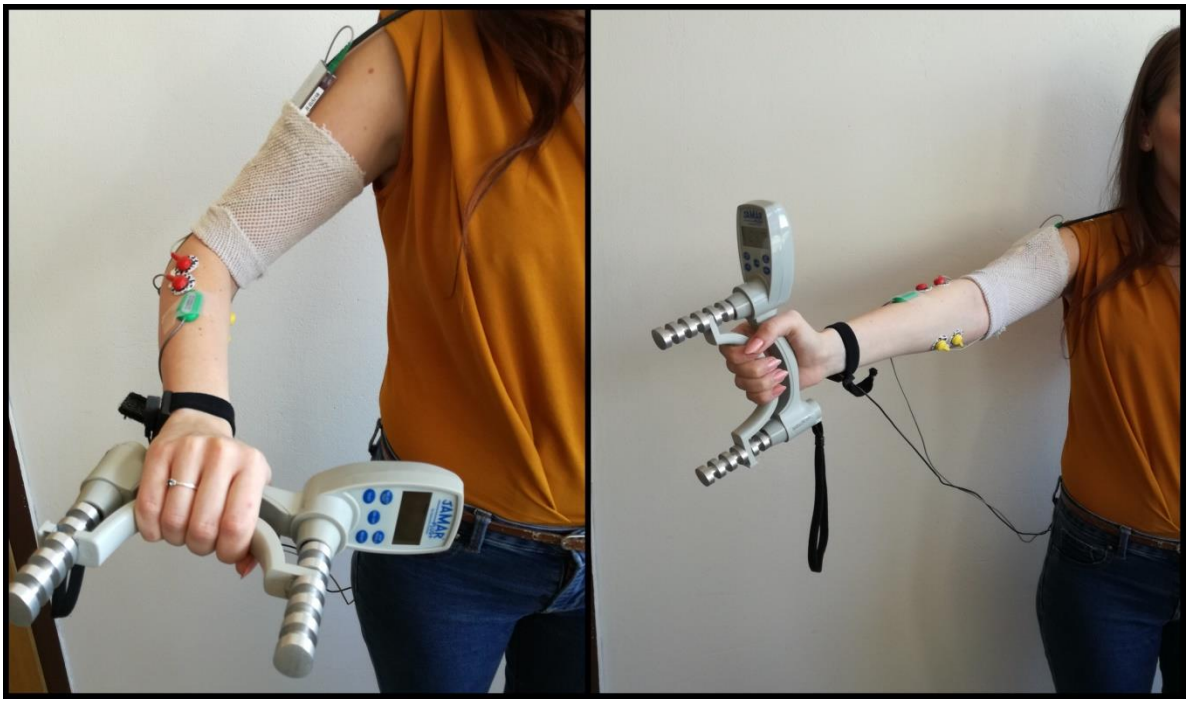
3.5 Problémy během měření

Při náměrech jsem si všimla řady chyb a nedostatků, které mohou měření zkreslovat. Všechny z nich souvisí se siloměrem JAMAR PLUS+. Povrchu úchopné části siloměru není nijak upraven – hladký plast s univerzálními prohlubněmi na prsty. Už při druhém pokusu náměru Fmax si řada zkoumaných osob stěžovala na špatný úchop a skřípnutí kůže dlaně.

Dalším problémem bylo pocení dlaně během měření, které mělo za následek časté otírání dlaně. Samotné otírání se samozřejmě projevilo i na amplitudě EMG křivky. Otírání se stupňovalo s trváním náměru. U mužů pocení způsobovalo také špatný úchop a klouzání rukojeti při namačkávání vyšších a maximálních sil.

U siloměru bylo po každém stisku nutné ho resetovat a znovu nastavit na test. Ne vždy však přístroj reagoval a tak řada stisků musela být opakována. Je tak vidět i z některých křivek EMG. Všechny tyto skutečnosti byly zaznamenávány do náměrové tabulky, aby na ně byl při vyhodnocování brán zřetel.

Poslední chybou v průběhu měření bylo samotné dodržení vytyčených poloh. Největší problém dělalo zkušebním osobám udržet loket u těla u základní polohy a nadhmatu. V poslední poloze, předpažení, často ruku vyosovaly do strany či rameno nesvíralo úhel 90°. Podhmat byl asi nejlépe prováděnou polohou.

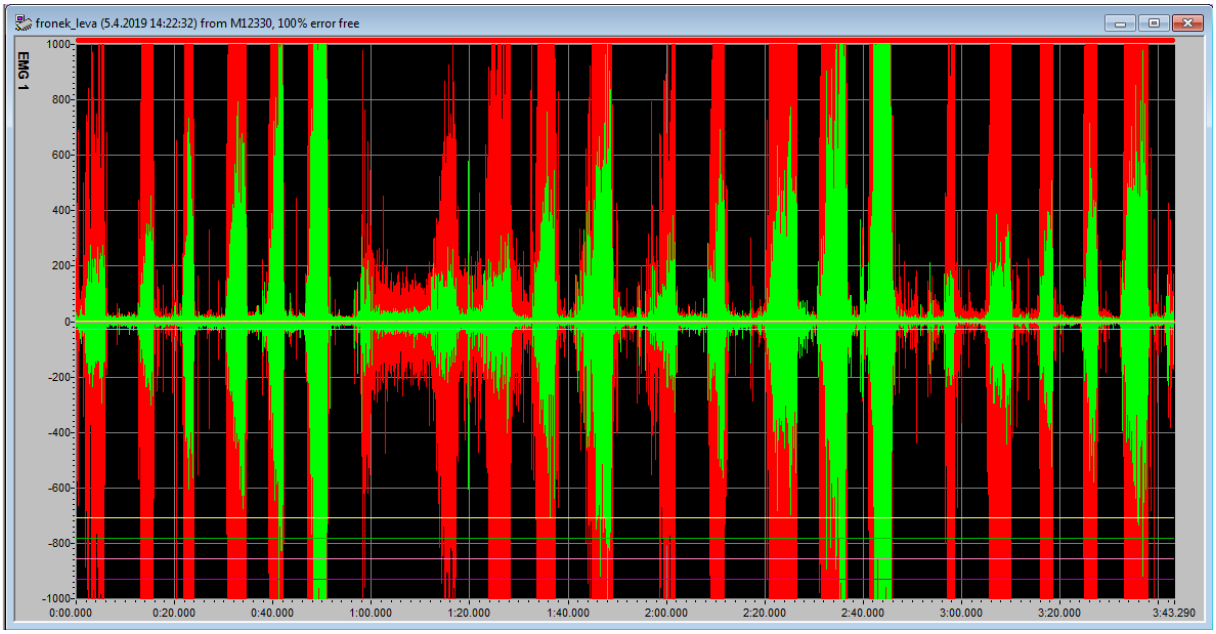


Obr. 3-3 Chybně prováděné polohy – nadhmat a předpažení

V rámci zjednodušení také nebyly používány goniometry, zmíněné v návrhu experimentu. Důvodem bylo, že připojení goniometrů nemělo žádnou vypovídající hodnotu pro výsledky porovnání přístrojů – Holter měří čistě EMG a nemá rozšíření na snímání polohy kloubů. S návazností na nepoužití goniometrů bylo také upuštěno od snímání potenciálu ve zmíněných polohách zápěstí.

3.6 Výsledek měření a zpracování dat

Po ukončení měření a uložení snímaných dat je dalším krokem jejich zpracování. Z přístroje DataLog vystupují hodnoty formou poznámkového bloku, který je určen pouze pro čtení. Dokument je naplněn informacemi o začátku a konci měření a používaných kanálech. Pro zobrazení amplitudy je nutné tento dokument otevřít v programu DataLog. Červená amplituda je pro kanál EMG 1 a zelená pro EMG 2.



Obr. 3-4 Ukázka vykreslení amplitudy EMG 1 a EMG 2 v programu DataLog

Druhým, pro další práci klíčovým, výstupem je tabulka dat, vygenerovaná z programu.

fronek_leva_tab – Poznámkový blok

Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda

```
File Name: fronek_leva.log
Channel 1: 'EMG 1', 111646 values, raw ADC, no filters.
Channel 2: 'EMG 2', 111646 values, raw ADC, no filters.
Digitals combined (event=16, d=8, c=4, b=2, a=1): 111646 values, .

906     -55     31
53      26      31
18      41      31
-62     28      31
-91     28      31
-38     27      31
-4      20      31
-86     -4      31
-161    -35     31
-166    -16     31
-181    -16     31
-172    -15     31
-181    -20     31
-183    -6      31
-169    -7      31
-143    -24     31
-173    -34     31
-115    2       31
```

Obr. 3-5 Výstupní hodnoty z Biometrics DataLog

V ní jsou již zaznamenané jednotlivé hodnoty elektrických potenciálů naměřených pomocí elektrod. V hlavičce jsou zaznamenané informace o používaných kanálech – Channel 1: EMG 1 je pro elektrodu umístěnou na flexoru, Channel 2: EMG2 pro elektrodu na extenzoru. Rovněž první sloupec hodnot patří k EMG 1, prostřední k EMG 2 a poslední je výčet hodnot ze zemnící elektrody.

Výstupní hodnoty z kanálů EMG 1 a EMG 2 jsou zkopírovány do MS Excel. Celkový počet hodnot závisí na délce měření při snímání 500 hodnot za vteřinu. Avšak dá se uvést, že počet hodnot se pohybuje v řádech desetitisíců až statisíců. Holter nabízí pouze přesnost jednoho snímku za vteřinu, takže výstupem je mnohem méně hodnot.

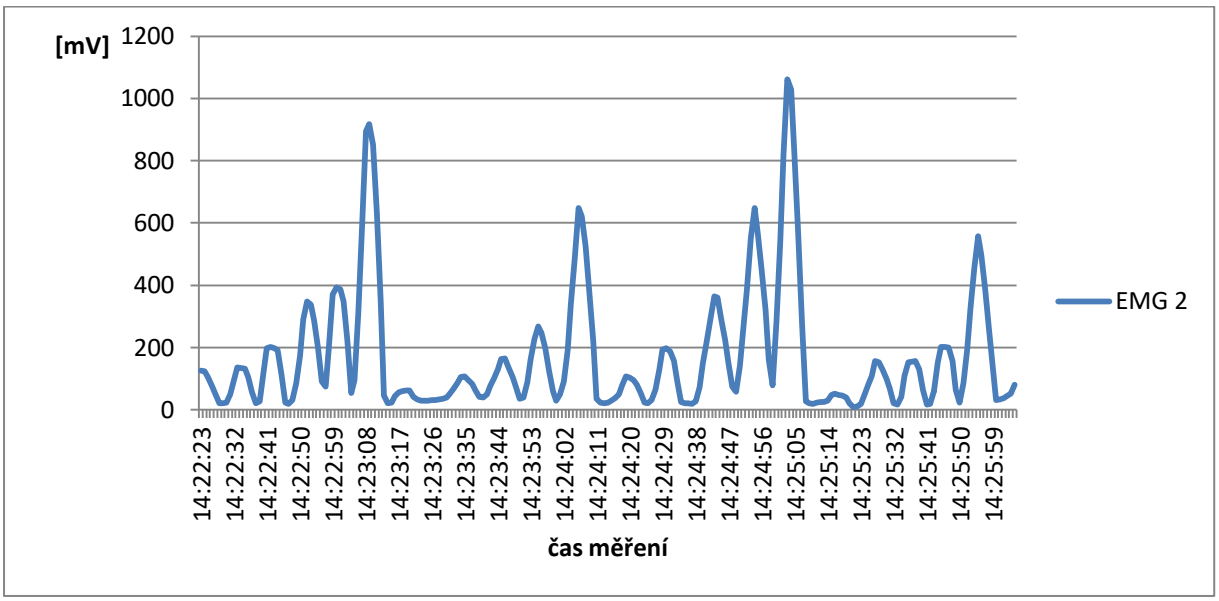
Právě pro další porovnání s hodnotami z Holteru bylo nutné hodnoty z DataLogu zredukovat na jeden snímek za vteřinu. To bylo provedeno v Excelu. Hodnoty byly očíslovány a pomocí funkce absolutní hodnoty ABS převedeny do kladného tvaru. Následně bylo zprůměrováno každých 500 hodnot (jedna vteřina měření) na jednu hodnotu, která byla přefiltrována do samostatného sloupce. Dodáním doby měření z prvního výstupního bloku, vznikne tabulka hodnot, ze které může být vygenerován graf EMG křivky pro porovnání s Holterem.

D2 | =KDYŽ(MOD(A2;500)=0;PRŮMĚR(C2:C2501);0)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		EMG2	ABS	MEAN 500		MEAN 500		
2	1	-55	55	0		>0		
3	2	26	26	0				
4	3	41	41	0				
5	4	28	28	0				
6	5	28	28	0				
7	6	27	27	0				
8	7	20	20	0				
9	8	-4	4	0				
10	9	-35	35	0				
11	10	-16	16	0				
12	11	-16	16	0				
13	12	-15	15	0				
14	13	-20	20	0				
15	14	-6	6	0				

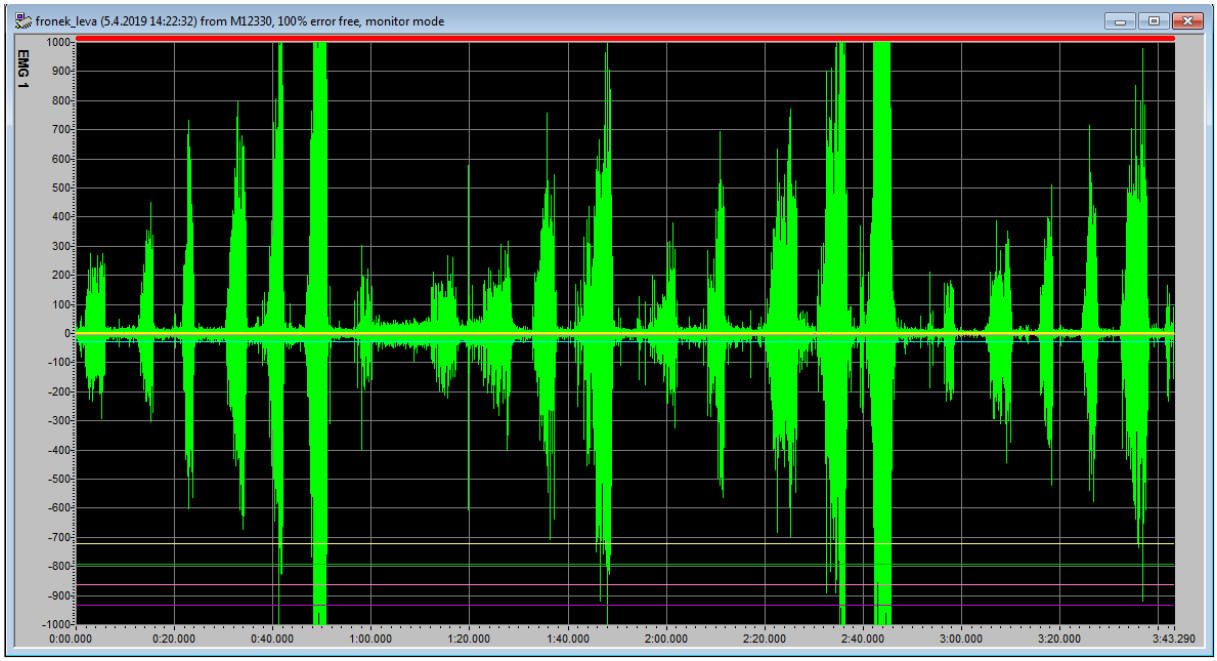
Obr. 3-6 Vzorec použitý pro získání průměrných hodnot

Pro každou ruku bylo nutné vytvořit 2 samostatné listy s postupem v Excelu a to pro hodnoty z EMG 1 a EMG 2. Výstupem jsou tedy 4 grafy, které budou porovnávány s výstupy Holteru.



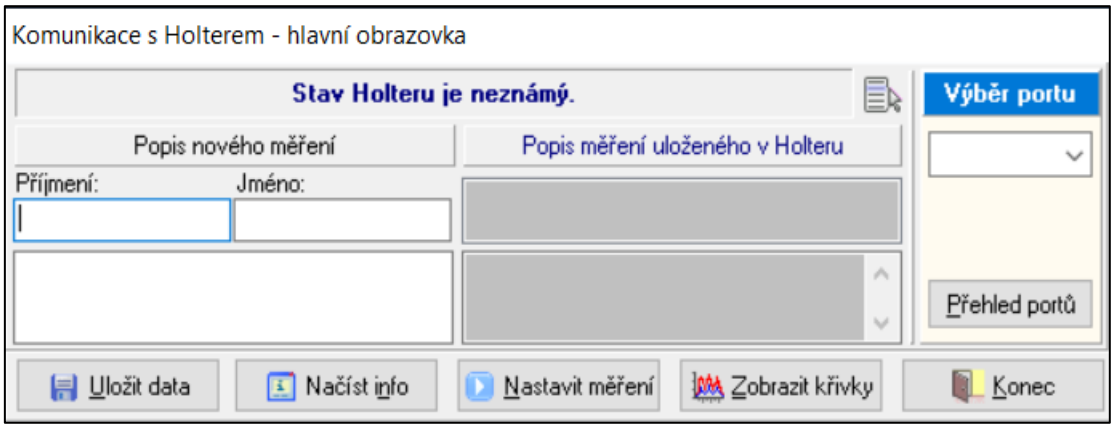
Obr. 3-7 Ukázka vykreslení křivky v Excelu pro EMG 2

Pro porovnání grafu EMG z Excelu je nutné se přesvědčit, zda byl vykreslen stejně, jako amplituda potenciálu vykreslená v programu Biometrics DataLog. Zde je více než zřetelně vidět, že křivka se vykreslila stejně a je poměrně snadné z ní odhadnout ohraničení jednotlivých poloh a prováděných stisků. Proto pro další porovnání bude užíván právě graf vykreslený v Excelu.



Obr. 3-8 Vykreslení amplitudy EMG 2 z programu DataLog

Po ukončení měření tlačítkem STOP na Holteru jsou data uložena do interní paměti připojeného počítače. Pro komunikaci s přístrojem se používá okno z jeho softwaru, kde se specifikují údaje o zkušební osobě. Uložená data se pak proklikem exportují do MS Excel k dalšímu zpracování.



Obr. 3-9 Komunikace s Holterem

Vzhledem k tomu, že u Holteru je možné připojit více elektrod, tak výstupy nejsou rozdělené jako u DalaLogu. Výsledkem je komplexní tabulka v MS Excel a také graf s daty z obou paží.

2	Čas	EMG 1	Frek 1	EMG 2	Frek 2	EMG 3	Frek 3	EMG 4	Frek 4	Marker
35	14:45:57	16,5	47	10	17	216	104	120,5	82	
36	14:45:58	18,5	52	12	28,5	217,5	102,5	120	67	
37	14:45:59	16,5	50,5	10	12,5	54	60,5	56,5	38	
38	14:46:00	15	48,5	9	16,5	13,5	39,5	7,5	6,5	
39	14:46:01	15	48	8,5	13	13,5	39	8	8,5	
40	14:46:02	17	45,5	9,5	14,5	16,5	34,5	24,5	37,5	
41	14:46:03	13	29,5	9,5	13,5	13,5	32	12	9	
42	14:46:04	9,5	27	6,5	2,5	14	33,5	7,5	3,5	
43	14:46:05	10	28	6,5	2	13,5	33,5	8,5	13	XXX
44	14:46:06	12	27,5	6	4	6,5	9	10	19	
45	14:46:07	4	0	5	0	3,5	0,5	6	4,5	
46	14:46:08	4	0	5	0	3	0	6	4	
47	14:46:09	4	0,5	5	0	4,5	6,5	7,5	10	
48	14:46:10	4	0	5	0	8	20	7	6	
49	14:46:11	5	7	6	0	11,5	36,5	8	9	

Obr. 3-10 Výstupní hodnoty z Holteru v MS Excel

U tabulky je zaznamenán čas po vteřinách a výstupní data EMG z jednotlivých kanálů. EMG 1 a EMG 2 jsou pro pravou ruku, EMG 3 a EMG 4 pro levou. Je zde vyznačeno také ohraničení jednotlivých poloh MARKEREM. Vzhledem k tomu, že graf vygenerovaný z programu Holteru budeme rovnou porovnávat s grafem vygenerovaným z Excelu z DataLogu, není třeba tyto hodnoty dále upravovat.

Jak již bylo zmíněno, graf obsahuje hodnoty z náměru obou paží naráz, přičemž první půlka grafu je z měření pravé ruky (obr. 3-11) a druhá půlka z měření ruky levé (obr. 3-12).

První dva segmenty jsou křivky z měření na pravé ruce, EMG 1 pro flexor, EMG 2 pro extenzor EMG 3 a EMG 4 pak pro flexor a extenzor levé ruky.

Obr. 3-11 Výstupní amplituda EMG z Holteru pro pravou ruku

Obr. 3-12 Výstupní amplituda EMG z Holteru pro levou ruku

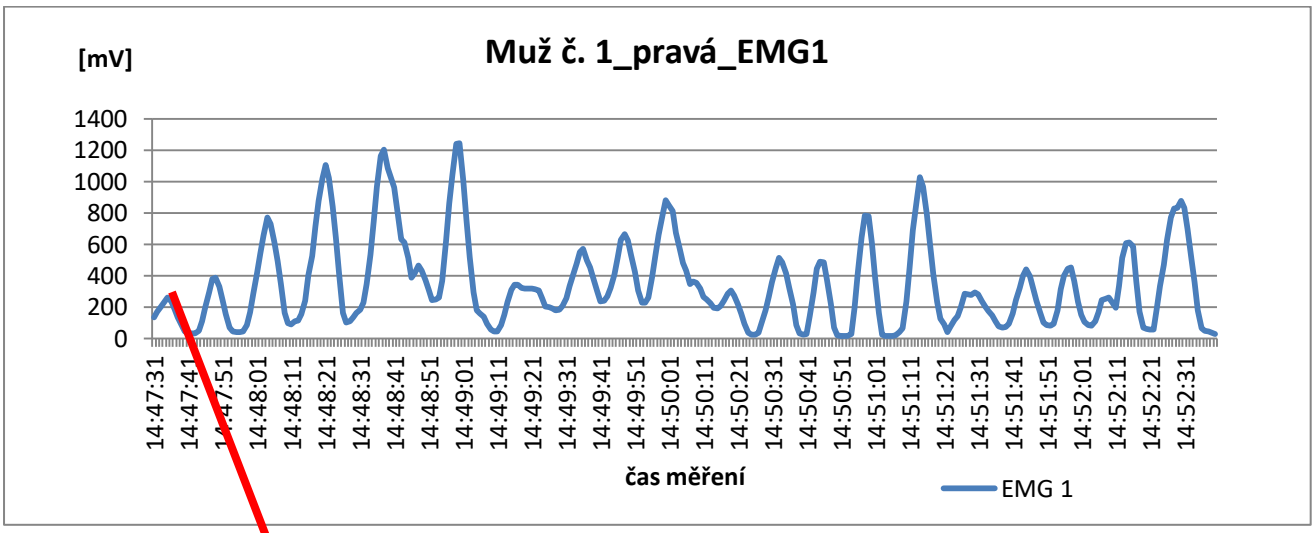
3.7 Vyhodnocení měření

Výše zmíněným způsobem byla zpracována data z obou přístrojů a výstupem bylo několik grafů a tabulky dat, které se v této kapitole budou porovnávat. První se budou porovnání podrobovat grafy z Holteru s grafy DataLogu generovanými v MS Excel. Poté se bude dále pracovat se získanými daty v tabulkové podobě a bude nastíněn další postup porovnání těchto dat. Výstupem bude zhodnocení celého měření a získaných dat.

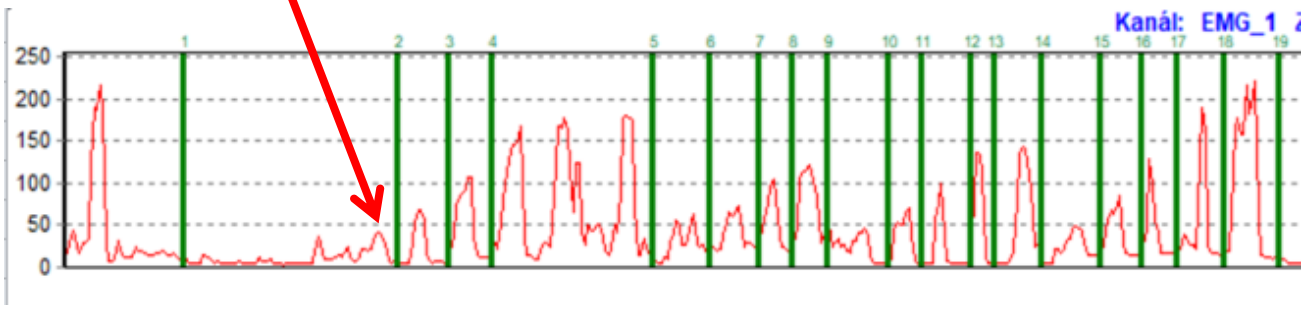
3.7.1 Porovnání průběhů a grafů

Pro porovnání průběhů amplitudy EMG jsem zvolila čtyři případy – grafy, které korespondují s průběhem celého měření. V rámci celkem malého vzorku jsem vybrala dva výsledky mužů a jedné ženy, kdy se křivka vykreslila správně a zřetelně na nich lze poznat průběh měření. Posledním příkladem bude křivka u ne moc povedeného měření, které bylo rušeno mnoha otěry.

Prvním výsledkem k porovnání je graf měření, kdy byl vyšetřovaný muž schopný na pravé ruce namáčknout veškeré síly bez opakování, chyb a problémů jako je opakovaný otěr dlaní. Zde jsou k porovnání průběhy obou grafů.



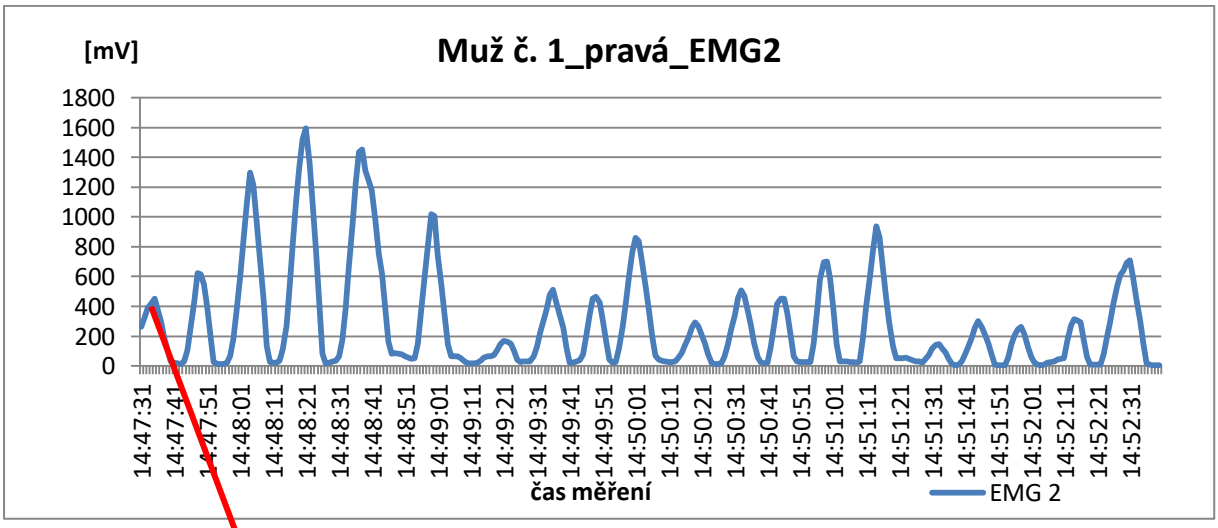
Obr. 3-13 Výsledky EMG 1 Biometrics DataLog



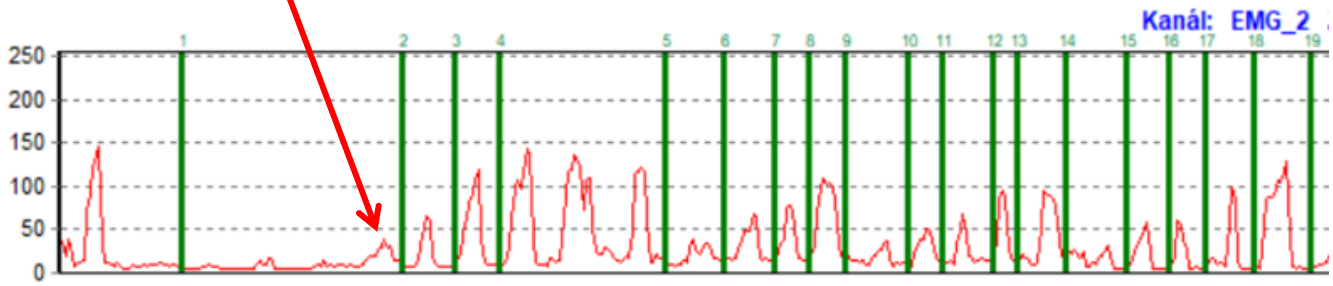
Obr. 3-14 Výsledky EMG 1 Holter

Výsledky prvního muže jsem se rozhodla porovnávat na základě kanálu EMG 1 a EMG 2. První pár grafů je pro EMG 1 což je snímání flexoru pravé ruky. Záznam z Biometrics DataLog začíná hned před prvním stiskem siloměru (obr. 3-13 a 3-15), zatímco u Holteru (obr. 3-14 a 3-16) je nutné nejdříve nastavit Fmax. Červená šipka ukazuje začátek měření, odkud se již křivka dá porovnat. Je zřetelně vidět průběh měření, kdy bylo v základní poloze namačkáváno 10 kg – 50 kg a maximální stisk v této poloze. Další poloha, tedy nadhmat se stiskem 10 kg začíná u DataLogu v čase 14:49:11 a u Holteru značkou MARKERU s číslem 5. Pokračovalo se v nadhmatu stisky 20 kg, 30 kg a MAX. Další polohou byl podhmat s 10kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX začínající v čase 14:50:31 u Holteru mezi značkou s číslem 9 a 10. Poslední polohou bylo předpažení s 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX začínající v čase 14:51:31 a mezi značkami s číslem 14 a 15.

Veškeré křivky, které v grafech nekorespondují s postupem měření, jsou zapříčiněny pouze přehmatem dlaně se siloměrem. U tohoto měření nebyly zaznamenány žádné problémy s přístroji, chyby v prováděných polohách ani otěry dlaní. Pro druhotné porovnání přikládám ještě graf stejného muže pro EMG 2, tedy snímač extenzoru pravé ruky. Postup je totožný s popisem výše.



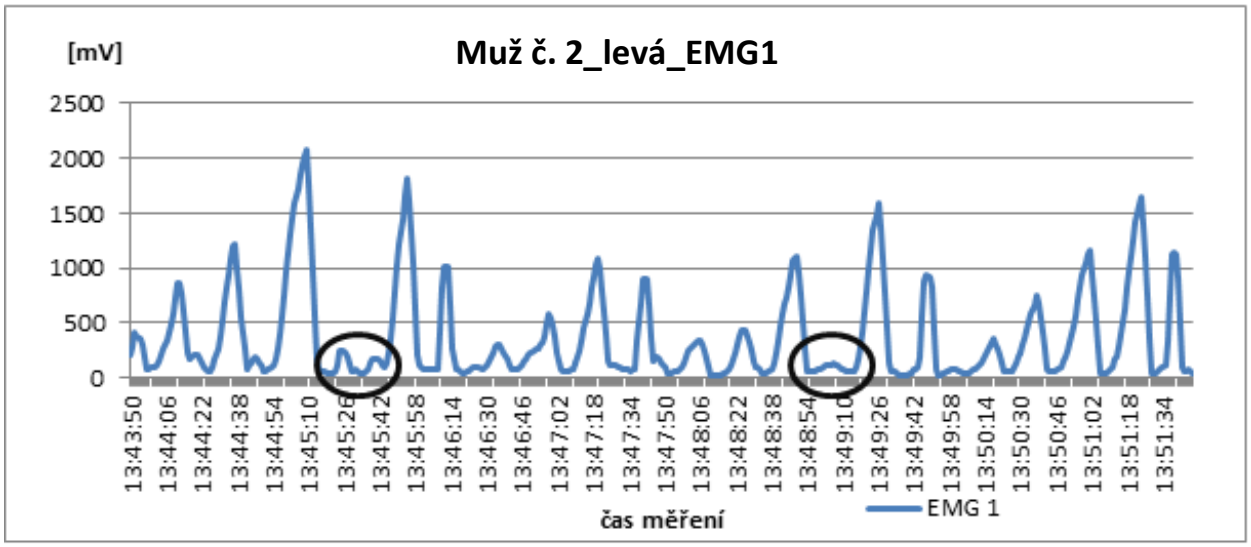
Obr. 3-15 Výsledky EMG 2 Biometrics DataLog



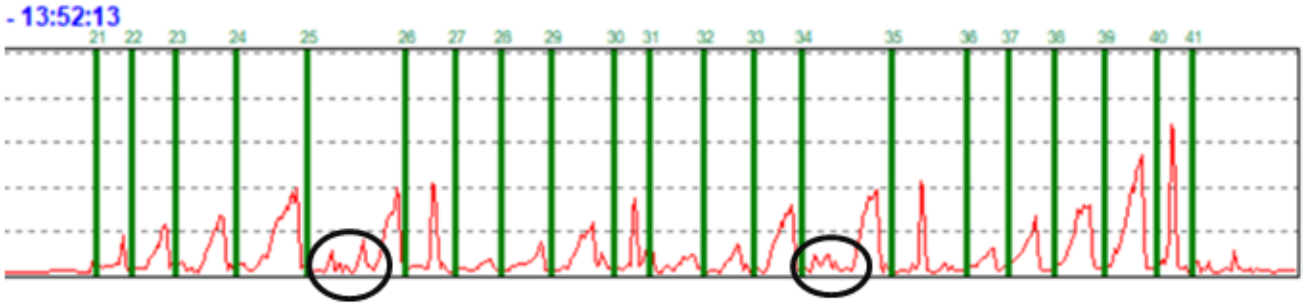
Obr. 3-16 Výsledky EMG 2 Holter

Druhý graf je výsledkem měření muže, tentokrát však k porovnání výsledků flexoru u levé ruky. Opět bylo dosaženo stisknutí všech sil ve všech polohách i za faktu, že levá ruka byla po komplikované zlomenině a omezenou hybností. Dle předpokladu se začínalo základní polohou a stisknutím sil 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40kg, 50 kg a MAX. Začátek u DataLogu v čase 13:43:50, u Hotleru po značce s číslem 21. Následoval nadhmat se silami 10 kg, 20 kg, 30 kg a MAX v čase 13:46:46 a značky s číslem 27. Poté podhmat v čase 13:48:06 a značkou č. 31, se stisknutím sil 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40kg a MAX. Jako poslední předpažení se stisknutím sil taktéž 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40kg a MAX, se začátkem v 13:50:54 a značce č. 36.

Zde už nastalo několik otěrů, které jsou na grafech znázorněny černou elipsou. První z nich je u základní polohy mezi stiskem sil 40 kg a 50 kg, druhý znatelný je v podhmatu mezi stiskem sil 30 kg a 40 kg.

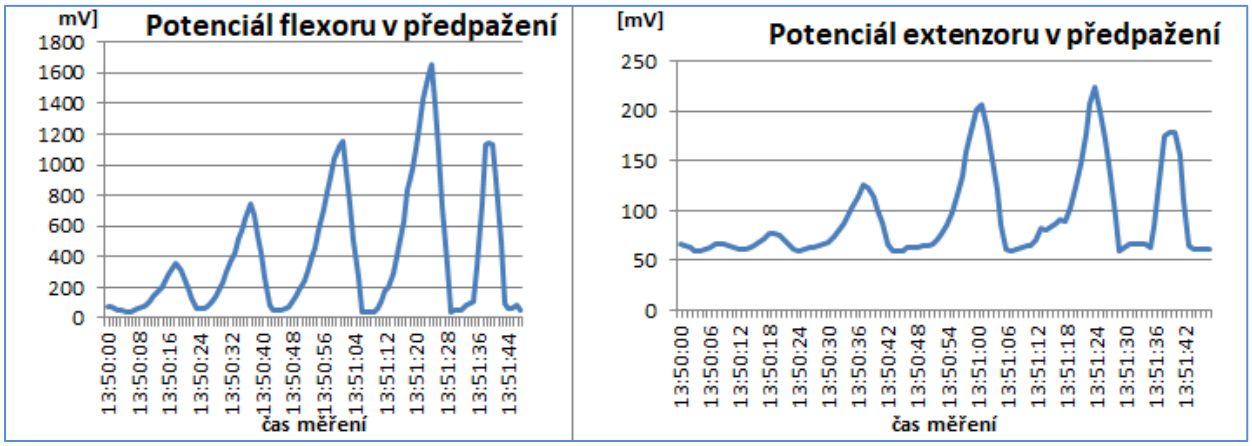


Obr. 3-17 Graf EMG 1 pro levou ruku DataLog



Obr. 3-18 Graf EMG 3 pro levou ruku Holter

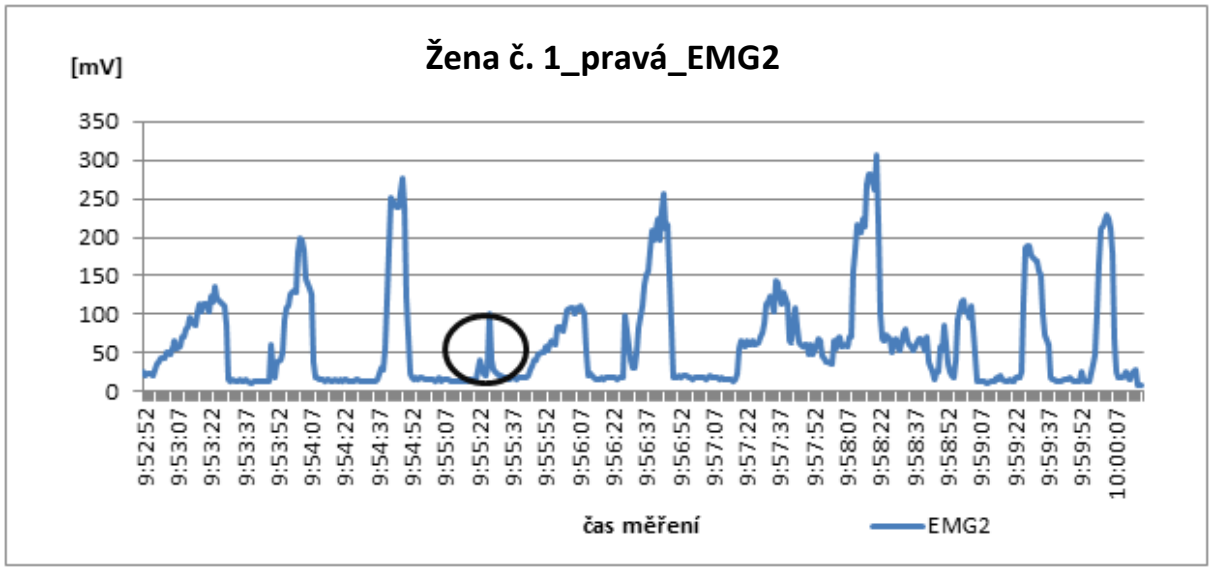
Vcelku zajímavým výsledkem bylo i vykreslení u maximálních stisků sil ve všech polohách. Mnohdy se jednalo o mnohem nižší hodnoty elektrického potenciálu než u 50 kg a křivka je také o poznání nižší. Důvodem může být nedodržení správné polohy a tím zapojení jiných než sledovaných svalů. Zajímavé také bylo porovnat práci flexoru a extenzoru při zátěži. Jak je vidět z přiložených částí grafů v poloze předpažení u stejné osoby – muže. Když je zatěžován flexor, extenzor nevykazuje tak velký elektrický potenciál a naopak.



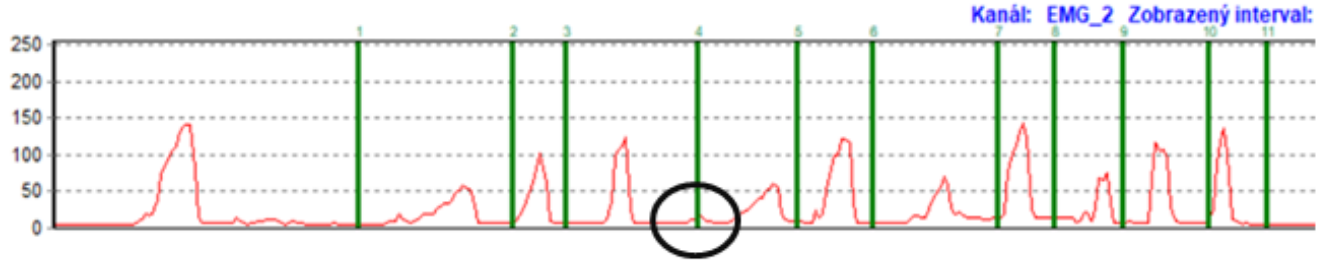
Obr. 3-19 Porovnání flexoru a extenzoru

Posledním kladným porovnáním jsou výsledky ženy. Zde byly stisknuty všechny síly určené pro ženy, z toho důvodu není graf tak členitý a i měření bylo výrazně kratší. Nebyly zde pozorovány žádné otěry či problémy s přístrojem, pouze přehmátnutí ruky se siloměrem. Zde je tedy porovnání výstupů z měření EMG 2, tedy extenzoru pravé ruky.

Na začátku byla u Holteru opět nastavována Fmax. U základní polohy byly stisky 10 kg, 20 kg a MAX, poté nadhmat pouze s 10 kg a MAX se začátkem v čase 9:56:07 značkou markeru s číslem 4. Mezi polohami byl onen zmiňovaný přehmat- černá elipsa. Dále se pokračovalo podhmatem také s 10 kg a MAX a poslední polohou bylo předpažení, začínající v čase 9:58:52 a po značce s č. 8.



Obr. 3-20 Graf EMG 2 pro pravou ruku DataLog



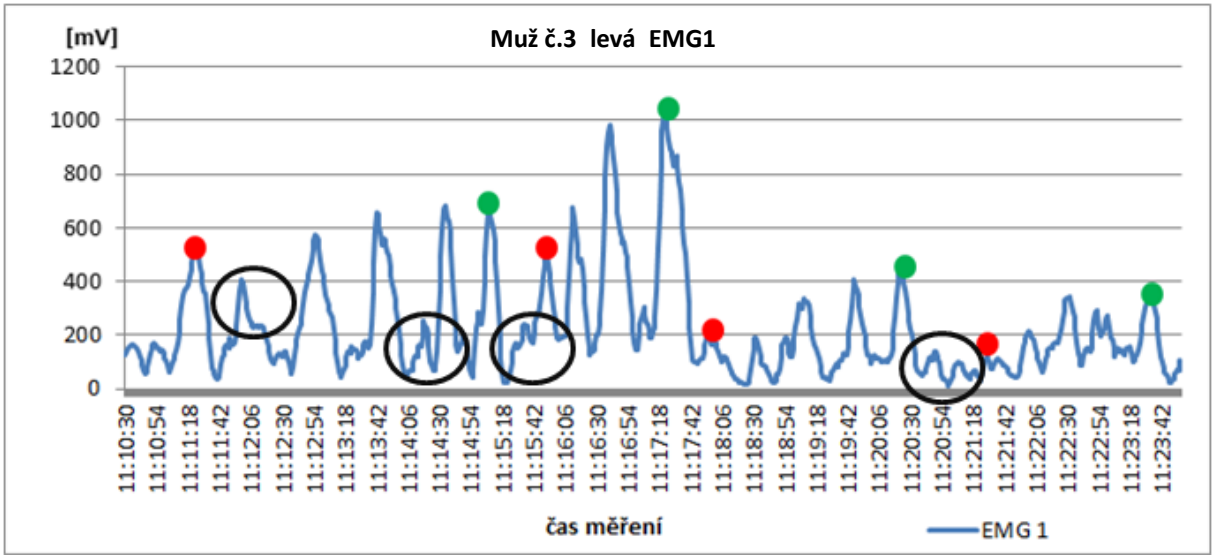
Obr. 3-21 Graf EMG 2Holter

Posledním ukázkovým grafem je výstup z ne zcela vydařeného měření. Zkušební osobou byl muž, u něhož byly namáčknuty prakticky všechny síly. Hlavním problémem u tohoto měření bylo až nepřiměřené a časté otírání dlaní, včetně vyklepávání zatěžované ruky. Tyto skutečnosti dost poznamenaly křivky obou grafů a jen díky pečlivým záznamům do náměrové tabulky lze odhadnout prováděné polohy a stisky požadovaných sil na siloměru. Porovnání proběhne na výsledcích zátěže flexoru levé ruky zkušební osoby.

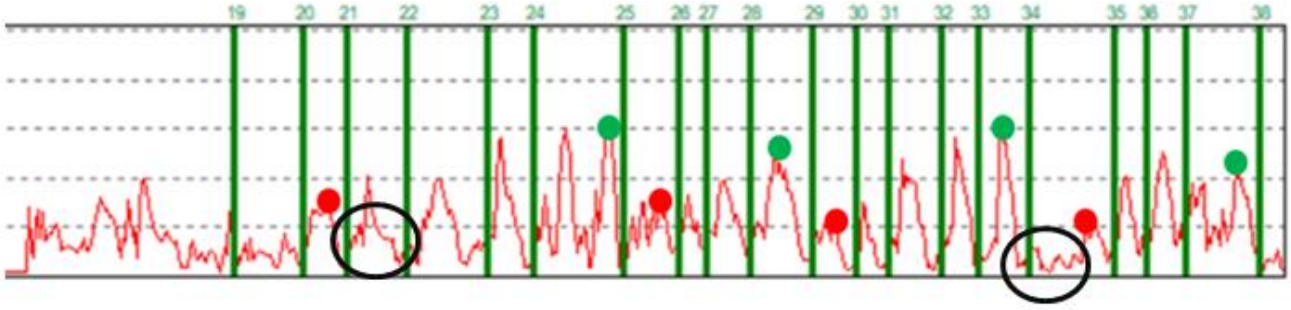
Jak již bylo zmíněno, graf není úplně zřetelný a tak se pokusím vytyčit polohy a stisky siloměru. Základní poloha byla dle náměrové tabulky v zátěžích s 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX.

Začátek měření polohy s **10 kg** je vždy označen červeným bodem, naopak **MAX** je označen zeleným bodem. Tímto se graf stává zřetelnějším. Černá elipsa označuje místa významných **otěrů a vyklepání ruky**. U Holteru kvůli malé velikosti grafu a ztíženému zobrazení, nejsou označena všechna místa otěru.

Druhou polohou byl nadhmat s 10 kg, 20 kg, 30 kg a MAX. Podhmat proběhl se silami 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX, předpažení potom 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX. I přes nepěkně vykreslené křivky, oba přístroje měření vykreslily stejně.



Obr. 3-22 Nepříliš čitelný graf DataLog



Obr. 3-23 Nevydařený graf Holter

3.7.2 Porovnání výsledků

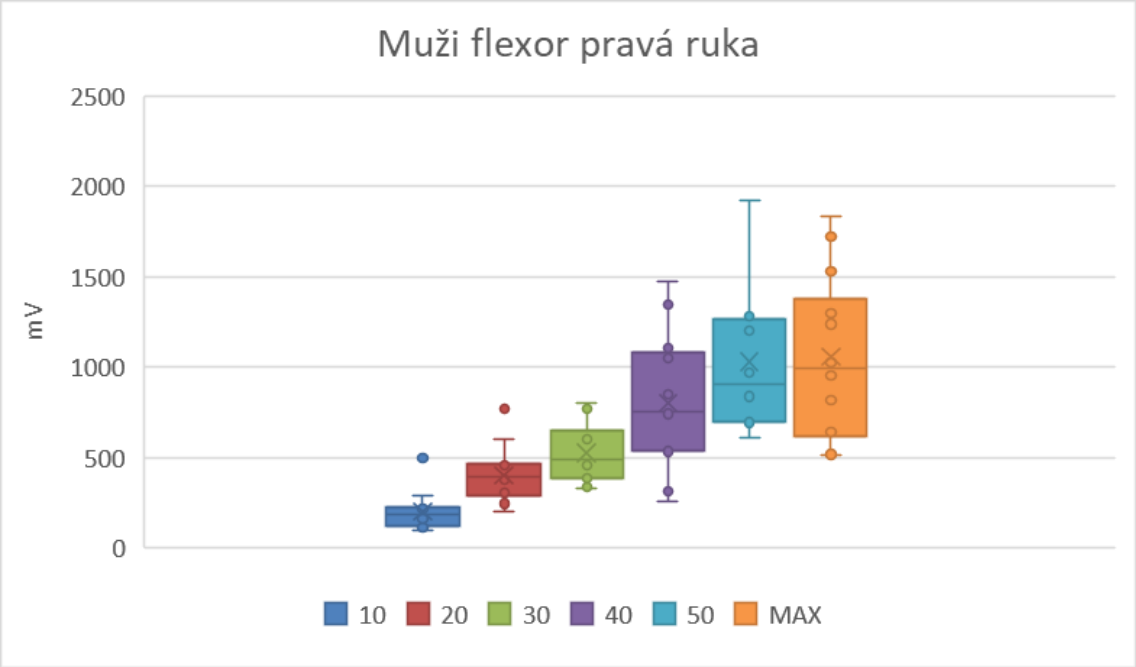
Z porovnání průběhů křivek vyplynulo, že oba přístroje vykreslují ze stejného měření srovnatelné amplitudy snímaného EMG. Avšak porovnání vykreslených křivek byla jediná možnost porovnání těchto dvou přístrojů. Není totiž možné porovnat konkrétní hodnoty a to vzhledem k rozdílným jednotkám obou přístrojů – Biometrics DataLog měří v mV a Holter v Fmax.

Hodnoty získané z Holteru nebudou v této práci dále vyhodnocovány. V případě dalšího hodnocení se postupuje dle Nařízení vlády č. 361/2007, kdy vážený průměr vynakládaných svalových sil nesmí překročit 30% Fmax u úkonů s převahou dynamické složky. Pracovní úkony s použitou svalovou silou nad 60% Fmax u dynamické složky jsou přípustné max. 600krát za směnu.

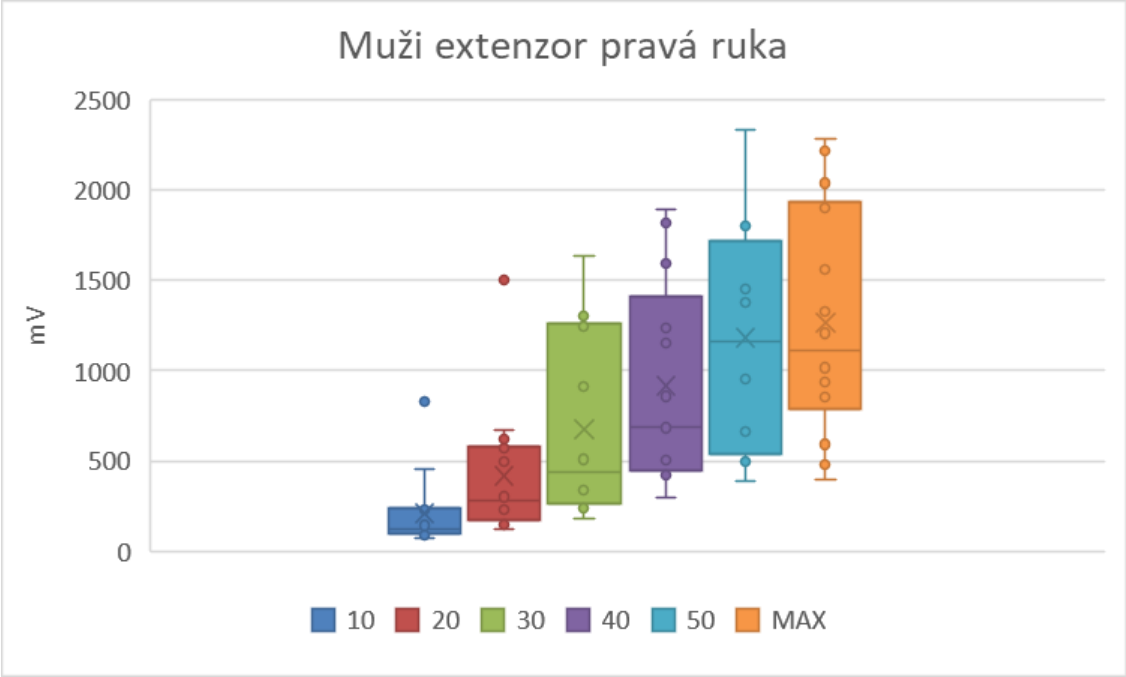
Z důvodu dalšího nevyhodnocování dat z Holteru bych chtěla shrnout práci s tímto přístrojem. EMG Holter společnosti GETA centrum je jediný schválený přístroj pro snímání EMG v České republice. Dost pravděpodobně je tomu tak, protože je to český výrobek a tak se stát rozhodl podporovat čistě jen tento přístroj. Výrobek na českém trhu působí řadu let a vzhledem k nulové konkurenci není potřeba ho nijak inovovat a zlepšovat. Zaměřuje se pouze na metodiku hodnocení lokální svalové zátěže. Jak již bylo zmíněno výše, měří v jednotkách Fmax a výstupem tohoto měření jsou hodnoty procentuálního zastoupení zátěže právě z Fmax, tudíž žádné absolutní hodnoty, se kterými by se dalo dále pracovat. Ráda bych také dodala, že výstupy, konkrétně křivky, nejsou zrovna kvalitně zpracované a při zvětšení je tento graf špatně čitelný. Křivky ze všech svodů jsou sice vyhodnocovány v jednom grafu, ale tento graf není nijak přehledně zpracovaný a netrénované oko se v něm lehce ztratí. Při použití části grafu, pak chybí souvislosti, které je třeba okomentovat, jak tomu bylo v předchozí kapitole. Jinak je práce s ním srovnatelná jako s druhým přístrojem, stejně tak i jeho přesnost. Rozdílem však je, že u DataLogu lze přesnost měření nastavit.

Naopak výstupní hodnoty z Biometrics DataLogu jsou dále zpracovány v samostatných tabulkách (přílohy 1 – 4). Porovnáván bude vztah mezi sílou stisku a elektrickým potenciálem v mV v jednotlivých polohách u obou paží. Pro porovnání byly z tabulek vygenerovány tzv. box plot grafy v MS Excel. Grafy zachycují data pomocí jejich kvartilů – horní a spodní hranice boxu. Rozteče mezi hranami boxu ukazují interkvantilový rozptyl vybraných dat. Průměr je vyznačen křížkem, medián pak úsečkou uvnitř boxu. Odlehlé hodnoty jsou vykresleny jako jednotlivé body.

Do prvního box plot grafu byla vybrána data z měření v základní poloze pravé ruky u všech mužů. Byl porovnán elektrický potenciál v mV a síla stisku v kg. Dle očekávání roste elektrický potenciál úměrně se zvyšující se zátěží v podobě síly. U grafů na obrázcích 3-24 a 3-25 je také velmi dobře vidět zapojení flexoru a extenzoru při jednotlivých zátěžích. U vyšších zátěží, 30 kg a víc, je v základní poloze více zapojován extenzor než flexor. Lze také sledovat, že čím je vyšší zátěž, tím jsou větší odchylky.

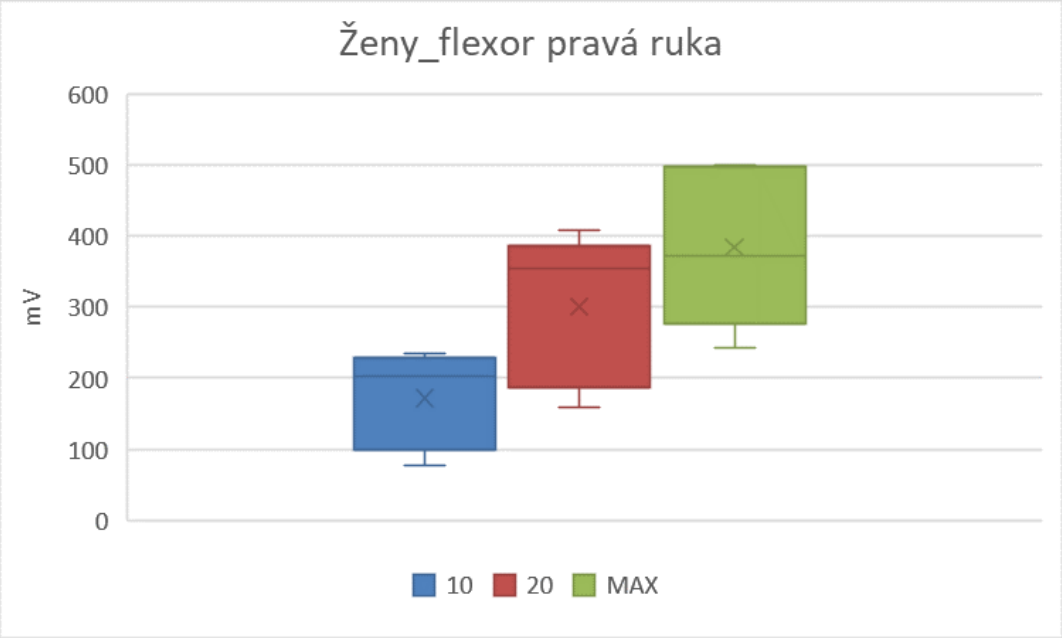


Obr. 3-24 Vztah mV a kg v základní poloze u mužů - flexor

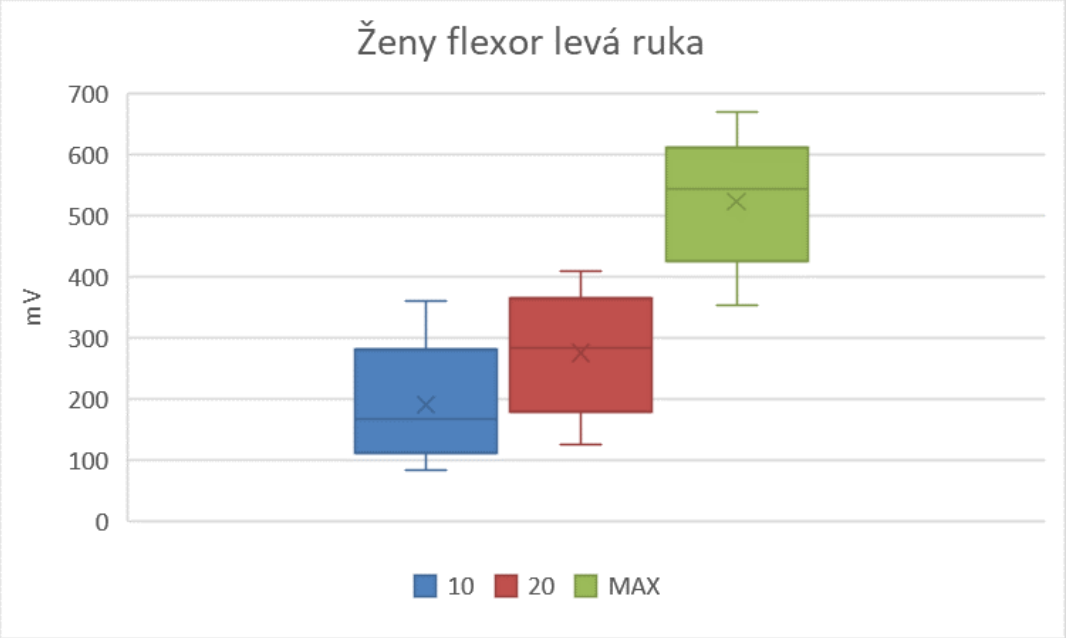


Obr. 3-25 Vztah mV a kg v základní poloze u mužů – extenzor

Dalšími daty k porovnání byly výsledky žen v základní poloze u flexoru pravé a levé ruky. Všechny ženy mají dominantní pravou ruku. Z grafů však lze vyčíst, že hodnoty elektrického potenciálu jsou vyšší pro levou ruku. U dalších poloh se tento trend potvrdil, ale vzhledem k malému vzorku sledovaných žen nelze tyto data směrodatně vyhodnotit.

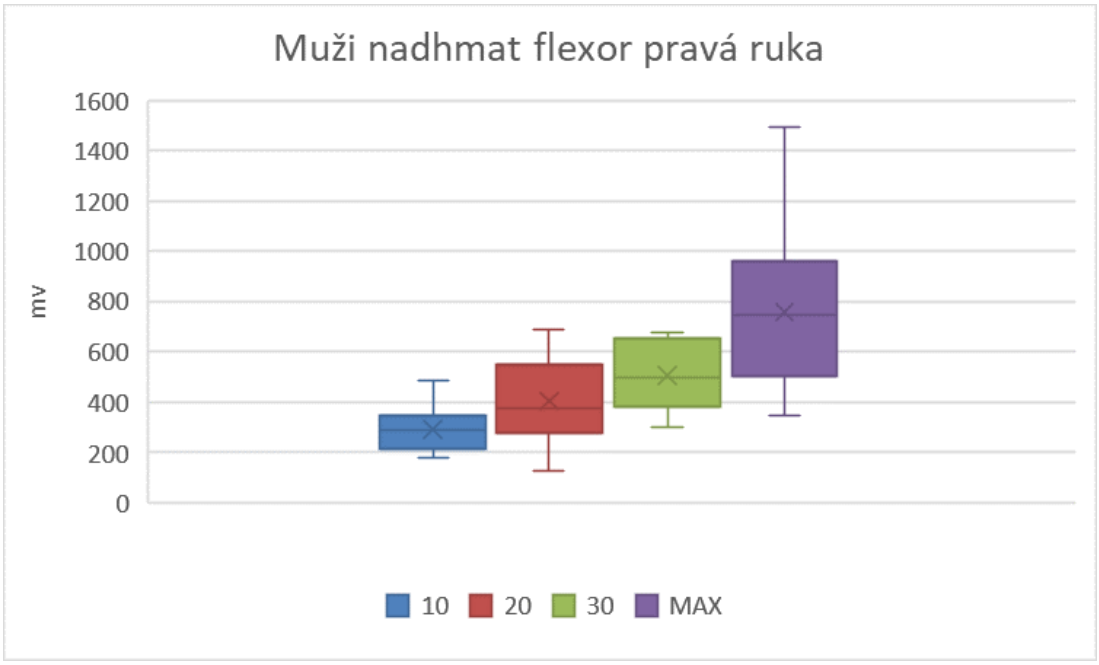


Obr. 3-26 Vztah mV a kg v základní poloze pravé ruky - flexor ženy

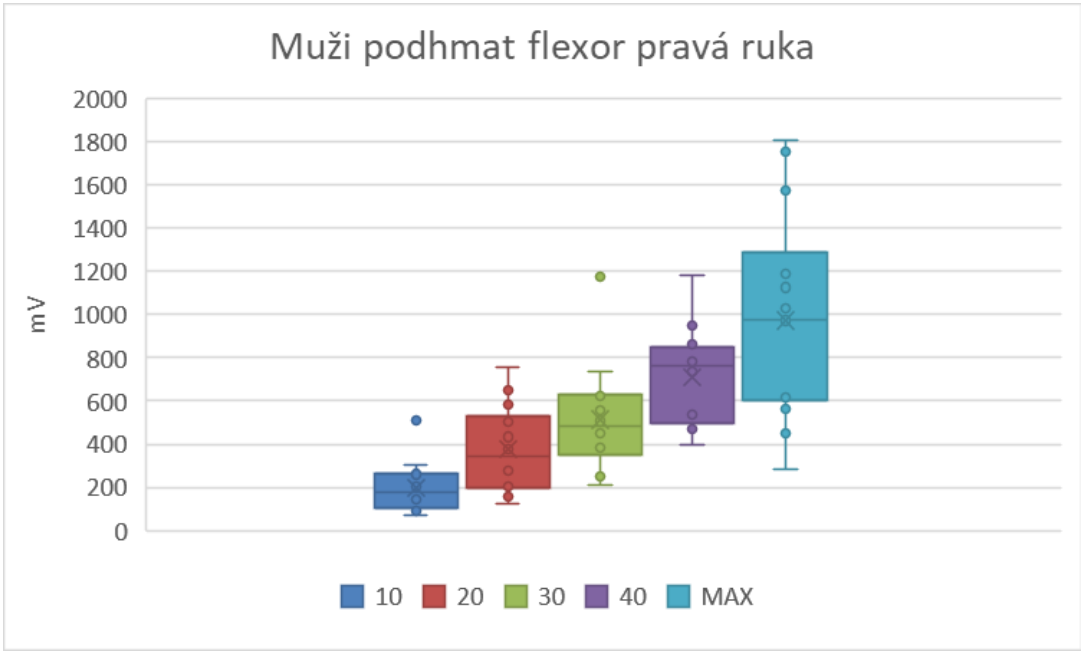


Obr. 3-27 Vztah mV a kg v základní poloze levé ruky - flexor ženy

Poslední závislost, která se nabízela k porovnání, je závislost potenciálu na poloze. Jako vzorek byly použity hodnoty měřených mužů a jejich flexorů na pravé ruce v polohách nadhmat a podhmat. Právě nadhmat byl pro všechny měřené osoby nejnáročnější polohou, proto na grafu na obrázku 3-28 můžeme vidět, že byly namačkávány pouze síly 10 – 30 kg. Z obou grafů pak lze vyčíst, že u stisku silou 10 kg a 20 kg je elektrický potenciál větší u nadhmatu. Naopak u vyšších sil je elektrický potenciál větší u podhmatu. Lze to přisuzovat vyššímu komfortu a lepšímu zapojení sledovaných svalů právě v podhmatu.



Obr. 3-28 Vztah mV a kg u flexoru pravé ruky mužů v nadhmatu



Obr. 3-29 Vztah mV a kg u flexoru pravé ruky mužů v podhmatu

Závěr

Ergonomie a biomechanika jsou dva vědní obory, které spolu velmi úzce spolupracují. Zabývají se především zkoumáním člověka, vlivů pracovního prostředí na jeho zdraví a výkon. Zdraví a hygiena práce je v posledních letech prioritou mnoha rozvíjejících se průmyslových podniků. Právě průmysloví pracovníci jsou nejohroženější skupinou, co se týče nemocí z povolání a pracovních úrazů. Během směn pracují s těžkými váhami na špatně řešeném pracovišti, kde opakovaně a jednostranně namáhají horní končetiny.

Cílem diplomové práce bylo porovnání výstupů a průběhů měření dvou zvolených přístrojů snímajících elektrický potenciál v zatěžovaných svalech. Dílčím cílem bylo vyhodnotit získaná data.

V teoretické části jsem se zabývala legislativou, která upravuje pracovní podmínky a pracovní prostředí, včetně hodnocení rizikových faktorů ovlivňující bezpečnost práce. Dále jsem se zaměřila na vymezení pojmů, které s tématem této práce úzce souvisí. A to zejména na fyzickou zátěž, biomechaniku a popis elektromyografie.

V druhé části jsem konkrétněji představila měřící techniku, která byla využívána při měření. Byl popsán postup aplikace snímacích elektrod, příprava přístrojů na měření, ale také výběr zkoumaných poloh. Dále jsem v praktické části navrhla průběh experimentu a vysvětlila, jak byl tento návrh aplikován u praktického měření. Následoval popis průběhu měření a konkrétních poloh u zkušebních osob, včetně chyb, které byly během experimentu pozorovány. Na to jsem navázala zpracováním dat z obou snímacích přístrojů a vyhodnocením výstupů. Vše je doplněno ilustračními obrázky a výstupními grafy pro lepší představení.

Závěrem lze říct, že oba přístroje měří srovnatelně, vykreslují stejně křivky během měření a i použití obou přístrojů během měření není nijak odlišné. Avšak každý má své specifické možnosti využití, které se díky rozdílným jednotkám porovnat nedají. Dílčím závěrem bylo i vyhodnocení vztahů elektrického potenciálu a stisknutých sil či potenciálu a prováděné polohy. Tyto výsledky nebyly nijak překvapující, potvrdilo se, že s rostoucí zátěží roste i elektrický potenciál ve svalech. Je však nutno podotknout, že malý vzorek 20 zkušebních osob není pro takové závěry zrovna směrodatný.

Seznam použité literatury

[1] SLAMKOVÁ, E., DULINA, Ľ., TABAKOVÁ, M.: *Ergonómia v priemysle*, GEORG, Žilina, 2010, 261 s., ISBN 978-80-89401-09-3

[2] Co je to ergonomie? - Ergonomie - Profim. *Ergonomické kancelářské židle, otočné židle pro počítače, moderní recepční nábytek - Profim* [online]. Copyright © Copyright 2018 Profim. [cit. 5.11.2018]. Dostupné z: https://www.profim.cz/ergonomie/co-je-to-ergonomie

[3] Definition and Domains of Ergonomics | IEA Website. *International Ergonomics Association* [online]. Copyright © 2018 IEA All rights reserved. [cit. 5.11.2018]. Dostupné z: https://www.iea.cc/whats/index.html

[4] CHUNDELA, L.: *Ergonomie*, ČVUT, Praha, 2005, ISBN 80-01-02301-X

[5] BUREŠ, Marek.: *Ergonomie – Úvod*. Plzeň, 2012 Přednáška z předmětu ŘOP, Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

[6] Znalostní systém prevence rizik v BOZP - Pracovní výkon a pracovní zátěž člověka. *Znalostní systém prevence rizik v BOZP - Úvod*[online]. Copyright © 2016 [cit. 6.11.2018]. Dostupné z: https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/335-pracovni-vykon-a-pracovni-zatez-cloveka

[7] Syndrom karpálního tunelu – Encyklopedie BOZP. [online].[cit. 6.11.2018]. Dostupné z: http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Syndrom_karp%C3%A1ln%C3%ADho_tunelu

[8] CHAFFIN, D.B., ANDERSSON, G.B.J., MARTIN, B.J. *Occupational biomechanics.* Wiley, USA, 2006. ISBN 978-0-471-72343-1.

[9] Svalová soustava – Výukové materiály [online]. [cit 12.11.2018] Dostupné z: http://educhem.cz/files/Vyukove-materialy/Biologie-4.-rocnik-ACH/2.-Svalova-soustava.pdf

[10] Informace o EMG vyšetření [online]. [cit.12.11.2018] Dostupné z: https://www.snopava.cz/files/neurologie/Informace_o_EMG_vysetreni.pdf

[11] Elektromyografie (EMG) | Moje zdraví. Moje zdraví - péče o psychickou i fyzickou pohodu [online]. 2001 [cit. 12.11.2018]. Dostupné z: https://www.mojezdravi.cz/vysetreni/elektromyografie-emg-1922.html

[12] EMG [online]. Dostupné z: https://www.kntb.cz/emg

[13]Elektromyografie LF [online]. [cit. 12.11.2018]. Dostupné z: http://old.lf.upol.cz/fileadmin/user_upload/LFkliniky/hippokrat/Pracoviste/Neurologie/07_Elektromyografie.pdf

[14] Jehlová elektroda pro jehlovou elektromyografii: Dostupné [online] z: http://www.drsami.com/ptsite/EMG.html

[15] Syndrom karpálního tunelu [online] Dostupné z: https://www.tcm-cs.com/forum/vt/cz/1123-syndrom-karp%C3%A1ln%C3%ADho-tunelu/

[16] Bezpečnost, ochrana zdraví a ergonomie | BOZPinfo.cz. *BOZPinfo – Časopis JOSRA* [online]. Copyright © 2002 [cit. 14.11.2018]. Dostupné z: https://www.bozpinfo.cz/bezpecnost-ochrana-zdravi-ergonomie

[17] Kapitola 2.1. - Základní legislativa v EU a v ČR k problematice fyziologie práce a ergonomie. [online]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/elearning/kurs5/kapitola_21_zkladn_legislativa_v_eu_a_v_r_k_problematice_fyziologie_prce_a_ergonomie.html

[18] Zákon č. 309/2006 Sb. [online] Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309

[19] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. 361. Nařízení vlády, ze den 12. Prosince 2007, kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci

[20] ČSN EN 1005 – Bezpečnost strojních zařízení – Fyzická výkonnost člověka – Část 5: Posuzování rizika velmi často opakované ruční manipulace

[21] Stavba kosti [online] Dostupné z: https://www.slideserve.com/vail/stavba-kosti

[22] Elektromyografie (EMG) - Vitalion.cz. *Vyšetření - databáze vyšetření - Vitalion.cz* [online]. Dostupné z: https://vysetreni.vitalion.cz/elektromyografie/

[23] *Výzkumné metody v biomechanice* [online]. [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/biomechanika/vyzkumne-metody-v-biomechanice

[24] Biometrics Ltd.[online] Dostupné z: http://www.biometricsltd.com/about.htm

[25] *Principles of Goniometry* [online] Dostupné z: http://highered.mheducation.com/sites/0071474013/student_view0/chapter8/goniometry.html

[26] EMG Holter |*Fyziologie práce. Úvodní stránka –Uživatelský manuál* | Fyziologie práce [online]. Copyright © 2018 [cit. 30.11.2019]. Dostupné z: http://fyziologie.getacentrum.cz/ke-stazeni/

[27] JIRÁK, Zdeněk a Bohumil VAŠINA. *Fyziologie a psychologie práce.* 2. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-610-9.

[28] KOPŘIVOVÁ, Vendula. *Dělení svalů, zásady pro uvolňování a protahování* [cit. 04.03.2019]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/3047308/

[29] Jamar Smart and Jamar Plus+ Hand Dynamometers | Performance Health. Home page | Performance Health [online]. Copyright ©2019 Performance Health [cit. 06.04.2019]. Dostupné z: https://www.performancehealth.com/jamar-smart-and-jamar-plus-hand-dynamometers

Seznam příloh

Příloha č. 1 Tabulka naměřených hodnot muži - pravá ruka
Příloha č. 2 Tabulka naměřených hodnot muži - levá ruka
Příloha č. 3 Tabulka naměřených hodnot ženy - pravá ruka
Příloha č. 4 Tabulka naměřených hodnot ženy - levá ruka

Příloha č. 1
Tabulka naměřených hodnot muži- pravá ruka

Jméno	Jednotky	Fmax	Základní poloha						Nadhmat			Podhmat			Předpažení			
			10	20	30	40	50	MAX	10	20	30	MAX	10	20	30	40	MAX	MAX
Muž č. 1	kg	54,1	10,1	21,2	30,2	40,8	x	46,6	10,6	19,5	31,5	36,1	10,3	20,8	33,3	45,8	46,4	48,6
	mV flexor		496	769	802	744	x	821	362	503	671	718	261	585	656	736	1124	566
	mV extenzor		825	1503	1634	1893	x	1901	312	718	1189	1137	402	479	1214	1625	1689	120536
Muž č. 2	kg	59	12	20	32	41	52	61	11	20	32	58	13	19	35	45	59	66
	mV flexor		216	491	786	1053	1283	1533	219	286	384	938	510	649	735	1178	1574	997
	mV extenzor		87	233	545	856	1374	2036	81	169	395	1031	364	483	806	1091	2376	1371
Muž č. 3	kg	62,2	11,4	20,2	31,8	40,8	52,4	62,3	11,2	20,1	31,7	52,8	10,5	20,7	30,4	42	55,9	53,8
	mV flexor		127	305	502	755	968	1299	180	442	650	690	96	206	507	814	971	526
	mV extenzor		92	120	180	300	385	591	62	161	229	299	90	208	415	506	400	187
Muž č. 4	kg	53,1	10,3	19,8	32,7	38,8	x	43,3	10	20,3	30,2	38,3	10,2	22,2	32,2	x	42,7	47
	mV flexor		166	420	505	853	x	841	198	251	501	780	108	172	401	506	642	556
	mV extenzor		130	257	336	507	x	482	165	236	319	455	143	183	421	512	523	315
Muž č. 5	kg	57	10,1	22,7	30,3	40,5	47,6	45,3	11,1	22,3	30,4	41,2	10,6	24,2	32,6	40,3	45	44,8
	mV flexor		219	607	612	1471	1924	1831	282	433	679	1107	234	754	1173	950	1753	678
	mV extenzor		230	340	910	1815	2336	2218	297	744	1275	1745	215	994	1278	962	1967	1926
Muž č. 6	kg	47,6	11,6	22,6	33,7	48,6	43,8	43,6	16,1	21,9	32,6	40,2	11,8	23,5	29	40	42,3	41,3
	mV flexor		220	416	603	570	838	1027	311	322	620	769	145	309	624	862	645	483
	mV extenzor		107	159	236	424	498	393	103	103	192	246	70	101	170	193	158	257
Muž č. 7	kg	50,1	10,8	21,5	35,1	42,9	45,1	43,2	12,1	21,5	31,1	43,2	12,7	22,3	30,6	43,9	45,5	42,8
	mV flexor		259	379	769	1106	1204	1239	343	572	665	881	304	513	490	783	1027	878
	mV extenzor		451	622	1300	1592	1451	1016	163	511	463	860	293	509	453	700	937	692
Muž č. 8	kg	39,7	10,4	21	30,5	x	x	33,9	11,1	20,9	33,1	32,9	11,2	23,3	30,8	x	31,1	29,7
	mV flexor		148	380	368	x	x	548	207	544	302	502	205	502	383	x	618	500
	mV extenzor		143	497	508	x	x	904	74	108	416	533	287	313	887	x	1092	433
Muž č. 9	kg	48,1	10,1	20,4	31,5	40,6	50,6	54,6	10,2	20,5	30,7	35,1	10,1	21,5	30,3	x	57	53,1
	mV flexor		x	x	x	x	x	xx	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Muž č. 10	kg	41,7	10,5	20,5	34,8	41,6	x	43,9	10,9	23,1	31,3	36,8	12,7	19,3	33,2	x	36,6	37,6
	mV flexor		290	422	437	870	x	1323	316	690	494	1018	205	377	449	x	1189	1041
	mV extenzor		109	174	240	557	x	1207	95	129	559	749	66	153	434	x	1307	596
Muž č. 11	kg	55	13,5	21,8	35,5	42,5	x	47,5	11,3	21,6	35,1	47,7	10,4	25,7	33,2	43,3	46,1	47,6
	mV flexor		148	458	487	1344	x	1720	290	305	411	1497	262	433	557	801	1804	1161
	mV extenzor		97	671	350	1152	x	1324	93	153	297	1148	361	356	300	580	1351	1103
Muž č. 12	kg	52,7	11,3	22	36,8	40,2	44,8	45,6	11,7	20,7	33,4	40,7	14	21	35,5	39,8	41,6	44,7
	mV flexor		123	270	328	314	613	520	291	250	307	357	116	278	250	534	450	565
	mV extenzor		181	300	371	433	955	856	77	81	224	370	112	148	331	701	706	459
Muž č. 13	kg	59,9	9,1	20,1	29,9	44,8	47,6	53,2	17,8	19,8	32,6	41,5	11,4	20	26,4	46,3	43,8	46,1
	mV flexor		96	294	462	263	694	518	217	126	443	348	69	159	476	468	565	327
	mV extenzor		105	568	1290	683	1801	1559	131	159	1075	629	218	776	1471	1122	881	423
Muž č. 14	kg	58,8	10,5	20,7	35	46	50,7	54,8	14,4	20,7	29,5	44	11,2	20,1	32	40,7	53	51
	mV flexor		114	247	337	536	711	956	390	312	567	519	89	127	208	400	979	1229
	mV extenzor		76	147	272	451	663	939	144	84	198	391	105	105	192	382	903	715
Muž č. 15	kg	50,9	10,8	21,1	31,8	43,6	x	46,4	13,3	19,6	28,3	30,1	10,9	23,1	28,3	39,2	39,5	39,1
	mV flexor		213	201	389	543	x	641	483	618	379	494	147	204	251	495	281	365
	mV extenzor		269	231	1245	1235	x	2286	220	770	1643	952	240	376	1335	1454	1303	1642

Příloha č. 2
Tabulka naměřených hodnot muži- levá ruka

Jméno	Jednotky	Fmax	Základní poloha					Nadhmat					Podhmat					Předpažení				
			10	20	30	40	50 MAX	10	20	30 MAX			10	20	30	40 MAX		10	20	30	40 MAX	
Muž č. 1	kg	62,6	11,3	21,2	35,6	43,6	x	51,6	11,5	20,5	30,3	35,2	11,2	20,7	29,8	x	39,3	10,2	21,6	29,2	x	35,5
	mV flexor		519	574	655	679	x	671	504	677	981	1031	187	339	405	x	451	215	345	283	x	336
	mV extenzor		534	797	1177	1552	x	1711	125	271	978	1229	662	1142	1250	x	1441	509	660	1067	x	1100
Muž č. 2	kg	45	11	21,5	36,2	43,2	54,1	63,7	11,3	23,2	31,3	58,6	11,4	23,6	30,5	39,1	54,3	10,5	21,6	34,9	40,1	51,1
	mV flexor		627	894	845	1492	1241	1959	516	936	1209	2104	493	882	1635	1973	2252	409	1487	1048	1030	2285
	mV extenzor		126	135	197	347	393	917	106	162	268	648	107	194	364	647	1061	51	156	153	202	557
Muž č. 3	kg	62,3	11,3	21,2	30	40,1	51,8	54,4	10,6	20	34,9	51,9	11,5	17	30,6	47,3	52,9	12,1	21,4	33,8	42,3	47,5
	mV flexor		205	416	868	1202	2077	1813	298	589	1096	906	349	438	1110	1586	930	355	746	1155	1649	1129
	mV extenzor		73	86	169	301	534	619	92	179	391	348	111	178	383	603	344	126	206	223	178	175
Muž č. 4	kg	42,3	10,1	22,4	31,3	x	x	35,7	9,8	20,1	29,3	30,9	10	20,4	29,9	x	34,4	11,6	20,2	31,6	x	35,6
	mV flexor		209	581	622	x	x	934	310	556	698	734	176	243	634	x	701	257	402	428	x	629
	mV extenzor		72	303	257	x	x	580	131	210	389	426	151	191	290	x	376	95	257	391	x	326
Muž č. 5	kg	55,1	11,4	20,3	33,9	40,9	48,4	47,7	12,8	23,4	33,1	43,2	10,3	21,1	31,7	39,6	44,5	13,5	22,9	34	42,5	45,7
	mV flexor		115	299	467	641	732	871	319	276	601	883	141	155	324	427	720	219	372	457	574	490
	mV extenzor		201	867	1152	1631	1812	1960	159	361	869	1198	323	369	982	1100	1773	87	259	404	489	678
Muž č. 6	kg	41,3	15	21,7	29,9	38,4	38,4	38,1	11,5	20,1	30,1	35,2	10,3	24,9	29,3	39,2	41,2	12,1	24,7	34,2	39,5	39,8
	mV flexor		181	542	648	1318	1070	1060	204	447	401	492	131	310	555	586	583	159	299	414	965	654
	mV extenzor		87	394	389	780	586	289	63	168	182	128	100	174	392	382	301	55	125	159	368	216
Muž č. 7	kg	47,3	11,8	22,5	30,2	42,7	x	42,8	10,5	21,9	29,6	37,6	10,6	20,4	31,9	x	40	10,4	24,1	30,7	39,2	40,4
	mV flexor		244	416	933	821	x	867	395	484	437	559	315	574	768	x	902	169	180	318	576	498
	mV extenzor		365	1203	1407	1502	x	1768	291	475	855	1068	172	263	663	x	896	197	163	530	850	970
Muž č. 8	kg	35,2	12,7	20,6	32,9	x	x	35,9	16,5	20,4	31,2	36,5	10,4	19,9	33,6	x	35	10,7	19,6	31,1	x	32,4
	mV flexor		52	86	160	x	x	331	134	194	193	270	56	128	129	x	213	106	177	174	x	295
	mV extenzor		60	116	242	x	x	639	147	159	207	404	143	219	305	x	450	155	171	175	x	417
Muž č. 9	kg	45,6	10,8	20,6	29,2	41,3	x	43,4	11,6	20,7	30,3	32	10,6	22,3	29,8	40,3	50,6	10,6	20,5	30,2	x	40,2
	mV flexor		193	601	1157	621	x	1095	246	350	1012	880	312	904	1031	795	1317	296	611	1206	x	1116
	mV extenzor		84	242	716	468	x	914	83	168	703	672	107	235	395	380	604	78	171	611	x	619
Muž č. 10	kg	44,5	10,9	21	31,9	46,4	x	45,8	10,2	20	30,5	36,9	11,9	21,3	33,9	x	41,9	11,6	20,7	34,2	40,1	40,1
	mV flexor		162	260	204	373	x	540	187	256	346	433	123	213	278	x	503	123	226	153	301	427
	mV extenzor		128	273	304	756	x	915	73	339	443	645	173	293	492	x	1118	118	313	285	621	863
Muž č. 11	kg	50,7	10,7	20,8	28,7	42,5	x	45,4	12,2	20,2	30,2	39,2	12,2	21,1	30,8	36,7	40,5	9,9	19,1	32,9	40,8	44,1
	mV flexor		180	248	383	670	x	2333	346	807	1274	2059	173	248	324	482	1787	228	500	590	1258	1625
	mV extenzor		46	85	85	200	x	1072	135	121	373	827	156	199	271	906	582	107	90	117	361	569
Muž č. 12	kg	50,7	11,3	20,3	30,3	40,1	x	40,7	12,6	20,8	28,2	41	11,7	20,2	30,9	41	38,9	10,3	22,2	29,6	37,7	36,8
	mV flexor		98	230	384	267	x	524	401	328	338	502	151	117	322	240	515	185	188	368	405	255
	mV extenzor		69	153	415	355	x	675	128	138	146	347	95	161	373	384	1058	67	155	311	334	306
Muž č. 13	kg	48,3	9,9	20,1	32,7	38,2	x	45,3	11,4	20,3	32,3	36,2	15,6	19,5	34,6	40,6	39,1	13,3	21,2	29,3	39,6	42,9
	mV flexor		254	178	824	548	x	1426	149	176	673	1078	225	831	679	1073	962	257	295	387	602	649
	mV extenzor		127	302	835	673	x	565	49	120	260	372	79	166	223	414	317	70	125	183	213	247
Muž č. 14	kg	59,4	11,6	22,5	32,3	40,6	51,4	55,1	10,8	23,3	34,1	51,7	11,4	22,9	32,5	40,6	55,4	12,1	23,9	37,9	40,6	53,1
	mV flexor		136	526	395	395	637	1030	405	367	403	843	200	323	435	446	796	168	241	655	519	1162
	mV extenzor		38	102	184	210	250	604	145	72	15	609	58	178	155	269	700	35	51	156	136	377
Muž č. 15	kg	48,2	12,4	24,3	29,4	44,8	x	45	14,3	23,4	29	39,1	11,3	20,8	29,4	39,1	39,5	10,4	22,5	30,6	37,5	35
	mV flexor		114	327	174	281	x	388	234	270	185	331	143	161	370	451	416	330	244	343	683	619
	mV extenzor		205	809	324	542	x	941	179	469	255	627	137	180	529	630	721	150	176	284	679	581

Příloha č. 3
Tabulka naměřených hodnot ženy- pravá ruka

Jméno	Jednotky	Fmax	Základní poloha			Nadhmat			Podhmat			Předpažení		
			10	20	MAX	10	20	MAX	10	20	MAX	10	20	MAX
Žena č. 1	kg	26,9	11	22,4	24,3	11,7	x	19,6	13,6	22,6	24,8	12,5	20	24,1
	mV flexor		120	215	242	295	x	786	241	314	254	162	459	369
	mV extenzor		189	382	399	96	x	500	131	307	394	896	1160	1173
Žena č. 2	kg	25,3	10,4	19,4	24,9	9,9	x	24,6	10,6	x	16,8	11,6	21,4	20,7
	mV flexor		235	355	373	193	x	551	199	x	434	258	348	645
	mV extenzor		128	266	284	122	x	282	161	x	448	128	176	255
Žena č. 3	kg	29,5	10,5	20,3	18,7	10	x	21,3	10,6	20,2	20,5	10,9	20	24,9
	mV flexor		221	365	499	266	x	548	292	546	568	181	367	497
	mV extenzor		154	323	461	289	x	458	313	579	663	121	257	327
Žena č. 4	kg	27,5	9,2	23,2	22,7	9,4	18,7	18,9	10,1	x	18,5	10,1	19,9	24,6
	mV flexor		78	158	313	141	307	295	57	x	141	100	118	214
	mV extenzor		350	435	384	78	240	277	119	x	357	165	224	324
Žena č. 5	kg	22,9	10,2	18,6	21,3	9,8	x	15,7	12,3	x	19,1	12,6	19,3	19,9
	mV flexor		203	408	496	334	x	683	149	x	520	138	271	318
	mV extenzor		136	199	276	110	x	256	144	x	306	119	186	224

Příloha č. 4
Tabulka naměřených hodnot ženy - levá ruka

Jméno	Jednotky	Fmax	Základní poloha			Nadhmat			Podhmat			Předpažení		
			10	20	MAX	10	20	MAX	10	20	MAX	10	20	MAX
Žena č. 1	kg	25,4	13	22,3	24	13,8	x	19,2	12,7	18,7	19,3	11,5	17,7	19,5
	mV flexor		167	283	543	298	x	547	131	567	453	229	936	1424
	mV extenzor		448	735	867	226	x	570	298	700	727	266	690	724
Žena č. 2	kg	24,1	11,2	19,5	20,5	9,2	x	18,3	10,5	x	15	9,2	18,2	16,9
	mV flexor		142	235	354	167	x	298	107	x	293	249	711	501
	mV extenzor		200	401	669	134	x	496	184	x	606	120	390	419
Žena č. 3	kg	25,3	12,3	20,4	22,1	11,3	x	16,8	10,5	19,9	20,5	10	15,9	18,8
	mV flexor		82	124	551	126	x	477	173	295	672	60	126	156
	mV extenzor		114	431	608	296	x	694	145	181	499	393	1098	1374
Žena č. 4	kg	25,6	12	19	23,4	9,4	19,2	21,7	11,3	x	17,1	10,7	15,3	24,7
	mV flexor		359	323	669	253	480	462	130	x	478	109	219	588
	mV extenzor		329	291	612	165	352	459	328	x	447	201	418	500
Žena č. 5	kg	24,8	11,1	13,3	16,4	13,2	x	16,3	12,8	x	17,6	10,2	18,5	18,9
	mV flexor		203	408	496	280	x	683	145	x	520	129	271	318
	mV extenzor		136	199	276	101	x	256	144	x	306	119	187	228