

Využití biomechanických systémů pro hodnocení lokální svalové zátěže

Ilona Kačerová ¹, Martin Kába ¹

¹ Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika
ikacerov@kpv.zcu.cz
kaba@kpv.zcu.cz

Anotace: Článek se zabývá využitím biomechanických systémů pro hodnocení lokální svalové zátěže horních končetin. V České republice je legislativou schválen a používán přístroj EMG Holter, studie se zabývala porovnáním právě tohoto přístroje s přístrojem EMG Biometrics. Cílem studie bylo porovnání výsledků těchto dvou zmíněných přístrojů pro snímání elektrického potenciálu ve svalech předloktí horních končetin a to v nejčastěji používaných polohách úchopu a stisku předmětu.

1 Úvod

V dnešní době se mnoho lidí potýká s problémem pracovní neschopnosti, což je problémem nejenom pro ně, ale také pro jejich zaměstnavatele. To může být způsobeno mnoha důvody, ať už se jedná o biologické, chemické či fyzikální vlivy. Nemoc z povolání může být dočasná nebo trvalá, ale je zřejmé, že situace, kdy je pracovník indisponován, není příjemná situace ani pro něj, ani pro společnost, pro kterou pracuje. V České republice bylo roku 2017 hlášeno 1 370 nemocí z povolání [1]. Ve srovnání s rokem 2016 se celkový počet hlášených nemocí z povolání zvýšil o 73 (tj. 5,6 %). [2] Článek se zabývá využitím biomechanických systémů pro hodnocení lokální svalové zátěže horních končetin. Protože právě jednostranné dlouhodobé přetěžování horních končetin je nejčastějším poškozením zdraví při zaměstnání a příznávanou nemocí z povolání všech dělnických a průmyslových činností. Dodržování hygienických limitů lokální svalové zátěže je stěžejní pro chod celého průmyslového či výrobního podniku. Přetěžování pracovníci totiž nepodávají normované výkony a jsou často unavení, což vede k větší zmetkovitosti a zvýšení nákladů podniku. Aktuálnost tohoto tématu je zejména z důvodu neustálého rozšiřování výrobních podniků a obsazování nových pracovních míst. V České republice je legislativou schválen a používán přístroj EMG Holter, studie se zabývala porovnáním právě tohoto přístroje s přístrojem EMG Biometrics. Cílem studie bylo porovnání výsledků těchto dvou zmíněných přístrojů pro snímání elektrického potenciálu ve svalech předloktí horních končetin a to v nejčastěji používaných polohách úchopu a stisku předmětu.

2 Metodika výzkumu

Cílem výzkumu bylo porovnání výstupních dat z přístrojů EMG Holter a Biometrics DataLog a zjištění, zda jsou tyto výstupy srovnatelné, případně, jaké mají odlišnosti a jaké jsou možnosti jejich využití. Byla provedena série identických měření na vybraných probandech, ve stejných polohách rukou a za identických podmínek. Měření probíhalo za pomoci výše zmíněných přístrojů. Za použití snímacích elektrod obou přístrojů byl snímán elektrický potenciál zatěžovaných svalů (flexoru a extensoru) předloktí obou paží. K zatížení svalů byla využita síla stisku, která byla 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 v běžném životě. Základní polohy pro měření EMG paží byly čtyři:

- ruka s loktem v pravém úhlu co nejvíce u těla,
- nadhmat,
- podhmat,
- předpažení.

Síla stisku siloměru byla zvolena dle pohlaví a dle [3]. U měření potenciálu v pažích ve čtyřech základních polohách je u žen rozmezí síly stisku 10 – 30 kg, u mužů 10 – 40 kg.

Výzkum byl proveden na 20 zkoumaných osobách, měřeno bylo 15 mužů a 5 žen ve věkovém rozmezí 23 – 27 let.

3 Měřicí zařízení

Podstatou elektromyografie je měření elektrických potenciálů, které vznikají činností kosterní svaloviny. K vyšetření je využíván elektromyograf, přístroj, který zaznamenává elektrickou svalovou aktivitu. Elektromyograf se skládá z monitoru, vyhodnocovače, zdroje elektrických pulsů a dvou povrchových elektrod (elektrody jsou dvojího druhu, stimulační a registrační). Stimulační elektrody vedou elektrický impuls, který je šířen nervem a končí stažením svalu. Registrační elektrody pak snímají akční potenciál motorických jednotek (svalu). Je zde zařazena i zemnicí elektroda, která slouží jako zkratovací obvod pro rušivé proudy z napájecí sítě. Nejčastěji se jedná o páskovou či obdélníkovou elektrodu. [4, 5, 6]

Existuje několik typů elektromyografie – elektromyografie povrchová (konduktivní) a jehlová, při které se zavádí do příslušných svalů jehlová elektroda. Výzkum byl zaměřen na elektromyografii povrchovou a to s využitím EMG Holter a EMG Biometrics.

3.1 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. [7] [8] Pro snímání elektrických potenciálů jsou 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. [7]

3.2 EMG Biometrics

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. [9]

EMG senzory společnosti Biometrics Ltd. nabízejí řadu typů přenosných senzorů. Jsou dostupné ve třech verzích [9]:

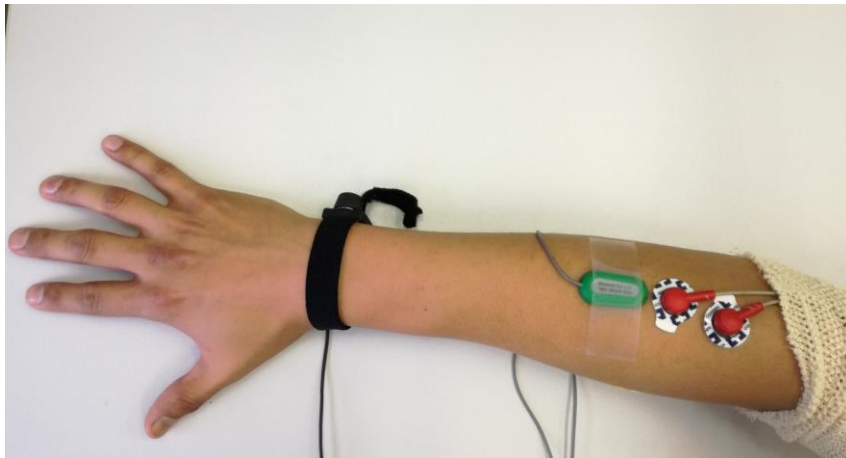
- Povrchový senzor EMG, který má integrované elektrody s pevnou vzdáleností 20 mm. U tohoto senzoru není při aplikaci nutná žádná kožní příprava či vodivé gely. Jednoduše se aplikuje pomocí speciálně vyříznuté lepicí pásky rovnou na sval.
- Bezdrátový povrchový senzor EMG s integrovanými elektrodami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

4 Průběh experimentu

Následující kapitoly se zabývají samotným průběhem a vyhodnocením experimentů.

4.1 Průběh měření

Elektrody EMG Holteru a EMG Biometricsu byly nalepeny na zkoumané svaly – extensory a flexory (viz. Obrázek 1).



Obrázek 1 - Aplikace elektrod na extensor pravé ruky

Principem měření bylo stlačování siloměru JAMAR PLUS+ na různé síly ve čtyřech základních polohách rukou. Nejprve byla měřena ruka pravá, poté byly elektrody přelepeny a byla naměřena ruka levá. 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. Namačkováání sil bylo pozvolné, kvůli zaznamenávání do náměrové tabulky a pozvolnému zatěžování sledovaných svalů. V základní poloze muži namačkávali sílu 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg a MAX. U žen to bylo o něco méně – 10 kg, 20 kg a MAX. Tyto hodnoty se individuálně odvíjely od namačknuté hodnoty F_{max} na počátku měření. Mezi jednotlivými silami a polohami byl cca 5 - 10 vteřinový odpočinek. Následovala poloha nadhmat, kdy byl loket osoby v pravém úhlu a hřbetem ruky vzhůru. Zde bylo potřeba dohlédnout na správnou polohu zápěstí – v rovině, bez rotace a loket co nejbližší k tělu. V této poloze se u mužů namačkávala síla 10 kg, 20 kg, 30 kg a MAX, u žen pouze 10 kg, 20 kg a MAX.

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

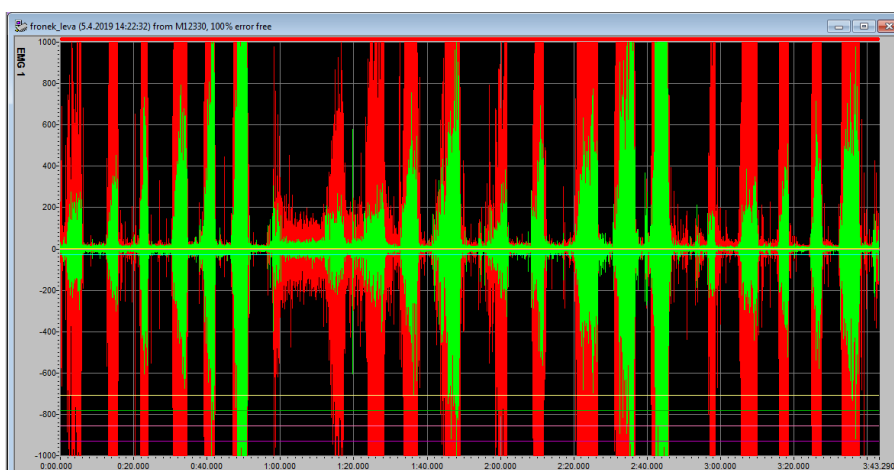
Poslední polohou bylo předpažení, kdy pro změnu rameno svírá s tělem úhel 90° . Ruka nesmí být vyosená. V této poloze se u mužů namačkávala síla 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg a MAX, u žen pouze 10 kg, 20 kg a MAX.

Veškerá data z měření byla zapsána do tabulky. Po každém stisku dynamometru se pomocí Markeru na Holteru označila jednotlivá poloha.

Náměr jedné ruky trval kolem 7 – 10 minut, celé měření pak kolem 20 – 25 minut.

4.2 Zpracování dat

Po ukončení měření a uložení snímaných dat je dalším krokem jejich zpracování. Z přístroje DataLog (Biometrics) 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.



Obrázek 2 - Amplituda DataLog

Druhým, pro další práci klíčovým, výstupem je tabulka dat, vygenerovaná z programu. 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 extensoru, Channel 2: EMG2 pro elektrodu na flexoru. Rovněž první sloupec hodnot patří k EMG 1, prostřední k EMG 2 a poslední je výčet hodnot ze zemnicí elektrody.

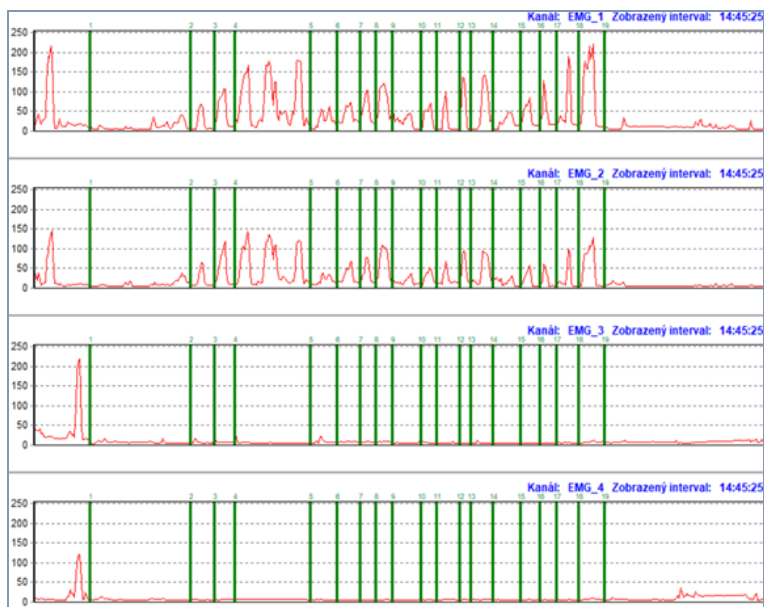
Výstupní hodnoty z kanálů EMG 1 a EMG 2 jsou zkopírovány do MS Excel. Celkový počet hodnot závisí na délce měření při snímání 500 hodnot za vteřinu. Avšak dá se uvést, že počet hodnot se pohybuje v řádech desetitisíců až statisíců. Holter nabízí pouze přesnost jednoho snímku za vteřinu, takže výstupem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

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 byly porovnávány s výstupy z Holteru.

Pro porovnání grafu EMG z Excelu bylo nutné se přesvědčit, zda byl vykreslen stejně, jako amplituda potenciálu vykreslená v programu Biometrics DataLog. Zde bylo 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 byl užíván právě graf vykreslený v Excelu.

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



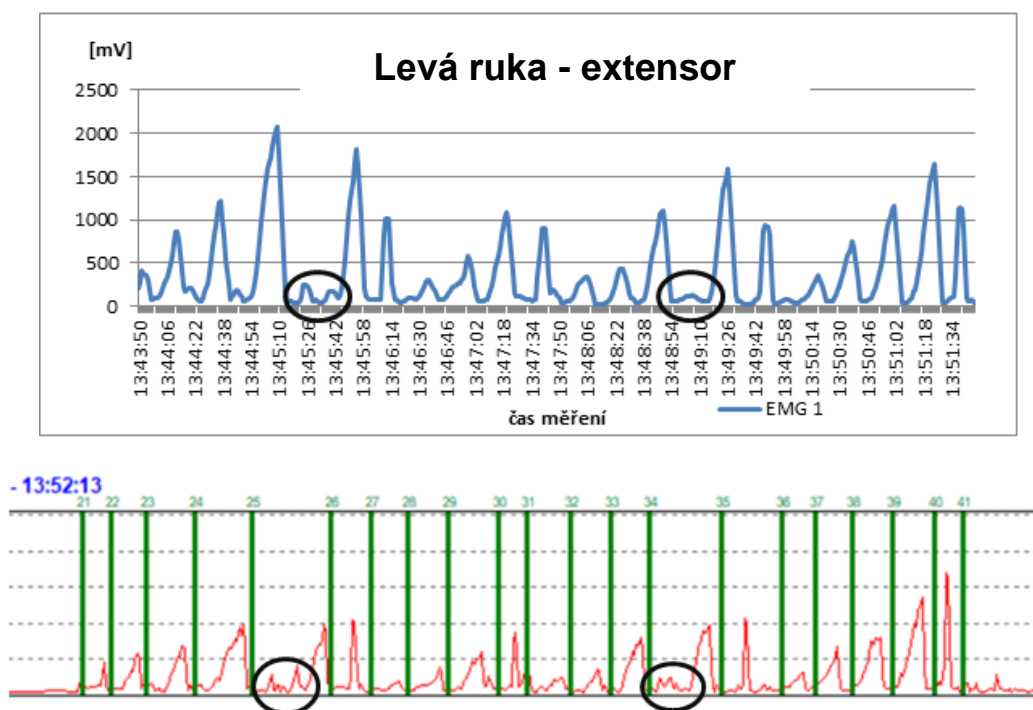
Obrázek 3 - Křivky EMG Holter

U tabulky je zaznamenán čas po vteřinách a výstupní data EMG z jednotlivých kanálů. EMG 1 (extensor pravá ruka) a EMG 2 (flexor pravá ruka), EMG 3 (extensor levá ruka) a EMG 4 (flexor levá ruka). Ve vyhodnocení je vyznačeno také ohraničení jednotlivých poloh MARKEREM. Vzhledem k tomu, že graf vygenerovaný z programu Holteru byl rovnou porovnáván s grafem vygenerovaným z Excelu z DataLogu, nebylo třeba tyto hodnoty dále upravovat.

5 Výsledky měření

Porovnávány byly grafy z Holteru s grafy z DataLogu generované v MS Excel. Porovnávání byly podrobeny veškeré náměry, které byly během experimentu provedeny.

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.



Obrázek 4 - Porovnání křivek z DataLog a Holter – extensor levá ruka

EMG Holter od společnosti GETA je jediný schválený přístroj pro snímání EMG v České republice. Výrobek na českém trhu působí řadu let a vzhledem k nulové konkurenci není potřeba ho žádným způsobem 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, nejedná se tedy o žádné absolutní hodnoty, se kterými by se dalo dále pracovat.

Práce s oběma přístroji je srovnatelná, velkým rozdílem u vybraných přístrojů je ten, že v případě DataLogu lze nastavit přesnost měření.

Vedlejším výstupem měření bylo to, že s rostoucí zátěží roste i elektrický potenciál ve svalech. Je však třeba podotknout, že vzorek 20 zkušebních osob není pro takové závěry dostatečný a výsledky nejsou směrodatné.

6 Závěr

Cílem studie bylo porovnání výstupů a průběhu měření dvou zvolených přístrojů snímajících elektrický potenciál v zatěžovaných svalech horních končetin. Dílčím cílem bylo vyhodnocení získaných dat. Závěrem lze říci, že oba přístroje měří srovnatelným způsobem, křivky jsou během měření

vykreslovány stejně a ani použití přístrojů není odlišné. Avšak každý z těchto přístrojů má své specifické možnosti využití, které se však díky rozdílným jednotkám porovnat nedají. Vedlejším výstupem měření bylo to, že s rostoucí zátěží roste i elektrický potenciál ve svalech.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

Použitá literatura

- [1] Nemoci z povolání v České republice [online] 2017, [cit. 28.8.2019]
Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/NZP/Hlaseni_NzP_2017.pdf
- [2] Nemoci z povolání v České republice [online] 2016, [cit. 28.8.2019]
Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/NRNP/aktual_Hlaseni_NzP_2016.pdf
- [3] Mathiowetz, V., Kashman, N., Volland, G., Weber, K., Dowe, M., Rogers, S. Grip and pinch strength: normative data for adults. Arch Phys Med Rehabil, 1985, vol. 66, p. 69-72.
- [4] Elektromyografie (EMG) | Moje zdraví. Moje zdraví - péče o psychickou i fyzickou pohodu [online] 2001, [cit. 12.7.2019]. Dostupné z: <https://www.mojezdravi.cz/vysetreni/elektromyografie-emg-1922.html>
- [5] EMG [online]. Dostupné z: <https://www.kntb.cz/emg>
- [6] Elektromyografie (EMG) - Vitalion.cz. Vyšetření - databáze vyšetření - Vitalion.cz [online]. Dostupné z: <https://vysetreni.vitalion.cz/elektromyografie/>
- [7] EMG Holter | Fyziologie práce. [online] 2018, [cit. 15.7.2019]. Dostupné z: <http://fyziologie.getacentrum.cz/ke-stazeni/>
- [8] JIRÁK, Z., VAŠINA, B. Fyziologie a psychologie práce. 2. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-610-9.
- [9] Biometrics Ltd.[online] [cit. 12.7.2019]. Dostupné z: <http://www.biometricsltd.com/about.html>