



ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZA BIOSIGNÁLŮ I.



prof. Ing. Jiří Holčík, CSc.

holcik@iba.muni.cz

© Institut biostatistiky a analýz

LITERATURA

- ☑ Holčík,J.: Zpracování a analýza signálů. [přednáškové prezentace]
- ☑ Holčík,J.: Zpracování biosignálů. [Elektronické učební texty]
- ☑ Svatoš,J.: Biologické signály I., [skripta ČVUT], Nakladatelství ČVUT, Praha 1992.
- ☑ Mohylová,J., Krajča,V.: Zpracování signálu v lékařství. Žilinská univerzita, Žilina 2004
- ☑ Púčik,J., Cocherová,E. Analýza biosignálov. - STU Bratislava, Bratislava 2008

LITERATURA

- ☑ Sörnmo L., Laguna P. Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications. Elsevier 2005
- ☑ Clifford, G.D. Azuaje F. McSharry P.E.(eds.) Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. Artech House 2006
- ☑ Rangayyan, R.M. Biomedical Signal Analysis. A Case-Study Approach. IEEE Press 2002
- ☑ Bruce E.N. Biomedical Signal Processing and Signal Modeling. John Wiley & Sons. 2001
- ☑ Gath, I. Inbar G.F. Advances in Processing and Data Analysis of Biological Signals. Plenum Press 1996
- ☑ Dempster J. Computer Analysis of Electrophysiological Signals. Academic Press 1993
- ☑ Devasahayam, S.R. Signals and Systems in Biomedical Engineering. Signal Processing and Physiological Systems Modeling. Kluwer Academic 2000
- ☑ Baura, G.D. System Theory and Practical Applications of Biomedical Signals, IEEE Press 2002

CO JE TO SIGNÁL ?

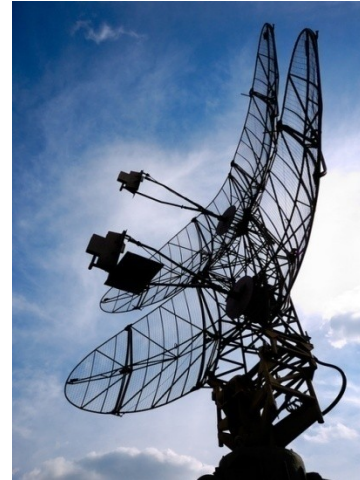
CO JE TO SIGNÁL ?



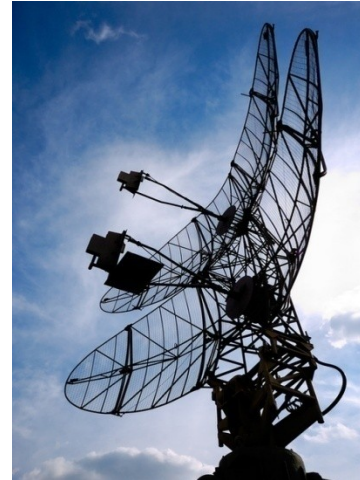
CO JE TO SIGNÁL ?



CO JE TO SIGNÁL ?



CO JE TO SIGNÁL ?



CO JE TO SIGNÁL ?



CO JE TO SIGNÁL ?

DEFINICE

Signál je jev fyzikální, chemické, biologické, ekonomické či jiné materiální povahy, nesoucí informaci o stavu systému, který jej generuje.

CO JE TO SIGNÁL ?

DEFINICE

Signál je jev fyzikální, chemické, biologické, ekonomické či jiné materiální povahy, nesoucí informaci o stavu systému, který jej generuje, **a jeho dynamice.**

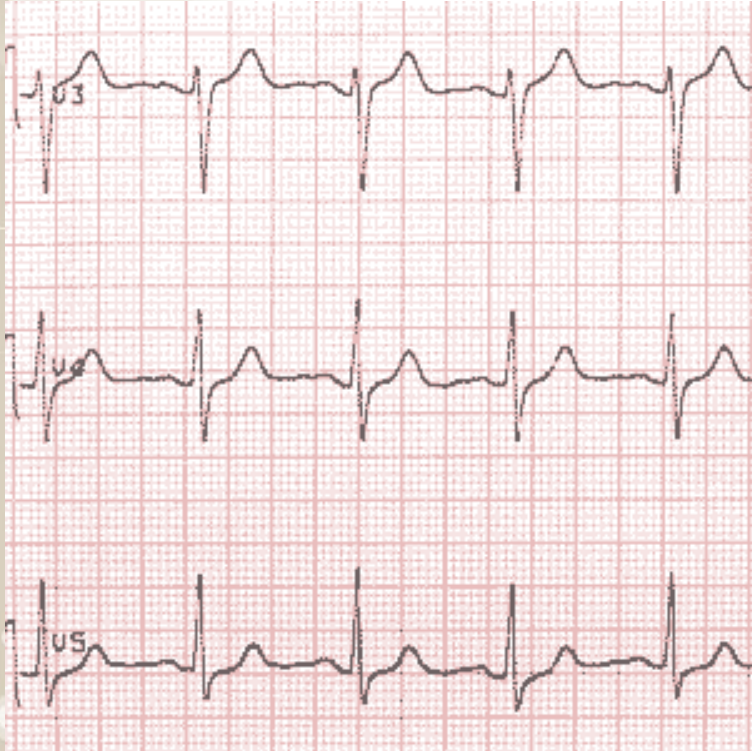
CO JE TO SIGNÁL ?

DEFINICE

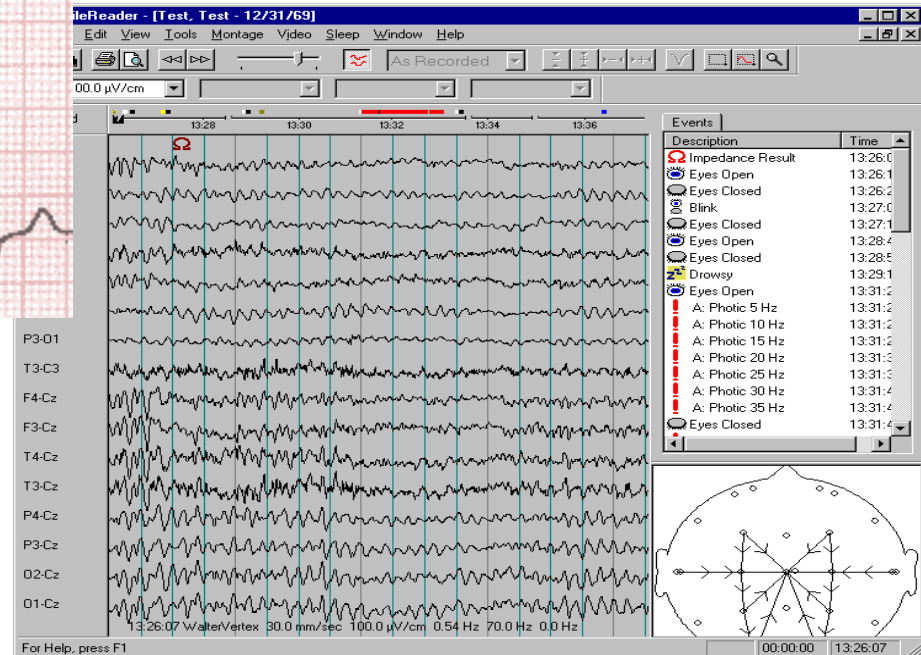
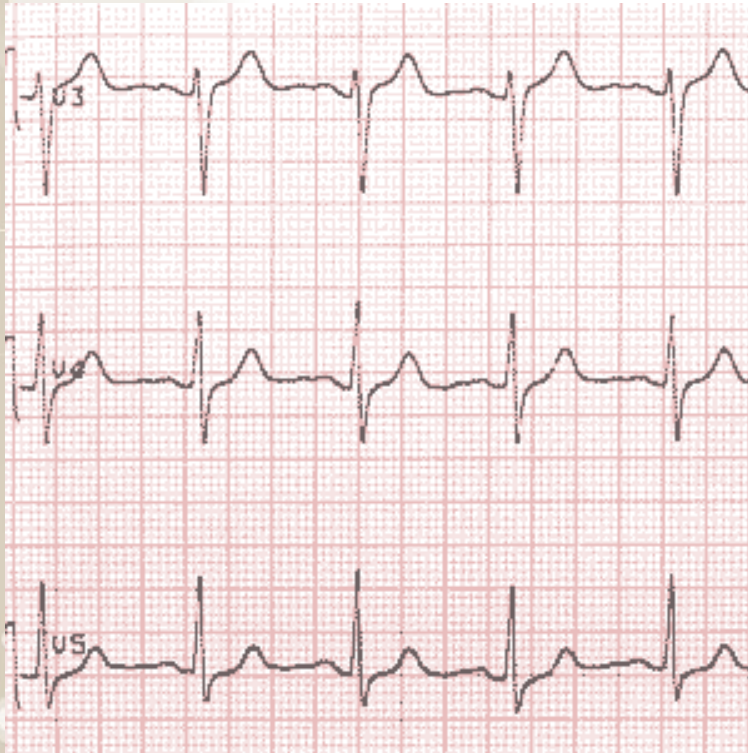
Signál je jev fyzikální, chemické, biologické, ekonomické či jiné materiální povahy, nesoucí informaci o stavu systému, který jej generuje, a jeho dynamice.

Je-li zdrojem informace živý organismus, pak hovoříme o **biosignálech** bez ohledu na **podstatu** nosiče informace.

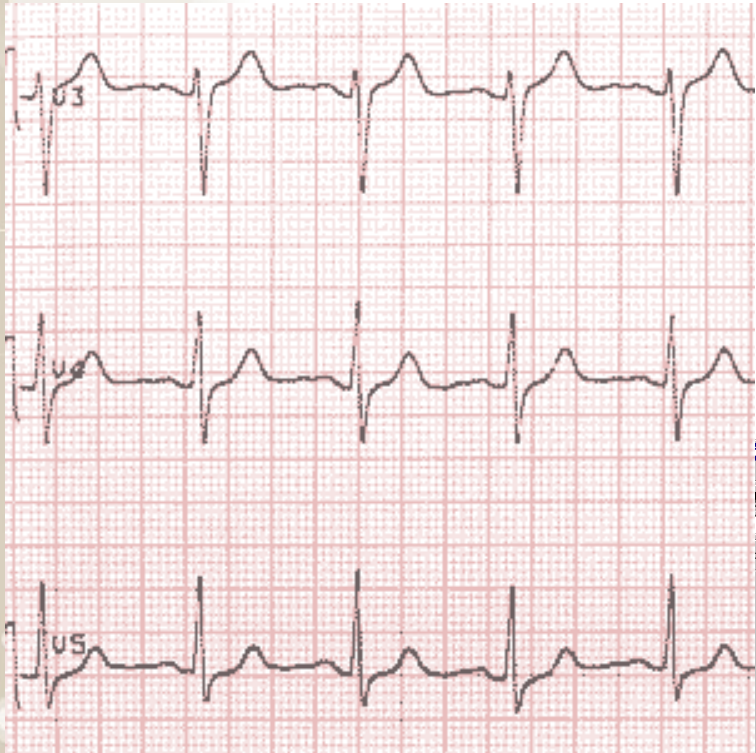
CO JE TO SIGNÁL ?



CO JE TO SIGNÁL ?



CO JE TO SIGNÁL ?



ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



NOSIČ

ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



INFORMACE

NOSIČ

SIGNÁL - DEFINICE

INFORMACE

- poznatek (znalost) týkající se jakýchkoliv objektů, např. faktů, událostí, věcí, procesů nebo myšlenek včetně pojmů, které mají v daném kontextu specifický význam (ISO/IEC 2382-1:1993 „Informační technologie – část I: Základní pojmy“)
- název pro obsah toho, co se vymění s vnějším světem, když se mu přizpůsobujeme a působíme na něj svým přizpůsobováním. Proces přijímání a využívání informace je procesem našeho přizpůsobování k nahodilostem vnějšího prostředí a aktivního života v tomto prostředí (**WIENER**);
- poznatek, který omezuje nebo odstraňuje nejistotu týkající se výskytu určitého jevu z dané množiny možných jevů;

!!! NEHMOTNÁ !!!

NOSIČ

- je reprezentován nějakým hmotným měřitelným jevem (veličinou) – primární, sekundární;

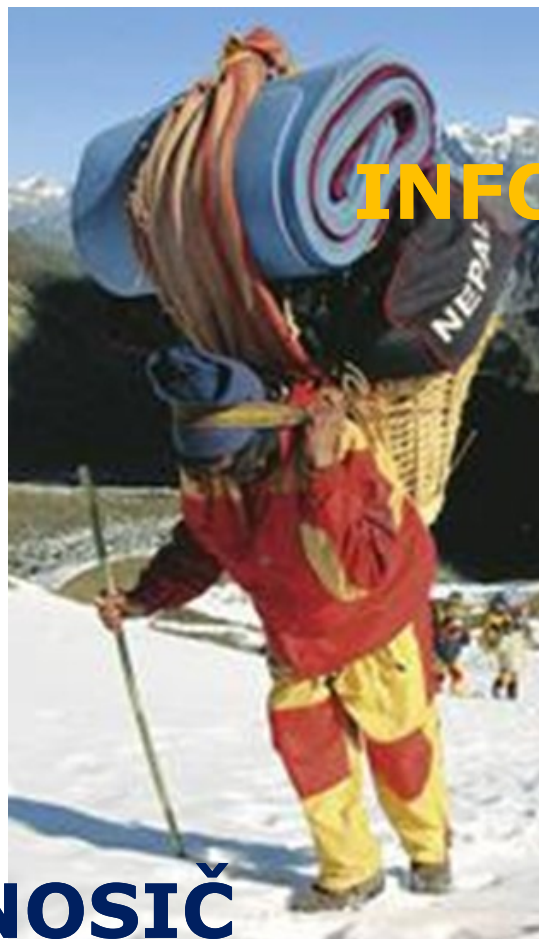
ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



INFORMACE

NOSIČ

ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



INFORMACE

NOSIČ

TO NECHME TECHNIKŮM (NEJSPÍŠ ELEKTRIKÁŘŮM, ...)

ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



INFORMACE



**ZPRACOVÁNÍ
INFORMACE**

NOSIČ

TO NECHME TECHNIKŮM (NEJSPÍŠ ELEKTRIKÁŘŮM, ...)

ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

popis

ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis –

→ **analyticky** (nějakou funkcí)



ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis –

→ **analyticky** (nějakou funkcí)

→ **posloupností hodnot**



ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis –

→ **analyticky** (nějakou funkcí)

→ **posloupností hodnot**



!!! ČASOVÁ ŘADA !!!

ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis –

→ **analyticky** (nějakou funkcí)

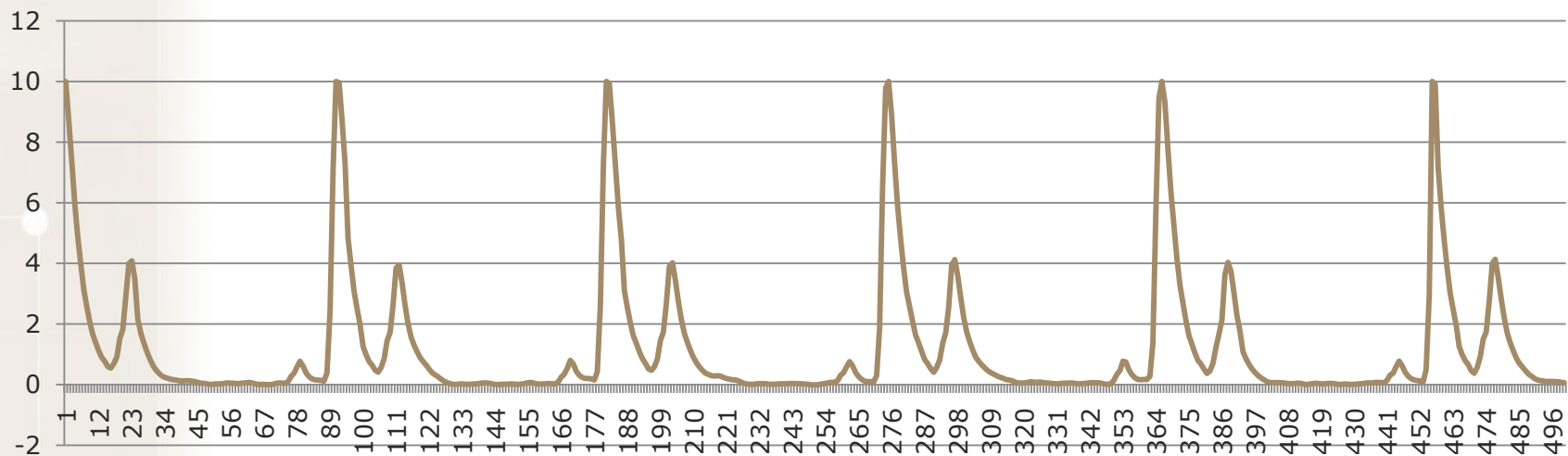
→ **posloupností hodnot**



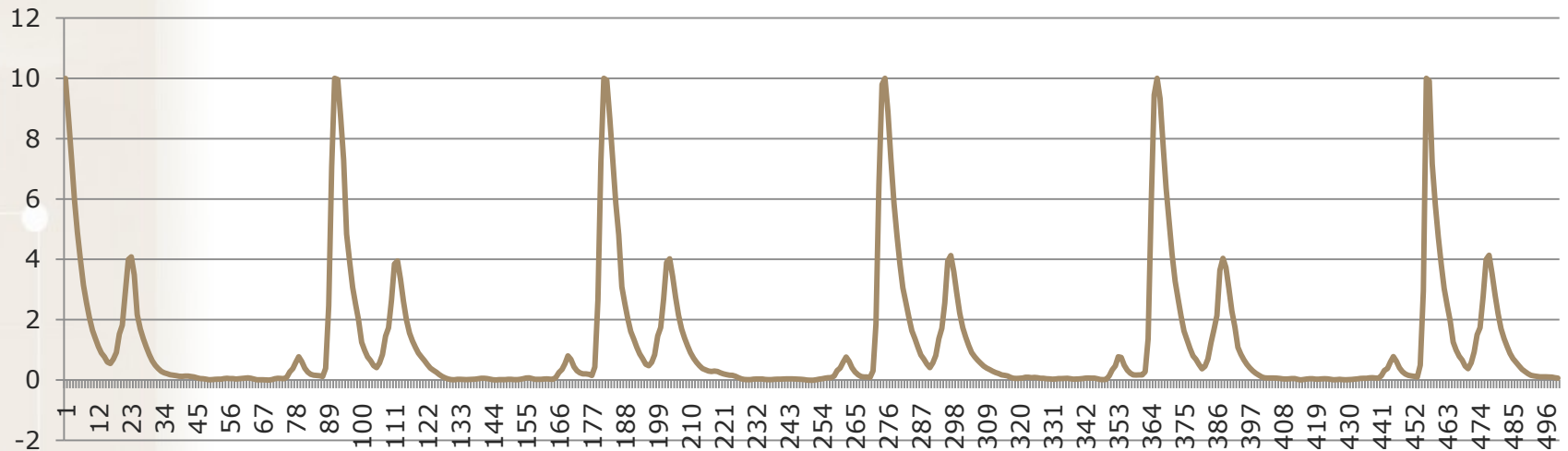
!!! ČASOVÁ ŘADA !!!



ČASOVÁ ŘADA

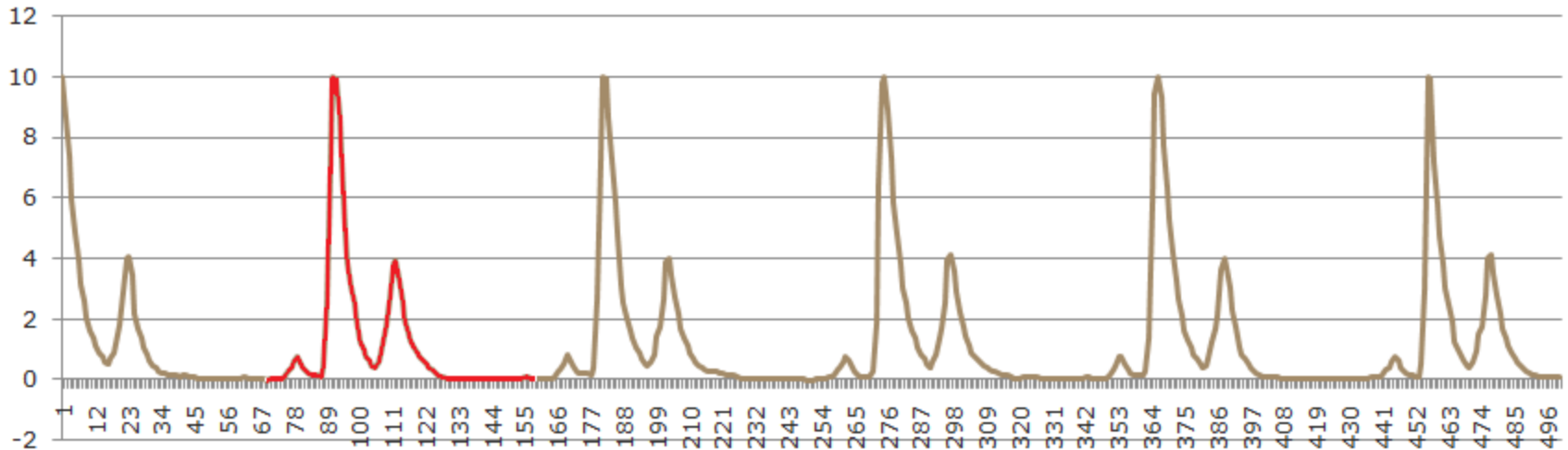


ČASOVÁ ŘADA



9.99512 8.68195 7.35687 5.98145 4.88892 3.96118 3.14331 2.57416
2.0697 1.64459 1.37085 1.10779 0.895691 0.767517 0.596313
0.546875 0.689392 0.912476 1.52466 1.81915 2.88361 3.99567
4.08142 3.48328 2.7713 2.16492 1.68976 1.37268 1.0968 0.837708
0.635376 0.487366 0.379028 0.286255 0.238647 0.209656 0.171204
0.157166 0.145264 0.122375 0.121155 0.1297 0.128479 0.116577
0.101624 0.0704956 0.0476074 0.0439453 0.0259399 0.00793457
0.0131226 0.0228882 0.0244141 0.0265503 0.0476074 0.055542
0.0488281 0.0442505

ČASOVÁ ŘADA ?



9.99512 8.68195 7.35687 5.98145 4.88892 3.96118 3.14331 2.57416
 2.0697 1.64459 1.37085 1.10779 0.895691 0.767517 0.596313
 0.546875 0.689392 0.912476 1.52466 1.81915 2.88361 3.99567
 4.08142 3.48328 2.7713 2.16492 1.68976 1.37268 1.0968 0.837708
 0.635376 0.487366 0.379028 0.286255 0.238647 0.209656 0.171204
 0.157166 0.145264 0.122375 0.121155 0.1297 0.128479 0.116577
 0.101624 0.0704956 0.0476074 0.0439453 0.0259399 0.00793457
 0.0131226 0.0228882 0.0244141 0.0265503 0.0476074 0.055542
 0.0488281 0.0442505

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ☑ podle aplikační oblasti

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

☑ podle aplikační oblasti

- signály kardiovaskulární soustavy (EKG, fetální EKG, křivka krevního tlaku, signál variability srdečního rytmu, karotidogram, ...);
- signály nervové soustavy (EEG, evokované potenciály, ENG, ...);
- signály respirační soustavy;
- signály okulografické (elektroretinogram, elektrookulogram, zrakové evokované potenciály, ...);
- ...

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ☑ podle aplikační oblasti;
- ☑ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ✓ podle aplikační oblasti;
- ✓ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;
- ✓ podle podstaty nosiče;

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ☑ podle aplikační oblasti;
- ☑ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;
- ☑ podle podstaty nosiče;
 - fyzikální

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ✓ podle aplikační oblasti;
- ✓ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;
- ✓ podle podstaty nosiče;
 - fyzikální
 - mechanické signály;
 - elektrické signály;
 - tepelné;
 - optické;

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ☑ podle aplikační oblasti;
- ☑ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;
- ☑ podle podstaty nosiče;
 - fyzikální;
 - chemické;

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ✓ podle aplikační oblasti;
- ✓ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;
- ✓ podle podstaty nosiče;
 - fyzikální;
 - chemické;
 - biologické;
 - ekonomické;
 - společenské;

KATEGORIZACE MEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ

- ✓ podle aplikační oblasti;
- ✓ podle počtu nezávislých proměnných, tj. podle rozměru;
- ✓ podle podstaty nosiče;
- ✓

SIGNÁLY PODLE POČTU NEZÁVISLÝCH PROMĚNNÝCH

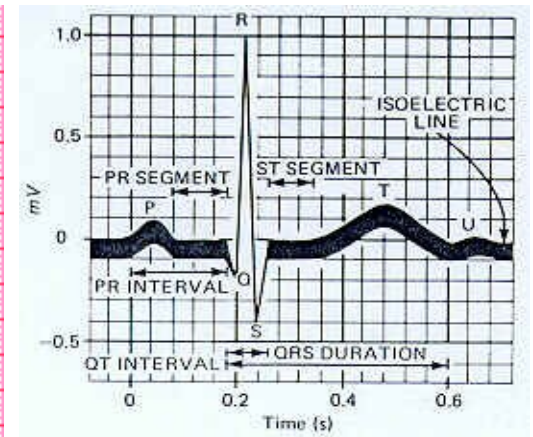
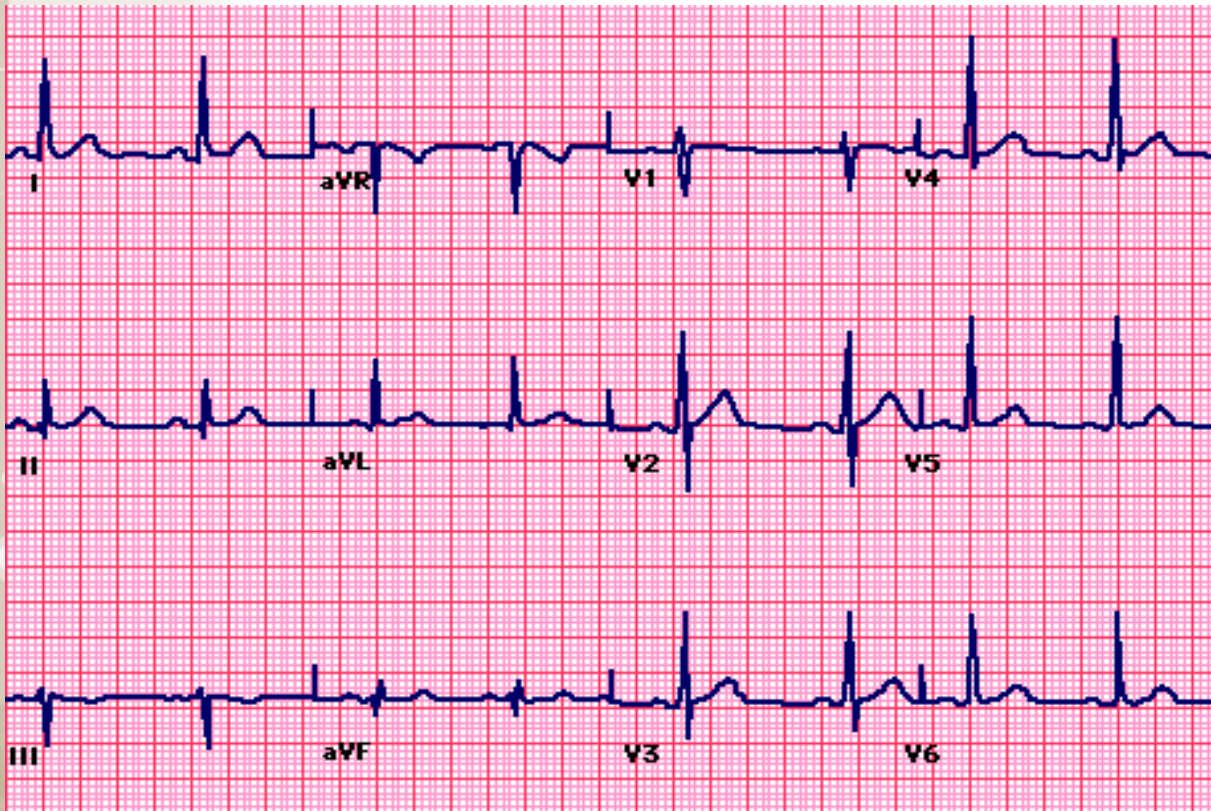
- ✓ jednorozměrné (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ✓ dvourozměrné (obrazové signály);
- ✓ vícerozměrné (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

SIGNÁLY PODLE POČTU NEZÁVISLÝCH PROMĚNNÝCH

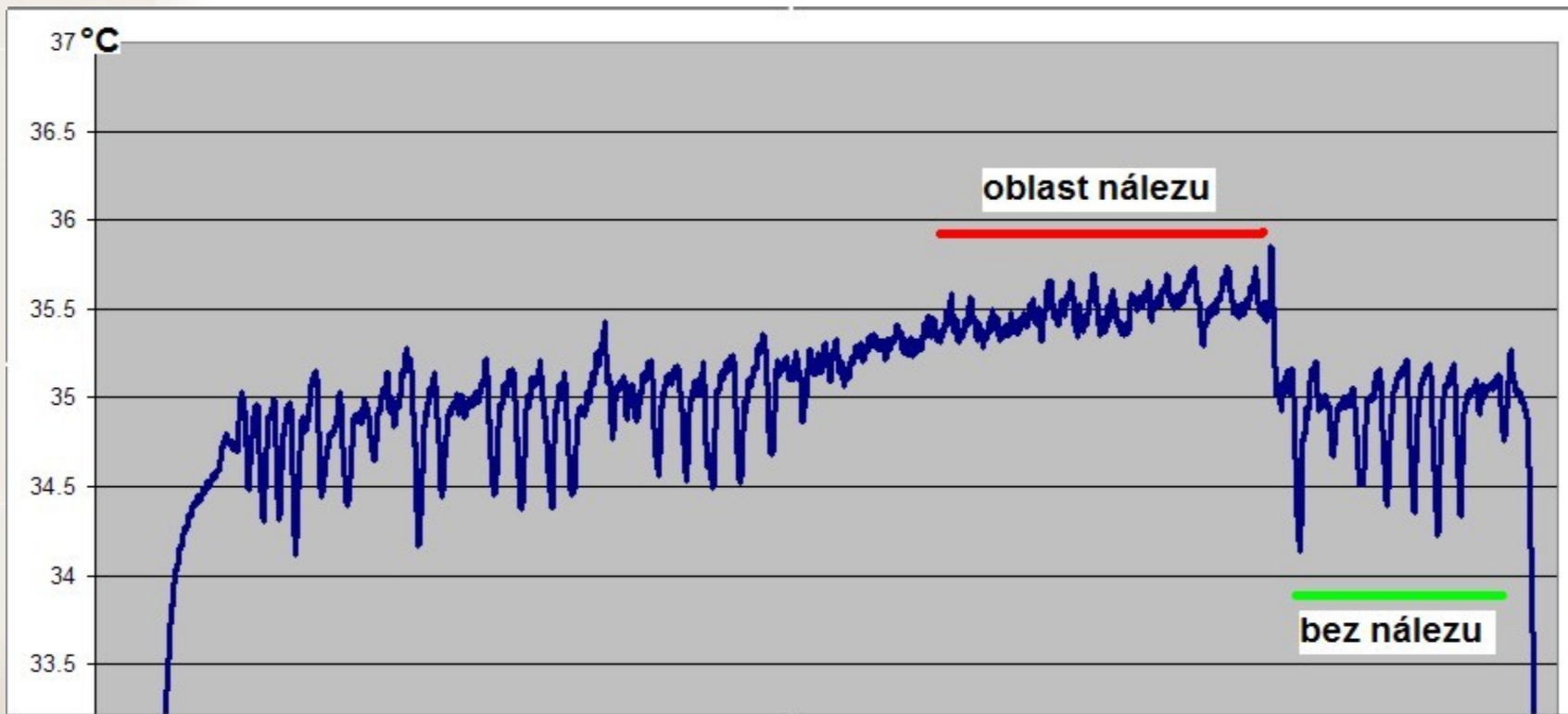
- ☑ **jednorozměrné** (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ☑ dvourozměrné (obrazové signály);
- ☑ vícerozměrné (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY

PŘÍKLADY



JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PŘÍKLADY



SIGNÁLY PODLE POČTU NEZÁVISLÝCH PROMĚNNÝCH

- ✓ jednorozměrné (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ✓ **dvourozměrné** (obrazové signály);
- ✓ vícerozměrné (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

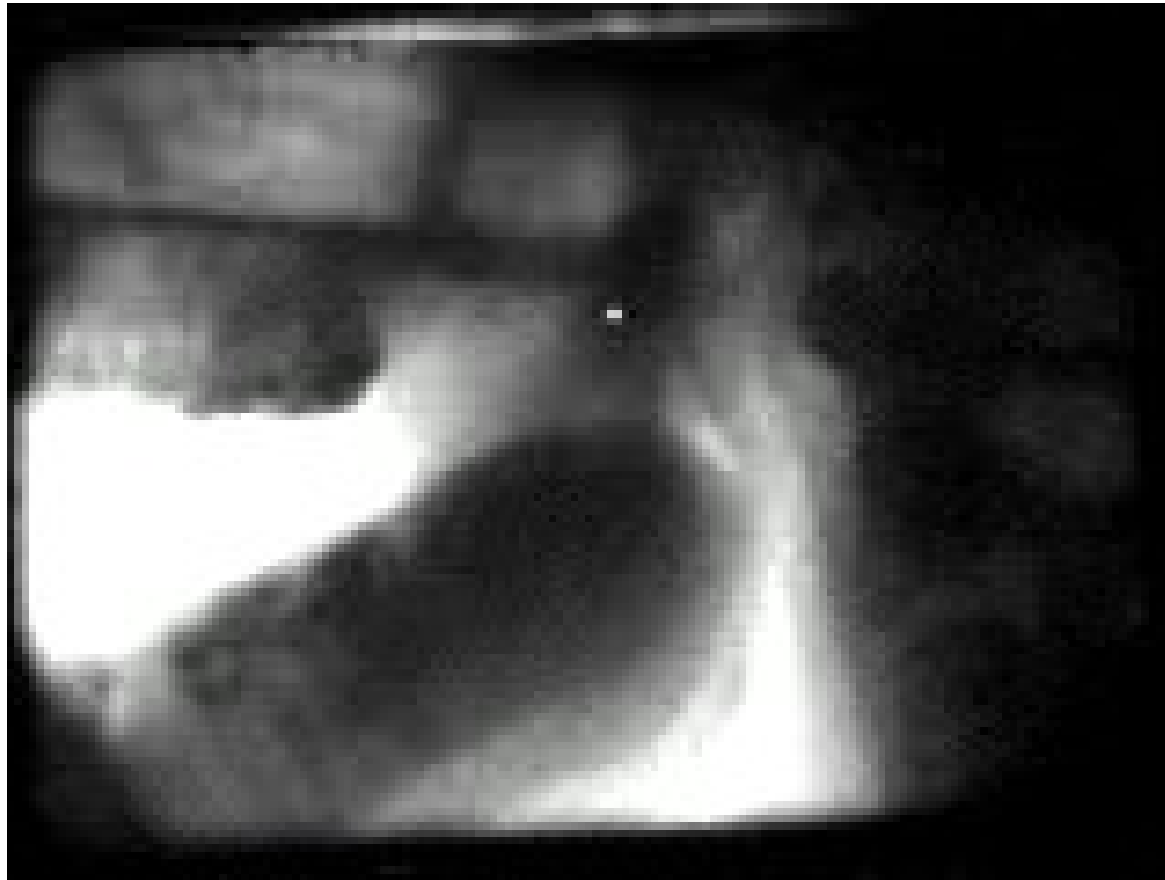
DVOUROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PŘÍKLADY



SIGNÁLY PODLE POČTU NEZÁVISLÝCH PROMĚNNÝCH

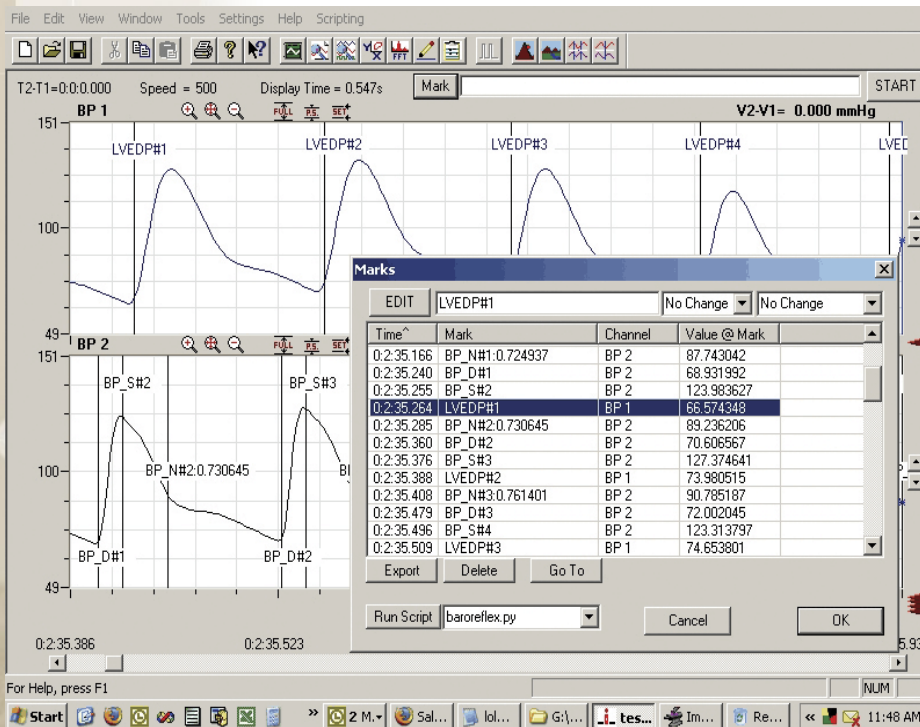
- ✓ jednorozměrné (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ✓ dvourozměrné (obrazové signály);
- ✓ **vícerozměrné** (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

VÍCEROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PŘÍKLADY

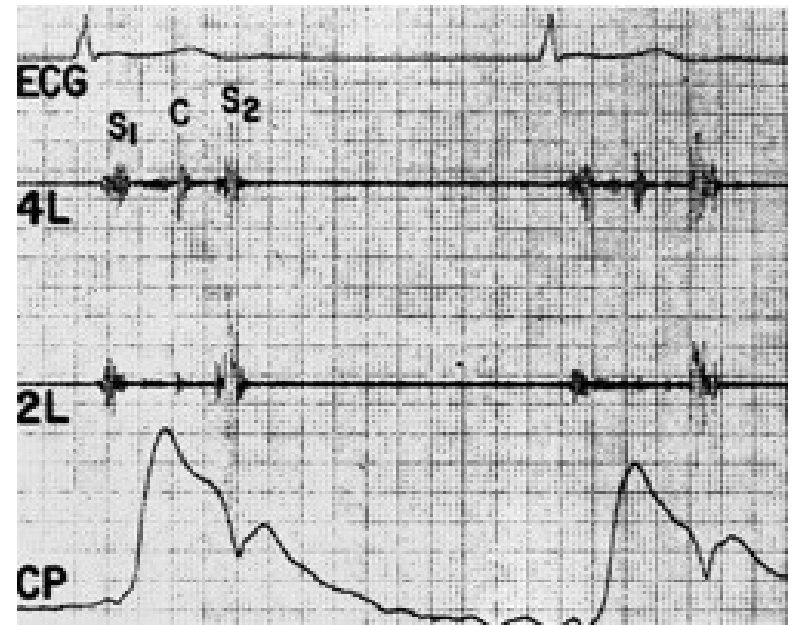


JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PODLE CHARAKTERU NOSIČE

mechanické (tlak krve)



zvukové
(fonokardiogram)



ECG = electrocardiogram; 4L = fourth left interspace; 2L = second left intercostal space; CP = carotid pulse tracing; S1 and S2 = first and second heart sounds; C = click

SLOŽKY FONOKARDIOGRAMU

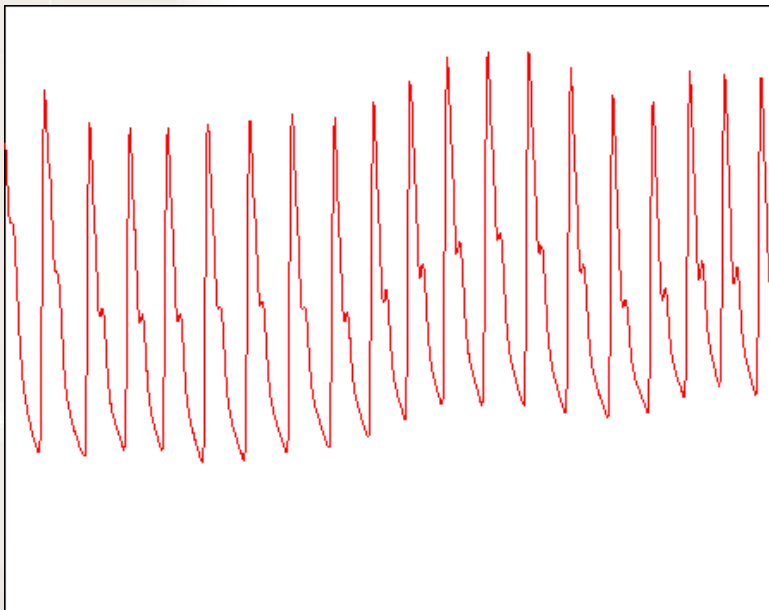
složka	frekvenční rozsah	umístění, resp. příčina	poloha snímače
první ozva, systolická – I.	15 – 800 Hz	komplex QRS	u hrotu plicnice
druhá ozva (diastolická) – II.	25 – 800 Hz	na konci vlny T	u hrotu plicnice
třetí ozva – III.	10 – 40 Hz	vlna U	u hrotu plicnice
čtvrtá ozva – IV.	10 – 40 Hz	systoly síní	u hrotu plicnice
diastolický šelest - průtokový	40 – 150 Hz	stenóza mitrální chlopně	
systolický šelest - regurgitační	40 – 400 Hz	chlopenní stenóza	nad srdeční bází

MECHANICKÉ BIOSIGNÁLY I

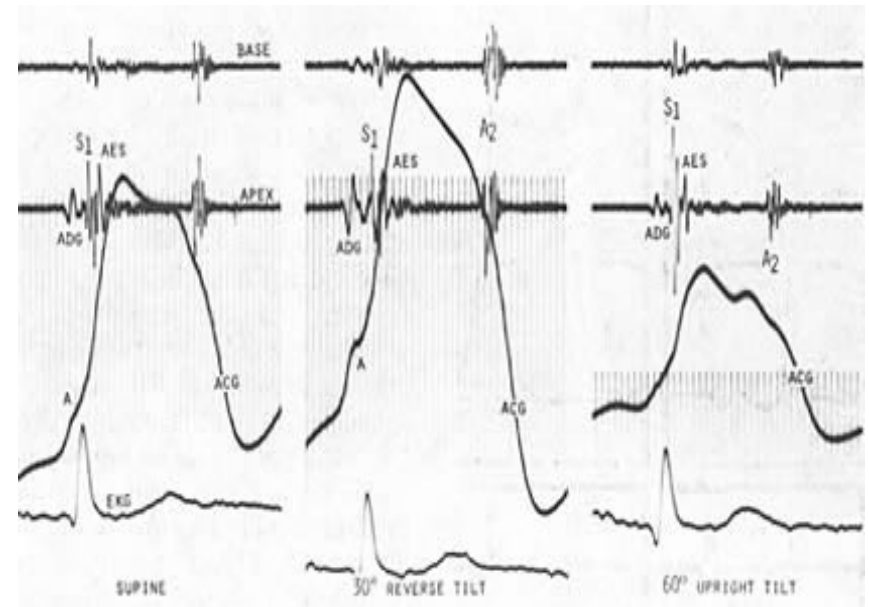
název	zdroj vibrací	frekvenční rozsah	poloha a typ snímače
pletysmogram	změny objemu částí těla vlivem srdeční činnosti, dýchání, ...	do 30 Hz	nad či kolem zkoumané částí těla
karotidogram	pulzní vlna v art. carotis, příp. art. femoralis	do 30 Hz [do 1000 Hz (?)]	v místě maximálního pohybu
apexkardiogram	relativní pohyb srdečního hrotu vůči hrudní stěně	do 20 Hz	na povrchu hrudníku v místě max. vibrací
seismokardiogram balistokardiogram	pohyb těla vyvolaný srdeční činností	dominantní energie do 30 Hz (frekvenční složky až do 500 Hz)	akcelerometr na povrchu hrudníku pohyb sedací podložky pohyb lůžka

MECHANICKÉ BIOSIGNÁLY I

pletysmogram



apexcardiogram



MECHANICKÉ BIOSIGNÁLY II

název	zdroj vibrací	frekvenční rozsah	poloha a typ snímače
pneumo-tachogram	objem a průtoková rychlost vdechovaného a vydechovaného vzduchu do/z plic	do 20 Hz	obvykle v náústku
reflex Achillovy šlachy	pohyb chodidla vyvolaný poklepem na Achillovu šlachu	do 100 Hz	výhylkový nebo rychlostní šlachy
mechanogram	změna úhlu při pohybové aktivitě	do 20 Hz	snímače různých typů na kosterním svalu
pedogram	časové, fázové a úhlové charakteristiky dolních končetin při chůzi	do 400 Hz (?)	kapacitní nášlapné snímače, reflexní značky snímané kamerou

MECHANICKÉ BIOSIGNÁLY II

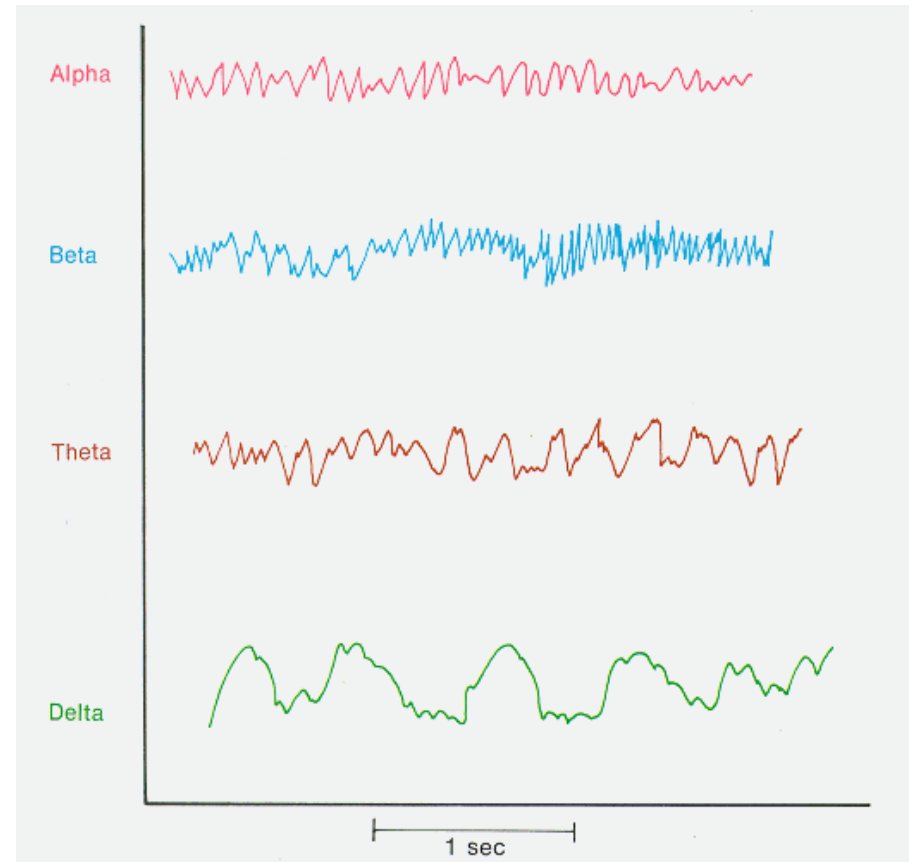
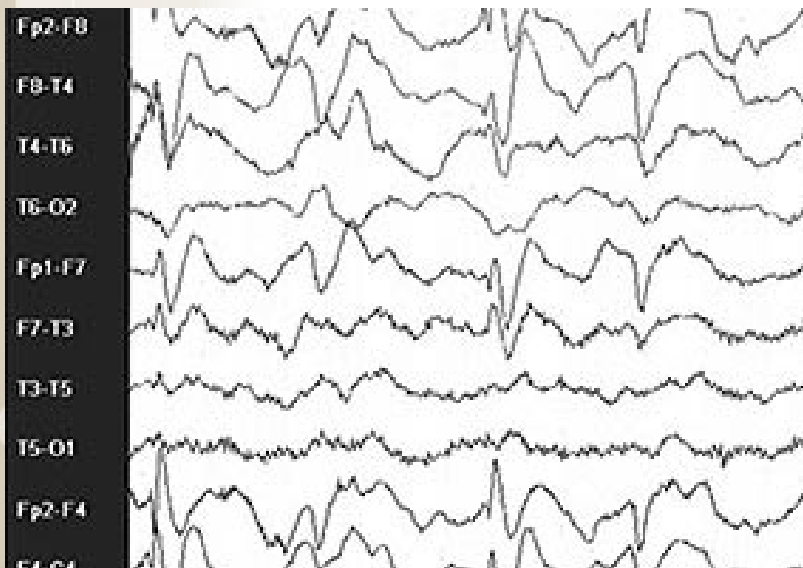


MECHANICKÉ BIOSIGNÁLY II

název	zdroj vibrací	frekvenční rozsah	poloha a typ snímače
pneumo-tachogram	objem a průtoková rychlost vdechovaného a vydechovaného vzduchu do/z plic	do 20 Hz	obvykle v náustku
reflex Achillovy šlachy	pohyb chodidla vyvolaný poklepem na Achillovu šlachu	do 100 Hz	výhylkový nebo rychlostní šlachy
mechanogram	změna úhlu při pohybové aktivitě	do 20 Hz	snímače různých typů na kosterním svalu
pedogram	časové, fázové a úhlové charakteristiky dolních končetin při chůzi	do 400 Hz (?)	kapacitní nášlapné snímače, reflexní značky snímané kamerou

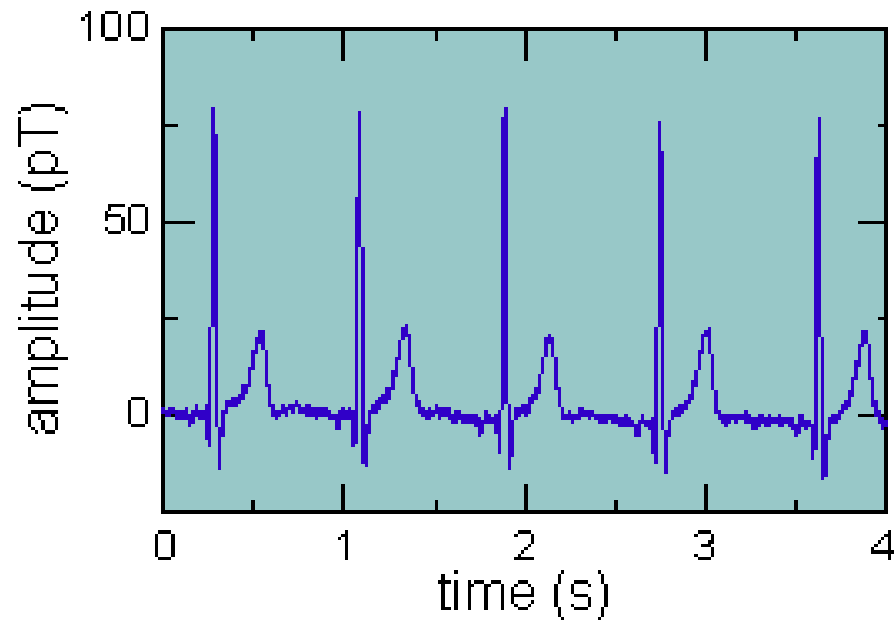
JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PODLE CHARAKTERU NOSIČE

elektrické (EEG)



JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PODLE CHARAKTERU NOSIČE

magnetické (MKG)

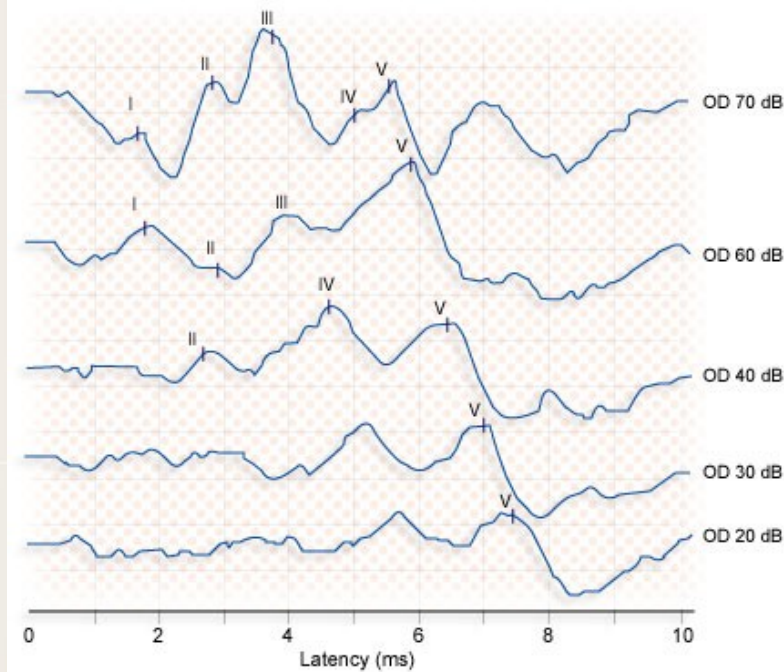


ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY I

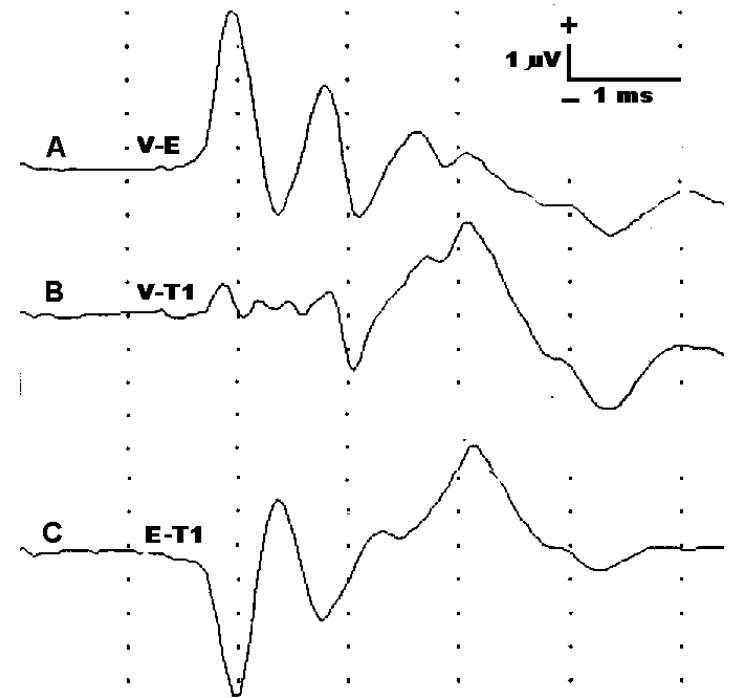
název	rozsah napětí	frekvenční rozsah	elektrody
elektrokardiogram EKG	$\sim 10^0$ mV	do 150 (500) Hz	plošné, přísavné, jícnové
fetální EKG	$\sim 10^2$ μ V	do 150 Hz	plošné povrchové, intrauterinní
elektroencefalogram EEG	$\sim 10^1$ μ V	do 80 Hz	povrchové
evokované potenciály	$10^0 \div 10^1$ μ V	do 10^2 Hz	povrchové
elektrokortikogram ECoG	do 10^0 mV	do 100 Hz	jehlové vpichové

ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY I

akusticky evokované potenciály mozkového kmene



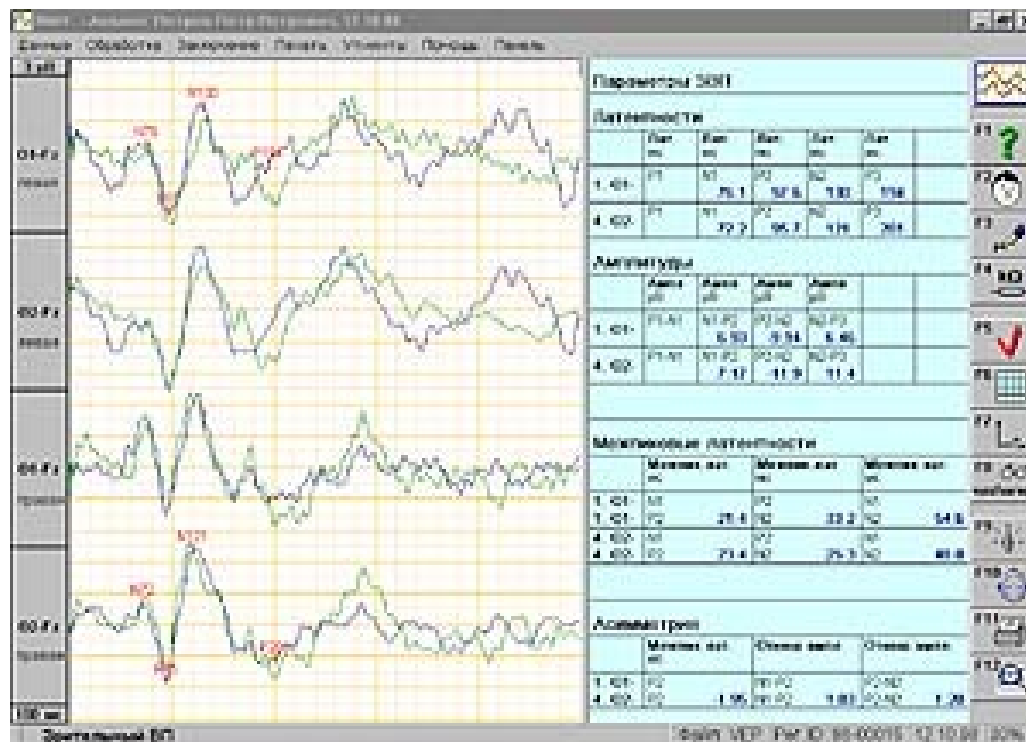
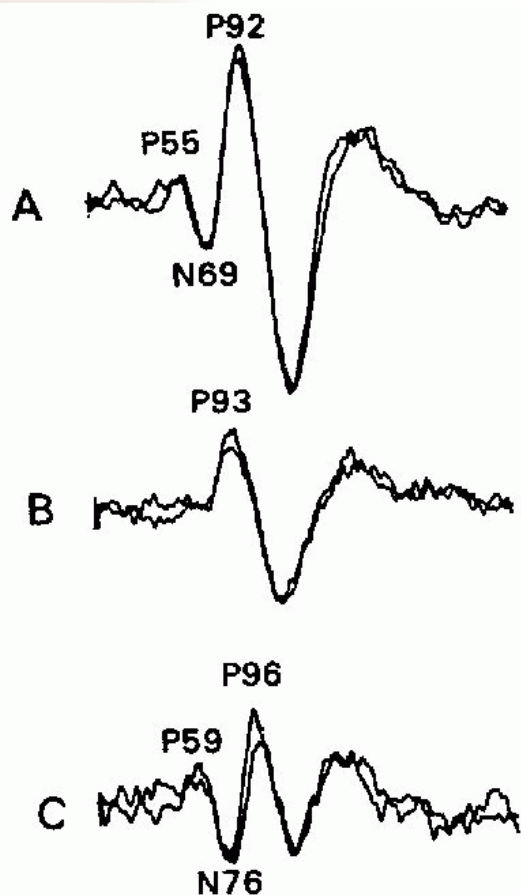
člověk



pes

ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY I

zrakově evokované potenciály

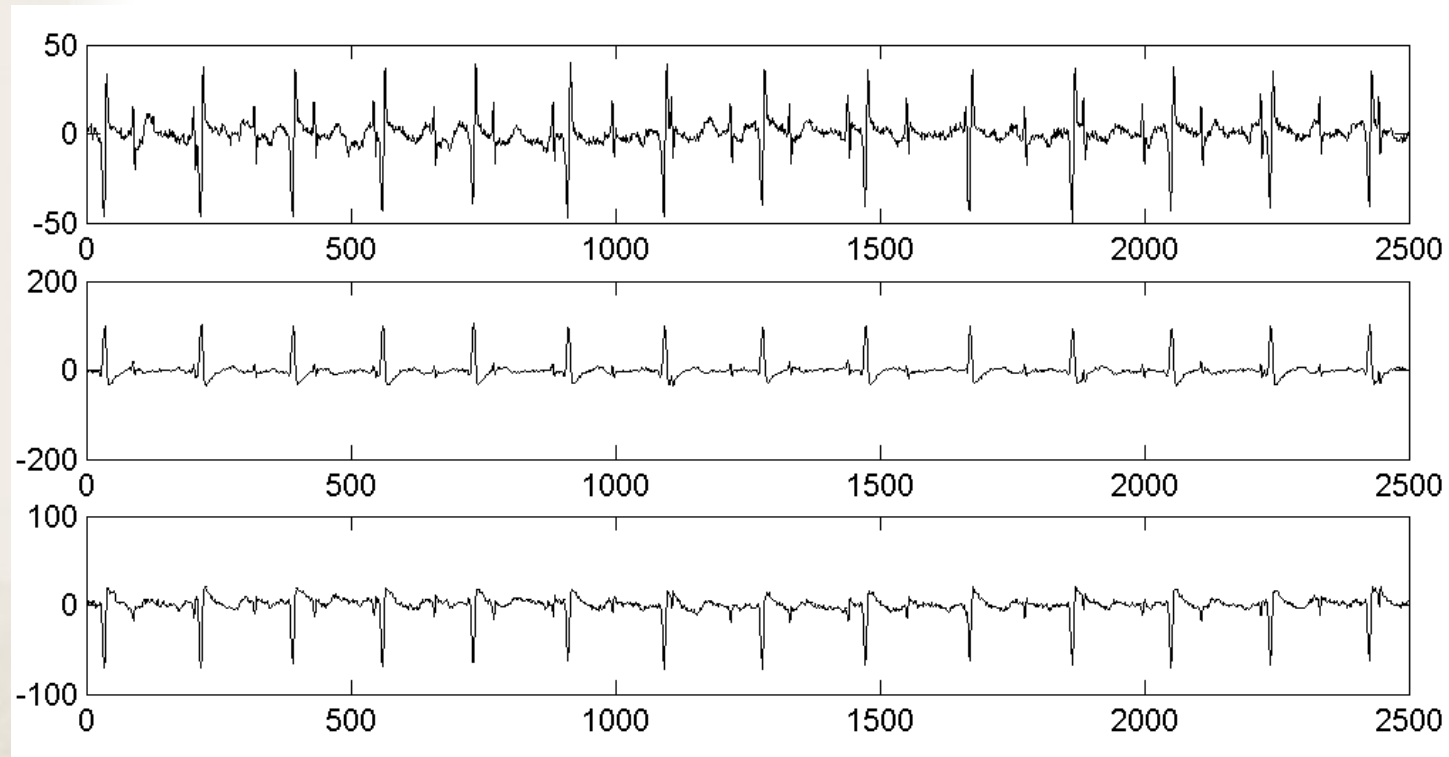


ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY II

název	rozsah napětí	frekvenční rozsah	elektrody
elektrokardiogram EKG	$\sim 10^0$ mV	do 150 (500) Hz	plošné, přísavné, jícnové
fetální EKG	$\sim 10^2$ μ V	do 150 Hz	plošné povrchové, intrauterinní
elektroencefalogram EEG	$\sim 10^1$ μ V	do 80 Hz	povrchové
evokované potenciály	$10^0 \div 10^1$ μ V	do 10^2 Hz	povrchové
elektrokortikogram ECoG	do 10^0 mV	do 100 Hz	jehlové vpichové

ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY II

fetální elektrokardiogram



ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY III

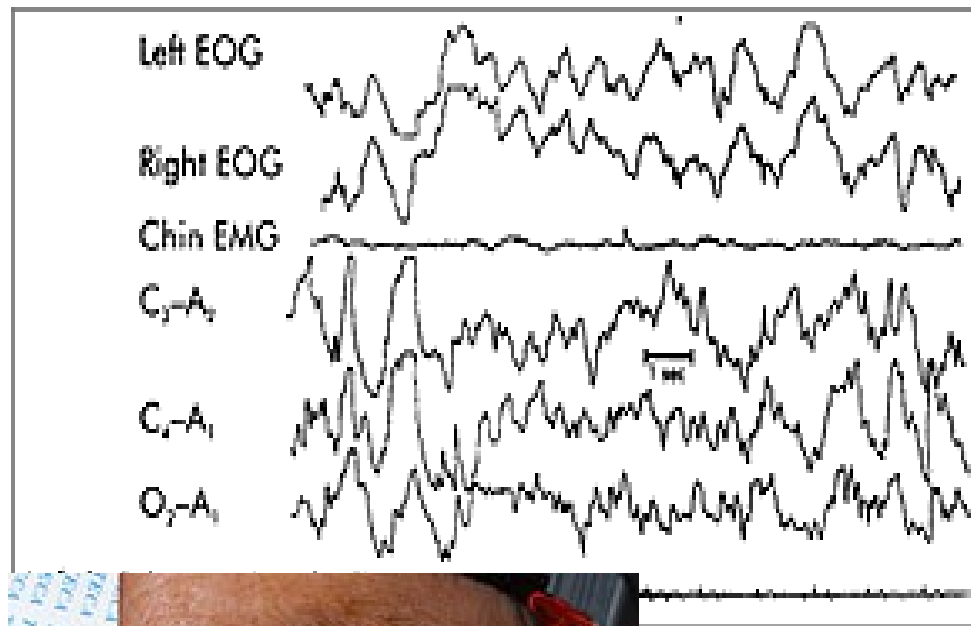
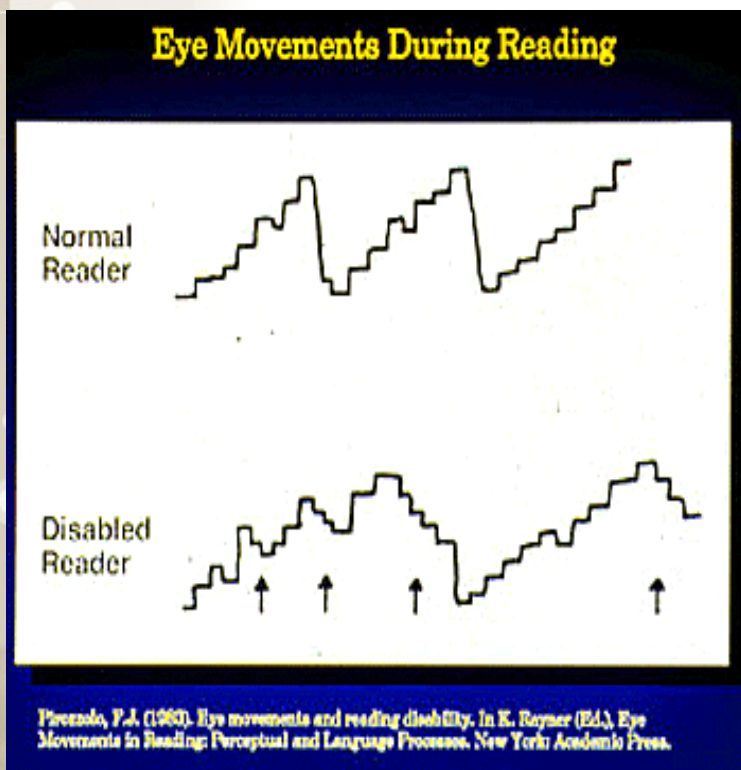
název	rozsah napětí	frekvenční rozsah	elektrody
elektromyogram EMG	do 10^0 mV	do 5 kHz	povrchové
AP motorické jednotky	$\sim 10^0$ μ V	do 15 kHz	vpichové jehlové
AP svalových vláken	$\sim 10^0$ mV	do 5 kHz	vpichové jehlové
elektroneurogram ENG	do 10^0 mV	do 1 kHz	vpichové jehlové
elektrogastrogram EGG / transkutánní	$\sim 10^2$ μ V	do 2 Hz	povrchové, přísavné

ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY IV

název	rozsah napětí	frekvenční rozsah	elektrody
elektrookulogram EOG	do 10^1 mV	do 100 Hz	povrchové
elektronystagmo- gram ENyG	do 10^1 mV	do 100 Hz	povrchové
elektroretinogram ERG - zábleskový	$\sim 10^2$ μ V	do 50 Hz	povrchové

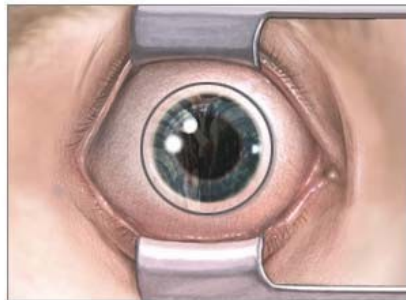
ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY IV

elektrookulogram



The eye electrode. The wire can be faintly seen running from the tape in the right corner of the eye to the crocodile clip on the left corner.

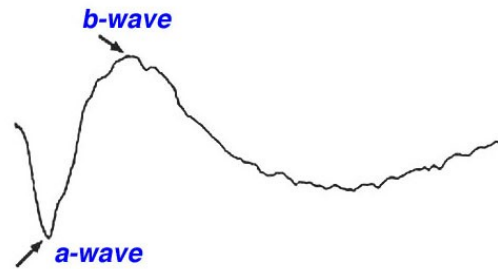
ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY IV



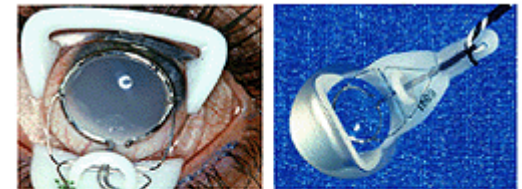
Contact lens electrode placed on eye to measure electrical activity of retina to light

ADAM.

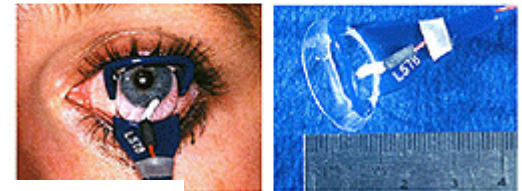
elektroretinogram



Burian speculum type electrodes



Cotton wick electrodes



some corneal ERG electrodes

Fig.1 The biphasic waveform of the typical normal patient.

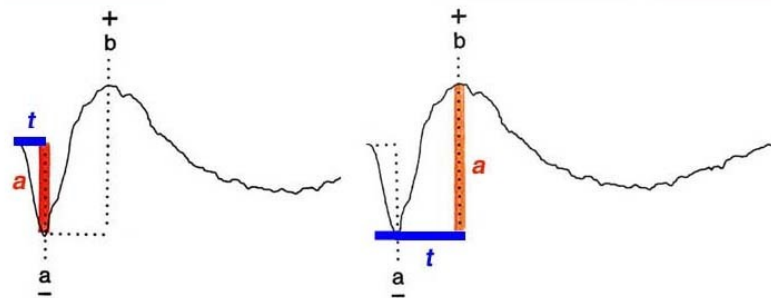


Fig.2 Amplitude and implicit time measurements of the ERG waveform.

JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY

PODLE CHARAKTERU NOSIČE

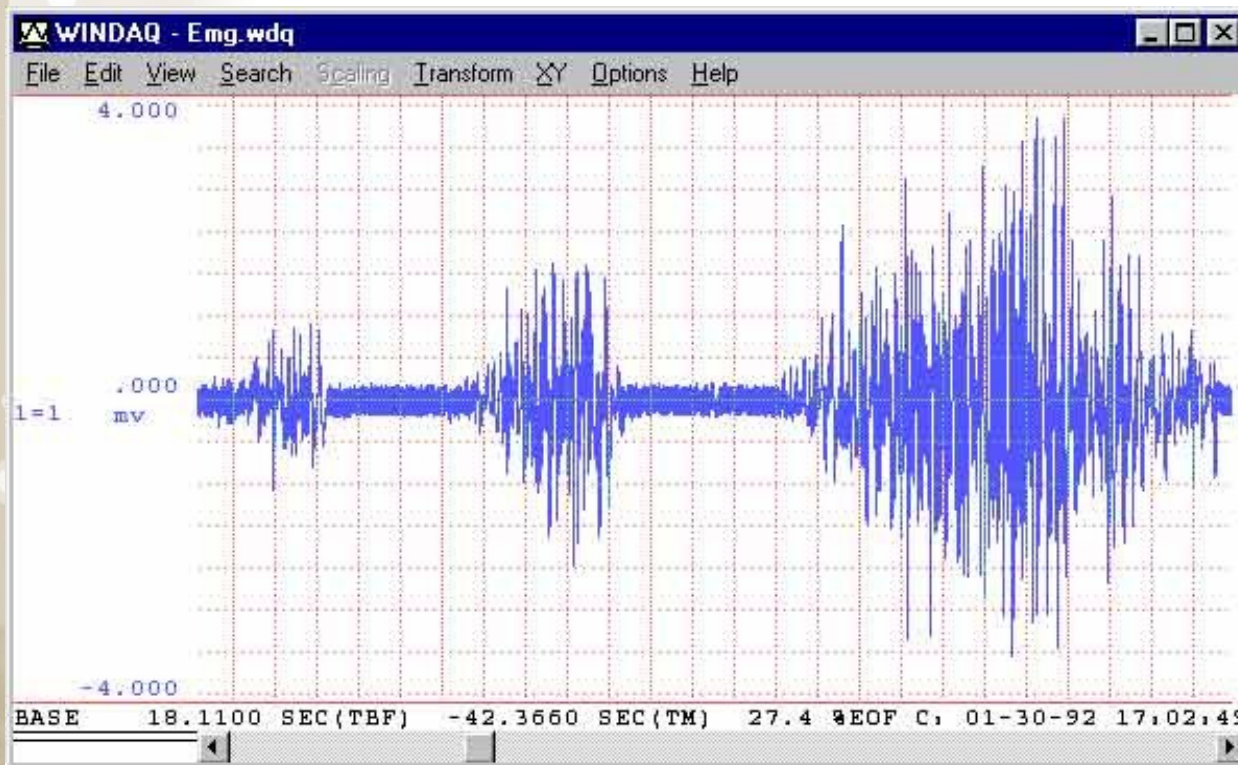
- ✓ **chemické** (např. průběh hodnot pH faktoru žaludečních šťáv během trávení nebo obsah jednotlivých plynných složek ve vydechaném vzduchu);
- ✓ **biologické** (např. posloupnost hodnot počtů zajíců, žijících ve starostově lese);
- ✓ **ekonomické** (např. cena měsíčně spotřebovaného psího žrádla).

SIGNÁLY LIDSKÉHO ORGANISMU

- ✓ **spontánní** - bez rozhodujícího vnějšího vlivu (EKG, EEG, klidový signál variability srdečního rytmu, popisující kvalitu buzení srdečního svalu nervovou soustavu);
- ✓ **odezva na specifické buzení** (elektrická odezva nervové soustavy evokovaná zrakovým podnětem, křivka usilovného výdechu, odezva Achillovy šlachy).

SIGNÁLY LIDSKÉHO ORGANISMU

elektromyogram



The original EMG signal acquired by skin surface electrodes placed several centimeters apart over the biceps muscle. Other than the duration and intensity of the muscular contraction, the waveform conveys little meaningful information in this state.

SPONTÁNNÍ SIGNÁLY LIDSKÉHO ORGANISMU

☑ **opakující se (repetiční)**

- signály vázané s činností kardiovaskulárního systému (EKG, FEKG, pletysmogram, ... - pozor na nepravidelnosti – extrasystoly, bloky);
- respirační signály (ne všechny);

☑ **nepravidelné**

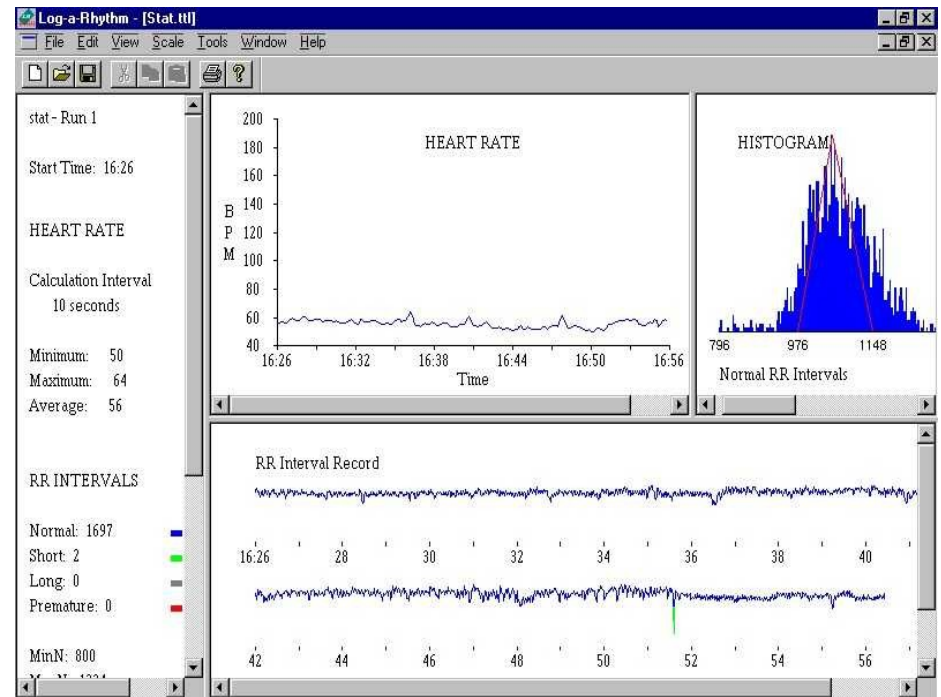
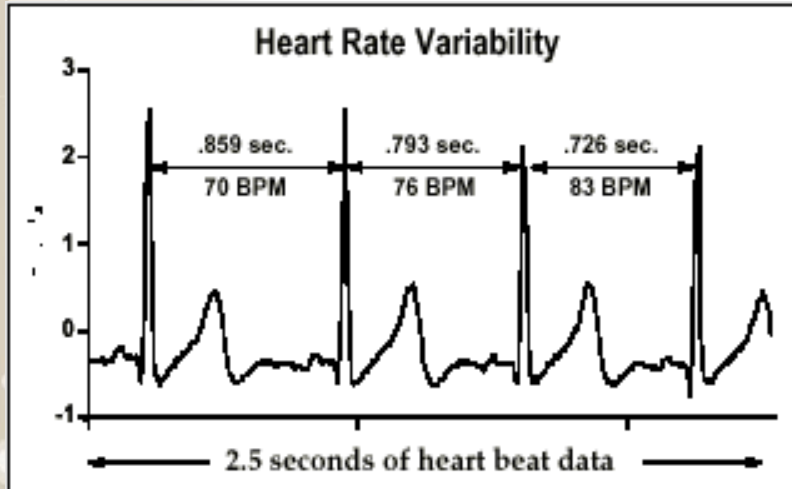
- EEG

SPOJITOST SIGNÁLŮ LIDSKÉHO ORGANISMU

- ✓ **spojité signály** - většina signálů generovaných lidským organismem je ze své podstaty **spojitá** (EKG, elektroretinogram, rychlost průtoku krve, ...);
- ✓ **diskrétní signály** - např. variabilita srdečního rytmu, elektroneurogram, ...

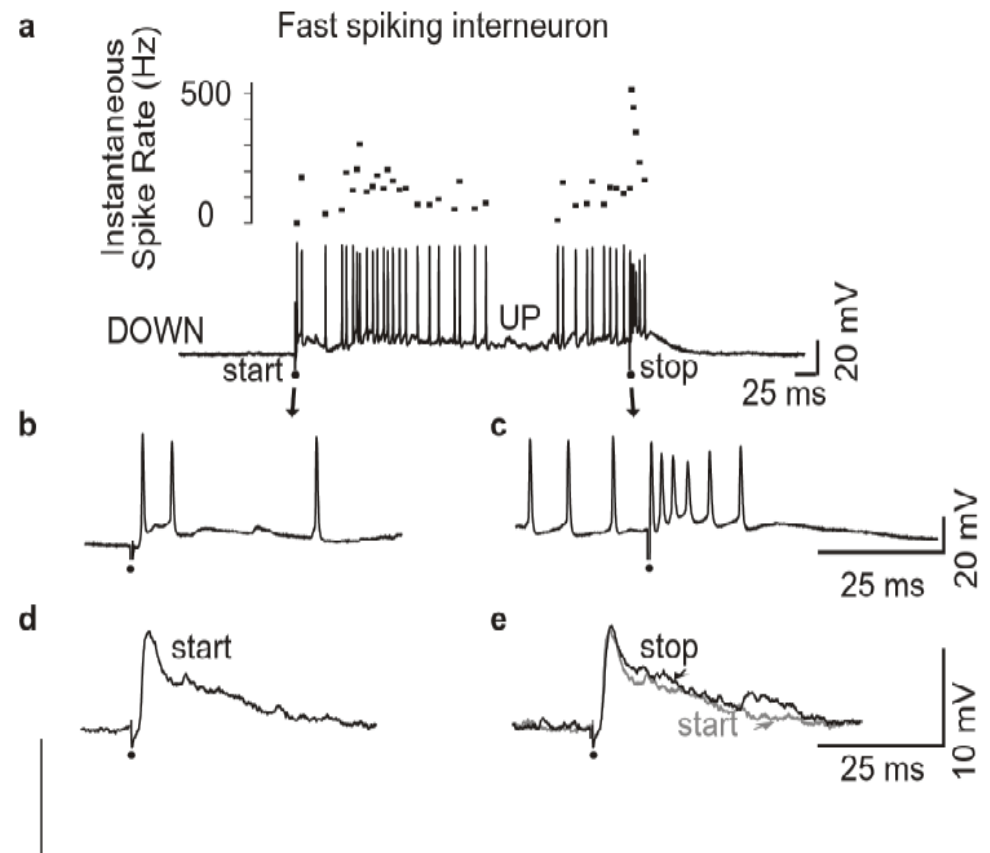
SPOJITOST SIGNÁLŮ LIDSKÉHO ORGANISMU

variabilita srdečního rytmu



SPOJITOST SIGNÁLŮ LIDSKÉHO ORGANISMU

elektroneurogram (sled AP)



SPOJITOST SIGNÁLŮ LIDSKÉHO ORGANISMU

vzhledem k charakteru technických prostředků používaných v současnosti pro zpracování biosignálů jsou snímané signály **diskretizovány (vzorkovány)**

- pravidelně (EKG,...),
- nepravidelně (teplota, ...);

BIOSIGNÁLY PODLE POČTU KANÁLŮ

☑ **jednokanálové** – evokované potenciály

☑ **vícekanálové**

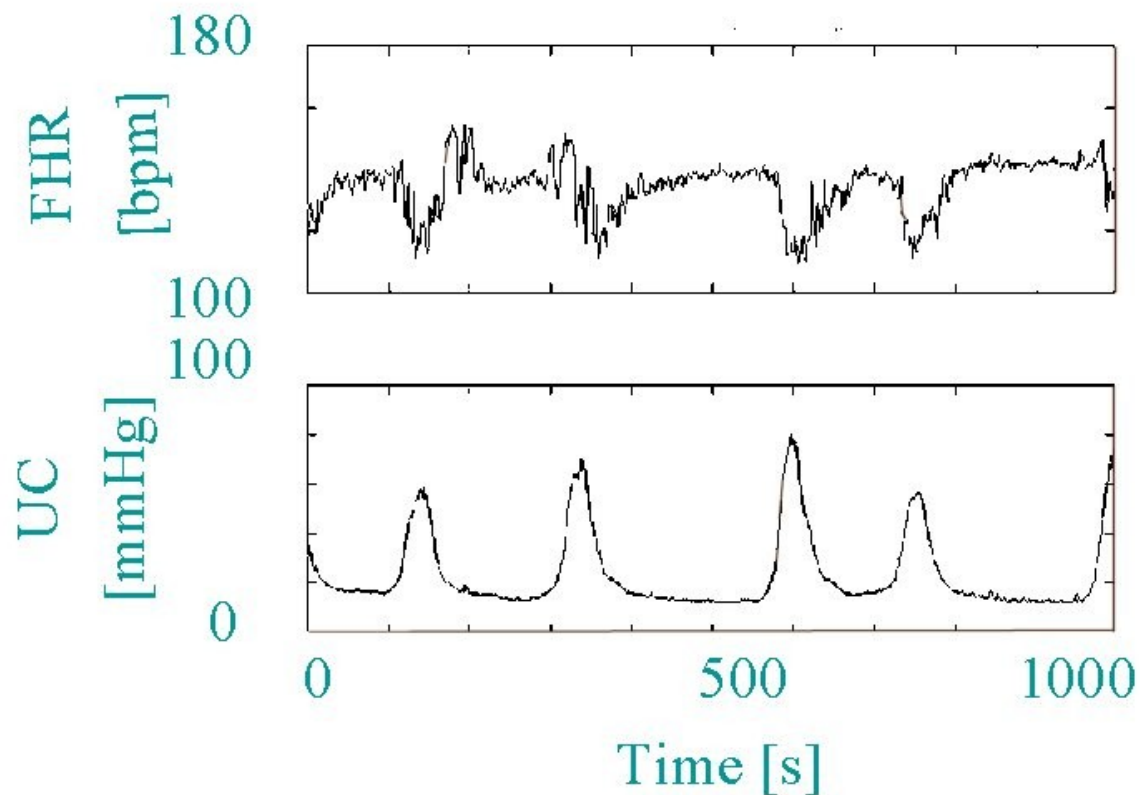
→ **téhož typu** – EKG, EEG, ...

→ **různého typu** –

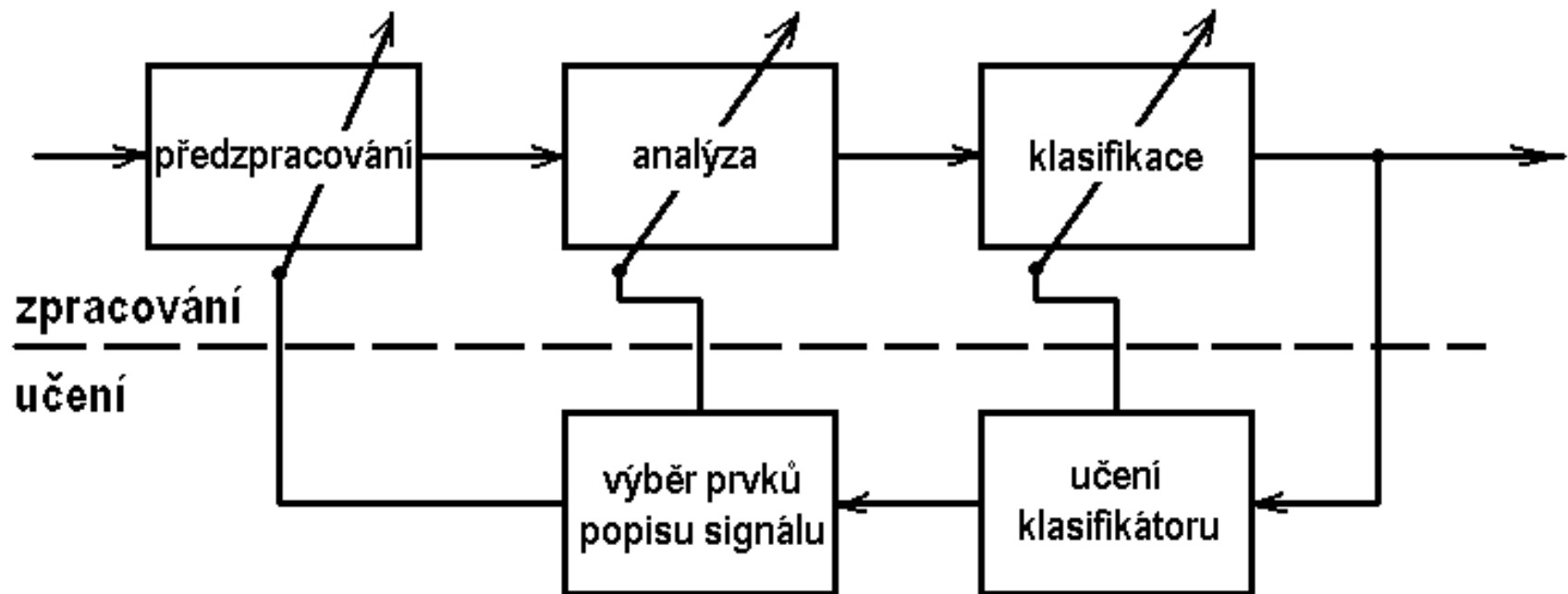
- ☐ kardiologický polygram (EKG, FKG, pletysmogram, karotidogram, ...);
- ☐ kardiokogram (srdeční rytmus plodu, mechanické stahy dělohy, ...);

BIOSIGNÁLY PODLE POČTU KANÁLŮ

kardiotokogram



OBECNÉ SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ



OBECNÉ SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ

ZPRACOVÁNÍ

☑ předzpracování

- (A/Č převod);
- filtrace rušivých složek x zvýraznění užitečných složek signálu;
- rekonstrukce a doplnění chybějících údajů;
- redukce dat;

☑ analýza dat

- určení hodnot příznaků (reprezentativních parametrů) – pro příznakové klasifikátory;
- nalezení primitiv (charakteristických tvarových segmentů) – strukturální klasifikátory

☑ klasifikátor –

- zatřídění do diagnostických kategorií

OBECNÉ SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ

UČENÍ

☑ **učení klasifikátoru**

→ nastavení klasifikačních kritérií;

☑ **výběr prvků popisu signálu**

→ stanovení reprezentativních charakteristických rysů zpracovávaného signálu;

OSNOVA ZÁPOČTOVÉHO DÍLA

- ✓ definice signálu
- ✓ původ a způsob snímání
- ✓ rušivé složky (šum) - původ
- ✓ vlastnosti signálu i šumu
 - ❖ časová doména (rozsah hodnot, časové relace, vlastnosti jednotlivých útvarů – grafoelementů – v signálu, ...);
 - ❖ frekvenční doména (spektrální vlastnosti užitečné složky signálu i šumu);
 - ❖ vzájemná vazba mezi užitečnou složkou a rušením;
- ✓ metody předzpracování, tj. zejména oddělení užitečné a šumové složky signálu;
- ✓ metody automatické analýzy a klasifikace podle užitečné složky signálu.