



ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZA BIOSIGNÁLŮ I.



prof. Ing. Jiří Holčík, CSc.

holcik@iba.muni.cz

© Institut biostatistiky a analýz

LITERATURA

- ✓ Holčík, J.: Zpracování biosignálů. [Elektronické učební texty]
- ✓ Svatoš, J.: Biologické signály I., [skripta ČVUT], ČVUT 1992.
- ✓ Mohylová, J., Krajča, V.: Zpracování signálu v lékařství. [skripta ŽU v Žilině], EF ŽU 2004

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

SIGNÁL - DEFINICE

SIGNÁL - DEFINICE

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

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**.

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;

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

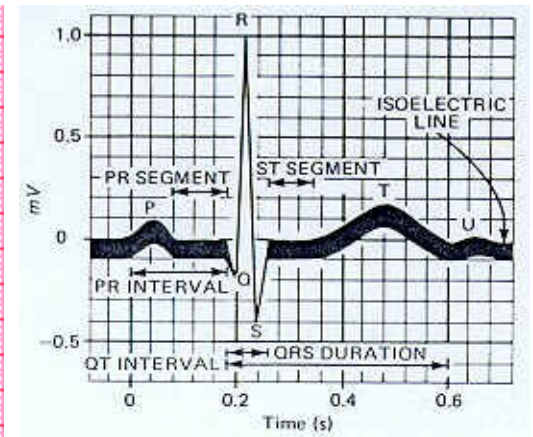
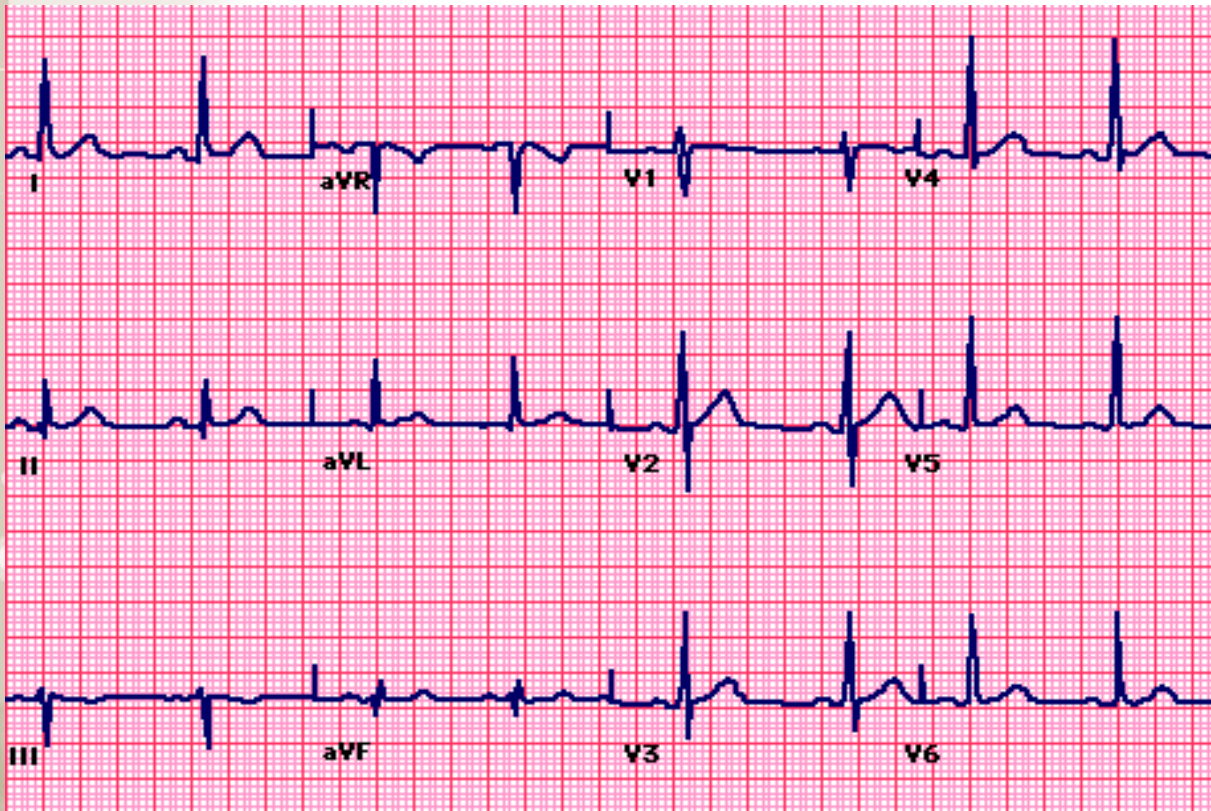
- ✓ jednorozměrné (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ✓ dvourozměrné (obrazové signály);
- ✓ vícerozměrné (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

SIGNÁLY PODLE POČTU NEZÁVISLÝCH PROMĚNNÝCH

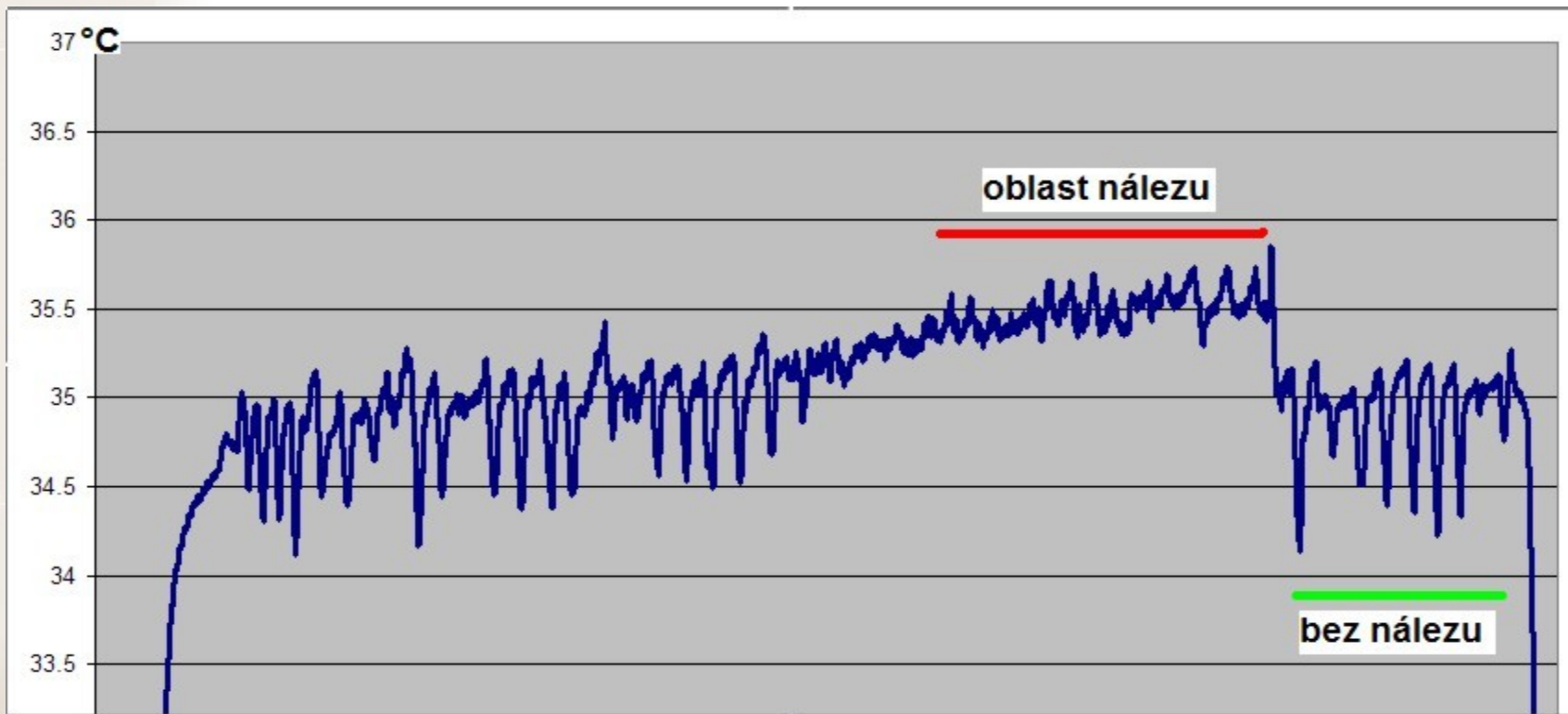
- ☑ **jednorozměrné** (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ☑ **dvourozměrné** (obrazové signály);
- ☑ **vícerozměrné** (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

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.).

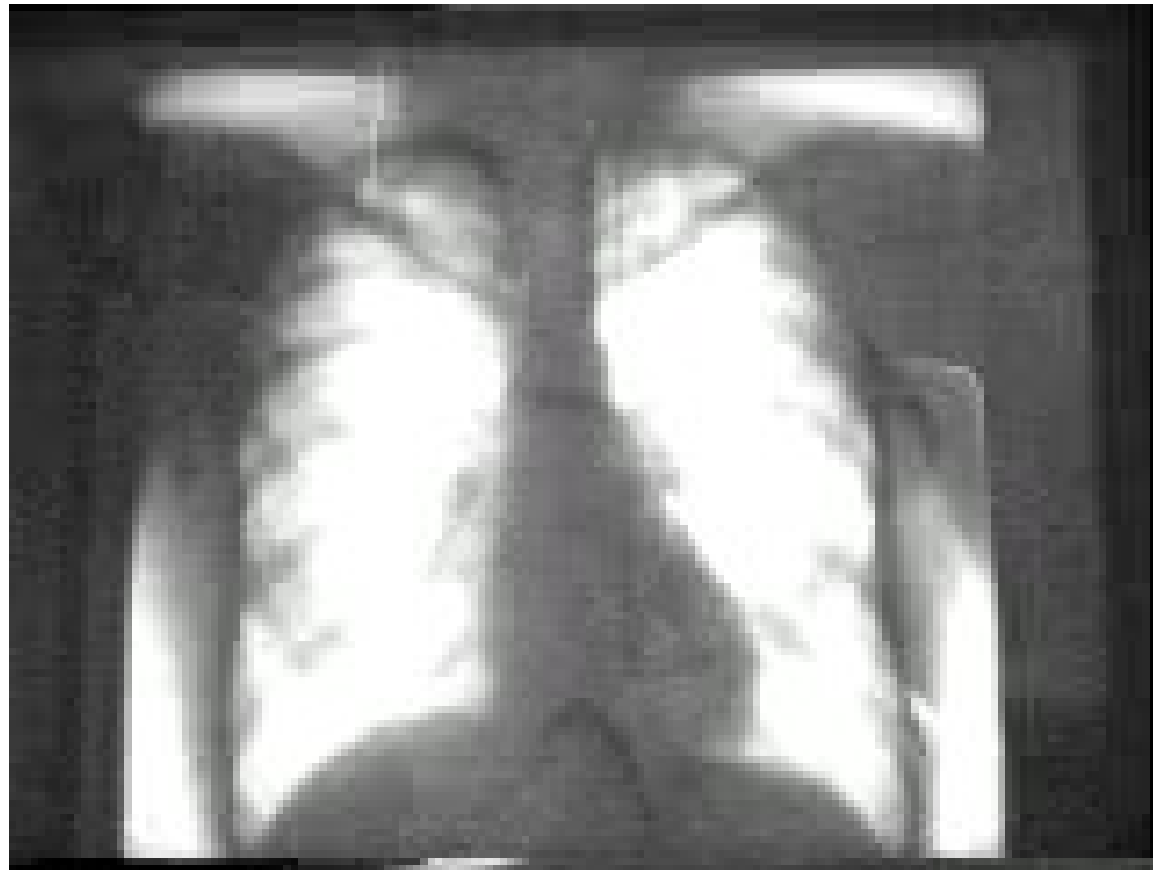
DVOUROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PŘÍKLADY



SIGNÁLY PODLE POČTU NEZÁVISLÝCH PROMĚNNÝCH

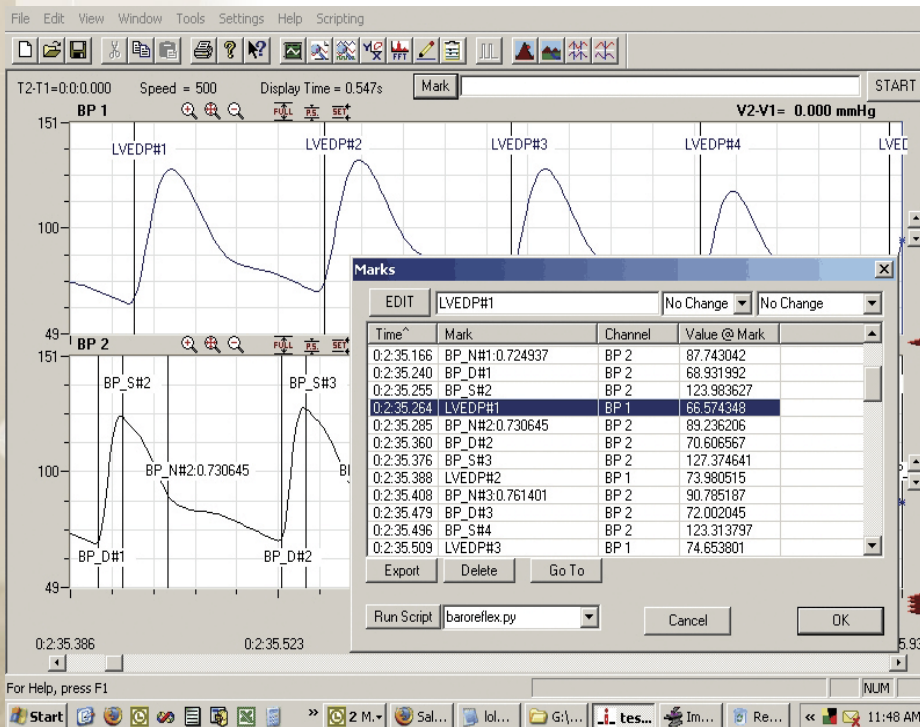
- ✓ jednorozměrné (nejčastěji vyjadřují časovou závislost sledované veličiny);
- ✓ dvourozměrné (obrazové signály);
- ✓ **vícerozměrné** (signály popisující třírozměrnou scénu, vyjadřující časovou dynamiku dvourozměrných obrazů, atd.).

VÍCEROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PŘÍKLADY

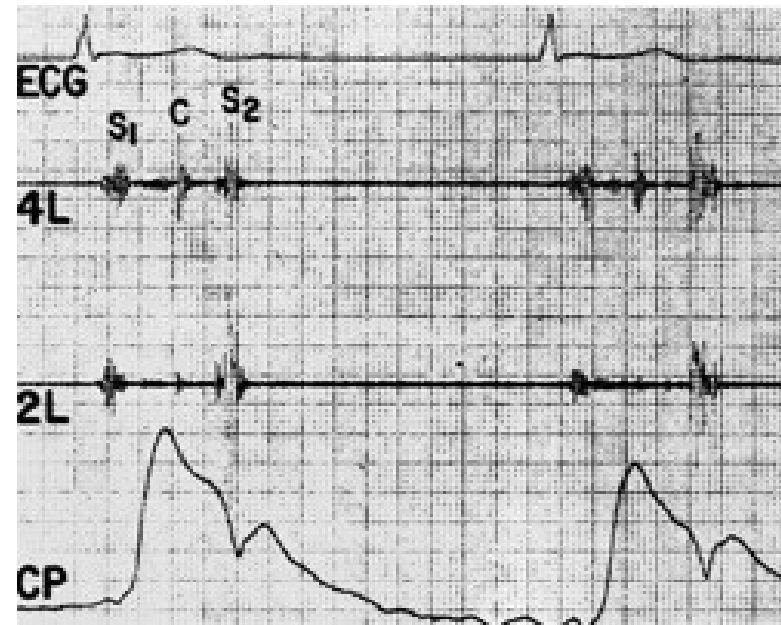


JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PODLE CHARAKTERU NOSIČE

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

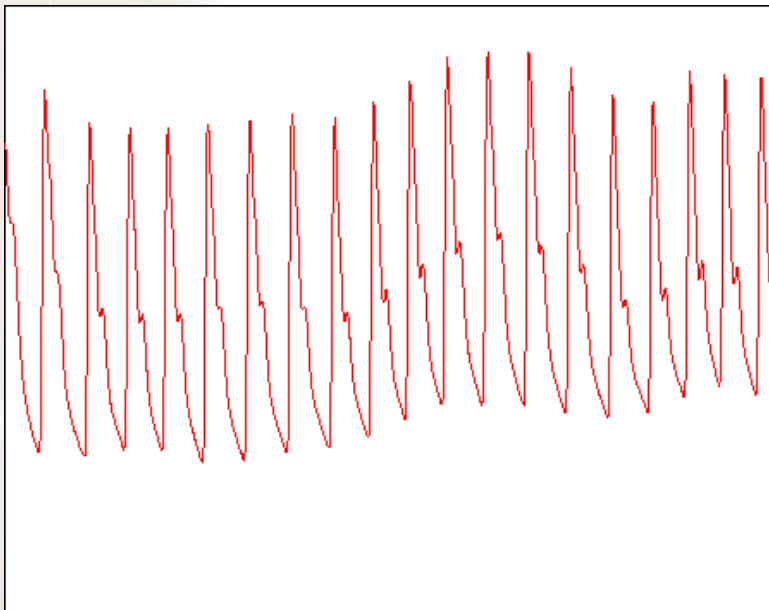
| složka | frekvenční rozsah | umístění, resp. příčina | poloha snímače |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| první ozva, systolická – I. | 15 – 800 Hz | komplex QRS | u hrotu plicnice |
| druhá ozva (diastolická) – 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

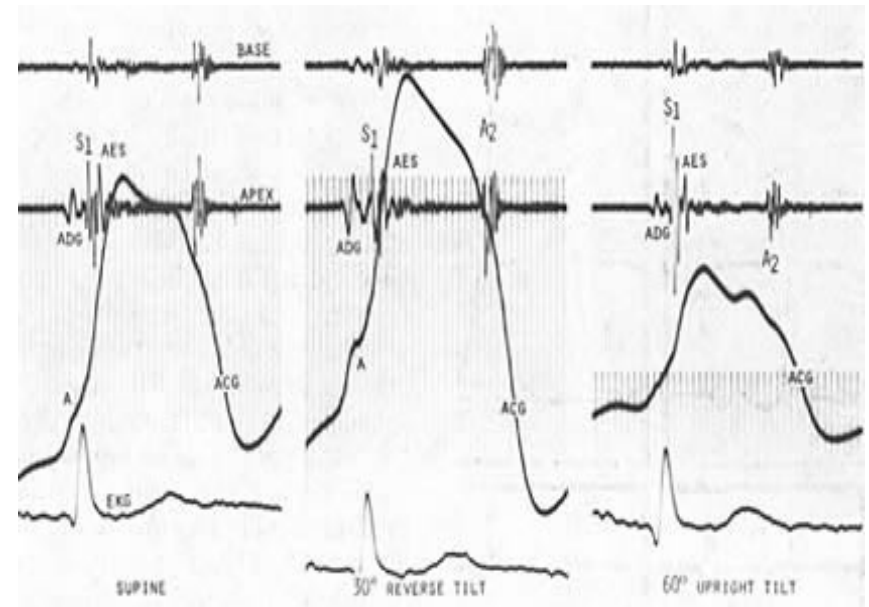
| název | zdroj vibrací | frekvenční rozsah | poloha a typ snímače |
|---|---|--|--|
| pletysmogram | změny objemu částí těla vlivem srdeční činnosti, dýchání, ... | do 30 Hz | nad či kolem zkoumané částí těla |
| karotidogram | pulzní vlna v art. carotis, příp. art. femoralis | do 30 Hz [do 1000 Hz (?)] | 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

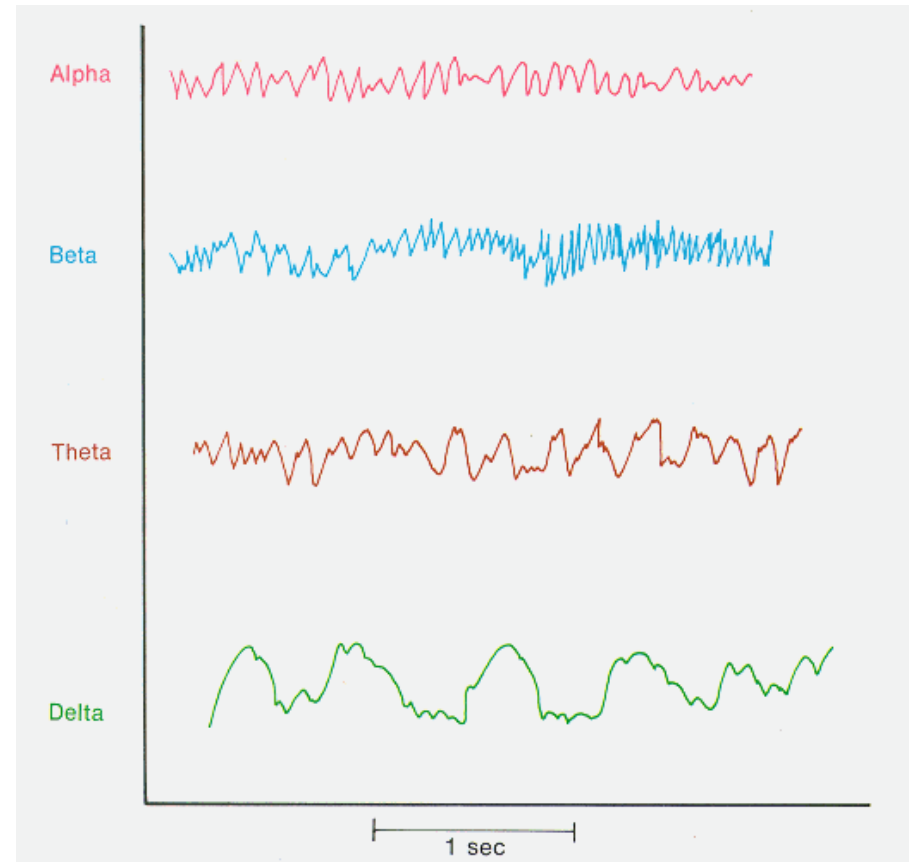
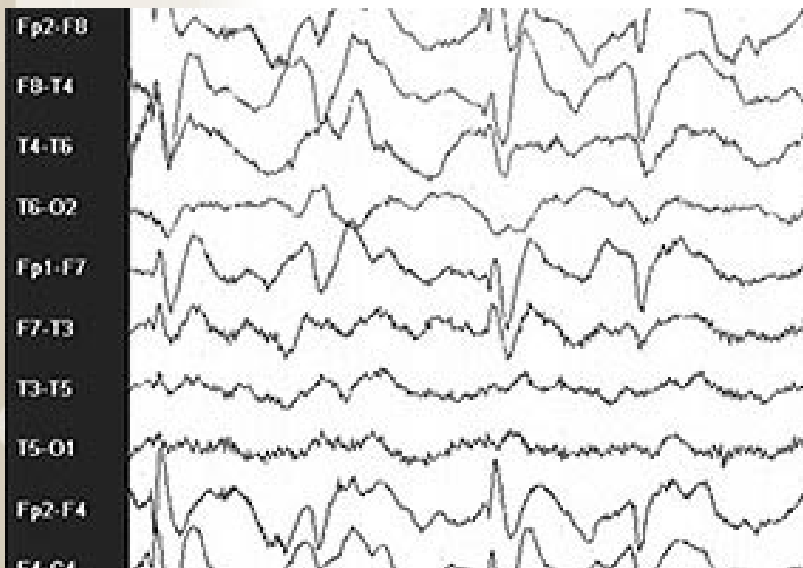


MECHANICKÉ BIOSIGNÁLY II

| 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 |

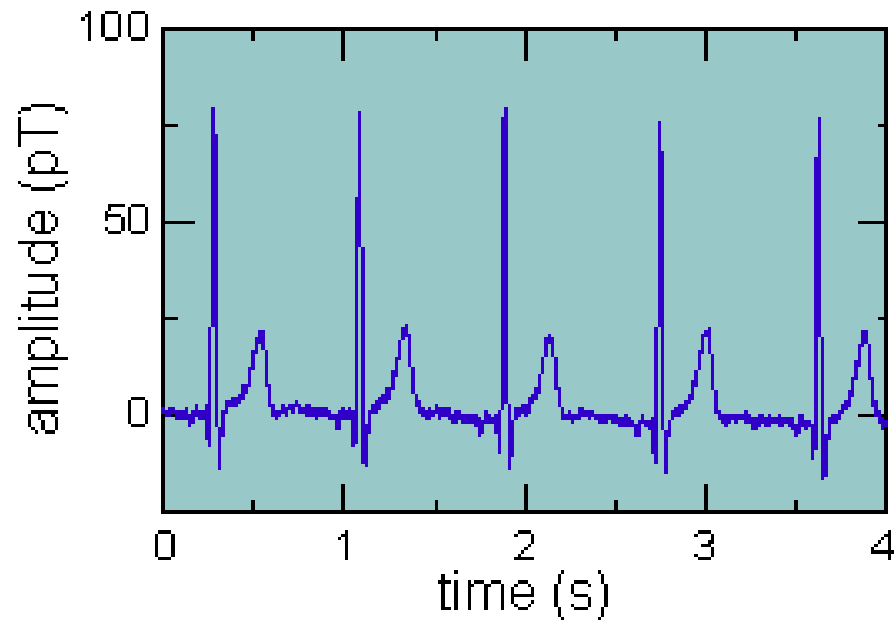
JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PODLE CHARAKTERU NOSIČE

elektrické (EEG)



JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY PODLE CHARAKTERU NOSIČE

magnetické (MKG)

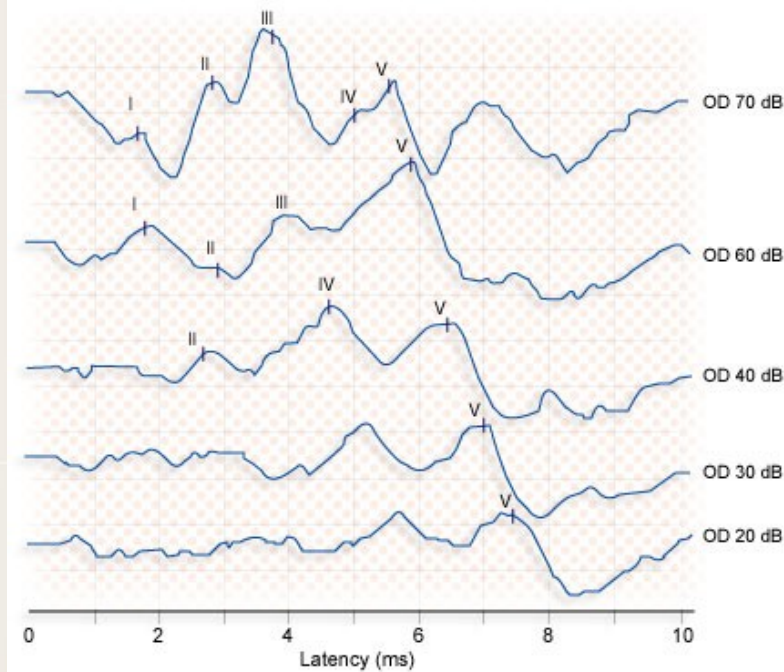


ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY I

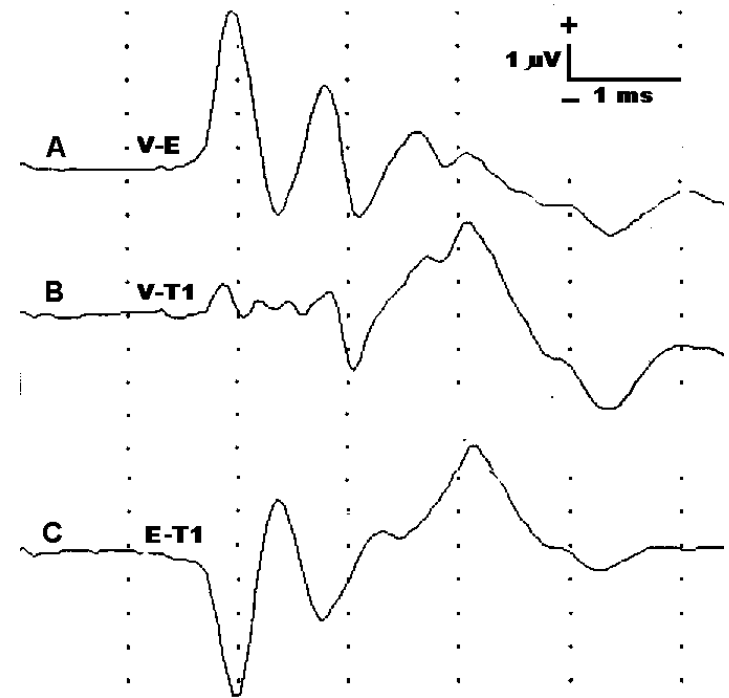
| název | rozsah napětí | frekvenční rozsah | elektrody |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| elektrokardiogram EKG | $\sim 10^0$ mV | do 150 (500) Hz | plošné, přísavné, jícnové |
| fetální EKG | $\sim 10^2$ μ V | 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



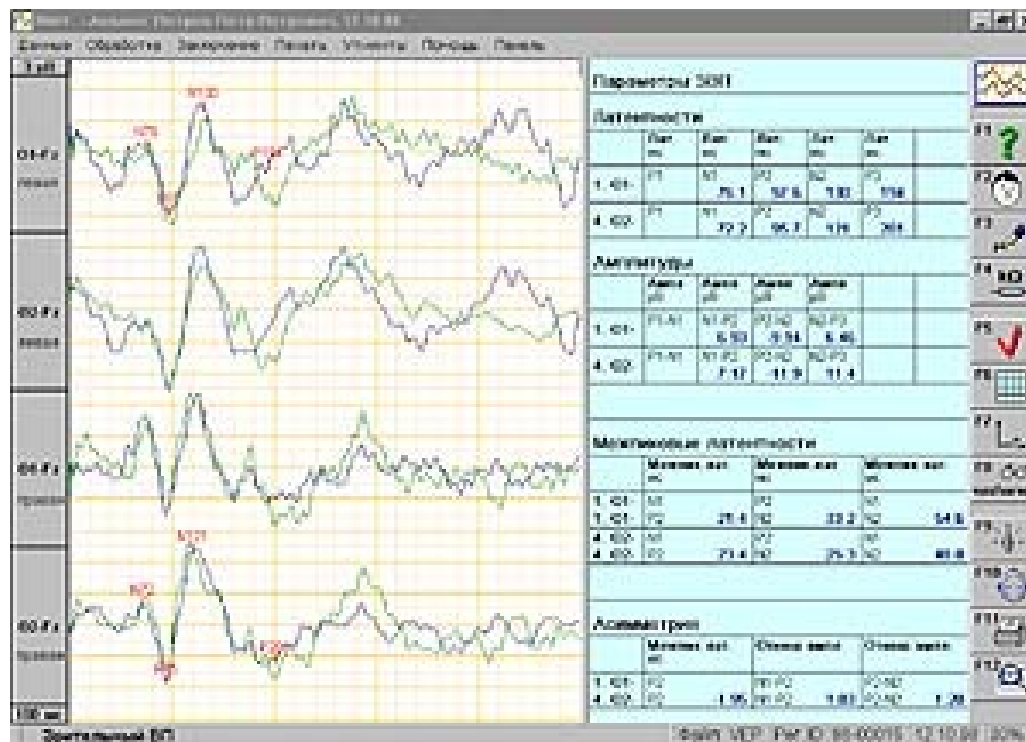
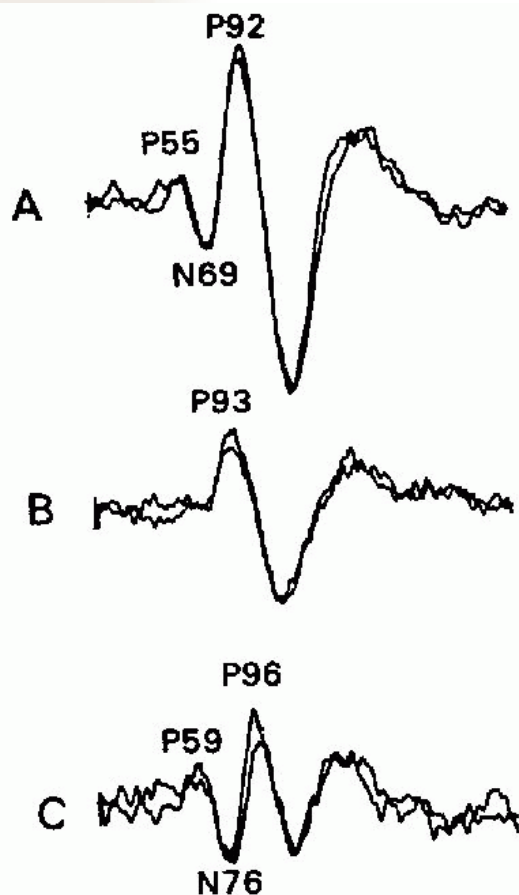
člověk



pes

ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY I

zrakově evokované potenciály

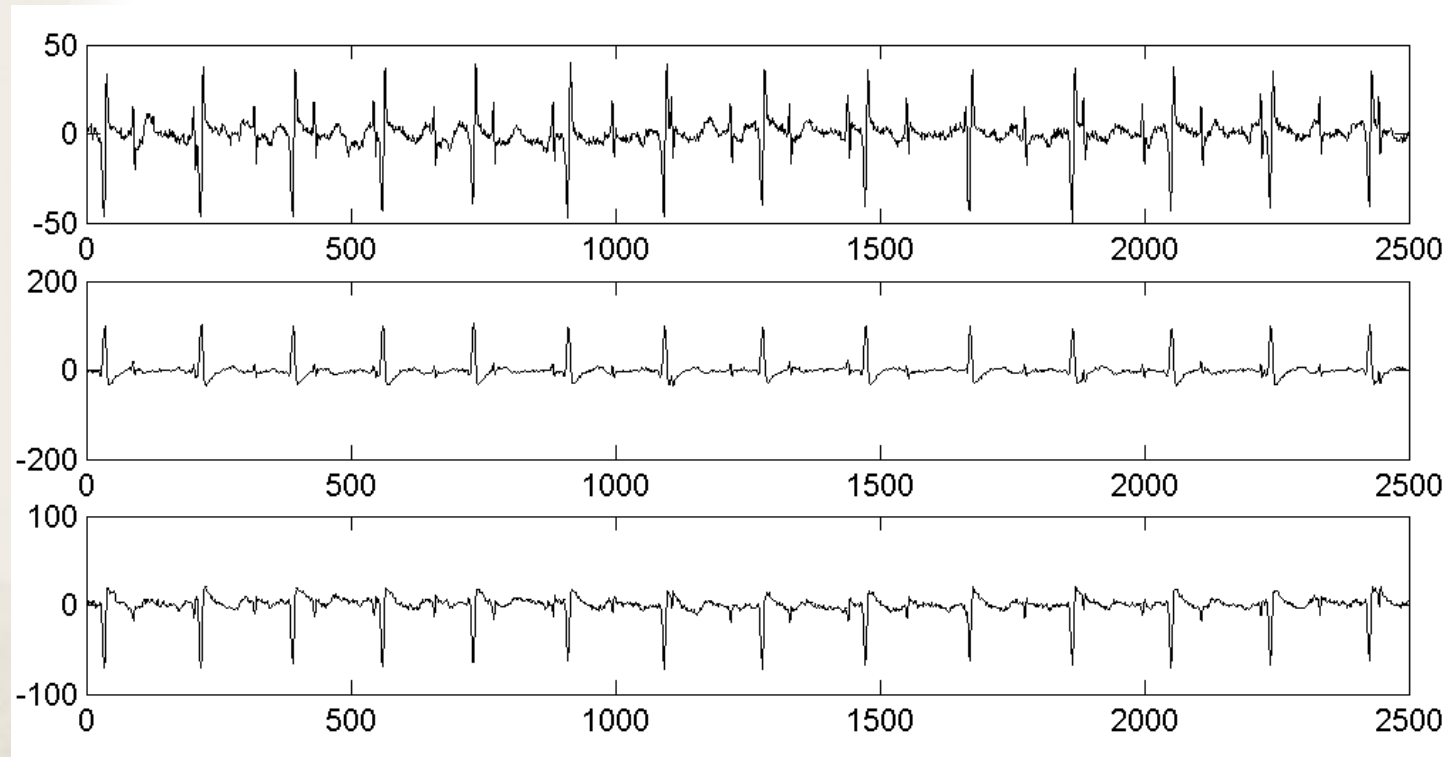


ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY II

| 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

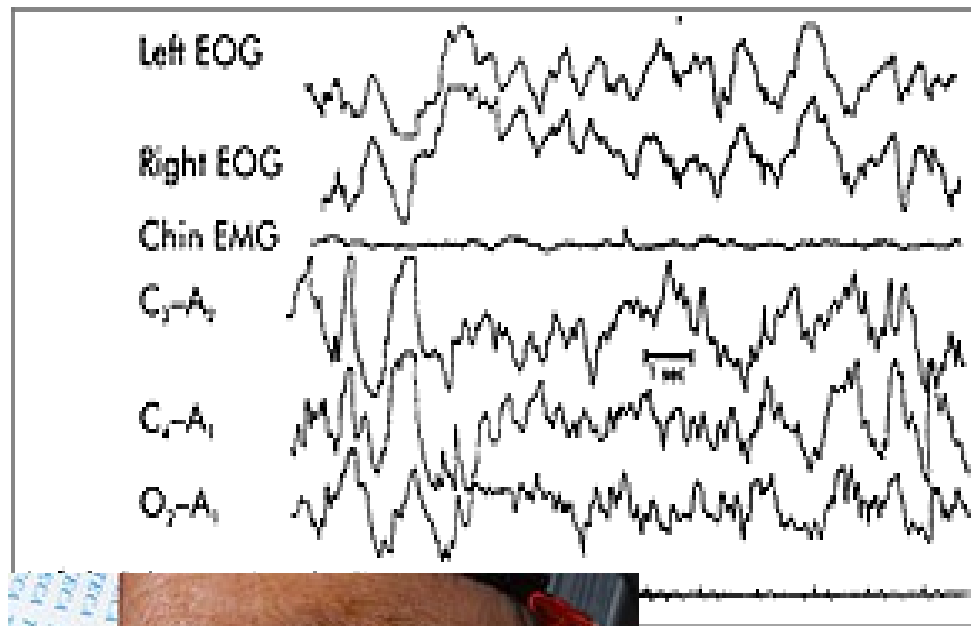
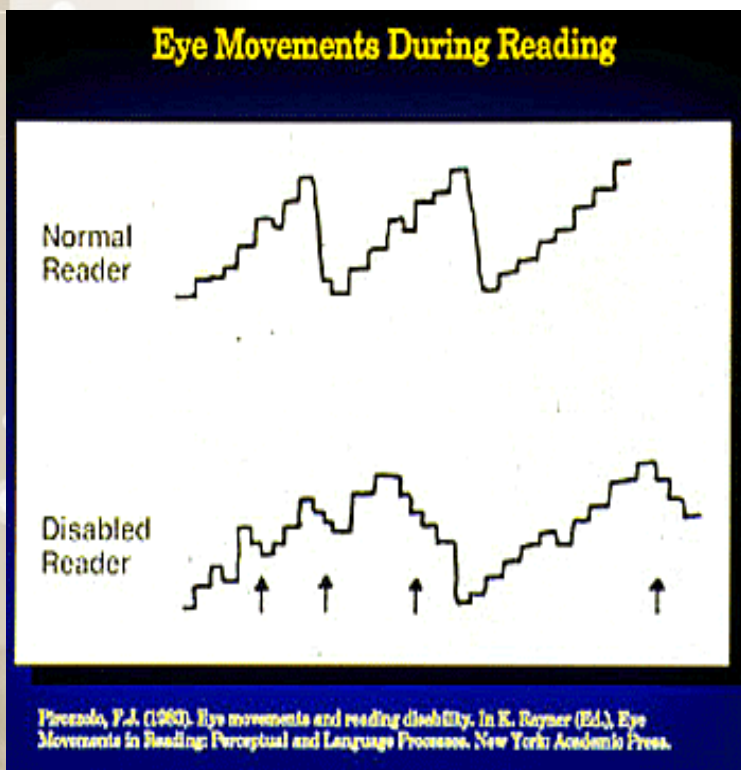
| název | rozsah napětí | frekvenční rozsah | elektrody |
|---|---|--------------------------|--------------------------------|
| elektromyogram EMG | do 10^0 mV | do 5 kHz | povrchové |
| AP motorické jednotky | $\sim 10^0$ μV | do 15 kHz | vpichové jehlové |
| AP svalových vláken | $\sim 10^0$ mV |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

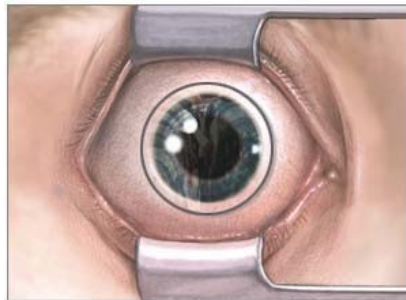
ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY IV

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.

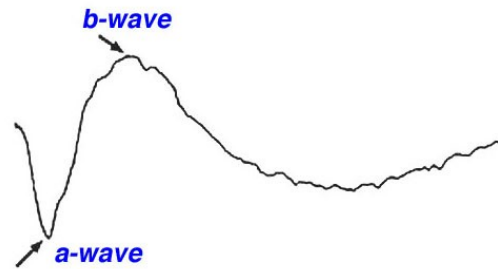
ELEKTRICKÉ BIOSIGNÁLY IV



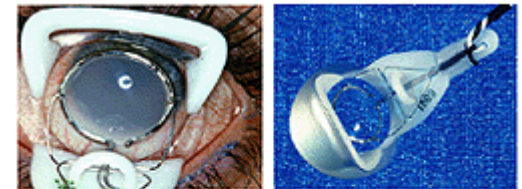
Contact lens electrode placed on eye to measure electrical activity of retina to light

ADAM.

elektroretinogram



Burian speculum type electrodes



Cotton wick electrodes

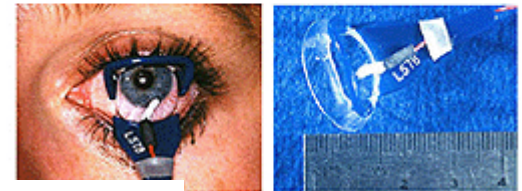


Fig.1 The biphasic waveform of the typical normal patient.



some corneal ERG electrodes

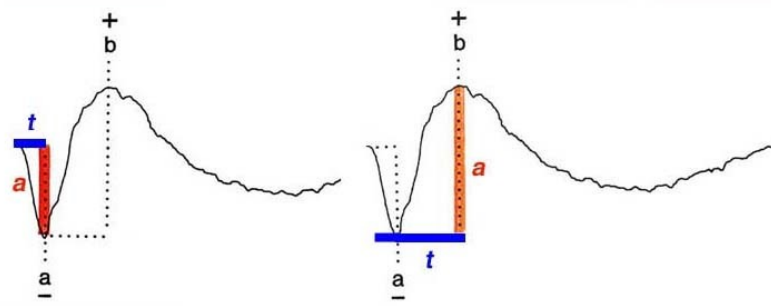


Fig.2 Amplitude and implicit time measurements of the ERG waveform.

JEDNOROZMĚRNÉ BIOSIGNÁLY

PODLE CHARAKTERU NOSIČE

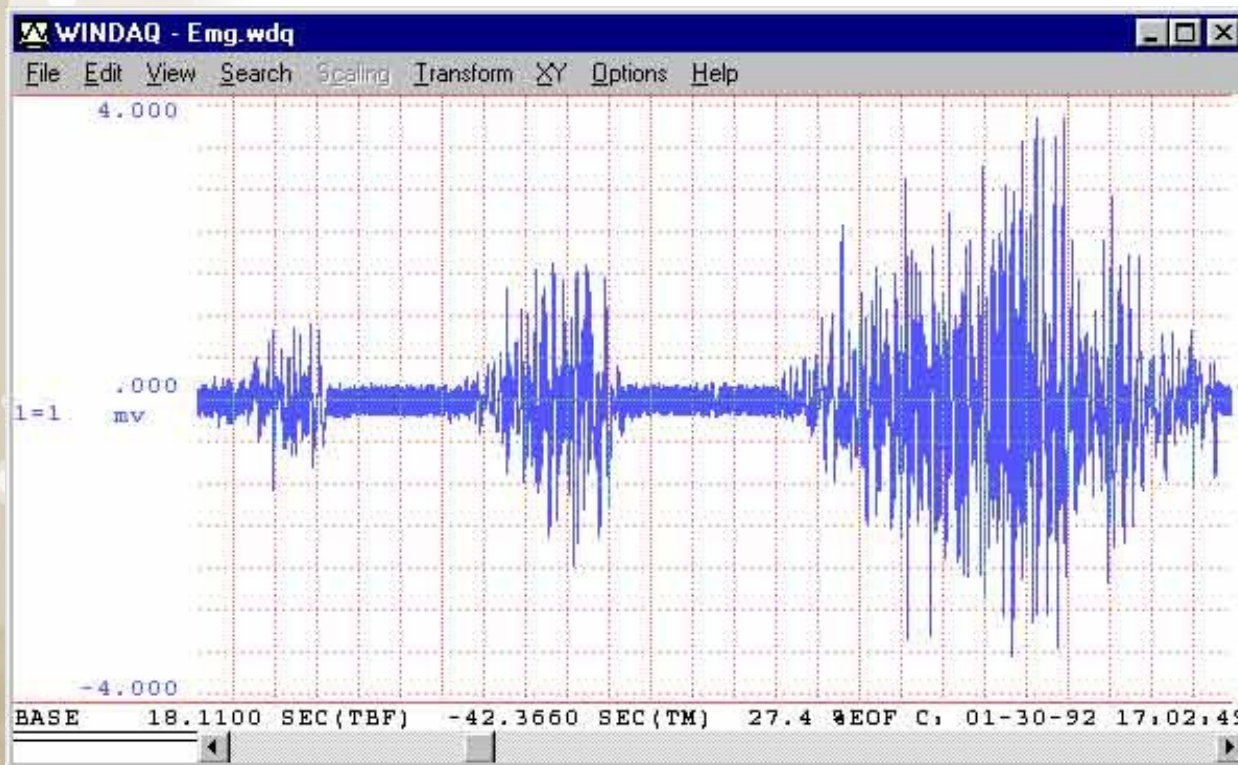
- ✓ **chemické** (např. průběh hodnot pH faktoru žaludečních šťáv během trávení nebo obsah jednotlivých plynných složek ve vydechaném vzduchu);
- ✓ **biologické** (např. posloupnost hodnot počtů zajíců, žijících ve starostově lese);
- ✓ **ekonomické** (např. cena měsíčně spotřebovaného psího žrádla).

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**

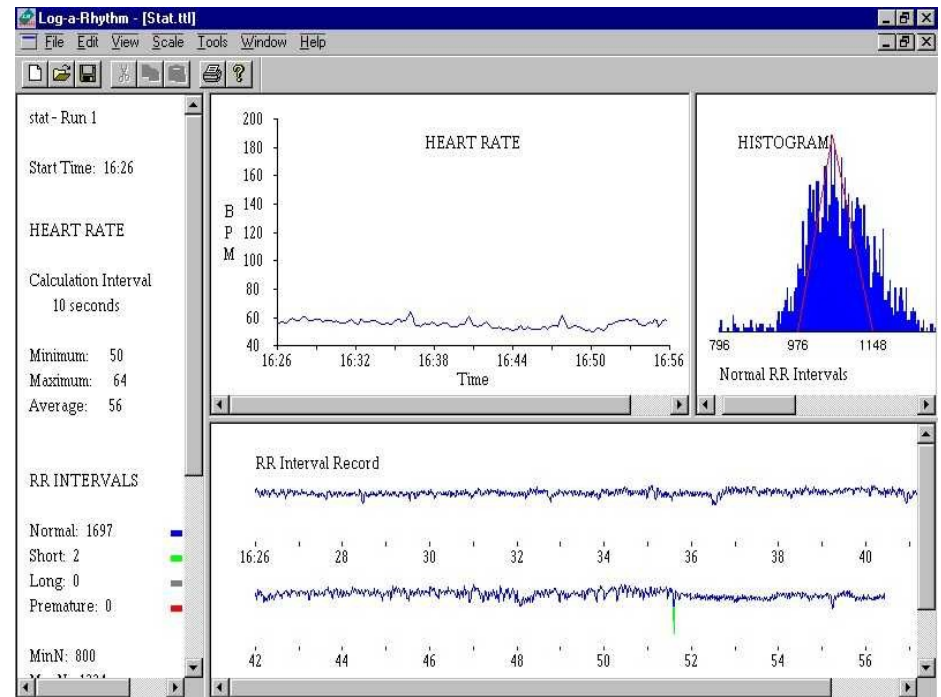
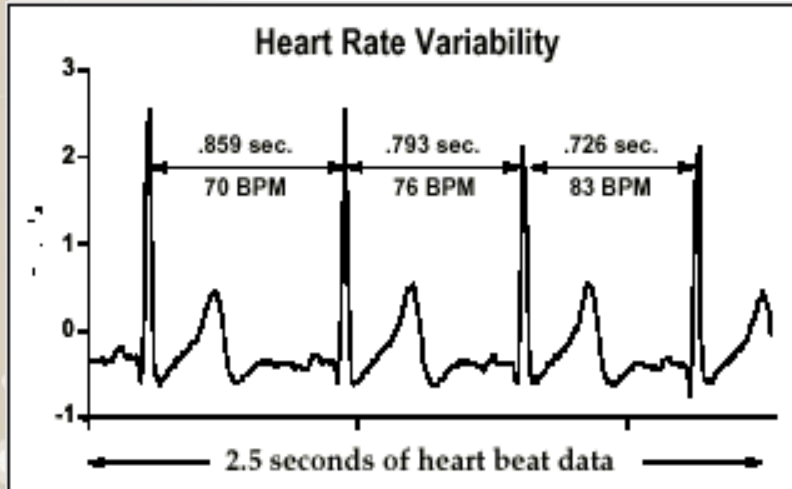
- EEG

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, ...

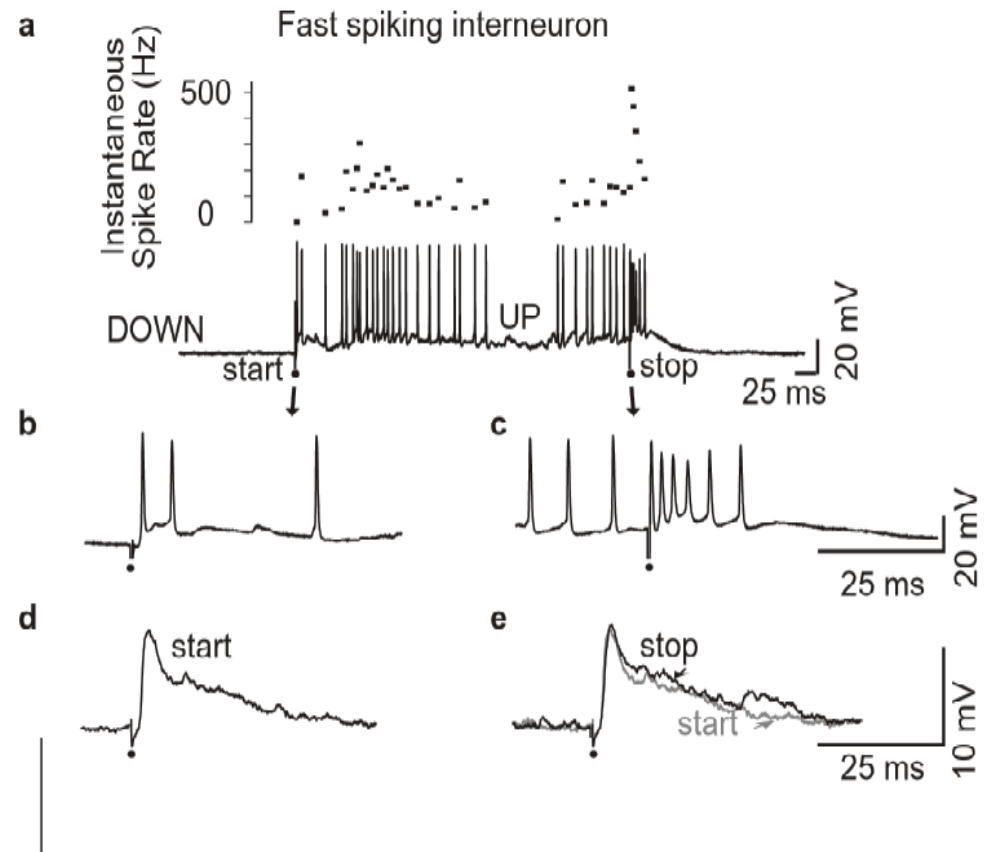
SPOJITOST SIGNÁLŮ LIDSKÉHO ORGANISMU

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**

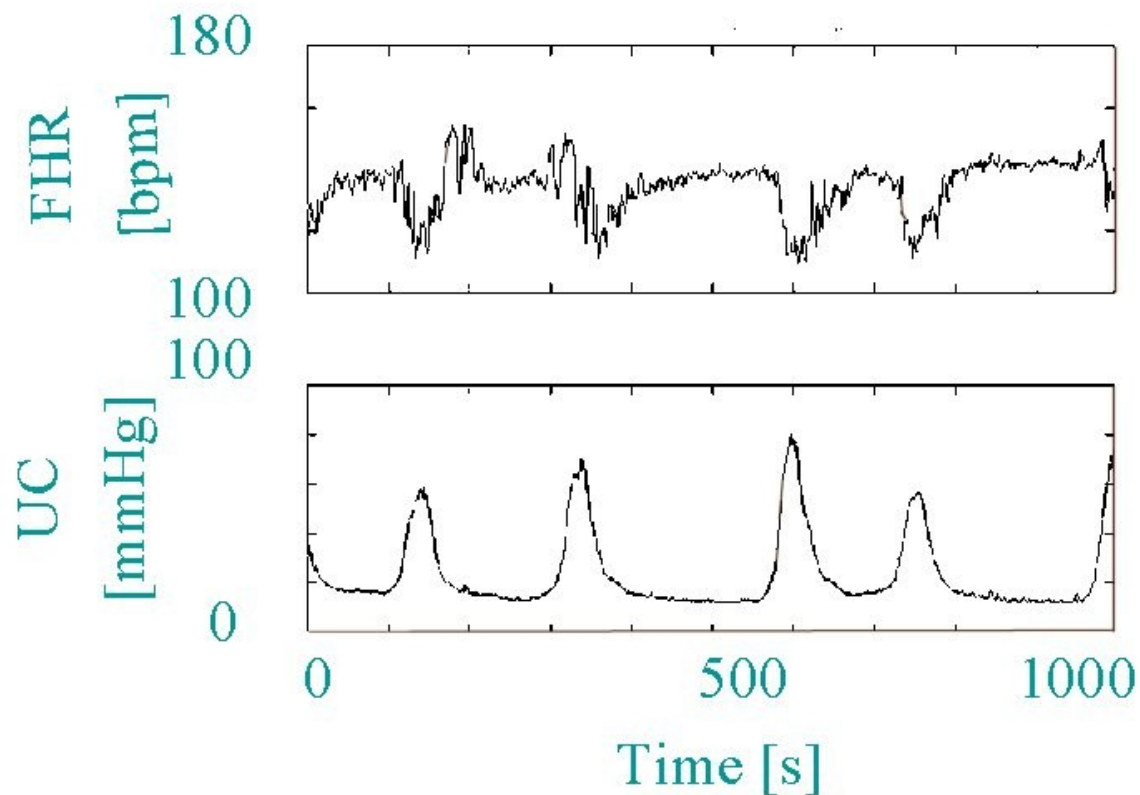
→ **téhož typu** – EKG, EEG, ...

→ **různého typu** –

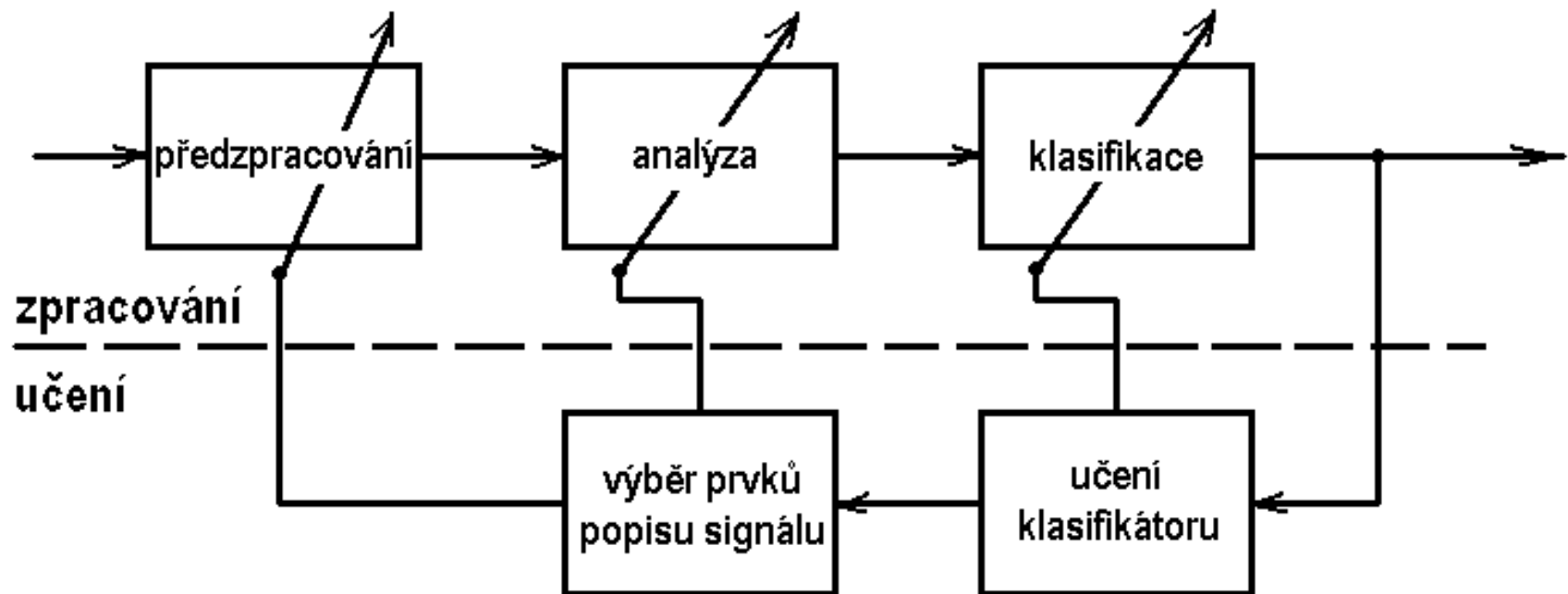
- ☐ kardiologický polygram (EKG, FKG, pletysmogram, karotidogram, ...);
- ☐ kardiokogram (srdeční rytmus plodu, mechanické stahy dělohy, ...);

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;