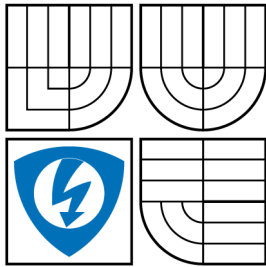


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MONITOROVÁNÍ DECHU BĚHEM TERAPIE PACIENTŮ BREATH MONITORING DURING MOTION THERAPY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARKÉTA KOŽOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JANA KOLÁŘOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013

ZDE VLOŽIT LIST ZADÁNÍ

Z důvodu správného číslování stránek

ABSTRAKT

Semestrální práce se zabývá kontinuálním sledováním plicní ventilace v průběhu terapie pacientů a zaměřuje se především na způsob jejich dýchání. Během terapie je zapotřebí detekovat, sledovat a rozlišit hrudní a břišní dýchání. V práci je nejprve popsána základní a běžně používaná metoda, kterou je spirometrie, a poté další dostupné metody založené na kontaktním a bezkontaktním způsobu měření. Uvedeny jsou také dvě nově vyvinuté metody na VUT – kontaktní metoda založená na principu podobném měření tlaku a bezkontaktní měření pomocí TOF kamery. Tyto metody byly použity k měření a následnému zpracování dat, které mělo za cíl ověřit jejich praktické využití.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plicní ventilace, plicní objemy a kapacity, břišní a hrudní dýchání, spirometrie, RIP, IP, SLP, OEP, sledování dechu pomocí tlakových snímačů, sledování dechu pomocí optických snímačů, CAVI index.

ABSTRACT

This semestral thesis deals with continuous monitoring of pulmonary ventilation during the patients' therapy and focuses especially on monitoring of their ventilation processes. It is necessary to detect, monitor and differentiate abdominal and thoracic breathing during the therapy. This thesis describes the very basic and common method, a spirometry. Next, an overview of more advanced state-of-the-art methods based on both, tactile and proximity principles is given. In addition to that, two recently developed methods by BUT are discussed as well – a tactile-based measurement similar to blood pressure sensor and a proximity-based measurement method employing TOF cameras. The data acquired by these two methods are processed and examined in order to evaluate and justify their performance in a real application.

KEYWORDS

Pulmonary ventilation, lung volumes and capacities, abdominal and thoracic breathing, spirometry, RIP, IP, SLP, OEP, monitoring breath using pressure sensors, monitoring breath using optical sensors, CAVI index.

KOŤOVÁ, Markéta *Monitorování dechu během terapie pacientů: diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2013. 71 s. Vedoucí práce byla doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Monitorování dechu během terapie pacientů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009Sb.

V Brně

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí diplomové práce doc. Ing. Janě Kolářové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Díky patří také doc. Ing. Luďkovi Žaludovi a prof. MUDr. Petrovi Dobšákovi, CSc.. Velké díky patří všem dobrovolníkům, kteří se podíleli na měření dat. Děkuji také své rodině a svému příteli Ondrovi za veškerou podporu.

Experimentální část této diplomové práce byla podpořena v rámci projektu Evropského fondu pro regionální rozvoj FNUSA-ICRC CZ.1.05/1.1.00/02.0123.

V Brně

.....

(Podpis autora)

OBSAH

1 Úvod	1
2 Fyziologie dýchání	2
2.1 Dechový cyklus	2
2.2 Poddajnost a elasticita plic	3
2.3 Plicní objemy a kapacity	4
2.4 Typy dýchání	6
3 Vyšetřovací metody dechu	8
3.1 Spirometrie	8
3.2 Respirační indukční pletysmografie	9
3.3 Impedanční pletysmografie	10
3.4 Pletysmografie s využitím aktivní triangulace	11
3.5 Optoelektronická pletysmografie	12
4 Praktická část	14
4.1 Měřicí protokol	14
4.2 Sledování dechu pomocí optických snímačů	17
4.2.1 Zpracování signálů z měření	19
4.2.2 Statistické zpracování výsledků	21
4.3 Sledování dechu pomocí tlakových snímačů	23
4.3.1 Zpracování signálů z měření	24
4.3.2 Statistické zpracování výsledků	27
4.4 Snímání a zobrazování signálu v LabView	29
4.4.1 Spouštění programu	30
4.4.2 Popis programu	31
4.4.3 Statistické zpracování výsledků	33
4.5 CAVI vyšetření	36
4.5.1 Statistické zpracování výsledků	37
4.6 Simulátor	39
5 Hodnocení výsledků	41
6 Závěr	43
Literatura	44
Seznam symbolů, veličin a zkratk	47

Seznam příloh	48
A Výsledky měření v grafické podobě	49
B Obsah přiloženého DVD	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Nádech a výdech	3
2.2	Statická spirometrie	5
2.3	Dynamická spirometrie	6
2.4	Typy dýchání	7
3.1	Princip RIP	9
3.2	Princip zapojení impedanční pletysmografie	10
3.3	Princip aktivní triangulace pro 3D rekonstrukci	11
3.4	Princip SLP	12
3.5	Schéma OEP	13
4.1	Měření	16
4.2	Princip sledování dechu pomocí optických snímačů	19
4.3	Výpočet vzdáleností od kamery	20
4.4	Výsledné velikosti od kamery	20
4.5	Statistické výsledky (kamera)- pohlaví	22
4.6	Statistické výsledky (kamera)- hudební nástroje	23
4.7	Statistické výsledky (kamera)- srovnání pacientů	23
4.8	Respirační pás	24
4.9	Blokové schéma metody sledování dechu pomocí tlakových snímačů	24
4.10	Uložení dat z měření	25
4.11	Zpracování dat	25
4.12	Výpočet obsahu píků	26
4.13	Výsledné velikosti píků	26
4.14	Statistické výsledky (pásy)- pohlaví	28
4.15	Statistické výsledky (pásy)- sportovci	29
4.16	Pomůcky k měření v Labview	29
4.17	Čelní panel programu v Labview	30
4.18	Hrudní a břišní dýchání, ukládání v Labview	31
4.19	Spirometrie v Labview	32
4.20	Statistické výsledky (pásy + spirometrie)- pohlaví	34
4.21	Statistické výsledky (pásy + spirometrie)- sportovci	35
4.22	Statistické výsledky (CAVI)	37
4.23	Statistické výsledky (CAVI) - srovnání pacientů	39
4.24	Čelní panel vizualizace výsledků	40
5.1	Statistické výsledky (pásy x kamera)	41
A.1	Ukázka příkladu ze simulátoru	49
A.2	Ukázka příkladu ze simulátoru rozšířena o spirometrii	49
A.3	Statistické výsledky (pásy)- kuřáci	50

A.4	Statistické výsledky (pásky)- hudební nástroje	51
A.5	Statistické výsledky (pásky)- pohlaví	52
A.6	Statistické výsledky (pásky)- sportovci	53
A.7	Statistické výsledky (kamera)- hudební nástroje	54
A.8	Statistické výsledky (kamera)- kuřáci	55
A.9	Statistické výsledky (kamera)- pohlaví	56
A.10	Statistické výsledky (kamera)- sportovci	57
A.11	Statistické výsledky (pásky x kamera)	58
A.12	Statistické výsledky (kamera, pásky)- ženy nehrající na hudební nástroje	59
A.13	Kompletní blokový diagram v Labview	60
A.14	Protokol z vyšetření CAVI	61
A.15	Statistické výsledky (CAVI)	62
A.16	Statistické výsledky (pásky x spirometrie)- muži	63
A.17	Statistické výsledky (pásky x spirometrie)- ženy	64
A.18	Statistické výsledky (pásky x spirometrie)- sportovci	65
A.19	Statistické výsledky (pásky x spirometrie)- nesportovci	66
A.20	Statistické výsledky (pásky x spirometrie)- kuřáci	67
A.21	Statistické výsledky (pásky x spirometrie)- nekuřáci	68
A.22	Statistické výsledky (pásky + spirometrie)	69
A.23	Statistické výsledky (CAVI)- t-test	69
A.24	Statistické výsledky (pásky + spirometrie)- Spearmanův test	70

SEZNAM TABULEK

4.1	Údaje o pacientech (kamera, pásy)	17
4.2	Údaje o pacientech (pásy+spirometrie)	18
4.3	Hodnoty z měření pomocí kamery	21
4.4	Hodnoty z měření pomocí pásů	27
4.5	Hodnoty z měření pomocí pásů + spirometrie	33
4.6	Údaje o pacientech a hodnoty z CAVI	38
A.1	Hodnoty z měření pomocí pásů + spirometrie	70

1 ÚVOD

Plicní ventilace patří k základním funkcím člověka. Vyšetření ventilace může odhalit příčiny různých onemocnění. Lidé v dnešní době mají problémy s dýcháním. Nemyslíme tím, že je trápí nějaké dýchací obtíže, či onemocnění dýchacího ústrojí, ale způsob jejich dýchání [4]. Základní metodou je spirometrie, která patří mezi základní interní vyšetřovací metody. Ze spirometrie dostáváme hodnoty o plicních objemech a kapacitách. Nevýhodou této základní metody je použití náústku, masky apod. Z tohoto důvodu se vyvíjejí další metody pro vyšetření ventilace.

Pacienti po různých úrazech mívají problémy s rozlišením dýchání na břišní a hrudní. Metody popsané a používané v této diplomové práci jsou zaměřeny právě na tento problém. Tyto metody jsou zcela nekontaktní anebo pracují bez použití již zmíněných problémových náústků. Pomocí těchto metod můžeme dostat některé plicní objemy nebo pouze změnu vzdálenosti hrudníku či břicha od snímače v cm.

Na ústavě biomedicínského inženýrství (UBMI) a ústavu automatizace a měřicí techniky (UAMT) byly vytvořeny dvě metody pro sledování dechu pomocí tlakových snímačů a pomocí optických snímačů. Druhá zmíněná metoda je zcela nekontaktní a udává přesný posun změny vzdálenosti hrudníku či břicha od snímače v cm. Jedná se o měření absolutní a je vhodné pro sledování dlouhodobých změn během rehabilitace pacientů. Naopak první zmíněná metoda využívá měření pomocí tlakových snímačů, které jsou umístěny na pacientovi v oblasti hrudníku a břicha. Toto měření je relativní a bude využíváno zejména pro nácvik správného dýchání a sledování momentálního průběhu terapie. Aby i tato metoda poskytovala absolutní měření, byla rozšířena o spirometrii.

2 FYZIOLOGIE DÝCHÁNÍ

Dýchání (respirace) je proces výměny plynů, zejména kyslíku a oxidu uhličitého, mezi organismem a jeho externím prostředím. Projevem tohoto procesu navenek je dech. Dýchací systém tedy zajišťuje příjem kyslíku z atmosféry a výdej oxidu uhličitého do atmosféry. Výměna vzduchu mezi atmosférou a plicemi se poté nazývá plicní ventilace. Ventilace je tedy objem vzduchu vyměněný mezi atmosférou a alveoly za daný časový úsek (typicky se vyjadřuje za 1 minutu – minutová ventilace) [21]. Nádech (inspirium) je aktivní proces, při kterém se stahem bránice a vnějších mezižebních svalů zvětší objem hrudní dutiny, a plíce se vlivem podtlaku v pohrudniční dutině roztáhnou a naplní vzduchem. Výdech (expirium) je za normálních okolností pasivní děj. Velikost ventilace je přesně řízena z center v mozku a vypočítá se jako součin objemu jednoho dechu V_T a dechové frekvence f :

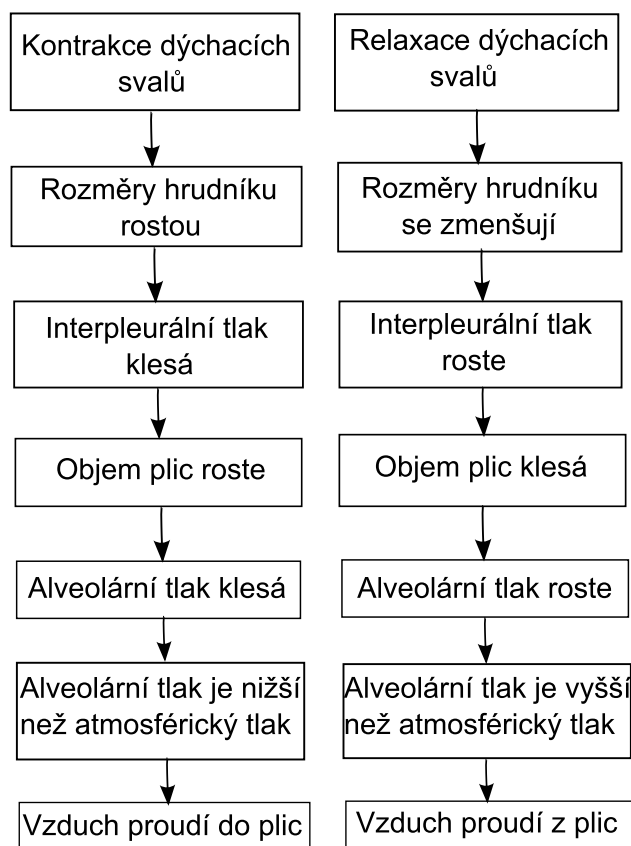
$$MV = V_T \cdot f \quad (2.1)$$

Naše respirace je řízena centrálně z dýchacího ústředí. Toto středisko nalezneme uložené v prodloužené míše a v mozkovém kmenu. V této centrále počínají vzruchy, které následně procházejí cestou míšních nervů k jednotlivým respiračním a inspiračním svalům. Řízením jsou myšleny mechanismy, které zajišťují rytmicitu dýchání a minutovou ventilaci. Je možné ho ovlivnit nervovými a látkovými podněty. Látkové podněty působí prostřednictvím změn ve složení krve, která protéká dýchacím centrem. Nervové podněty přichází z některých oblastí mozku, z receptorů ve svalech, šlachách a kloubních pouzder hrudní stěny, z receptorů ve vazivu plic [10].

2.1 Dechový cyklus

Nádech a výdech tvoří dechový cyklus, který se opakuje přibližně u zdravých dospělých jedinců šestnáctkrát za minutu, ve dne, v noci, který začíná s prvním nádechem novorozence a končí smrtí jedince [21]. Na obr. 2.1 vidíme zobrazeny nádech a výdech a jejich průběh. Před nádechem se intrapulmonální tlak rovná tlaku atmosférickému. Inspirum začíná kontrakcí inspiračních svalů vedoucí ke zvětšení objemu hrudníku a to zejména poklesem bránice a rozšířením hrudního koše všemi směry tahem interkostálních svalů. Zvyšuje se negativita intrapulmonálního a transpulmonálního tlaku. Zvýšením těchto tlaků dojde k roztažení plic a alveolární tlak klesá pod hodnotu tlaku atmosférického. Pokud jsou dýchací cesty otevřené, proudí vzduch do plic a to do okamžiku než nastane vyrovnání tlaků mezi plicemi a atmosférou.

Výdech je opakem nádechu. Při klidném dýchání není potřeba aktivní činnost expiračních svalů. Hrudník a plíce zmenšují svůj objem vlastní elasticitou. Teprve při zátěži či patologických stavech se zapojují expirační svaly.



Obr. 2.1: Průběh nádechu (a) a výdechu (b) , převzato z [14]

2.2 Poddajnost a elasticita plic

Plíce jsou pružným orgánem. Jejich pružnost je dána síťovitou strukturou uspořádání vazivových vláken. Stupeň plicní elasticity určuje sílu, kterou musí inspirační svaly vynaložit při vdechu. Poměr elasticity plic a elasticity hrudníku určuje velikost objemu, který plíce zaujmou při klidovém výdechu. Elasticitu plic, hrudníku nebo obou najednou určuje hodnota plicní poddajnosti (compliance) [21]. Poddajnost (C) je poměr změny objemu a změny interpleurálního tlaku, který tuto změnu způsobil. Vyjadřuje, jak velký tlak je třeba vyvinout na změnu objemu:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (2.2)$$

Poddajnost ovlivňuje elasticita plicní tkáně a povrchové napětí alveolů na rozhraní mezi alveolárním vzduchem a alveolární výstelkou. Ze vztahu vyplývá, že poddajnost plic a hrudníku je větší jestliže člověk pro vdechnutí téhož objemu vzduchu do plic potřebuje vyvinout menší sílu. Poddajnost je možné měřit za statistických nebo dynamických podmínek [13].

Síla, kterou musí vyvinout dýchací svaly při ventilaci plic, závisí především na poddajnosti hrudníku a plic a na odporu dýchacích cest vůči proudění vzduchu. Dále můžeme uvažovat sílu, která je potřebná pro zrychlení nebo zpomalení pohybu hrudníku a plic v průběhu dechového cyklu. Elasticita plic závisí na přítomnosti a stavu elastických vláken plicního parenchymu a elasticita hrudního koše závisí na elastických vlastnostech svalů a šlach [13].

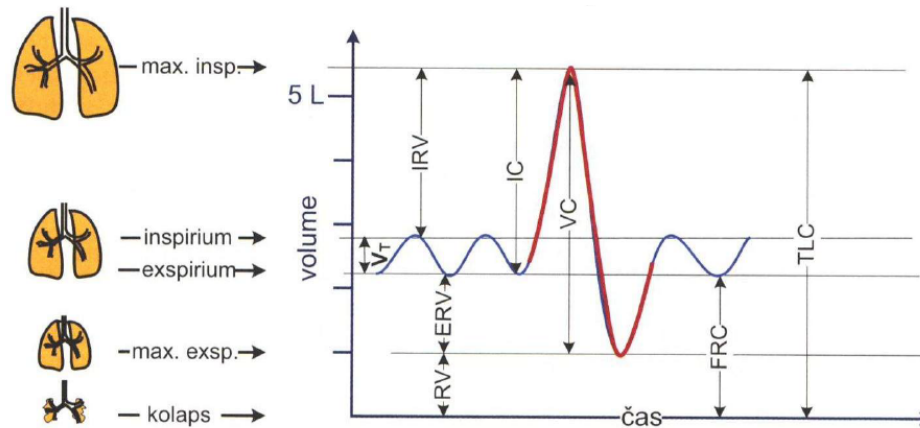
2.3 Plicní objemy a kapacity

Člověk každým nádechem nadechne a každým výdechem vydechne určitý objem vzduchu. Objem vzduchu poté závisí na velikosti nádechu a výdechu. Tyto objemy poté můžeme měřit spirometrem. Parametry bývají rozdělovány na statické a dynamické. Mezi statické parametry patří plicní objemy a plicní kapacity [10]. Kapacity jsou přitom vyjadřovány součtem dvou nebo více objemů. Plicní objemy a kapacity jsou zobrazeny na obrázku 2.2 a jsou následující:

- Dechový objem (V_T) – množství vzduchu, které přejde do plic při každém nádechu (0,5 l).
- Inspirační rezervní objem (IRV) – je množství vzduchu, které pacient dokáže po normálním vdechu ještě vdechnout (2-2,5 l).
- Exspirační rezervní objem (ERV) – je množství vzduchu, které pacient dokáže po normálním výdechu ještě vydechnout (1-1,5 l).
- Reziduální objem (RV) – je objem vzduchu, který zůstane v plicích po maximálním výdechu (1,5 l).
- Celková plicní kapacita (TLC, TC) – celkové množství vzduchu, které může být v plicích obsaženo po usilovném nádechu. Kapacita složená z VC a RV , zjišťuje se celotělovou pletysmografií (6 l).
- Vitální kapacita (VC) – největší objem vzduchu, který může pacient vdechnout po maximálním výdechu nebo naopak vydechnout po maximálním vdechu. Vitální kapacita je součet dechového objemu, inspiračního rezervního objemu a

expiračního rezervního objemu. Kapacita je závislá na pohlaví, stáří, trénovanosti či zdravotním stavu (3,2 l- ženy, 4,2 l- muži).

- Funkční reziduální kapacita (FRC) – množství vzduchu, které je obsaženo v plicích po klidném výdechu. Kapacita složená z ERV a RV (2,5 l).
- Inspirační kapacita (IC) – maximální objem vzduchu, který lze nadechnout z klidového výdechu ($VT + IRV$), (3,5 l).

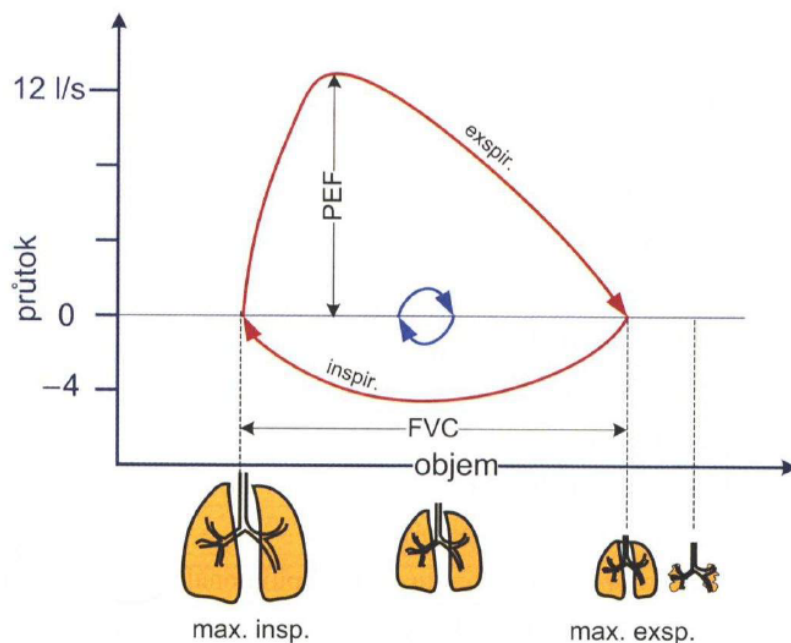


Obr. 2.2: Statická spirometrie, převzato z [13]

Většina dynamických parametrů je stanovována z usilovného výdechu vitální kapacity. Pacient nejprve provede maximálně hluboký nádech a ihned poté s vynaložením co největšího úsilí co největší rychlostí vydechne co největší objem vzduchu. Dynamické parametry se také označují jako výdechové rychlosti (flow či flow rate) nebo jako objemy za definovaný čas (volume in time). U dynamických objemů je sledován vztah k času. Rozlišujeme následující dynamické parametry, které jsou zobrazeny na obrázku 2.3:

- Minutová ventilace (MV) – množství vzduchu vyměněné v plicích během jedné minuty klidného dýchání. Je násobkem dechového objemu a frekvence dýchání (7,5 -8 l/min).
- Maximální minutová ventilace (MMV) – určuje největší možnou minutovou výměnu dýchacích plynů (200 l/min).
- Usilovná vitální kapacita (FVC) – celkový objem vzduchu vydechnutý po maximálním nádechu usilovným výdechem (5 litrů)
- Jednovteřinová vitální kapacita (FEV_1 , FEV_{1s}) – maximální množství vydechnuté za jednu vteřinu (4 litrů).

- Maximální výdechový proud vzduchu (*PEF*) – vrcholový výdechový průtok; nejvyšší rychlost na vrcholu usilovného výdechu (12 l/s)



Obr. 2.3: Dynamická spirometrie, převzato z [13]

2.4 Typy dýchání

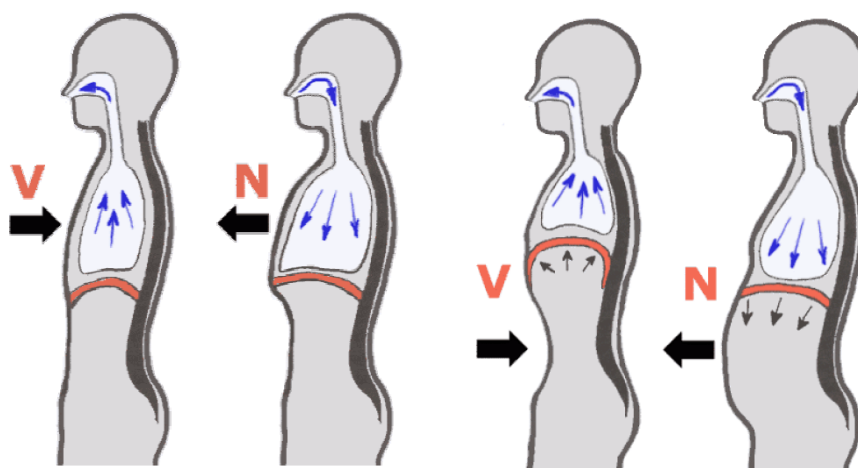
Rozlišujeme tři základní druhy dýchání: břišní (abdominální), hrudní (kostální, žeberní) a podklíčkové (klíčkové, klavikulární). Břišní dýchání je typické pro muže naopak hrudní dýchání pro ženy [9].

Břišní dýchání využívá hlavní dýchací sval, tedy bránici a podporuje výměnu dýchacích plynů ve spodní části plic. S výdechem se uvolní a zatáhnou břišní svaly. Naopak je tomu při nádechu. Díky abdominálnímu dýchání se mohou plíce zcela naplňovat a vyprazdňovat, což vede k lepšímu okysličení organismu. Naopak nedostatečné provádění tohoto typu dýchání může mít za následek větší sklon k zácpě, špatnému trávení i hemeroidům [9].

U hrudního dýchání pochází hlavní část aktivity z činnosti mezižebních svalů. Při nádechu aktivně pracují a tím dochází ke zvedání hrudního koše a k jeho rozpínání do stran. Výdech je zabezpečen elasticitou hrudníku a probíhá již pasivně.

Tento způsob ventilace naplňuje vzduchem střední část žeber, což vede k menšímu obsahu přijatého kyslíku a dýchání se stává namáhavějším než dýchání abdominální. Hrudní dýchání se využívá k prevenci onemocnění srdce a krevního oběhu [9]. Oba základní typy dýchání jsou zobrazeny na obrázku 2.4, kde V je výdech a N nádech [16].

Posledním typem dýchání je podklíčkové, při nádechu zvedáme ramena a klíční kosti. Zaplňuje se především horní část plic, kde se zvedají horní žebra (2. - 5. pár) a klíční kosti. Dýchání je mělké, povrchní a rychlé. Je nejnamáhavějším a nejméně účinným typem dýchání, protože se do pohybu zapojují nejkratší žebra, která jsou hůře pohyblivá. Z hlediska zapojení svalů a mechaniky pohybu se tento typ dýchání neliší podstatně od dechu hrudního. Podklíčkové dýchání se opět děje činností mezižeberních svalů. Podílejí se tu ale i šikmé svaly krku. Tyto svaly se ve většině případů zapojují jen v akutní dechové tísní (astmatický záchvat, dušení apod.). Tímto typem dýchání provzdušníme horní část plic, což vede k výměně vzduchu v plicních hrotech a tím působí jako prevence astmatu a prevence zánětů v této části plic [16].



Obr. 2.4: Typy dýchání, a) hrudní, b) břišní, převzato z [16]

3 VYŠETŘOVACÍ METODY DECHU

Mezi základní metody vyšetření dechu patří spirometrie 3.1. Mezi výhody této základní metody je to, že je velmi dostupná a levná. Jenomže se v této metodě používají tzv. náústky, masky apod., které mohou ovlivnit průběh vyšetření. Pacientům je nepříjemný náústek v ústech a poté si více uvědomují, že jsou vyšetřováni. Vyšetření je také závislé na spolupráci pacienta. Dále závisí na věku pacienta. V časném dětském věku je ale diagnostika nemoci často obtížná. Malé děti ve věku do 3-4 let nejsou schopny dostatečné spolupráce. Proto byly vynalezeny další metody pro vyšetření dechu, buď zcela nekontaktní anebo bez náústku.

Mezi metody, které využívají vyšetření bez náústku, patří 3.2, 3.3, 3.5. Metoda, která je zcela nekontaktní, je popsána v kapitole 3.4.

3.1 Spirometrie

Spirometrie patří k základním interním vyšetřovacím metodám obdobně jako např. měření krevního tlaku či záznam EKG. Spirometrie je fyziologický test měřící objem vzduchu, který pacient vdechuje či vydechuje v závislosti na čase. Naměřené parametry jsou zaznamenány do tzv. spirometrické křivky neboli spirogramu, který v souřadnicovém systému vyjadřuje závislost změny objemu v čase [7]. Nepravidelnosti na křivkách bývají způsobeny nejčastěji kašlem, obstrukcí náústku jazykem, uvolněným umělým chrupem. Je využívána jako nezastupitelná součást vyšetření běžných respiračních příznaků (dušnosti, kašle, bolestí na hrudi) či laboratorních anomálií.

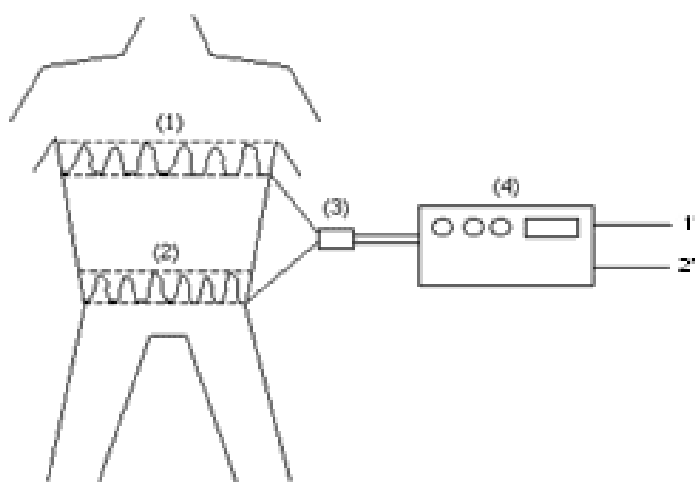
Spirometrické parametry bývají rozdělovány na statické a dynamické, jak bylo řečeno v kapitole 2.3. Mezi statické parametry patří 4 plicní objemy (IRV , ERV , RV , V_T) a 4 plicní kapacity (IC , FRC , VC , TLC). Kapacity jsou přitom vyjadřovány součtem dvou nebo více objemů [7]. Pacient dýchá prostřednictvím náústku, masky apod. přes přístroj. Pacient je instruován pouze ohledně hloubky dýchání, tedy zda má provádět klidový nebo co nejhlubší nádech nebo výdech, bez požadavku na rychlost. Do cesty vzduchu je vložena turbínka nebo jemná síťka. Proudící vzduch roztáčí nebo vytváří velmi malý tlak na síťku a to proporciálně k vydechovanému vzduchu. Během vyšetření se měří čas, a proto je možné dopočítat průtoky a rychlosti proudu vzduchu. Spirometrie se také využívá k posouzení funkčních zdatností dýchacího systému, k tomuto účelu se provádí stanovení dynamických parametrů: FVC , FEV_{1s} , FEF_{25-75} (střední výdechová rychlost).

Z tohoto vyšetření je možné stanovit dechovou frekvenci, minutovou ventilaci, maximální plicní ventilaci a dechovou rezervu. Vyšetření se provádí ve většině případů vsedě. Hrudník se musí volně pohybovat, není žádoucí předklon ke konci výdechu. Je třeba dbát na hladký přechod mezi nádechem a následným usilovným výdechem. Doporučuje se krátká pauza v poloze maximálního nádechu. Vyžadují se nejméně tři dechy provedené s maximálním úsilím a správnou technikou [7].

3.2 Respirační indukční pletysmografie

Respirační indukční pletysmografie (Respiratory inductance plethysmography –RIP) je metoda, která hodnotí plicní ventilaci vlivem pohybu hrudníku a břicha. Na obrázku 3.1 vidíme princip RIPu. Skládá se ze 4 částí a to z hrudního pásu (1), břišního pásu (2), oscilátoru (3) a demodulátoru signálu (4). Z demodulátoru poté vycházejí dva signály, signál z hrudního pásu (1*) a signál z břišního pásu (2*).

RIP se skládá ze dvou (hrudní a břišní) sinusových drátěných cívek, které jsou izolované, uzavřené a široké asi 2,5 cm. Pásky jsou lehce elastické. Tyto pásky jsou umístěny kolem hrudního koše pod podpaží a na břicho na úrovni pupku. Jsou připojeny k oscilátoru a následným demodulátorem jsou signály převedeny na digitální signály. Během inspirace plocha hrudního koše a břicha zvyšuje vlastní indukčnost cívek a četnost jejich oscilace. Díky elektronice lze převést tuto změnu frekvence na digitální dýchací průběhy, kde amplituda křivky je úměrná inspirovanému objemu dechu.

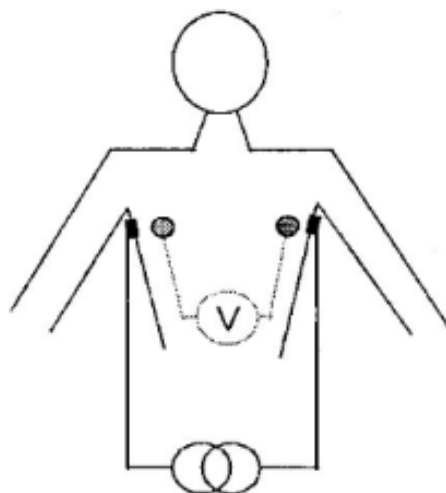


Obr. 3.1: Princip RIP, převzato z [2]

RIP je nejčastěji používána, zavedená a přesná plethysmografie odhadující plicní objem od dýchacích pohybů. Pásy na pacientovy se mohou zafixovat pomocí náplastí, aby se zabránilo sklouznutí, které mohou zničit RIP kalibraci. Podle optimální situace plic objemu lze aproximovat toto měření s chybou menší než 10 procent.

3.3 Impedanční plethysmografie

Impedanční plethysmografie (impedance plethysmography) je založena na tom, že lidské tělo je poměrně špatný vodič elektřiny. Lidské tělo obsahuje velmi mnoho vody, vede tedy elektrický proud. Jinými slovy, představuje poměrně vysokou impedanci na protékající elektrický proud. Tato impedance se mění s průřezem těla. Tělo se rozpíná a smršťuje, což představuje hrudní a břišní pohyby při dýchání během měření. Při nádechu se zvětšuje objem plic, klesá vodivost a zvyšuje se elektrická impedance hrudníku. Využívá se zapojení čtyřmi či dvěma elektrodami, které jsou připojeny na kůži. Slabý střídavý elektrický proud prochází těmito elektrodami, a následně je změřena impedance. Metoda dává výsledek v podobě nelineárního signálu, z toho důvodu je tato metoda užitečná pouze jako kvalitativní měřítko hrudního nebo břišního pohybu. Vzhledem k tomu, že elektrický proud prochází tělem, musí se dbát na to, aby se správně vybral frekvenční rozsah, který by se nerušil s jiným monitorovacími zařízeními nebo s implantovanými zařízeními, jako jsou kardiostimulátory nebo defibrilátory.

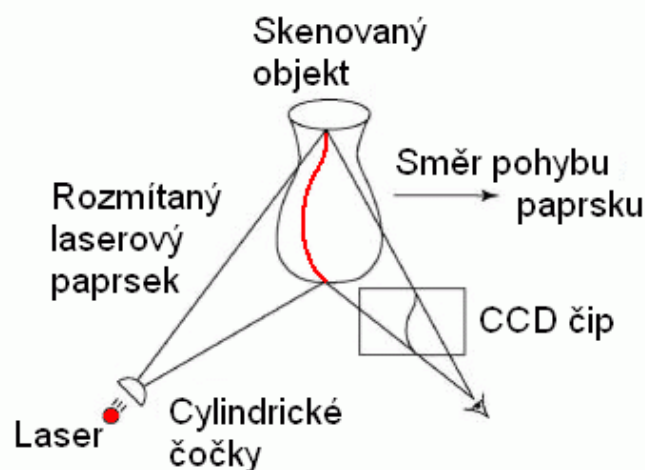


Obr. 3.2: Princip zapojení impedanční plethysmografie, převzato z [8]

Na obrázku 3.2 vidíme typické čtyř-elektrodové zapojení impedanční pletysmografie. Elektrody se umísťují na hrudník podél střední axilární čáry z obou stran. Metoda je náchylná k pohybovému artefaktu. Impedance se měří na frekvencích 60 – 100 kHz, které jsou dostatečně vysoké, aby se zabránilo stimulaci tkáně, polarizaci elektrod a problémům spojených s vysokými hodnotami impedance kůže. Proud impedance je 25 – 500 μA . Jak už bylo zmíněno, nejčastěji se používá čtyř elektrodové zapojení, použitím dvou párů elektrod (pár budících elektrod a pár měřících elektrod) přináší přesnější měření. Výsledky této metody závisí na pozici elektrod, tvaru a hmotnosti elektrod a také na obsahu tělních tekutin v ROI (oblasti zájmu). [19]

3.4 Pletysmografie s využitím aktivní triangulace

Pletysmografie s využitím aktivní triangulace (structured light plethysmography – SLP) je metoda založena na nasvícení povrchu pacienta světelným zdrojem a současným snímáním pomocí snímače. Zdroj světla, snímač a osvětlený bod na pacientovi tvoří triangulační trojúhelník. Spojnice osvětlovače a snímače vytváří triangulační bázi. Na místě světelného zdroje se úhel, který svírá s triangulační fází, nemění. Na povrch snímače však paprsek dopadá vždy pod jiným úhlem. Z velikosti tohoto úhlu a triangulační báze lze pak vypočítat vzdálenost bodu na snímaném objektu. Tato metoda pracuje s 3D triangulací, kde její princip je znázorněn na obrázku 3.3 [11].

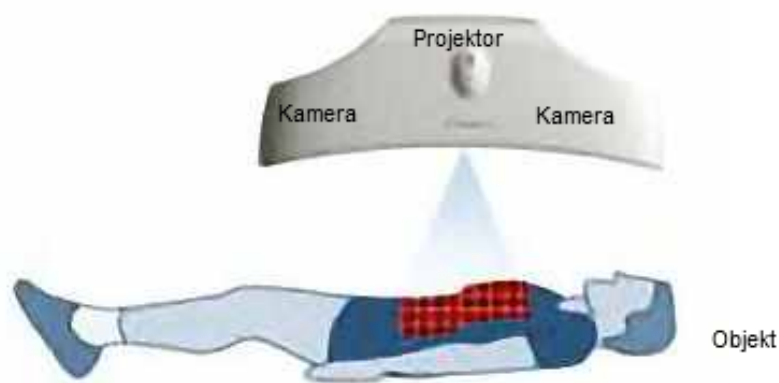


Obr. 3.3: Princip aktivní triangulace pro 3D rekonstrukci, převzato z [15]

Výhodou této metody je, že je zcela nekontaktní oproti předchozím metodám. Mezi další výhody optické metody jsou přesnost, rychlost, snadná přenastavitelnost

a snadná změna parametrů. Vyšetření může probíhat vsedě, ve stoje či vleže. Vyšetřovaný pacient si může na sobě nechat tričko s libovolnou barvou.

Na obrázku 3.4 je znázorněna metoda SLP, kde je použit dvourozměrný skener, proto je promítán na tělo pacienta pruhovaný vzor (tvz. šachovnice). Projektor vytváří strukturovanou světelnou mřížku na povrchu těla v oblasti hrudníku a břicha. Kamery sledují deformaci vzoru a přes komplex algoritmů je počítána vzdálenost každého bodu vzoru. Výsledkem je poté dynamická 3D rekonstrukce povrchu těla pacienta, podle toho jak pacient dýchal. Z těchto údajů můžeme usuzovat změny hrudníku či břicha v průběhu času, což nám umožňuje extrahovat parametry a vytvářet křivky (např. Volume-Time, Flow-Time, Flow-Volume křivky) přímo srovnatelné se základní spirometrií [23].

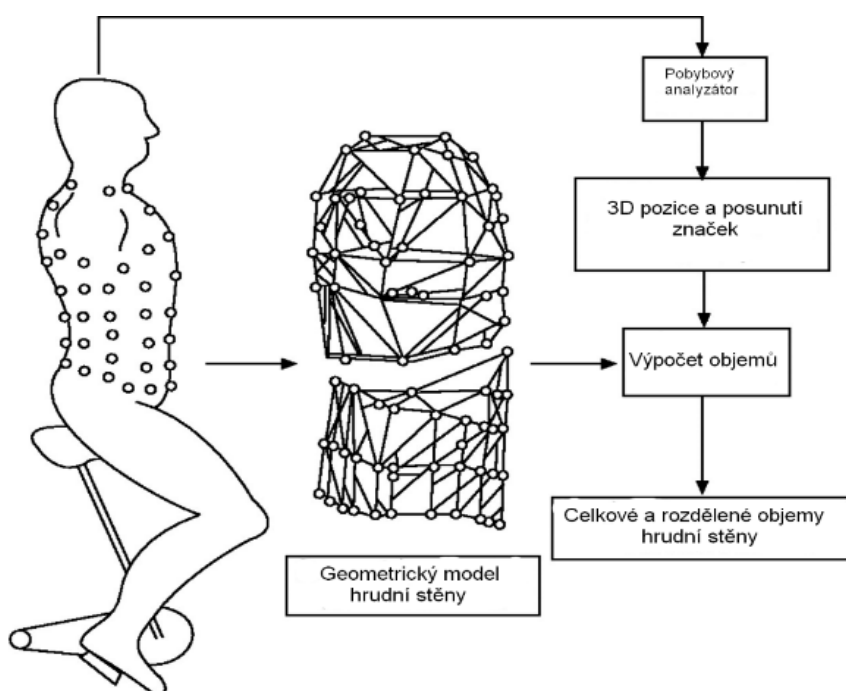


Obr. 3.4: Princip SLP, převzato z [24]

3.5 Optoelektronická pletysmografie

Optoelektronická pletysmografie (optoelectronic plethysmography – OEP) je metoda, která umožňuje měření objemu různých částí dýchacího ústrojí podle pozorování pohybu hrudní stěny. Princip OEP je znázorněn na obrázku 3.5, kde pacienta snímají optické infračervené kamery, které jsou schopny přesně sledovat během dýchání pohyb markerů (značek) umístěných na pacientově těle. Díky použití algoritmů, metoda přeloží pohyb hrudníku na změny hrudních objemů. OEP tedy umožňuje odhadnout změny plicních objemů. Metodou lze přesně měřit stávající objem v plicích, vitální kapacitu, respirační frekvenci, dobu trvání inspirace a expirace, průměrnou inspiraci a expiraci [3].

OEP je metoda neinvazivní, přesná, snadno používaná v případě nespolupracujících pacientů. Na rozdíl od tradičních pletysmografických vyšetření není OEP ovlivněna vlhkostí a kolísáním teplot, a může být použita pro měření po delší dobu. Kamery dokáží vytvořit až 120 snímků za sekundu. Software poté spočítá s vysokou přesností 3D souřadnice značek na těle pacienta. Výhodou také je, že metoda nevyžaduje žádnou kalibraci pro konkrétního pacienta. Systém může být kalibrován pouze jednou a to na začátku dne. Z OEP je možné buď získat pohyb celé hrudní stěny anebo jeho různé části (pohyb horní části hrudníku, pohyb spodní části hrudníku či pohyb břicha) [3], [5].



Obr. 3.5: Schéma OEP, převzato z [5]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této diplomové práce je založena na dvou metodách sledování dechu. Obě metody byly vyvinuty na UBMI a UAMT. Metoda sledování dechu pomocí optických snímačů je zcela bezkontaktní oproti metodě, která využívá tlakových snímačů, kde je monitorování dechu zaznamenáno pomocí dvou respiračních tlakových pásů, které jsou umístěny na těle pacienta. Metody jsou popsány v kapitolách 4.2 a 4.3. Pomocí obou metod můžeme sledovat břišní a hrudní dýchání pacienta.

Metoda s tlakovými snímači byla následně rozšířena o spirometrii v programu Labview (4.4). Naměřená data ze všech měření byla statisticky vyhodnocena, výsledky popsány (4.2.2, 4.3.2, 4.4.3) a následně porovnány metody vzájemně (5). Průběh měření probíhalo u všech metod stejně, podle protokolu měření (4.1).

Všechny metody, které jsou v práci využity, mají ukázat rozdíly v hrudním a břišním dýchání v jednotlivých kategoriích. Tyto metody by mohli v některých klinických či ambulantních případech doplnit či nahradit spirometrii, která je pro některé pacienty problematická z důvodu použitého náústku.

Pro měření pomocí tlakových pásů s rozšířením o spirometrii byl použit program Labview 2010 (Service Pack 1). Programy pro měření dechu pomocí optických snímačů a tlakových pásů byly vytvořeny v programovacím jazyku c#. Oba programy byly realizovány na UAMT a byly použity pro naměření dat. Zpracování signálů bylo provedeno v Matlabu 2009b. Pro statistické zpracování byly použity programy STATISTICA 10 a Excel (2007).

4.1 Měřicí protokol

Měřicí protokol se vztahuje k metodám, které jsou uvedeny v kapitolách 4.2, 4.3 a 4.4. Rozlišovat se budou následující údaje o pacientech:

- věk (mladý, starý)
- pohlaví (muž, žena)
- BMI (výška, váha)
- tělesné zdatnosti (kuřák, nekuřák, sportovec, nesportovec)

Pro všechny metody bude postup měření shodný. Měření bude kontinuální a budou se zaznamenávat následující úkony:

- Změření referenčního bodu
- 3 nádechy do břicha
- 3 nádechy do hrudníku
- 3 nádechy do hrudníku i do břicha

Poloha měřeného pacienta:

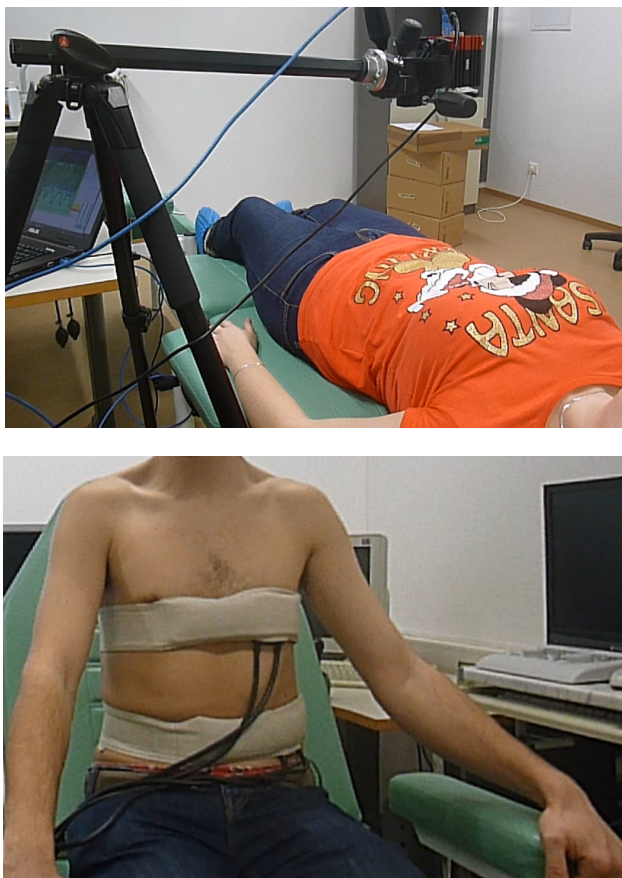
- Vleže - metoda s optickými snímači - z důvodu lepší fixace polohy pacienta a tím snížení chyby měření
- Vsedě - metoda s tlakovými pásy - z důvodu lepší manipulace s pásy na těle pacienta

Postup měření pomocí metody, která využívá PMD kameru je následující: pacient leží na zádech, ruce má podél těla. Pacienta položíme na lehátko tak, aby břicho a hrudník ležely v ROI. Pokud pacient leží již správně, požádáme ho, aby již zůstal v této poloze. Následně provedeme referenční nádechy- pacient se pořádně nadechne. Poté je vše připraveno k měření, které probíhá podle protokolu měření. Fotka z měření pomocí této metody je zobrazena na obrázku 4.1a.

U metody, která využívá tlakové pásy, pacient sedí, ale neopírá se, ruce jsou tak, aby se pacientovi co nejlépe dýchalo. Připevníme na pacienta dva tlakové pásy, poté pásy pomocí balónků natlakujeme a provedeme opět změření referenčních bodů. Poté opět provádíme měření podle měřícího protokolu. Fotka z měření, pomocí této metody, je zobrazena na obrázku 4.1b. Měření, které je rozšířeno o spirometrii probíhá stejně, pouze pacient dýchá přes náústek spirometru.

Měření jsou prováděna kontinuálně, to znamená, že se neprovádí dechy odděleně, ale zaznamenává se od prvního nádechu do břicha až po poslední výdech, který byl proveden jak do břicha, tak do hrudníku.

V tabulce 4.1 jsou údaje o pacientech, kteří se zúčastnili měření pomocí pásů (4.3) a kamery (4.2) a v tabulce 4.2 jsou údaje o pacientech, kteří se zúčastnili měření s pásy rozšířené o spirometrii (4.4). U každého pacienta je zaznamenáno jeho pohlaví, vypočítané BMI, zda-li sportuje, kouří či hraje na dechový hudební nástroj.



Obr. 4.1: Měření, a) pomocí kamery, b) pomocí pásů

V měření, které je rozšířeno o spirometrii, nebyl žádný pacient, který hrál na dechový hudební nástroj, proto tento údaj v tabulce (4.2) chybí. Pohybujeme se ve stejné věkové kategorii (20-30 let).

V kategorii *kuřáci* bylo provedeno specializované vyšetření na průchodnost a stáří cév (4.5). Základní postup pro měření CAVI (cardio – ankle vascular index) a ABI (Ankle - brachial index) je následující: pacient je uložen na lehátko, na končetiny jsou přiloženy manžety. Manžety nesmí být příliš volné, ani příliš těsné. Šipky na manžetách musí směřovat na pulzní body. Spodní okraj manžety uložené na dolní končetině, by měl být zhruba 1 cm nad kotníkovou kostí. Končetiny musí být podloženy polštářky, aby se manžety v žádném místě nedotýkaly podložky. Na obě horní končetiny přiložíme EKG elektrody. Páskou přilepíme mikrofon na sternum do oblasti druhého mezižebří tak, aby byly na displeji zřetelné srdeční ozvy.[6]

Pacient musí ležet v klidu, nemluvit a snažit se nepolykat. Na začátku měření se začnou manžety nafukovat a na displeji jsou zobrazovány křivky EKG, PCG a

Tab. 4.1: Údaje o pacientech (kamera, pásy)

Pacient	Pohlaví	BMI	Sportovec	Kuřák	Flétna
1	žena	22	ne	ne	ne
2	žena	27	ne	ne	ne
3	žena	24	ano	ne	ano
4	muž	25	ano	ne	ne
5	muž	24	ano	ano	ne
6	muž	22	ano	ne	ne
7	muž	22	ne	ne	ne
8	muž	23	ne	ne	ne
9	žena	30	ne	ano/ne	ne
10	žena	23	ano	ne	ano

křivky pulzních vln. Zhruba na deset vteřin se na displeji zobrazí výsledek detekce kvality měření pulzních křivek pro CAVI, které je následně měřeno a vyhodnocováno z pěti po sobě následujících pulzů. Při detekci se zobrazuje R-CAVI (index cévní poddajnosti měřený na pravé polovině těla) a L-CAVI (index cévní poddajnosti měřený na levé polovině těla). Délka vyšetření je 12 minut. [6]

Předpoklady u jednotlivých kategorií jsou následující: ženy využívají hrudní dýchání, naopak muži dýchání břišní. Brániční dýchání je nejdůležitější část lokalizovaného dýchání pro sportovce. Při cvičení napomáhá aktivovat zapojení dolních partií břišních svalů do pohybů končetin. Brániční dýchání využívají zejména běžci, cyklisté. Naopak plavci se zaměřují na hrudní dýchání. Kuřáci by měli mít menší objem plic. Pokud se jedná o dechové hudební nástroje (např.: flétna, saxofon, klarinet), dech směřuje automaticky do břicha, což je podmínkou kontrolované práce s tónem. Muži mají větší klidový dechový objem, to stejné platí pro sportovce. Naopak kuřáci by tento objem měli mít menší.

4.2 Sledování dechu pomocí optických snímačů

Tato metoda snímání dechu je založena na principu měření délky letu světla (Time of Flight, TOF). Metoda TOF je založena na principu měření času od vyslání paprsku až po jeho přijetí [18]. Vzdálenost pacienta od zdroje vyslání paprsku můžeme vy-

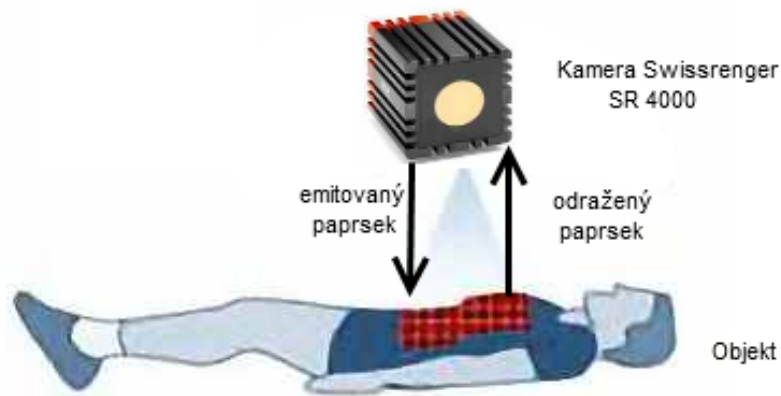
Tab. 4.2: Údaje o pacientech (pásky+spirometrie)

Pacient	Pohlaví	Věk	Sportovec	Kuřák	BMI
26	muž	29	ne	ne	18.52
27	žena	26	ne	ne	19.29
28	muž	30	ne	ne/ano	16.53
29	muž	27	ne	ne	23.89
5	muž	25	ano	ne/ano	24.97
4	muž	27	ano	ne	25.62
30	žena	26	ne	ne	20.07
31	žena	25	ne	ne	22.49
32	žena	23	ne	ne	19.53
33	muž	26	ano	ne	26.04
34	žena	27	ne	ne	23.88
35	žena	28	ne	ne	19.53

počítat ze vzorce 4.1. Kde s je právě vzdálenost pacienta od zdroje, t je změřený čas paprsku od vyslání po přijetí a c je známá rychlost světla. Jelikož paprsek překoná vzdálenost dvakrát (od zdroje k pacientovi (emitovaný paprsek) a poté od pacienta k detektoru (odražený paprsek)), musíme vypočítanou hodnotu podělit dvěma. Princip sledování dechu pomocí optických snímačů je zobrazen na obrázku 4.2.

$$s = \frac{t \cdot c}{2} \quad (4.1)$$

Pomocí tohoto principu jsme schopni změřit velikost nádechu přesně na cm a také oblast nádechu. V této metodě je použita technologie PMD (Photonic-Mixer-Device), konkrétně kamera Swissrenger SR 4000 od firmy MESA Imaging, která tuto technologii využívá. PMD kamery dokáží detekovat celou scénu najednou, což výrazně zrychluje měření. Můžeme tak snímat i rychle se měnící scény. Kamera využívá infračervené světlo (850nm) a její prostorové rozlišení je 176x144 pixelů. Chyba měření se uvádí $\pm 1cm$ na vzdálenost 5m. Infračervené světlo (LED) osvětlí scénu a odražený paprsek pak přes optickou soustavu dopadne na PMD matici. Mezi vyslaným a odraženým paprskem se provede korelace, z níž je pak vypočtena vzdálenost. [18], [1]



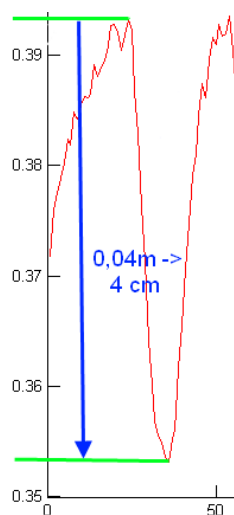
Obr. 4.2: Princip sledování dechu pomocí optických snímačů

4.2.1 Zpracování signálů z měření

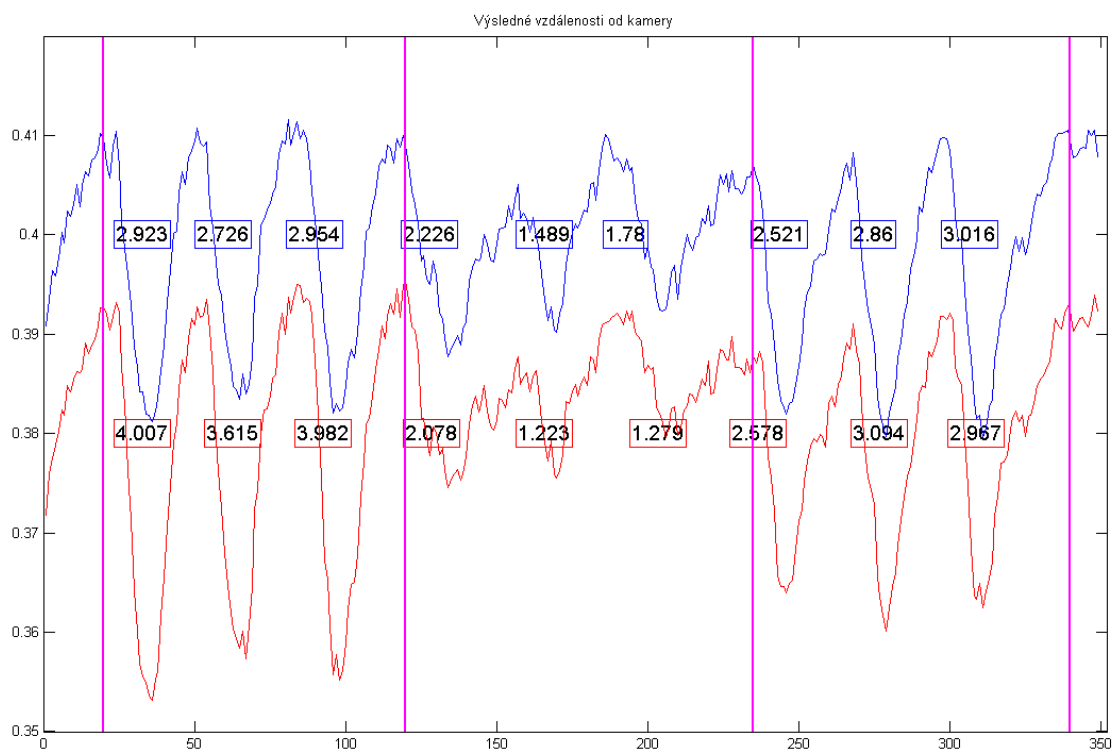
Data z měření se ukládají do vektorové podoby. Při vykreslení signálů si musíme uvědomit, že zde měříme vzdálenosti od kamery. Na ose y jsou vzdálenosti od kamery v metrech a na ose x počet vzorků. Čím blíže k ose x se pík nachází, tím větší byl nádech. Po vykreslení signálů využijeme funkci *minmax* pro detekování lokálních extrémů. Signál rozdělíme na úseky z protokolu měření pro lepší vizuální hodnocení.

Výpočet jednotlivých vzdáleností popisuje obrázek 4.3: v každém píku odečteme od maxima následující minimum. Výsledek je poté uveden v metrech, ale pro lepší představivost převedeme jednotky na centimetry. Vzdálenosti jednotlivých nádechů zobrazíme ke každému píku (obr. 4.4). Červený signál představuje břišní dýchání a modrý signál dýchání hrudní.

Maximum (minimum) si můžeme představit jako vrchol (údolí) v přírodě – body okolo něho po obou stranách jsou nižší (vyšší). Funkce *minmax* nachází právě lokální extrémy v signálu. Vstupními parametry této funkce je vstupní signál a práh. Vektor v obsahuje hodnoty tlaku či vzdáleností od kamery, k němu vytvoříme vektor x , který bude obsahovat pořadí těchto čísel. Tyto dva vektory musí mít stejnou velikost, nastavitelný práh musí být pouze jedno číslo a musí být větší než 0. Práh představuje, jaký má být rozdíl mezi maximem (minimem) a okolními body, aby bylo možné tento bod označit jako maximum (minimum) [25]. Čím je práh větší, tím je nalezeno menší počet lokálních extrémů. Funkce prochází celý signál a aktuální bod v signálu uvažuje jako maximum, pokud je vyšší o nastavitelný práh, než ostatní body, které tento bod obklopují. Výstupní parametry této funkce jsou



Obr. 4.3: Výpočet vzdáleností od kamery



Obr. 4.4: Výsledné velikosti od kamery

souřadnice lokálních extrémů, které jsou vykresleny jako červené (maxima) a zelené (minima) body v grafu. Při volání funkce si uživatel nastaví požadovaný práh a zvolí si signál, ve kterém chce najít lokální extrémy.

Tab. 4.3: Hodnoty z měření pomocí kamery

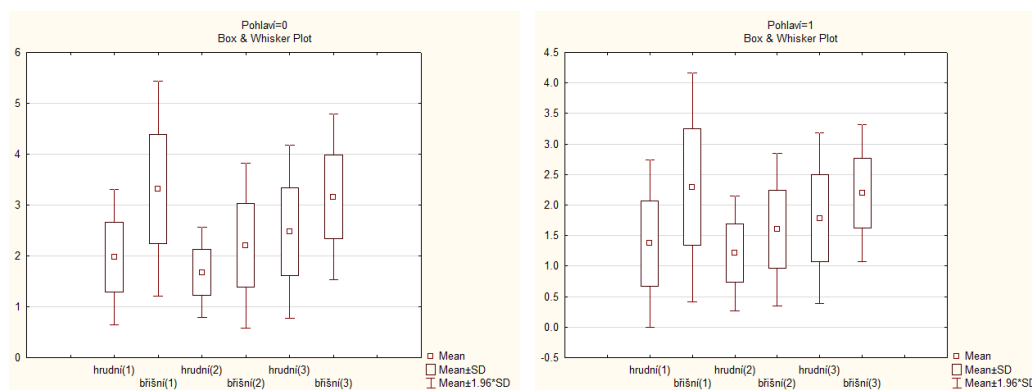
Pacient	Hrudní(1)	Břišní(1)	Hrudní(2)	Břišní(2)	Hrudní(3)	Břišní(3)
1	0.62	0.83	0.83	0.68	2.19	2.54
2	-	2.94	-	1.62	-	1.63
3	2.29	3.26	1.9	2.45	2.58	3.02
4	2.31	2.16	2.29	1.94	3.76	3.54
5	1.09	3.57	1.23	3.18	2.27	3.64
6	1.59	2.29	1.23	1.4	1.44	1.84
7	2.87	3.87	1.83	1.53	2.8	2.88
8	2.02	4.69	1.8	2.99	2.1	3.9
9	1.42	2.49	1.15	1.8	1.19	1.87
10	1.15	1.94	0.96	1.46	1.18	1.9

4.2.2 Statistické zpracování výsledků

V této podkapitole je statistické zpracování výsledků z měření pomocí kamery. V tabulce 4.3 jsou přiděleny ke každému pacientovi jeho průměrné vzdálenosti od kamery v každé oblasti, které jsou uvedeny v *cm*. Tabulka je sestavena následovně: 1 v závorce znamená oblast, kde se pacient nadechoval do břicha, 2 do hrudníku, 3 do obou oblastí. Ze tří nádechů v každé oblasti se udělá průměr, který se zaznamená do tabulky. U pacienta číslo 2, došlo k chybě měření, která byla způsobena v průběhu měření (špatně nastavena ROI oblast), proto nejsou u hrudního dýchání tohoto pacienta zaznamenány žádná čísla.

Grafy 4.5 a A.9 porovnávají dýchání mužů a žen. U mužů si můžeme všimnout při maximálním nádechu výrazně vyšší nádech v oblasti břicha. Zajímavé je, že v druhé oblasti, kde se nadechovalo do oblasti hrudníku, mají muži výsledky vyšší v oblasti břicha. V prvních cyklech měření jsou výrazně vyšší nádechy do břicha. Můžeme tedy potvrdit, že muži potvrdili naše předpoklady. U žen je ovlivněno měření ženami, které hrají na hudební nástroje. V příloze je graf (A.12), který zobrazuje ženy, které nehrají na hudební nástroje (flétnu). Při porovnání je vidět, že u každé položky u hrudního dýchání je výrazný nárůst hrudního dýchání oproti grafu, kde jsou zobrazeny všechny ženy \Rightarrow ženy, které hrají na hudební nástroj, výrazně hrudní dýchání snižují.

Pokud se podíváme na graf 4.6 nebo na A.7 je zde srovnání již zmíněného hraní na hudební nástroje. Vidíme, že břišní dýchání je ve všech oblastech vyšší než dýchání hrudní. I v oblastech, kde se nadechovalo do hrudníku. Z tabulky o pacientech je zřejmé že na hudební nástroje hrají dvě ženy a přesto je břišní dýchání využíváno více.

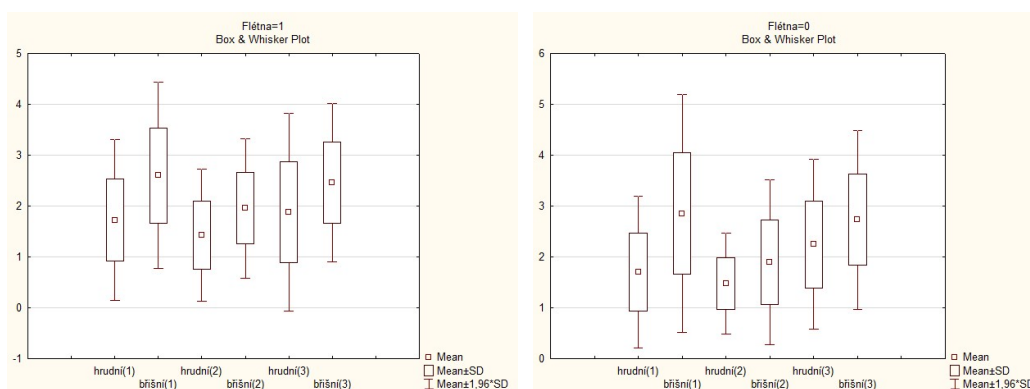


Obr. 4.5: Statistické výsledky- pohlaví: a) muži, b) ženy

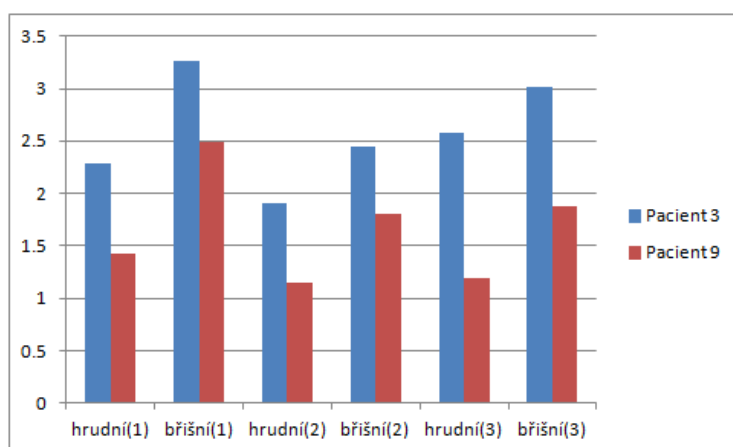
V příloze na obrázku A.8 jsou porovnání kuřáci a nekuřáci. Vidíme, že kuřáci využívají ve všech oblastech měření dýchání břišní, což potvrdilo předpoklady. Při srovnání dýchání hrudního u obou kategorií je vidět, že je větší ve všech oblastech měření u nekuřáků.

Srovnání sportovců a nespportovců je zobrazeno v příloze na obrázku A.10. Sportovci v třetí oblasti měření mají výrazně větší nádechy než pacienti, kteří nespportují. Dále z grafu vyplývá, že sportovci využívají břišní dýchání ve všech oblastech měření i tam, kde se měli nadechovat do hrudníku. Výsledky potvrdili předpoklady o sportovcích, že mají větší kapacitu plic než jedinci, kteří nespportují a také, že využívají více dýchání břišní.

Na obrázku 4.7 je znázorněn histogram, kde jsou porovnání dva pacienti (pacient 3 a pacient 9). Vybrány byly dvě ženy, stejný věk, ale pacientka 3 žije zdravě: sportuje, nekouří a její BMI je v normě. Naopak pacientka 9 nespportuje, kouří (snaží se přestat, či nedávno přestala) a její BMI je 30 (obezita 1 stupně). Z grafu jasně vyplývá, že zdravě žijící pacient má výrazně vyšší kapacitu plic.



Obr. 4.6: Statistické výsledky- hudební nástroje: a) hrající, b) nehrající

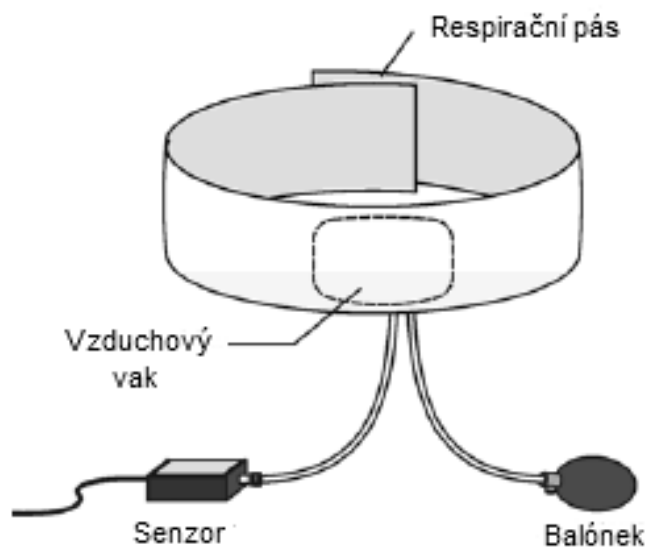


Obr. 4.7: Statistické výsledky (kamera)- srovnání pacientů

4.3 Sledování dechu pomocí tlakových snímačů

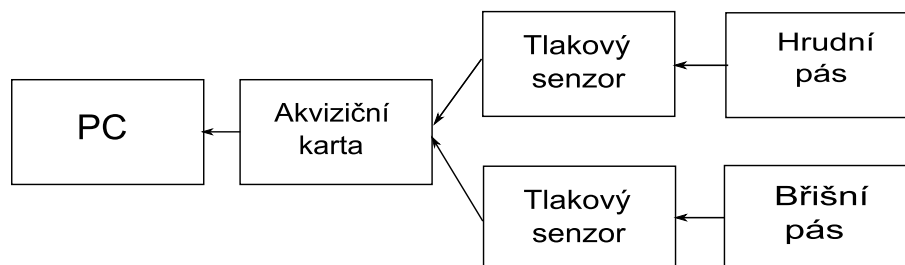
Pacient má na sobě přidělaný dva respirační pásy (obr. 4.8), první je umístěný kolem hrudního koše pod podpaží a druhý na břicho na úrovni pupku. Horní pás sleduje hrudní dýchání a naopak spodní pás dýchání břišní. Každý pás má tzv. vzduchový vak, tento vak musí být umístěn na pacientově hrudníku či břicho (nikoliv na zádech či boku). Vzduchový vak se pomocí balónku napumpuje vzduchem. Pomocí čidla tlaku plynu, který je připojen na pásy lze monitorovat respirační dýchání. Čidlo obsahuje membránu, na jejíž jedné straně je vakuum, druhá strana je volně spojena s okolím. Změny tlaku způsobují prohýbání membrány, které je převáděno na napětí (napětí se lineárně mění s absolutním tlakem). [22]

Blokové schéma metody je znázorněno na obrázku 4.9. Na hrudní a břišní tlakové pásy jsou napojeny tlakové senzory. Každý tlakový pás má vlastní tlakový senzor,



Obr. 4.8: Respirační pás, převzato z [22]

a to z toho důvodu, aby bylo možné detekovat právě hrudní a břišní dýchání. Senzory poté vedou do akviziční karty. Akviziční karta představuje autonomní měřicí zařízení, které spolupracuje se všemi připojenými senzory. Akviziční kartu je poté možné připojit k PC pomocí kabelu a naměřená data prostřednictvím USB portu zkopírovat do počítače.



Obr. 4.9: Blokové schéma metody sledování dechu pomocí tlakových snímačů

4.3.1 Zpracování signálů z měření

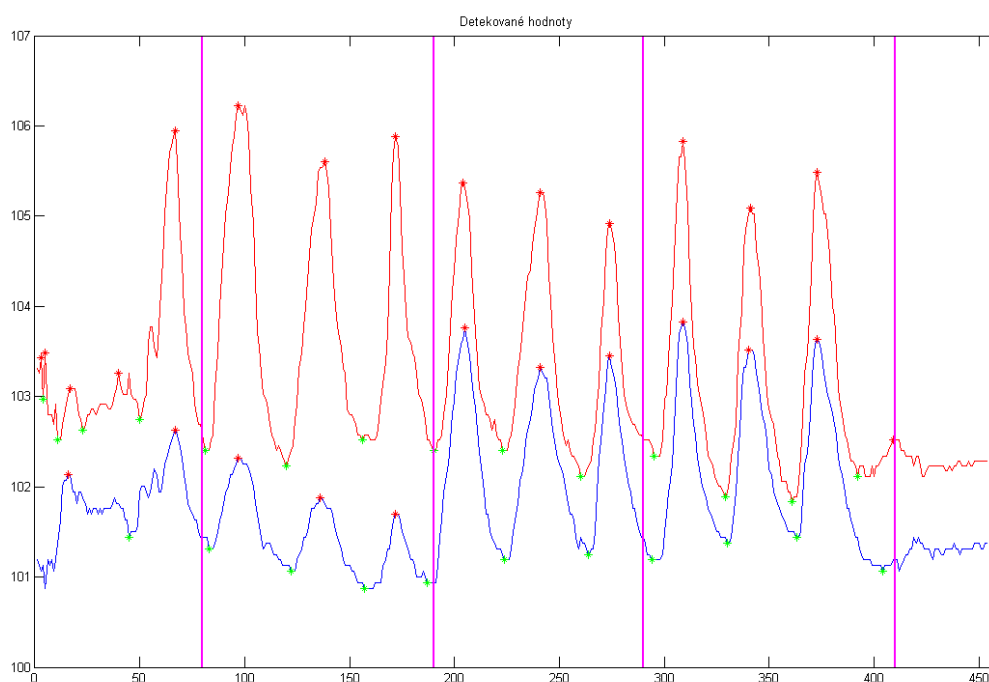
Data z měření jsou ukládána do vektorové podoby, jak ukazuje ukázka na obrázku 4.10. Kde $P1$ představuje břišní dýchání a $P2$ dýchání hrudní. Po vykreslení těchto křivek do grafu, je vidět průběh dýchání během měření, kde na ose y je zobrazen tlak v manžetách a na ose x počet vzorků.

```
P1 = [103.31580 103.25841 103.43059 102.97144 103.48798 102.80284 102.80285...];
```

```
P2 = [101.18871 101.12559 101.06641 101.12559 100.87704 101.18871 101.12559...];
```

Obr. 4.10: Uložení dat z měření

Po vykreslení křivek, opět na obou křivkách nalezneme lokální extrémů pomocí funkce *minmax*, která je popsána v podkapitole 4.2.1. Signál rozdělíme na úseky z protokolu měření pro lepší vizuální hodnocení. Tyto úkony můžeme vidět na obrázku 4.11.

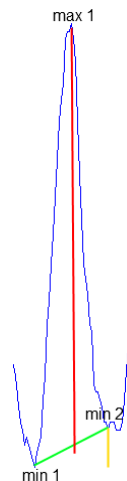


Obr. 4.11: Zpracování: detekované hodnoty

Pro hodnocení signálů pomocí této metody, využijeme té skutečnosti, že píky dýchání jsou úzké a dvě sousední minima leží přibližně ve stejných hodnotách vůči ose *y*. Z těchto důvodů budeme hodnotit píky podle velikosti obsahu trojúhelníku. Výpočet pro obsah trojúhelníku je:

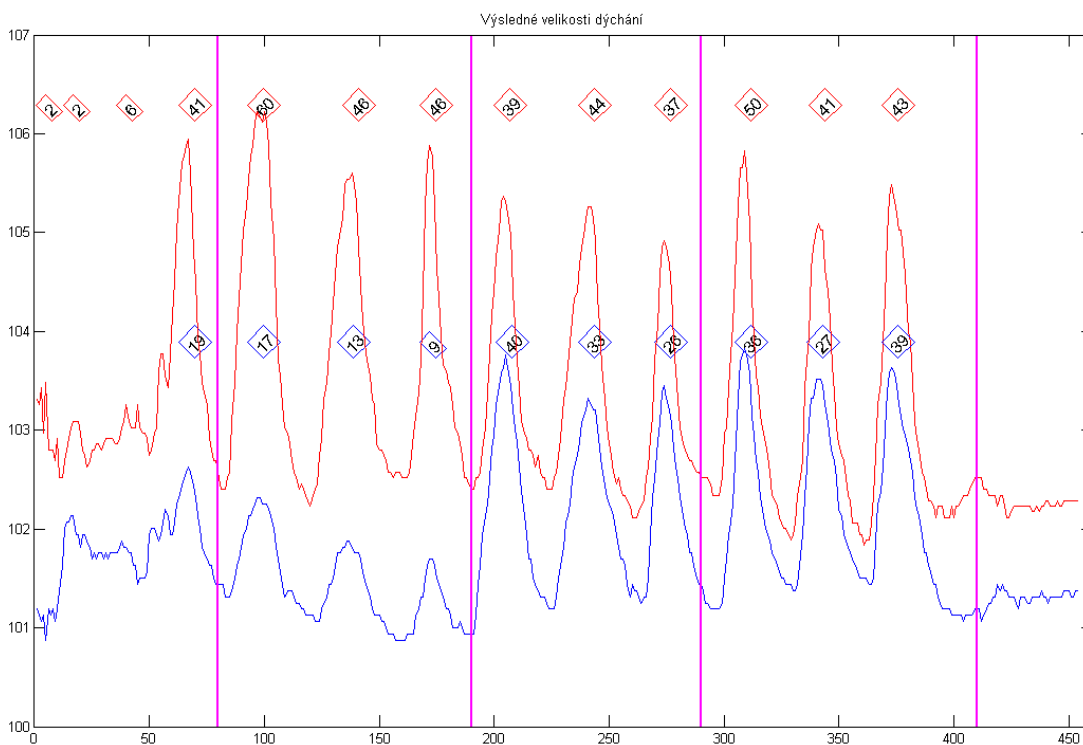
$$S = \frac{|v_{max1}| \cdot |min1min2|}{2} \quad (4.2)$$

Na obrázku 4.12 vidíme příklad jednoho detekovaného píku. Nejprve uděláme průměr z *min1* a *min2* vůči ose *y*. Tato operace je znázorněna žlutě. Teď již můžeme vypočítat výšku tohoto píku (červená barva): z *max1* do právě vypočítaného



Obr. 4.12: Výpočet obsahu píků

průměru. Vzdálenost $min1$ a $min2$ vůči ose x je znázorněna zeleně. Výpočet obsahu tohoto píku provedeme podle již zmíněného vzorce pro obsah trojúhelníku.



Obr. 4.13: Výsledné velikosti píků

Po vypočtení všech píku obou křivek (břišní a hrudní dýchání), převedeme dané obsahy píku na procenta. Poté výsledná procenta zobrazíme vždy nad daný pík

Tab. 4.4: Hodnoty z měření pomocí pásů

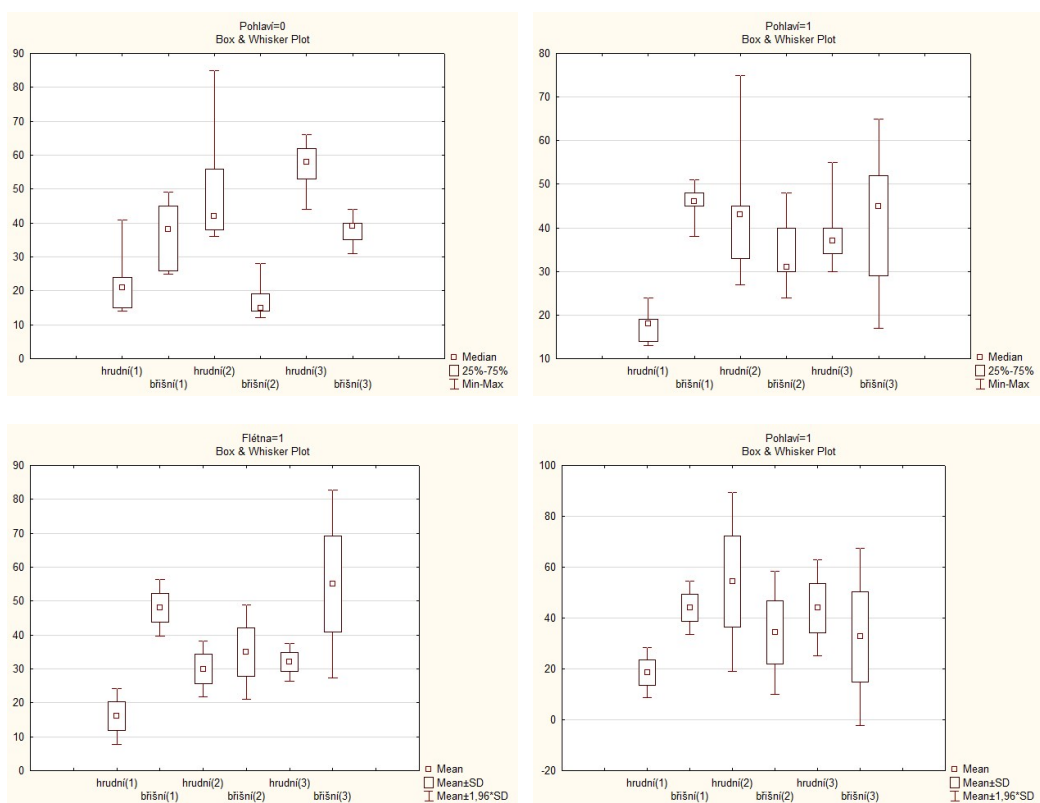
Pacient	Hrudní(1)	Břišní(1)	Hrudní(2)	Břišní(2)	Hrudní(3)	Břišní(3)
1	14	38	43	48	37	52
2	24	46	75	24	55	17
3	13	51	33	40	34	45
4	24	25	38	15	62	31
5	14	26	42	12	58	39
6	41	49	85	19	66	44
7	21	45	36	14	53	35
8	15	38	56	28	44	40
9	18	48	45	31	40	29
10	19	45	27	30	30	65

(obr. 4.13). Někdy jsou minima či maxima detekované hůře, například dva skoky, které okem pozorovatele bychom nezařadili jako dvě minima ale pouze jako jedno, je funkcí *minmax* vyhodnoceno jako dvě minima. Poté je samozřejmě obsah a následné procento daného píků malé. Proto byl protokol měření navržen tak, aby bylo více měření v oblastech. Z daných procent můžeme poté vyhodnotit, zda pacient využívá více hrudní nebo břišní dýchání.

4.3.2 Statistické zpracování výsledků

V této podkapitole je statistické zpracování výsledků z měření pomocí tlakových pásů. V tabulce 4.4 jsou přiděleny ke každému pacientovi jeho průměrné procentuální hodnoty z každé oblasti. Kde 1 v závorce znamená oblast, kde se pacient nadechoval do břicha, 2 do hrudníku, 3 nádechy do obou oblastí. Na ose y jsou zobrazeny procenta. Z protokolu měření vyplývá, že v každé oblasti se pacient nadechuje 3x. Z těchto tří hodnot uděláme průměr, se kterým budeme dále pracovat. Pokud funkce *minmax* špatně detekovala lokální extrém, poté děláme průměr ze dvou nikoliv ze tří hodnot.

Porovnání dýchání vůči pohlaví je znázorněno na obrázku 4.14a-b (nebo v příloze A.5). Víme, že ženy více využívají hrudní dýchání naopak muži dýchání břišní. Z prvních dvou grafů toto tvrzení nemůžeme potvrdit. Ale když srovnáme ženy, které hrají na flétnu a ženy, které nehrají na flétnu je vidět, že ženy využívají hrudní



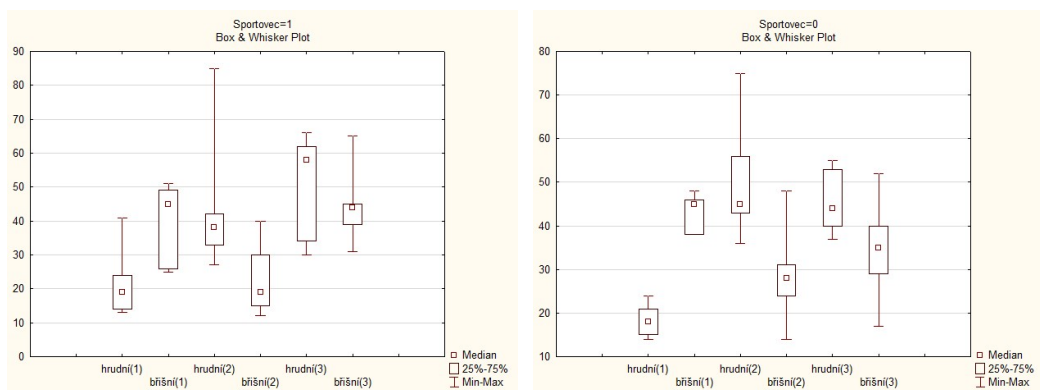
Obr. 4.14: Statistické výsledky- pohlaví: a) muži, b) ženy, c) ženy, hrající na flétnu, d) ženy bez žen, které hrají na flétnu

dýchání, naopak dvě ženy, které hrají na flétnu, využívají dýchání břišní 4.14c-d. 3 z 5 mužů sportují, bohužel nevíme, o který sport se jedná, pokud se muži věnují plavání, poté jsou výsledky správné.

Srovnání kuřák vs. nekuřák u metody s pásy je zobrazeno v příloze na obrázku A.3. I když se měření zúčastnili pouze dva kuřáci, hodnoty jsou u nich ve všech oblastech nižší než u osob, které nekouří.

Srovnání sportovců a nesportovců je znázorněno na obrázcích 4.15 a A.6. V kategorii *sportovci* jsou 2 ženy a 3 muži. Když se zaměříme na poslední oblast měření (nádechy do břicha i hrudníku) je z grafů zřejmé, že sportovci mají výrazně větší nádechy. U hrudního dýchání přibližně o 15 procent, u břišního dýchání je rozdíl 10 procent. V předchozích dvou oblastech měření jsou přibližně stejné výsledky. Ty mohou být ovlivněny druhem sportu, trénovaností, pravidelností.

V příloze (A.4) je porovnání těch, kteří hrají na flétnu a těch, kteří na flétnu nehrají. Ve všech oblastech jsou výrazně větší nádechy břišního dýchání u lidí, kteří



Obr. 4.15: Statistické výsledky- sportovci: a) sportovci, b) nesportovci

hrají na flétnu. Naopak hrudní dýchání u těchto osob výrazně nižší, i když se jedná o ženy.

4.4 Snímání a zobrazování signálu v LabView

Prostředí LABVIEW bylo použito k vytvoření aplikace pro měření dechu pomocí tlakových pásů. Jelikož se jedná o měření relativní, proto byla přidána spirometrie, aby měření bylo absolutní a daly se výsledky vhodně porovnat. Pásky a tlakové senzory jsou stejné jako u předchozí metody s pásky. Akviziční karta (4.16a) a spirometr (4.16b) byly použity od firmy Vernier. Spirometr se skládá z oddělitelné měřící hlavy (snadné čištění a sterilizace) a převodníku diferenciálního tlaku. Ke spirometru se dále přidává bakteriální filtr, náustek a kolíček na nos [22].

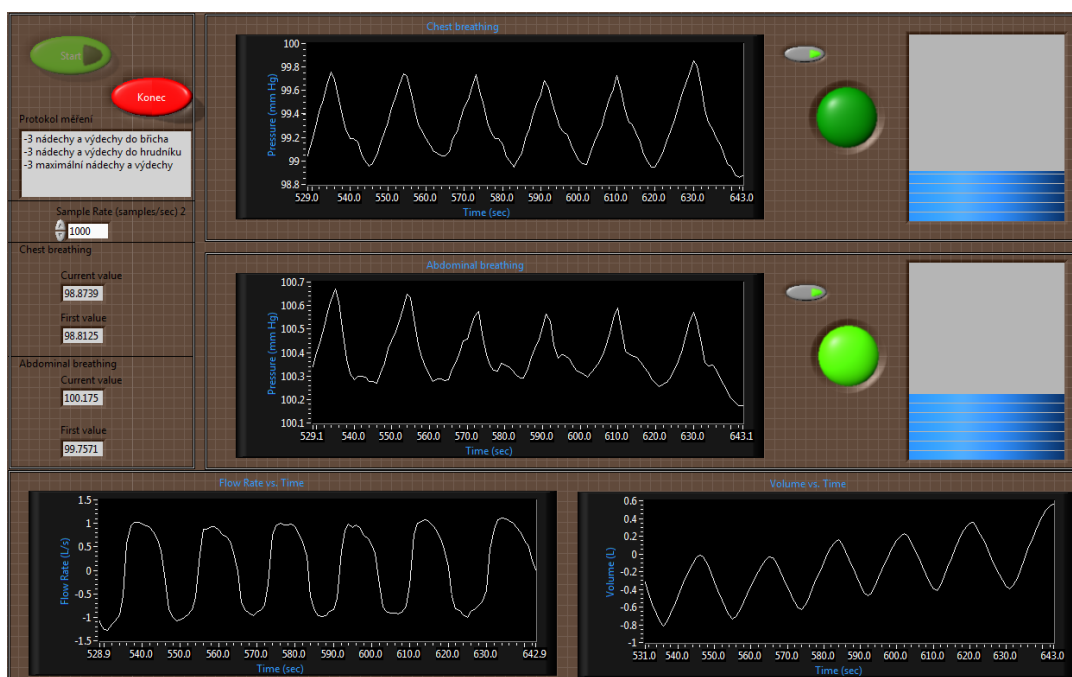


Obr. 4.16: Pomůcky k měření v Labview: a) senzor DAQ, b) spirometr a jeho součásti

4.4.1 Spouštění programu

Před měřením na přední stranu spirometru (nápis INLET) nasadíme bakteriální filtr (opět nápisem k sobě) a na něj náústek, kolíček na nos a také nasadíme oba pásy na pacienta. Oba pásy a spirometr zapojíme do akviziční karty a to následně:

- kanál CH1: pás na hrudní dýchání
- kanál CH2: pás na břišní dýchání
- kanál CH3: spirometr

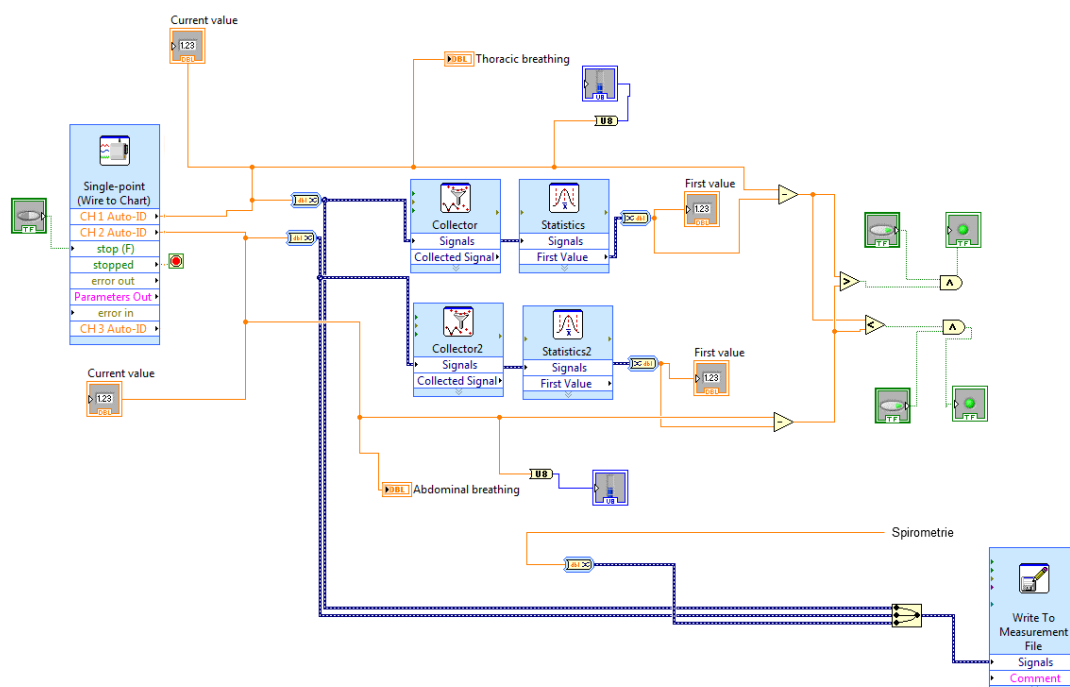


Obr. 4.17: Čelní panel programu v Labview

Na obrázku 4.17 je zobrazen čelní panel programu. Bílou šipkou na liště se aktivuje program, objeví se protokol měření, uživatel si může zapnout kontrolky pro hrudní a břišní dýchání. Vlastní měření se spustí tlačítkem *START*, následně si uživatel zvolí, kam bude dané signály ukládat. Zobrazí se také první naměřená hodnota, proto by se měl pacient při spuštění programu nadechnout, a jak vydechne, měl by se program spustit – první hodnota by měla být co nejnižší. Signály se ukládají do textového řetězce, který můžeme otevřít v programu Matlab pro další zpracování signálu. Po spuštění programu pacient dýchá podle protokolu měření (4.1). Kontrolky a „válečky“ pomáhají pacientovi či uživateli programu vizuálně srovnat hrudní a břišní dýchání. Aktuální hodnoty z pásů se poté zobrazují v levé části programu.

Na čelním panelu jsou vidět 4 grafy, na prvním je zobrazen signál z hrudního dýchání (chest breathing), na druhém z břišního dýchání (abdominal breathing). Grafy, které jsou umístěny vedle sebe, odpovídají signálu ze spirometru. Spirometr může měřit průtok vzduchu (Flow Rate, graf vlevo), nebo objem vzduchu v plicích (Lung Volume, graf vpravo). Pokud se křivky ze spirometru (volume vs. time) nevrátí na konci měření k nule (stejný objem jako na začátku), důvodem je vlhkost, kterou pacient během experimentu do spirometru nadýchal. Po provedení měření se program vypne pomocí tlačítka *STOP*, jinak bude měření samo ukončeno po 60 sekundách (čas si kdykoliv uživatel může změnit).

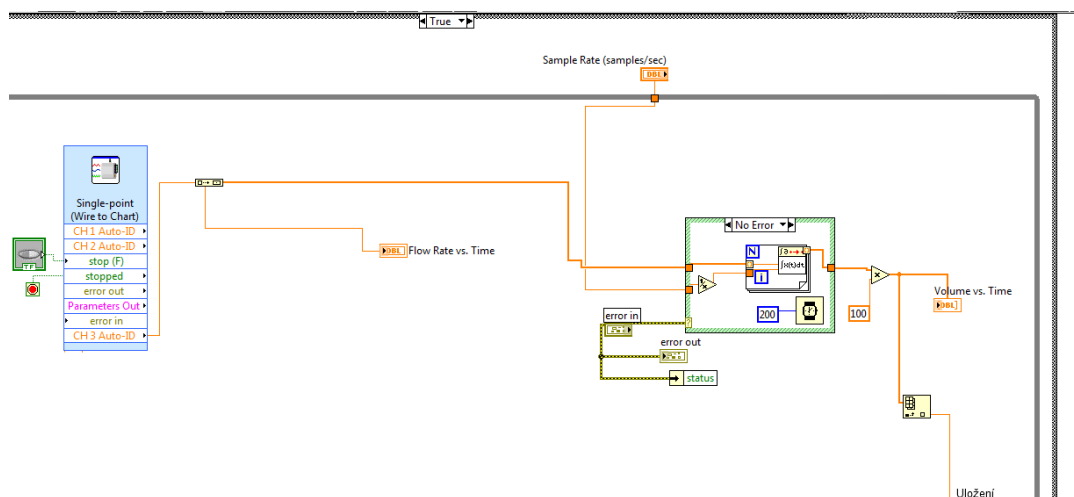
4.4.2 Popis programu



Obr. 4.18: Hrudní a břišní dýchání, ukládání v Labview

Na obrázku 4.18 je vidět, že pro načítání všech signálů je použit *Analog express*, který byl stažen od firmy Vernier (potřeba je i instalace příloženého CD k akvizici kartě). Po aktualizaci se otevrou vlastnosti, kde bude zobrazeno, že jsou připojeny 3 kanály. V záložce *Set Timing* se nastavuje délka měření (60 s) či počet vzorků za sekundu. Načtené signály (hrudního a břišního dýchání) jsou hned zobrazeny do grafů, aby bylo během měření vidět, které dýchání pacient využívá, byly vytvořeny tzv. válečky a kontrolky pro lepší vizuální hodnocení. Ve funkci *Statistics* si zvolíme první hodnotu (First Value). Jelikož je *Analog express* nastaven tak, že vrací jeden

vzorek za iteraci, použije se funkce *Collector* pro sběr vzorků k další analýze. Po zjištění první hodnoty u obou signálů ji odečteme od aktuální hodnoty. Porovnáme, který signál je v danou chvíli větší a rozsvítí se daná kontrolka.



Obr. 4.19: Spirometrie v Labview

Vlastní uložení do textového souboru *lvm* je realizováno funkcí *Write To Measurement File*. Při spuštění měření si uživatel zvolí, kam chce dané soubory ukládat. Po otevření funkce *Write To Measurement File* si uživatel může přednastavit místo ukládání souboru. Po dokončení měření, si tento uložený textový řetězec otevřeme v Matlabu pro další zpracování. Signál, kde je zobrazen průtok vzduchu ze spirometru se neukládá. Všechny 3 signály spojíme do jednoho pomocí funkce *Merge Signals Function*, v Matlabu pak bude v jednom sloupci obsažen jeden signál a to:

- 1 sloupec: hrudní dýchání
- 2 sloupec: břišní dýchání
- 3 sloupec: spirometr – objem plic na čase

Na obrázku 4.19 je zobrazena realizace spirometrie. Spirometrie měří množství procházejícího vzduchu a dokáže rozlišit i směr – rozliší nádech od výdechu. Graf průtoku vzduchu (Flow Rate vs. time) je zobrazen hned po načtení signálu. Pro zobrazení spirometrické křivky (Volume vs. time), je nutno provést integraci signálu. Kde vstupní data pro integraci tvoří naměřená data (Y), vzorkovací frekvence (dt) je zadaná v sekundách a je nastavena na 1000. Po integraci vynásobíme výsledek 100, abychom měli objem v litrech [22]. Celá realizace je ve smyčce *while*, ta je zodpovědná za kontinuální běh programu. To znamená, že program poběží, dokud

Tab. 4.5: Hodnoty z měření pomocí pásů + spirometrie

Pacient	Spirometrie			břišní (1)	hrudní (1)	břišní (2)	hrudní (2)	břišní (3)	hrudní (3)
	1	2	3						
26	0.6896	0.6605	1.4467	36	6	14	22	33	64
27	0.387	0.3902	0.5985	67	16	20	29	76	59
28	0.5739	0.4986	0.6215	55	22	4	42	26	25
29	0.7016	0.7854	0.70841	75	10	9	36	30	31
5	0.9506	1.5531	1.7749	21	19	31	61	35	56
4	1.0163	0.8901	0.9675	50	32	29	39	42	46
30	1.0085	0.9896	1.1492	59	27	22	36	43	38
31	0.7572	0.674	0.7038	47	31	20	38	35	38
32	0.3326	0.5719	1.6472	83	10	8	42	45	43
33	0.5941	0.5487	0.9542	33	14	14	19	53	34
34	0.8524	1.0162	0.942	61	8	21	26	29	21
35	0.4585	0.4584	0.4095	72	21	11	30	26	20

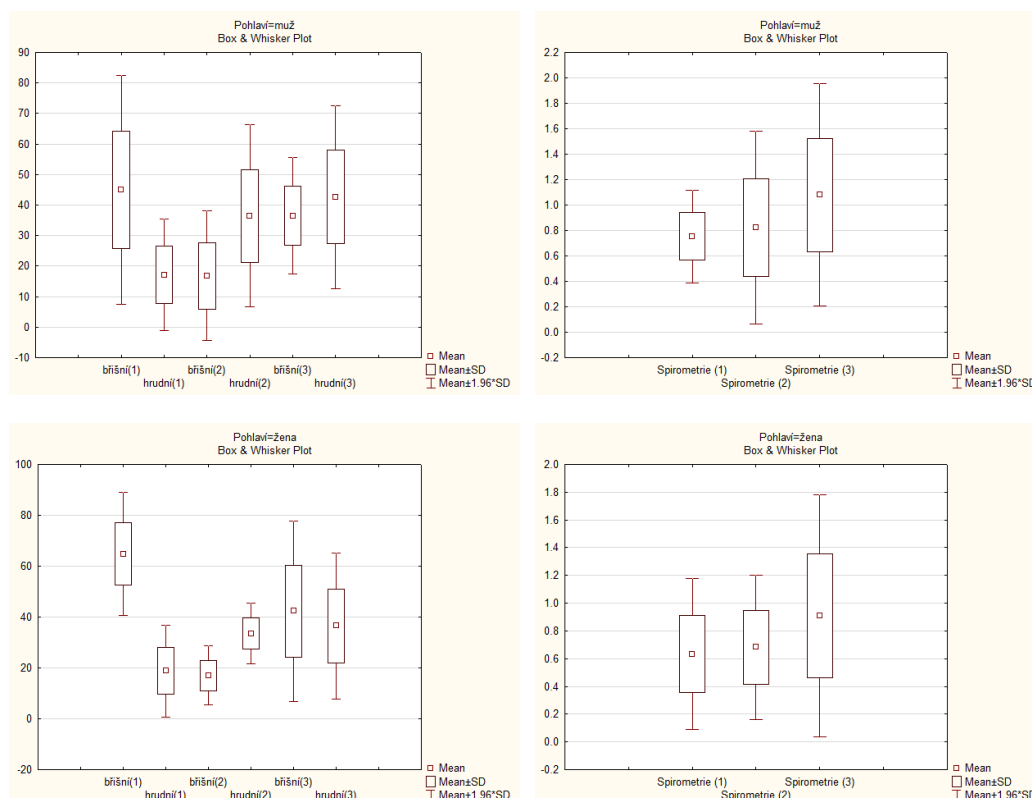
není splněna ukončující podmínka – stisknutí tlačítka *stop*. Další doplnění blokového diagramu tvoří *Case Structure*, která se přepíná na základě stisknutí tlačítka *Start* do pozice *True*. Celý program je zobrazen v A.13 v příloze.

4.4.3 Statistické zpracování výsledků

V tabulce 4.5 jsou vypsány hodnoty z měření jednotlivých pacientů. V první části tabulky jsou zaznamenány průměrné hodnoty ze spirometru. V první oblasti (1) se pacienti nadechovali do břicha, ve druhé (2) do hrudníku a ve třetí (3) do obou oblastí. Vždy byly prováděny 3 nádechy a výdechy v dané oblasti, ze kterých poté byly udělány průměry a zaznamenány do tabulky. V druhé části jsou zaznamenány hodnoty z hrudního a břišního pásu v jednotlivých oblastech. Při porovnávání výsledků z pásů a ze spirometrie, sečteme břišní a hrudní dýchání v dané oblasti.

Pomocí tohoto měření budeme porovnávat pohlaví, sportovce a kuřáky. Výsledky z pásů budeme porovnávat s hodnotami naměřené spirometrií. Údaje o pacientech,

kteří se měření zúčastnili, jsou uvedeny v tabulce 4.2. Na grafech 4.20a-d (A.16, A.17) jsou výsledky z měření porovnávající pohlaví. Grafy ze spirometrie potvrdily předpoklady, že muži mají větší klidový dechový objem (V_T). Vyšší V_T mají muži ve všech oblastech měření. Pásky výsledky ze spirometrie potvrdily ve dvou oblastech (2 a 3 oblast). V první oblasti mají větší výsledky ženy. Při odebrání dvou kuřáků (2 muži), mají zbývající muži již v první oblasti větší nádechy než ženy (A.22).

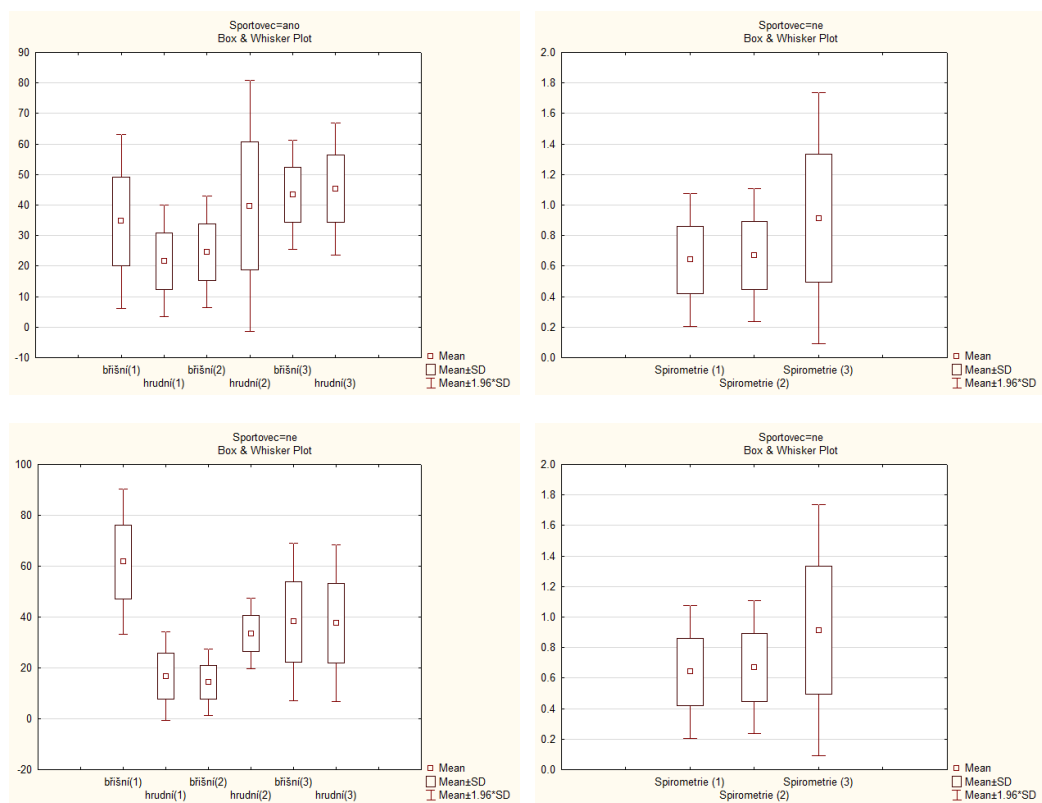


Obr. 4.20: Statistické výsledky- pohlaví: a) muži (pásky), b) muži (spirometrie), c) ženy (pásky), d) ženy (spirometrie)

Na grafech 4.21a-d (A.18, A.19) jsou zobrazeny výsledky porovnávající sportovce. V této kategorii se výsledky z pásek shodují se všemi výsledky ze spirometrie ve všech oblastech měření. V první oblasti jsou výsledky větší pro nesportující jedince, ve zbylých dvou oblastech pro sportovce. Ve třetí oblasti je výrazný rozdíl v mezi danými kategoriemi (4.21b, d). Při ventilaci, kdy pacient se měl více nadechnout, je kapacita plic vyšší u sportujících pacientů.

Poslední kategorie, která se v tomto měření porovnávala, jsou kuřáci (A.20, A.21). U této kategorie se výsledky z pásek a ze spirometrie shodly pouze v jedné oblasti (druhá oblast). Zajímavé je, že výsledky spirometrie udávají ve všech oblastech

vyšší čísla u kuřáků, naopak u pásů v první a třetí oblasti u nekuřáků, což potvrzuje předpoklady. U této kategorie musíme brát v potaz, že měření se zúčastnili pouze 2 kuřáci a to 2 muži, kteří se snaží kouření omezit (v tabulce ano/ne).



Obr. 4.21: Statistické výsledky- sportovci: a) sportovci (pásky), b) sportovci (spirometrie), c) nesportovci (pásky), d) nesportovci (spirometrie)

V kategorii *pohlaví* se výsledky z pásů a ze spirometrie shodují ve dvou ze třech oblastí, nejlepších výsledků se dosáhlo v kategorii *sportovci* a to 3/3. Naopak nejhorší výsledky byly dosaženy v kategorii *kuřáci* pouze 1/3. Celkově tedy bylo dosaženo 67%. V 67% se výsledky z pásů a výsledky ze spirometrie shodují.

Jako další hodnocení pro porovnání výsledků z pásů a ze spirometrie byly sečteny všechny detekované píky ze všech signálů - 98 píků. Procentuální výsledky hrudního a břišního dýchání byly sečteny v každém časovém úseku (maximálně 9 píků u jednoho pacienta). K tomuto součtu bylo odečteno a přičteno 5%. Následně se podle velikosti seřadily. Pokud se procenta překrývala u více píků, bylo u nich zapsáno, to pořadí v kterých se nacházejí (např. pík velikostně odpovídá velikosti na 4-6 místě). Signál ze spirometrie se také seřadil podle velikosti. Ty píky, které měly ve stejných oblastech stejné pořadí v obou křivkách, byly zapsány do tabulky A.1. Například

pacient 28, u něhož bylo detekováno 8 píků, z nich 6 píků mělo shodné pořadí u obou metod. Z celkově 98 detekovaných píků bylo vyhodnoceno jako shodných 68 píků. V 69% se výsledky z pásů a výsledky ze spirometrie shodují.

4.5 CAVI vyšetření

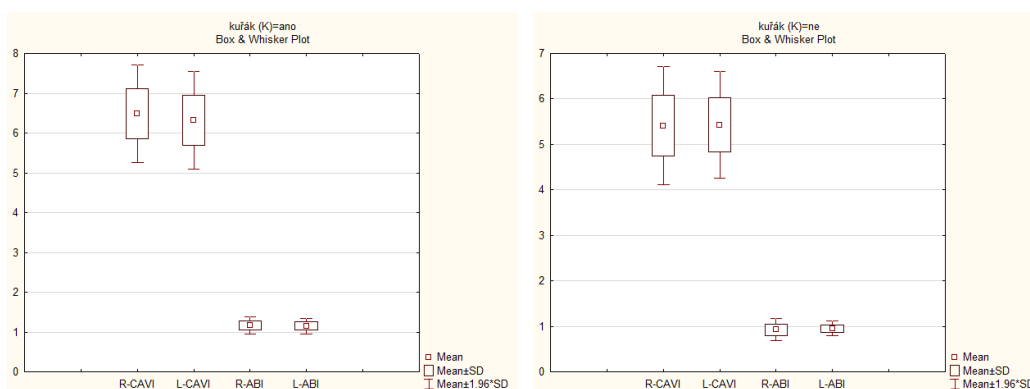
Hodnocení ventilace bylo doplněno o vyšetření metodou CAVI, která byla vyvinuta firmou Fukuda Denshi Co (přístroj VaSera 1500). Jedná se o stanovení parametru cévní poddajnosti, které probíhalo v nemocnici u sv. Anny v Brně na klinice tělovýchovného lékařství a rehabilitace. Měření bylo provedeno zdravotnickým personálem. CAVI je index vyjadřující tuhost tepen (stiffness), který se počítá na základě parametru tuhosti β . Tento parametr představuje lokální stupeň tuhosti krevních cév a je založen na změně průměru cévy, který koresponduje s variabilitou arteriálního tlaku a je nezávislý na krevním tlaku. Jak arteriosklerotický proces postupuje, hodnota cévní poddajnosti (CAVI) stoupá. CAVI vyšetřením zjistíme index tuhosti arterie a následně i odhadovaný věk artérie vůči věku kalendářnímu [6], [20]. Arterioskleróza je cévní onemocnění, při němž arterie stále více tuhnou a zužují se. Arterioskleróza vede k onemocněním jako mozková mrtvice nebo srdeční infarkt.

Výsledky vyšetření:

- $CAVI < 8.0$ – normální hodnota indexu
- $8.0 \leq CAVI < 9.0$ – hraniční hodnota
- $9.0 \leq CAVI$ – podezření na arteriosklerotický proces

ABI index (ankle – brachial index) neboli index kotník–paže je podíl hodnoty systolického tlaku změřeného na kotníku a vyššího systolického tlaku změřeného na paži. Fyziologicky je tlak naměřený v oblasti kotníku stejný nebo lehce vyšší než na paži (poměr obou hodnot větší než 0,9), a to z toho důvodu, že tepna na paži volně pokračuje do oblasti ruky, zatímco tepny v oblasti kotníku odráží již tlak distálně z oblasti chodidla. [6], [17]

Přístroj pracuje na principu měření pulsní vlny. Data jsou snímána ze 4 tlakových manžet z končetin, dvou EKG elektrod a mikrofону zaznamenávaného srdečního ozvy. Rychlost pulsní vlny se získá podílem délky cévy a doby potřebné k rozšíření pulsní vlny z aortální chlopně ke kotníku [20].



Obr. 4.22: Statistické výsledky (CAVI): a) kuřáci, b) nekuřáci

Měření mělo za úkol porovnat kuřáky a nekuřáky. Z tabulky 4.6 vyplývá, že se měření zúčastnilo 10 kuřáků (10 cigaret denně po dobu minimálně dvou let) a 10 nekuřáků, ve věkové kategorii 20-30 let. U každého pacienta jsou uvedeny hodnoty z vyšetření a to: R-CAVI, L-CAVI, R-ABI a L-ABI. U třech pacientů, vidíme index ABI menší než 0,9. U pacienta 1 se jednalo o levou část těla, naopak u pacienta 6 o pravou část těla. U pacientky 9 se jednalo o obě strany. Měření se muselo u těchto pacientů opakovat, jelikož ale měření bylo provedeno ihned po sobě, výsledky byly shodné s předchozími. Přístroj nedokázal pacientům vypočítat jejich věk – uvedeno v komentáři (Vascular age cannot be calculated).

Příklad protokolu z vyšetření je zobrazen v příloze (obr. A.14). Do systému se zadá rodné číslo pacienta (ID), jeho jméno a příjmení, pohlaví, věk, výška (cm) a váha (kg). Pod těmito údaji je shrnut výsledek CAVI vyšetření: R-CAVI- 6.1, L-CAVI- 6.0, R-ABI- 1.01 a L-ABI- 1.01. Všechny hodnoty jsou v normě a tomuto konkrétnímu pacientovi bylo odhadnuto stáří cév na věk v rozmezí 20-24 let. Poté jsou zaznamenány jednotlivé křivky z měření.

4.5.1 Statistické zpracování výsledků

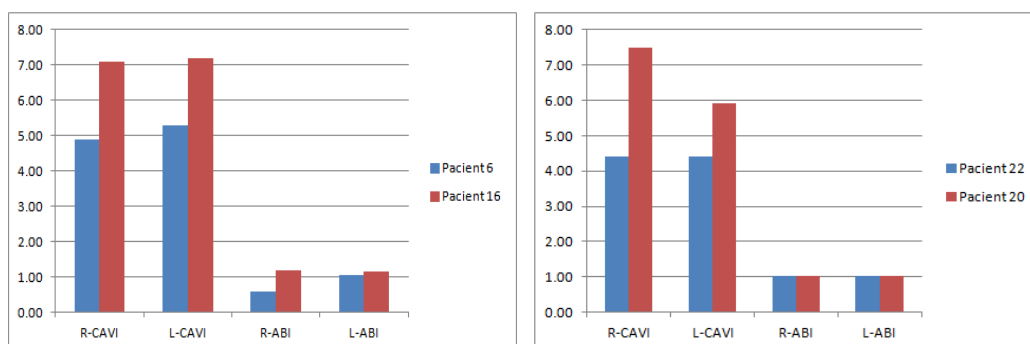
CAVI vyšetření bylo použito pro hodnocení kuřáků a nekuřáků. Na grafu 4.22 (A.15a) jsou zobrazeny výsledky kuřáků, na grafu 4.22b (A.15b) výsledky nekuřáků. ABI indexy jsou u obou kategorií nad 0.9, tudíž v normě. Je zde ale patrný rozdíl – nekuřáci mají průměr ABI 0.942, u kuřáků je ABI index větší a to 1.157. Průměrné R-CAVI u kuřáků je 6.49 a L-CAVI 6.32. U nekuřáků je R-CAVI nižší o 17% (5.41) a L-CAVI o 14% (5.43). Z výsledků je tedy patrné, že kouření zvyšuje CAVI index, ale musíme brát v potaz, že měření bylo prováděno na 20 pacientech. Zarážející je, že rozdíly mezi dvěma kategoriemi jsou vysoké (17% a 14%), přičemž

Tab. 4.6: Údaje o pacientech a hodnoty z CAVI

Pacient	Pohlaví	kuřák	věk	BMI	R-CAVI	L-CAVI	R-ABI	L-ABI
1	žena	ne	24	21.80	5.10	5.10	0.90	0.79
2	žena	ne	24	28.10	5.70	5.90	1.03	0.99
3	žena	ne	23	24.20	5.70	5.80	0.93	0.96
6	muž	ne	23	23.00	4.90	5.30	0.60	1.05
9	žena	ne	24	31.70	4.70	4.70	0.89	0.86
11	žena	ano	21	18.70	6.00	5.90	1.21	1.23
12	žena	ano	23	21.97	6.20	6.10	1.08	1.06
13	muž	ano	23	22.84	5.20	5.00	1.06	1.03
14	muž	ano	22	28.25	6.40	6.50	1.12	1.11
15	žena	ano	28	19.47	6.40	6.50	1.25	1.25
16	muž	ano	23	22.72	7.10	7.20	1.18	1.16
17	žena	ano	22	19.57	6.70	6.90	1.10	1.09
18	muž	ano	25	28.69	6.80	6.60	1.31	1.22
19	žena	ano	27	19.88	6.60	6.60	1.33	1.32
20	žena	ano	27	24.61	7.50	5.90	1.01	1.02
21	muž	ne	25	23.50	6.10	6.00	1.01	1.01
22	žena	ne	25	24.70	4.40	4.40	1.01	1.01
23	žena	ne	24	20.80	6.40	5.80	0.94	0.95
24	muž	ne	23	25.50	6.00	6.20	0.96	1.01
25	muž	ne	24	23.40	5.10	5.10	1.02	0.92

se jednalo o věkovou kategorii 20-30 let. Můžeme předpokládat, že u vyšších věkových kategorií by tento rozdíl byl ještě větší.

Pro lepší vizuální hodnocení byly vytvořeny grafy, kde jsou porovnány 2 muži (4.23a) a 2 ženy (4.23b), se stejnými BMI hodnotami, přičemž vždy jeden z dvojice je kuřák (červeně) a druhý nekuřák (modře). V obou případech je výrazně zvýšen CAVI index u kuřáků. U žen je ABI index shodný, u mužů je ABI vyšší u pacienta, který kouří.

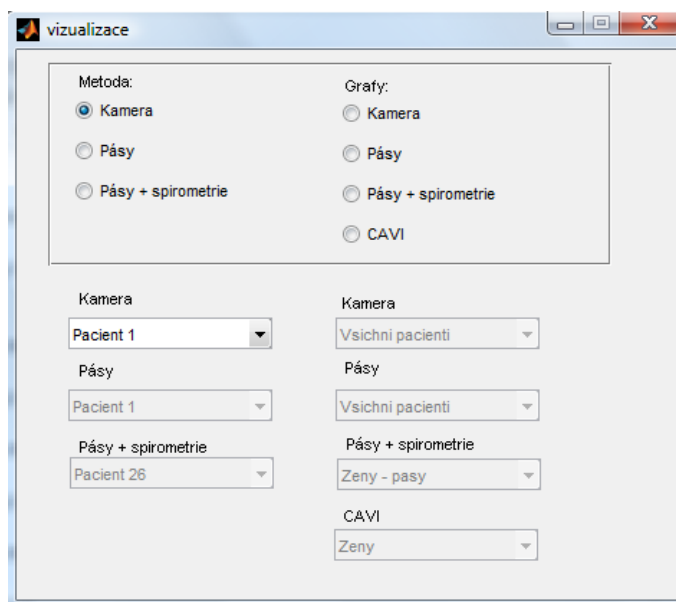


Obr. 4.23: Statistické výsledky (CAVI) - srovnání pacientů: a) muži, b) ženy

4.6 Simulátor

Pro lepší prohlížení výsledků, byl v GUI vytvořen simulátor. Na obrázku 4.24 je vidět čelní panel simulátoru. Uživatel si zvolí, zda si chce prohlížet zpracování signálu z měření nebo statistické grafy. A zvolí si metodu měření dechu. Vždy si může zvolit pouze jednu možnost. Poté si ve spodní části vybere konkrétního pacienta či konkrétní graf. Při zvolení zpracování signálu z měření se u každého pacienta zobrazí 3 grafy (A.1). Na prvním jsou vykreslena naměřená data, na druhém detekované lokální extrémy, signál je rozdělen na 3 oblasti z protokolu měření. Na třetím grafu jsou již výsledné hodnoty. V metodě využívající tlakové pásy rozšířené o spirometrii se nachází ještě jeden graf. Tento graf vykresluje signál ze spirometru - objem plic (A.2). Nad všemi grafy je uvedeno o kterého pacienta se jedná. Popis, který signál odpovídá k hrudnímu a který k břišnímu signálu je uveden pouze na výsledném grafu. Popisek k rozdělení grafu z protokolu měření a také jednotka z posledního grafu, je zobrazen ve spodní části. [26]

Program se spouští v Matlabu pomocí m-file *vizualizace.m*. Po zvolení konkrétního úkonu, program zavolá danou funkci, kterou vykoná. Do simulátoru lze kdykoliv přidat další naměřené signály či jejich statistické vyhodnocení ve formě grafu.

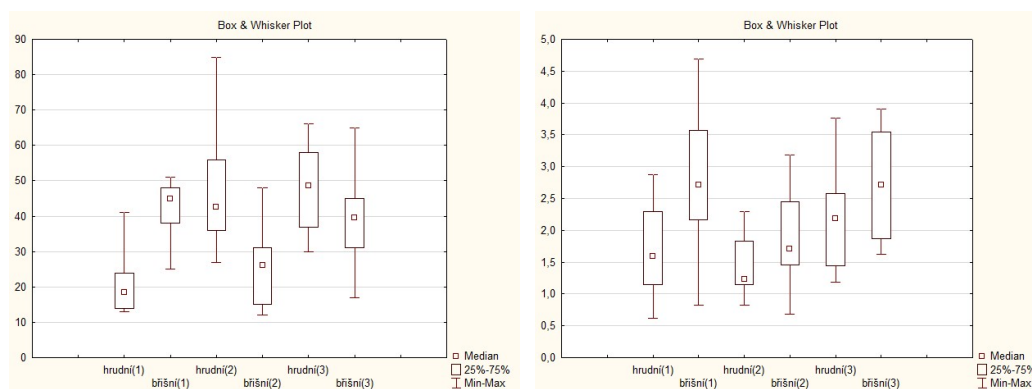


Obr. 4.24: Čelní panel vizualizace výsledků

5 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V této kapitole budou porovnány výsledky ze všech používaných metod. Nejprve budou porovnány výsledky z měření pomocí kamery a pásů. V první řadě, se musí zmínit, že se měření zúčastnilo 10 pacientů, tudíž výsledky nemohou být ve všech kategoriích splněny. Nejvíce se tento jev projevil u žen, 2 z nich hrají na dechový hudební nástroj a výsledky u obou metod se projeví tak, že ženy využívají břišní dýchání. Po odstranění již zmíněných žen, ženy využívají hrudní dýchání. Srovnání výsledků u mužů je rozdílné, u metody s kamerou se jednoznačně potvrdilo, že muži využívají dýchání břišní, naopak u pásů se nám tyto hypotézy potvrdit nepodařilo.

U hudebních dechových nástrojů, byly předpoklady, že dech směřuje do břicha z důvodu kontrolování práce s tónem. Tyto předpoklady se splnily v obou metodách. Břišní dýchání bylo ve všech třech oblastech měření větší.



Obr. 5.1: Statistické výsledky (pásy x kamera)-10 pacientů: a) metoda s pásy, b) metoda s kamerou

Při hodnocení sportovců jsou opět rozdílné výsledky. U metody s kamerou se předpoklady splnily – sportovci využívají břišní dýchání a také mají větší kapacitu plic než pacienti, kteří nesportují. U metody s pásy nemůžeme potvrdit, že by sportovci využívali břišní dýchání, ale je zde vidět opět větší kapacita plic. Musíme brát v potaz také to, že pacienti byli na měřeních hned po sobě (první kamera, druhý pásy), mohlo se tedy zdát, že již byli unaveni, nedokázali se tolik nadechnout. Ně kterým pacientům se může lépe dýchat vleže na zádech (metoda s kamerou) než vsedě (metoda s pásy).

V prvním měření se nacházeli pouze 2 kuřáci, ale i tak můžeme říci, že se výsledky potvrdily. U metody s pásy u kuřáků je vidět, že všechny nádechy jsou menší

než nádechy u nekuřáků. U metody s kamerou jsou výsledky ještě lépe viditelnější. Ve všech třech oblastech měření je výrazně více používané dýchání břišní. U kategorie *kuřáci* bylo doplněno vyšetření na průchodnost a stáří cév, kterého se zúčastnilo 20 pacientů v nemocnici u sv. Anny v Brně. CAVI index je u kuřáků výrazně vyšší, i když v normě. Hodnoty se lišily o 17% (pravá část těla) a 14% (levá část těla) a můžeme předpokládat, že s věkem se tento rozdíl bude zvyšovat. Kuřáci tedy mají větší pravděpodobnost pro onemocnění arteriosklerózou.

Pro porovnání výsledků kuřáků a nekuřáků z CAVI vyšetření byl použit t-test (obr. A.23). T-test byl vybrán, protože porovnáváme spojitá data s kategorickými [12]. Spojitá data mají normální rozložení. Nulová hypotéza byla stanovena jako: CAVI index u kuřáků a nekuřáků je stejný, neliší se. Po provedení t-testu pro R-CAVI byla dosažena hladina významnosti (p) 0.001. Pro L-CAVI 0,0043. Obě hodnoty jsou nižší než 0,05 \Rightarrow zamítáme nulovou hypotézu, rozdíl mezi proměnnými existuje. Z výsledků t-testu je zřejmé, že rozdíly mezi kuřáky a nekuřáky u CAVI vyšetření jsou statisticky významné.

Pokud porovnáme všech 10 pacientů (5.1 a A.11), kteří se měření zúčastnili, tak se opět výsledky neshodují. U kamery se ve všech oblastech pacienti nadechují více do oblasti břicha, naopak u metody s pásy do břicha pouze v první měřicí části, jinak převládá hrudník.

Metoda využívající tlakové pásy rozšířena o spirometrii právě tyto dvě metody porovnává. Měření se zúčastnilo 12 pacientů. Metody byly shodné v 67%. Další hodnocení bylo v počtu velikostně shodných píků, toto porovnávání dosáhlo úspěšnost 69%. Pro statistické porovnání spirometrie a tlakových pásů v jednotlivých oblastech měření byl použit Spearmanův test, protože obě porovnávané skupiny mají spojitá data a nemají normální rozložení [12]. V pásech jsou sečteny vždy hodnoty z břišního a hrudního pásu v dané oblasti. Z přechozích výsledků je zřejmé, že ve druhé oblasti měření byly obě metody shodné ve všech kategoriích. Spearmanův test (obr. A.24) v této oblasti vyhodnotil nejlépe koeficient korelace a to 0,56 (střední závislost). V třetí oblasti měření je koeficient korelace 0,51 (střední závislost). Nízká závislost byla vyhodnocena mezi hodnotami v první oblasti měření (-0,33). V případě kladné korelace hodnoty obou proměnných zároveň stoupají, naopak v případě záporné korelace hodnota jedné proměnné stoupá a druhá klesá. Pro lepší dosažení závislosti mezi spirometrií a tlakovými pásy by bylo vhodné upravit křivku objem/čas tak, aby se vracela k nule jako na začátku měření. Opět musíme brát v úvahu, že měření bylo prováděno pouze na 12 pacientech.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na metody, které dokáží sledovat a rozlišit dýchání hrudní a břišní. V teoretické části je nejprve popsána fyziologie dýchání, následně základní vyšetřovací metoda - spirometrie, ze které dostáváme plicní objemy a kapacity. Nevýhodou této základní metody je použití náústku, masky apod. Z tohoto důvodu se vyvíjejí další metody pro vyšetření ventilace, z nichž některé jsou popsány v této práci. Tyto metody jsou zcela nekontaktní anebo pracují bez použití již zmíněných problémových náústků. Pomocí těchto metod můžeme dostat některé plicní objemy nebo pouze posun hrudníku či břicha v cm.

Na UBMI a UAMT byly vyvinuty dvě metody pro sledování dechu pomocí tlakových snímačů a pomocí optických snímačů. První zmíněná metoda využívá měření pomocí tlakových snímačů, které jsou umístěny na pacientovi v oblasti hrudníku a břicha. Toto měření je relativní a bude využíváno zejména pro nácvik správného dýchání a sledování momentálního průběhu terapie. Následně byla tato metoda rozšířena o spirometrii. Výsledky z těchto dvou metod byly vzájemně porovnány a vyhodnoceny. Druhá zmíněná metoda je zcela nekontaktní a udává přesný posun změny vzdálenosti hrudníku či břicha od snímače v cm. Jedná se o měření absolutní a je vhodné pro sledování dlouhodobých změn během rehabilitace pacientů. Senzor v této metodě oproti většině ostatních optických snímačů pro měření vzdálenosti, založených na principu TOF, využívá technologii PMD. Metoda umožňuje, díky maticovému uspořádání detektorů, měřit celou scénu najednou. To je výhodou především pro měření rychlých dynamických scén.

Následně byl navrhnout měřicí protokol pro kontinuální sledování dechu během terapie. Měření u všech metod probíhalo shodně podle navrženého protokolu měření. Naměřená data byla zpracována v programovém prostředí Matlab. Výsledky měření byly statisticky vyhodnoceny a vzájemně porovnány. Ve spolupráci s nemocnicí u sv. Anny v Brně byla kategorie kuřáci doplněna o CAVI vyšetření na klinice tělovýchovného lékařství a rehabilitace. Celkově se na diplomové práci podílelo 35 dobrovolníků ve věkové kategorii 20-30 let.

LITERATURA

- [1] Mesa Imaging. [online], Navštíveno 19.11.2012.
URL <http://www.mesa-imaging.ch/>
- [2] BioMo-mall: Respiratory inductive plethysmograph (RIP). [online], Navštíveno 28.10.2012.
URL <http://www.imt.liu.se/bit/staff/tomst/rip.html>
- [3] BTS: [online], Navštíveno 07.11.2012.
URL <http://www.optoelectronic-plethysmography.com/company.html>
- [4] Buzková, K.: *Fitness jóga*. první vydání, Praha: Grada Publisher, 2006, ISBN 80-247-1525-2, 168 s.
- [5] Calverley, P. M. A.; Koulouris, N. G.: Flow limitation and dynamic hyperinflation: key concepts in modern respiratory physiology. *The European respiratory journal official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology*, ročník 25, č. 1, 2005: s. 186–199.
URL http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=pubmed&cmd=Retrieve&dopt=AbstractPlus&list_uids=15640341
- [6] DOBŠÁK, P.; SOSÍKOVÁ, M.; DUŠEK, L.; aj.: Arterial stiffness in Czech population measured by VASERA 1500. 2010, s. 84–91.
URL http://is.muni.cz/do/1411/scripta_medica/archive/2010/2/scripta_medica_2_2010.pdf
- [7] Fišerová, J.; Chlumský, J.; Satinská, J.; aj.: *Fukční vyšetření plic*. GEUM, 2004, ISBN 80-86256-38-3, 128 s.
- [8] Filatriau, J.-J.; Dubuisson, T.; Reboursière, L.; aj.: Breathing for Opera. In *QPSR of the numediart research program*, ročník 1, editace T. Dutoit; B. Macq, numediart Research Program on Digital Art Technologies, Červen 2008, s. 53–65.
URL http://www.numediart.org/docs/numediart_2008_s02_p2%_report.pdf
- [9] Hanzlová, J.; Hemza, J.: *Základy anatomie soustavy dýchací, srdečně cévní, lymfatického systému, kůže a jejich derivátů III*. 1 vydání, Brno: Masarykova univerzita, 2007, ISBN 978-80-210-4360-2, 122 s.
- [10] Honzíková, N.; Honzík, P.: *Biologie člověka*. Brno: FEKT VUT, 2003, 136 s.

- [11] Jahne, B.; Haußecker, H.; Geißler, P.: *Handbook of computer vision and applications*, ročník 3. Academic Press, 1999, 657 s.
URL <http://www.amazon.com/Handbook-Computer-Vision-Applications-Three/dp/0123797705>
- [12] Jarkovský, J.: Biostatistika. Výukový materiál předmětu Biostatistika (ASTA), a.r. 2009/2010.
- [13] Kittnar, O.: *Lékařská fyziologie*. první vydání, GRADA, 2011, ISBN 978-80-247-3068-4, 800 s.
- [14] Kittnar, O.; Mlček, M.: *Atlas fyziologických regulací*. první vydání, GRADA, 2009, ISBN 978-80-247-2722-6, 320 s.
- [15] Nejedlá, M.: Snímání skenování. [online], Navštíveno 28.10.2012.
URL http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Kso/soubory_plan_prednasek/prednasky/Princip%20scanu%20a%20mereni%20povrchu%20lidskeho%20tela%20s%20vyuzitim%20systemu%20MaNescan.pdf
- [16] Šponar, D.: Základy práce s dechem. [online], Navštíveno 27.10.2012.
URL www.cvicime.cz/pdf/prace_s_dechem.pdf
- [17] Rabkin, S. W.; Chan, S. H.; Sweeney, C.: Ankle-brachial index as an indicator of arterial stiffness in patients without peripheral artery disease. *Angiology*, ročník 63, č. 2, 2012: s. 150–154.
URL <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&CSC=Y&NEWS=N&PAGE=fulltext&D=med1&AN=21676966>
- [18] Ringbeck, T.; Systems, B. U.: A 3D TIME OF FLIGHT CAMERA FOR OBJECT DETECTION. *Measurement*, ročník 9, č. 2, 2007: s. 636–642.
URL http://ifm.hu/obj/01D_Paper-PMD.pdf
- [19] ROZMAN, J.: *Elektronické přístroje v lékařství*. Brno: Academia, 2006, ISBN 80-200-1308-3, 408 s.
- [20] Shirai, K.; Hiruta, N.; Song, M.; aj.: Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives. *Journal Of Atherosclerosis And Thrombosis*, ročník 18, č. 11, 2011: s. 924–38.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21628839>
- [21] Slavíková, J.; Šviglerová, J.: *Fyziologie dýchání*. první vydání, Karolinum, 2012, ISBN 978-80-246-2065-7, 92 s.

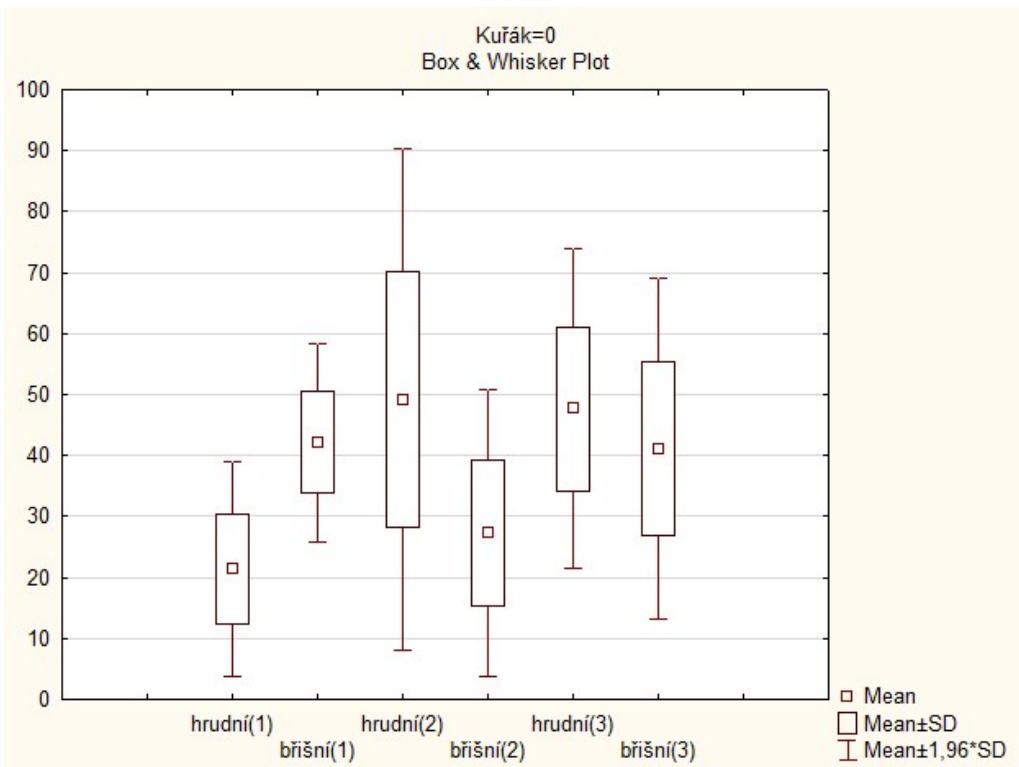
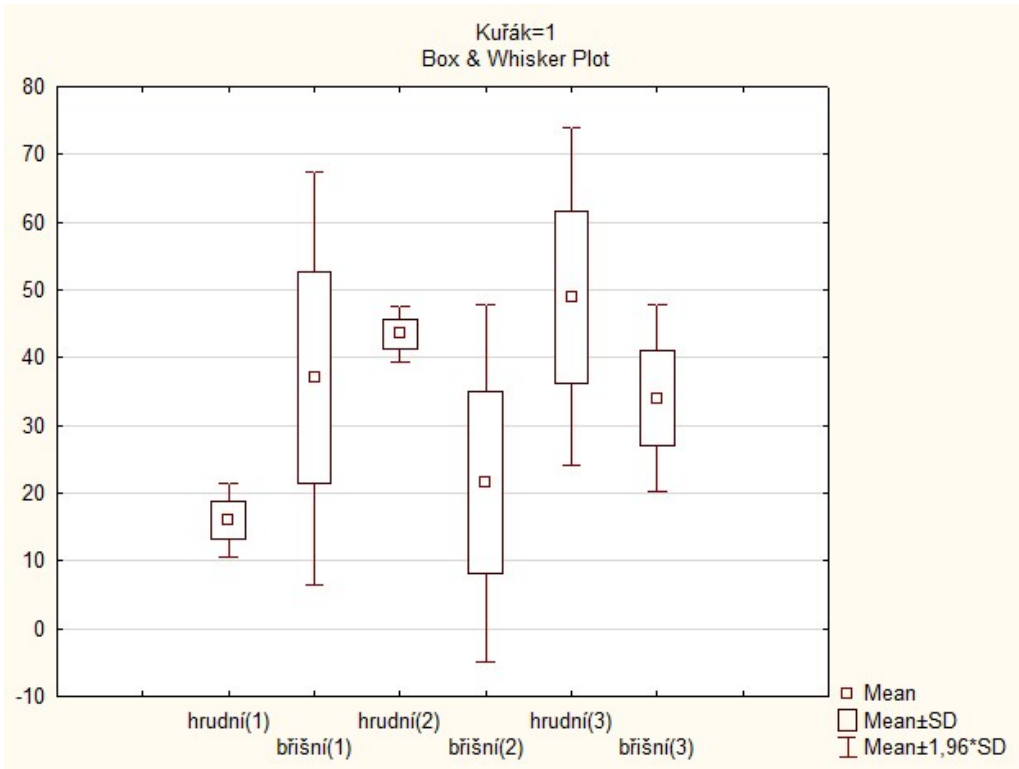
- [22] Vernier: [online], Navštíveno 04.11.2012.
URL <http://www.vernier.cz/uvod/rozcestnik>
- [23] Wareham, R. J.; Lasenby, J.; Bridge, P.; aj.: Structured light plethysmography (SLP) compared to spirometry: a pilot study. *European Respiratory Journal*, , č. 350, 2009.
- [24] Wikipedia: Structured light plethysmography. [online], Navštíveno 17.11.2012.
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Structured_light_plethysmography
- [25] Zaplatílek, K.; Doňar, B.: *Matlab začínáme se signály*. BEN, 2006, ISBN 80-7300-200-0, 272 s.
- [26] Zaplatílek, K.; Doňar, B.: *Matlab tvorba uživatelských aplikací*. BEN, 2008, ISBN 978-80-7300-133-9, 216 s.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

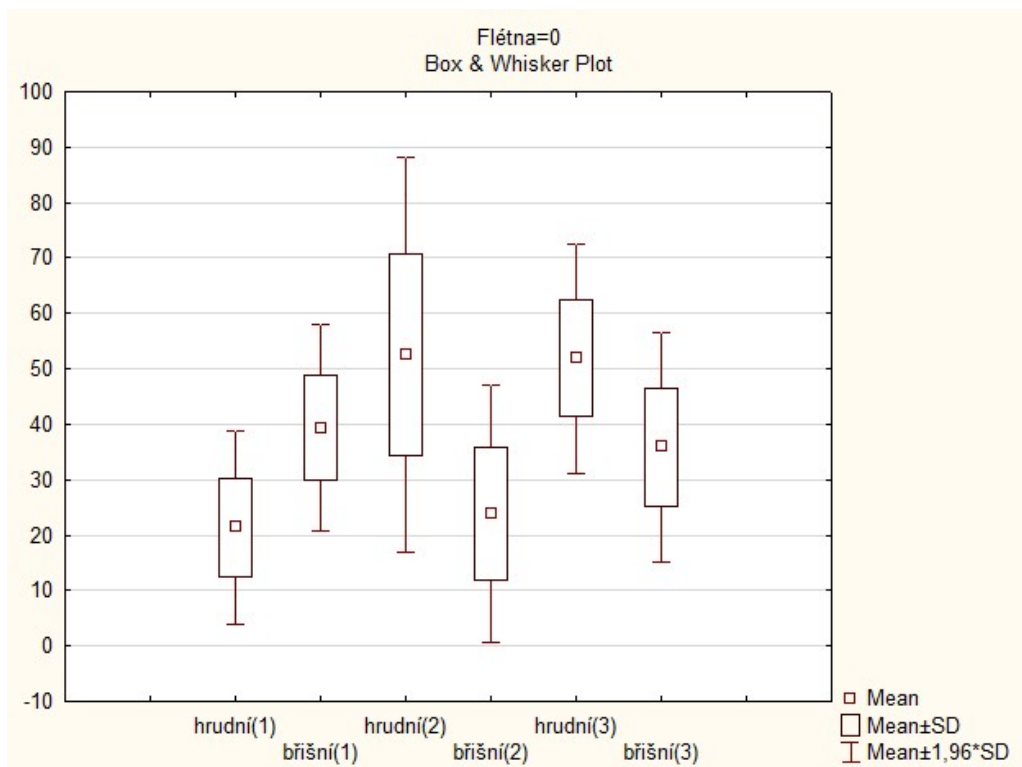
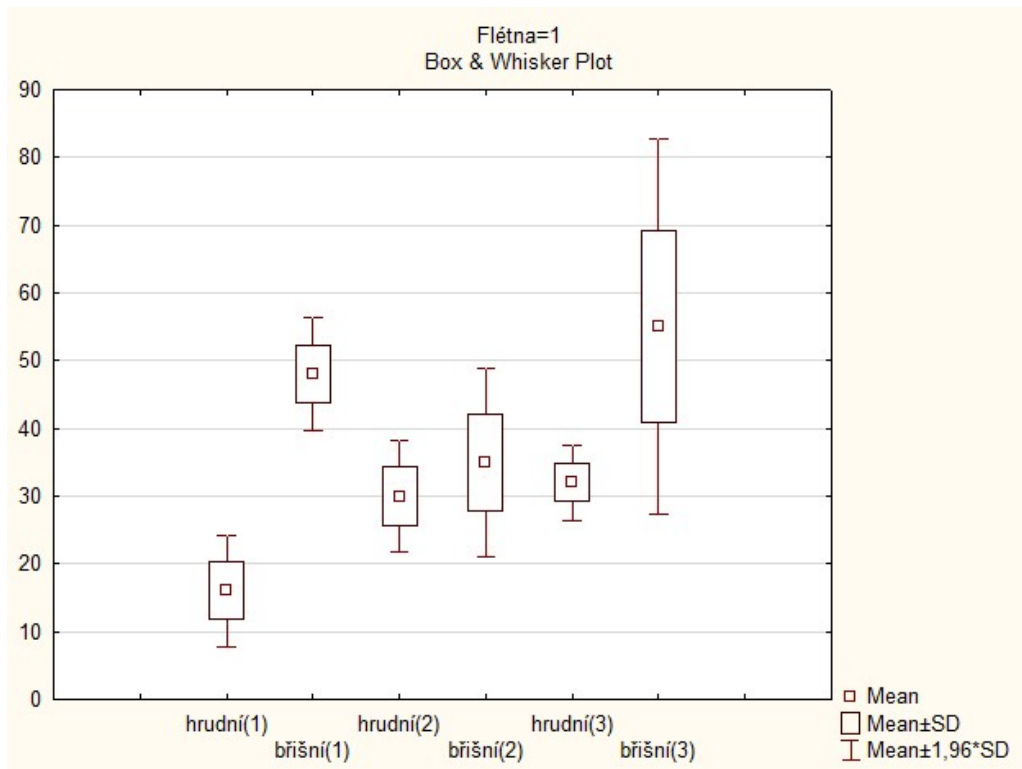
UBMI	Ústav biomedicínského inženýrství
UAMT	Ústav automatizace a měřicí techniky
V_T	Dechový objem
IRV	Inspirační rezervní objem
ERV	Expirační reverzní objem
RV	Reziduální objem
TLC, TC	Celková plicní kapacita
VC	Vitální kapacita
FRC	Funkční reziduální kapacita
IC	Inspirační kapacita
MV	Minutová kapacita
MMV	Maximální minutová ventilace
FVC	Usilovná vitální kapacita
FEV ₁ , FEV _{1s}	Jednovteřinová vitální kapacita
PEF	Maximální výdechová proud vzduchu
RIP	Respirační indukční pletysmografie
SLP	Pletysmografie s využitím aktivní triangulace
OEP	Optoelektrická pletysmografie
TOF	Time of flight
PMD	Photonic mixer device
ROI	Oblast zájmu
CAVI	cardio-ankle vascular index – stanovení parametru cévní poddajnosti
ABI	Ankle-brachial index – index kotník paže

SEZNAM PŘÍLOH

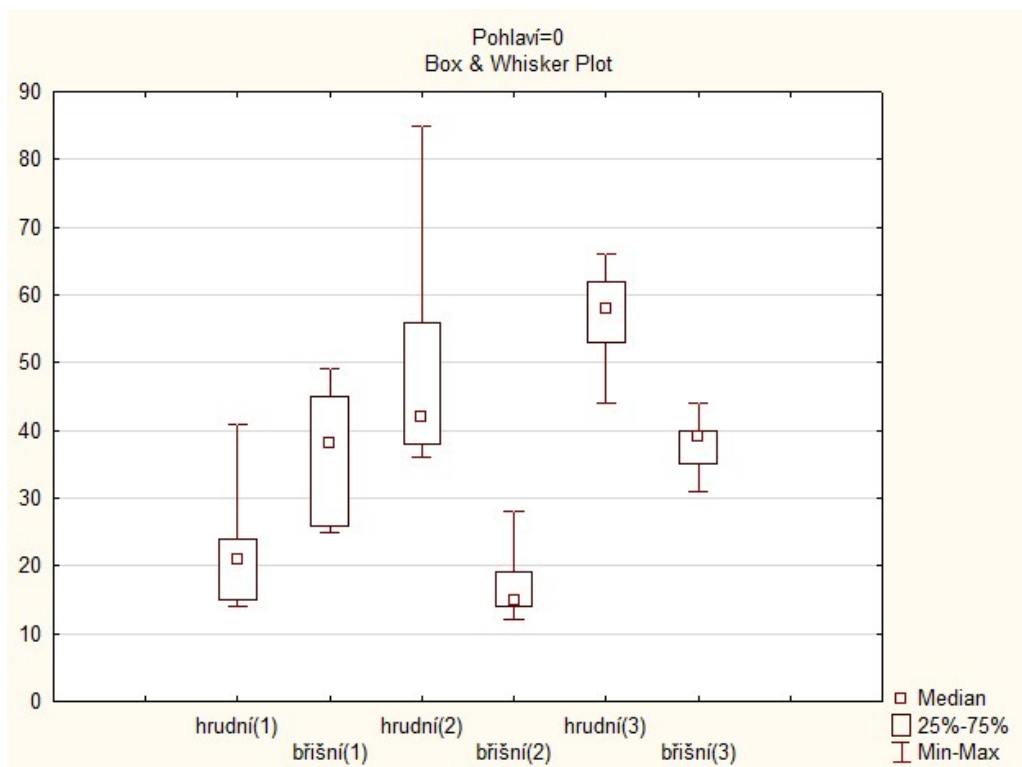
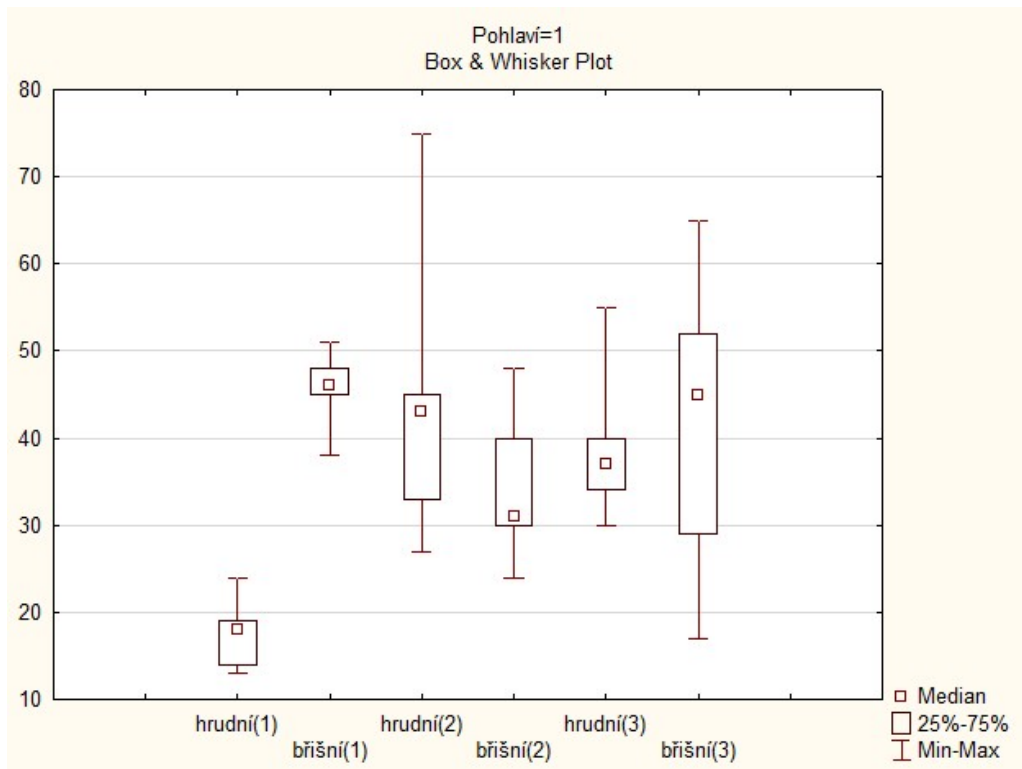
A	Výsledky měření v grafické podobě	49
B	Obsah přiloženého DVD	71



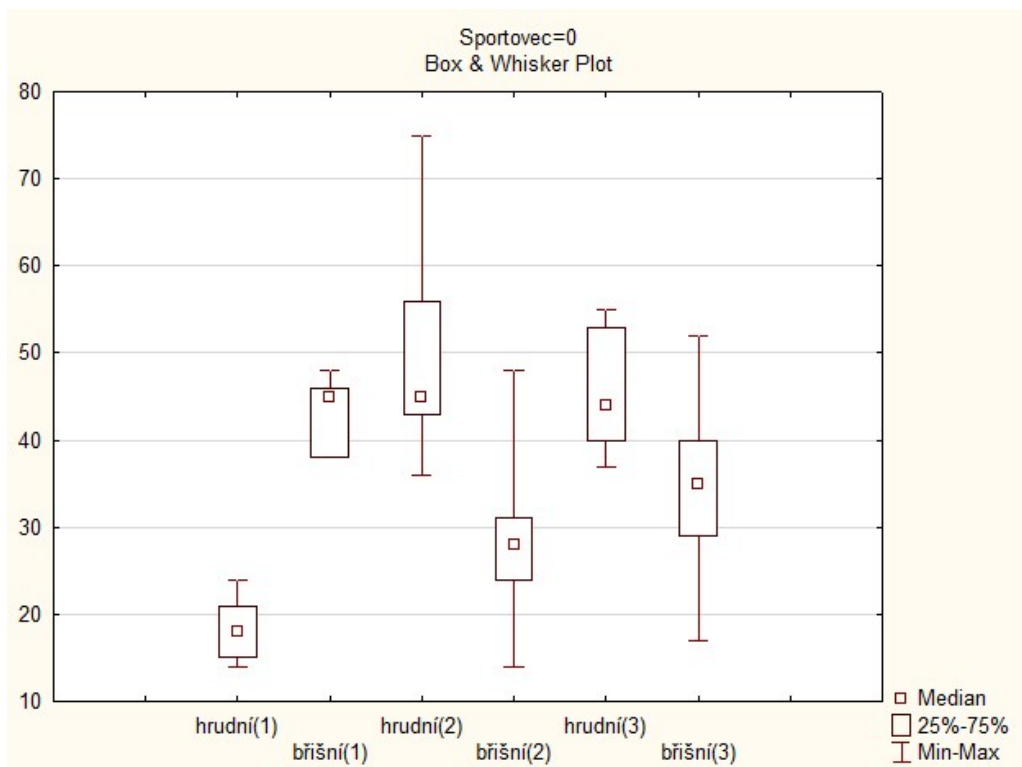
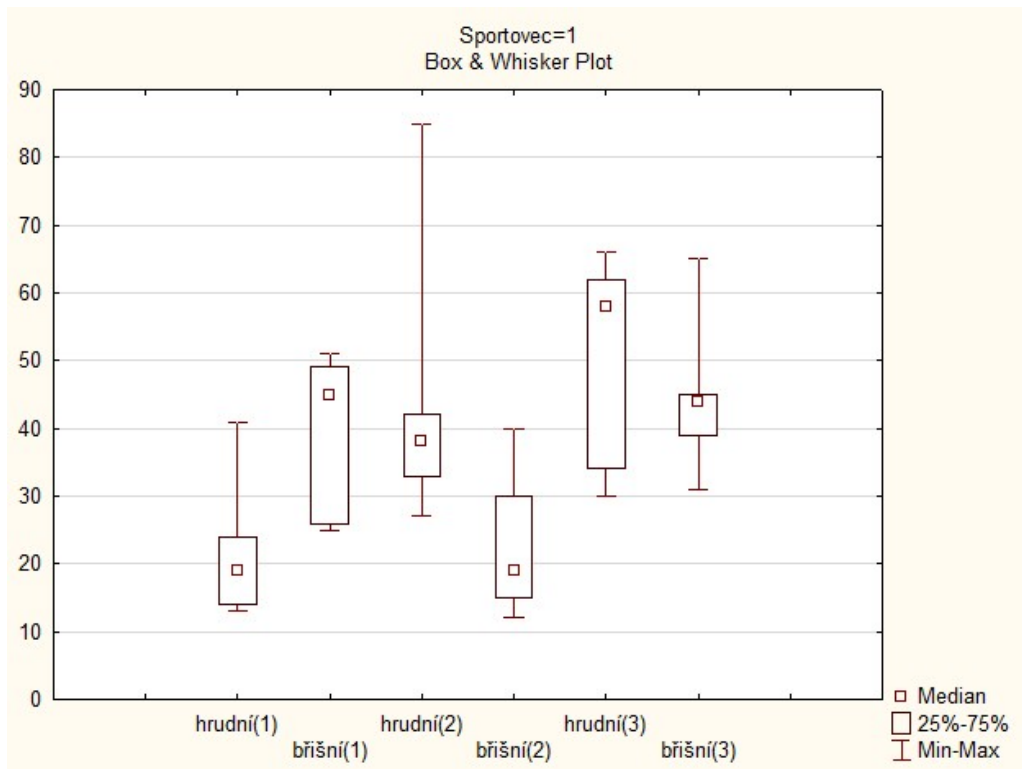
Obr. A.3: Statistické výsledky (pásy) - kuřáci: a) kuřáci, b) nekuřáci



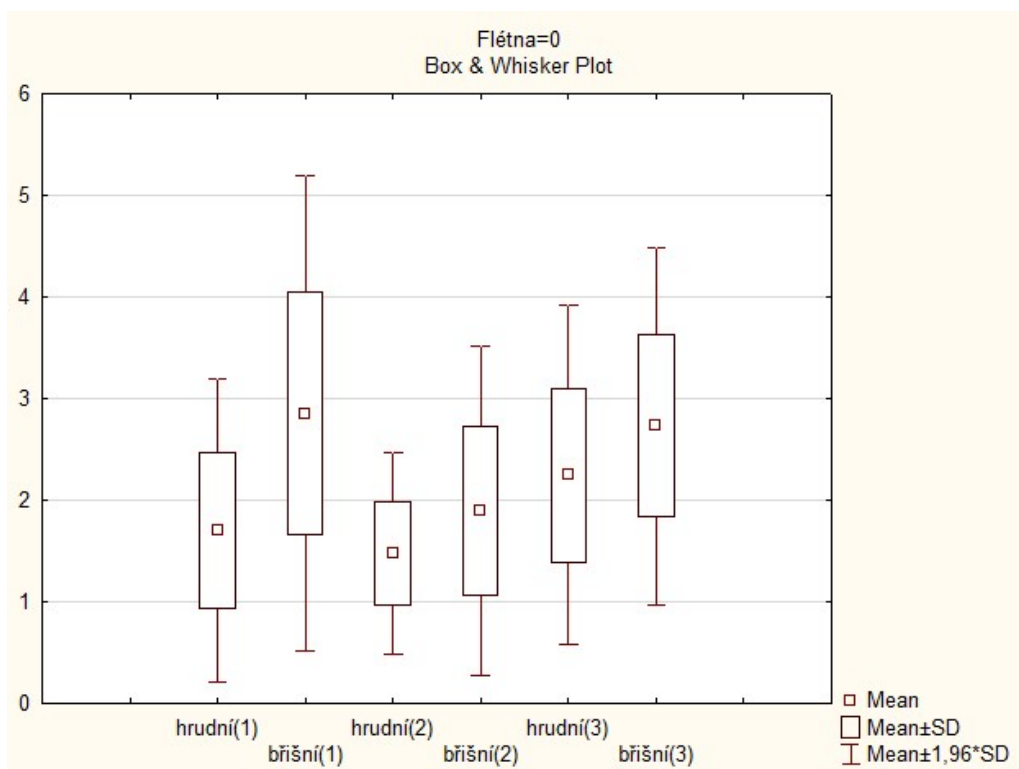
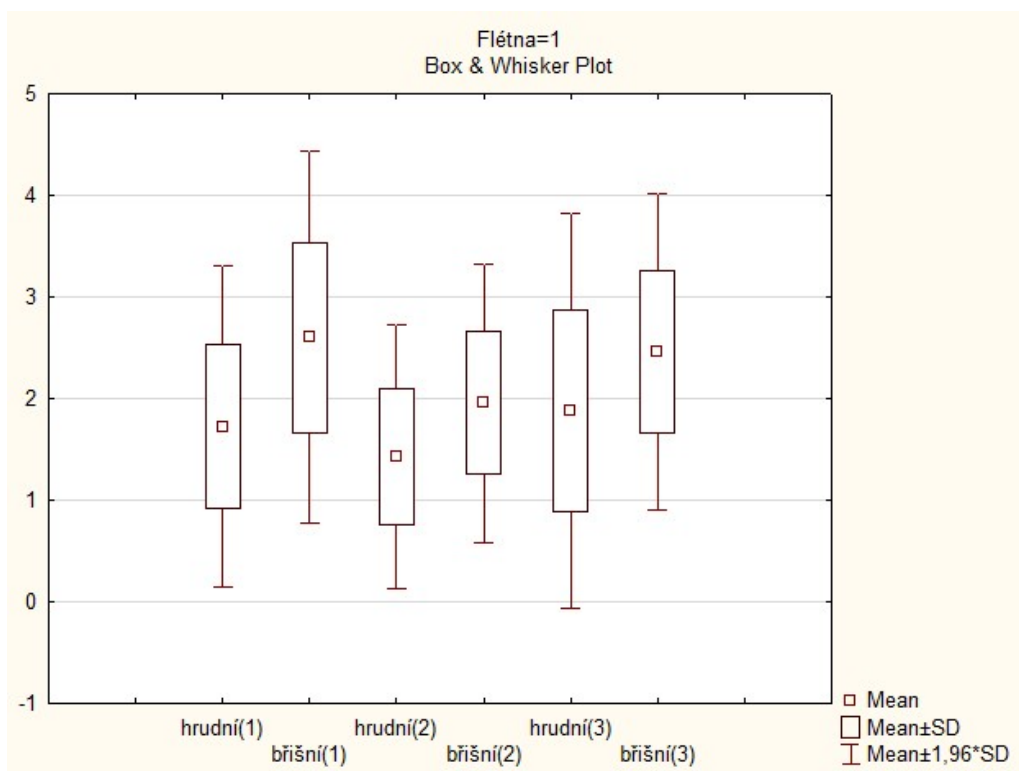
Obr. A.4: Statistické výsledky (pásy) - hudební nástroje: a) hrající, b) nehrající



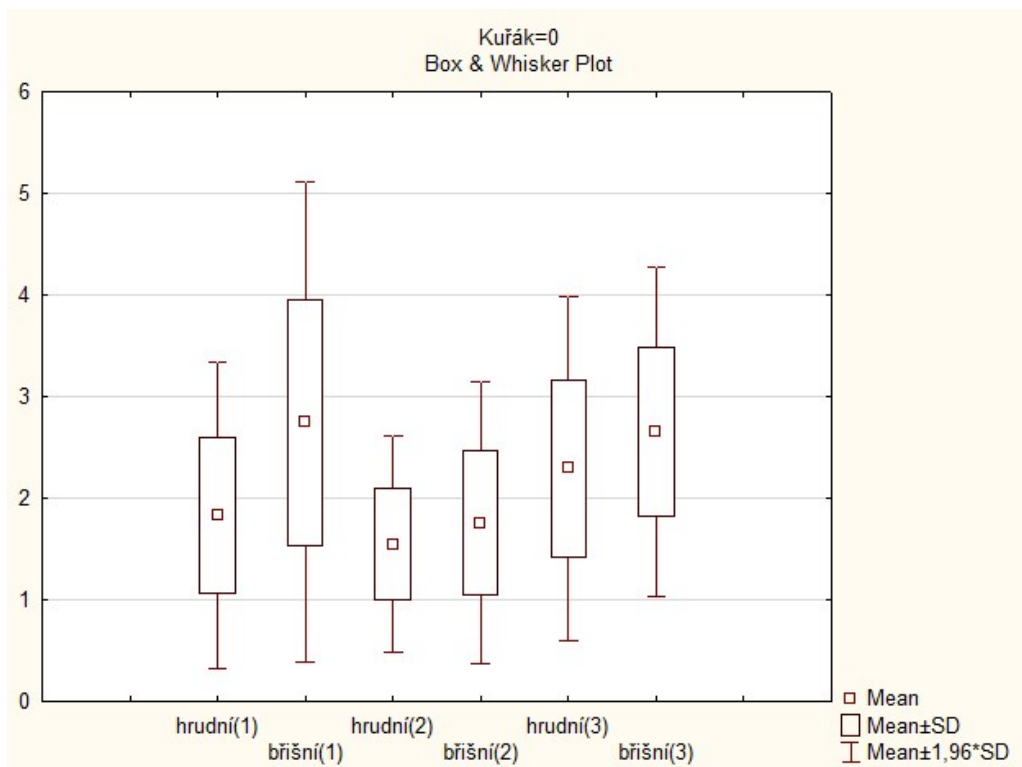
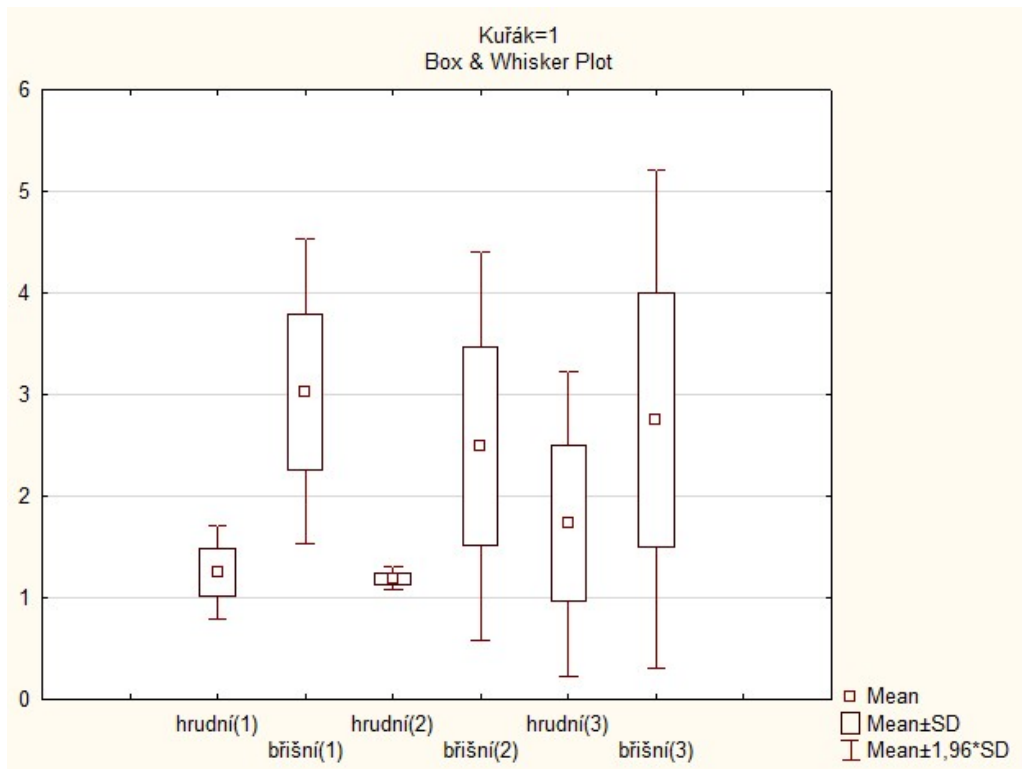
Obr. A.5: Statistické výsledky (pásy) - pohlaví: a) ženy, b) muži



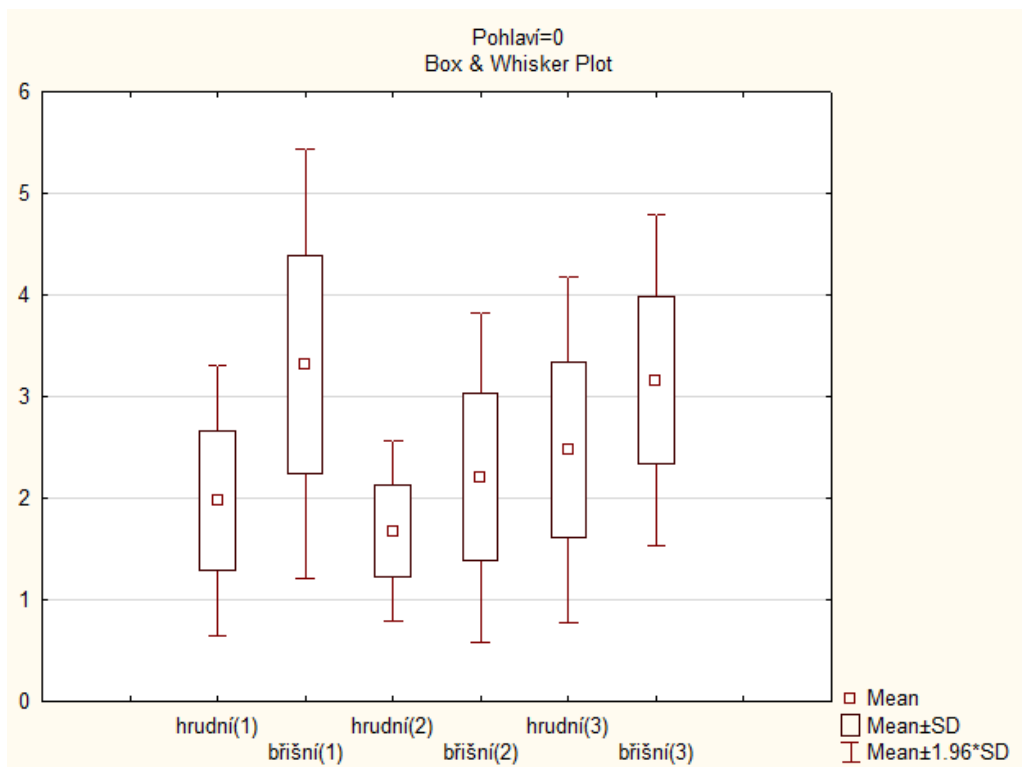
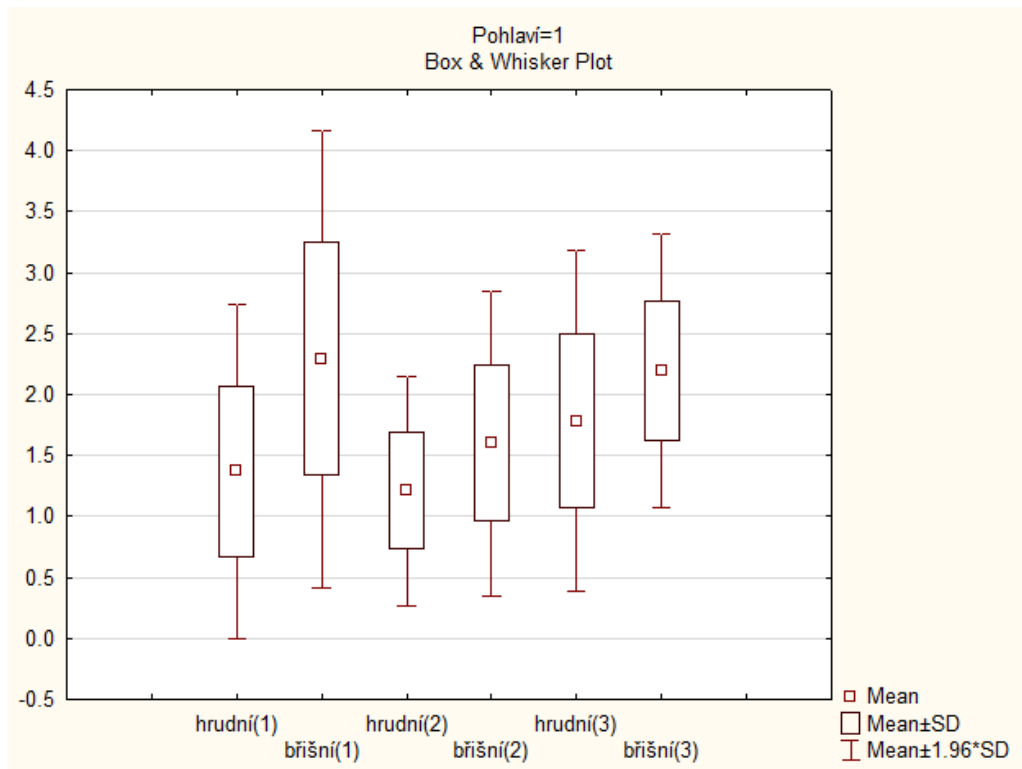
Obr. A.6: Statistické výsledky (pásy) - sportovci: a) sportující, b) nespportující



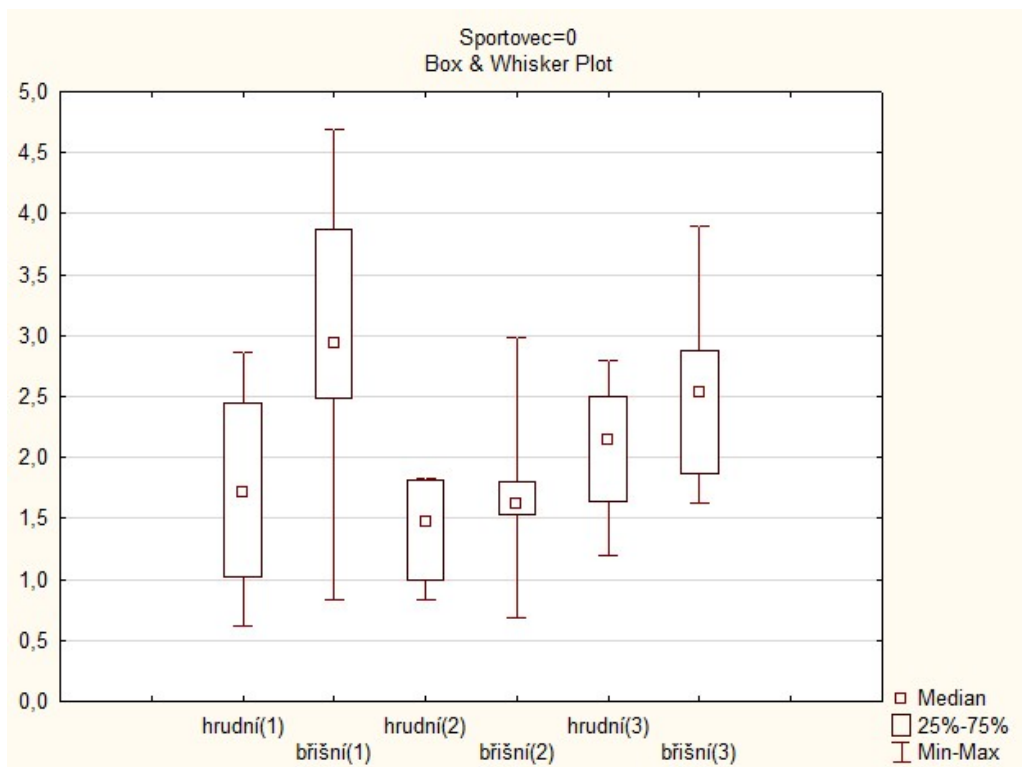
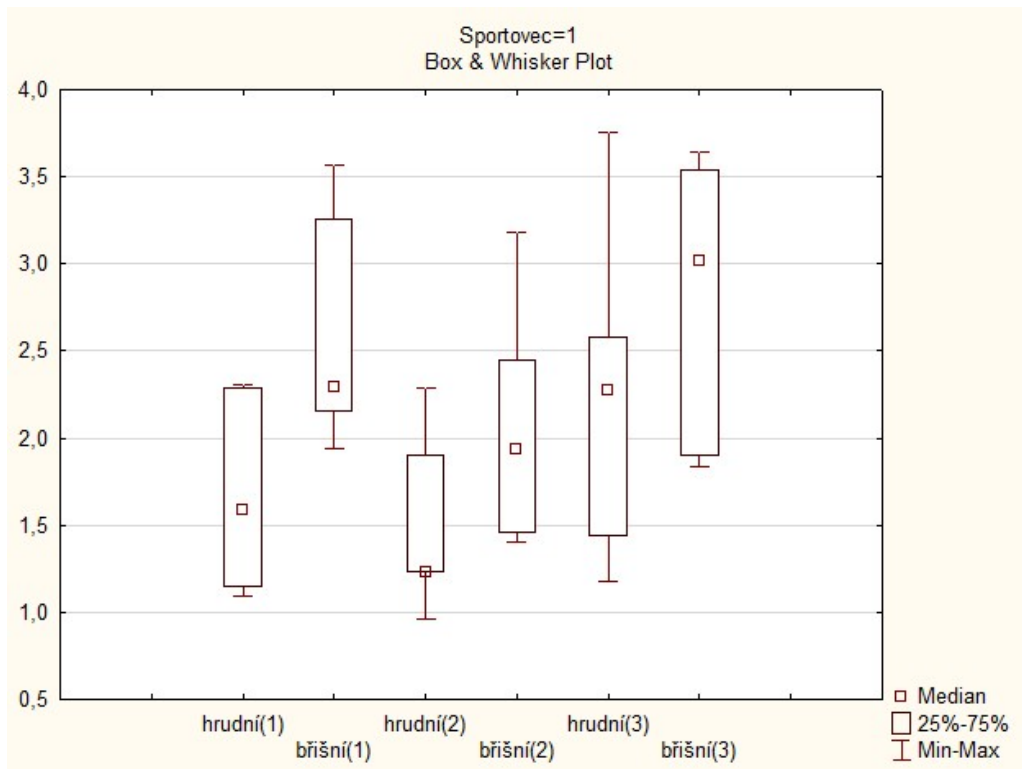
Obr. A.7: Statistické výsledky (kamera) - hudební nástroje: a) hrající, b) nehrající



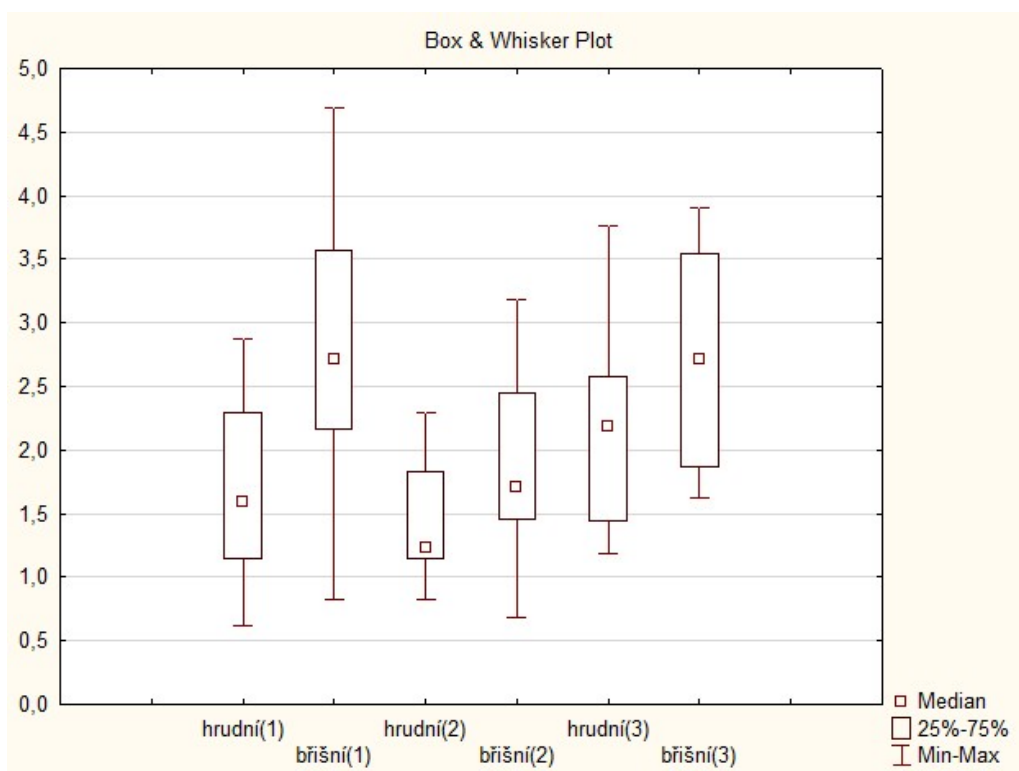
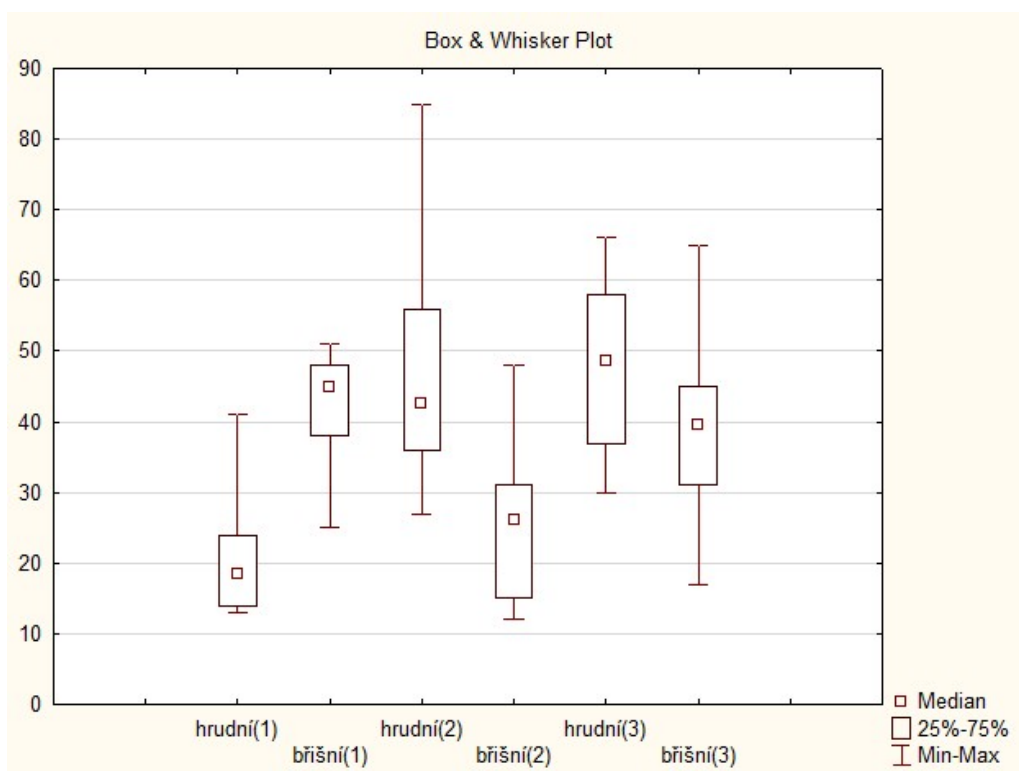
Obr. A.8: Statistické výsledky (kamera) - kuřáci: a) kuřáci, b) nekuřáci



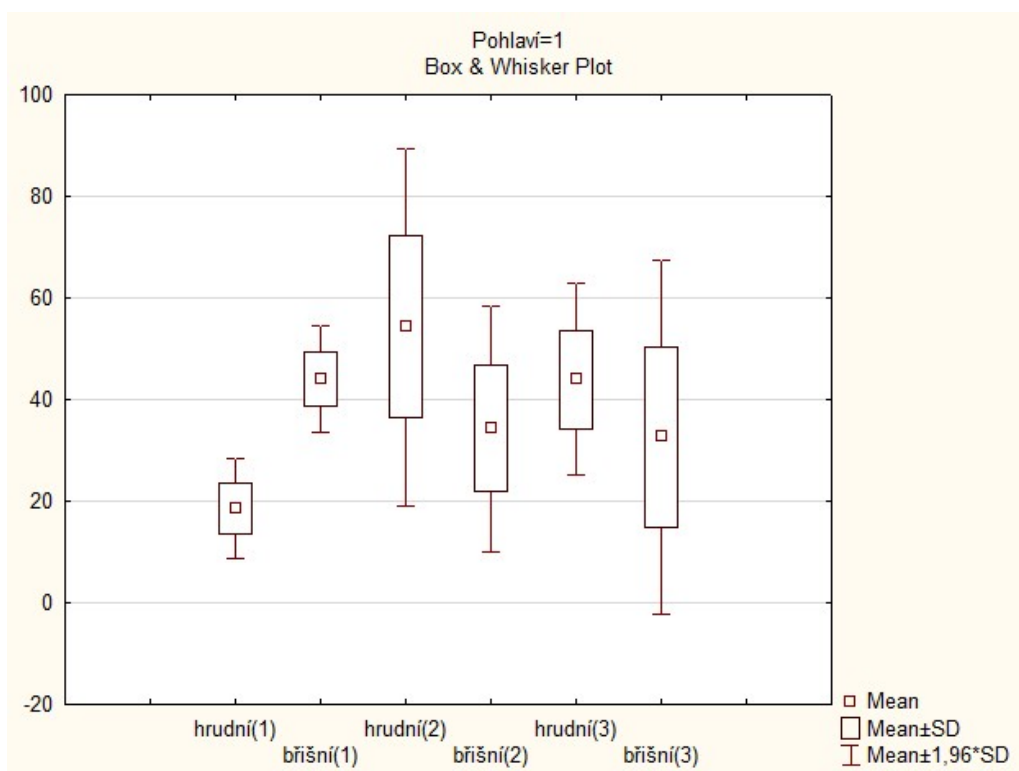
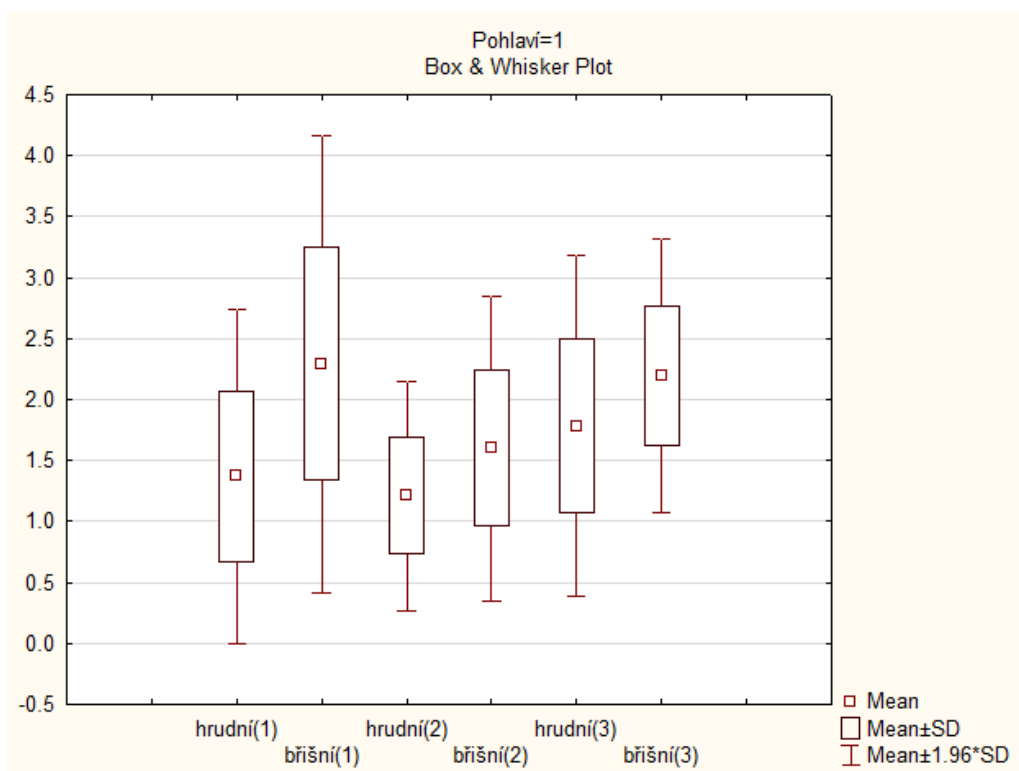
Obr. A.9: Statistické výsledky (kamera) - pohlaví: a) ženy, b) muži



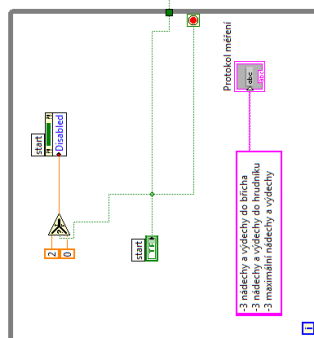
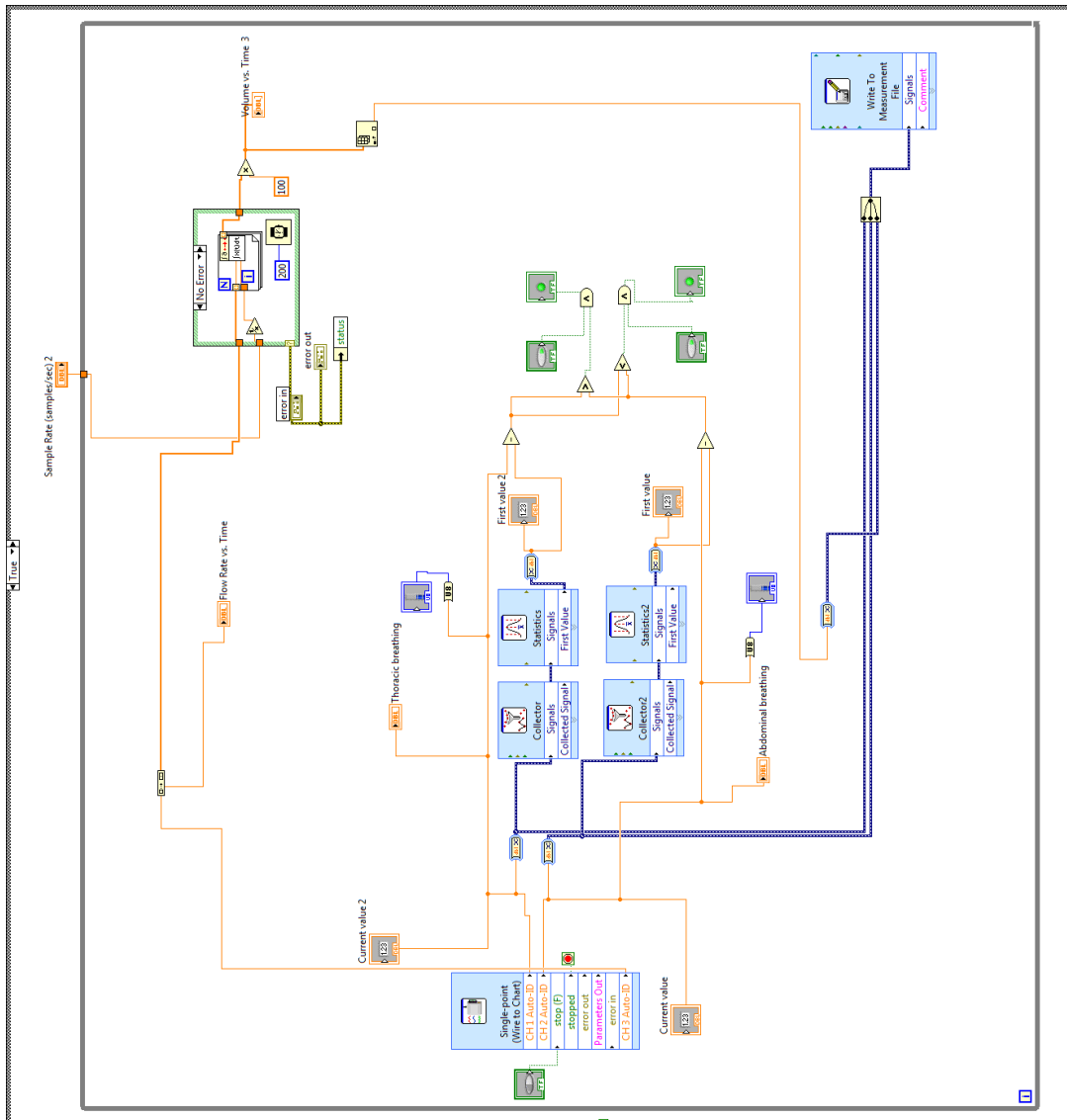
Obr. A.10: Statistické výsledky (kamera) - sportovci: a) sportující, b) nespportující



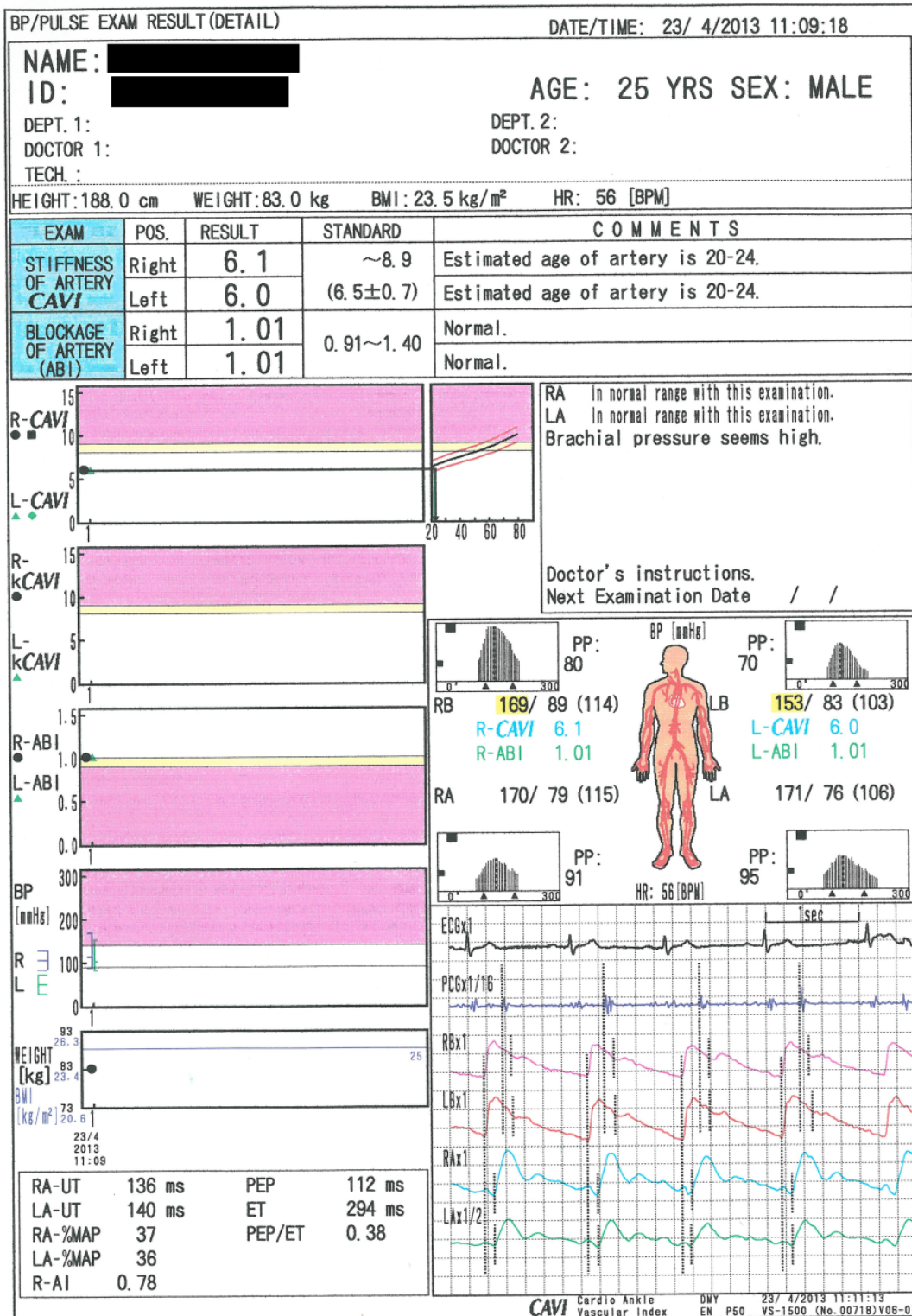
Obr. A.11: Statistické výsledky (pásy x kamera)-10 pacientů: a) metoda s pásy, b) metoda s kamerou



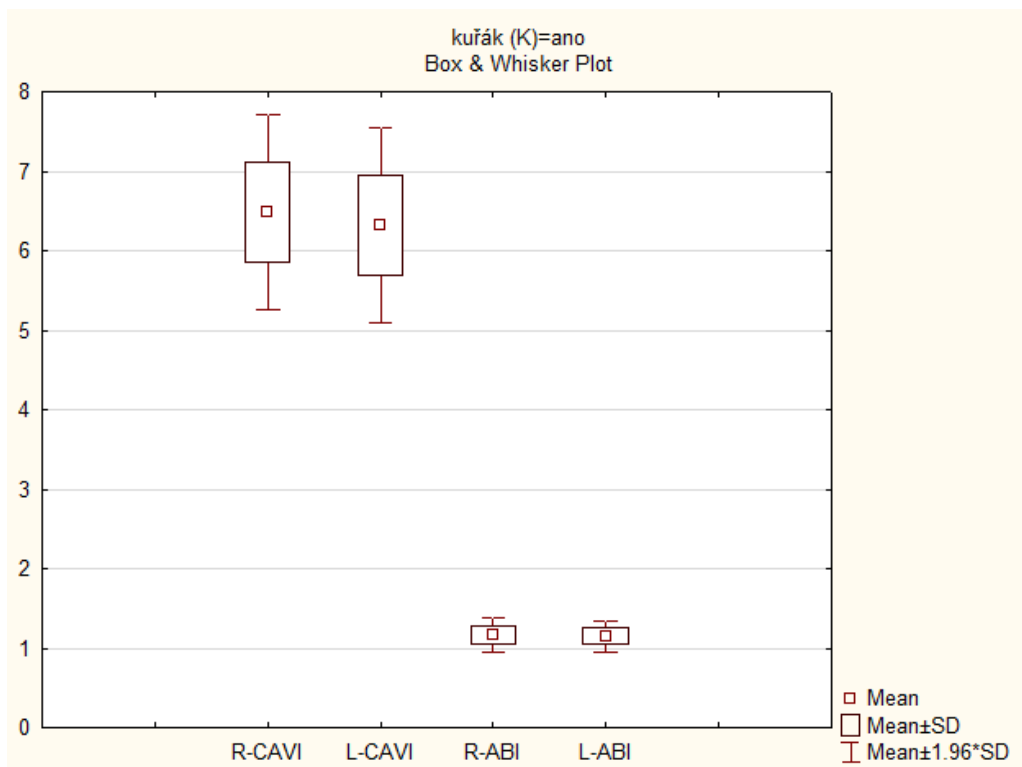
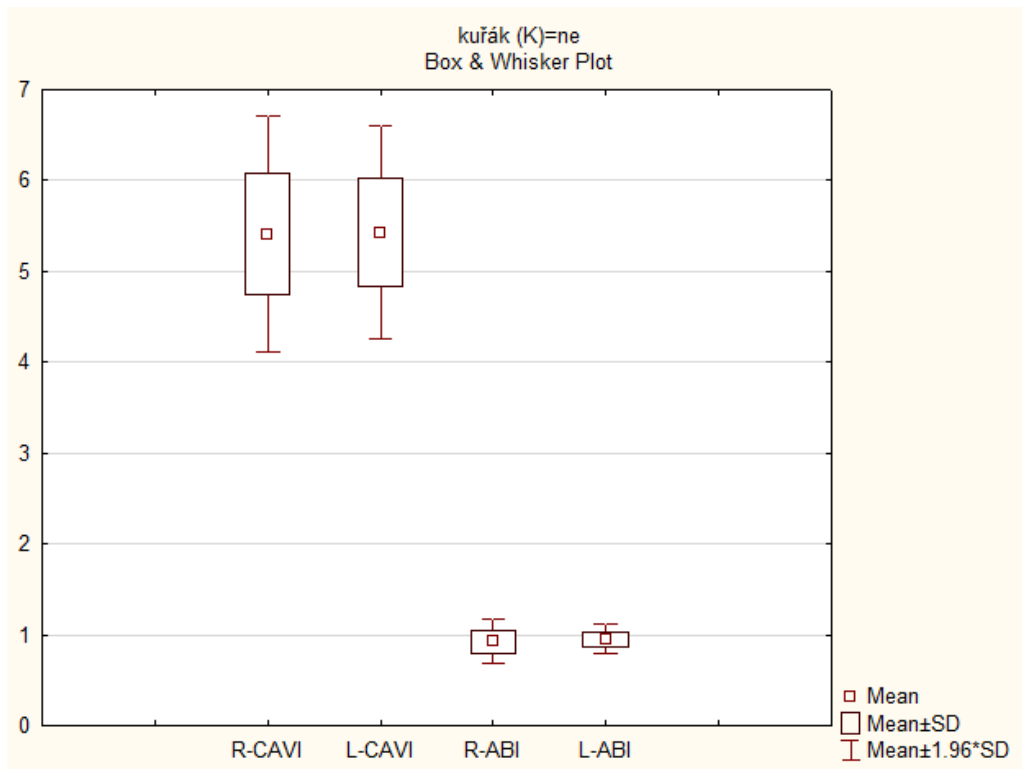
Obr. A.12: Statistické výsledky (pásy x kamera) -ženy nehrající na hudební nástroje:
a) metoda s kamerou, b) metoda s pásy



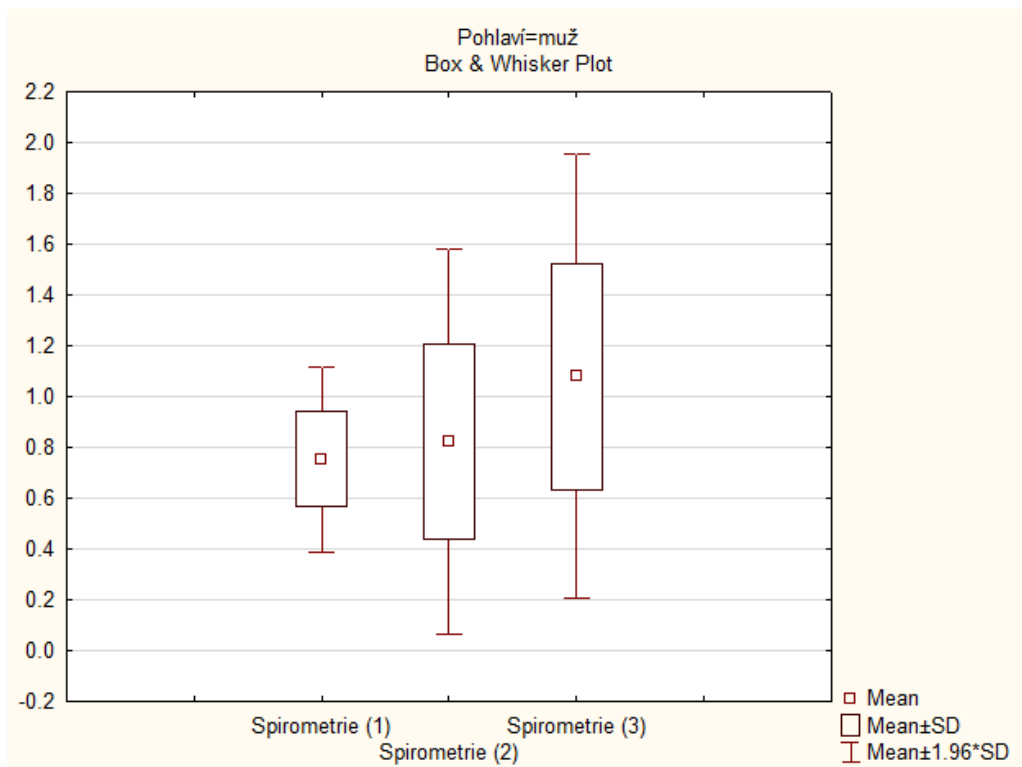
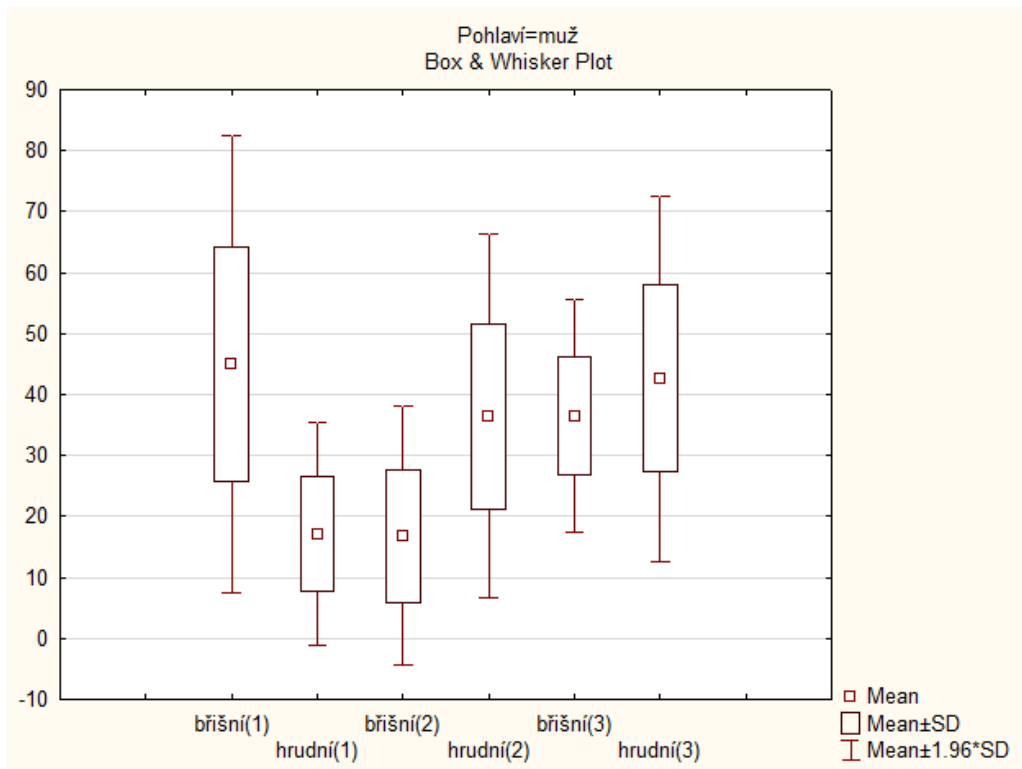
Obr. A.13: Kompletní blokový diagram v Labview



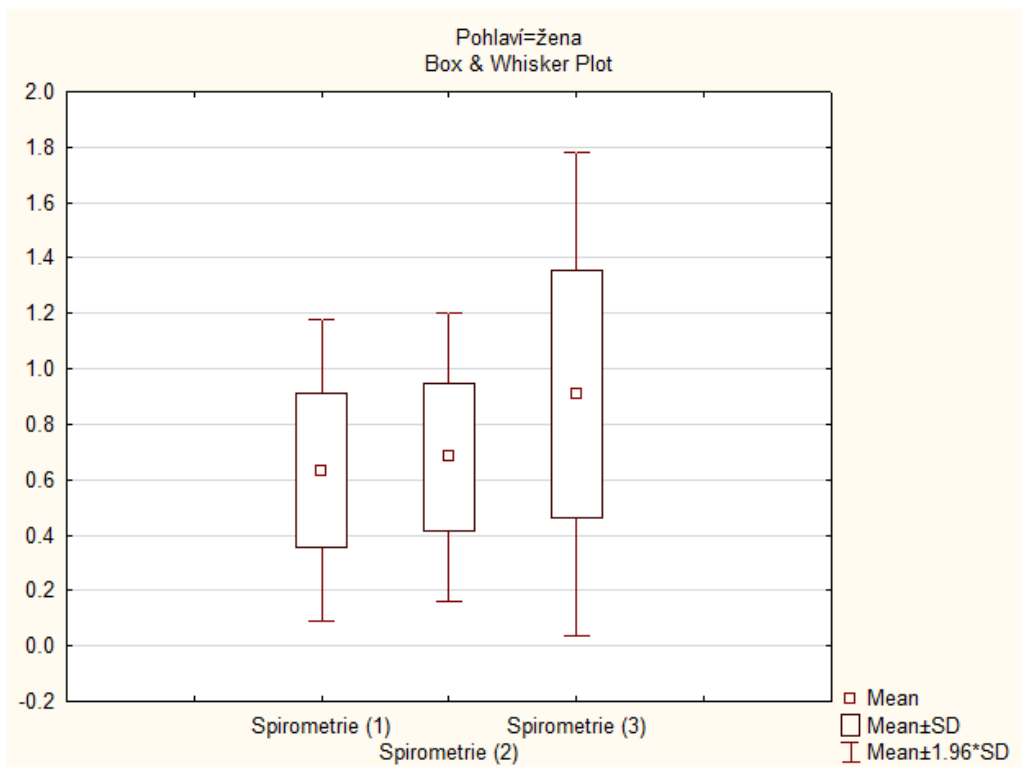
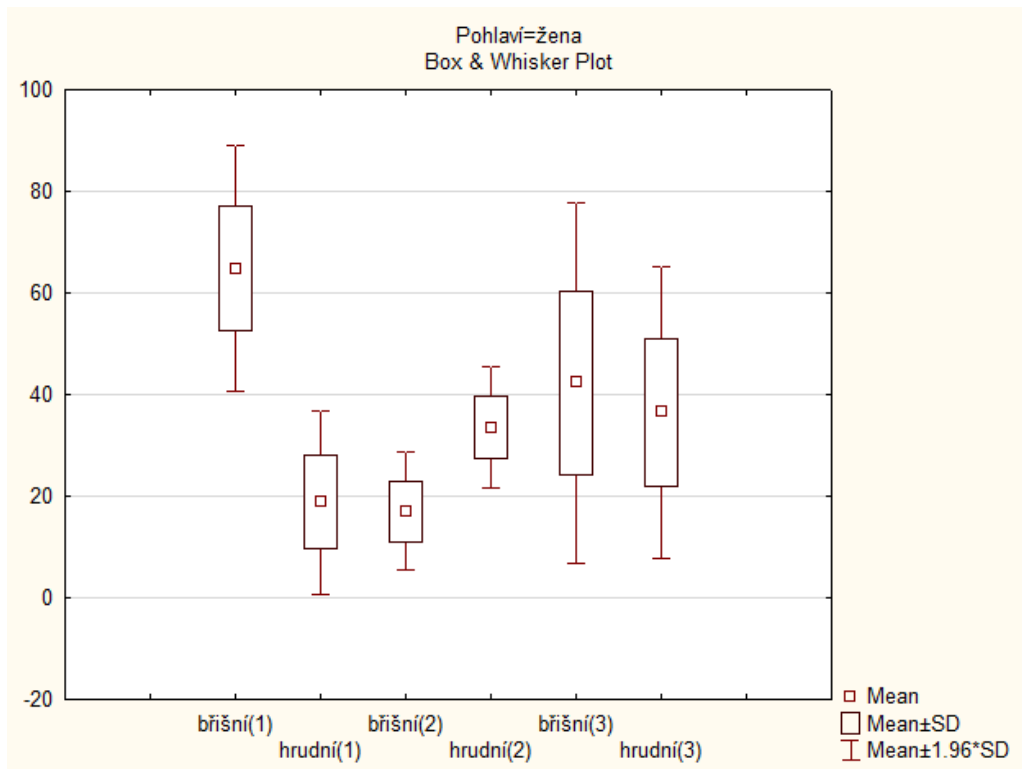
Obr. A.14: Protokol z vyšetření CAVI



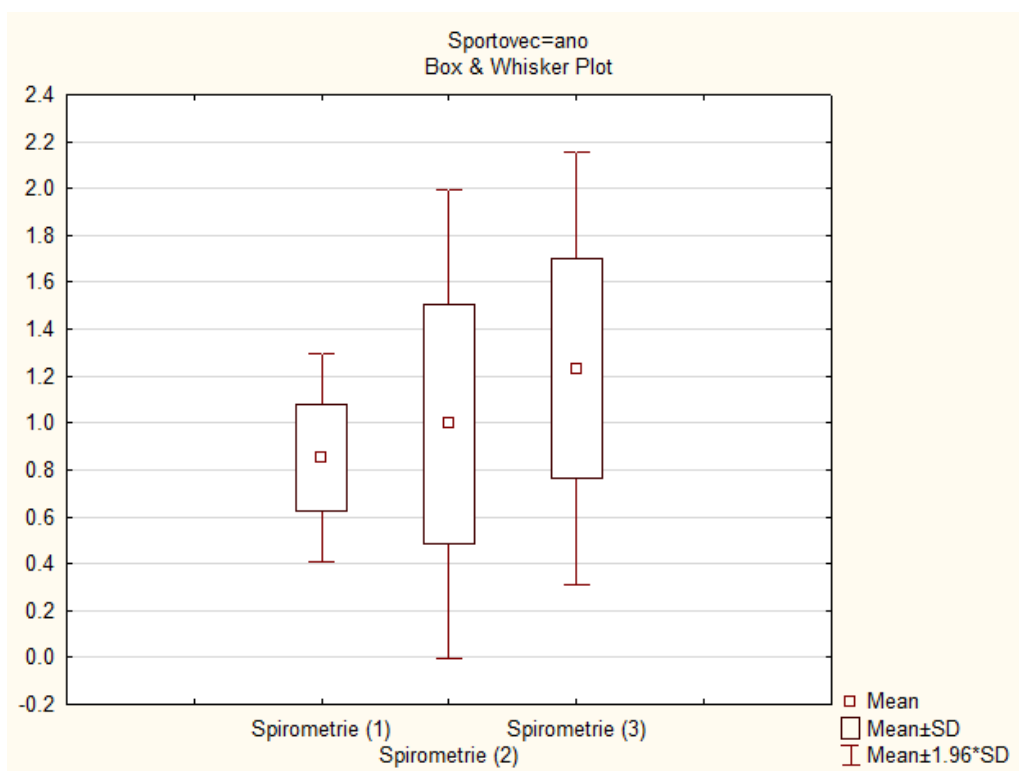
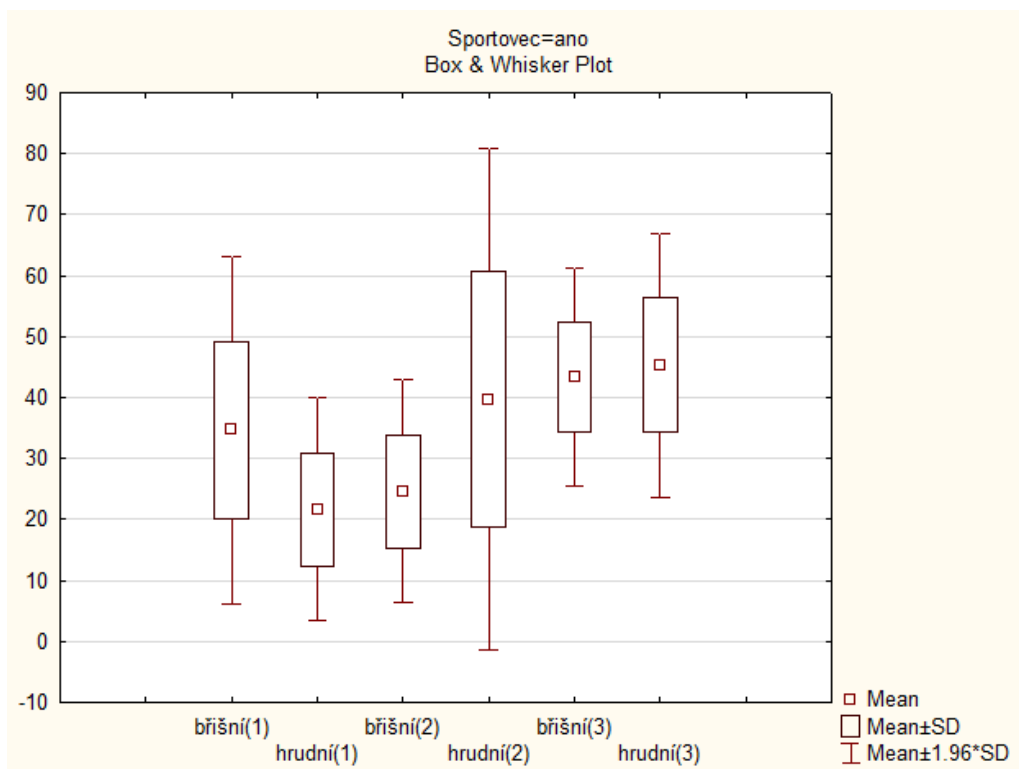
Obr. A.15: Statistické výsledky (CAVI): a) nekuřáci, b) kuřáci



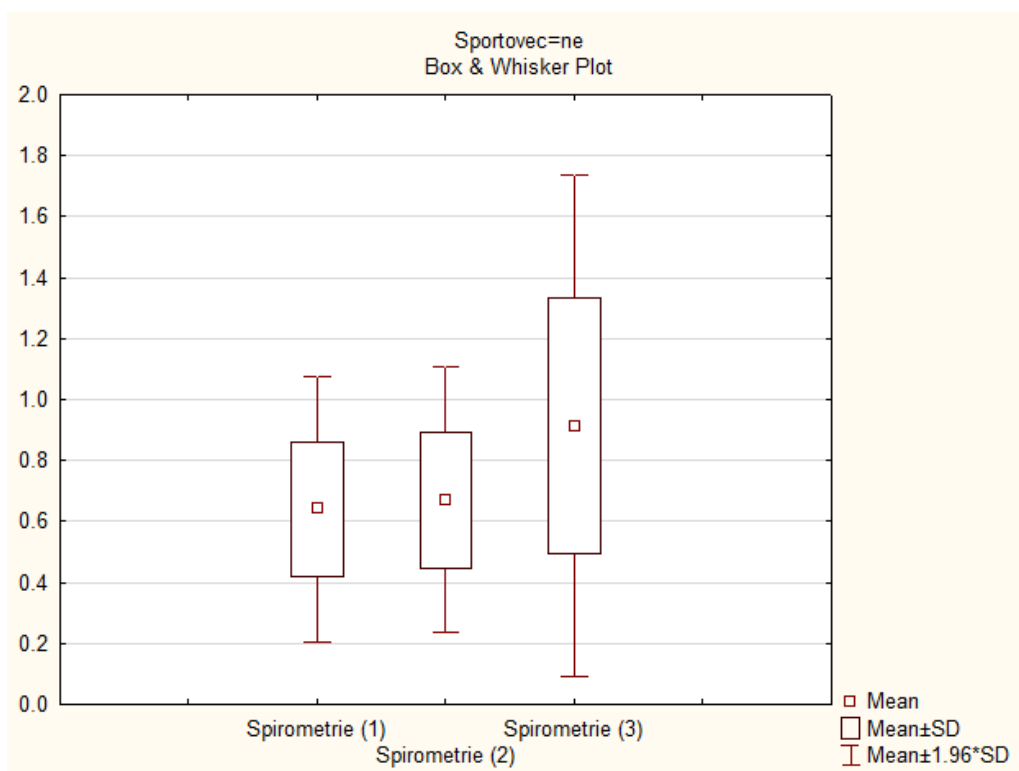
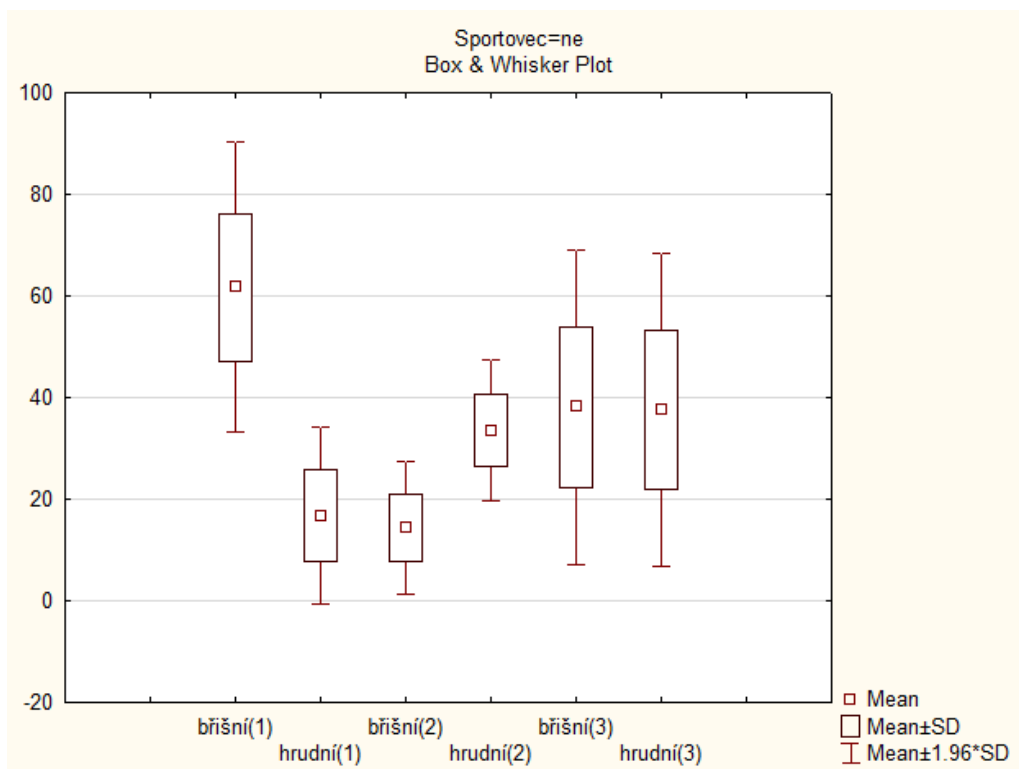
Obr. A.16: Statistické výsledky (pásy x spirometrie) - muži: a) pásy, b) spirometrie



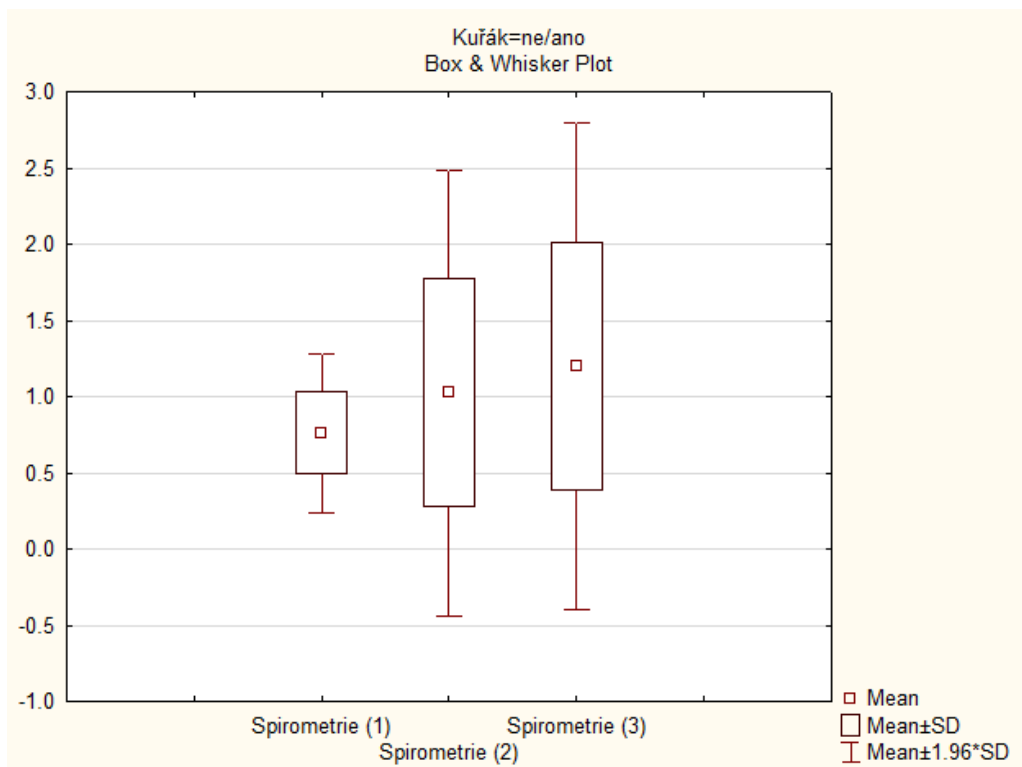
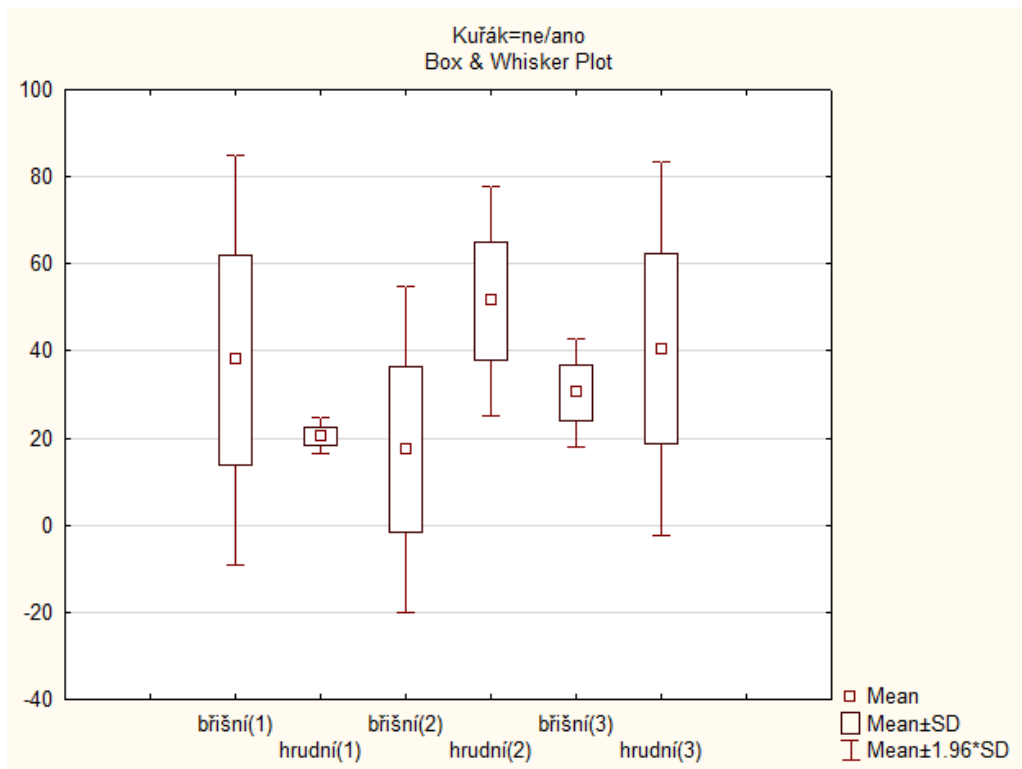
Obr. A.17: Statistické výsledky (pásy x spirometrie) - ženy: a) pásy, b) spirometrie



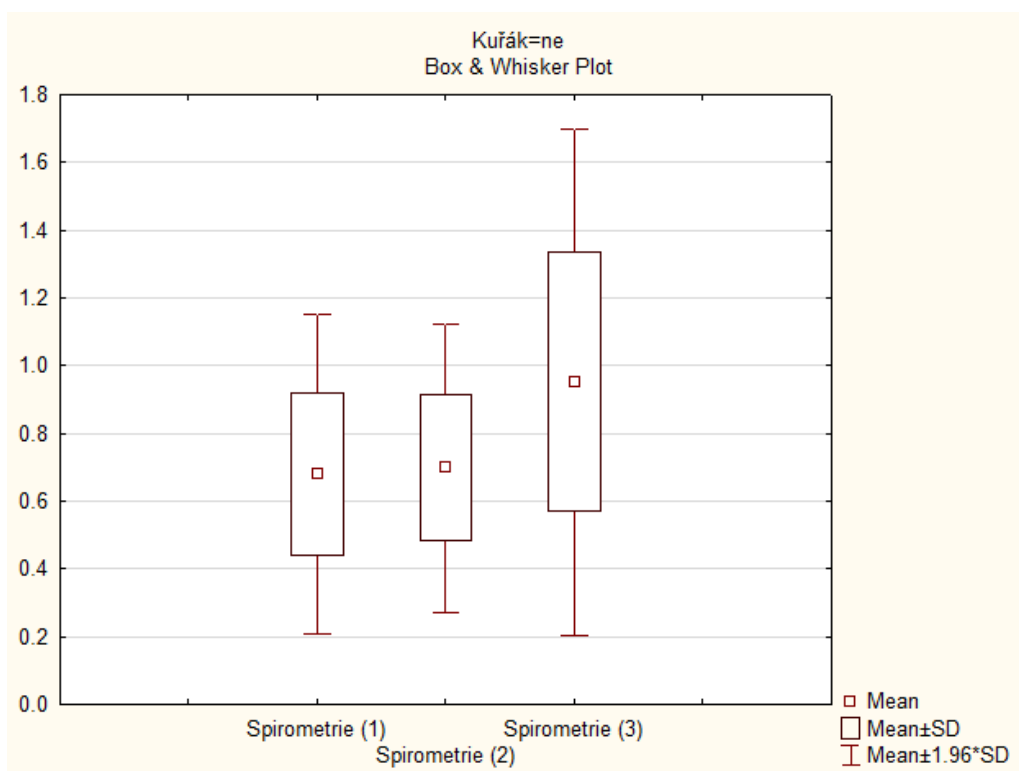
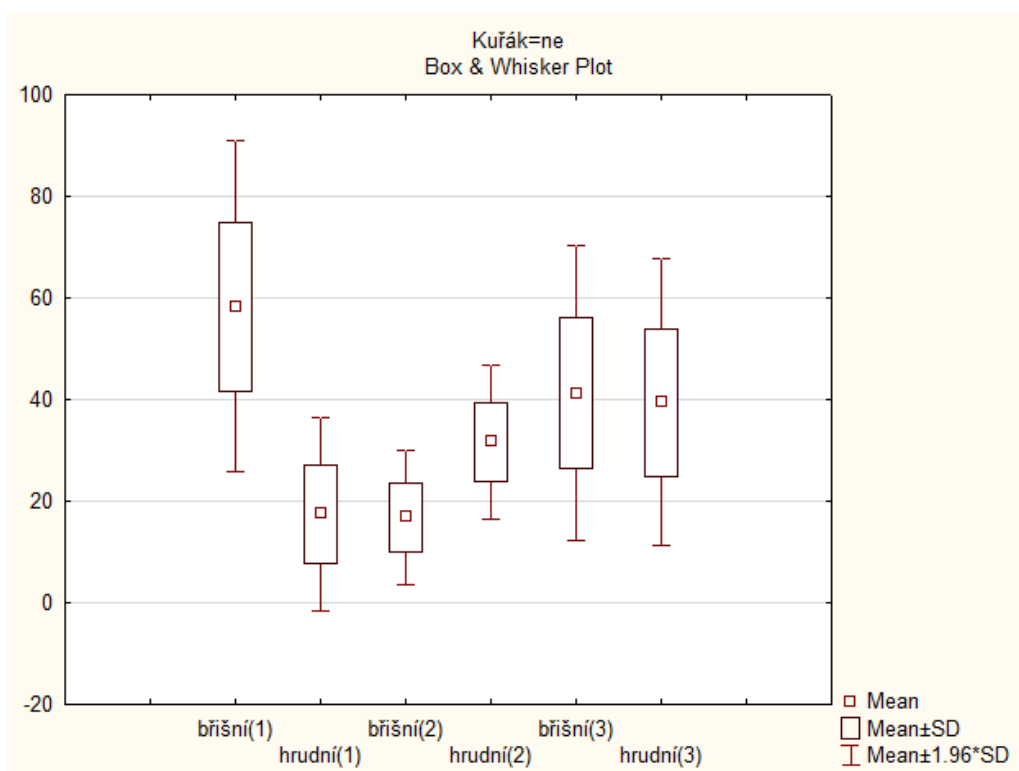
Obr. A.18: Statistické výsledky (pásy x spirometrie) - sportovci: a) pásy, b) spirometrie



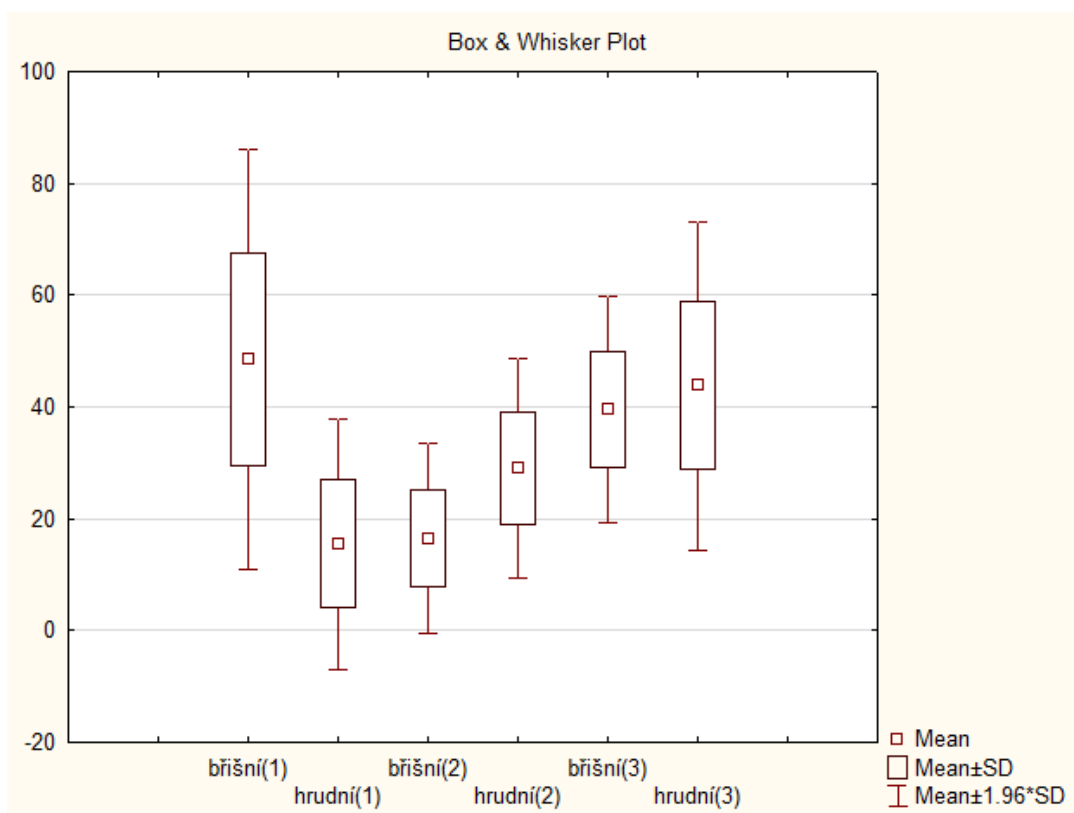
Obr. A.19: Statistické výsledky (pásky x spirometrie) - nesportovci: a) pásky, b) spirometrie



Obr. A.20: Statistické výsledky (pásy x spirometrie) - kuřáci: a) pásy, b) spirometrie



Obr. A.21: Statistické výsledky (pásky x spirometrie) - nekuřáci: a) pásky, b) spirometrie



Obr. A.22: Statistické výsledky: muži bez kuřáků

T-tests; Grouping: kuřák (K) (cavi_kuraci)											
Group 1: ne											
Group 2: ano											
Variable	Mean ne	Mean ano	t-value	df	p	Valid N ne	Valid N ano	Std.Dev. ne	Std.Dev. ano	F-ratio Variances	p Variances
R-CAVI	5.410000	6.490000	-3.74173	18	0.001493	10	10	0.662403	0.627960	1.112708	0.876207
L-CAVI	5.430000	6.320000	-3.25779	18	0.004370	10	10	0.600093	0.621468	1.072508	0.918662

Obr. A.23: Statistické výsledky (CAVI)- t-test

Tab. A.1: Hodnoty z měření pomocí pásů + spirometrie

Pacient	Počet detekovaných píků	Shodné pořadí velikostí píků
26	7	7
27	9	2
28	8	6
29	9	4
5	7	7
4	9	9
30	9	9
31	9	6
32	7	2
3	8	8
34	8	4
35	8	4
	98	68

Spearman Rank Order Correlations (spirometrie) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at p < .05000			
Variable	Spirometrie (1)	pas 1	
Spirometrie (1)	1.000000	-0.329247	
pas 1	-0.329247	1.000000	

Spearman Rank Order Correlations (spirometrie) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at p < .05000			
Variable	Spirometrie (2)	pas2	
Spirometrie (2)	1.000000	0.556919	
pas2	0.556919	1.000000	

Spearman Rank Order Correlations (spirometrie) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at p < .05000			
Variable	Spirometrie (3)	pas 3	
Spirometrie (3)	1.000000	0.514887	
pas 3	0.514887	1.000000	

Obr. A.24: Statistické výsledky (pásy + spirometrie)- Spearmanův test

B OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD

Přiložené DVD obsahuje:

- Elektronická verze práce – Elektronická verze práce ve formátu PDF je k dispozici v přiloženém DVD pod názvem *marketa_kotova_DP.pdf*.
- Používaná literatura – Články, na které je v textu odkazováno a jsou volně dostupné ve formátu PDF, jsou uloženy v adresáři *literatura*. Je zde také literatura, která v textu není citována, ale přispěla ke vzniku práce.
- Obrázky – Všechny obrázky a grafy, které se v textu nacházejí jsou uloženy ve složce *obrazky* ve formátu *.png*.
- Realizovaný program – Program v Labview na měření dýchání pomocí pásů a spirometru, spustitelný pomocí souboru *pasy_spirometrie.vi*. Soubor se nachází ve složce *spirometrie*
- Realizovaný program – Simulátor pro prohlížení všech naměřených dat a jejich statistických grafů, spustitelný pomocí souboru *vizualizace.m* se nachází ve složce *mereni*.
- Zdrojové kódy – všechny zdrojové kódy, které byly vytvořeny v prostředí Matlab jsou uloženy ve složce *mereni*.