

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra teorie obvodů



**Srovnávací studie přístrojů pro měření
krevního tlaku**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

květen 2017

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D.

Autor práce: Bc. Markéta Sušánková

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Markéta Sušánková
Studijní program: Biomedicínské inženýrství a informatika
Obor: Biomedicínské inženýrství
Název tématu: Srovnávací studie přístrojů pro měření krevního tlaku

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou stanovení krevního tlaku.
- 2) Seznamte se s doporučeními a protokoly pro ověřování měřičů krevního tlaku.
- 3) Vyberte několik (asi 4 - 5) tonometrů lišících se především způsobem stanovení krevního tlaku.
- 4) Navrhňte experiment pro ověření vlastností vybraných tonometrů respektující mezinárodní doporučení a protokoly.
- 5) Proveďte srovnávací analýzu vybraných měřičů krevního tlaku a výsledky diskutujte.

Seznam odborné literatury:

- [1] Webster, J. G.: Medical Instrumentation - Application and Design. Wiley, 4 edition, 2007.
- [2] ČSN EN ISO 81060-2 Neinvazivní tonometry - Část 2: Klinická zkouška typu s automatizovaným měřením
- [3] ČSN EN 1060-3+A2 Neinvazivní tonometry - Část 3: Doplnkové požadavky pro elektromechanické systémy na měření krevního tlaku

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2017/2018

L.S.

prof. Ing. Pavel Sovka, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 6. 1. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V dne

.....

podpis autora práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda vyjádřila poděkování Ing. Janu Havlíkovi, Ph.D. za jeho cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Také bych ráda poděkovala všem dobrovolníkům, kteří se zúčastnili srovnávací studie.

Název diplomové práce:

Srovnávací studie přístrojů pro měření krevního tlaku

Abstrakt:

Měření krevního tlaku patří mezi základní diagnostické metody a dle naměřených výsledků může lékař stanovit preventivní léčebná opatření. Proto je důležité, aby přístroje určující krevní tlak měřily co možná nejpřesněji.

Cílem diplomové práce bylo provést srovnávací studii několika tonometrů s různým způsobem měření krevního tlaku a porovnat je z hlediska přesnosti měření. Vybrané tonometry byly nejprve otestovány na dvou simulátorech tlaku pro různé druhy simulací. Dále byly tonometry testovány při měření na dobrovolnících. Vybrané tonometry byly porovnávány vůči referenci, kterou tvořil buď simulátor tlaků, nebo monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200.

Vyhodnocení měření na dobrovolnících bylo provedeno pro měření na 42 osobách, z toho bylo 20 žen a 22 mužů s věkem od 11 do 76 let. Bylo zjištěno, že tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort měří vyšší hodnotu systolického i diastolického tlaku než reference. HuBDIC HPB-1520 ukazuje vyšší hodnotu systolického tlaku a nižší hodnotu diastolického tlaku než reference. Omron R7 určuje oba druhy tlaků nižší než referenční tonometr.

Klíčová slova:

měření krevního tlaku, systolický krevní tlak, diastolický krevní tlak, oscilometrická metoda

Master's Thesis title:

Comparative Study of Devices for a Blood Pressure Measurement

Abstract:

Blood pressure measurement is one of the basic diagnostic methods. Based on the results, the physician may prescribe preventive curative measures. Therefore, it is important that blood pressure monitors measure as accurately as possible.

The aim of the diploma thesis was to perform a comparative study of several tonometers with various methods of blood pressure measurement and to compare them in terms of measuring accuracy. Selected tonometers were first tested on two pressure simulators for different types of simulations. In addition, tonometers were tested on volunteer measurements. Selected tonometers were compared against the reference formed by either the Pressure Simulator or the Advisor BCI-9200 Vital Signs Monitor.

The evaluation of the volunteer measurements was done for the measurement of 42 persons, of which 20 were women and 22 were men aged 11 to 76 years. It was found that the Hartmann Digital HG 160 comfort tonometer measured higher systolic and diastolic pressure than reference. HuBDIC HPB-1520 shows a higher systolic pressure and a lower diastolic pressure than the reference. Omron R7 measures both types of pressures lower than the reference tonometer.

Key words:

blood pressure measurement, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, oscillometric method

Obsah

Úvod	3
1 Měření krevního tlaku	4
1.1 V praxi používané neinvazivní metody měření krevního tlaku	6
1.1.1 Auskultační metoda	6
1.1.2 Oscilometrická metoda	7
2 Přesnost tonometrů	10
2.1 Klinická zkouška s auskultačním referenčním tonometrem	10
2.2 Protokol BHS	13
3 Technické parametry použitých přístrojů	16
3.1 Specifikace testovaných tonometrů a jejich příslušenství	16
3.1.1 Advisor BCI-9200	16
3.1.2 HuBDIC HPB-1520.....	17
3.1.3 Hartmann Digital HG 160 comfort.....	17
3.1.4 Omron R7 (HEM-637-E7).....	18
3.1.5 Demonstrační tonometr	19
3.1.6 Manžety	19
3.2 Specifikace použitého pulzního oxymetru.....	20
3.2.1 NONIN Onyx II 9550.....	21
4 Metodika zjišťování přesnosti vybraných tonometrů	22
4.1 Absolutní chyba měření	22
4.2 Relativní chyba měření	22
4.3 Průměrná chyba měření	23
4.4 Lineární regrese	23
4.5 Blandův-Altmanův graf	23
5 Ověření přesnosti vybraných tonometrů za použití simulátoru.....	24
5.1 Specifikace simulátoru FLUKE BP Pump 2.....	24

5.1.1	Použité simulace pro testování tonometrů	25
5.2	Specifikace simulátoru FLUKE ProSim 8.....	27
5.2.1	Použité simulace pro testování tonometrů	27
5.3	Vyhodnocení testování jednotlivých tonometrů na simulátorech	28
5.3.1	Advisor BCI-9200	29
5.3.2	Hartmann Digital HG 160 comfort	30
5.3.3	HuBDIC HPB-1520	32
5.3.4	Demonstrační tonometr	34
5.3.5	Omron R7 (HEM-637-E7)	35
5.4	Souhrnné vyhodnocení testování na simulátorech	36
6	Ověření přesnosti testovaných tonometrů při měření tlaku u lidí	39
6.1	Postup měření pro testování tonometrů.....	39
6.2	Rozložení dobrovolníků	41
6.3	Vyhodnocení měření.....	42
	Diskuze.....	47
	Závěr.....	49
	Seznam použité literatury	50
	Seznam symbolů a zkratk	53
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	56
	Seznam příloh.....	57

Úvod

Měření krevního tlaku patří mezi základní diagnostické metody. Při běžném vyšetření se využívá neinvazivních metod měření krevního tlaku, jehož výsledky vypovídají o celkovém zdravotním stavu pacienta z pohledu hemodynamického, metabolického či psychického. Podle výsledků měření krevního tlaku může lékař stanovit preventivní léčebná opatření. Proto je důležité, aby přístroje určující krevní tlak měřily co možná nejpřesněji. Cílem této práce bylo vybrat několik tonometrů a zjistit jejich přesnost měření.

První kapitola se věnuje neinvazivním metodám stanovení krevního tlaku. Další kapitola je zaměřena na standardy v ověřování přesnosti tonometrů, konkrétně na klinickou zkoušku a BHS protokol. Z těchto standardů je následně vycházeno při návrhu postupu testování tonometrů.

Bylo vybráno několik tonometrů, které měří krevní tlak oscilometrickou metodou, ale liší se v tom, zda vyhodnocení krevního tlaku probíhá při nafukování nebo vyfukování manžety a zda se manžeta přístroje umísťuje na zápěstí nebo na paži nad loktem.

Vybrané tonometry byly nejprve otestovány na dvou simulátorech tlaku pro různé druhy simulací. Jednotlivé simulace představovaly různé typy pacientů (zdravé, s nadváhou, geriatrické, s fibrilací síní atd.). Výsledky tohoto testování jsou zaneseny v kapitole číslo 5.

Dále byly tonometry testovány na dobrovolnících. Zde bylo nutné navrhnout postup testování tak, aby odpovídal standardům, ale zároveň bylo možné testovat více tonometrů najednou a dobrovolníci nebyli příliš namáháni z hlediska komfortu při měření s ohledem na to, že se měření zúčastní i starší osoby. Poté bylo nutné provést měření na co nejvíce rozmanité škále dobrovolníků a měření vyhodnotit.

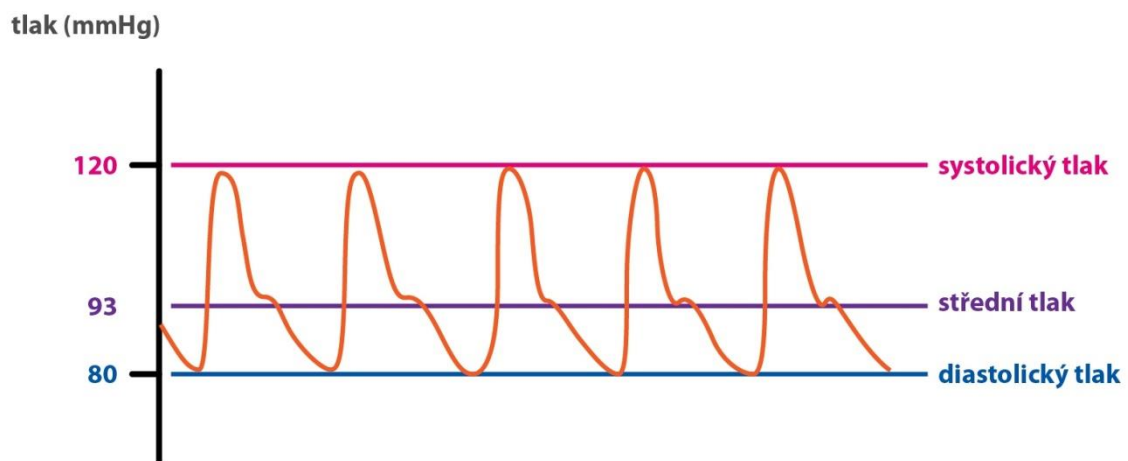
V závěru práce jsou uvedeny výsledky měření a jejich zhodnocení v kontextu dané problematiky.

1 Měření krevního tlaku

Měření krevního tlaku patří mezi základní diagnostické metody. Může se měřit invazivně pomocí katétru nebo neinvazivně. Při běžném vyšetření se využívá neinvazivních metod měření krevního tlaku, jehož výsledky vypovídají o celkovém zdravotním stavu pacienta. Podle výsledků měření krevního tlaku může lékař stanovit preventivní léčebná opatření [1].

Výsledkem tohoto vyšetření je veličina zvaná krevní tlak, který se v lékařství udává v mmHg (milimetr sloupce rtuti). Krevní tlak vzniká činností srdce, které vypuzuje krev do aorty a plicnice. Krev musí překonávat odpor periferního řečiště, čímž se snižuje krevní tlak se vzdáleností od srdce. Podle toho, kde se krevní tlak měří, ho rozlišujeme na tlak centrální, periferní, arteriální a venózní [2].

Při neinvazivním měření se nejčastěji měří tlak pomocí manžety umístěné na levé horní paži, protože hodnoty arteriálního tlaku se zde nejvíce blíží centrálnímu tlaku. Měří se systolický tlak (ST), který odpovídá maximálnímu arteriálnímu tlaku v průběhu srdeční periody a diastolický tlak (DT), odpovídající minimálnímu tlaku. Také je možné stanovit střední arteriální tlak (MAP – Mean Arterial Pressure). Jednotlivé tlaky jsou vyobrazeny na obrázku 1.



Obrázek 1 – Schematické znázornění průběhu tlaku v cévě [3]

Střední arteriální tlak se v průběhu jedné srdeční periody určuje podle vzorce (1)

$$MAP = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt, \quad (1)$$

kde T je doba periody, p je tlak a t_0 čas počátku měření.

MAP je zhruba stejný ve všech částech arteriálního řečiště a je velmi málo ovlivněn vlastnostmi měřicího zařízení. Při klidové srdeční frekvenci, tedy v případě kdy diastola trvá déle než systola, lze vztah (1) zjednodušit na vztah (2) [4].

$$MAP = \frac{ST - DT}{3} + DT \quad (2)$$

Dle hodnot krevního tlaku lze určit, zda má jedinec normální krevní tlak, hypotenzi či hypertenzi. Krevní tlak však není po celý život stejný. Například arteriální systolický tlak se od dětství postupně zvyšuje. U malých dětí se pohybuje kolem 75 až 80 mmHg, u dětí ve školním věku dosahuje hodnot mezi 110 a 120 mmHg a u mužů ve věku 65 let může dosahovat až 145 mmHg [2]. Základní kategorizace krevního tlaku je uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1 – Kategorizace krevního tlaku [5], [6]

Kategorie krevního tlaku	Hodnota systolického tlaku [mmHg]	Hodnota diastolického tlaku [mmHg]
hypotenze	< 100	< 65
optimální	100 – 120	65 – 80
normální	100 – 130	65 – 85
vyšší normální	130 – 139	85 – 89
hraniční hypertenze	140 – 149	90 – 94
mírná hypertenze	140 – 159	90 – 99
středně závažná hypertenze	160 – 179	100 – 109
těžká hypertenze	≥ 180	≥ 110

1.1 V praxi používané neinvazivní metody měření krevního tlaku

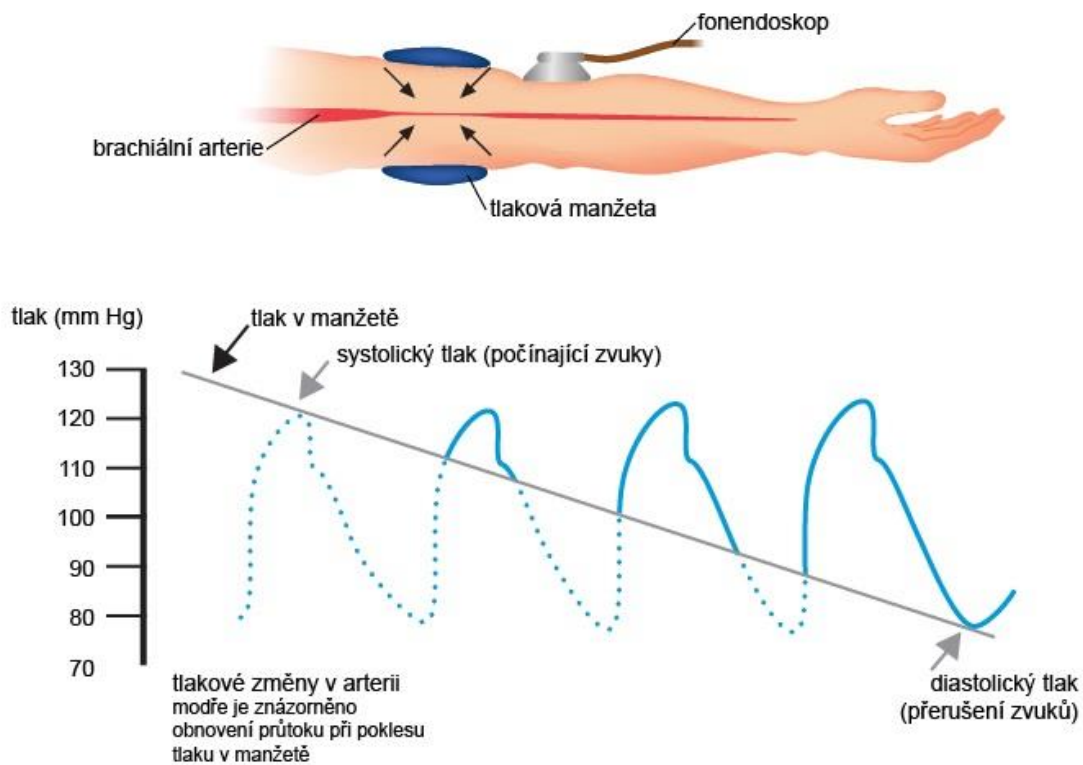
Při běžných vyšetřeních se měří tlak krve neinvazivními metodami, zejména auskultační nebo oscilometrickou. K vyšetření se používá manžeta, zpravidla umístěvaná na levou ruku ve výšce srdce, kde zaškrcuje brachiální artérii. Manžeta se pomocí ventilu a balónku může nafukovat a vyfukovat, čímž ovlivňuje průtok krve v daném místě. Při auskultační metodě se měří krevní tlak manuálně pomocí sphygmomanometru a při oscilometrické metodě se měří oscilace objemu nafouknuté manžety. Tyto neinvazivní metody měření neumožňují měřit krevní tlak spojitě v čase [2].

1.1.1 Auskultační metoda

Pro měření auskultační metodou se používá sphygmomanometr, který se skládá z manžety, balónku, aneroidního nebo rtuťového manometru a fonendoskopu.

Principem této metody je zaškrcení tepny pomocí manžety, která se natlakuje na vyšší tlak než systolický, čímž se zastaví průtok krve v cévě. Pokud se následně začne tlak v manžetě pomalu snižovat (2 – 3 mmHg/s), začne se průtok v manžetě pomalu obnovovat turbulentním prouděním, které je při poslechu tepny registrovatelné v podobě Kortkovových ozev. V okamžiku, kdy se tyto ozvy objeví, je tlak v manžetě roven systolickému tlaku. Při snižování tlaku v manžetě turbulentní proudění pomalu přechází v laminární a dochází k úplnému zprůchodnění cévy. V okamžiku, kdy vymizí turbulentní proudění, vymizí i Korotkovovy ozvy a tlak v manžetě je roven diastolickému tlaku [2]. Princip metody je znázorněn na obrázku 2.

Přesnost této metody může ovlivňovat mnoho faktorů. Pro správné určení krevního tlaku je zapotřebí školeného vyšetřujícího s dobrým sluchem. Při špatném sluchu vyšetřující osoby by došlo k zaznamenání nižšího systolického tlaku, než jaký ve skutečnosti je. Diastolický tlak by pak vlivem hystereze sluchu mohl být zaznamenán s větší chybou a vyšší než ve skutečnosti. Dále je metoda náchylná na okolní rušivý hluk. Pro správné určení krevního tlaku by vyšetřovatele neměly vyrušovat žádné okolní zvuky [1].



Obrázek 2 – Princip auskultační metody [6]

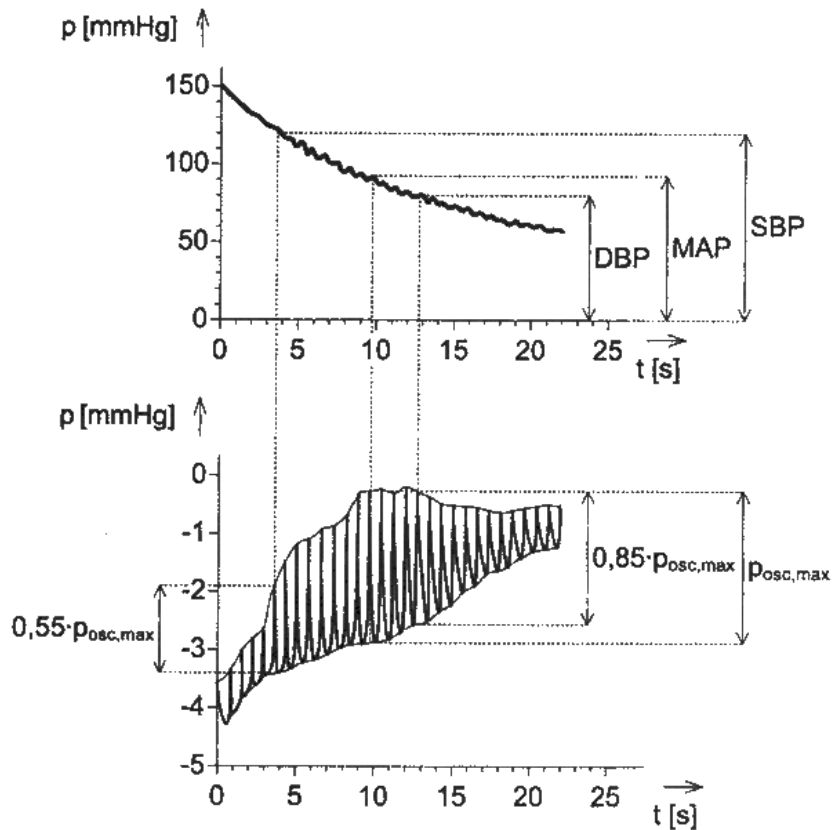
Důležité je vypouštět manžetu rychlostí zhruba 2 mmHg/s. Při pomalejším vypouštění by mohlo dojít k zatěžování neprokrvované tkáně. Při rychlejším vypouštění by mohlo dojít k chybné detekci Korotkovových ozev a ke špatnému určení krevního tlaku [1].

Metoda je citlivá na pohyby paže v manžetě během měření, proto by měl být vyšetřovaný pacient během měření v klidu. Pohyby paže způsobují rušivé zvuky ve fonendoskopu. Přesnost měření také ovlivňuje poloha a velikost manžety. Experimentálně byl zjištěn vyhovující poměr mezi šířkou manžety a obvodem ruky v místě měření 0,4 [1]. Maximální přesnost měření pomocí auskultační metody dosahuje ± 5 mmHg [2].

1.1.2 Oscilometrická metoda

Stejně jako u auskultační metody se i zde používá manžeta, která se natlakuje na hodnotu vyšší, než je systolický tlak a pak se pomalu upouští (2 mmHg/s). Při této metodě se nesnímají Korotkovovy ozvy, ale na manžetu jsou přenášeny mechanické oscilace, které se

projevují rychlými změnami tlaku v manžetě [2]. Elektronicky (například pomocí piezoelektrického snímače) je detekována superpozice aplikovaného tlaku a oscilací manžety [1].



Obrázek 3 – Průběh tlaku v manžetě při jejím vypouštění (nahore) a po odstranění pomalu se měnící složky (dole), s vyznačením způsobu určení systolického a diastolického tlaku [2]

Oscilace způsobí v manžetě změny tlaku o velikosti jednotek mmHg. V okamžiku, kdy je amplituda oscilací nejvyšší, je tlak v manžetě roven střednímu arteriálnímu tlaku [13], [7]. Systolický a diastolický tlak se dopočítává z MAP. Systolickému tlaku odpovídá tlak v manžetě v momentu, kdy narůstající oscilace dosahuje 55 % maximální amplitudy oscilace. Diastolický tlak odpovídá tlaku v manžetě, kdy klesající oscilace dosahuje 85 % svého maxima [1]. Pro vyhodnocení amplitudy oscilací je zapotřebí nalézt obálku odpovídajícího signálu. Ukázka principu je zobrazena na obrázku 3. K nalezení obálky je možné použití například interpolace špičkových hodnot signálu [2].

Další možností je vyhodnotit obálku oscilací pomocí její první derivace. Diastolický tlak v manžetě je určen jako časový okamžik, ve kterém má derivovaný průběh minimum. Analogicky k tomu je systolický tlak při maximu derivovaného průběhu. Střední arteriální tlak se určuje v okamžiku nulové derivace [2].

Přesnost komerčních oscilometrických přístrojů často bývá dle katalogových listů ± 3 mmHg. Avšak této přesnosti nejsou některé přístroje v některých případech schopny dosáhnout. Při experimentu bylo zjištěno, že se vzdalujícími se hodnotami tlaku a tepové frekvence od normálních hodnot se zvětšuje i odchylka měření, a to až na 10 mmHg [1].

Většina tonometrů používaných v domácnostech využívá oscilometrickou metodu. Obsluha takovýchto tonometrů nebývá složitá a přístroje nejsou náchylné na okolní hluk, tak jako auskultační metoda [1]. Oscilometrické tonometry mohou být konstruovány tak, aby krevní tlak a oscilace měřily při vypouštění, nebo napouštění manžety [8].

2 Přesnost tonometrů

Tonometry jsou lékařské diagnostické přístroje, které určují hodnotu krevního tlaku; na základě naměřených hodnot může být pacient léčen. Proto je důležité, aby tyto přístroje byly co nejpřesnější a byla známa chyba jejich měření. Při uvádění tonometrů na trh je nutné zjistit přesnost jejich měření. Zjištěná přesnost i postup jejího testování musí odpovídat standardům popsaným v normě ČSN EN ISO 81060-2. Přístroje mohou mít také označení přesnosti dle protokolu BSH. U přístrojů, které jsou otestované podle protokolu BSH je uvedena zvlášť přesnost přístroje pro systolický i diastolický tlak.

2.1 Klinická zkouška s auskultačním referenčním tonometrem

V této podkapitole bude popsána klinická zkouška tak, jak ji stanovuje norma ČSN EN ISO 81060-2. V normě je stanoveno, kolik pacientů se klinické zkoušky musí účastnit, kolik měření musí být provedeno a jak mají tato měření vypadat.

Jako reference slouží průměrná hodnota tlaků určená dvěma pozorovateli. Pozorovateli v klinické zkoušce jsou dva lidé, kteří jsou vycvičení v použití řádné metodiky pro určování klidového krevního tlaku a mají v tom dostatečnou praxi. Oba pozorovatelé pak nezávisle na sobě určují krevní tlak při téže měření a referenční tlak se počítá jako průměr měření obou pozorovatelů. Pokud se výsledky pozorovatelů pro stejné měření liší o více než 4 mmHg, je toto měření z dalšího zpracování vyřazeno [9].

Do klinické zkoušky musí být zahrnuto 85 osob. Od každé z osob se použijí alespoň tři platná měření. Vždy se měří referenčním a zkoušeným tonometrem, takže výsledkem je 255 určení tlaku referencí a 255 určení tlaku zkoušeným tonometrem [9].

Z celkového počtu subjektů účastnících se klinické zkoušky by mělo být alespoň 30 % mužů a alespoň 30 % žen. U tonometru, který je určen pro měření na dospělých a mladistvých osobách, musí být věk subjektu větší než 12 let [9].

Dále se u klinické zkoušky zohledňuje obvod měřené končetiny. Alespoň 40 % subjektů by mělo mít obvod měřené končetiny v horní polovině rozsahu použité manžety. Stejně procento subjektů by mělo spadat do dolní poloviny rozsahu použité manžety. A do horní a dolní čtvrtiny rozsahu použité manžety by mělo spadat alespoň po 20 % subjektů [9].

Rozdělení subjektů podle krevního tlaku ukazuje tabulka 2. Tlak, dle kterého musejí být subjekty rozděleny, je tlak naměřený pomocí referenčních měření [9].

Tabulka 2 – Procentuální zastoupení tlaků u subjektů [9]

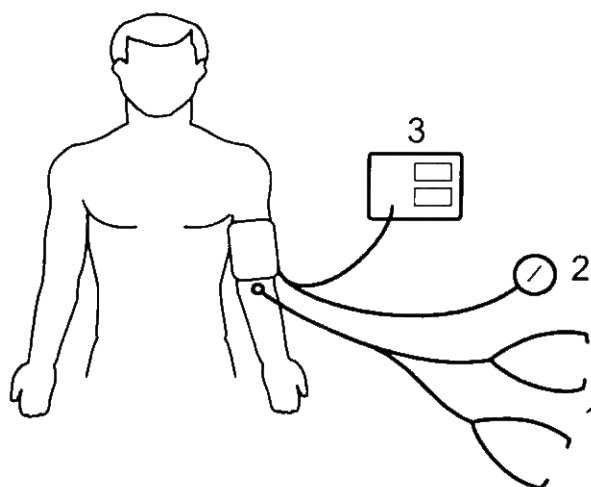
Minimální procento zastoupení	Druh krevního tlaku	Mezní hodnota tlaku [mmHg]
5 %	systolický tlak	≤ 100
5 %	systolický tlak	≥ 160
20 %	systolický tlak	≥ 140
5 %	diastolický tlak	≤ 60
5 %	diastolický tlak	≥ 100
20 %	diastolický tlak	≥ 85

Subjekt by měl být během měření klidný a uvolněný. Měl by mít podepřená záda, loket a předloktí. Manžetu by měl mít umístěnou na úrovni pravé srdeční síně. Během měření by subjekt neměl mluvit. Před začátkem měření by měl subjekt 5 minut sedět klidně bez mluvení v dané poloze [9].

Existují tři metody klinické zkoušky:

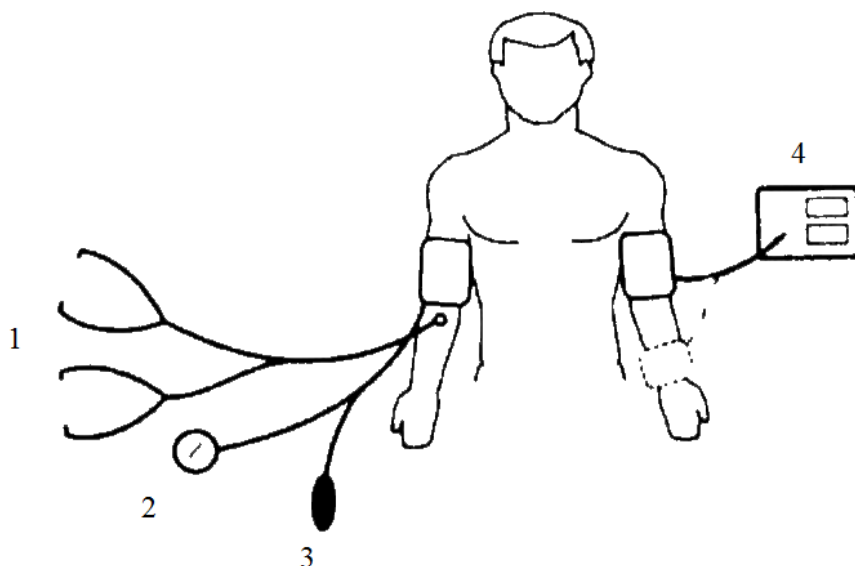
- Metoda pro současné měření na téže paži
- Metoda pro postupné měření na téže paži
- Metoda pro současné měření na obou pažích

Při současném měření na téže paži měří tlak najednou oba pozorovatelé a zkoušený tonometr. Pozorovatel by během měření neměl vidět výsledky od druhého pozorovatele ani od zkoušeného tonometru [9]. Aplikace této metody je zobrazena na obrázku 4.



Obrázek 4 – Zobrazení metody pro současné měření na téže paži (1 – dvojitý stetoskop, 2 – displej referenčního tonometru, 3 – zkoušený tonometr) [9]

Při použití metody současného měření na obou pažích je na jedné paži připojen referenční tonometr a na druhé paži zkoušený tonometr. Zobrazení připojených tonometrů na subjektu je na obrázku 5. Umístění tonometrů se musí mezi jednotlivými subjekty střídat. Rozdíl tlaků v levé a pravé paži se upravuje přepočtem [9].

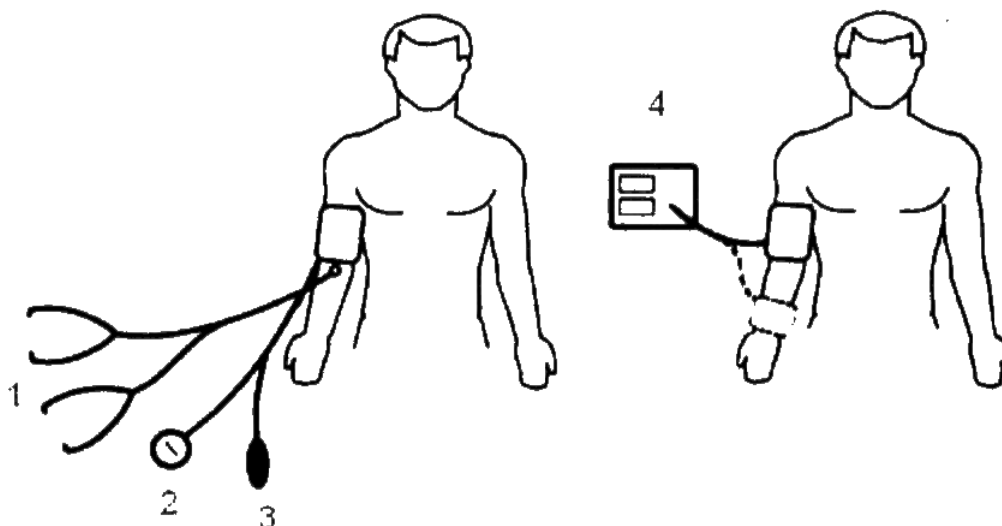


Obrázek 5 – Zobrazení metody pro současné měření na obou pažích (1 – dvojitý stetoskop, 2 – displej referenčního tonometru, 3 – ruční balonek referenčního tonometru, 4 – zkoušený tonometr)

[9]

Při metodě postupného měření na jedné paži se ze začátku změří krevní tlak subjektu za použití referenčního tonometru. Pak se alespoň minutu čeká a krevní tlak se změří znovu zkoušeným tonometrem. Tato první měření se nepoužívají pro určení přesnosti zkoušeného tonometru. Vymaže se paměť zkoušeného tonometru [9].

Pomocí referenčního tonometru po uplynutí 60 sekund od předchozího měření změří pozorovatelé krevní tlak subjektu. Pak se postupně určuje krevní tlak zkoušeným a referenčním tonometrem dokud se nezíská požadovaný počet platných měření. Mezi měřeními musí být vždy alespoň 60 sekund pauza [9]. Umístění tonometrů na paži subjektu je znázorněno na obrázku 6.



Obrázek 6 – Zobrazení metody pro postupné měření na téže paži (1 – dvojitý stetoskop, 2 – displej referenčního tonometru, 3 – ruční balonek referenčního tonometru, 4 – zkoušený tonometr) [9]

Jakákoli dvě referenční určení systolického krevního tlaku by se neměla lišit o více než 12 mmHg a pro určení diastolického tlaku by rozdíl neměl přesáhnout 8 mmHg. Pokud se tak stane, musejí se všechny údaje od subjektu vyřadit [9].

Pokud naměřené tlaky od jednoho subjektu nesplňují toto kritérium, můžou se použít dvě po sobě jdoucí měření, která toto kritérium splňují, ale do studie se musí zařadit další subjekty tak, aby byl splněn minimální počet určení. Tato výjimka se nesmí udělat u více než 10 % subjektů [9].

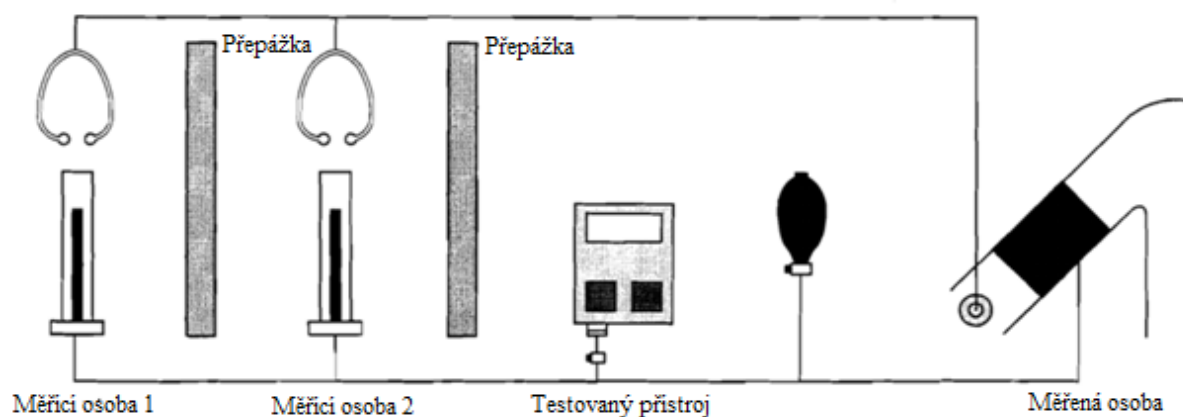
2.2 Protokol BHS

Při testování automatických oscilometrických tonometrů je potřeba provést měření u 85 osob, stejně jako u klinické zkoušky. Na rozdíl od klinické zkoušky je zde náhodné rozložení osob podle pohlaví, věku a obvodu paže. Je dáno, jaké musí být rozložení hodnot krevního tlaku u testované skupiny. Jednotlivé tlakové skupiny a počet osob v nich je uveden v tabulce 3 [10].

Tabulka 3 – Rozložení krevního tlaku u testovaných osob dle protokolu BHS [10]

Počet osob	Druh krevního tlaku	Tlaková skupina [mmHg]
8	systolický tlak	< 90
20	systolický tlak	90 – 129
20	systolický tlak	130 – 160
20	systolický tlak	161 – 180
8	systolický tlak	< 180
8	diastolický tlak	< 60
20	diastolický tlak	60 – 79
20	diastolický tlak	80 – 100
20	diastolický tlak	101 – 110
8	diastolický tlak	> 110

Testovací měření se obvykle provádějí opakovaným měřením na jedné paži. Nejprve dva proškolení pozorovatelé provedou najednou měření pomocí auskultační metody a potom se provede měření testovaným tonometrem. Ukázka sestavené aparatury je na obrázku 7. Toto měření se opakuje třikrát pro každou osobu a mezi jednotlivými měřeními je vždy odstup 30 až 60 sekund [10].



Obrázek 7 – Ukázka sestavené aparatury pro testování tonometrů podle protokolu BHS [10]

Výsledné hodnocení se provádí zvlášť pro systolický a zvlášť pro diastolický krevní tlak a to tak, že se zkoumá, kolik procent z naměřených hodnot má odchylku od referenčních měření menší než 5, 10 a 15 mmHg. Pro dosažení daného stupně hodnocení musí být všechny tři hodnoty kumulativních procent shodné nebo větší než hodnoty v tabulce 4.

Například pokud při měření vyšlo, že má daný tonometr kumulativní procenta měření pro systolický krevní tlak odpovídající stupni hodnocení A a pro diastolický krevní tlak stupni hodnocení B, bude na přístroji napsáno BHS A/B. Pro klinickou praxi jsou vhodné takové přístroje, které mají dle protokolu BHS hodnocení A nebo B [10].

Tabulka 4 – Stupně hodnocení testovaných tonometrů dle protokolu BHS [10].

Stupeň hodnocení	Absolutní odchylka mezi auskultačně naměřenými hodnotami a hodnotami testovaného přístroje [mmHg]		
	≤ 5	≤ 10	≤ 15
A	60	85	95
B	50	75	90
C	40	65	85
D	horší než C		

3 Technické parametry použitých přístrojů

V této kapitole jsou uvedeny technické parametry testovaných tonometrů a dalších přístrojů, které nebyly testovány, ale byly použity při měření krevního tlaku.

3.1 Specifikace testovaných tonometrů a jejich příslušenství

Pro testování bylo zvoleno pět přístrojů na měření krevního tlaku, které používají neinvazivní oscilometrickou metodou. Přístroje byly vybrány tak, aby se lišily způsobem měření, nebo místem umístění manžety. Díky této rozmanitosti bude v závěru možné porovnat nejenom samotné přístroje mezi sebou, ale i způsob jejich měření a místo umístění manžety. Některé z přístrojů měří krevní tlak při nafukování manžety, jiné při vyfukování. Manžetu je možné umístit na paži nad loktem, nebo na zápěstí. V této podkapitole budou uvedeny technické specifikace jednotlivých přístrojů.

3.1.1 Advisor BCI-9200

Advisor BCI-9200 je monitor vitálních funkcí s možností měřit neinvazivně krevní tlak při vyfukování manžety umístěné na paži. U dospělých a dětí měří krevní tlak v rozsahu 20 až 250 mmHg, u novorozenců v rozsahu 20 až 130 mmHg. Přesnost měření krevního tlaku je ± 3 mmHg nebo ± 2 % naměřené hodnoty, podle toho co je větší. Defaultně nastavené nafouknutí manžety je u dospělých 175 mmHg, u dětí 150 mmHg a u novorozenců 100 mmHg. Monitor vitálních funkcí neumí určovat tepovou frekvenci z neinvazivního měření krevního tlaku [11]. Vzhled přístroje Advisor BCI-9200 je na obrázku 8.



Obrázek 8 – Monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 [12]

3.1.2 HuBDIC HPB-1520

Je elektronický automatický tonometr měřící tlak při nafukování manžety, která se umísťuje na paži. Tonometr měří tlak v rozsahu 40 – 230 mmHg a tepovou frekvenci v rozsahu 40 až 199 úderů srdce za minutu. Originální manžeta je určena pro paže o obvodu 22 – 32 cm. Při použití jiné manžety je přístroj schopný měřit tlak do obvodu paže 42 cm. Přesnost měření krevního tlaku je ± 3 mmHg při teplotách 5 – 40 °C. Přesnost měření tepové frekvence je ± 5 % [14]. Tonometr je zobrazen na obrázku 9.



Obrázek 9 – Tonometr HuBDIC HPB-1520 [14]

3.1.3 Hartmann Digital HG 160 comfort

Tento digitální tlakoměr (obrázek 10) používá pro určování krevního tlaku oscilometrickou metodu. Změny pulzací v manžetě měří při vypouštění manžety. Manžeta se umísťuje na paži nad loktem. Krevní tlak měří v rozsahu 30 až 280 mmHg s přesností ± 3 mmHg. Tepovou frekvenci měří v rozsahu 40 až 200 úderů srdce za minutu s přesností ± 5 % naměřené hodnoty [15], [16].



Obrázek 10 – Tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort [16]

3.1.4 Omron R7 (HEM-637-E7)

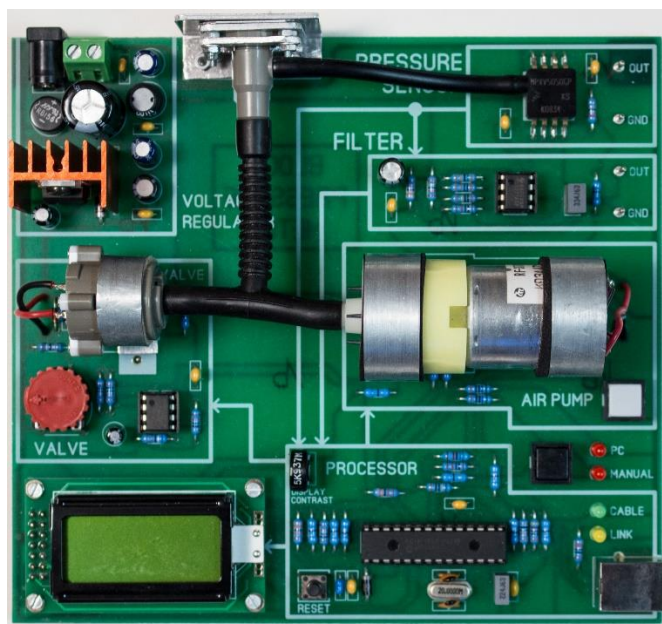
Tento tonometr slouží pro měření krevního tlaku na zápěstí a jeho vzhled je zobrazen na obrázku 11. Tonometr Omron R7 používá oscilometrickou metodu zjišťování krevního tlaku a tlak měří při napouštění manžety. Rozsah měření krevního tlaku je 0 až 299 mmHg s přesností ± 3 mmHg. Rozsah měření tepové frekvence je 40 až 180 pulzů za minutu s přesností ± 5 % měřené hodnoty. Manžeta přístroje je určena pro zápěstí o obvodu 13,5 až 21,5 cm. Hmotnost přístroje bez baterií je 150 g [17].



Obrázek 11 – Tonometr Omron R7 [18]

3.1.5 Demonstrační tonometr

Tento tonometr byl vyroben na Fakultě elektrotechnické Ing. Janem Dvořákem za účelem demonstrace oscilometrické metody měření krevního tlaku. Je zobrazen na obrázku 12. Přístroj měří krevní tlak pomocí oscilometrické metody při vypouštění manžety, která se umísťuje na paži. Střední tlak (MAP) určuje z maxima oscilací, systolický a diastolický tlak dopočítává poměrovou metodou [19]. Přístroj umožňuje zobrazení oscilačních pulzací v reálném čase.



Obrázek 12 – Demonstrační tonometr

3.1.6 Manžety

Pro měření byly použity 3 manžety v závislosti na obvodu paže měřené osoby.

- Manžeta Typu S (CS9) o rozsahu 17 až 22 cm (obrázek 13)



Obrázek 13 – Manžeta typ S (CS9)

3.2.1 NONIN Onyx II 9550

Onyx II 9550 je pulzní oxymetr (obrázek 16), který kromě saturace krve kyslíkem měří i srdeční frekvenci a umísťuje se na prst ruky. Tepovou frekvenci měří v rozsahu 18 až 321 tepů za minutu. Přístroj je navržený pro použití v rozsahu teplot -5 až 40 °C [20].

Přístroj ukazuje kvalitu měřeného signálu pomocí škály tří barev blikající diody. Pokud dioda bliká zeleně, jedná se o dobrý pulsní signál. Pokud dioda bliká oranžovou barvou, indikuje marginální pulsní signál. V případě červené indikace se jedná o nedostatečný pulsní signál [20].



Obrázek 16 – Pulzní oxymetr Onyx 9550 [20]

4 Metodika zjišťování přesnosti vybraných tonometrů

Vybrané přístroje na měření krevního tlaku byly testovány nejprve pomocí simulací tlaku ze dvou simulátorů (kapitola 5) a následně při měření na dobrovolnících (kapitola 6). Pro určení přesnosti měření tonometrů při testu na simulátorech i dobrovolnících byla zjišťována absolutní a relativní chyba vůči referenční hodnotě. U měření na dobrovolnících byly výsledky navíc vyhodnocovány pomocí lineární regrese a Blandova-Altmanova grafu.

4.1 Absolutní chyba měření

Aby bylo možné z absolutní chyby rozlišit, zda testovaný tonometr ukazuje vyšší či nižší hodnotu tlaku než reference, byla absolutní chyba měření určována jako rozdíl testovaného tonometru a reference, jak ukazuje rovnice (3). Pokud absolutní chyba vyjde záporná, znamená to, že ověřovaný tonometr ukazuje nižší hodnotu než reference, pokud vyjde kladná hodnota, testovaný tonometr ukazuje vyšší hodnotu než referenční tonometr.

$$\Delta = TT - RT \quad (3)$$

V rovnici (3) je Δ absolutní chyba měření, TT je tlak zjištěný testovaným tonometrem a RT je tlak dle reference.

4.2 Relativní chyba měření

Relativní chyba měření udává poměr absolutní chyby k referenční hodnotě. Ve výsledku této chyby se zohlední rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem. Absolutní chyba měření může vyjít u systolického i diastolického tlaku stejně veliká, ale protože diastolický tlak nabývá nižších hodnot než systolický, bude při stejně absolutní chybě vyšší relativní chyba u diastolického tlaku. Relativní chyba byla počítána podle rovnice (4)

$$\delta = \Delta/RT, \quad (4)$$

kde δ je relativní chyba měření.

4.3 Průměrná chyba měření

Dále bylo zjišťováno, jaké průměrné chyby měření dosahují jednotlivé tonometry. U testu na simulátorech byla počítána průměrná chyba přes všechny simulace zvlášť pro systolický a diastolický tlak. U testování na dobrovolnících byla průměrná chyba počítána jako průměr z měření na všech dobrovolnících. Opět se průměrná chyba určovala zvlášť pro systolický a pro diastolický tlak.

Průměrná chyba měření byla počítána jako průměr absolutních hodnot absolutní chyby. Výpočet průměrné chyby ukazuje rovnice (5)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta_i|, \quad (5)$$

kde \bar{x} je průměrná chyba měření, n je počet měření a Δ_i je absolutní chyba daného měření.

4.4 Lineární regrese

Pomocí lineární regrese byl zjišťován vztah mezi nezávisle proměnnou veličinou, kterou v tomto případě představoval referenční tlak a závisle proměnnou veličinou, což byl tlak naměřený testovaným tonometrem. Vztah mezi těmito veličinami byl reprezentován přímkou, která vznikla aproximací daných hodnot metodou nejmenších čtverců. Pomocí této metody byl zjištěn matematický vztah mezi hodnotami tlaku z testovaného tonometru a reference.

4.5 Blandův-Altmanův graf

Pro srovnání hodnot naměřených testovaným a referenčním tonometrem byly naměřené hodnoty vyneseny do Blandova–Altmanova grafu. Grafy jsou uvedeny v přílohách 16 – 21 dole. Na vodorovné ose grafu jsou vyneseny průměrné hodnoty změřené testovaným tonometrem a referencí, na svislé ose je vynesena jejich rozdíl. V grafu je plnou vodorovnou čarou vyznačena střední hodnota rozdílu (absolutní chyby) všech měření a tečovanými čarami interval $\pm 2\sigma$ (směrodatné odchyly).

5 Ověření přesnosti vybraných tonometrů za použití simulátoru

Vybrané tonometry byly testovány pomocí dvou simulátorů tlaků. U těchto simulátorů je možné nastavit různé hodnoty tlaků, objemů pulzu, tepové frekvence, ale i různé anomálie (například srdeční fibrilaci). Pro testování byl použit Fluke BP Pump 2 NIBP Blood Pressure Simulator a ProSim 8 Vital Signs Patient Simulator.

5.1 Specifikace simulátoru FLUKE BP Pump 2

Fluke BP Pump 2 (obrázek 17) vytváří dynamické simulace krevního tlaku pro testování dospělých a novorozeneckých přístrojů na neinvazivní měření krevního tlaku. Simulátor má v sobě naprogramované režimy pro simulaci různých typů a stavů pacientů, ale je možné i manuální nastavení jednotlivých parametrů. Nastavuje se hodnota systolického a diastolického krevního tlaku, tepové frekvence a objemu pulzu. Přístroj má zabudovanou vnitřní manžetu, která byla použita při testování vybraných tonometrů.



Obrázek 17 – Simulátor Fluke BP Pump 2 [21]

Simulátor umí generovat statický tlak v rozsahu 50 až 400 mmHg s krokem 1 mmHg. Rozdíl mezi konečným a aktuálním krevním tlakem je -5 mmHg. Rychlost vypouštění manžety je < 2 mmHg za minutu s minimálním objemem 300 ml. Měření statického tlaku na tlakovém portu je v rozsahu 0 až 400 mmHg. Simulované parametry je možné nastavit v určitém rozsahu: systolický krevní tlak 20 až 250 mmHg, diastolický krevní tlak 10 až 200 mmHg, tepová frekvence 30 až 250 tepů za minutu, objem pulzu 0,1 až 2,4 ml. Objem vnitřní novorozenecké manžety je 20 ml a dospělé manžety je 310 ml. Přesnost nastavení

tepové frekvence je ± 1 tep za minutu. Přesnost měření tlaku v rozmezí 0 až 300 mmHg je 0,5 % z měřené hodnoty +1 mmHg. V rozmezí 301 až 400 mmHg je přesnost měření tlaku 2 % z měřené hodnoty [21].

5.1.1 Použité simulace pro testování tonometrů

Simulátor Fluke BP Pump 2 má v sobě naprogramovaná různá nastavení, která odpovídají fyzickému stavu pacienta, jako je například simulace tlaku obézního pacienta, geriatrického pacienta, či pacienta s fibrilací síní. Tyto přednastavené simulace byly použity pro testování tonometrů a jejich specifikace je popsána v tabulce 5.

Tabulka 5 – Seznam použitých simulací a jejich parametrů u simulátoru FLUKE BP Pump 2

Číslo simulace	Název simulace pro vyhodnocení	Název simulace dle přístroje	Nastavené parametry			
			ST [mmHg]	DT [mmHg]	TF [tepů/min]	objem pulzu [ml]
1	zdravý pacient	Healthy Heart	120	80	75	0,68
2	slabý pulz	Weak Pulse	110	80	95	0,50
3	mírné cvičení	Mild Exercise	140	90	120	1,00
4	usilovné cvičení	Strenuous Exercise	140	90	162	1,40
5	obézní pacient	Obese Subjekt	120	80	90	0,50
6	geriatrický pacient	Geriatric Subjekt	150	110	95	0,40
7	tachykardie	Tachycardia	120	105	130	0,40
8	bradykardie	Bradycardia	120	60	45	1,10
9	předčasná kontrakce síní I	Premature Atrial Cont. #1	138	53	80	-
10	předčasná kontrakce síní II	Premature Atrial Cont. #2	144	64	83	-
11	předčasná kontrakce komor	Premature Ventricular Cont.	118	61	83	-
12	fibrilace síní	Atrial Fib and PVCs	139	72	91	-
13	spontánní dýchání I	Spontaneous Breathing #1	138	65	104	mění se
14	spontánní dýchání II	Spontaneous Breathing #2	149	65	105	mění se
15	spontánní dýchání III	Spontaneous Breathing #3	112	47	86	mění se
16	řízená ventilace	Controlled Ventilation	132	44	98	mění se
17	č. 2	BP #2	150	100	80	0,65
18	č. 3	BP #3	200	150	80	0,60
19	č. 4	BP #4	255	195	80	0,55
20	č. 5	BP #5	60	30	80	0,75
21	č. 6	BP #6	80	50	80	0,71
22	č. 7	BP #7	100	65	80	0,69

5.2 Specifikace simulátoru FLUKE ProSim 8

Fluke ProSim 8 je určen pro testování přístrojů snímajících vitální funkce pacientů a jeho vzhled je na obrázku 18. Simulátor je schopný testovat tonometry, EKG přístroje, pulzní oxymetry, přístroje pro invazivní měření krevního tlaku, monitory dechu a teploměry.



Obrázek 18 – Simulátor Fluke ProSim 8 [22]

Přístroj měří tlak v rozsahu 10 až 400 mmHg, s krokem po 0,1 mmHg a přesností \pm (5 % měřené hodnoty + 0,5 mmHg). Tlakový zdroj je schopný generovat tlak v rozsahu 20 až 400 mmHg s krokem 1 mmHg. Objem pulzu je maximálně 1,25 ml [22].

5.2.1 Použité simulace pro testování tonometrů

Aby bylo možné porovnávat výsledky z obou simulátorů, byly při testování simulátorem Fluke ProSim 8 použity stejné hodnoty systolického tlaku, diastolického tlaku a tepové frekvence jako u simulátoru Fluke BP Pump 2. V některých případech nebylo možné nastavit shodné hodnoty objemu pulzu a tak byla zvolena hodnota, která se nejvíce blížila požadované velikosti parametru. Přehled použitých hodnot parametrů je v tabulce 6. Odlišné velikosti objemu pulzu jsou v tabulce vyznačeny tučně.

Tabulka 6 – Seznam použitých hodnot nastavovaných parametrů u simulátoru FLUKE ProSim 8

Číslo simulace	Název simulace pro vyhodnocení	Nastavené parametry			
		ST [mmHg]	DT [mmHg]	TF [tepů/min]	objem pulzu [ml]
1	zdravý pacient	120	80	75	0,7
2	slabý pulz	110	80	95	0,5
3	mírné cvičení	140	90	120	1
4	usilovné cvičení	140	90	162	1,25
5	obézní pacient	120	80	90	0,5
6	geriatrický pacient	150	110	95	0,4
7	tachykardie	120	105	130	0,4
8	bradykardie	120	60	45	1,1
9	předčasná kontrakce síní I	138	53	80	0,7
10	předčasná kontrakce síní II	144	64	83	0,7
11	předčasná kontrakce komor	118	61	83	0,7
12	fibrilace síní	139	72	91	0,7
13	spontánní dýchání I	138	65	104	0,4
14	spontánní dýchání II	149	65	105	0,4
15	spontánní dýchání III	112	47	86	0,5
16	řízená ventilace	132	44	98	0,5
17	č. 2	150	100	80	0,65
18	č. 3	200	150	80	0,6
19	č. 4	255	195	80	0,55
20	č. 5	60	30	80	0,75
21	č. 6	80	50	80	0,7
22	č. 7	100	65	80	0,7

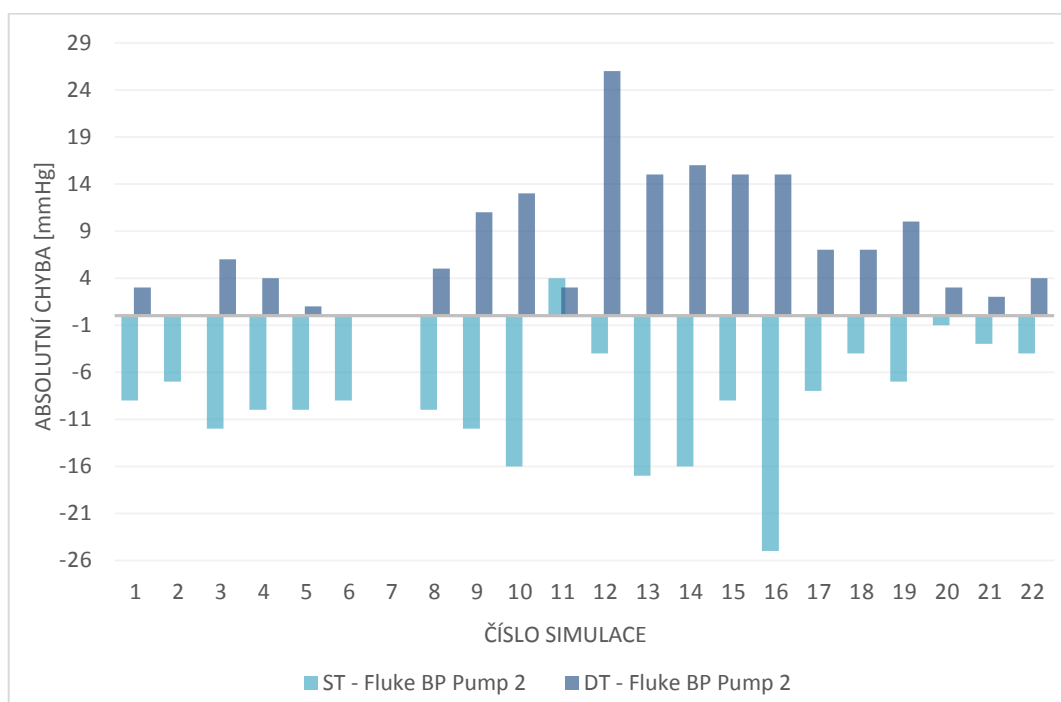
5.3 Vyhodnocení testování jednotlivých tonometrů na simulátorech

Vybrané tonometry byly testovány na dvou simulátorech Fluke BP Pump 2 a Fluke ProSim 8. Pro testování byly použity parametry uváděné v tabulkách 5 a 6. Simulátor Fluke BP Pump 2 má integrovanou vnitřní manžetu, na které byly všechny tonometry testovány. Simulátor Fluke ProSim 8 nemá integrovanou vnitřní manžetu a pro měření se používaly manžety jednotlivých tonometrů nasazené na plastový blok velikostí odpovídající velikosti manžety. V následujících podkapitolách jsou výsledky demonstrovány pomocí grafů zobrazujících absolutní chybu měření. Tabulky obsahující kompletní výsledky (naměřené hodnoty a hodnoty absolutní i relativní chyby) jsou uvedeny v přílohách.

5.3.1 Advisor BCI-9200

Monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 byl testován na obou simulátorech. Při testování na simulátoru Fluke ProSim 8, byla použita manžeta typu Adult 11 nasazená na plastový model paže o obvodu 30 cm.

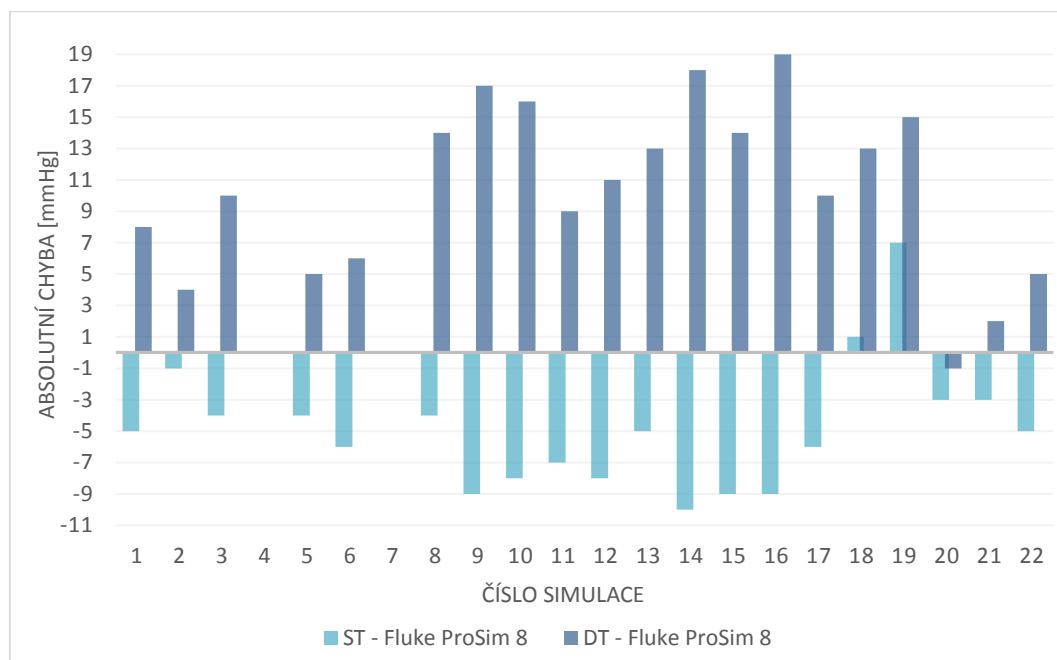
Tento monitor vitálních funkcí neumí určovat tepovou frekvenci z neinvazivního měření krevního tlaku. Výsledky měření pro oba simulátory při měření systolického a diastolického krevního tlaku jsou zobrazeny v následujících dvou obrázcích. Monitor vitálních funkcí nedokázal naměřit výsledky pro simulaci 7 – tachykardie u obou simulátorů, a také nezměřil výsledky pro simulaci 4 – usilovné cvičení simulovanou simulátorem Fluke ProSim 8.



Obrázek 19 – Graf výsledků měření pomocí monitoru vitálních funkcí Advisor BCI-9200 na simulátoru tlaku Fluke BP Pump 2

Z grafů je patrné, že při shodném nastavení naměřil monitor vitálních funkcí ve většině případů větší chybu určení systolického tlaku při simulacích z Fluke BP Pump 2. Největší chyba systolického tlaku je -25 mmHg pro simulaci 16, která představuje řízenou ventilaci.

U prvních šesti simulací simulovaných oběma simulátory je zjištěná absolutní chyba měření do -12 mmHg. Průměrná chyba měření systolického krevního tlaku je 7,6 mmHg.



Obrázek 20 – Graf výsledků měření pomocí monitoru vitálních funkcí Advisor BCI-9200 na simulátoru tlaku Fluke ProSim 8

Monitor vitálních funkcí změřil diastolický krevní tlak s největší chybou 26 mmHg při použití simulátoru Fluke BP Pump 2. Chyby u měření diastolického tlaku byly u simulací 8 až 19 většinou vyšší než u systolického tlaku. Průměrná chyba měření diastolického krevního tlaku je 9,2 mmHg.

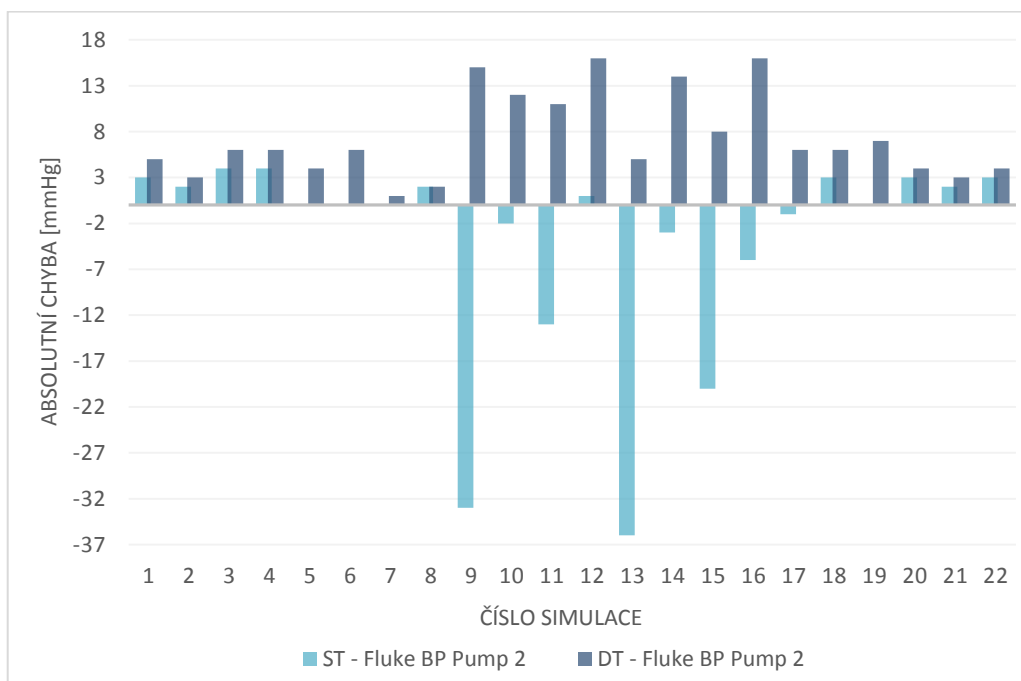
Z obrázků 19 a 20 je jasně patrné, že monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 určuje nižší systolický tlak a vyšší diastolický tlak než reference.

5.3.2 Hartmann Digital HG 160 comfort

Tonometr Digital HG 160 comfort od firmy Hartmann byl testován za použití obou simulátorů. Při testu na simulátoru Fluke ProSim 8 byla manžeta M-1 nasazena na plastový model paže o obvodu 30 cm.

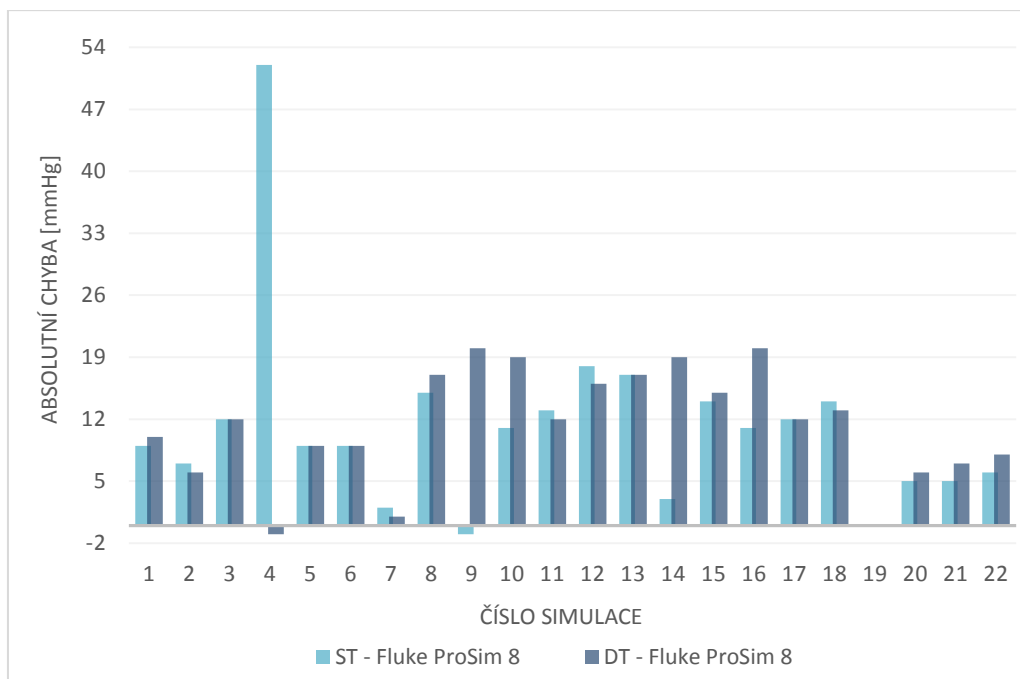
Při simulacích ze simulátoru Fluke BP Pump 2 (obrázek 21) byl systolický tlak naměřen 4× s nulovou chybou a to u simulací 5, 6, 7 a 19. Největší chyba systolického tlaku při použití tohoto simulátoru byla -36 mmHg u simulace 13 – spontánní dýchání I. Maximální

chyba při měření tímto tonometrem na simulátoru Fluke ProSim 8 byla 52 mmHg u simulace usilovného cvičení. Nejmenší chyba tohoto měření byla -1 mmHg změřena v jednom případě. Simulaci 18 se u simulátoru Fluke ProSim 8 nepodařilo naměřit. Průměrná chyba měření systolického tlaku vyšla 9 mmHg.



Obrázek 21 – Graf výsledků měření pomocí tonometru Hartmann Digital HG 160 comfort na simulátoru tlaku Fluke BP Pump 2

U simulací z Fluke BP Pump byla nejnižší chyba 1 mmHg při určování diastolického krevního tlaku pro simulaci 7 – tachykardie. Naopak největší chyba 16 mmHg byla naměřena pro simulaci 12 – fibrilace síní a simulaci 16 – řízená ventilace. Při použití simulátoru Fluke ProSim 8 byla maximální chyba 20 mmHg u simulace 16 – řízená ventilace. Nejmenší chyba byla ± 1 mmHg pro simulaci 4 – usilovné cvičení a simulaci 7 – tachykardie. Průměrná chyba určení diastolického krevního tlaku byla 9,5 mmHg. Zobrazení všech výsledků je na obrázcích 21 a 22.



Obrázek 22 – Graf výsledků měření pomocí tonometru Hartmann Digital HG 160 comfort na simulátoru tlaku Fluke ProSim 8

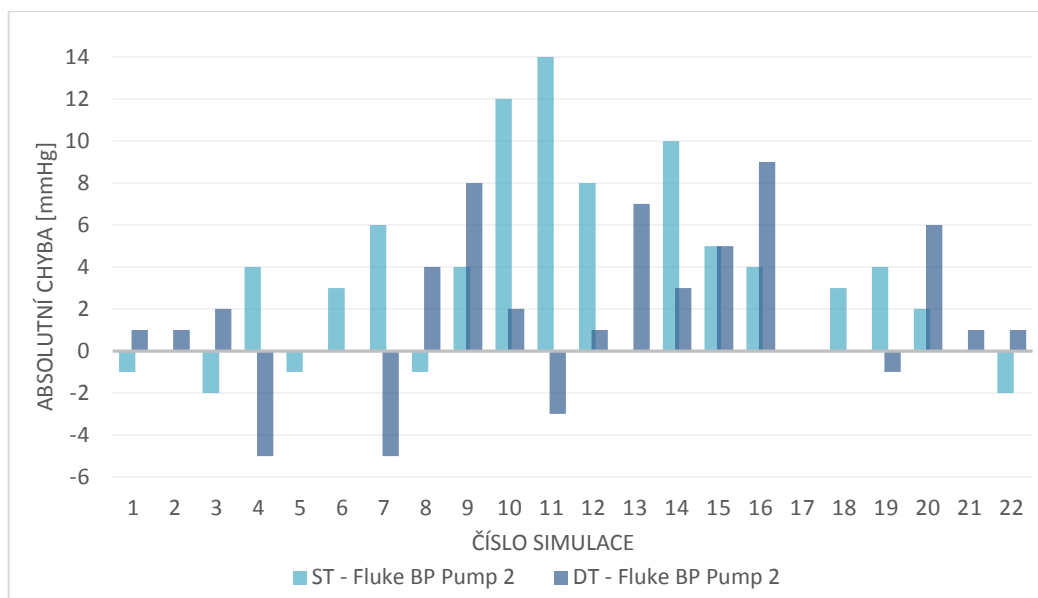
Při určování tepové frekvence byla absolutní chyba měření do ± 3 tepů za minutu u 39 z 43 měření. Největší chyba byla 99 tepů za minutu u simulace 16 - řízená ventilace, druhá největší chyba byla -12 tepů za minutu u simulace 12 - předčasná kontrakce síní II. Všechny chyby větší než ± 2 byly naměřeny pro simulace z Fluke BP Pump 2.

5.3.3 HuBDIC HPB-1520

Tento tonometr byl testován na obou simulátorech. Při testování na simulátoru Fluke ProSim 8, byla použita manžeta typu S (CS9) a plastový model paže o obvodu 24 cm.

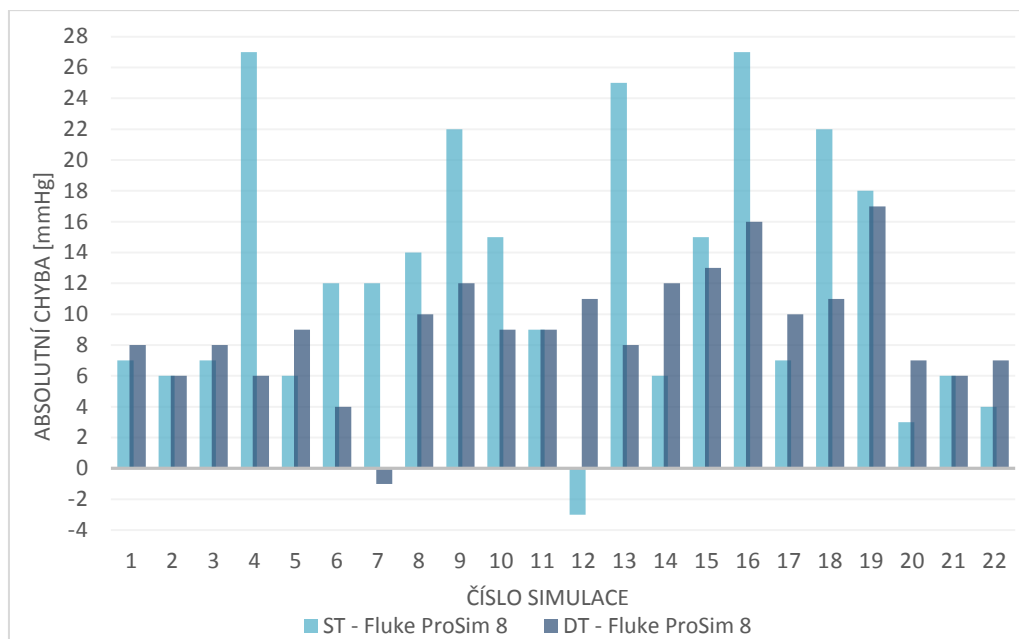
Tonometr HuBDIC HPB-1520 měřil s větší chybou systolický krevní tlak při použití simulátoru Fluke ProSim 8, než při použití simulátoru Fluke BP Pump 2. Maximální chyba měření při simulacích z Fluke ProSim 8 dosáhla 27 mmHg pro simulaci 4 – usilovné cvičení a pro simulaci 16 – řízená ventilace. Maximální chyba měření systolického tlaku tímto tonometrem při použití druhého simulátoru Fluke BP Pump 2 byla 14 mmHg u simulace 11 – předčasná kontrakce komor. Minimální chyba měření u simulací z tohoto simulátoru byla 0 mmHg ve 4 případech, u simulací z Fluke ProSim 8 byla minimální

chyba 3 mmHg ve 2 případech. Průměrná chyba měření systolického krevního tlaku byla 8,2 mmHg.



Obrázek 23 – Graf výsledků měření pomocí tonometru HuBDIC HPB-1520 na simulátoru tlaku Fluke BP Pump 2

Při určování diastolického krevního tlaku tonometr také naměřil větší chyby měření při použití simulátoru Fluke ProSim 8. Maximální chyba měření diastolického krevního tlaku při použití tohoto simulátoru byla 17 mmHg. Maximální chyba naměřená při použití simulátoru Fluke BP Pump 2 o velikosti 9 mmHg, byla u simulací ze simulátoru Fluke ProSim 8 překročena v devíti případech. Průměrná chyba určení diastolického krevního tlaku byla 6 mmHg. Výsledky měření na simulátoru Fluke BP Pump jsou zobrazeny v grafu na obrázku 23, výsledky měření na simulátoru Fluke ProSim 8 jsou zobrazeny v grafu na obrázku 24.



Obrázek 24 – Graf výsledků měření pomocí tonometru HuBDIC HPB-1520 na simulátoru tlaku Fluke ProSim 8

Chyba určení tepové frekvence byla naopak nižší u simulátoru Fluke ProSim 8 s maximální hodnotou absolutní chyby ± 2 tepy za minutu. U simulátoru Fluke BP Pump 2 byla absolutní chyba určení tepové frekvence ve 2 případech z 22 větší jak ± 3 tepy za minutu. Maximální chyba při použití tohoto simulátoru byla -9 tepů za minutu.

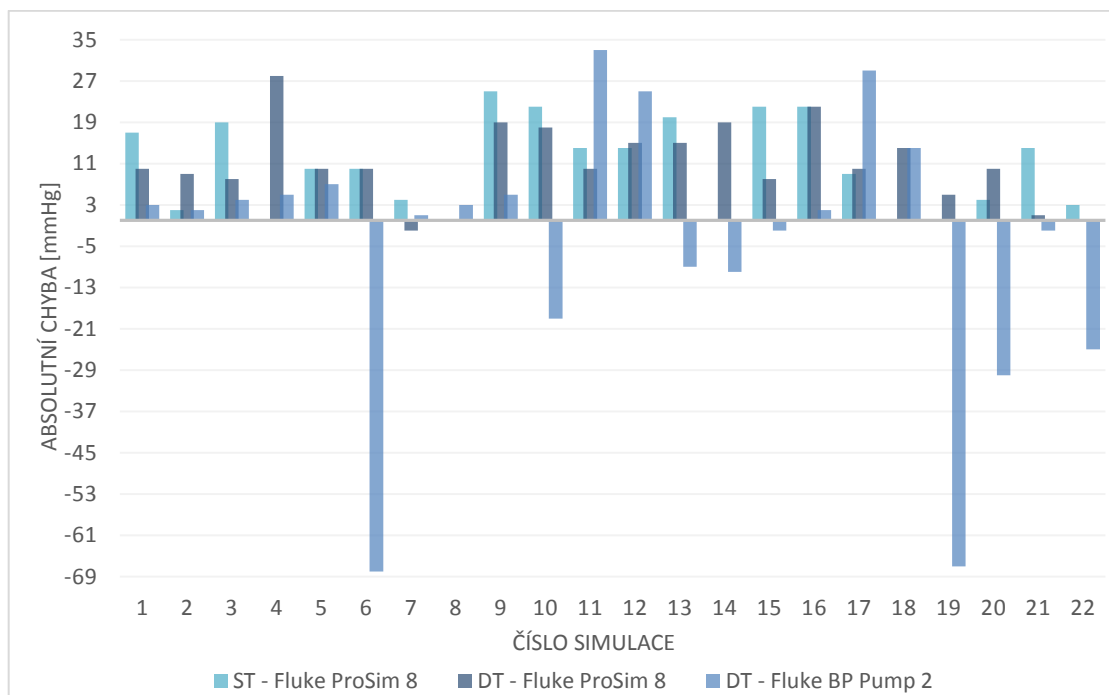
5.3.4 Demonstrační tonometr

Tonometr vyrobený Ing. Janem Dvořákem na Fakultě elektrotechnické jsem testovala na obou simulátorech. Při testování na simulátoru Fluke ProSim 8 byla použita manžeta typu M-1 a plastový model paže o obvodu 24 cm.

Při určení systolického krevního tlaku za použití simulací ze simulátoru Fluke BP Pump 2 se tlak v 14 z 22 případů nepodařilo určit. Maximální chyba ze zbylých 8 měření byla -120 mmHg. Kvůli množství nepovedených měření není měření systolického tlaku simulátorem Fluke BP Pump 2 uvedeno v grafu na obrázku 25. Při simulování krevního tlaku pomocí simulátoru Fluke ProSim 8 se systolický krevní tlak povedlo naměřit v 18 z 22 případů. Maximální absolutní chyba tohoto měření byla 25 mmHg pro simulaci 9 – předčasná kontrakce síní I. Průměrná chyba měření systolického krevního tlaku za použití tohoto simulátoru byla 12,8 mmHg.

Při použití simulátoru Fluke BP Pump a měření diastolického krevního tlaku byla absolutní chyba měření v 8 případech z 22 větší jak 10 mmHg. Maximální chyba měření

diastolického tlaku byla -68 mmHg, druhá největší absolutní chyba byla -67 mmHg. Při použití simulátoru Fluke ProSim 8 byla maximální absolutní chyba určení diastolického tlaku rapidně nižší než u druhého simulátoru, přesto tato chyba dosáhla hodnoty 28 mmHg pro simulaci 4 – usilovné cvičení. I při použití simulátoru Fluke ProSim 8 mělo 8 měření z 22 větší absolutní chybu měření než 10 mmHg.



Obrázek 25 – Graf výsledků měření pomocí demonstračního tonometru na simulátorech tlaku

Tepovou frekvenci se nepodařilo naměřit pouze v 1 případě z 22 u obou simulátorů. Absolutní maximální chyba určení tepové frekvence při použití simulátoru Fluke BP Pump 2 byla 21 tepů za minutu a při použití simulátoru Fluke ProSim 8 byla 30 tepů za minutu. Průměrná chyba určení tepové frekvence byla 9,6 tepů za minutu.

5.3.5 Omron R7 (HEM-637-E7)

Tímto zápěstřovým tonometrem se měření nepodařilo ani na jednom ze simulátorů. Tento fakt je připisován odlišné konstrukci tonometru. Tonometr má nafukovací mechanismus přizpůsoben menší zápěstřové manžetě, čím by mohla být způsobena neschopnost měření na obou simulátorech.

5.4 Souhrnné vyhodnocení testování na simulátorech

Z předchozí kapitoly je patrné, že se výsledky měření tonometry se velmi liší v závislosti na použití simulátoru. Nelze jednoznačně určit, že všechny testované tonometry mají horší výsledky pro jeden ze simulátorů. Monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 měl horší výsledky měření systolického tlaku u simulátoru Fluke BP Pump 2, ale diastolického tlaku u simulátoru Fluke ProSim 8. Tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort a tonometr HuBDIC HPB-1520 měly celkově horší výsledky při simulacích z Fluke ProSim 8. Tonometr vytvořený na Fakultě elektrotechnické naměřil horší výsledky pro simulátor Fluke BP Pump 2.

Tonometr HuBDIC HPB-1520 a tonometr vyrobený Ing. Janem Dvořákem měřily systolický tlak s větší chybou než diastolický. Tonometr od firmy Hartmann měřil hůře diastolický tlak a monitor vitálních funkcí měřil u simulacích z Fluke BP Pump 2 hůře systolický tlak a u druhého simulátoru měřil hůře diastolický tlak. Největší maximální absolutní chybu naměřil demonstrační tonometr a to -120 mmHg u systolického tlaku a -68 mmHg u diastolického tlaku. U ostatních tonometrů byla maximální absolutní chyba diastolického tlaku mezi 16 a 26 mmHg a systolického tlaku mezi -36 a +52 mmHg. Minimální absolutní chyba byla u všech tonometrů 0 mmHg nebo ± 1 mmHg.

Dále bylo zjišťováno, kolikrát byla tonometry naměřena větší chyba, než určuje výrobce a kolikrát byla chyba systolického tlaku větší než ± 12 mmHg a diastolického větší než ± 8 mmHg. Advisor BCI-9200 překročil stanovenou chybu výrobce u systolického tlaku v 34 případech ze 41 a u diastolického v 32 případech ze 41. Absolutní chyba měření systolického tlaku byla ve 4 případech ze 41 větší než ± 12 mmHg a u diastolického tlaku byla hranice ± 8 mmHg překročena ve 21 případech ze 41.

Hartmann Digital HG 160 comfort naměřil systolický tlak s větší chybou, než určuje výrobce ve 25 případech ze 43 a diastolický v 37 případech ze 43. Pouze v 11 případech překročila absolutní chyba systolického tlaku ± 12 mmHg a 21 měření diastolického tlaku překročilo ± 8 mmHg.

Tonometr od firmy HuBDIC měřil s větší chybou než ± 3 mmHg z 44 měření systolický tlak ve 30 případech a diastolický v 29. Více než ± 12 mmHg dosáhla absolutní chyba v 10 měřeních u systolického tlaku a více než ± 8 mmHg dosáhla v 13 případech u diastolického tlaku.

U přístroje, který vytvořil Ing. Jan Dvořák, nebylo možné zjistit počet měření, ve kterých se liší přístroj od stanovené chyby, jelikož tento přístroj nemá žádnou garantovanou přesnost. Hranici ± 12 mmHg překročila absolutní chyba měření systolického tlaku ve 14 případech z 26 a ± 8 mmHg u diastolického tlaku v 25 případech ze 41.

V celkovém porovnání dopadl nejhůře demonstrační tonometr. U ostatních tří tonometrů již nebyly tak znatelné rozdíly. Tonometr HuBDIC HPB-1520 má velmi dobré výsledky pro měření na simulátoru Fluke BP Pump 2, ale na druhém jsou výsledky měření podstatně horší. Hartmann Digital HG 160 comfort ve většině případů nepřesahuje hranici ± 12 mmHg u systolického tlaku a ± 8 mmHg u diastolického tlaku při použití simulátoru Fluke BP Pump 2, ale druhém simulátoru měřil s podstatně větší chybou. V porovnání s ostatními dvěma přístroji měl tonometr od firmy Hartmann největší chybu systolického tlaku u obou simulátorů. Monitor vitálních funkcí má výsledky pro oba simulátory velmi podobné a nedochází tam k tak razantním rozdílům jako u ostatních přístrojů. Souhrnné výsledky všech tonometrů jsou zaneseny do tabulky 7.

Tabulka 7 – Souhrnné vyhodnocení absolutní chyby měření pro jednotlivé tonometry

	Advisor BCI-9200			
	Fluke BP Pump 2		Fluke ProSim 8	
	ST	DT	ST	DT
N ¹ úspěšných [-]	21	21	20	20
Průměrná celková Δ [mmHg]	9,4	7,9	5,7	10,5
Maximální Δ [mmHg] (číslo simulace)	-25 (16)	26 (12)	-10 (14)	19 (16)
Minimální Δ [mmHg] (číslo simulace)	-1 (20)	0 (2, 6)	±1 (2, 18)	-1 (20)
Δ u zdravého pacienta [mmHg]	-9	3	-5	8
N s Δ do 12 mmHg u ST a do 8 mmHg u DT [-]	17	13	20	7
N s překročením stanovené chyby výrobce [-]	18	14	16	18
	Hartmann Digital HG 160 comfort			
	Fluke BP Pump 2		Fluke ProSim 8	
	ST	DT	ST	DT
N úspěšných [-]	22	22	21	21
Průměrná celková Δ [mmHg]	6,4	7,3	9	9,5
Maximální Δ [mmHg] (číslo simulace)	-36 (13)	16 (12, 16)	52 (4)	20 (16)
Minimální Δ [mmHg] (číslo simulace)	0 (5 - 7, 19)	1 (7)	-1 (9)	±1 (4, 7)
Δ u zdravého pacienta [mmHg]	3	5	9	10
N s Δ do 12 mmHg u ST a do 8 mmHg u DT [-]	18	16	14	6
N s překročením stanovené chyby výrobce [-]	7	18	18	19
	HuBDIC HPB-1520			
	Fluke BP Pump 2		Fluke ProSim 8	
	ST	DT	ST	DT
N úspěšných [-]	22	22	22	22
Průměrná celková Δ [mmHg]	3,91	2,95	12,41	9,09
Maximální Δ [mmHg] (číslo simulace)	14 (11)	9 (16)	27 (4, 16)	17 (19)
Minimální Δ [mmHg] (číslo simulace)	0 (2, 13, 17, 21)	0 (5, 6, 17, 18)	±3 (12, 20)	±1 (7)
Δ u zdravého pacienta [mmHg]	-1	1	7	8
N s Δ do 12 mmHg u ST a do 8 mmHg u DT [-]	21	21	13	10
N s překročením stanovené chyby výrobce [-]	10	8	20	21
	Demonstrační tonometr			
	Fluke BP Pump 2		Fluke ProSim 8	
	ST	DT	ST	DT
N úspěšných [-]	8	21	18	20
Průměrná celková Δ [mmHg]	28,25	15,95	12,83	12,25
Maximální Δ [mmHg] (číslo simulace)	-120 (19)	-68 (6)	25 (9)	28 (4)
Minimální Δ [mmHg] (číslo simulace)	0 (22)	1 (7)	0 (14)	1 (21)
Δ u zdravého pacienta [mmHg]	13	3	17	10
N s Δ do 12 mmHg u ST a do 8 mmHg u DT [-]	4	10	8	5
N s překročením stanovené chyby výrobce [-]	-	-	-	-

¹ N - počet měření

6 Ověření přesnosti testovaných tonometrů při měření tlaku u lidí

Nejdříve byly tonometry testovány na simulátorech tlaků. Na základě výsledků z tohoto testování byly vybrány tonometry pro měření na lidech. Tonometr vyrobený na Fakultě elektrotechnické Ing. Janem Dvořákem byl z experimentu na dobrovolnících vyřazen, jelikož již při testu na simulátorech vykazoval v mnoha případech značnou chybu. Tonometry Hartmann Digital HG 160 comfort, HuBDIC HPB-150 a Omron R7 byly vybrány pro testování na dobrovolnících.

U testování tonometrů v klinické zkoušce nebo dle protokolu BHS se jako reference používají dva školení pozorovatelé, kteří současně měří krevní tlak auskultační metodou. Pro účely toho testu nebylo možné získat dva školené pozorovatele pro měření auskultační metodou, tak bylo nutné zvolit jako referenci jeden z testovaných přístrojů. Všechny přístroje mají dle výrobce stejnou deklarovanou přesnost, proto byla reference vybrána na základně přihlídnutí k účelu použití a výsledkům testu na simulátorech. Jako reference byl zvolen monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200. Jako jediný z dostupných tonometrů není určen k domácímu použití, ale k použití v nemocnicích. Pro výběr tohoto přístroje jako reference navíc přispěl fakt, že má platnou periodickou bezpečnostně technickou kontrolu (PBTK), při níž je metrologicky ověřována přesnost měření přístroje. Ostatní tonometry nemají PBTK, jelikož se jedná o přístroje určené pro domácí měření a ty této zkoušce nepodléhají.

Aby dobrovolníci při měření nebyli příliš zatěžováni, byla snaha o zvolení takového postupu měření, kde by byly otestovány všechny vybrané tonometry, ale dobrovolník by byl co nejméně zatížen z hlediska diskomfortu při nafukování manžety a z hlediska časové náročnosti testu.

6.1 Postup měření pro testování tonometrů

Při vytváření návrhu měření pro testování tonometrů se vycházelo ze standardů používaných při klinické zkoušce a BHS protokolu, aby byla zaručena kvalita testu. Účelem této práce však není provádět klinickou zkoušku, ani postupovat striktně dle BHS protokolu, proto byl postup testování upraven pro účely této práce. Většina změn v postupu byla provedena hlavně z důvodu snazší realizace.

Jak již bylo zmíněno, nebylo možné pro měření získat dva školené pozorovatele, proto byl jako reference zvolen monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200. Cílem testování bylo měření na co nejrozmanitější věkové škále dobrovolníků, proto byl test upraven tak, aby příliš nezatěžoval starší lidi.

Pro jednotnost experimentu byla všechna měření prováděna na levé paži. Dle obvodu paže dobrovolníka byla zvolena manžeta, která sloužila pro měření všemi tonometry. Tento postup byl zvolen z toho důvodu, že ne ke všem tonometrům byla dostupná originální manžeta a každý tonometr měl manžetu v jiném rozsahu a nebylo by tak možné měřit všemi tonometry jednu osobu. Bylo rozhodnuto, že je důležitější dodržet správný rozsah manžety před použitím originální manžety. Při testování na simulátoru Fluke BP Pump 2 je k testování tonometrů určena vnitřní manžeta, která také není originální manžetou zkoušených tonometrů. Pro všechny dobrovolníky, kteří měli obvod paže v rozsahu 22 až 32 cm, byla použita manžeta typu M-1. Do této kategorie spadala většina dobrovolníků. Měřené osoby s obvodem paže menším než 22 cm byly měřeny pomocí manžety typu S(CS9) a osoby s obvodem paže větším než 32 cm byly měřeny pomocí manžety typu Adult 11.

Postup měření na jednom dobrovolníkovi:

1. Měřená osoba se umístí do polohy vsedě na židli s podepřenými zády, loktem a předloktím.
2. Na levou ruku se nasadí manžeta tak, že její střed bude v úrovni pravé srdeční síně. Na ukazováček pravé ruky se umístí pulzní oxymetr, který zde bude po celou dobu měření.
3. Měřená osoba bude takto v klidu sedět 5 minut pro ustálení krevního tlaku.
4. Provede se první měření referenčním tonometrem (výsledek nebude dále zpracováván).
5. Přestávka 60 sekund.
6. Provede se druhé měření referenčním tonometrem.
7. Přestávka 60 sekund.
8. Provede se měření tonometrem Hartmann Digital HG 160 comfort.
9. Přestávka 60 sekund.
10. Provede se měření tonometrem HuBDIC HPB-1520.

11. Přestávka 60 sekund. V této pauze se sundá manžeta a nasadí se zápěstíový tonometr.
12. Proveďte se měření zápěstíovým tonometrem Omron R7 (HEM-637-E7).
13. Přestávka 60 sekund. V této pauze se sundá zápěstíový tonometr a nasadí se manžeta.
14. Proveďte se třetí měření referenčním tonometrem.
15. Ukončí se měření.

6.2 Rozložení dobrovolníků

V rámci experimentu bylo změřeno celkem 53 osob. Z naměřených dat byly odstraněny ty, kde byl rozdíl mezi druhým a třetím měřením referencí větší než 12 mmHg u systolického tlaku a 8 mmHg u diastolického tlaku. Dále byla odstraněna data, kde obvod paže nebo zápěstí neodpovídal rozsahu použité manžety. Celkem nebylo použito 11 záznamů. Vyhodnocení bylo provedeno pro měření na 42 osobách, z toho bylo 20 žen a 22 mužů. Věkové rozložení těchto osob je v tabulce 8.

Tabulka 8 – Věkové rozložení měřených osob

Věkový rozsah	Ženy	Muži
11 – 20 let	1	2
21 – 30 let	12	11
31 – 40 let	2	4
41 – 50 let	2	3
51 – 60 let	1	1
61 – 70 let	1	0
71 – 80 let	1	1

Dobrovolníci byli předem seznámeni s postupem měření a s měřením souhlasili. Jednotlivé osoby před zahájením měření vyplňovaly dotazník ohledně zdravotního stavu a životního stylu. Ze 42 změřených osob se 18 stravuje tučně, 11 odpovědělo kladně na otázku, zda užívají pravidelně alkohol a 2 lidé užívají pravidelně drogy. Nikdo z dotázaných v současné době nekouří, ale nacházejí se mezi nimi 4 osoby, které kouřily pravidelně v minulosti. Vysoký krevní tlak stanovený od lékaře mají 2 osoby a 3 lidé mají od lékaře stanovený nízký krevní tlak. Cukrovkou trpí dva z dotázaných, v obou případech se jedná o cukrovku prvního typu. Dietu předepsanou od lékaře mají dva lidé. V jednom případě se jedná o diabetickou dietu, v druhém o omezení tučné stravy po infarktu.

Dle zjištěné výšky a hmotnosti bylo dopočítáno BMI jednotlivých osob. Dva změřené subjekty trpí dle tabulek pro vyhodnocování BMI podvýživou, 27 osob má normální hmotnost, 9 jedinců má nadváhu a 4 dotázaní trpí obezitou prvního stupně. Kategorie podle rozsahu BMI a počty osob spadajících do jednotlivých kategorií ukazuje tabulka 9.

Tabulka 9 – Rozložení měřených osob podle BMI [23]

Kategorie	Rozsah BMI [kg/m ²]	Počet osob
podvýživa	< 18,5	2
normální váha	18,5 – 25	27
nadváha	25 – 30	9
nadváha I. stupně	30 – 35	4

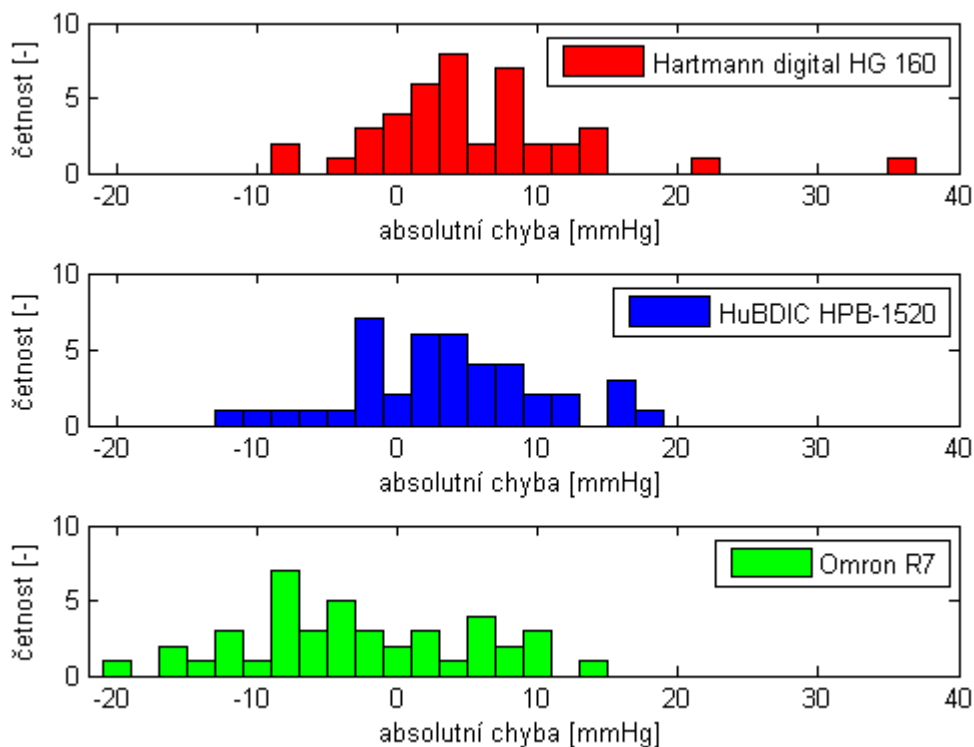
6.3 Vyhodnocení měření

Z druhého a třetího měření referenčním tonometrem byl vypočítán průměr pro danou osobu a s hodnotou tohoto průměru byly porovnávány naměřené hodnoty ostatních tonometrů. Pro každé jednotlivé měření byla určena absolutní a relativní chyba zvláště pro systolický tlak, diastolický tlak a tepovou frekvenci. Kompletní výsledky určení těchto chyb jsou uvedeny v příloze této práce. Histogramy rozložení četnosti absolutních chyb pro jednotlivé tonometry jsou na obrázcích 26 a 27.

Z histogramů je patrné, že tonometr od firmy Hartmann měřil ve většině případů vyšší systolický tlak než reference. Ve dvou případech byl zjištěn větší rozdíl mezi referenčním měřením a tímto tonometrem a to 22 mmHg a 37 mmHg. V histogramu je možné pozorovat, že ve většině případů se s rostoucí chybou snižuje její četnost, což je žádoucí. Průměrná absolutní chyba měření systolického tlaku byla 6,9 mmHg.

Tonometr od firmy HuBDIC měřil s absolutní chybou systolického tlaku do 20 mmHg. Nejvíce měření bylo s chybou -3 a -2 mmHg. Z histogramu je možné vyzorovat, že tento tonometr měří ve více než polovině případů vyšší hodnotu systolického tlaku než referenční tonometr. Průměrná absolutní chyba vyšla 6,1 mmHg.

Třetí zeleně zbarvený histogram na obrázku 26 ukazuje rozložení absolutní chyby systolického tlaku tonometru Omron R7. Největší četnost byla zjištěna pro chybu -9 a -8 mmHg. Maximální naměřená chyba byla -20 mmHg s četností 1. Průměrná absolutní chyba tohoto měření byla 6,8 mmHg. Tento tonometr ve většině případů ukazuje nižší hodnotu systolického tlaku než reference.



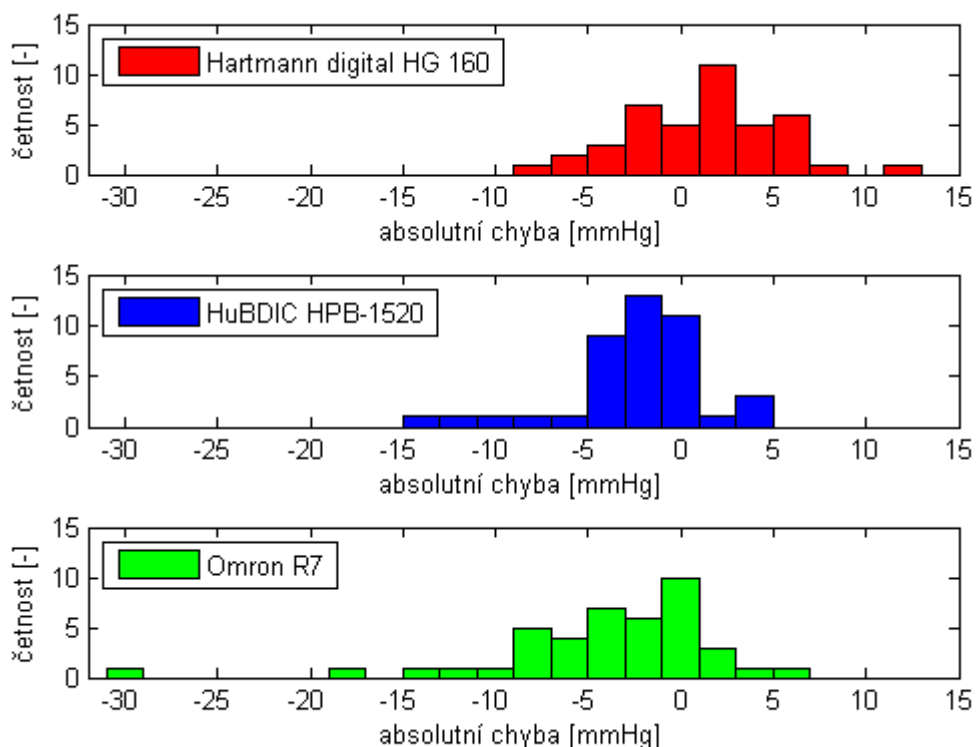
Obrázek 26 – Histogramy absolutní chyby měření systolického tlaku

Histogramy absolutní chyby měření diastolického tlaku pro všechny tři tonometry jsou na obrázku 27. Z histogramů je patrné, že až na jednu výjimku u tonometru Omron R7 dosahují měření diastolického tlaku menších maximálních absolutních chyb než měření systolického tlaku. Tak by to mělo být, protože diastolický tlak dosahuje nižších hodnot a menšího rozptylu než tlak systolický.

Tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort naměřil diastolický tlak s největší chybou 12 mmHg v jednom případě. Největší četnosti dosahují absolutní chyby 1 – 2 mmHg. S rostoucí absolutní chybou klesá její četnost. Průměrná absolutní chyba měření diastolického tlaku vyšla 3,3 mmHg.

Přístroj na měření krevního tlaku HuBDIC HPB-1520 při určování diastolického krevního tlaku měřil s největší četností absolutní chybu -3 a -2 mmHg. Maximální zjištěná absolutní chyba byla -14 mmHg v jednom případě. S četností jedna byly také zjištěny chyby -7, -9 a -12 mmHg. V ostatních 38 případech byly absolutní chyby menší než ± 5 mmHg. Průměr absolutních chyb určování diastolického tlaku byl 2,7 mmHg. Tonometr od firmy HuBDIC ukazuje nižší hodnoty diastolického tlaku než reference.

Přístroj od firmy Omron měřil diastolický tlak s maximální chybou -29 mmHg. Této chyby dosáhl v jednom případě. Ostatní měření nepřesáhla absolutní chybu -17 mmHg. Průměrná chyba měření diastolického tlaku byla vyšší než u ostatních tonometrů a to 4,6 mmHg. Omron R7 ukazuje ve většině případů nižší hodnoty diastolického tlaku než referenční tonometr.



Obrázek 27 – Histogramy absolutní chyby měření diastolického tlaku

Dále bylo zjišťováno metodou lineární regrese, jaký je vztah mezi referencí a naměřenými daty z jednotlivých testovaných tonometrů. Obrázky grafů lineární regrese a Bland-Altmanova grafu zvláště pro jednotlivé tonometry a systolický i diastolický tlak jsou v přílohách 16 až 21.

Tonometr Hartmann Digital HG 160 v šesti případech ze 42 naměřil nižší hodnotu systolického tlaku než reference, v jednom případě se shodovaly a ve zbylých měřeních byla naměřená hodnota vyšší než u reference. Rovnice přímky lineární regrese pro systolický tlak měřený tonometrem od firmy Hartmann vyšla $y = 0,967x + 9,36$.

U diastolického tlaku byl u 13 měření získán nižší tlak než u reference, u 4 měření se naměřené tlaky shodovaly a ve zbylých 25 případech naměřil tonometr od firmy Hartmann vyšší tlak než reference. Přímka lineární regrese měla rovnici $y = 0,813x + 15$.

HuBDIC HPB-1520 při zjišťování systolického tlaku určil 11× nižší hodnotu než reference, 1× stejnou hodnotu a 30× hodnotu vyšší než reference. Rovnice přímky lineární regrese měla následující podobu: $y = 1,07x - 4,19$.

Při určování diastolického tlaku byly výsledky opačné než u systolického tlaku. Ve 27 případech naměřil tento tonometr nižší tlak než reference. U 6 měření byly hodnoty shodné a u 9 případů byla naměřená hodnoty vyšší než referenční. Přímka lineární regrese měla rovnici $y = 0,804x + 12,2$.

Zápěšťový tonometr Omron R7 změřil 13× vyšší hodnotu systolického tlaku než referenční Advisor BCI-9200, 2× se změřená hodnota shodovala a 27× byla nižší než reference. Rovnice přímky lineární regrese vyšla $y = 0,812x + 18,8$.

U diastolického tlaku byla zjištěná hodnota tímto tonometrem opět ve 27 případech nižší než reference. U 6 měření se zjištěné hodnoty tlaku shodovaly a u 9 měření byla zjištěná hodnota vyšší než hodnota referenční. Rovnice přímky lineární regrese diastolického tlaku měla následující podobu: $y = 0,74x - 15,1$.

Blandův-Altmanův graf ukazuje závislost rozdílu hodnoty změřené referencí a testovaným tonometrem na průměru těchto hodnot. Dále je z grafu možné vyčíst střední hodnotu rozdílu referenčního a testovacího měření. Tečkovaně je v grafu vyznačen interval $\pm 2\sigma$ (směrodatné odchylky). Z toho údaje je možné zjistit, kolik hodnot leží mimo tento interval a jaká je hodnota směrodatné odchylky.

Z Blandova-Altmanova grafu byly zjištěny následující údaje pro měření systolického tlaku tonometrem Hartmann Digital HG 160: Střední hodnota rozdílu změřené hodnoty referencí a testovaným tonometrem vyšla 5,7 mmHg, směrodatná odchylka byla 7,2 mmHg. Jedna ze zobrazených hodnot se nacházela mimo interval $\pm 2\sigma$.

U Blandova-Altmanova grafu pro diastolický tlak měřený tímto tonometrem vyšla střední hodnota 1,5 mmHg a směrodatná odchylka 3,8 mmHg. Mimo interval $\pm 2\sigma$ se nacházely dvě zobrazené hodnoty.

Vyhodnocení tohoto grafu pro tonometr HuBDIC HPB-1520 ukázalo, že střední hodnota rozdílu změřené hodnoty referencí a testovaným tonometrem je 3,8 mmHg u systolického tlaku a -1,9 mmHg u diastolického tlaku. Směrodatná odchylka vyšla 6,6 mmHg pro systolický tlak a 3,6 mmHg pro diastolický tlak. U systolického tlaku ležely mimo interval $\pm 2\sigma$ tři zobrazené hodnoty a u diastolického tlaku dvě.

Střední hodnota rozdílu změřené hodnoty referencí a testovaným tonometrem vyšla pro tonometr od firmy Omron -2,4 mmHg u systolického tlaku a -3,7 mmHg u diastolického tlaku. Směrodatná odchylka byla 5,3 mmHg u systolického tlaku a 6,2 u diastolického tlaku. U určení obou tlaků ležely dvě hodnoty mimo interval $\pm 2\sigma$.

Diskuze

V této práci bylo porovnáváno několik tonometrů s různým způsobem měření krevního tlaku. Všechny tonometry k určování krevního tlaku používají oscilometrickou metodu, ale některé měří při napouštění manžety a jiné při vypouštění manžety, některé mají manžetu určenou k umístění na paži nad loktem, jiné na zápěstí.

Tonometry byly testovány nejdříve na dvou simulátorech pomocí předvolených simulací představujících různé druhy pacientů z hlediska zdravotního stavu a životního stylu. Bylo zjištěno, že všechny tonometry otestované tímto způsobem (Advisor BCI-9200, Hartmann Digital HG 160 comfort a HuBDIC HPB-1520) měří ve většině případů s větší odchylkou, než je odchylka daná výrobcem.

Monitor vitálních funkcí měřil na simulátorech zpravidla nižší systolický tlak než simulátor a vyšší diastolický tlak. Tonometr od firmy Hartman měří většinou vyšší hodnoty tlaku, než udávaly referenční simulátory. Pouze v 9 případech u systolického tlaku a v jednom případě u diastolického tlaku naměřil nižší hodnoty než reference. Tonometr HuBDIC HPB-1520 ukazoval systolický i diastolický tlak stejný nebo vyšší než referenční simulátor.

Výsledky měření není možné zobecňovat pro tonometry, které mají manžetu určenou pro umístění na paži nad loktem a měří oscilometrickou metodou při vypouštění manžety (Advisor BCI-9200, Hartmann Digital HG 160 comfort) protože sice oba přístroje měří vyšší diastolický tlak než reference, ale Advisor BCI-9200 měří nižší systolický tlak než reference, kdežto tonometr od firmy Hartmann měří vyšší systolický tlak než udává reference. Tonometr HuBDIC HPB-1520, který má manžetu určenou pro umístění na paži nad loktem a měří oscilometrickou metodou při napouštění manžety ukazuje u obou tlaků vyšší hodnoty než je skutečnost.

Jde pouze o test na třech tonometrech, kdy bylo provedeno jedno měření pro každou simulaci na obou simulátorech. Aby bylo možné toto tvrzení zobecňovat na všechny tonometry se stejným principem měření, bylo by nutné otestovat mnohem více tonometrů s daným principem a asi i provést více měření pro každou simulaci.

Při testu na dobrovolnících byl zvolen jako reference tonometr Advisor BCI-9200, čímž do výsledků testu byla zavedena chyba, protože tento přístroj neměří zcela přesně. Pro účely

této práce je daná reference dostačující. Nejedná se zde o klinickou zkoušku, kde jako reference slouží nezávislé určení tlaků od dvou školených pozorovatelů.

Z výsledků testu na dobrovolnících bylo zjištěno, že oproti referenčnímu tonometru ukazuje tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort vyšší hodnoty systolického i diastolického tlaku. Tonometr od firmy HuBDIC ukazuje vyšší hodnoty systolického tlaku a nižší hodnoty diastolického tlaku než Advisor BCI-9200. Omron R7 měří systolický i diastolický tlak s nižší hodnotou než referenční tonometr.

Z těchto výsledků vyplývá, že při tomto testu na dobrovolnících ukazuje tonometr měřící tlak při vypouštění manžety na paži (Hartmann Digital HG 160 comfort) vyšší hodnoty obou tlaků než reference. Tonometr měřící při napouštění manžety umístěné na paži určuje vyšší systolický a nižší diastolický tlak než reference. A tonometr měřící při napouštění na zápěstí (Omron R7) ukazuje oba tlaky nižší než referenční tonometr. Zde je pravděpodobně záporná absolutní chyba měření způsobena z části i umístěním manžety, jelikož na zápěstí je nižší tlak než na paži nad loktem.

I zde je nutné zmínit, že pro to, aby se dané výsledky mohly aplikovat na všechny tonometry s těmito způsoby měření, by bylo nutné testovat více tonometrů na více dobrovolnících a použít referenci a postup testu dle klinické zkoušky, neboť jak bylo patrné z testu na simulátorech, i referenční tonometr měří s určitou chybou a ukazuje nižší systolický tlak a vyšší diastolický tlak, než ukazoval simulátor tlaků.

Cílem této práce však nebylo určit, zda všechny tonometry s daným způsobem měření vykazují určité shodné nepřesnosti, ale porovnat vybrané tonometry mezi sebou, což bylo provedeno a upozornit na možné nepřesnosti tohoto způsobu určení krevního tlaku.

Závěr

Cílem této práce bylo porovnat vybrané tonometry z hlediska přesnosti měření krevního tlaku a upozornit na nedostatky jejich metod. Vybrané tonometry byly testovány dvěma způsoby. Nejdříve byly otestovány na simulátorech tlaku vhodně zvolenými simulacemi.

Následně pak byly vybrané tonometry otestovány při měření na dobrovolnících. Toto měření mělo předem definovaný postup, který vycházel z klinické zkoušky a BHS protokolu, ale byl upraven tak, aby měření bylo realizovatelné za daných podmínek.

Výsledky testu na simulátorech jsou uvedeny v kapitole 5, výsledky testu na dobrovolnících jsou zaneseny v kapitole 6 a celkové zhodnocení tonometrů je rozvedeno v diskuzi.

V budoucnu by se dal provést test více tonometrů se shodnou metodou měření krevního tlaku podle klinické zkoušky a zjistit, zda má daná metoda nějakou systematickou chybu určení krevního tlaku.

Seznam použité literatury

- [1] ROZMAN, Jiří. *Elektronické přístroje v lékařství*. Praha: Academia, 2006. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1308-3.
- [2] PENHAKER, Marek. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0751-3.
- [3] Funkce buněk a lidského těla. *Multimediální skripta* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/x-srdce-a-obeh-krve/2-krevni-obeh/>
- [4] Mean Arterial Pressure. *Cardiovascular Physiology Concepts* [online]. 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.cvphysiology.com/Blood%20Pressure/BP006>
- [5] TESAŘ, Vladimír. Cílové hodnoty při léčbě hypertenze. *Interní medicína*. 2002, **4**(3), 9-11.
- [6] BERNACIKOVÁ, Martina, SIRIŠKI, Damjan a NOVOTNÝ, Jan. *Praktická cvičení z fyziologie člověka pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy*. Brno: Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-7693-8.
- [7] Posey J. A., Geddes L. A., Williams H., and Moore A. G., “The meaning of the point of maximum oscillations in cuff pressure in the indirect measurement of blood pressure. 1,” *Cardiovascular Research Center bulletin*, vol. 8, no. 1, pp. 15–25, 1969.
- [8] DVOŘÁK, Jan, HAVLÍK, Jan a FABIÁN, Vratislav. Zařízení pro měření hemodynamických parametrů. *Urgentní medicína*. 2013, **16**(2), 33-39.
- [9] ČSN EN ISO 81060-2. *Neinvazivní tonometry - Část 2: Klinická zkouška typu s automatizovaným měřením*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [10] EOIN, O'Brien, PETRIE, James a LITTLER, William. The British Hypertension Society protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices. *Journal of Hypertension*. 1993, **11**(2), 43-62. ISSN 0952-1178.

- [11] Advisor® Vital Signs Monitor. *Smiths medical* [online]. 2014 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: https://www.smiths-medical.com/~-/media/M/Smiths-medical_com/Files/Import%20Files/PM195618EN-102014%20-%20Advisor%20Vital%20Signs%20Monitor%20Sell%20Sheet.pdf
- [12] Advisor® Vital Signs Monitor. *Smiths medical* [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://www.smiths-medical.com/products/patient-monitoring/multiparameter-monitors/advisor-vital-signs-monitor>
- [13] Zheng D., Amoore J. N., Mieke S., and Murray A., “Estimation of mean arterial pressure from the oscillometric cuff pressure: comparison of different techniques,” *Medical and Biological Engineering and Computing*, vol. 49, pp. 33–39, 2011.
- [14] Automatic Blood Pressure Monitor HBP-1520. *HuBDIC* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://ehubdic.cafe24.com/product/detail.html?product_no=40&cate_no=25&display_group=1#prdDetail
- [15] Hartmann Digital HG 160 comfort. *Rehadat* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.rehadat-gkv.de/produkt/index.html?pgnr=21&aonr=28&produktId=21.28.01.2018&page=1&size=50>
- [16] Hartmann Digital HG160 Comfort. *Ciao* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.ciao.de/Hartmann_Digital_HG160_Comfort__Test_1996247
- [17] Omron R7. *Zdraví online* [online]. 2015 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.zdravionline.cz/p/Automatically-tlakomer-OMRON-R7#popis>
- [18] Tlakomer OMRON R7. *Tlakomery omron* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://tlakomeryomron.sk/Tlakomer-OMRON-R7>
- [19] Dvořák, J.; Havlík, J. Laboratory Kit for Oscillometry Measurement of Blood Pressure In: *Information Technology in Bio-and Medical Informatics*. Berlin: Springer, 2010, pp. 215-219. ISSN 0302-9743. ISBN 978-3-642-15019-7

- [20] Onyx 9550. *Nonin* [online]. 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.nonin.com/Onyx9550>
- [21] BP Pump 2 NIBP Blood Pressure Simulator. *Fluke biomedical* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.flukebiomedical.com/biomedical/usen/fb-sims/non-invasive-blood-pressure-simulators/bp-pump-2-nibp-blood-pressure-simulator.htm?pid=55783>
- [22] ProSim 8 Vital Signs Patient Simulator. *Fluke biomedical* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.flukebiomedical.com/biomedical/usen/Patient-Simulators/ProSim-8-vital-signs-patient-simulator.htm?PID=72624>
- [23] Garrouste-Orgeas, M., Troché, G., Azoulay, E. et al. *Intensive Care Med* (2004) 30: 437. doi:10.1007/s00134-003-2095-2

Seznam symbolů a zkratk

ST	systolický krevní tlak
DT	diastolický krevní tlak
MAP	střední arteriální tlak (Mean Arterial Pressure)
EKG	elektrokardiografie
BHS protokol	protokol Britské společnosti pro hypertenzi (British Hypertension Society)
TF	tepová frekvence
PBTK	periodická bezpečnostně technická kontrola
BMI	index tělesné hmotnosti (Body Mass Index)
TK	tlak krve

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schematické znázornění průběhu tlaku v cévě [3]	4
Obrázek 2 – Princip auskultační metody [6]	7
Obrázek 3 – Průběh tlaku v manžetě při jejím vypouštění (nahore) a po odstranění pomalu se měnící složky (dole), s vyznačením způsobu určení systolického a diastolického tlaku [2].....	8
Obrázek 4 – Zobrazení metody pro současné měření na téže paži (1 – dvojitý stetoskop, 2 – displej referenčního tonometru, 3 – zkoušený tonometr) [9].....	11
Obrázek 5 – Zobrazení metody pro současné měření na obou pažích (1 – dvojitý stetoskop, 2 – displej referenčního tonometru, 3 – ruční balonek referenčního tonometru, 4 – zkoušený tonometr) [9]	12
Obrázek 6 – Zobrazení metody pro postupné měření na téže paži (1 – dvojitý stetoskop, 2 – displej referenčního tonometru, 3 – ruční balonek referenčního tonometru, 4 – zkoušený tonometr) [9]	13
Obrázek 7 – Ukázka sestavené aparatury pro testování tonometrů podle protokolu BHS [10].....	14
Obrázek 8 – Monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 [12]	16
Obrázek 9 – Tonometr HuBDIC HPB-1520 [14]	17
Obrázek 10 – Tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort [16]	18
Obrázek 11 – Tonometr Omron R7 [18].....	18
Obrázek 12 – Demonstrační tonometr	19
Obrázek 13 – Manžeta typ S (CS9).....	19
Obrázek 14 – Manžeta typ M-1.....	20
Obrázek 15 – Manžeta typ Adult 11	20
Obrázek 16 – Pulzní oxymetr Onyx 9550 [20]	21
Obrázek 17 – Simulátor Fluke BP Pump 2 [21].....	24
Obrázek 18 – Simulátor Fluke ProSim 8 [22].....	27
Obrázek 19 – Graf výsledků měření pomocí monitoru vitálních funkcí Advisor BCI-9200 na simulátoru tlaku Fluke BP Pump 2	29
Obrázek 20 – Graf výsledků měření pomocí monitoru vitálních funkcí Advisor BCI-9200 na simulátoru tlaku Fluke ProSim 8.....	30
Obrázek 21 – Graf výsledků měření pomocí tonometru Hartmann Digital HG 160 comfort na simulátoru tlaku Fluke BP Pump 2	31

Obrázek 22 – Graf výsledků měření pomocí tonometru Hartmann Digital HG 160 comfort na simulátoru tlaku Fluke ProSim 8.....	32
Obrázek 23 – Graf výsledků měření pomocí tonometru HuBDIC HPB-1520 na simulátoru tlaku Fluke BP Pump 2.....	33
Obrázek 24 – Graf výsledků měření pomocí tonometru HuBDIC HPB-1520 na simulátoru tlaku Fluke ProSim 8.....	34
Obrázek 25 – Graf výsledků měření pomocí demonstračního tonometru na simulátorech tlaku.....	35
Obrázek 26 – Histogramy absolutní chyby měření systolického tlaku	43
Obrázek 27 – Histogramy absolutní chyby měření diastolického tlaku.....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Kategorizace krevního tlaku [5], [6]	5
Tabulka 2 – Procentuální zastoupení tlaků u subjektů [9]	11
Tabulka 3 – Rozložení krevního tlaku u testovaných osob dle protokolu BHS [10].....	14
Tabulka 4 – Stupně hodnocení testovaných tonometrů dle protokolu BHS [10].....	15
Tabulka 5 – Seznam použitých simulací a jejich parametrů u simulátoru FLUKE BP Pump 2	26
Tabulka 6 – Seznam použitých hodnot nastavovaných parametrů u simulátoru FLUKE ProSim 8.....	28
Tabulka 7 – Souhrnné vyhodnocení absolutní chyby měření pro jednotlivé tonometry	38
Tabulka 8 – Věkové rozložení měřených osob	41
Tabulka 9 – Rozložení měřených osob podle BMI [23]	42

Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

Příloha 2: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

Příloha 3: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

Příloha 4: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

Příloha 5: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr HuBDIC HPB-1520 měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

Příloha 6: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr HuBDIC HPB-1520 měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

Příloha 7: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr vyrobeným na Fakultě elektrotechnické měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

Příloha 8: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr vyrobeným na Fakultě elektrotechnické měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

Příloha 9: Informace o dobrovolnících I (základní údaje, zdravotní stav a životní styl)

Příloha 10: Informace o dobrovolnících II (zdravotní stav a životní styl)

Příloha 11: Výsledky měření na dobrovolnících pro Advisor BCI-9200 a Onyx II 9550

Příloha 12: Výsledky měření na dobrovolnících pro testované tonometry

Příloha 13: Vyhodnocení měření na dobrovolnících pro tonometr od firmy Hartmann

Příloha 14: Vyhodnocení měření na dobrovolnících pro tonometr od firmy HuBDIC

Příloha 15: Vyhodnocení měření na dobrovolnících pro tonometr od firmy Omron

Příloha 16: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro systolický tlak naměřený tonometrem Hartmann Digital HG 160 comfort na dobrovolnících

Příloha 17: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro systolický tlak naměřený tonometrem HuBDIC HPB-1520 na dobrovolnících

Příloha 18: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro systolický tlak naměřený tonometrem Omron R7 na dobrovolnících

Příloha 19: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro diastolický tlak naměřený tonometrem Hartmann Digital HG 160 comfort na dobrovolnících

Příloha 20: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro diastolický tlak naměřený tonometrem HuBDIC HPB-1520 na dobrovolnících

Příloha 21: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro diastolický tlak naměřený tonometrem Omron R7 na dobrovolnících

Příloha 1: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

Název simulace pro vyhodnocení	Změřené parametry		Absolutní chyba		Relativní chyba	
	ST [mmHg]	DT [mmHg]	ST [mmHg]	DT [mmHg]	ST [%]	DT [%]
zdravý pacient	111	83	-9	3	-7,5	3,8
slabý pulz	103	80	-7	0	-6,4	0,0
mírné cvičení	128	96	-12	6	-8,6	6,7
usilovné cvičení	130	94	-10	4	-7,1	4,4
obézní pacient	110	81	-10	1	-8,3	1,3
geriatrický pacient	141	110	-9	0	-6,0	0,0
tachykardie	nezměřeno		-	-	-	-
bradykardie	110	65	-10	5	-8,3	8,3
předčasná kontrakce síní I	126	64	-12	11	-8,7	20,8
předčasná kontrakce síní II	128	77	-16	13	-11,1	20,3
Předčasná kontrakce komor	122	64	4	3	3,4	4,9
fibrilace síní	135	98	-4	26	-2,9	36,1
spontánní dýchání I	121	80	-17	15	-12,3	23,1
spontánní dýchání II	133	81	-16	16	-10,7	24,6
spontánní dýchání III	103	62	-9	15	-8,0	31,9
řízená ventilace	107	59	-25	15	-18,9	34,1
č. 2	142	107	-8	7	-5,3	7,0
č. 3	196	157	-4	7	-2,0	4,7
č. 4	248	205	-7	10	-2,8	5,1
č. 5	59	33	-1	3	-1,7	10,0
č. 6	77	52	-3	2	-3,8	4,0
č. 7	96	69	-4	4	-4,0	6,2

Příloha 2: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro monitor vitálních funkcí Advisor BCI-9200 měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

Název simulace pro vyhodnocení	Změřené parametry		Absolutní chyba		Relativní chyba	
	ST [mmHg]	DT [mmHg]	ST [mmHg]	DT [mmHg]	ST [%]	DT [%]
zdravý pacient	115	88	-5	8	-4,2	10,0
slabý pulz	109	84	-1	4	-0,9	5,0
mírné cvičení	136	100	-4	10	-2,9	11,1
usilovné cvičení	nezměřeno		-	-	-	-
obézní pacient	116	85	-4	5	-3,3	6,3
geriatrický pacient	144	116	-6	6	-4,0	5,5
tachykardie	nezměřeno		-	-	-	-
bradykardie	116	74	-4	14	-3,3	23,3
předčasná kontrakce síní I	129	70	-9	17	-6,5	32,1
předčasná kontrakce síní II	136	80	-8	16	-5,6	25,0
Předčasná kontrakce komor	111	70	-7	9	-5,9	14,8
fibrilace síní	131	83	-8	11	-5,8	15,3
spontánní dýchání I	133	78	-5	13	-3,6	20,0
spontánní dýchání II	139	83	-10	18	-6,7	27,7
spontánní dýchání III	103	61	-9	14	-8,0	29,8
řízená ventilace	123	63	-9	19	-6,8	43,2
č. 2	144	110	-6	10	-4,0	10,0
č. 3	201	163	1	13	0,5	8,7
č. 4	262	210	7	15	2,8	7,7
č. 5	57	29	-3	-1	-5,0	-3,3
č. 6	77	52	-3	2	-3,8	4,0
č. 7	95	70	-5	5	-5,0	7,7

Příloha 3: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

č.	Změřené parametry			Absolutní chyba			Relativní chyba		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]		[%]		
1	123	85	75	3	5	0	2,5	6,3	0,0
2	112	83	94	2	3	-1	1,8	3,8	-1,1
3	144	96	118	4	6	-2	2,9	6,7	-1,7
4	144	96	159	4	6	-3	2,9	6,7	-1,9
5	120	84	89	0	4	-1	0,0	5,0	-1,1
6	150	116	94	0	6	-1	0,0	5,5	-1,1
7	120	106	129	0	1	-1	0,0	1,0	-0,8
8	122	62	45	2	2	0	1,7	3,3	0,0
9	105	68	80	-33	15	0	-23,9	28,3	0,0
10	142	76	71	-2	12	-12	-1,4	18,8	-14,5
11	105	72	88	-13	11	5	-11,0	18,0	6,0
12	140	88	83	1	16	-8	0,7	22,2	-8,8
13	102	70	103	-36	5	-1	-26,1	7,7	-1,0
14	146	79	104	-3	14	-1	-2,0	21,5	-1,0
15	92	55	86	-20	8	0	-17,9	17,0	0,0
16	126	60	197	-6	16	99	-4,6	36,4	101,0
17	149	106	79	-1	6	-1	-0,7	6,0	-1,3
18	203	156	79	3	6	-1	1,5	4,0	-1,3
19	255	202	79	0	7	-1	0,0	3,6	-1,3
20	63	34	79	3	4	-1	5,0	13,3	-1,3
21	82	53	79	2	3	-1	2,5	6,0	-1,3
22	103	69	78	3	4	-2	3,0	6,2	-2,5

Příloha 4: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr Hartmann Digital HG 160 comfort měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

č.	Změřené parametry			Absolutní chyba			Relativní chyba		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]		[%]		
1	129	90	75	9	10	0	7,5	12,5	0,0
2	117	86	94	7	6	-1	6,4	7,5	-1,1
3	152	102	119	12	12	-1	8,6	13,3	-0,8
4	192	89	163	52	-1	1	37,1	-1,1	0,6
5	129	89	90	9	9	0	7,5	11,3	0,0
6	159	119	94	9	9	-1	6,0	8,2	-1,1
7	122	106	128	2	1	-2	1,7	1,0	-1,5
8	135	77	45	15	17	0	12,5	28,3	0,0
9	137	73	80	-1	20	0	-0,7	37,7	0,0
10	155	83	83	11	19	0	7,6	29,7	0,0
11	131	73	83	13	12	0	11,0	19,7	0,0
12	157	88	91	18	16	0	12,9	22,2	0,0
13	155	82	104	17	17	0	12,3	26,2	0,0
14	152	84	105	3	19	0	2,0	29,2	0,0
15	126	62	86	14	15	0	12,5	31,9	0,0
16	143	64	98	11	20	0	8,3	45,5	0,0
17	162	112	80	12	12	0	8,0	12,0	0,0
18	214	163	80	14	13	0	7,0	8,7	0,0
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	65	36	80	5	6	0	8,3	20,0	0,0
21	85	57	80	5	7	0	6,3	14,0	0,0
22	106	73	79	6	8	-1	6,0	12,3	-1,3

Příloha 5: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr HuBDIC HPB-1520 měřící na simulátoru Fluke BP Pump 2

č.	Změřené parametry			Absolutní chyba			Relativní chyba		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]		[%]		
1	119	81	74	-1	1	-1	-0,8	1,3	-1,3
2	110	81	94	0	1	-1	0,0	1,3	-1,1
3	138	92	119	-2	2	-1	-1,4	2,2	-0,8
4	144	85	159	4	-5	-3	2,9	-5,6	-1,9
5	119	80	89	-1	0	-1	-0,8	0,0	-1,1
6	153	110	94	3	0	-1	2,0	0,0	-1,1
7	126	100	130	6	-5	0	5,0	-4,8	0,0
8	119	64	45	-1	4	0	-0,8	6,7	0,0
9	142	61	81	4	8	1	2,9	15,1	1,3
10	156	66	74	12	2	-9	8,3	3,1	-10,8
11	132	58	86	14	-3	3	11,9	-4,9	3,6
12	147	73	83	8	1	-8	5,8	1,4	-8,8
13	138	72	103	0	7	-1	0,0	10,8	-1,0
14	159	68	104	10	3	-1	6,7	4,6	-1,0
15	117	52	85	5	5	-1	4,5	10,6	-1,2
16	136	53	98	4	9	0	3,0	20,5	0,0
17	150	100	79	0	0	-1	0,0	0,0	-1,3
18	203	150	80	3	0	0	1,5	0,0	0,0
19	259	194	79	4	-1	-1	1,6	-0,5	-1,3
20	62	36	80	2	6	0	3,3	20,0	0,0
21	80	51	79	0	1	-1	0,0	2,0	-1,3
22	98	66	77	-2	1	-3	-2,0	1,5	-3,8

Příloha 6: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr HuBDIC HPB-1520 měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

č.	Změřené parametry			Absolutní chyba			Relativní chyba		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]	[tep/min]	[mmHg]	[tep/min]	[tep/min]	[%]	[%]	[%]
1	127	88	75	7	8	0	5,8	10,0	0,0
2	116	86	95	6	6	0	5,5	7,5	0,0
3	147	98	120	7	8	0	5,0	8,9	0,0
4	167	96	162	27	6	0	19,3	6,7	0,0
5	126	89	91	6	9	1	5,0	11,3	1,1
6	162	114	96	12	4	1	8,0	3,6	1,1
7	132	104	128	12	-1	-2	10,0	-1,0	-1,5
8	134	70	45	14	10	0	11,7	16,7	0,0
9	160	65	79	22	12	-1	15,9	22,6	-1,3
10	159	73	83	15	9	0	10,4	14,1	0,0
11	127	70	83	9	9	0	7,6	14,8	0,0
12	136	83	91	-3	11	0	-2,2	15,3	0,0
13	163	73	105	25	8	1	18,1	12,3	1,0
14	155	77	105	6	12	0	4,0	18,5	0,0
15	127	60	86	15	13	0	13,4	27,7	0,0
16	159	60	97	27	16	-1	20,5	36,4	-1,0
17	157	110	80	7	10	0	4,7	10,0	0,0
18	222	161	79	22	11	-1	11,0	7,3	-1,3
19	273	212	80	18	17	0	7,1	8,7	0,0
20	63	37	80	3	7	0	5,0	23,3	0,0
21	86	56	80	6	6	0	7,5	12,0	0,0
22	104	72	80	4	7	0	4,0	10,8	0,0

Příloha 7: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr vyrobeným na Fakultě elektrotechnické měřicí na simulátoru Fluke BP Pump 2

č.	Změřené parametry			Absolutní chyba			Relativní chyba		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]		[%]		
1	133	83	82	13	3	7	10,8	3,8	9,3
2	error	82	90	-	2	-5	-	2,5	-5,3
3	149	94	127	9	4	7	6,4	4,4	5,8
4	147	95	176	7	5	14	5,0	5,6	8,6
5	116	87	111	-4	7	21	-3,3	8,8	23,3
6	91	42	99	-59	-68	4	-39,3	-61,8	4,2
7	error	106	114	-	1	-16	-	1,0	-12,3
8	error	63	45	-	3	0	-	5,0	0,0
9	error	58	95	-	5	15	-	9,4	18,8
10	error	45	100	-	-19	17	-	-29,7	20,5
11	error	94	95	-	33	12	-	54,1	14,5
12	error	97	110	-	25	19	-	34,7	20,9
13	error	56	104	-	-9	0	-	-13,9	0,0
14	error	55	105	-	-10	0	-	-15,4	0,0
15	error	45	94	-	-2	8	-	-4,3	9,3
16	error	46	103	-	2	5	-	4,6	5,1
17	164	129	98	14	29	18	9,3	29,0	22,5
18	error	164	91	-	14	11	-	9,3	13,8
19	135	128	83	-120	-67	3	-47,1	-34,4	3,8
20		nezměřeno		-	-	-	-	-	-
21	error	48	80	-	-2	0	-	-4,0	0,0
22	100	40	79	0	-25	-1	0,0	-38,5	-1,3

Příloha 8: Tabulka změřených a vypočtených hodnot pro tonometr vyrobeným na Fakultě elektrotechnické měřící na simulátoru Fluke ProSim 8

č.	Změřené parametry			Absolutní chyba			Relativní chyba		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]		[%]		
1	137	90	79	17	10	4	14,2	12,5	5,3
2	112	89	113	2	9	18	1,8	11,3	19,0
3	159	98	117	19	8	-3	13,6	8,9	-2,5
4	error	118	163	-	28	1	-	31,1	0,6
5	130	90	86	10	10	-4	8,3	12,5	-4,4
6	160	120	115	10	10	20	6,7	9,1	21,1
7	124	103	113	4	-2	-17	3,3	-1,9	-13,1
8	nezměřeno			-	-	-	-	-	-
9	163	72	80	25	19	0	18,1	35,9	0,0
10	166	82	83	22	18	0	15,3	28,1	0,0
11	132	71	83	14	10	0	11,9	16,4	0,0
12	153	87	96	14	15	5	10,1	20,8	5,5
13	158	80	116	20	15	12	14,5	23,1	11,5
14	149	84	126	0	19	21	0,0	29,2	20,0
15	134	55	104	22	8	18	19,6	17,0	20,9
16	154	66	105	22	22	7	16,7	50,0	7,1
17	159	110	86	9	10	6	6,0	10,0	7,5
18	error	164	109	-	14	29	-	9,3	36,3
19	error	200	110	-	5	30	-	2,6	37,5
20	64	40	99	4	10	19	6,7	33,3	23,8
21	94	51	76	14	1	-4	17,5	2,0	-5,0
22	103	error	81	3	-	1	3,0	-	1,3

Příloha 9: Informace o dobrovolnících I (základní údaje, zdravotní stav a životní styl)

ID	Pohlaví	Věk	Výška	Váha	BMI	Obvod paže	Obvod zápěstí	Tučná strava	Alkohol
	[-]	[rok]	[cm]	[kg]	[kg/m ²]	[cm]	[cm]	[-]	[-]
775910	žena	39	175	82	26,8	29	17	Ne	Ne
060221	muž	11	150	35	15,6	18	14	Ne	Ne
535913	žena	63	163	80	30,1	30	16	Ano	Ne
920214	muž	25	180	74	22,8	28	17	Ano	Ne
935923	žena	23	164	51	19,0	23	14	Ne	Ne
945505	žena	22	162	54	20,6	22	14	Ne	Ne
936206	žena	23	174	67	22,1	26	16	Ne	Ne
941009	muž	22	175	67	21,9	27	17	Ne	Ne
945329	žena	22	179	72	22,5	26	15	Ne	Ne
976101	žena	19	167	55	19,7	24	14	Ne	Ne
890309	muž	27	198	85	21,7	29	18	Ne	Ne
660915	muž	50	187	94	26,9	29	17	Ano	Ano
675509	žena	49	165	66	24,2	31	16	Ne	Ne
810310	muž	36	184	107	31,6	33	18	Ano	Ano
705810	žena	46	166	75	27,2	29	16	Ne	Ne
900427	muž	26	175	76	24,8	29	16	Ano	Ano
451006	muž	71	180	80	24,7	27	17	Ne	Ne
926008	žena	24	188	72	20,4	25	16	Ano	Ne
646001	žena	52	175	68	22,2	26	16	Ano	Ne
640501	muž	52	183	78	23,3	27	18	Ne	Ne
415309	žena	76	167	76	27,3	31	19	Ne	Ne
955825	žena	21	169	75	26,3	30	15	Ne	Ano
961017	muž	20	188	80	22,6	28	17	Ne	Ne
960919	muž	21	182	63	19,0	26	16	Ano	Ano
941121	muž	22	172	80	27,0	31	15	Ano	Ano
941229	muž	22	178	74	23,4	29	17	Ano	Ano
926012	žena	24	168	50	17,7	21	15	Ne	Ne
930427	muž	23	175	72	23,5	29	16	Ano	Ano
916125	žena	25	168	70	24,8	28	16	Ano	Ne
935622	žena	23	162	60	22,9	27	15	Ano	Ne
930829	muž	23	174	65	21,5	27	16	Ano	Ano
925809	žena	24	176	65	21,0	27	15	Ne	Ne
921210	muž	24	180	98	30,2	30	17	Ne	Ne
890208	muž	28	180	90	27,8	31	17	Ano	Ne
926202	žena	24	168	60	21,3	25	15	Ne	Ne
740216	muž	43	182	72	21,7	28	17	Ano	Ne
780620	muž	38	177	82	26,2	32	17	Ne	Ne
805701	žena	36	161	56	21,6	24	14	Ne	Ano
740121	muž	42	170	66	22,8	27	16	Ne	Ne
840511	muž	32	167	90	32,3	32	17	Ano	Ano
770422	muž	39	178	83	26,2	31	18	Ano	Ne
925615	žena	24	164	62	23,1	27	14	Ne	Ne

Příloha 10: Informace o dobrovolnících II (zdravotní stav a životní styl)

ID	Drogy	Kouření	Kouření v minulosti	Vysoký TK	Nízký TK	Cukrovka + její typ	Dieta	Onemocnění srdce
775910	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
060221	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
535913	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
920214	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
935923	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne
945505	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
936206	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne
941009	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
945329	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
976101	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
890309	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
660915	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
675509	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
810310	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
705810	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
900427	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
451006	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano – I. typu	Ano	Ano
926008	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
646001	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
640501	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
415309	Ne	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano
955825	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
961017	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
960919	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
941121	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
941229	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
926012	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
930427	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
916125	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
935622	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
930829	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano – I. typu	Ne	Ne
925809	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
921210	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
890208	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
926202	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
740216	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
780620	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
805701	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
740121	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
840511	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
770422	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
925615	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne

Příloha 11: Výsledky měření na dobrovolnících pro Advisor BCI-9200 a Onyx II 9550

ID	Advisor 1			Onyx 1	Advisor 2			Onyx 2	Advisor 3			Onyx 3
	ST	DT	MAP	TF	ST	DT	MAP	TF	ST	DT	MAP	TF
	[mmHg]			[tep/min]	[mmHg]			[tep/min]	[mmHg]			[tep/min]
775910	112	70	90	66	120	66	92	64	108	64	85	76
060221	105	51	77	64	100	56	77	64	100	52	75	73
535913	125	83	102	70	124	72	97	66	119	73	95	65
920214	123	77	-	79	121	72	95	74	123	75	97	75
935923	89	60	73	84	98	60	78	84	90	62	74	84
945505	106	76	88	74	101	71	85	76	105	68	85	82
936206	100	64	81	60	100	64	81	54	97	61	78	54
941009	108	71	88	58	109	66	86	58	108	68	86	63
945329	130	84	106	51	108	73	89	49	116	82	96	51
976101	99	69	82	57	105	69	86	59	101	69	84	73
890309	98	66	81	84	101	64	81	83	104	66	84	86
660915	117	88	101	79	116	87	100	77	112	84	97	76
675509	122	75	97	66	120	75	96	69	114	73	92	70
810310	128	76	101	75	125	75	98	74	129	75	101	74
705810	139	88	112	68	131	88	108	69	131	83	106	72
900427	120	80	98	76	113	73	91	71	121	81	99	74
451006	137	69	100	60	132	66	97	60	123	66	91	60
926008	97	61	78	52	95	59	76	55	103	55	77	56
646001	121	64	89	71	112	57	83	71	101	63	80	65
640501	121	81	100	63	112	74	92	66	118	78	96	62
415309	86	55	69	85	83	55	68	86	82	52	67	88
955825	112	68	89	72	110	68	88	66	116	64	89	68
961017	135	85	109	65	128	83	104	63	130	75	101	61
960919	102	61	80	58	100	59	78	60	100	58	78	69
941121	122	85	102	61	115	80	96	62	111	80	93	65
941229	113	74	91	60	120	66	92	60	118	67	91	62
926012	102	75	87	90	104	66	84	-	103	68	84	61
930427	112	70	89	-	111	68	88	75	104	63	82	59
916125	121	77	98	-	116	80	95	-	113	82	94	-
935622	114	74	93	72	111	77	93	72	113	71	91	66
930829	144	101	120	76	126	95	106	69	125	90	104	71
925809	117	69	92	67	110	64	84	68	101	65	81	69
921210	129	82	104	90	135	81	106	88	127	82	103	85
890208	134	83	106	68	125	74	98	70	130	81	103	71
926202	131	95	112	98	128	102	114	104	131	98	112	97
740216	103	80	90	65	112	81	95	58	105	83	93	61
780620	118	78	97	65	121	70	94	66	113	69	90	66
805701	111	68	88	70	108	79	92	72	116	74	92	65
740121	122	77	98	75	119	76	96	76	116	75	94	78
840511	131	75	102	68	121	75	96	69	111	67	88	64
770422	118	80	98	62	110	82	95	60	119	81	98	62
925615	115	66	89	61	109	72	89	71	112	68	89	69

Příloha 12: Výsledky měření na dobrovolnících pro testované tonometry

ID	Hartmann			HuBDIC			Omron		
	ST	DT	TF	ST	DT	TF	ST	DT	TF
	[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]		[mmHg]	[tep/min]	
775910	119	67	57	124	66	64	99	63	62
060221	103	60	75	107	52	70	92	54	76
535913	129	73	66	120	72	64	108	67	64
920214	123	76	72	124	74	72	110	74	70
935923	95	65	86	93	60	88	100	62	81
945505	107	70	78	100	67	78	98	67	77
936206	103	65	55	98	65	56	99	61	55
941009	108	68	58	107	66	63	106	69	61
945329	121	74	49	116	66	49	121	70	49
976101	108	69	61	107	70	65	103	66	58
890309	111	72	170	101	63	83	98	62	85
660915	123	85	81	123	83	80	125	88	81
675509	119	76	68	118	74	68	106	71	72
810310	133	73	74	132	72	71	119	76	75
705810	129	92	72	132	89	69	126	86	71
900427	129	81	77	121	73	77	114	78	73
451006	135	78	60	136	65	60	134	66	60
926008	109	56	56	107	58	58	110	61	52
646001	117	66	67	100	64	64	110	61	69
640501	108	78	62	109	73	60	121	72	61
415309	91	56	86	86	54	88	75	46	90
955825	120	69	70	111	67	68	115	73	72
961017	128	81	66	132	75	60	126	71	63
960919	100	62	65	104	63	63	110	59	62
941121	126	82	66	120	77	65	104	63	67
941229	122	68	61	110	66	60	111	66	61
926012	106	70	85	106	66	88	89	53	85
930427	121	64	71	115	64	73	107	64	75
916125	136	76	105	133	74	103	117	74	105
935622	126	73	69	129	65	72	105	67	76
930829	162	88	71	142	93	70	133	87	71
925809	107	71	66	121	63	70	111	66	64
921210	124	86	88	138	78	90	111	53	90
890208	136	83	71	138	76	79	121	74	68
926202	126	93	93	132	86	97	127	89	103
740216	122	81	55	121	78	54	122	78	70
780620	121	73	67	120	68	70	110	70	64
805701	113	74	77	118	72	74	110	72	71
740121	119	72	78	116	76	81	107	70	79
840511	121	80	65	128	72	64	114	70	65
770422	119	82	64	116	80	64	112	72	62
925615	114	69	70	100	70	71	113	69	74

Příloha 13: Vyhodnocení měření na dobrovolnících pro tonometr od firmy Hartmann

ID	Hartmann Digital HG 160 comfort					
	Δ ST	Δ DT	Δ TF	δ ST	δ DT	δ TF
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	[%]	[%]	[%]
775910	5,0	2,0	13,0	4,4	3,1	18,6
060221	3,0	6,0	6,5	3,0	11,1	9,5
535913	7,5	0,5	0,5	6,2	0,7	0,8
920214	1,0	2,5	2,5	0,8	3,4	3,4
935923	1,0	4,0	2,0	1,1	6,6	2,4
945505	4,0	0,5	1,0	3,9	0,7	1,3
936206	4,5	2,5	1,0	4,6	4,0	1,9
941009	0,5	1,0	2,5	0,5	1,5	4,1
945329	9,0	3,5	1,0	8,0	4,5	2,0
976101	5,0	0,0	5,0	4,9	0,0	7,6
890309	8,5	7,0	85,5	8,3	10,8	101,2
660915	9,0	0,5	4,5	7,9	0,6	5,9
675509	2,0	2,0	1,5	1,7	2,7	2,2
810310	6,0	2,0	0,0	4,7	2,7	0,0
705810	2,0	6,5	1,5	1,5	7,6	2,1
900427	12,0	4,0	4,5	10,3	5,2	6,2
451006	7,5	12,0	0,0	5,9	18,2	0,0
926008	10,0	1,0	0,5	10,1	1,8	0,9
646001	10,5	6,0	1,0	9,9	10,0	1,5
640501	7,0	2,0	2,0	6,1	2,6	3,1
415309	8,5	2,5	1,0	10,3	4,7	1,1
955825	7,0	3,0	3,0	6,2	4,5	4,5
961017	1,0	2,0	4,0	0,8	2,5	6,5
960919	0,0	3,5	0,5	0,0	6,0	0,8
941121	13,0	2,0	2,5	11,5	2,5	3,9
941229	3,0	1,5	0,0	2,5	2,3	0,0
926012	2,5	3,0	24,0	2,4	4,5	39,3
930427	13,5	1,5	4,0	12,6	2,3	6,0
916125	21,5	5,0	-	18,8	6,2	-
935622	14,0	1,0	0,0	12,5	1,4	0,0
930829	36,5	4,5	1,0	29,1	4,9	1,4
925809	1,5	6,5	2,5	1,4	10,1	3,6
921210	7,0	4,5	1,5	5,3	5,5	1,7
890208	8,5	5,5	0,5	6,7	7,1	0,7
926202	3,5	7,0	7,5	2,7	7,0	7,5
740216	13,5	1,0	4,5	12,4	1,2	7,6
780620	4,0	3,5	1,0	3,4	5,0	1,5
805701	1,0	2,5	8,5	0,9	3,3	12,4
740121	1,5	3,5	1,0	1,3	4,6	1,3
840511	5,0	9,0	1,5	4,3	12,7	2,3
770422	4,5	0,5	3,0	3,9	0,6	4,9
925615	3,5	1,0	0,0	3,2	1,4	0,0

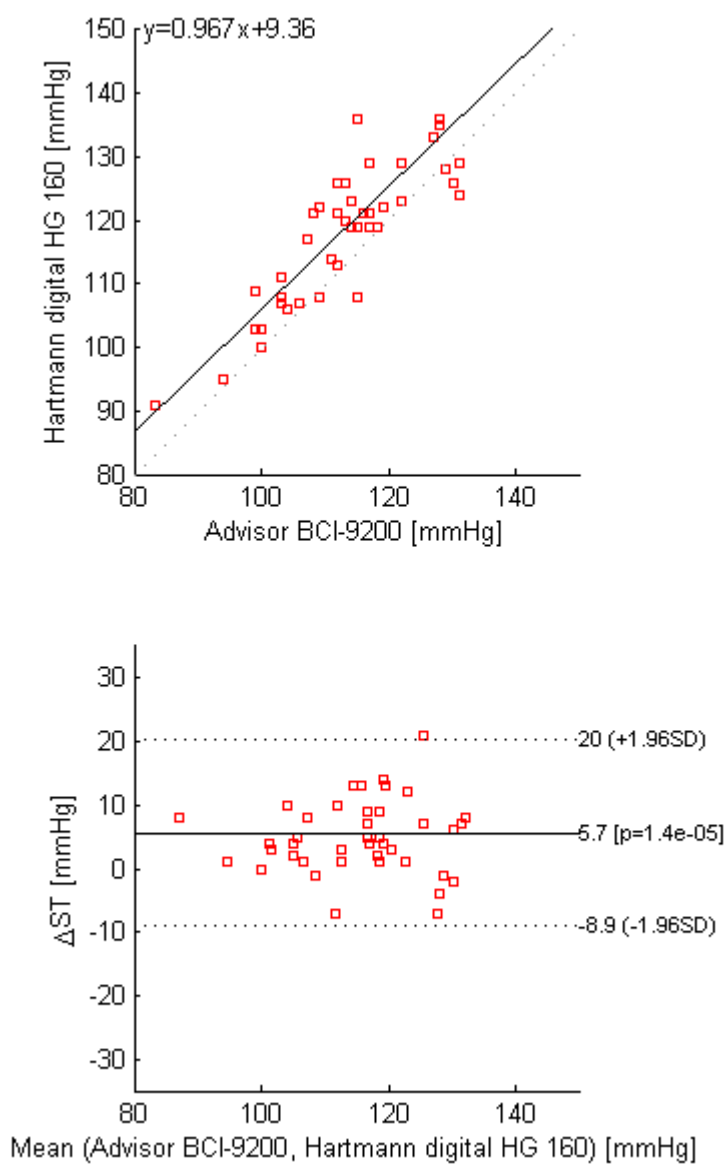
Příloha 14: Vyhodnocení měření na dobrovolnících pro tonometr od firmy HuBDIC

ID	HuBDIC HPB-1520					
	Δ ST	Δ DT	Δ TF	δ ST	δ DT	δ TF
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	[%]	[%]	[%]
775910	10,0	1,0	6,0	8,8	1,5	8,6
060221	7,0	2,0	1,5	7,0	3,7	2,2
535913	1,5	0,5	1,5	1,2	0,7	2,3
920214	2,0	0,5	2,5	1,6	0,7	3,4
935923	1,0	1,0	4,0	1,1	1,6	4,8
945505	3,0	2,5	1,0	2,9	3,6	1,3
936206	0,5	2,5	2,0	0,5	4,0	3,7
941009	1,5	1,0	2,5	1,4	1,5	4,1
945329	4,0	11,5	1,0	3,6	14,8	2,0
976101	4,0	1,0	1,0	3,9	1,4	1,5
890309	1,5	2,0	1,5	1,5	3,1	1,8
660915	9,0	2,5	3,5	7,9	2,9	4,6
675509	1,0	0,0	1,5	0,9	0,0	2,2
810310	5,0	3,0	3,0	3,9	4,0	4,1
705810	1,0	3,5	1,5	0,8	4,1	2,1
900427	4,0	4,0	4,5	3,4	5,2	6,2
451006	8,5	1,0	0,0	6,7	1,5	0,0
926008	8,0	1,0	2,5	8,1	1,8	4,5
646001	6,5	4,0	4,0	6,1	6,7	5,9
640501	6,0	3,0	4,0	5,2	3,9	6,3
415309	3,5	0,5	1,0	4,2	0,9	1,1
955825	2,0	1,0	1,0	1,8	1,5	1,5
961017	3,0	4,0	2,0	2,3	5,1	3,2
960919	4,0	4,5	1,5	4,0	7,7	2,3
941121	7,0	3,0	1,5	6,2	3,8	2,4
941229	9,0	0,5	1,0	7,6	0,8	1,6
926012	2,5	1,0	27,0	2,4	1,5	44,3
930427	7,5	1,5	6,0	7,0	2,3	9,0
916125	18,5	7,0	-	16,2	8,6	-
935622	17,0	9,0	3,0	15,2	12,2	4,3
930829	16,5	0,5	0,0	13,1	0,5	0,0
925809	15,5	1,5	1,5	14,7	2,3	2,2
921210	7,0	3,5	3,5	5,3	4,3	4,0
890208	10,5	1,5	8,5	8,2	1,9	12,1
926202	2,5	14,0	3,5	1,9	14,0	3,5
740216	12,5	4,0	5,5	11,5	4,9	9,2
780620	3,0	1,5	4,0	2,6	2,2	6,1
805701	6,0	4,5	5,5	5,4	5,9	8,0
740121	1,5	0,5	4,0	1,3	0,7	5,2
840511	12,0	1,0	2,5	10,3	1,4	3,8
770422	1,5	1,5	3,0	1,3	1,8	4,9
925615	10,5	0,0	1,0	9,5	0,0	1,4

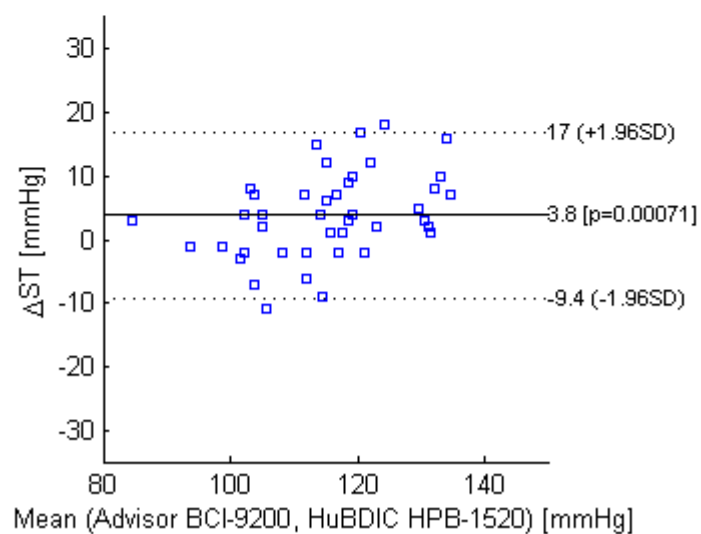
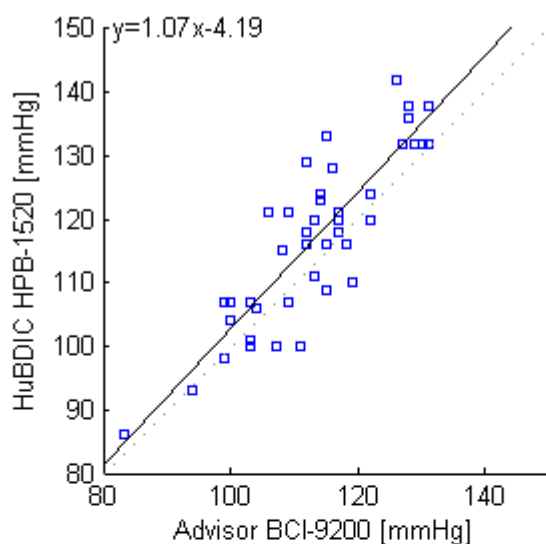
Příloha 15: Vyhodnocení měření na dobrovolnících pro tonometr od firmy Omron

ID	Omron R7					
	Δ ST	Δ DT	Δ TF	δ ST	δ DT	δ TF
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	[%]	[%]	[%]
775910	15,0	2,0	8,0	13,2	3,1	11,4
060221	8,0	0,0	7,5	8,0	0,0	10,9
535913	13,5	5,5	1,5	11,1	7,6	2,3
920214	12,0	0,5	4,5	9,8	0,7	6,0
935923	6,0	1,0	3,0	6,4	1,6	3,6
945505	5,0	2,5	2,0	4,9	3,6	2,5
936206	0,5	1,5	1,0	0,5	2,4	1,9
941009	2,5	2,0	0,5	2,3	3,0	0,8
945329	9,0	7,5	1,0	8,0	9,7	2,0
976101	0,0	3,0	8,0	0,0	4,3	12,1
890309	4,5	3,0	0,5	4,4	4,6	0,6
660915	11,0	2,5	4,5	9,6	2,9	5,9
675509	11,0	3,0	2,5	9,4	4,1	3,6
810310	8,0	1,0	1,0	6,3	1,3	1,4
705810	5,0	0,5	0,5	3,8	0,6	0,7
900427	3,0	1,0	0,5	2,6	1,3	0,7
451006	6,5	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0
926008	11,0	4,0	3,5	11,1	7,0	6,3
646001	3,5	1,0	1,0	3,3	1,7	1,5
640501	6,0	4,0	3,0	5,2	5,3	4,7
415309	7,5	7,5	3,0	9,1	14,0	3,4
955825	2,0	7,0	5,0	1,8	10,6	7,5
961017	3,0	8,0	1,0	2,3	10,1	1,6
960919	10,0	0,5	2,5	10,0	0,9	3,9
941121	9,0	17,0	3,5	8,0	21,3	5,5
941229	8,0	0,5	0,0	6,7	0,8	0,0
926012	14,5	14,0	24,0	14,0	20,9	39,3
930427	0,5	1,5	8,0	0,5	2,3	11,9
916125	2,5	7,0	-	2,2	8,6	-
935622	7,0	7,0	7,0	6,3	9,5	10,1
930829	7,5	5,5	1,0	6,0	5,9	1,4
925809	5,5	1,5	4,5	5,2	2,3	6,6
921210	20,0	28,5	3,5	15,3	35,0	4,0
890208	6,5	3,5	2,5	5,1	4,5	3,5
926202	2,5	11,0	2,5	1,9	11,0	2,5
740216	13,5	4,0	10,5	12,4	4,9	17,6
780620	7,0	0,5	2,0	6,0	0,7	3,0
805701	2,0	4,5	2,5	1,8	5,9	3,6
740121	10,5	5,5	2,0	8,9	7,3	2,6
840511	2,0	1,0	1,5	1,7	1,4	2,3
770422	2,5	9,5	1,0	2,2	11,7	1,6
925615	2,5	1,0	4,0	2,3	1,4	5,7

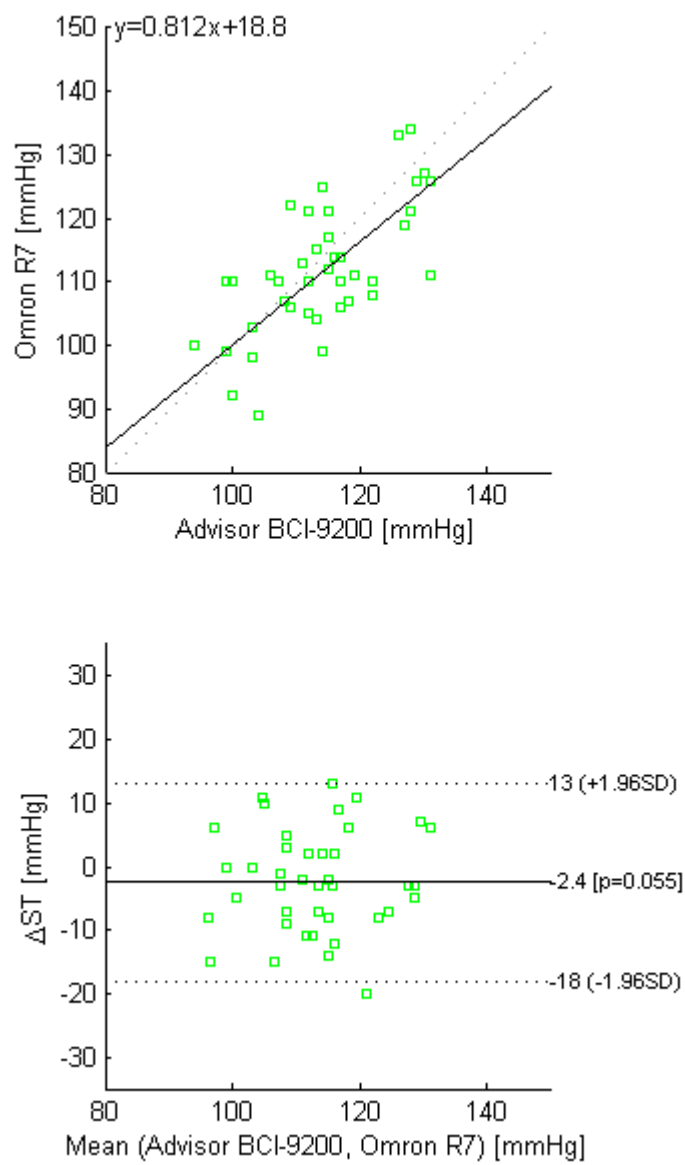
Příloha 16: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro systolický tlak naměřený tonometrem Hartmann Digital HG 160 comfort na dobrovolnících



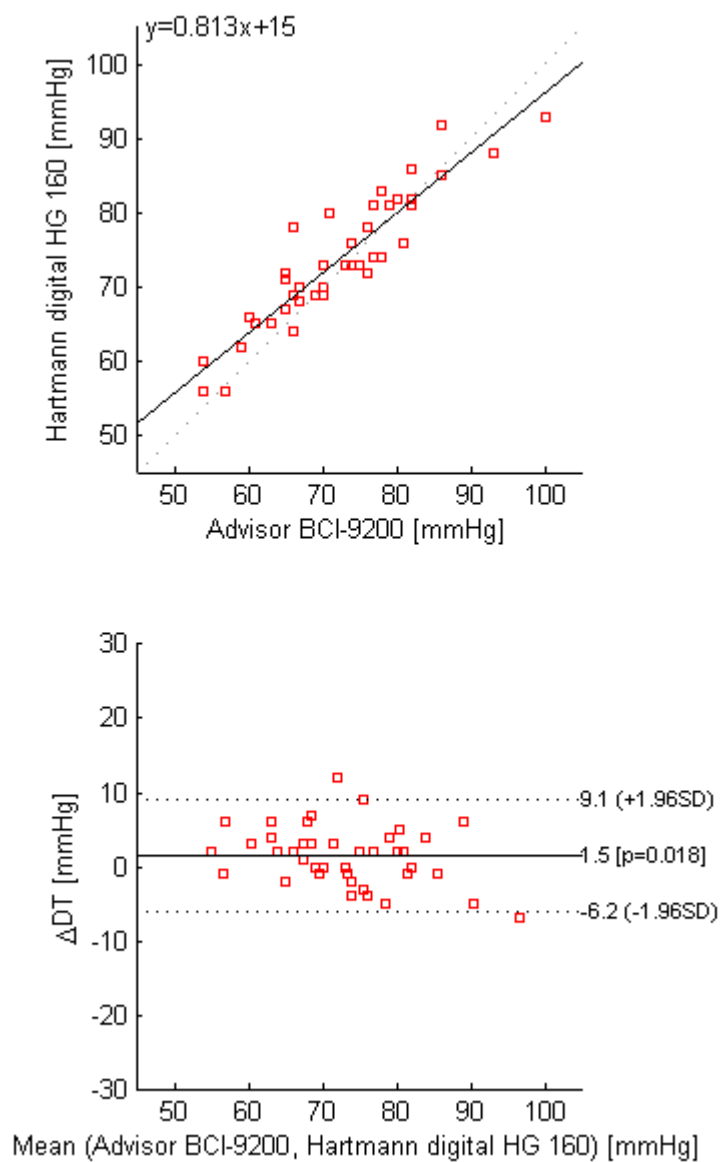
Příloha 17: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro systolický tlak naměřený tonometrem HuBDIC HPB-1520 na dobrovolnících



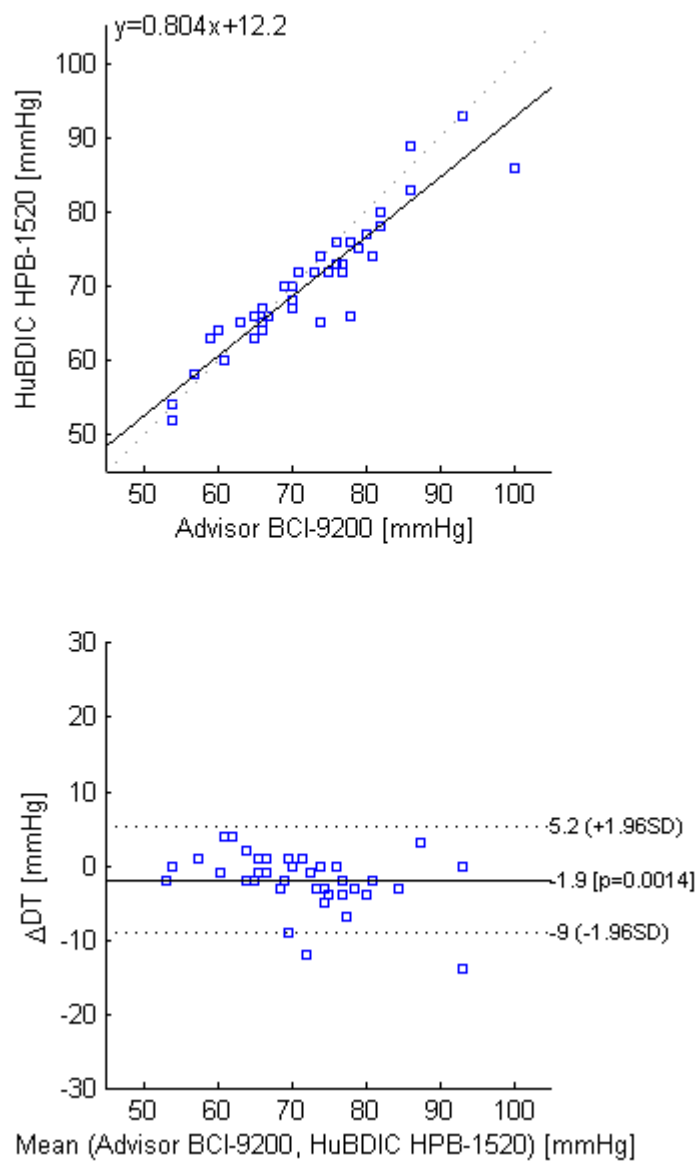
Příloha 18: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro systolický tlak naměřený tonometrem Omron R7 na dobrovolnících



Příloha 19: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro diastolický tlak naměřený tonometrem Hartmann Digital HG 160 comfort na dobrovolnících



Příloha 20: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro diastolický tlak naměřený tonometrem HuBDIC HPB-1520 na dobrovolnících



Příloha 21: Výsledný graf lineární regrese a Blandův-Altmanův graf pro diastolický tlak naměřený tonometrem Omron R7 na dobrovolnících

