

Mobilní lékařské přístroje ve škole

Bronislav Balek

e-mail: bbalek@seznam.cz

Střední škola dopravy, obchodu a služeb, nám. Klášterní 127, Moravský Krumlov

Klíčová slova

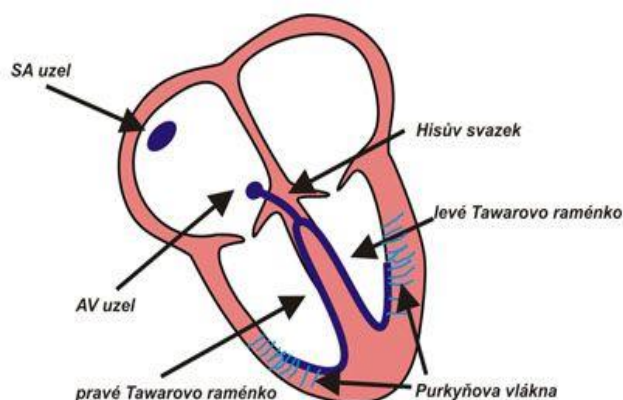
Biosignál, kardiomonitor, EKG, pulzní oxymetr, saturace krve kyslíkem SpO₂, tonometr, tepenný krevní tlak, spirometr, spirometrické parametry, cévní doppler, indikace průtoku krve cévami

1 Úvod

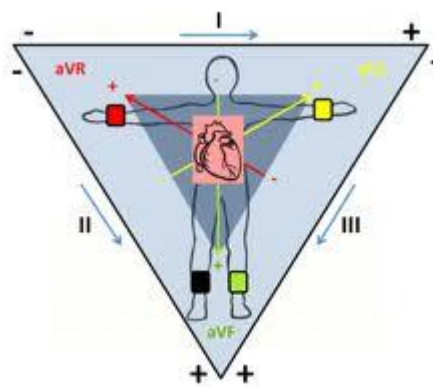
Mobilní lékařské přístroje lze využít ve výuce biologie, fyziky, chemie, biofyziky, fyziologie, elektroniky, biomedicínkého inženýrství a dalších předmětů na gymnáziích, zdravotních školách, elektroprůmyslovkách, lékařských fakultách, fakultách zdravotnických studií a fakultách a ústavech biomedicínkého inženýrství. atd. Oproti běžným měřicím systémům pro výuku přírodovědných předmětů ve školství zaručují profesionální lékařské přístroje, určené pro zdravotnictví, nejvyšší elektrickou bezpečnost (galvanicky oddělené vstupy), diagnostikovatelnost snímaných biosignálů a mají značku CE (schválení v EU, které splňuje požadavky na bezpečnost, ochranu zdraví a životního prostředí).

Článek popisuje vznik některých biosignálů lidského těla a jejich snímání a zpracování profesionálními lékařskými přístroji. Patří sem miniaturní ruční kardiomonitor (EKG), prstový pulzní oxymetr (SpO₂-nasycení krve kyslíkem), osobní tonometr (tepenný krevní tlak), cévní ultrazvukový rychloměr (rychlost krve cévami), ruční spirometr (parametry plic) atd. Všechny přístroje mají PC rozhraní mini nebo mikro USB pro přenos, zpracování a uložení dat do počítače. Některé přístroje mají dotykovou barevnou obrazovku a mohou, v případě požadavku, komunikovat bezdrátově s řídicím centrem.

2 Kardiomonitor [1], [2]



Obr. 1. Elektrický převodní systém srdeční [1]



Obr. 2. Einthovenův EKG elektrodový systém [1]



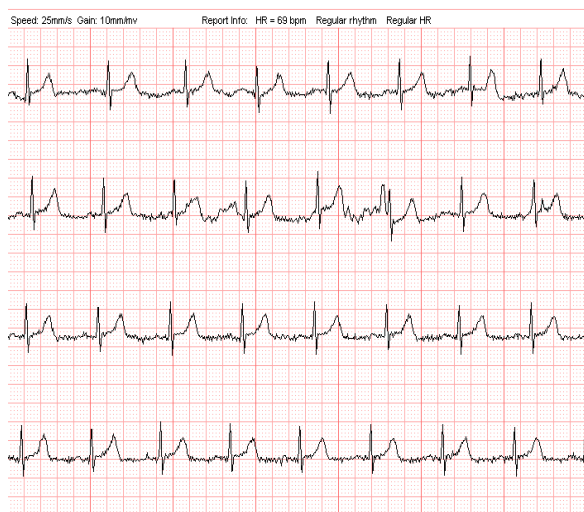
Obr. 3. Ruční kardiomonitor (EKG, tep) [1]



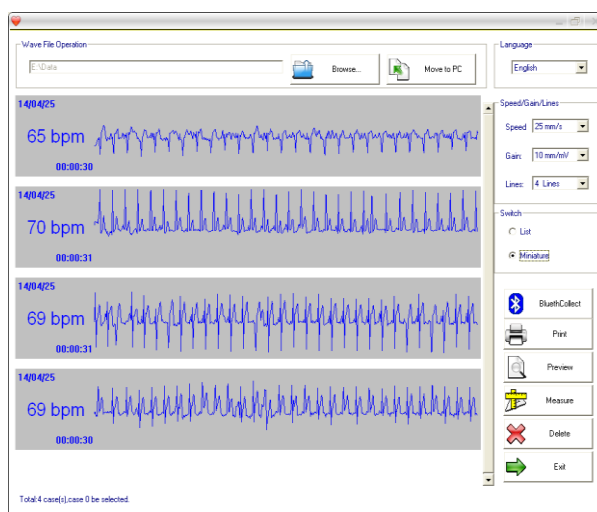
Obr. 4. Lůžkový multiparametrový kardiomonitor [1]

Elektrické impulsy, elektrické převodní soustavy srdeční, jsou koordinovány sinusovým uzlíkem (SA uzel - Pace Maker) nacházejícím se v pravé srdeční síni (obr. 1). Tyto vzruchy se dále šíří svalovinou pravé síně k síňokomorovému uzlu (AV uzel), dále přes Hisův svazek do Tawarových ramének a nakonec do Purkyňových vláken. Amplitudy těchto vzruchů se pohybují od -80mV do $+20\text{mV}$. Navenek tento aktivní elektrický projev srdeční tkáně můžeme snímat elektrodovým systémem jako elektrokardiogram (EKG). Amplitudy QRS komplexů EKG signálů se pohybují kolem 1mV . Einthovenův EKG elektrodový systém (obr. 2) určuje umístění EKG elektrod na svodová místa. Pro stanovení diagnózy je rozhodující morfologie (tvar) jednotlivých vln EKG a jejich časová souslednost.

Na obr. 3 je ruční kardiomonitor, který má EKG elektrody zabudované v těle přístroje, takže EKG lze snímat mezi dvěma dlaněmi. Má také vstup pro EKG kabel, který lze spojit s končetinovými klipovými nebo jednorázovými lepicími EKG elektrodami. Tento kardiomonitor má barevnou dotykovou obrazovku a rozhraní USB pro napojení na počítač. Může snímat a ukládat EKG až 24 hodin. Jeho EKG jsou na obrázcích 5. a 6. po přenosu naměřených dat do počítače.



Obr. 5. EKG jeden svod od jednoho probanda (autor)



Obr. 6. Zhuštěná EKG od čtyř probandů (autor)

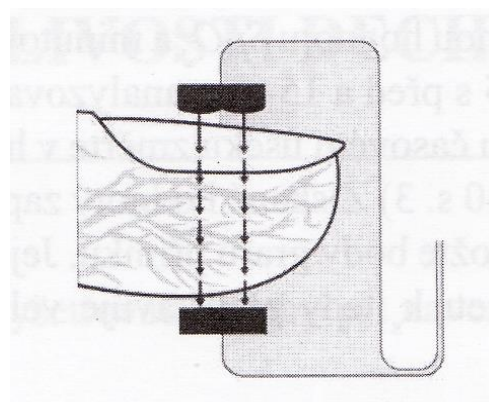
Na obr. 4 je multifunkční kardiomonitor používaný na jednotkách intenzivní péče, v sanitkách nebo vrtulnicích záchranné služby. Měří EKG, tep, nasycení krve kyslíkem SpO_2 , neinvazivní tepenný krevní tlak NIBP, dechovou křivku a dechovou frekvenci, teplotu a dále může monitorovat plyny v dýchacích cestách nemocného jako je CO_2 , O_2 , N_2O , anestetické plyny. Tyto monitory mají dotykovou barevnou obrazovku, rozhraní LAN, USB, VGA, BNC pro spojení s centrálním monitorem na JIP.

Ve školství je zajímavé a zábavné využití multifunkčního kardiomonitoru při zátěžových testech kdy měříme výkonnost zdravých jedinců. Měříme v klidu a potom po zátěži např. dřepch, výstupech na schůdky nebo užitím ergometru či běžecího chodníčku.

3 Prstový pulzní oxymetr [1], [2]



Obr. 7. Prstový Pulzní oxymetr [1]

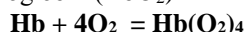


Obr. 8. Průchod paprsků $R=660\text{nm}$ a $IR=940\text{nm}$ prstem [1]

Elektrické impulsy vycházející ze sinusového uzlíku (Pace Maker) srdce se šíří pomocí elektrické převodní soustavy srdeční do celé svaloviny srdce a navenek můžeme tento aktivní elektrický projev srdeční tkáně snímat jako elektrokardiogram (EKG). Nejvyšší vlna EKG – QRS komplex pak vybudí vypuzení krve z levé srdeční komory v době systoly (*ejekční fáze*). Tato pulsová hemodynamická tlaková vlna se přes aortu šíří do jednotlivých končetin našeho těla až k periférii a tedy i do konečků prstů. Změny objemu periférie (např. konečků prstů) v závislosti na naplnění tkání krví při srdeční revoluci (pulsní periferní vlně) se nazývají pletysmografie.

Tyto změny se snímají opticky fotoelektrickým snímačem metodou transmisní (průsvitovou) nebo také nazývanou transparentní (průchozí). Pak tento snímač srdečního pulsu nazýváme fotopletysmografickým snímačem. Skládá se ze zdroje světla o vlnové délce 660 nm (červená část spektra) a 940 nm (infračervená část spektra) a fotodetektorů v podobě fotoodporů, fotodiod nebo fototranzistorů.

Protože fotopletysmografické snímače jsou citlivé na obsah kyslíku v krvi, využívá se toho zároveň pro měření parciálního tlaku kyslíku pO_2 [mmHg] krve nebo saturace krve kyslíkem SpO_2 [%]. Pulsní oxymetrie je metoda pro neinvazivní měření nasycení kyslíkem. Je založena na myšlence, že absorpce světla na vlnové délce 660 nm je různá pro krev, která je dobře nasycena kyslíkem (jasně červená) a krev, která je málo nasycena kyslíkem (tmavě červená). Hemoglobin (červené krevní barvivo) slouží k transportu kyslíku z plic do tkání. Navázáním kyslíku na hemoglobin (Hb) vznikne oxyhemoglobin (HbO_2)



Saturace tepenné krve kyslíkem SpO_2 [%], měřena na prstu nebo uchu, je dána vztahem:

$$SpO_2 [\%] = 100 \cdot HbO_2 / (Hb + HbO_2)$$

Rozsah normálních hodnot saturace hemoglobinu kyslíkem je:

$$SpO_2 = (95 - 100)\%$$

Fotopletysmografické snímače pulsu se používají u pulsních oxymetrů pro měření nasycení krve kyslíkem SpO_2 . Pulsní oxymetry se vyrábějí buď samostatné miniaturní na prst nebo klinické přenosné nebo jsou součástí kardiomonitorů jako doplněk EKG, pulsu, dechu atd. Pulsní oxymetry vyhodnocují a zobrazují současně saturaci SpO_2 , srdeční frekvenci (puls) a pulsovou periferní křivku. Normální saturace hemoglobinu u dospělého člověka je v rozmezí $SpO_2 = (95 - 100)\%$. Hodnoty nižší než 95% se považují za hypoxii. Normální srdeční frekvence dospělého je $f = (60 - 90)$ tepů/min.

Pulsní oxymetry se používají na jednotkách intenzivní péče (ARO, koronární jednotky, iktové jednotky atd.), při anestézii na operačních sálech, ve vozech rychlé lékařské pomoci, ve vrtulnicích letecké záchranné služby, při porodech, v novorozenecké a pediatrické péči, při studiích spánku, v veterinárním lékařství atd.

4 Osobní tonometr

Tepenný krevní tlak se měří rtuťovým nebo LED tonometrem za pomoci fonendoskopu nebo moderně digitálním automatickým tonometrem s USB výstupem do počítače. Pro vizualizaci tlakové křivky v manžetě a Korotkovových ozvů je použit měřicí systém ISES-USB propojený s počítačem USB kabelem. Z grafického průběhu tlaku v manžetě lze určit první tlakový pulz odpovídající systolickému tlaku a poslední tlakový pulz odpovídající diastolickému tlaku v souladu s prvním a posledním Korotkovovým ozvem.

Vysoký krevní tlak je vážná choroba a nepříznivě působí na srdce, mozkové cévy a jiné orgány. Na vysoký krevní tlak má vliv stres, nezdravý způsob života, kouření, nezdravá strava, málo sportování atd. Vysoký krevní tlak se léčí léky nazývanými hypertenziva.



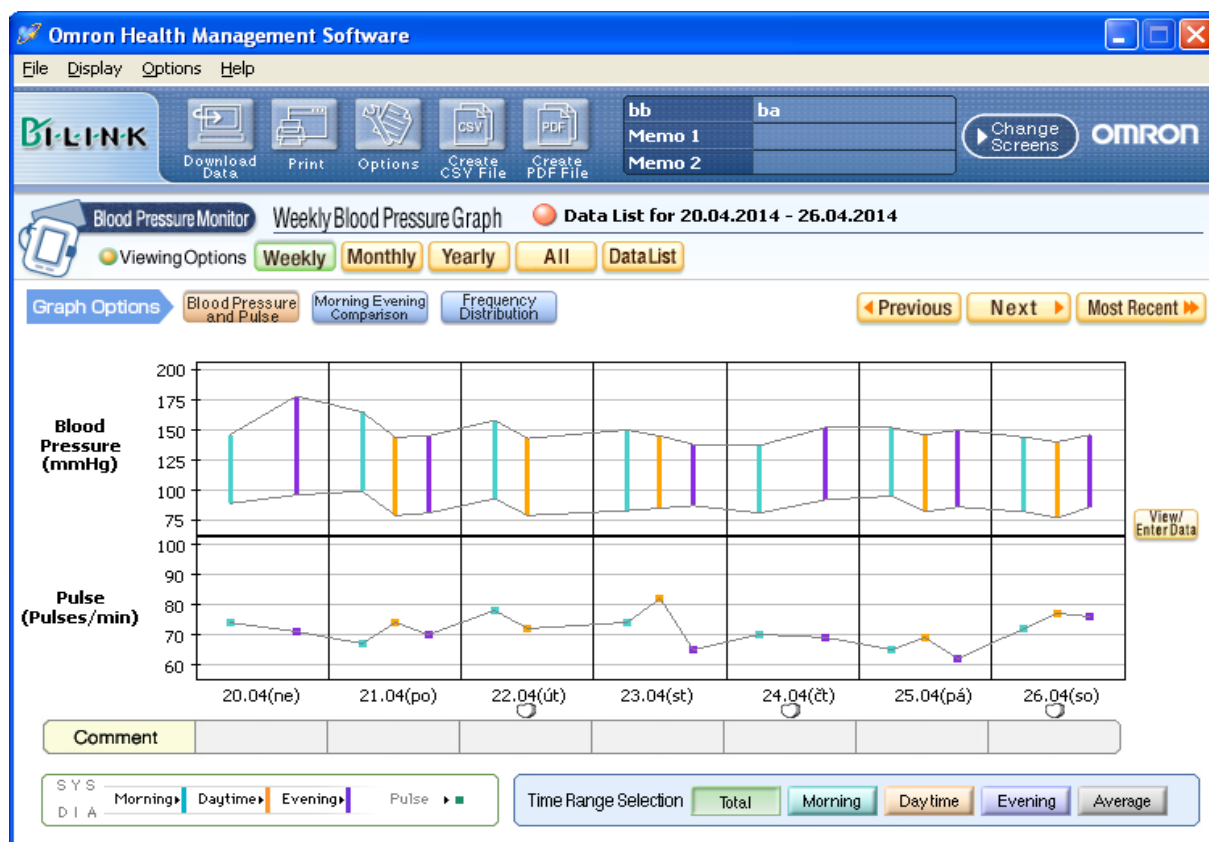
Obr. 9. Měření krevního tlaku tonometrem a počítačem



Obr. 10. Měření krevního tlaku tonometrem a ISESem

4.1 Měření krevního tlaku tonometrem s USB výstupem do počítače obr. 9.

Automatický osobní tonometr měří tepenný krevní tlak metodou oscilometrickou obr. 9. Spojení tonometru s počítačem pomocí USB rozhraní umožňuje změřit velké množství dat a vytvořit grafické a tabelární trendy systolického a diastolického tlaku a srdeční frekvence. Ukázka grafických trendů je na obr. 11., tabelárních na obr. 12.



Obr. 11. Grafické trendy systolického a diastolického tlaku a pulzu (autor)

The screenshot shows the 'Blood Pressure Input' window with the title 'Blood Pressure Data'. It includes a red circle icon and the instruction: 'Manually enter new blood pressure values at bottom of list, in yellow area.' The table below contains the following data:

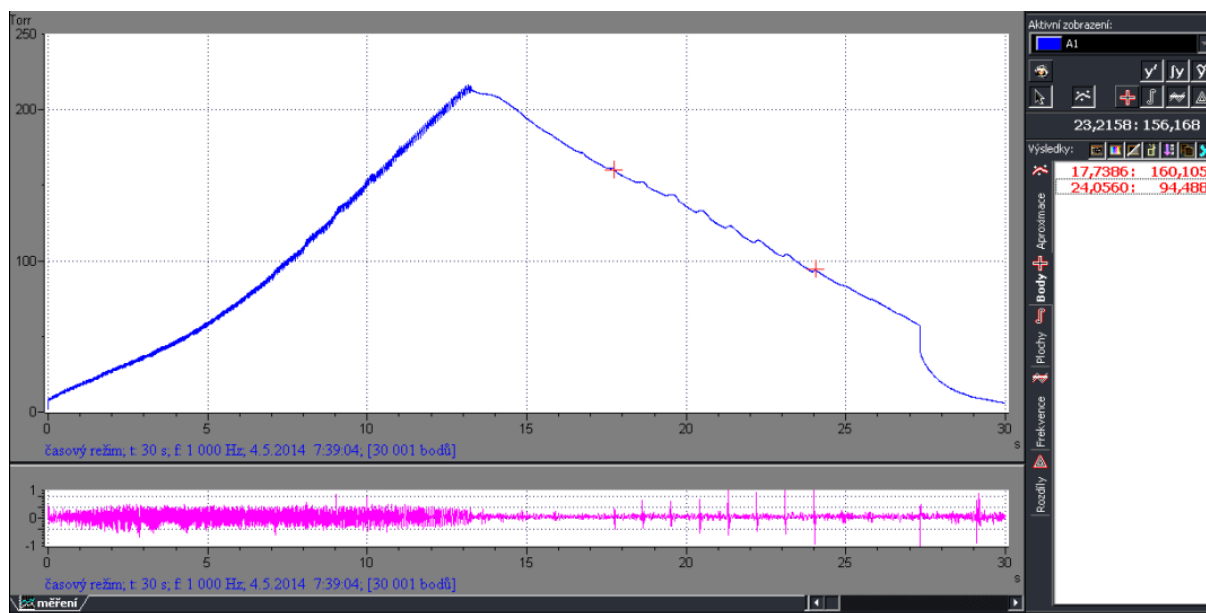
Date	Time	SYS (mmHg)	DIA (mmHg)	Pulse (Pulses/min)	Irregular Heartbeat
20.04.2014	07:43	162	100	63	
20.04.2014	09:05	155	108	89	
20.04.2014	09:06	136	70	78	
20.04.2014	09:29	136	86	70	
20.04.2014	09:29	143	82	70	
20.04.2014	23:18	182	98	73	
20.04.2014	23:19	174	94	68	
21.04.2014	05:20	181	105	70	
21.04.2014	05:21	170	98	68	
21.04.2014	08:25	165	97	65	
21.04.2014	08:26	163	99	66	
21.04.2014	08:43	147	96	66	
21.04.2014	08:43	161	98	67	

At the bottom of the window are 'Close' and 'Save' buttons.

Obr. 12. Tabelární trendy systolického a diastolického tlaku a pulzu (autor).

4.2 Měření krevního tlaku tonometrem a systémem ISES obr. 10 a 12.

Při tomto způsobu měření použijeme tlakoměr jako generátor tlaku vzduchu pro pažní manžetu a pomocí ypsilon spojky propojíme tonometr s manžetou i s manometrem ISES zapojeným v prvním kanálu systému ISES-USB. Toto uspořádání umožní vizualizovat tlakovou křivku v manžetě. Pro správné odečtení pulsací na tlakové křivce použijeme ve druhém kanálu mikrofon ISES propojený pneumaticky hadičkou s mikrofonem fonendoskopu. Mikrofony zasuneme pod manžetu do pažní jamky. Budeme tím snímat tzv. Korotkovovy ozvy obr. 12. První tlakový puls musí korespondovat s prvním Korotkovovým ozvem a představuje systolický tlak. Poslední tlakový impuls musí odpovídat poslednímu Korotkovovu ozvu a představuje diastolický tlak. Na obrázku vpravo v pravém sloupci je horní hodnota systolický tlak (160mmHg) a dolní hodnota diastolický tlak (94mmHg).



Obr. 12. První kanál tlak v manžetě, druhý kanál Korotkovovy ozvy (autor).

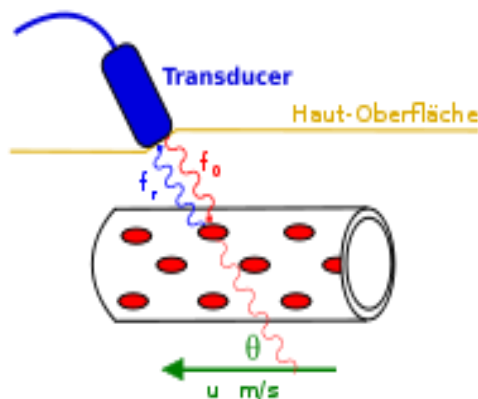
Při lékařském vyšetření se jako krevní tlak označuje tlak krve měřený v horní části paže – v pažní tepně. Krevní tlak měřený při stahu komor (systole) se nazývá **tlak systolický**, při uvolnění komor (diastole) **tlak diastolický**. Systolický tlak je určen převážně srdečním výkonem, diastolický tlak odporem v periferních cévách (v periferním řečišti). Hodnoty systolického a diastolického tlaku se označují zlomkem hodnoty vyšší než 160/90 mmHg lze považovat za **vysoký krevní tlak** (*hypertenzi*), hodnoty nižší než 90/60 mmHg za **nízký krevní tlak** (*hypotenzi*).

5 Cévní Doppler – ultrazvukový indikátor toku krve v cévách [1], obr. 13-15

Cévní doppler má hlavní uplatnění v cévní diagnostice. Cévním internistům pomáhá diagnostikovat stav cév nemocných. Princip cévního doppleru znázorňuje obr. 14. Ultrazvuková sonda vysílá signál o kmitočtu f_0 [MHz]



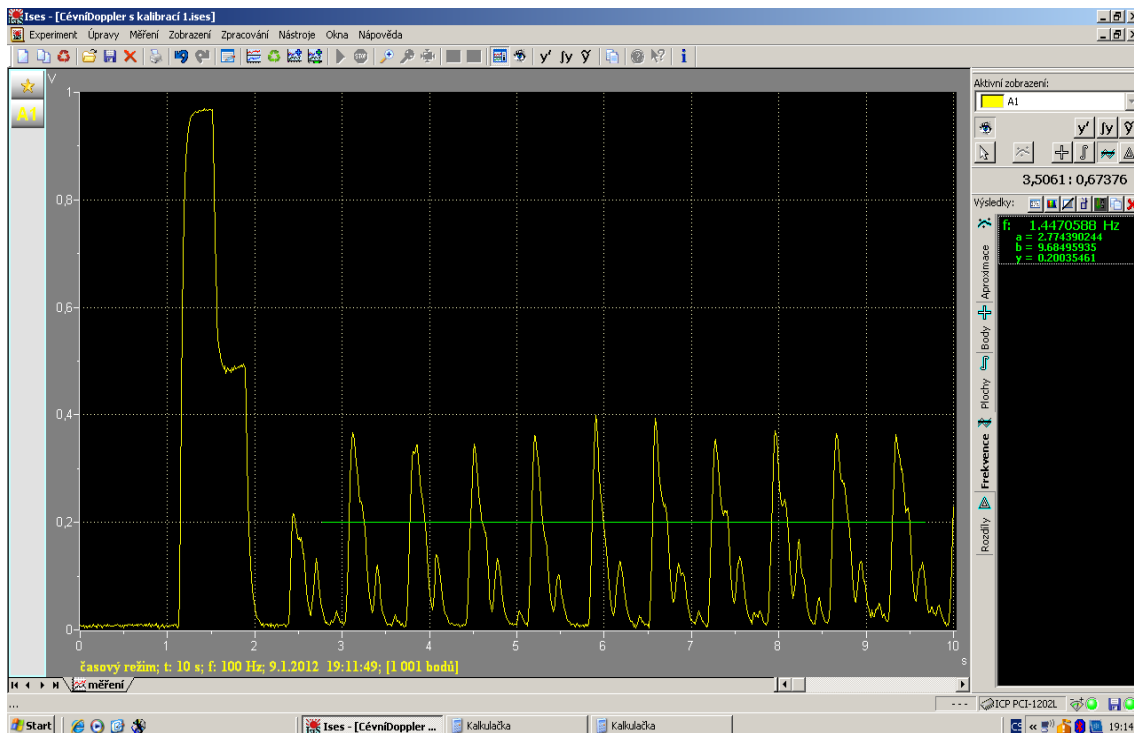
Obr. 13. Cévní Doppler [1]



Obr. 14. Princip cévního Doppleru. [1]

Signál f_0 se odrazí od proudících krevních elementů krve v cévě ale s jiným kmitočtem f_r [MHz]. Rozdíl obou kmitočtů vytvoří tzv. Dopplerův zdvih, který je dán vztahem $f_a = f_0 \pm f_r$. Tento zdvih f_a je úměrný rychlosti toku krve v [m/s] v cévě.

Příklad toku krve radiální tepnou je na obr. 15. Kmitočty ultrazvukových sond bývají 4 MHz pro hloubkové cévy a 10 MHz pro povrchové cévy. K zobrazení toku krve radiální tepnou byl užit měřicí systém ISES.



Obr. 15. Tok krve radiální tepnou (autor).

Cévní Doppler je spojen s počítačem pro získání dalších parametrů, uložení do paměti a vytištění protokolu.

6 Závěr.

Existuje celá řada dalších ručních nebo mobilních přístrojů, které by mohly být využity k praktickým cvičením na školách uvedených v úvodu. Přímý kontakt studentů s lékařskými přístroji a zpracování naměřených hodnot do protokolů umožní lepší zapamatovatelnost principů a funkcí těchto přístrojů pro další studia nebo praxi.

Citace

- [1] www.google.cz/obrazky
- [2] BALEK, Bronislav. Biologické experimenty se systémem ISES. Ivančice: Balmed 2012. 51s.