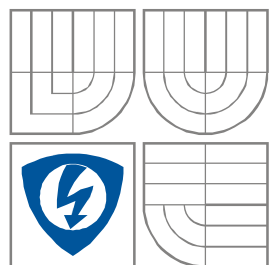




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MĚŘIČ PRO NEINVAZIVNÍ MĚŘENÍ KREVNÍHO TLAKU
APPARATUS FOR NONINVASIVE BLOOD PRESURE MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Zbyněk Komárek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Zbyněk Komárek
Ročník: 3

ID: 78111
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Měřič pro neinvazivní měření krevního tlaku

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rozeberte stávající metody pro neinvazivní měření krevního tlaku. Porovnejte je z hlediska funkce, přesnosti a reprodukovatelnosti měření. Zaměřte se především na systém pro měření krevního tlaku pomocí Korotkovových zvuků. Navrhněte detektor Korotkovových zvuků vhodný pro tento přístroj. Předpokládejte, že přístroj bude mít bateriové napájení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CHMELAR, M. Lékařská přístrojová technika I. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995.
- [2] WRIGHT, S. Klinická fyziologie. Praha: AVICENUM, 1970.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Předmětem mé práce bude popsat neinvazivní metody pro měření krevního tlaku a uvést jejich výhody a nevýhody. Jednotlivé metody budu porovnávat z hlediska funkce, přesnosti a reprodukovatelnosti měření. Předmětem této práce je také návrh detektoru Korotkovových zvuků.

Abstract

Subjects my work will describe noninvasive method for blood pressure measuring and bring in their advantages and disadvantages. Individual method I'll weigh against in light of function, accuracy and reproducibility metering. Subject those work is also design detector of Korotkoff sounds.

Klíčová slova

Krevní tlak, neinvazivní metody, Korotkovovy zvuky, hypertenze, systolický tlak, diastolický tlak, detekce Korotkovových zvuků, auskultační měření krevního tlaku

Key words

Blood pressure, noninvasive methods, Korotkoff sounds, hypertension, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, detection of Korotkoff sounds, Auscultatory blood pressure measurement

KOMÁREK, Z. *Měřič pro neinvazivní měření krevního tlaku: semestrální projekt*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009. 35 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Milan Chmelař, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měřič pro neinvazivní měření krevního tlaku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Milanu Chmelařovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Obsah

<i>Abstrakt</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<i>Klíčová slova</i>	3
<i>Key words</i>	3
1 <i>Úvod</i>	9
2 <i>Historie měření krevního tlaku</i>	9
3 <i>Význam krevního tlaku a jeho měření</i>	10
3.1 <i>Krevní tlak</i>	10
3.1.1 <i>Jednotka tlaku krve</i>	11
3.1.2 <i>Závislost tlaku krevního</i>	12
3.1.2 <i>Hodnoty tlaku krevního</i>	13
3.2 <i>Proudění krve – laminární a turbulentní</i>	14
3.2.1 <i>Laminární proudění</i>	15
3.2.2 <i>Turbulentní proudění</i>	15
3.3 <i>Měření TK</i>	15
3.3.1 <i>Přímé měření tlaku krevního</i>	15
3.3.2 <i>Nepřímé měření tlaku krevního</i>	15
3.3.3 <i>Syndrom bílého pláště</i>	16
3.3.4 <i>Technika měření tlaku krevního</i>	16
4 <i>Nepřímé měření tlaku krevního</i>	16
4.1 <i>Palpační metoda měření tlaku krevního</i>	17
4.1.1 <i>Výhody a nevýhody palpační metody</i>	17
4.2 <i>Oscilometrie</i>	17
4.2.1 <i>Holterovská měření krevního tlaku</i>	18
4.2.2 <i>Fuzzy logic system</i>	19
4.2.3 <i>Výhody a nevýhody oscilometrických metod</i>	19
4.3 <i>Sledovač tlaku krevního – spojité nepřímě měření TK</i>	19
4.3.1 <i>Výhody a nevýhody sledovače tlaku krevního – spojitého nepřímého měření TK</i>	20

4.4	<i>Auskultační měření tlaku krevního</i>	20
4.4.1	<i>Korotkovovy zvuky</i>	22
4.4.2	<i>Mikrofon</i>	23
4.4.3	<i>Snímač tlaku</i>	23
4.4.4	<i>Manžeta</i>	24
4.4.5	<i>Průběh tlaku v manžetě</i>	24
4.4.6	<i>Detekce Korotkovových zvuků</i>	26
4.4.7	<i>Výhody a nevýhody auskultační metody</i>	27
5	<i>Návrh měřiče krevního tlaku</i>	28
5.1	<i>Snímač tlaku</i>	29
5.2	<i>Paměť MRAM</i>	29
5.3	<i>Mikrokontrolér</i>	30
5.4	<i>OLED displej</i>	31
5.5	<i>Zdroj napětí</i>	31
5.6	<i>Detektor Korotkovových zvuků</i>	32
6	<i>Závěr</i>	34
7	<i>Seznam použité literatury</i>	35
8	<i>Seznam použitých zkratk</i>	35

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Průběh tlaku krve.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2 Kolísání tlaku krve v průběhu dne.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3 Definice a klasifikace jednotlivých kategorií krevního tlaku.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4 Laminární a turbulentní proudění.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 5 Měření krevního tlaku palpační metodou.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 6 Průběh tlaku v manžetě (nahore) a oscilací (dole).....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 7 Blokové schéma přístroje pro spojitě měření krevního tlaku.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8 Měření krevního tlaku auskultační metodou.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9 Intenzita Korotkovových zvuků v závislosti na arteriálním tlaku.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 10 Průběh tlaku v manžetě a brachiální tepně při vzniku a zániku Korotkovových ozev.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 11 Průběh tlaku v manžetě při jeho snižování.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 12 Průběh tlaku v manžetě při jeho zvyšování.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 13 Frekvenční spektrum rozložení pohybových artefaktů a Korotkovových zvuků.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 14 Spektrální detekce Korotkovových zvuků a šumů.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 15 Blokové schéma auskultačního měřiče krevního tlaku.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 16 Schéma zapojení snímače tlaku typu MXPV5050GP firmy Freescale.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 17 Schéma zapojení paměti MRAM typu MR2A16 firmy Freescale.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 18 Schéma zapojení mikrokontroléru typu MC9S08QE128 firmy Freescale.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 19 Schéma zapojení OLED displeje 128x64 pixelů firmy Freescale.....</i>	<i>31</i>

<i>Obr. 20 Schéma zapojení zdroje napájení s baterií.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 21 Blokový diagram spektrálního detekčního systému Korotkovových zvuků</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 22 Schéma zapojení filtru.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 23 Blokový diagram logického komprátoru.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 24 Schéma zapojení hradel OR a AND.....</i>	<i>33</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Definice hypertenze podle WHO a ISZ z roku 1999</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2 Rozměry gumového vaku pro různé obvody paže dle American Heart Association.....</i>	<i>24</i>

1 Úvod

Tématem mé práce bude rozebrat jednotlivé metody pro neinvazivní měření krevního tlaku.

Zaměřím se na to, jaké využívají principy pro měření, jaké jsou jejich výhody a nevýhody a také na jejich funkci a přesnost měření.

Na začátku této práce se pokusím objasnit historii měření krevního tlaku a jeho vývoj. Bude také poukázáno na jednotku krevního tlaku a význam měření tlaku krve a na parametry, jež jsou vždy měřeny, jako jsou systolický a diastolický krevní tlak.

Dále se zmíním o hodnotách krevního tlaku a význam jeho hodnot. Přiblížím také hodnoty, jež pro nás znamenají zdravotní problémy jako hypotenze a hypertenze a poukážu na proudění krve v krevním řečišti a změnu jeho proudění.

Čtvrtá kapitola je již věnována jednotlivým metodám neinvazivního měření krevního tlaku. Zde se budu zmiňovat o každé metodě zvlášť a pokusím se objasnit jejich princip měření, pomůcky, jež jsou pro tyto metody nezbytné a techniku správného měření.

V závěru jednotlivé metody budu srovnávat z hlediska jejich funkce, využití, přesnosti a reprodukovatelnosti měření. Po jejich porovnání se bude ještě snažit vybrat metodu, jež je za daných podmínek nejlepší k měření krevního tlaku.

2 Historie měření krevního tlaku

První měření krevního tlaku „krvavou metodou“ provedl Stephan Hals v roce 1769 u koně, kdy se krevní tlak měřil pomocí trubiček zaváděných přímo do velkých cév. První měření krevního tlaku neinvazivní metodou však bylo zavedeno až na konci 19. století. Marey ukázal možnosti neinvazivního měření pomocí svého kymografu (1878). Auskultační metodu poprvé použil Riva Rocci (1896). Riva-Rocciho sfygmomanometr byl schopen měřit systolický krevní tlak. Riva-Rocci již užívá výraz arteriální hypertenze, který byl navržen Huchardem. Riva-Rocciho článek z konce minulého století skrýval několik významných myšlek:

- Z klinického hlediska měříme a posuzujeme hodnoty krevního tlaku ze dvou důvodů. Za prvé chceme poznat sílu, kterou tlačí krev na cévní stěnu a okolní tkáň, což nám umožňuje určit napětí cévní stěny a okolních tkání a podle toho určit možnost cévní ruptury. Za druhé proto, že chceme určit srdeční funkci a její význam na cirkulaci.

- Chceme-li měřit sílu, kterou je schopno vyvinout srdce, můžeme použít různá klinická data, především pulz, arteriální tlak, dechovou frekvenci a množství moče.

Teprve o 9 let později, v roce 1905, popsals Korotkov svou auskultační metodu, a tou bylo možno měřit i tlak diastolický. Korotkov popsals zvuky detekované fonendoskopem na deformované paži pod manžetou. Pojem vysokého krevního tlaku však byl znám již dříve. Za mezník pro klinickou medicínu je považován Johnsův popis tvrdého pulzu (1868) v pokročilém stadiu nefritidy.

V roce 1879 F. A. Mahomed zaznamenal tvrdý pulz u nemocných bez onemocnění ledvin a vyslovil domněnku, že zvýšený krevní tlak je příčinou kardiovaskulárních změn popsanych Brightem, a jako první popsals základní hypertenzi.

Dlouho neexistovala přesná hranice pro vysoký krevní tlak a její hodnoty kolísaly od 120/80 mm Hg (Robinson a Brucer, 1939) do 180/110 mm Hg (Evans, 1956). V roce 1956 definuje P. Wood hypertenzi jako zvýšení bazálního TK nad 145/90 mm Hg a 160/90 mm Hg je nejvyšší hodnota kazuálního krevního tlaku.

Hodnoty 140/90 mm Hg a 160/95 mm Hg jsou pak uvedeny ve směrnících vydaných komisí expertů WHO (World Health Organization) v roce 1959, jsou však doplněny o nové hranice pro izolovanou systolickou hypertenzi, která je definována jako systolický TK > 140 mm Hg a diastolický TK < 90 mm Hg. Podle amerického návrhu z roku 1993 je zaveden i pojem „vysoce normální“ TK 130/80 - 139/89 mm Hg.

Hodnota krevního tlaku se nejprve uváděla v cmH₂O (centimetry sloupce vody), dnes v medicíně výhradně v mm Hg (milimetry sloupce rtuti), nebo v jednotkách Torr, jenž je dřívější název dnešní jednotky mm Hg.

3 Význam krevního tlaku a jeho měření

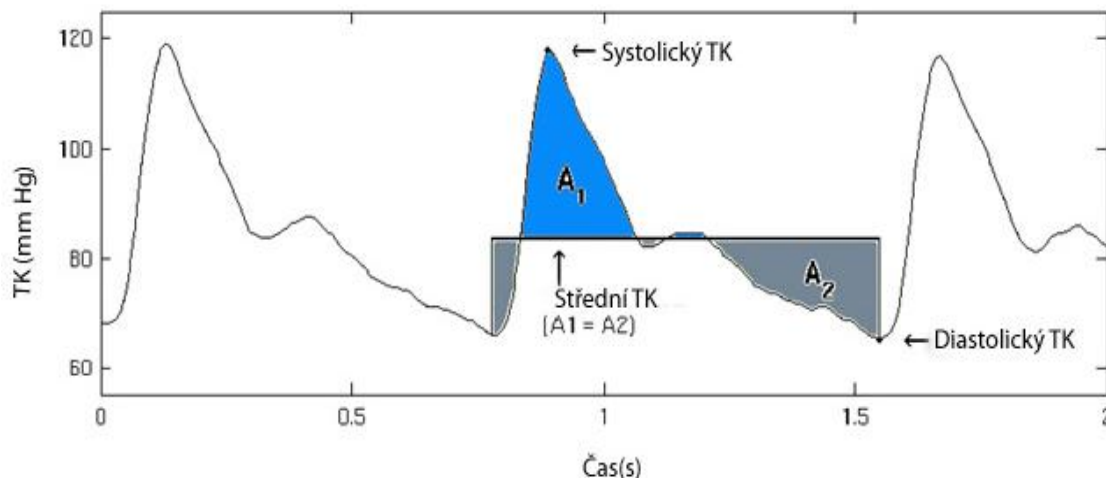
Měření krevního tlaku a pulsu je jedna ze základních vyšetřovacích metod v medicíně. Na jejím základě hodnotíme celkový zdravotní stav pacienta z pohledu hemodynamického, metabolického, eventuálně psychického. Podle výsledků měření stanovujeme preventivní a léčebná opatření.

3.1 Krevní tlak

Krevní tlak je tlak, kterým působí krev na stěnu cévy, kterou protéká. Je vytvářen působením srdce jako krevní pumpy a souvisí se stavbou a funkcemi krevního oběhu. Tento tlak je různý v různých částech krevního řečiště - tlak krve klesá se vzdáleností od srdce. Tlak se zvláště ve velkých cévách mění také v závislosti na čase - nejvyšších hodnot dosahuje ve vypuzovací fázi srdeční akce (systolický tlak), nejnižších ve fázi plnění srdečních komor (diastolický tlak).

Krevní tlak kolísá mezi dvěma extrémy: systolickým (horní, tlak na konci systoly) a diastolickým tlakem (dolní, tlak na konci diastoly).

A jak můžeme vidět z obrázku obr.1, je systolický tlak krve brán jako nejvyšší naměřená hodnota a diastolický tlak krve jako nejnižší naměřená hodnota. V obrázku obr.1 je uveda i hodnota praktického středního tlaku, jenž je brán jako průměrná hodnota systolického a diastolického tlaku. Tato hodnota ale je jen orientační. Průběh byl naměřen na levé paže v úrovni srdce, na brachiální tepně.



Obr. 1 Průběh tlaku krve

Tyto hodnoty jsou důležité pro diagnostiku i řízení léčby některých onemocnění. Dále se mimo hodnot systolického a diastolického krevního tlaku používají i hodnoty střední arteriální tlak, tedy tlak ve velkých tepnách, a pulsní tlak.

Střední arteriální tlak krve můžeme vypočítat ze vztahu

$$MAP = \frac{SBP - DBP}{3} + DBP \quad [\text{mm Hg}], \quad (1.1)$$

Rozdíl mezi hodnotami systolického a diastolického tlaku se nazývá **tlaková amplituda**, nebo také pulsový tlak a můžeme je vypočítat jako:

$$PPM = SBP - DBP \quad [\text{mm Hg}], \quad (1.2)$$

kde jsou:

- SBP - systolický tlak (systolic blood pressure),
- DBP - diastolický tlak (diastolic blood pressure),
- MAP - střední arteriální tlak (mean arterial pressure),
- PPM - pulsový tlak (pulse pressure mean).

Další hodnoty krevního tlaku, jenž se používají, se rozlišují dle místa, kde je měříme. Hodnoty tlaku centrálního a tlaku periferního.

- centrální tlak lze měřit pouze invazivně přímo v srdečních komorách,
- periferní tlak měříme obvykle manžetou na levé paži.

3.1.1 Jednotka tlaku krve

Pro hodnoty krevního tlaku byla zpočátku zvolena jednotka cm H₂O – centimetry sloupce vody. V současnosti se v medicíně pro krevní tlak užívá jednotky mm Hg – milimetry sloupce rtuti, a nebo také jednotka Torr. Voda byla nahrazena rtutí proto, že má větší hustotu. A to asi 14 krát. Sloupec rtuti v tlakoměru vystoupal do menší výšky, než tomu bylo při použití vody. Tudíž

postačí menší rozměry tlakoměrů, než by tomu bylo v případech použití vody, a to je taky jeden z důvodů používání rtuti. Rtuť je tedy využívána pro své fyzikální vlastnosti (hustota 13 595 kg.m⁻³ při 0°C, kapalný stav při pokojové teplotě).

Dle platné soustavy jednotek SI, je pro tlak platná jen jednotka Pa – pascal. Snaha byla zavést tuto jednotku i pro měření krevního tlaku, případně jednotku kPa, avšak bez účinku. Jednotku se nepodařilo prosadit z toho důvodu, že odborná literatura zabývající se krevním tlakem již řadu let používá jednotku mm Hg (torr). Hodnoty v těchto jednotkách již odborníků leccos říkají, než by tomu tak bylo při používání jednotek Pa.

Tlak 1 torr je roven hydrostatickému tlaku vyvolanému 1mm sloupcem rtuti.

Platí: 1 torr = 1 mm Hg \approx 133,322 Pa,

a při porovnání s normálním atmosférickým tlakem také platí : 1 atm = 101325 Pa = 760 torr = 760 mmHg.

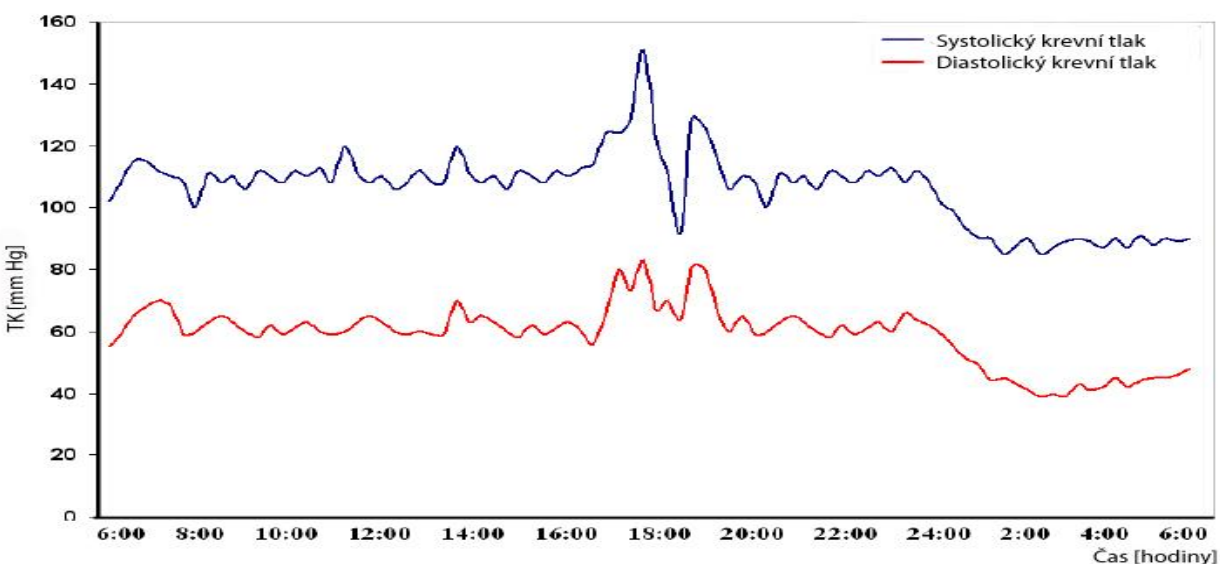
3.1.2 Závislost tlaku krevního

Krevní tlak je závislý na mnoha faktorech. Mezi základní patří:

- minutový srdeční výdej – množství vypuzené krve ze srdce za jednu minutu. Je dán tepovou frekvencí a objemem vypuzené krve během systoly (cca 70ml),
- elasticita arteriálních stěn – krev vypuzená z levé komory roztáhne stěnu aorty,
- periferní cévní resistance – cévy, regulující přítok krve k orgánům,
- viskozita krve – viskozita je odpor kapaliny, kterým kapalina působí proti síle snažící se ji uvést do pohybu.

Jednotlivé kombinace těchto faktorů poskytují různé hodnoty krevního tlaku (tab. 1), a to i při nezměněných vlastnostech organismu. Z těchto důvodů musí být podmínky měření TK pro klinickou praxi i výzkum striktně definovány.

Krevní tlak je důležitá veličina, která odráží stav homeostázy organismu, a je proto důležitou součástí lékařského vyšetření. Je to parametr, který je ovlivňován podněty ze zevního i vnitřního prostředí, výrazně kolísá v průběhu celého dne, závisí na stavu bdělosti i na fyzické či psychické zátěži.

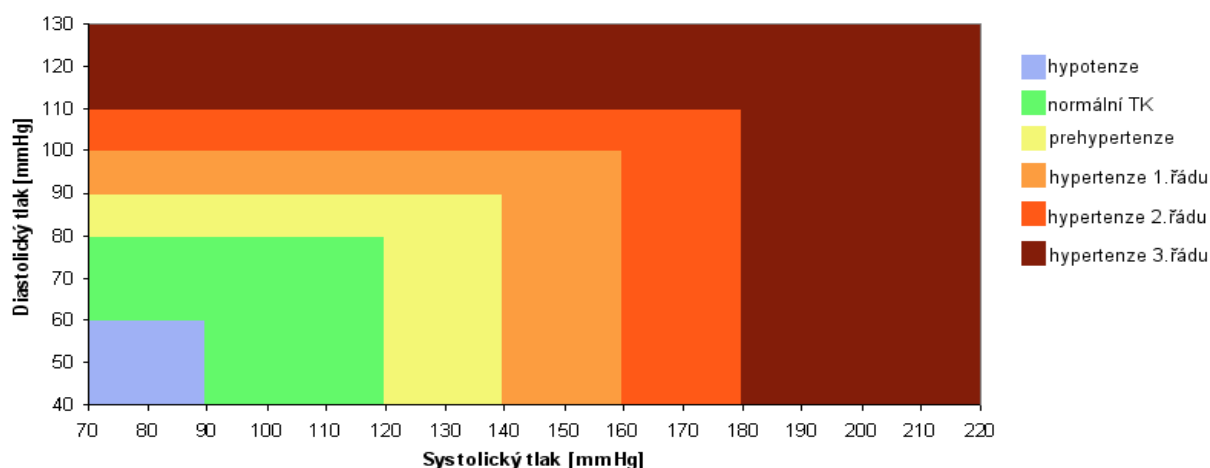


Obr. 2 Kolísání tlaku krve v průběhu dne

TK kolísá v průběhu dne, dokonce při každém tepu naměříme jinou hodnotu v závislosti na fyzickém a psychickém stavu člověka. Na obrázku obr. 2 je závislost krevního tlaku na denní době, kde modrý průběh znázorňuje hodnoty systolického tlaku krve a červený průběh hodnoty diastolického krevního tlaku. obrázku obr.2, z kterého je patrné, že tlak výrazněji poklesne v době spánku, který je obvyklý v čase od 24:00 do 6:00. Naopak v odpoledních hodinách je tlak krve vyšší, kdy už je fyzická a psychická zátěž značně větší než v ranních hodinách a v době spánku.

3.1.2 Hodnoty tlaku krevního

Hodnota krevní tlaku se udává jako zlomek *systolický tlak / diastolický tlak* (např.: 120/80 mmHg).



Obr. 3 Definice a klasifikace jednotlivých kategorií krevního tlaku

Zdroj: National high blood bressure education program USA <http://www.nhlbi.nih.gov/index.htm>

Z obrázku obr.2 je patrné, při jakých rozmezích hodnot systolického a diastolického tlaku mohou nastat výše zmíněná „skrytá“ kardiovaskulární onemocnění jako jsou hypotenze (hodnoty dle obr.2 70-90/40-60mm Hg), hypertenze 1.řádu (140-160/90-100mm Hg) a dále hypertenze 2. a 3.řádu. Ale také zde můžeme vidět rozmezí hodnot normálního krevního tlaku (90-120/60-80mm Hg).

3.1.2.1 Hypotenze

Hypotenze - nízký krevní tlak (arteriální hypotenze) nastává tehdy, pokud jsou hodnoty systolického tlaku krve dlouhodobě pod 100/65 mm Hg. Nízký krevní tlak má za následek snížení prokrvení tkání a orgánů lidského těla. Průvodním jevem nízkého tlaku jsou závratě, potivost, pocit chladu.

3.1.2.2 Hypertenze

Hypertenze - vysoký krevní tlak (arteriální hypertenze) nastává tehdy, pokud systolický arteriální tlak opakovaně dosahuje hodnot nad 140/90 mm Hg. Při dlouhodobém vysokém tlaku

jsou ohroženy cévy, srdce a další orgány a tento stav je třeba léčit. Systolický tlak je závislý na věku a s věkem se může zvyšovat běžně až k 150 mm Hg.

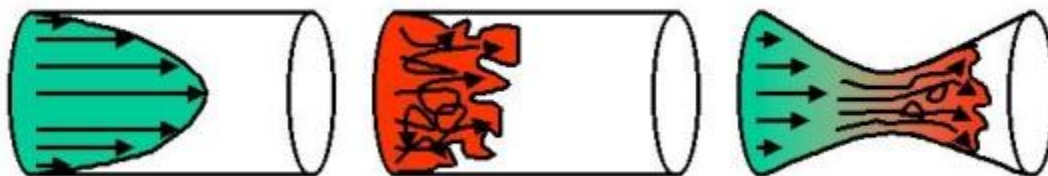
Za arteriální hypertenzi považujeme opakované zvýšení TK nad 140/90 mm Hg, prokázané alespoň u dvou ze tří měření pomocí auskultační metody (v klinickém prostředí). Tato definice vychází z kritérií WHO/ISH. Klasifikaci závažnosti hypertenze podle výše TK ukazuje tabulka tab. 1.

Tab. 1 Definice hypertenze podle WHO a ISZ z roku 1999

Kategorie	Systolický TK (mm Hg)	Diastolický TK (mm Hg)
NORMOTENZE		
optimální TK	< 120	< 80
normální TK	< 130	< 85
normální vyšší TK	130-139	85-89
HYPERTENZE		
mírná	140-149	90-94
podskupina: hraniční	140-159	90-99
středně závažná	160-179	100-109
těžká	> 180	> 110
izolovaná systolická	> 140	< 90
podskupina: hraniční	140-149	< 90

3.2 Proudění krve – laminární a turbulentní

Principy měření tlaku krve jsou založeny i na vlastnostech proudění krve v artérii. Nebudeme-li se zabývat nehomogenitou části artérie pod manžetou, proudění se postupně mění z laminárního na turbulentní vlivem rostoucí rychlosti, průměru artérie, hustotou a vlivem klesající viskozity krve.



Obr. 4 Laminární a turbulentní proudění

Na obrázku obr. 4 můžeme vidět laminární proudění (vlevo), turbulentní proudění (uprostřed) a změnu laminárního proudění v turbulentní, při změně průměru artérie (vpravo).

3.2.1 Laminární proudění

Laminární proudění je, když proudnice vazké kapaliny jsou rovnoběžné a nemění se, obr.4 vlevo. Částice kapaliny se pohybují vedle sebe jakoby ve *vrstvách* - „destičkách“ (destička = lat. *lamina*), které se vzájemně nepromíchávají → laminární neboli *vrstevnaté proudění*. Mezi jednotlivými vrstvami se předpokládá existence vnitřního tření.

Proudění vazké kapaliny v úzkých trubicích (tepny, žíly, cévy) lze při nízkých rychlostech považovat za laminární.

3.2.2 Turbulentní proudění

Turbulentní proudění je vzniká tehdy, když se proudnice vazké kapaliny navzájem promíchávají, obr. 4 uprostřed. Částice kapaliny při proudění vykonávají kromě posouvání i složitý vlastní pohyb, který vede ke vzniku vírů (*bouřit* = lat. *turbo*). Rychlosti jednotlivých částic kapaliny se nepravidelně mění, částice nemají ve všech místech neměnnou rychlost, proudění tedy není stacionární.

3.3 Měření TK

Krevní tlak je veličinou, která bývá velice často měřena - nejčastěji v ordinaci lékaře. Naměřené hodnoty označujeme jako příležitostný tlak. Tento příležitostný tlak bývá obvykle vyšší než hodnoty tlaku naměřené mimo ordinaci a neodráží vždy pacientův obvyklý průměrný tlak. Krevní tlak měříme proto, protože krevní tlak je dobrým indikátorem stavu kardiovaskulárního systému.

Krevní tlak můžeme měřit dvěma zásadními způsoby:

- invazivně,
- neinvazivně.

3.3.1 Přímé měření tlaku krevního

Pro přímé (invazivní) měření krevního tlaku je charakteristické, že snímač je přímo spojen s krevním oběhem pacienta. Přímý přístup do krevního systému se provádí pomocí katétru – to je tuhá, úzká ohebná trubička (teflon, délka několik cm až 1 m). Snímač tlaku je umístěn:

- vně těla pacienta,
- přímo v krevním řečišti (méně časté, experimentální měření).

3.3.2 Nepřímé měření tlaku krevního

Při nepřímém (neinvazivním) měření krevního tlaku je snímač umístěn vně těla pacienta, bez přímého spojení s krevním řečištěm.

Nepřímé měření krevního tlaku a jednotlivé metody si více přiblížíme a rozebere v kapitole 4.

3.3.3 Syndrom bílého pláště

Jak již bylo zmíněno, krevní tlak se nejčastěji měří ve zdravotnickém zařízení, v ordinaci lékaře. Takto naměřené hodnoty označujeme jako příležitostný, kauzální krevní tlak. Pro mnoho jedinců je to prostředí stresující, a proto naměřené hodnoty nemusí odpovídat skutečnosti, obvykle jsou vyšší než TK měřený mimo zdravotnické zařízení. Syndrom bílého pláště se tedy projevuje zvýšením krevního tlaku, které je vyvoláno stresem při přítomnosti zdravotníka (lékaře nebo sestry) – tedy osoby v bílém plášti.

3.3.4 Technika měření tlaku krevního

Nepřímé měření TK je jednoduché a dostatečně přesné, musí být ale měřeno správně. Měření krevního tlaku je standardizováno tak, aby bylo za všech okolností měření snadno opakovatelné a naměřené hodnoty krevního tlaku naměřené různými vyšetřujícími osobami vždy srovnatelné. Standardně se měření tlaku krve provádí v sedě po 5-10 minutovém uklidnění, v místnosti s optimální teplotou. Vyšetřovaná osoba by při měření TK neměla mluvit, protože při hovoru dochází ke zvyšování TK. Manžetu upevníme na volnou paži tak, aby dolní okraj manžety byl asi 1-2 cm na loketní jamkou. Manžeta by neměla paži příliš zaškrcovat a ani by neměla být příliš volně. Vyšetřovaná osoba sedí u stole, kde je umístěn tonometr a paži má volně položenou na stole. To zajistí, že je paže vyšetřované osoby přibližně v úrovni srdce. Krevní tlak při prvním vyšetření změříme na obou pažích a při dalších kontrolách už jen na té paži, kde byl změřen vyšší TK. Rozdíl krevního tlaku do 10 mm Hg, mezi oběma pažemi, je považován za fyziologický. Optimálně opakujeme měření třikrát s intervalem, mezi jednotlivými měřeními, 1-2 minuty. Jako výslednou hodnotu poté vezmeme průměr druhého a třetího měření.

4 Nepřímé měření tlaku krevního

Nepřímé, nebo také neinvazivní měření krevního tlaku krve je nejpoužívanější metodou pro zjišťování krevního tlaku. Metody měření krevního tlaku lze rozdělit do několika systémových skupin. Liší se způsobem měření, lokalizací místa měření, dosaženými výsledky i jejich přesností. Z hlediska doby měření, ať už spojitě nebo nespojitě, můžeme rozlišovat měření krátkodobá a dlouhodobá.

Neinvazivní metody měří krevní tlak bez zásahu do oběhového tělního systému. Omezují, popř. zastavují na určitou dobu, průtok krve v měřené tkáni pomocí manžety fixované na končetině. Mohou měřit charakteristické hodnoty krevního tlaku, některé navíc pulsovou vlnu. Měření lze provádět pouze na přístupných místech krevního řečiště (na končetinách: stehnu, předloktí, prstu).

Historicky první neinvazivní metody měření krevního tlaku a dnes technicky méně náročné se nazývají nespojitě. Pomocí nespojitých metod měření dokážeme stanovit charakteristické hodnoty (systolické, střední, diastolické) krevního tlaku. Pro nespojitě měření je typické omezení průtoku krevním řečištěm po dobu několika srdečních akcí pomocí okluzivní manžety.

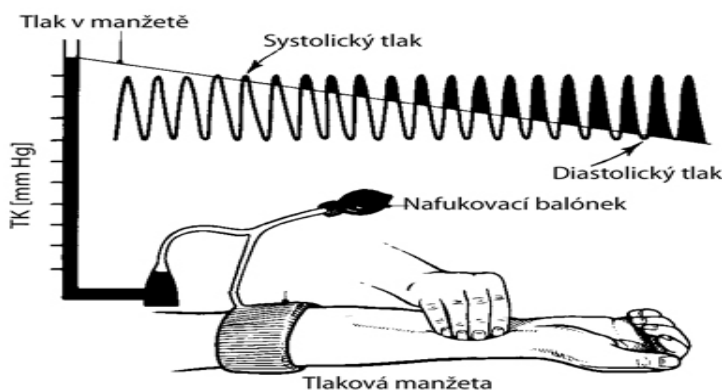
Naopak spojitě měření krevního tlaku poskytuje informaci o okamžité hodnotě pulsové vlny. Pulsová vlna bývá snímána jak invazivně, tak neinvazivně pomocí snímačů tlaku a je převáděna na elektrický analogový signál. I když je snímán analogový signál následně jakkoliv diskretizován, označujeme měřící metodu jako spojitou.

Pro nepřímé měření krevního tlaku můžeme použít následujících metod:

1. Palpační metoda,
2. Oscilometrie,
3. Sledovač krevního tlaku – spojitě nepřímé měření krevního tlaku,
4. Auskultační metoda.

4.1 Palpační metoda měření tlaku krevního

Při měření palpační metodou vyhmatáme tep na a. radialis (vřetení tepna) na paži s manžetou. Balónkem nafukujeme manžetu a sledujeme přítom rtuť v manometru. Výšku sloupce rtuti odečteme v okamžiku, kdy tep přestaneme cítit. Tlak, který bude v tu dobu manometr ukazovat je systolický krevní tlak. Palpační metoda je sice velice jednoduchá, ale velmi nespolehlivá a jednoduše nepřesná. Tato metoda by měla být využívána pouze jako doplňující klinický parametr. Na obrázku obr. 5 můžeme vidět měření palpační metodou, kde je použita tlaková manžeta, nafukovací balónek s ventilem pro postupné snižování tlaku a rtuťový manometr. Pro detekci Korotkovových zvuků zde sloučí prsty, které jsou přiloženy u zápěstí.



Obr. 5 Měření krevního tlaku palpační metodou

Zdroj: www.med.muni.cz/patfyz/practic/prezentace/tk_MM.pdf

4.1.1 Výhody a nevýhody palpační metody

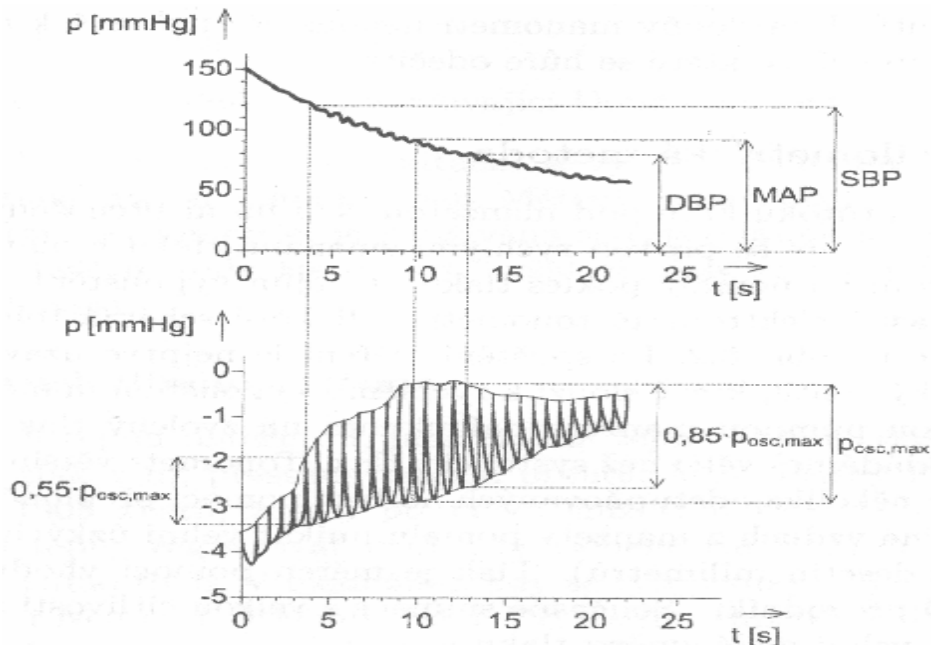
Kladem této metody je jedině snad její jednoduchost a malý počet používaných přístrojů. Způsob měření touto metodou ale má velký počet nevýhod. Těmi jsou například přesnost měření, jenž se může pohybovat v řádu až desítek mm Hg. Dále pak velmi nepřesná detekce systolického a diastolického krevního tlaku. Proto se tato metoda využívá jen jako doplňková.

4.2 Oscilometrie

Při oscilometrii se také používá manžeta, ale tak, že se na manžetu přenáší vibrace arteriální stěny, které vyvolá laminárně proudící krev přes část deformované artérie. Tyto vibrace jsou poté snímány. Je možné využívat systémy s:

- jednou manžetou,
- více manžetami.

Uvolňováním okluze se obnovuje průtok tepnou a objevují se oscilace. Intenzita oscilací dále stoupá, až dosáhnou svého maxima, což je střední arteriální krevní tlak (MAP). Následuje pokles oscilací tepny. Diastolický TK je odvozen z hodnoty systolického a středního arteriálního TK, a proto nemusí být zcela přesný. Vysoko nad hranicí systolického krevního tlaku se objem paže nemění a tím se nemění ani tlak v manžetě.



Obr. 6 Průběh tlaku v manžetě (nahore) a oscilací (dole)

Zdroj: http://gerstner.felk.cvut.cz/biolab/X33BMI/slides/FABIAN_Mereni_krevniho_tlaku.ppt.

Manžeta je plněna vzduchem nad hodnotu systolického tlaku a poté postupně vypouštěna rychlostí 2 mm Hg/s, obr.8 horní graf. Při průběžném snižování tlaku v manžetě se pomocí filtru horní propust s mezním kmitočtem 1 Hz vyhodnocují amplitudy jednotlivých postupně narůstajících kmitů, obr. 8 dolní graf.

Předpokladem je, aby hodnota tlaku v manžetě v okamžiku detekce maximálních oscilací O_m byla rovna střednímu arteriálnímu tlaku (MAP). Systolický a diastolický krevní tlak byl stanoven pevným poměrem vůči maximálním oscilacím úměrným střednímu arteriálnímu tlaku.

Systolickému krevnímu tlaku je rovna narůstající oscilace o velikosti:

$$O_s = 0.55 \cdot O_m \text{ [mm Hg]}.$$

Podobně diastolickému krevnímu tlaku je rovna klesající oscilace o velikosti:

$$O_d = 0.85 \cdot O_m \text{ [mm Hg]}.$$

To znamená, že systolický krevní tlak leží přibližně 55% před maximem oscilací a diastolický krevní tlak leží asi 85% za maximem oscilací.

4.2.1 Holterovská měření krevního tlaku

Holterovská měření krevního tlaku využívají téměř vždy oscilometrickou metodu a měří krevní tlak i tepovou frekvenci obvykle po dobu 24 hodin. Na obrázku obr.2 můžeme vidět, jak krevní tlak kolísání před 24 hodinovým měření, obdobné měření provádí i tlakový holter. Tato měření umožňují zachycovat změny tlaku v časovém horizontu desítek minut až dvou hodin.

Kladem je dobrý průkaz anamnesticky udávaných změn, které při jednorázovém vyšetření nemusí být zachyceny.

Holterovské systémy sledují a zaznamenávají hodnoty do interní paměti v pravidelně stanovených intervalech, nejčastěji 5 minutových až 2hodinových s možností různého nastavení v denní a noční době. Tato měření jsou účinná v potlačování syndromu bílého pláště, jenž může v ordinaci lékaře značně ovlivnit výsledné hodnoty krevního tlaku.

4.2.2 Fuzzy logic system

Je to nová technologie v oscilometrickém měření, kterou využívají digitální měřiče krevního tlaku. Tato metoda nám umožňuje velice přesné a citlivé měření TK. Přesnost tohoto měření je $\pm 3\text{ mm Hg}$ (torr), což je hodnota, která není reálně dosažitelná běžným měřením TK pomocí rtuťového tlakoměru a fonendoskopem (sluchátky), lidský sluch (v uších lékaře) takovou přesnost nezměří [11].

Fuzzy logic systém je tzv. systém inteligentního měření. Přístroje s tímto systémem inteligentního měření pracujícím na principu přesného dofouknutí manžety na základě průběžného odhadu tlaku krve. To nám zkracuje dobu měření a navíc tento systém šetří manžetu i baterie měřiče krevního tlaku.

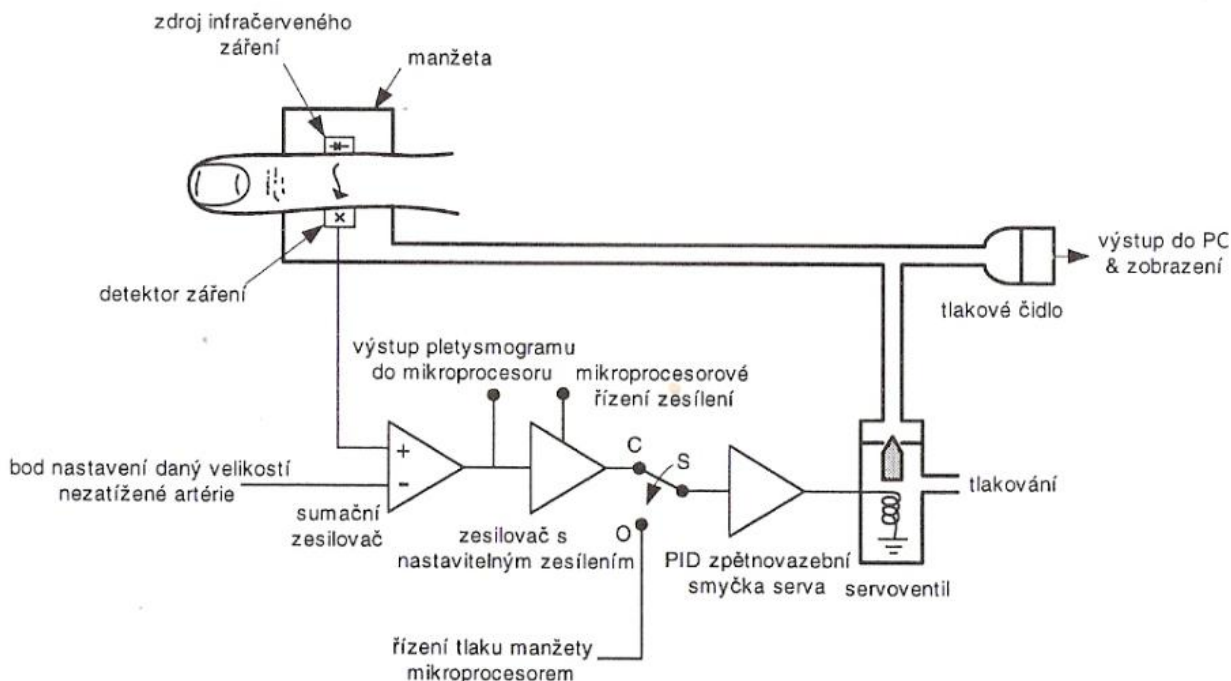
4.2.3 Výhody a nevýhody oscilometrických metod

Přesnost komerčních oscilometrických přístrojů uváděná jako $\pm 3\text{ mm Hg}$ nebývá často dodržována. Z experimentálních měření bylo vyzorováno, že čím více se hodnoty krevního tlaku a tepové frekvence vzdalují od normálu, tím větší bývají i odchylky jednotlivých měření (až 10mm Hg). Oproti snímání zvuků mikrofonom zde není zásadní přesná fixace manžety, čímž je metoda velmi jednoduchá na obsluhu. Navíc není citlivá na okolní hluk, při měření je třeba udržovat končetinu ve svalovém klidu.

Digitální měřiče krevního tlaku se systémem fuzzy logic již dokáží být velice přesné. Jejich přesnost se pohybuje kolem $\pm 3\text{ mm Hg}$.

4.3 Sledovač tlaku krevního – spojitě nepřímě měření TK

Spojitě nepřímě měření krevního tlaku je metoda, která vychází z patentu Prof.MUDr.Peňáze. Tato metoda zajišťuje při měření pulsové vlny, na rozdíl od metod využívajících okluzivní manžetu, alespoň minimální průtok krve měřenou částí těla. Měření je díky tomu možno provádět delší dobu, řádově v hodinách. Princip měření vychází z předpokladu, že okamžitá hodnota vně působícího tlaku (např. na prst v pletysmografické manžetě, obr.9) je rovna okamžité hodnotě arteriálního tlaku a tedy kopíruje tlakovou arteriální vlnu pod manžetou a artérie pod manžetou nebude měnit svůj objem. Tehdy na stěnu působí nulový tlak procházející celou stěnou. Za těchto podmínek i fotoelektrický spoj v pletysmografu měřící průsvit artérií, která nemění svůj objem, musí vykazovat konstantní hodnotu průsvitu [2]. Na obrázku obr. 9 můžeme vidět blokové schéma takového měřiče tlaku pro spojitě nepřímě měření krevního tlaku.



Obr. 7 Blokové schéma přístroje pro spojitě měření krevního tlaku

Zdroj: ROZMAN, J. a kolektiv. Elektronické přístroje v lékařství. Praha: Academia, 2006

Při této metodě měření krevního tlaku se využívá fotoelektrický plethysmograf, umístěný uvnitř prstové manžety, který snímá změny v objemu krve pod manžetou, na základě přenosu světla přes prst. Využívá se infračerveného (940nm) spoje plethysmografu, jehož konstantní průsvit je výchozím stabilním stavem zpětnovazebního systému přístroje. V případě změny arteriálního tlaku, vzrůstu vlivem počínající systoly, vzrůstá rozdíl mezi arteriálním tlakem a tlakem v manžetě. Céva se snaží rozšiřovat, což se projevuje snížením průsvitu infraspojem.

Oproti původnímu stavu se začne budit mikroprocesor, který zvyšuje tlak v manžetě tak dlouho, dokud jej nevyrovná s okamžitým arteriálním tlakem. Tehdy okamžitá hodnota tlaku v plethysmografické manžetě udává okamžitou hodnotu arteriálního tlaku v prstu pod manžetou [2].

4.3.1 Výhody a nevýhody sledovače tlaku krevního – spojitěho nepřímého měření TK

Spojitě měření nepřímou metodou není ještě zcela vyřešeno a je tedy docela problematické. Značnou nevýhodou této metody je, že je velmi citlivá na pohyby a na vazokonstrikčnosti (zuzování cév) prstu, kdy není dostatečné prokrvení tkáně pod manžetou [2]. Výhodou metody spojitěho nepřímého měření krevního tlaku je, že měření můžeme provádět po delší dobu, než je tomu u jiných okluzivních metod. Zde je totiž zajištěn minimální průtok krve částí těla (prstu), jenž měříme. Navíc je tato metoda velice přesná u pacientů v klidu a v anestezii.

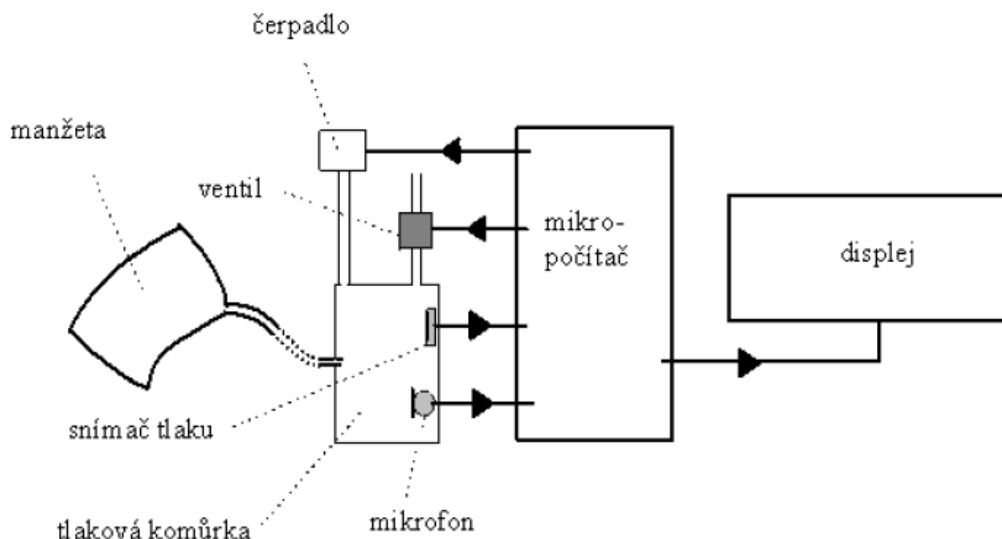
4.4 Auskultační měření tlaku krevního

Auskultační metoda je diagnostickým standardem v kardiologii. V nejjednodušším případě je k celému měření potřeba sphygmomanometr, manžeta nafukovaná balónkem, aneroidní nebo

rtuťový měřič tlaku a fonendoskop. Ale při automatickém měření se používá manžeta, která je nafukována vzduchovou pumpou a ovládána ventilem pro postupné vypouštění. Dále se používají snímač tlaku a mikrofon. Snímač tlaku měří tlak v manžetě, který nám udává hodnotu tlaku krevního. Mikrofon slouží místo fonendoskopu pro detekci Korotkovových zvuků a teda správnému určení tlaku systolického a tlaku diastolického. Na rozdíl od klasického měření nejsou u automatického měření krevního tlaku kladeny žádné nároky na obsluhu. Manžeta se obvykle fixuje na horní části paže v úrovni srdce. Zapojení, které je na obr. 8, funguje jako automatický měřicí přístroj, kde je použit jako tlakový senzor snímač tlaku, mikrofon pro detekci Korotkovových zvuků a vše je ovládáno pomocí mikropočítače. Měření probíhá v krocích, které automaticky řídí mikroprocesor.

Touto metodou můžeme měřit krevní tlak jak při postupném snižování tlaku v manžetě (obr.11), tak i při postupném zvyšování (obr.12). Při postupném zvyšování tlaku v manžetě nastavíme nižší tlak, než předpokládaný diastolický a poté se manžeta nafukuje, než detekujeme první slyšitelné šelesty. Hodnota tlaku poté odpovídá hodnotě diastolického krevního tlaku. Při postupném snižování tlaku je problém hlavně v tom, že se začíná měřit na velmi malém signálu a navíc je nutné odfiltrovat šum vznikající při tlakování manžety.

V praxi se ale častěji používá rychlé zvýšení tlaku v manžetě a jeho postupné snižování. Tato metoda je technicky jednodušší, ale náročnější pro pacienta, protože dopředu nevíme, jak moc je nutné manžetu natlakovat. Je tedy nutné manžetu přefouknout, aby bylo zajištěno, že opravdu došlo k překročení systolického krevního tlaku. Přefouknutí je často až moc zbytečné, což je nepohodlné pro pacienta.

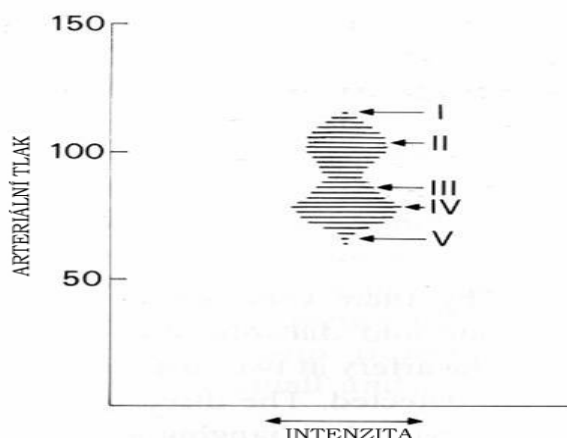


Obr. 8 Měření krevního tlaku auskultační metodou

Během měření se zvyšuje tlak v manžetě pomocí vzduchového čerpadla (kompresoru) nad hodnotu systolického tlaku. Takovýto tlak v manžetě nám způsobí takovou deformaci paže, která bezpečně uzavře průtok krve částí ruky, nacházející se pod manžetou. Nyní se postupně snižuje tlak v manžetě a mikrofonem se detekuje částečné obnovení průtoku krve. To nastává, když se tlak v manžetě blíží hodnotě systolického tlaku. Jelikož je nyní krevní řečiště deformované, dochází v něm k turbulentnímu proudění, jenž má za následek vzniku charakteristických zvuků, které mají opakovací frekvenci stejnou s frekvencí tepovou. Jedná se o Korotkovovy zvuky. Ty přechází přes své maximum a dále klesají do úplného vymizení.

4.4.1 Korotkovovy zvuky

Jak již bylo zmíněno, Korotkovovy zvuky nastávají při turbulentním proudění krve ve zdeformovaném krevním řečišti, za snižování tlaku v manžetě na hodnotu systolického tlaku. Hodnota tlaku, při které se poprvé zvuk objevuje, charakterizuje maximální tlak, který vzniká při každém srdečním stahu a odpovídá systolickému tlaku krve (obr.10 bod I.). Tlak, kdy je poslední slyšitelný tón, označujeme jako diastolický TK (obr. 10 bod V.).



Obr. 9 Intenzita Korotkovových zvuků v závislosti na arteriálním tlaku

Korotkov definoval 5 fází (obr.10), kdy při proudění krve v tepně vznikají tóny různé hlasitosti a kvality. Systolický TK odečítáme v 1. fázi, diastolický TK poté odečítáme v 5. fázi.

Fáze 1: první jasný tón, když tlak poklesne na hodnotu systolického TK. Zvuky jsou slabé a rychle zvyšují intenzitu. Znovu se objevuje hmatný pulz.

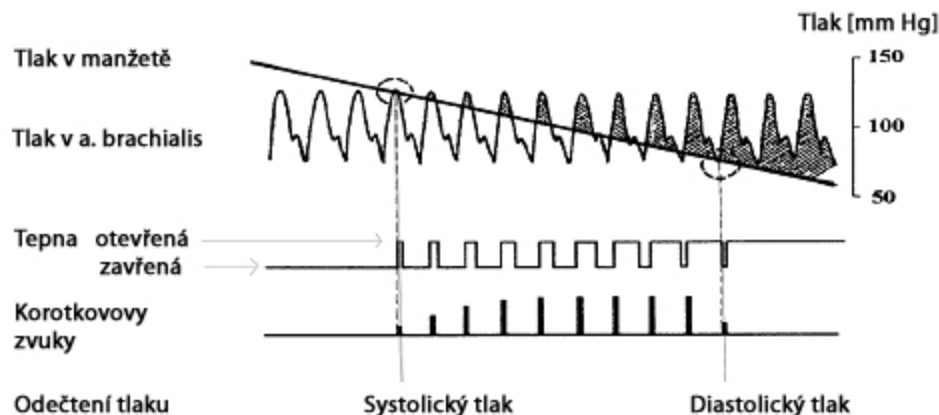
Fáze 2: tóny nabývají charakter šelestu, jsou delší a tlumenější.

Fáze 3: tóny jsou hlasitější a ostré a šelest střídá zvuk, který postupně zesiluje. Hlasitost dosahuje maxima.

Fáze 4: nastává oslabení tónů, které jsou tlumené, méně zřetelné a měkké.

Fáze 5: tlak v manžetě poklesne tak, až zcela zvuky vymizí. Hodnotu tlaku, kdy vymizí zvuky, charakterizuje hodnotu blízkou diastolickému TK.

Obnova laminárního proudění má za následek vymizení zvuků. Ale pokud je v krevním řečišti nějaká překážka, nemusí nastat plné obnovení laminárního proudění a zvuky nevymizí úplně.



Obr. 10 Průběh tlaku v manžetě a brachiální tepně při vzniku a zániku Korotkovových ozev

Zdroj: www.med.muni.cz/patfyz/practic/prezentace/tk_MM.pdf

Z obrázku obr. 10 můžeme vidět stanovení systolického tlaku, při vzniku prvních šelestů a určení tlaku diastolického při jejich zániku. Z obrázku obr.10 je také patrné, jak jsou Korotkovovy zvuky postupně silnější a poté zase postupně slábnou, až do úplného vymizení.

Při automatickém měření krevního tlaku auskultační metodou, se používají jako měřicí pomůcky okluzivní manžetu, snímač tlaku a mikrofon. Tyto pomůcky mohou výrazně ovlivnit měření, pokud je nesprávně použijeme nebo nesprávně zvolíme jejich typ (např.: rozměr manžety).

4.4.2 Mikrofon

V automatickém měřicím systému nahrazuje mikrofon fonendoskop, který se používá při manuálním měření krevního tlaku a slouží k detekci Korotkovových zvuků. Zde se při detekci prvních Korotkovových zvuků sepne snímač tlaku a začne se zaznamenávat hodnota krevního tlaku.

Mikrofony jsou určeny k přeměně akustické energie (zvuků) na energii elektrickou, kterou lze dále zpracovat. Mají podstatný vliv na výslednou kvalitu signálu a volba správného mikrofonu je tedy důležitá. Je třeba, aby byl mikrofon schopen snímat zvuky ve frekvenčním rozsahu 0 - 200Hz. Dále by měl mikrofon mít co možná nejmenší elektrický šum, který vzniká vinou konstrukce nebo nedokonalostí mikrofonu. Mikrofon by také měl mít co možná nejvyšší citlivost, což je hodnota, která určuje odstup užitečného signálu od šumu. Potom se nemusí signál tolik zesilovat.

4.4.3 Snímač tlaku

Snímač tlaku slouží k určení hodnoty tlaku v nafouknuté manžetě, která je připevněna na levé paži měřené osoby. V klasickém měřicím systému sloužil pro určení hodnoty tlaku v manžetě rtuťový manometr se stupnicí, z které jsme museli hodnotu odečíst. Snímač tlaku měří hodnotu tlaku sám, čímž nedochází k chybě v důsledku špatného odečtení hodnoty.

Je důležité, aby měl snímač tlaku vhodný tlakový rozsah (0 – 50kPa), co nejmenší maximální chybu měření a taky vysokou citlivost.

4.4.4 Manžeta

Volba manžety zásadně ovlivňuje přesnost měření. Manžeta je pevná textilie, uvnitř které je gumový vak, který rozhoduje o velikosti manžety. Manžeta musí být tak velká, aby šířka gumového vaku odpovídala 40% obvodu paže a délka gumového vaku by měla odpovídat 80% obvodu paže u dospělého a 100% obvodu paže u dětí. Správná velikost manžety je důležitá pro získání správných hodnot TK. Při použití příliš malé manžety naměříme hodnoty TK falešně vyšší a naopak při použití široké manžety na hubenou paži naměříme hodnoty TK falešně nižší.

Aby se předešlo těmto falešným hodnotám TK, jsou stanoveny a přesně definovány rozměry manžet, použitelných na různě velké obvody paží, jak můžeme vidět v tabulce tab. 2.

Vypouštění manžety, při postupném snižování tlaku, by mělo být rychlostí 2 mm Hg/s. Pomalejší vypouštění vede k zatěžování neprokrvované tkáně, při rychlejším vypouštění se obtížně detekují počínající a zanikající Korotkovovy zvuky, čímž dochází ke stanovení systolického tlaku chybně nižšímu a diastolickému chybně vyššímu. Správná manžeta je volena z poměru její šířky ku obvodu paže v měřeném místě. Experimentálně byl zjištěn a ověřen poměr 0.4, který se jeví jako ideální.

Tab. 2 Rozměry gumového vaku pro různé obvody paže dle American Heart Association

Typ manžety	Obvod paže (cm)	Délka gumového vaku (cm)	Šířka gumového vaku (cm)
Novorozenecké	< 6	6	3
Kojenecká	6-15	15	5
Dětská	16-21	21	8
Dospělá malá	22-26	24	10
Dospělá	27-34	30	13
Dospělá velká	35-44	38	16
Dospělá stehenní	45-52	42	20

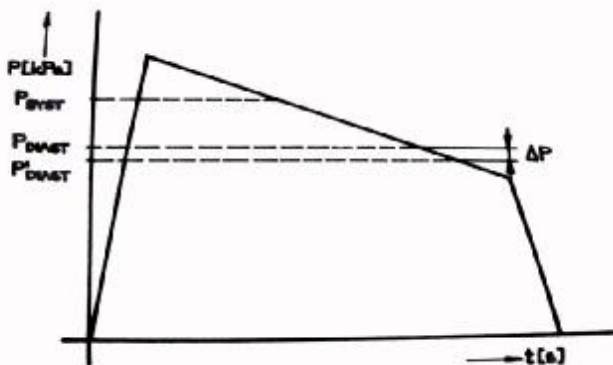
4.4.5 Průběh tlaku v manžetě

Měření krevního tlaku pomocí manžetě lze provádět dvěma způsoby. Měření může provádět při:

- snižování tlaku v manžetě,
- zvyšování tlaku v manžetě.

4.4.5.1 Měření při snižování tlaku v manžetě

Na obr. 11 je vidět, že tlak v manžetě nejprve rychle zvýšíme. Zvýšení provedeme na předem zvolenou maximální hodnotu. Tuto hodnotu musíme zvolit tak, aby u každé vyšetřované osoby došlo bezpečně k zastavení proudění krve do končetiny.



Obr. 11 Průběh tlaku v manžetě při jeho snižování

Zdroj: CHMELARĚ, M. *Lékařská přístrojová technika I., Brno*

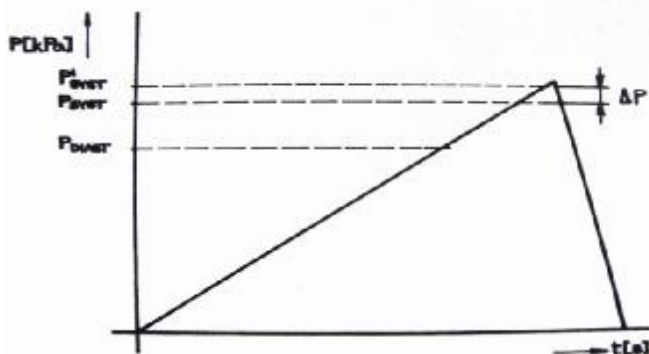
Při postupném snižování tlaku v manžetě dosáhneme stavu, kdy se obnoví průtok krve končetinou. V tomto okamžiku se bude hodnota tlaku v manžetě blížit hodnotě systolického krevního tlaku a mikron začne snímat Korotkovovy zvuky

4.4.5.2 Měření při zvyšování tlaku v manžetě

Průběh tlaku v manžetě při jeho postupném zvyšování je uveden na obr.12. Při měření získáváme hodnoty tlaku v obráceném pořadí, než při snižování tlaku v manžetě. Nejdříve tedy určujeme hodnotu tlaku diastolického a až poté hodnotu tlaku systolického. Při měření tedy určíme tak diastolický s menší chybou než určíme tlak systolický.

Snížení tlaku v manžetě je možno provést ihned po určení systolického tlaku a je tedy zbytečné zvyšovat tlak v manžetě až na cca. 200 mmHg.

Realizování tohoto měřicího postupu je technického hlediska obtížnější, než-li je tomu u měření při snižování tlaku v manžetě. Nejčastěji totiž bývá, jako zdroj tlakového vzduchu, použit kompresor. U kterého je kolísání tlaku vzduchu. To se ale při měření prováděném při snižování tlaku v manžetě neprojevuje, protože při snižování tlaku vzduchu je zdroj tlakového vzduchu od manžety odpojen. Použijeme-li však pro zvyšování tlaku vzduchu v manžetě vzduch z tlakové láhve, nežádoucí rušení nevznikne.



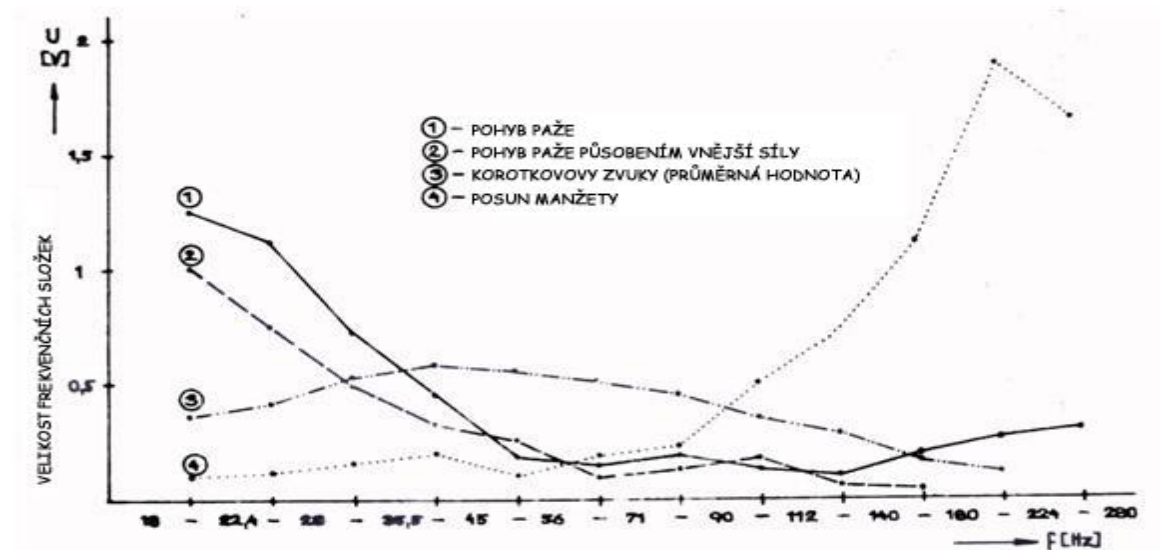
Obr. 12 Průběh tlaku v manžetě při jeho zvyšování

Zdroj: CHMELARĚ, M. *Lékařská přístrojová technika I., Brno*

4.4.6 Detekce Korotkovových zvuků

Detekce Korotkovových zvuků obvykle provádí při auskultační metodě měřící osoba, nebo lékař, fonendoskopem. Při automatickém měření snímá Korotkovovy zvuky vhodný mikrofon, který tyto zvuky (akustickou energii) přemění na energii elektrickou. A tu můžeme dále zpracovat (zesílit, odfiltrovat atd.).

Při snímání Korotkovových zvuků se snímají i rušivé zvuky (tzv. šum), které ale jsou při detekci Korotkovových zvuků nežádoucí. Těmito nežádoucími zvuky mohou být pohybové artefakty v průběhu výkonu měření, které jsou připisovány třem původním zdrojům zvuku, kterými jsou pohyb paže (obr.13, průběh 1), pohyb paže působením vnější síly (obr.13, průběh 2) a pohyb manžety (obr.13, průběh 4).

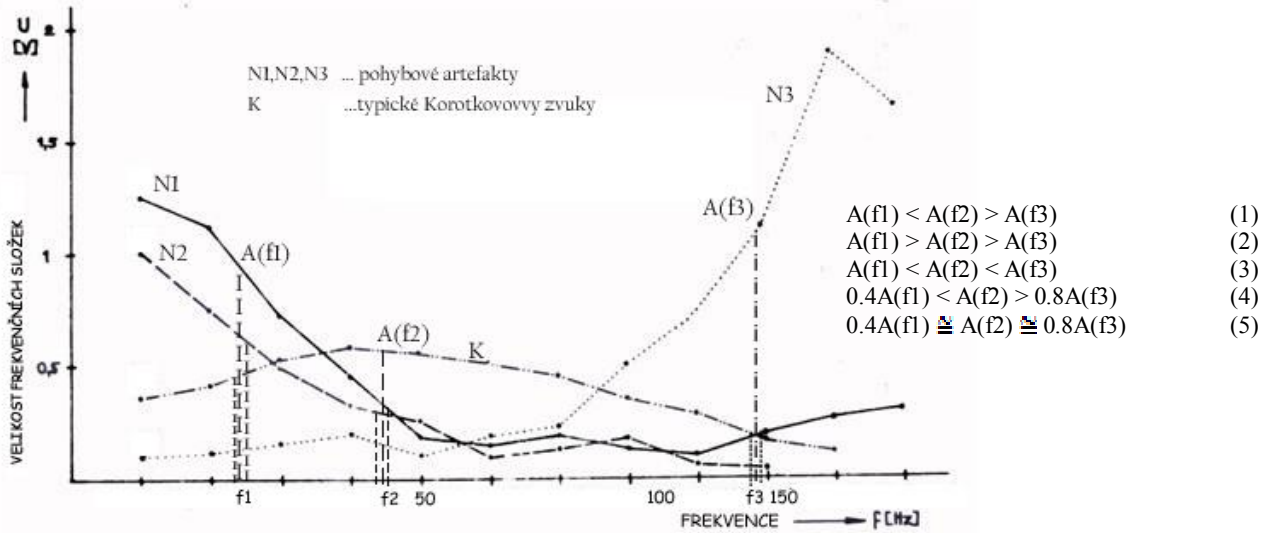


Obr. 13 Frekvenční spektrum rozložení pohybových artefaktů a Korotkovových zvuků

Zdroj: CHMELÁŘ, M. *Lékařská přístrojová technika I.*, Brno

Na obr. 13 můžeme vidět frekvenční rozdělení Korotkovových zvuků a šumů z pohybových artefaktů. V tomto obrázku můžeme vidět, že šumy mají svojí maximální úroveň amplitudy v rozsahu buď nad 90Hz nebo pod 18Hz, na rozdíl od Korotkovových zvuků. Tohoto faktu využívá spektrální diskriminace Korotkovových zvuků a šumu.

Frekvenční rozdělení Korotkovových zvuků bylo prozkoumáno na 40 zdravých pacientech, mezi 18 až 70 lety. Výsledkem bylo, že v nejvíce případech maximální úroveň amplitudy frekvenčních složek poklesla v rozsahu 35.5-56 Hz, ale jen v pár případech v rozsahu 18-35.5 Hz a 56-71 Hz.



Obr. 14 Spektrální detekce Korotkovových zvuků a šumů

Zdroj: *A new principle for spectral detection of Korotkoff sound, Nihon Kohden Kogzo co., ltd*

Tři referenční frekvence jsou vhodně vyneseny na frekvenční ose. Jestliže frekvenční složky těchto frekvencí, jmenovitě $A(f_1)$, $A(f_2)$ a $A(f_3)$, jsou porovnány, nerovnost (1) je daná pro Korotkovovy zvuky a nerovnost (2) nebo (3) je ustanovená pro šum. Proto, jen zvuk který se ztratí pod nerovností (1) je vyzdvižen, Korotkovovy zvuky by mohly být teoreticky rozpoznatelné od šumů. Ve skutečnosti tři referenční frekvence jsou navzájem nastaveny na 28, 45 a 150 Hz, vzhledem k signálu pro šumový poměr. [16]

Nicméně ve skutečnosti nerovnost (1) stále pro Korotkovovy zvuky neexistuje, protože v některých případech mají Korotkovovy zvuky nejvyšší úroveň frekvenčních složek na rozsahu 18 - 35Hz a 56 - 90Hz. Tento fakt si vynutil srovnání po redukování velikostí složek na 28 a 150Hz. Zmenšením poměru poskytlo nejvyšší úroveň velikosti na 45Hz jen pro Korotkovovy zvuky. A to bylo uskutečněné tím, že 40% a 80% snížením poměru byly nejvhodnější hodnoty pro tyto dvě složky ($A(f_1)$, $A(f_3)$). Následkem toho, je nerovnost (4) konečným tvarem logické diskriminace Korotkovových zvuků. [16]

4.4.7 Výhody a nevýhody auskultační metody

Pro měření krevního tlaku je auskultační metoda jednoduchá, protože se při ní používá málo měřících přístrojů. Auskultační metoda je ale zatížena řadou omezení a zdrojů chyb. Jelikož tato metoda spočívá na správné detekci vzniku a zániku Korotkovových zvuků, je velice obtížné naměřit správné hodnoty v hlučném prostředí. Proto se také více využívá postupného snižování tlaku, kde nevznikají rušivé zvuky nafukováním manžety jako tomu je u postupného zvyšování tlaku v manžetě. Auskultační metoda je také velmi citlivá na správný rozměr použité okluzivní manžety. Při použití příliš malé manžety totiž naměříme hodnoty TK falešně vyšší a při použití široké manžety naměříme hodnoty TK falešně nižší. Správný rozměr manžety je tedy velice důležitý pro získání správných hodnot TK.

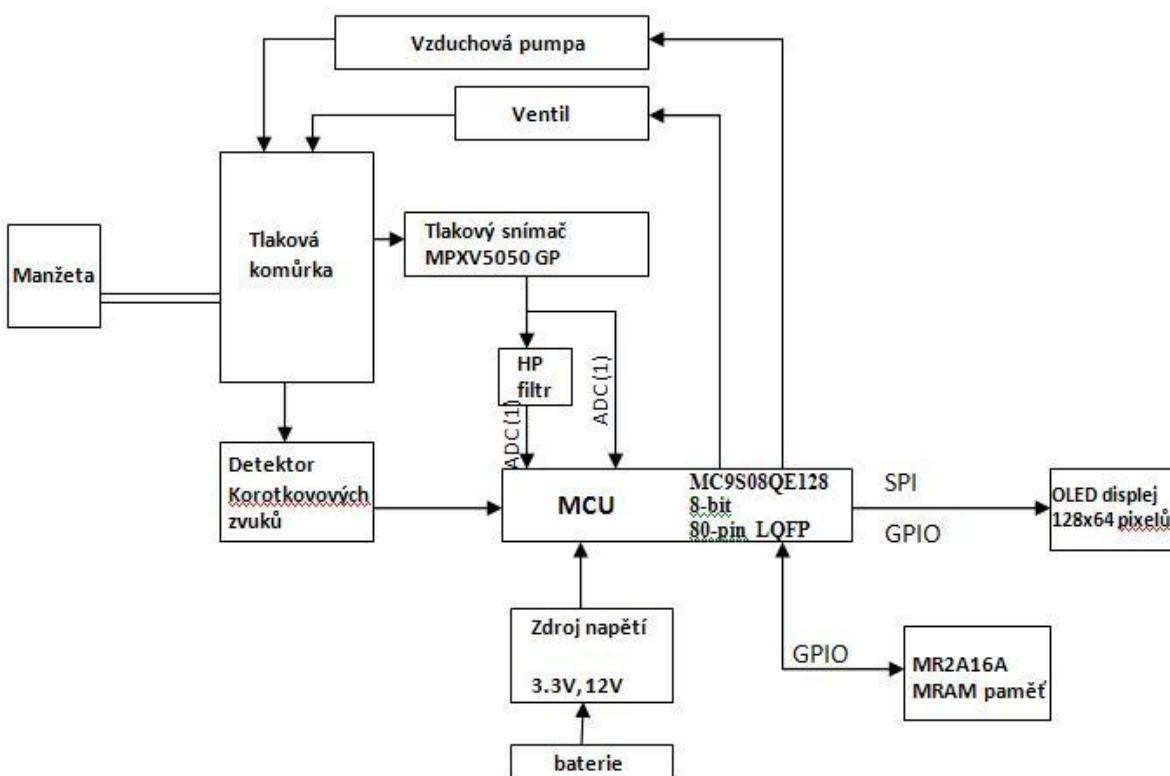
Metoda je také citlivá na pohyby paže v manžetě během měření, které jsou zdrojem

rušivých zvuků, tzv. pohybových artefaktů, které jsou snímány mikrofonem a jsou nežádoucí. Pokud se tyto vlivy odstraní, pohybuje se výsledná přesnost měření kolem $\pm 5\text{mm Hg}$.

Při automatickém měření krevního tlaku není třeba kvalifikovaných osob a tak měření může provádět kdokoliv i mimo ordinaci lékaře.

5 Návrh měřiče krevního tlaku

Navržený měřicí systém představuje na obr. 15 blokové schéma. Ideou automatického auskultačního měřicího přístroje je měření tlaku v manžetě při jejím vypouštění (napouštění) detekcí Korotkovových zvuků. V zapojení jsou použity technologické součástky firmy Freescale, jako jsou tlakový spínač MPXV5050GP, mikrokontrolér MC9S08QE128, OLED displej, MRAM paměť.



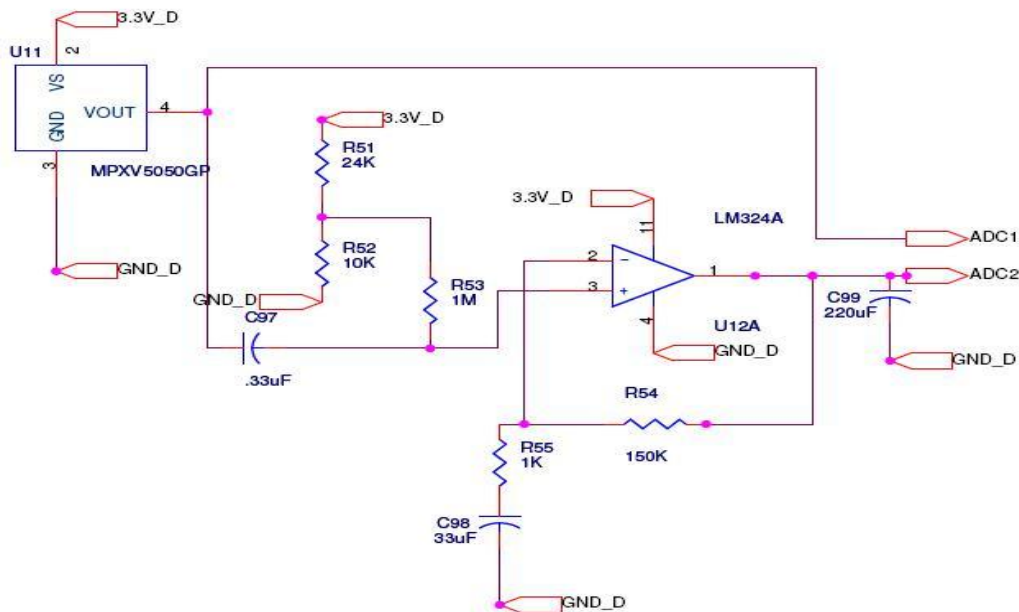
Obr. 15 Blokový diagram auskultačního měřiče krevního tlaku

Systém počítá s okluzivní manžetou, která bude připojena k tlakové komůrce, která obsahuje tlakový snímač a detektor Korotkovových zvuků. Používaná manžeta musí splňovat požadavky pro měření krevního tlaku. V manžetě je umístěn gumový vak, jehož šířka by měla odpovídat 40% obvodu horní končetiny. Délka vaku by měla být 80% obvodu paže u dospělých osob. Doporučená šířka manžety pro obvod 32-41cm je 15cm. K tlakové komůrce je připojena vzduchová pumpa a ventil, jimiž je ovládáno nafukování a vyfukování manžety.

Dále jsou na mikrokontrolér připojeny displej na zobrazení naměřené hodnoty a paměť pro jejich uložení.

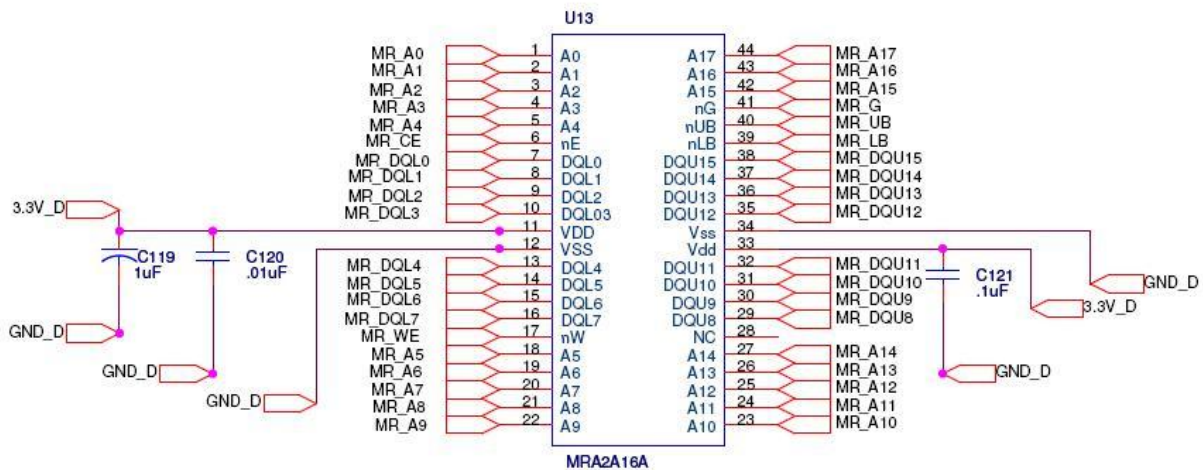
5.1 Snímač tlaku

Jako snímač tlaku je asi nejvhodnější použít piezorezistivní tlakový snímač. Byl vybrán snímač firmy Freescale typu MXPV5050 GP, který vyhovuje svými parametry pro aplikaci měření krevního tlaku. Rozsah má od 0 – 50 kPa a maximální chyba měření je 2.5% od 0° do 85°C.



Obr. 16 Schéma zapojení snímače tlaku typu MXPV5050GP firmy Freescale (převzato z datasheet RDQE128BPMSCH.pdf firmy Freescale)

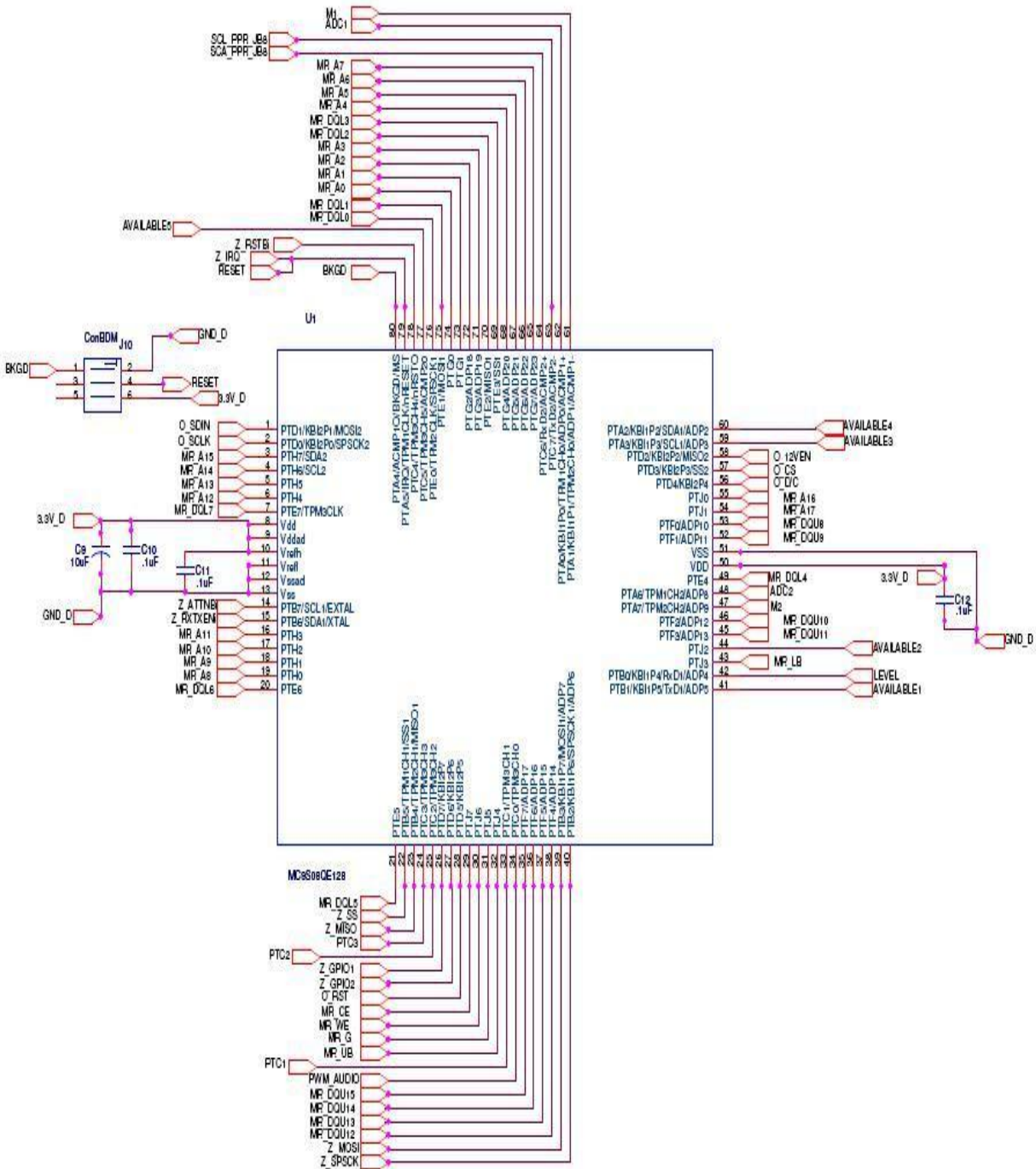
5.2 Paměť MRAM



Obr. 17 Schéma zapojení paměti MRAM typu MR2A16 firmy Freescale (převzato z datasheet RDQE128BPMSCH.pdf firmy Freescale)

5.3 Mikrokontrolér

Zde je použit řídicí a vyhodnocovací 8-bitový mikrokontrolér MC9S08QE128. Při předpokladu napájení z baterie se zvolí nízkopříkonová verze MCU Flexis QE128, která se vyznačuje nejen sníženou spotřebou v plném běhu.

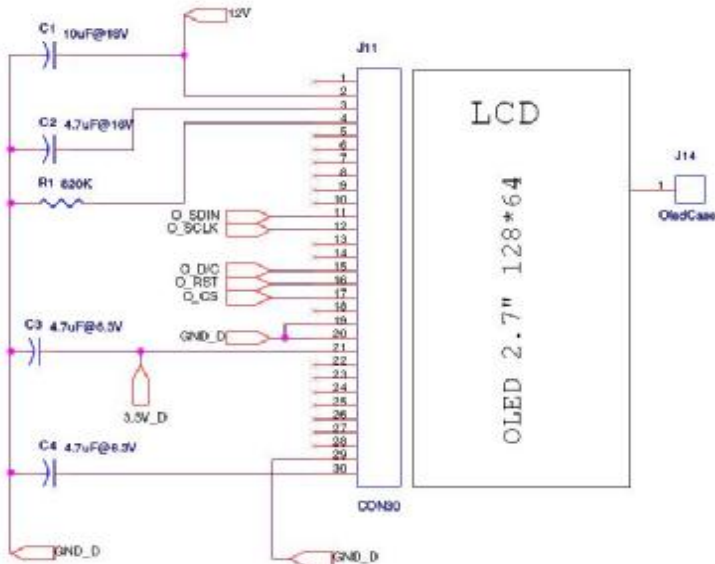


Obr. 18 Schéma zapojení mikrokontroléru typu MC9S08QE128 firmy Freescale

(převzato z datasheet RDQE128BPMSCHE.pdf firmy Freescale)

5.4 OLED displej

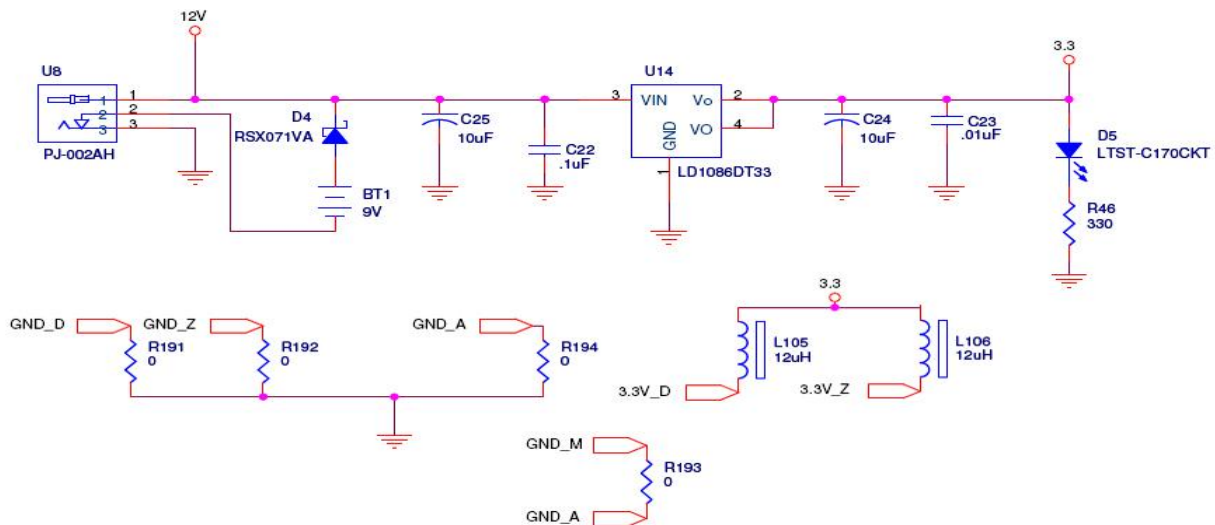
OLED displej firmy Freescale by měl sloužit pro zobrazování naměřených hodnot krevního tlaku. Displej 128x64 pixelů je připojený k hlavnímu řídicímu MCU pomocí sériové sběrnice SPI a má dotyková tlačítka s nulovou ovládací silou realizovanými snímačem elektrostatického pole MC34940 firmy Freescale. [17]



Obr. 19 Schéma zapojení OLED displeje 128x64 pixelů firmy Freescale

(převzato z datasheet RDQE128BPMSCH.pdf firmy Freescale)

5.5 Zdroj napětí

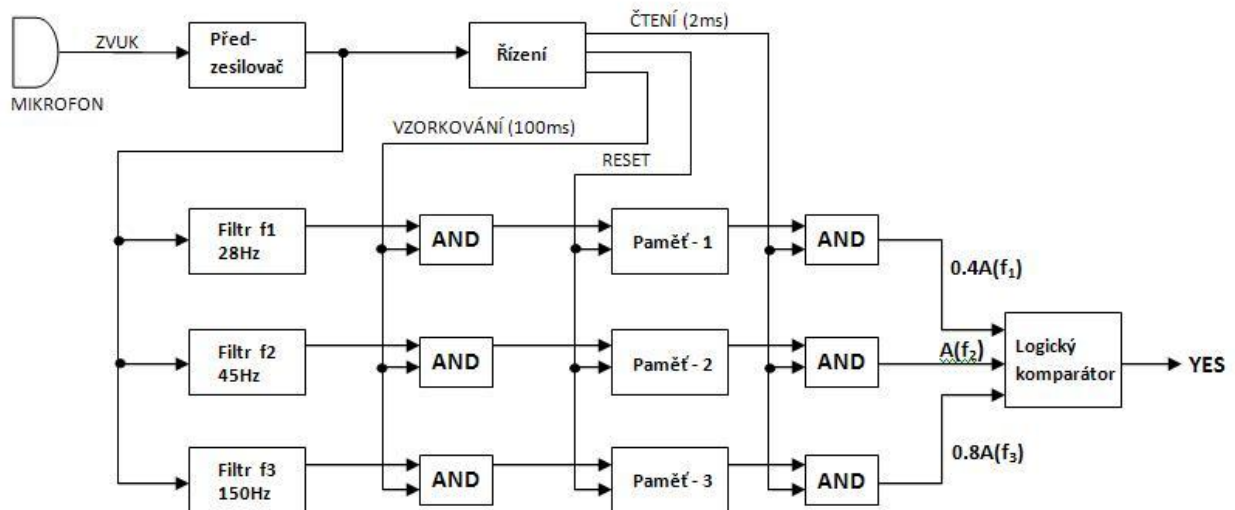


Obr. 20 Schéma zapojení zdroje napájení s baterií

(převzato z datasheet RDQE128BPMSCH.pdf firmy Freescale)

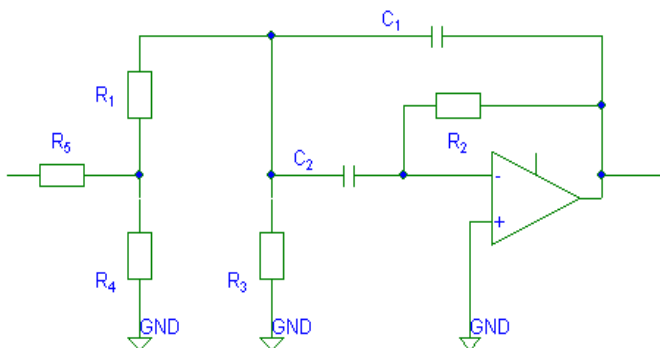
5.6 Detektor Korotkovových zvuků

Zvukový signál je zesílen předzesilovačem a je filtrován na tři frekvenční složky přes aktivní úzko-pásmový filtr (obr.22). Za účelem omezení amplitudové úrovně na 28 a 150 Hz. Detektor pracuje na principu spektrální detekce Korotkovových zvuků (kap. 4.5). Výstupy napěťových filtrů jsou vzorkovány 100ms po příchodu zvukového signálu a jejich maximální amplitudy jsou dočasně uloženy v třech paměťových okruzích jako stejnosměrné napětí. Po vzorkování jsou uložené hodnoty ihned čteny z paměti jako analogové pulsy, které se mění od 0 do 9V. [16]



Obr. 21 Blokový diagram spektrálního detekčního systému Korotkovových zvuků

Filtry, jenž mají rozdělit zesílený signál na tři frekvenční složky, mají schéma zapojení, jenž je na obr.22. Jedná se o filtry typu pásmová propust, které jsou úzko-pásmové a navržené na frekvence 28, 45 a 150Hz.



Obr. 22 Schéma zapojení filtru

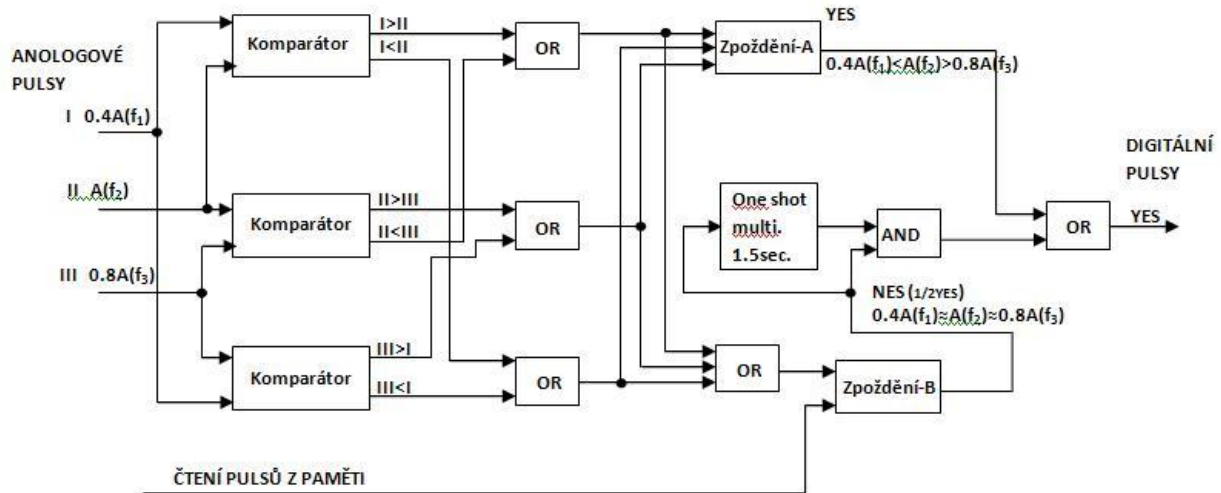
Pro jednotlivé filtry platí následující hodnoty:

Filtr f1= 28Hz - R1 = R4 = 12.1kΩ R2 = 487kΩ R3 = 390Ω R5 = 6.9kΩ C1 = C2 = 470nF

Filtr f2= 45Hz - R1 = R4 = 10.7kΩ R2 = 432kΩ R3 = 274Ω R5 = 5.49kΩ C1 = C2 = 330nF

Filtr f3= 150Hz - R1 = R4 = 22.6kΩ R2 = 909kΩ R3 = 576Ω R5 = 11.5kΩ C1 = C2 = 47nF

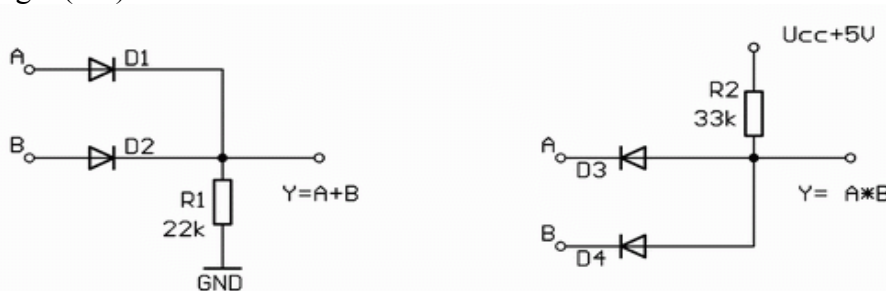
Zde je blokové schéma logického komparátoru, jenž je zapojen na konci blokového diagramu detektoru Korotkovových zvuků



Obr. 23 Blokový diagram logického komparátoru

Logický komparátor prověřuje vzájemné vztah velikostí těchto analogových pulsů a rozhoduje se, zda jsou uvedené poměry správně (viz. obr. 14). NES znamená stav, který se nemůže s konečnou platností shodnout buď s YES nebo NO a navíc vyžaduje informaci k rozhodnutí se mezi binárním stavem YES a NO.

Logická hradla OR a AND, použitá v blokových diagramech, lze realizovat metodou Diode Logic (DL)



Obr. 24 Schéma zapojení hradel OR a AND

Hradlo OR (obr.24 vlevo) působí jako logický součet a hradlo AND (obr.24 vpravo) jako logický součin.

6 Závěr

V této práci jsme se snažil popsat metody pro neinvazivní měření krevního tlaku. Nejvíce jsme se zaměřil na automatické měření krevního tlaku auskultační metodou, ke které je navržen detektor Korotkovových zvuků.

Jednotlivé metody jsem popsal z hlediska jejich principu a snažil jsem se poukázat na jejich výhody a nevýhody. Než jsem jednotlivé metody začal popisovat, zaměřil jsem se i na historii krevního tlaku a přiblížil jsem, proč vlastně TK měříme.

Krevní tlak je tlak, kterým krev působí na stěnu cévy, kterou protéká a nejvyšších hodnot dosahuje při vypuzovací fázi srdeční akce – systole (systolický tlak) a nejnižších hodnot ve fázi plnění – diastole (diastolický tlak). To jsou dva extrémy, mezi nimiž tlak kolísá. Hodnota krevního tlaku se zapisuje do zlomku jako systolický tlak/diastolický tlak.

Tlak krve se dá měřit dvěma zásadními způsoby, invazivně (přímo) a neinvazivně (nepřímo). A právě na měření TK neinvazivními metodami, jako jsou palpační metoda, auskultační metoda a oscilometrie byla tato práce zaměřena.

Palpační metoda je v porovnání s ostatními metodami nejjednodušší, využívá nejméně přístrojů, ale nedá se pro objektivní měření použít. Je totiž velice nepřesná.

Chyba při měření může být až v řádů desítek mm Hg a tato metoda se používá jen jako orientační.

Auskultační metoda je zatížena řadou omezení a zdrojů chyb. Metoda spočívá na správně detekci vzniku a zániku Korotkovových zvuků. Je tedy obtížné naměřit správné hodnoty v hlučném prostředí. Tato metoda je také velice citlivá na rozměr použité manžety, která může značně ovlivnit výsledky měření. Pokud se však vyvarujeme těchto vlivů. Výsledná přesnost měření je kolem ± 5 mm Hg.

U měření krevního oscilometrickou metodou není kladen důraz na přesnou fixaci manžety, čímž je tato metoda jednoduchá na obsluhu. Metoda není citlivá na hluk okolí, ale je třeba končetinu udržovat ve svalovém klidu. Přesnost komerčních oscilometrických přístrojů udávaná ± 3 mm Hg nebývá často dodržována. Ale digitální oscilometrické přístroje využívající systém fuzzy logic na principu přesného dofouknutí manžety na základě průběžného odhadu tlaku krve těchto hodnot dosahují.

U sledovače krevního tlaku je nevýhodou přílišná citlivost na pohyby a také vazokonstrikivnost (zuzování cév) prstu, kdy není dostatečné prokrvení tkáně pod manžetou. Značnou výhodou této metody je, že může probýhat po delší časový úsek, řádově hodin, protože je zajištěn minimální průtok krve částí těla (prstu), jenž měříme.

Navržený přístroj a detektor Korotkovových zvuků by měly pracovat při napájení z baterie a měly by být objektivním přístrojem pro měření krevního tlaku. V přístroji je použit vhodný snímač tlaku pro měření tlaku v manžetě, mikrofon pro snímání Korotkovových zvuků, vzduchová pumpa pro nafukování manžety a ventil, kterým je řízeno postupné vypouštění tlaku z manžety a vše je řízeno mikrokontrolérem.

7 Seznam použité literatury

- [1] CHMELÁŘ, M. Lékařská přístrojová technika I. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995.
- [2] ROZMAN, J. a kolektiv. Elektronické přístroje v lékařství. Praha: Academia, 2006.
- [3] NĚMCOVÁ, H. *Medicína pro praxi*, 2001, roč. 2007, č. 1, s. 7-12.
- [4] PENHAKER, M. a kolektiv: Lékařské diagnostické přístroje – učební texty. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004.
- [5] http://gerstner.felk.cvut.cz/biolab/X33BMI/slides/FABIAN_Mereni_krevniho_tlaku.ppt
- [6] KOLÁŘ, R. Lékařská diagnostická technika – učební texty. Brno: VUT v Brně, 2007.
- [7] http://cs.wikipedia.org/wiki/Krevn%C3%AD_tlak.
- [8] www.zdravcentra.cz/cps/rde/xbcr/zc/HYP_kapitola1.pdf.
- [9] www.who.int.
- [10] <http://www.americanheart.org>.
- [11] http://www.aureamedica.ic.cz/v_mer_tlaku.html.
- [12] <http://www.nhlbi.nih.gov> – National High Blood Pressure Education Program USA.
- [13] www.med.muni.cz/patfyz/practic/prezentace/tk_MM.pdf.
- [14] www.zdravcentra.cz/cps/rde/xbcr/zcsk/2_Aplikace_Dopplerova_jevu_v_ultrazvukove_diagnostice.pdf.
- [15] www.med.muni.cz/biofyz/Dokumenty/UZ_DopplerovskeMetody.pdf.
- [16] A new principle for spectral detection of Korotkoff sound, Nihon Kohden Kogzo co., ltd
- [17] <http://hw.cz/teorie-praxe/konstrukce/art2127-elektronicky-meric-krevniho-tlaku-s-obvody-freescale.html>
- [18] RDQE128BPMSCH.pdf firmy Freescale, ke stažení na www.hw.cz
- [19] http://sf.zcu.cz/rocnik05/cislo01/cislo1.98/w_tlak.html, elektronika měří krevní tlak

8 Seznam použitých zkratek

ISZ - Mezinárodní společnosti pro hypertenzi (International Society of Hypertension)

WHO – Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)

TK – krevní tlak

SBP – systolický krevní tlak (systolic blood pressure)

DBP – diastolický krevní tlak (diastolic blood pressure)

MAP – střední arteriální tlak (mean arterial pressure)

PPM – pulsový tlak (pulse pressure mean)

BP – krevní tlak (blood pressure)

mm Hg – milimetry sloupce rtuti

mm H₂O – milimetry sloupce vody

Pa – pascal

kPa – kilopascal

atm – atmosféra

a. – artérie (tepna)

OR – logický součet

AND – logický součin

GND – uzemnění

SPI – Serióvá peripheral interface, sériové periferní rozhraní

MCU - mikrokontroler

OLED – Organic light-emitting diode, displej využívající technologii organických elektroluminiscenčních diod

GPIO – General purpose input/output

HP – filtr typu horní propust

R – označení pro rezistory

C – označení pro kondenzátory

f – frekvence

U – elektrické napětí

Hz – hertzy, počet cyklů za sekundu (cps.)

ms – mili sekundy