

## *Trendy vývoje MR zobrazovacích systémů v lékařství*

### *Analýza a kvantitativní hodnocení vlivu CT a MR zobrazování na kvalitu diagnostické informace z VKG signálu*

Ing. Lucie Slaninová, doc. Ing. Martin Augustynek, Ph.D., Ing. Jan Kubíček, PhD.

# Motivace měření EKG signálu během MR vyšetření

- V průběhu MR vyšetření vznikají, v důsledku působení magnetického pole, EKG artefakty – **MHD** efekt.
- Tento jev vede k zhoršení klinické interpretace EKG signálu a kvality QRS detekce.
- **Magneto hydrodynamic (MHD)** efekt vzniká na základě interakce pulzací krevního toku a magnetického pole.

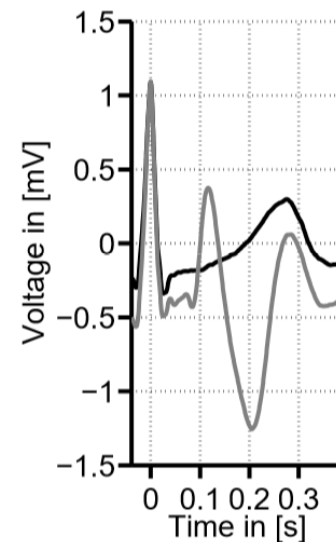


- MHD efekt odráží morfologické změny EKG signálu.
- **Studium variability morfologické struktury VKG dat.**
- **Základní hypotéza:** ovlivňuje magnetické pole VKG morfologii?

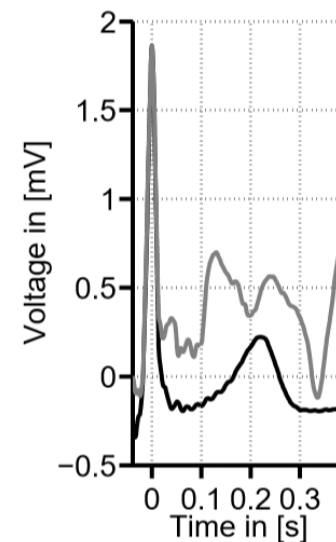
# Cíle analýzy morfologické variability VKG signálů

- Akvizice EKG signálů pro variabilní magnetická pole.
- Zpracování EKG signálů.
- Transformace EKG – VKG signálů.
- Extrakce morfologických příznaků VKG signálů.
- Klasifikace VKG příznaků (In/Out MRI).
- Statistické testování signifikantnosti VKG příznaků.

Síla magnetického pole	12-svodové EKG		3-svodové EKG	
	N	L	N	L
1T	10	1 min	5	1 min
3T	20	120 min	20	37 min
7T	10	45 min	5	45 min



(a) Subject A



(b) Subject B

Porovnání dvou měřených subjektů u II. Svodu: mimo MR (černá) a během MR vyšetření (šedá) na 3T MR skeneru, QRS komplexy jsou centrovány k  $t = 0$ .

# Proces akvizice EKG signálu

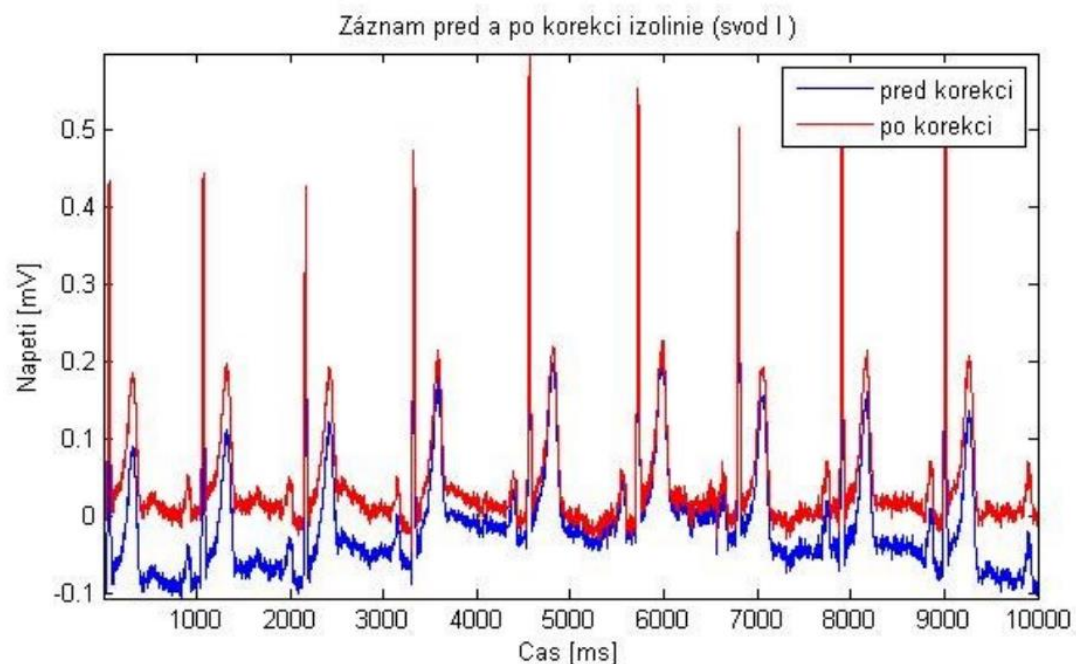
- Pro akvizici EKG signálu bylo využito:
  - **12-lead Holter ECG** (CardioMem 3000, Getemed AG, Germany) s vzorkovací frekvencí 1024 Hz a napěťovým rozsahem  $\pm 6 \text{ mV}$ .
  - **Wireless ECG device of an MRI-conditional patient monitoring system** (Tesla M3, MIPM GmbH, Germany) s vzorkovací frekvencí 1024 Hz, napěťovým rozsahem  $\pm 2.4 \text{ mV}$  a rozlišením 24 bit.
  - Nevyskytovaly se gradientní a VF magnetické pole - EKG je pouze ovlivněno MHD efektem.
- Probandi byli ve věkové skupině: **27.1  $\pm$  3.2 let** s průměrnou váhou **73.8  $\pm$  13.1 kg**.
- **QRS komplexy** byly **manuálně anotovány** 3 nezávislými klinickými experty, výsledky byly průměrovány.
- **Hlavičkový soubor:** technické parametry MR skeneru, HW parametry EKG zařízení a informace o probandovi.
- Transformace na VKG signál: **Korsova regresní metoda:**

	X	Y	Z
V1	-0,13	0,06	-0,43
V2	0,05	-0,02	-0,06
V3	-0,01	-0,05	-0,14
V4	0,14	0,06	-0,20
V5	0,06	-0,17	-0,11
V6	0,54	0,13	0,31
I	0,38	-0,07	0,11
II	-0,07	0,93	-0,23

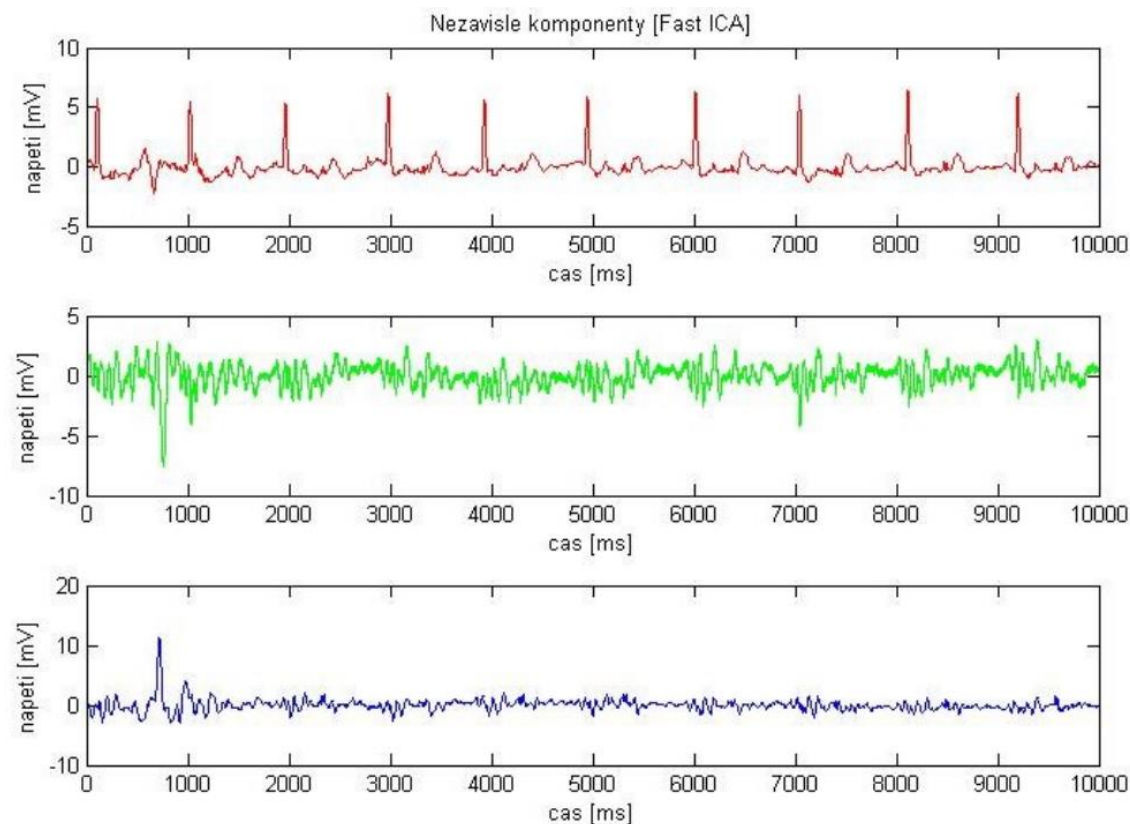
Korsova VKG transformace

# Zpracování EKG signálu

- **Korekce izoliny** na základě polynomiální aproximace.
- Aproximace trendu EKG polynomem **6. řádu**.
- Substrakce polynomu od originálního záznamu.

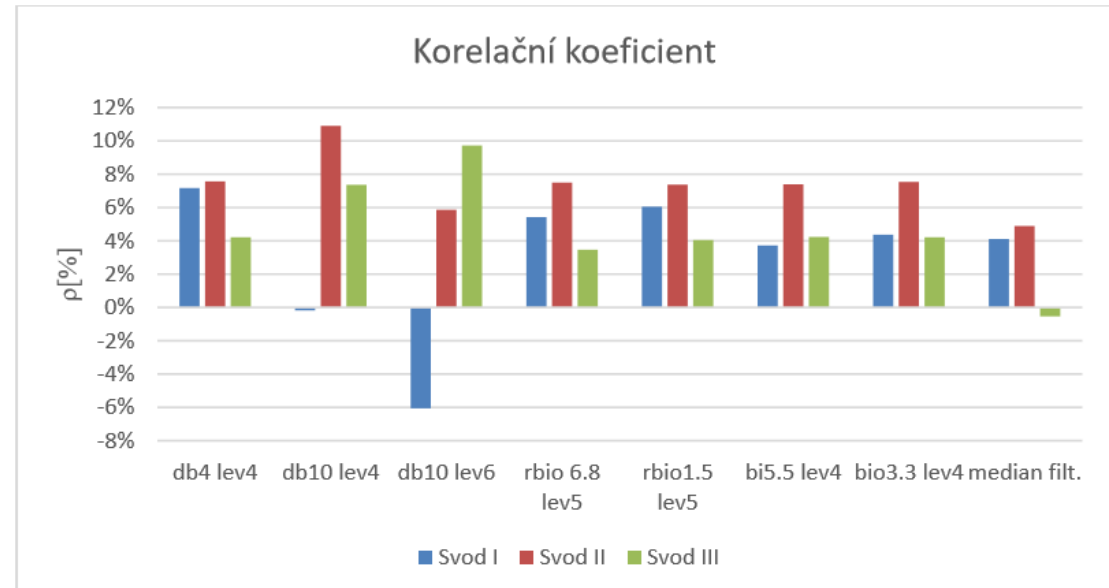
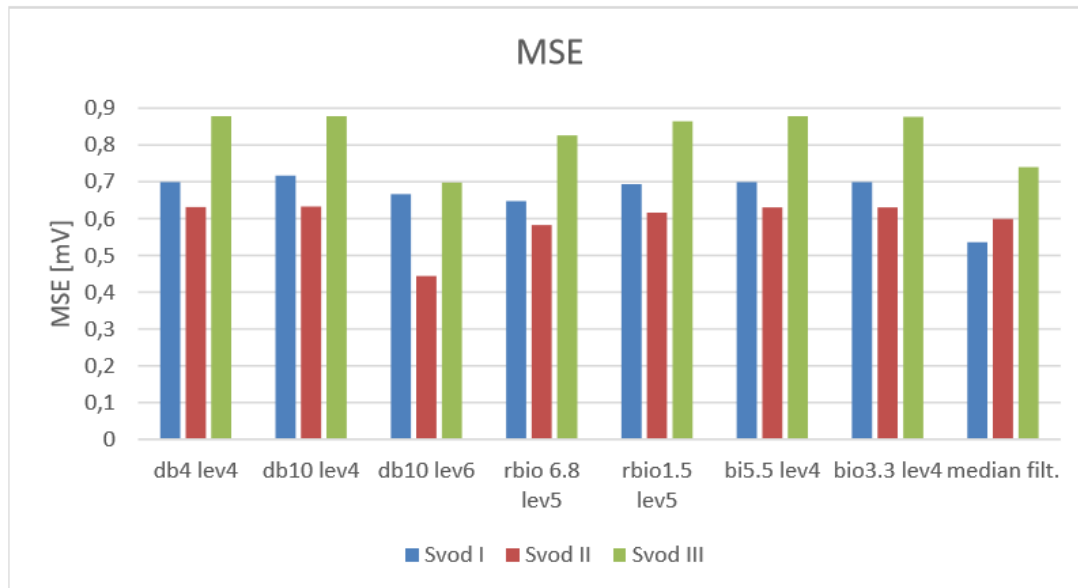


- **Extrakce a průměrování QRS komplexu** – metoda ICA



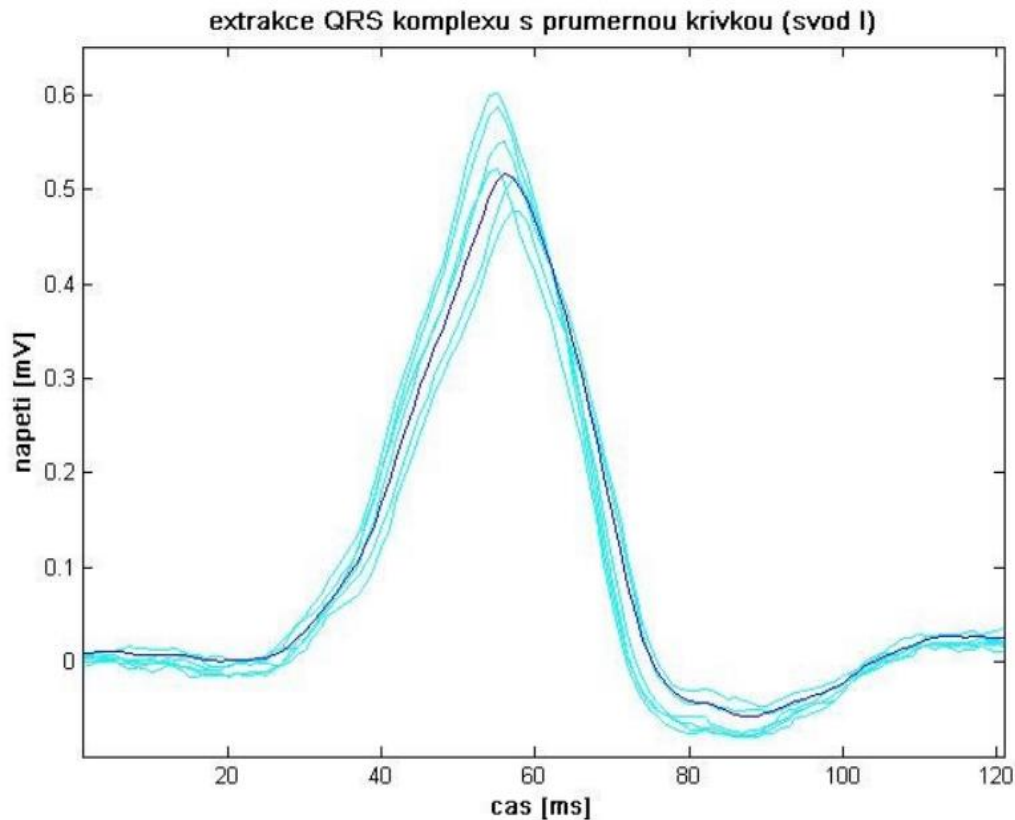
# Filtrace EKG signálu

- Využití **Vlnkové transformace** pro detekci **trendu EKG signálu**.
- **Heuristická úloha** – optimální nastavení transformace (typ vlnky, úroveň rozkladu, parametry filtrace).
- Využití **GA** – optimalizace nastavení na základě fitness funkce.
- Pro každé nastavení: evaluační analýza na základě **MSE a korelace**.

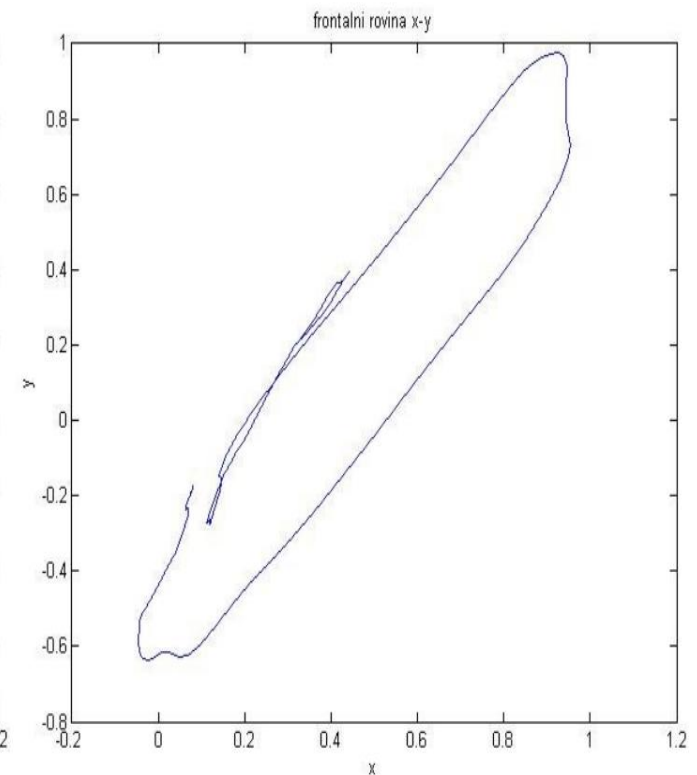
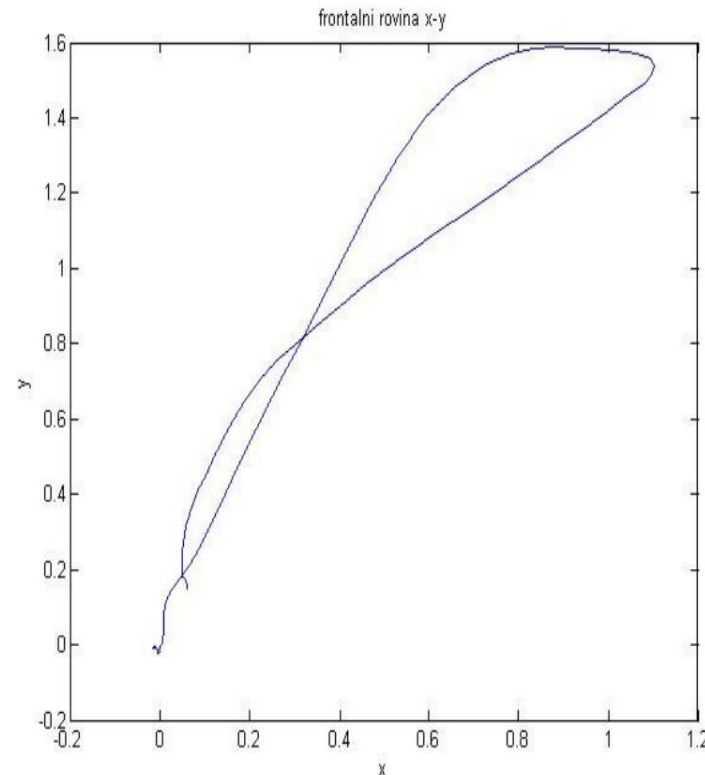


# Průměrování QRS komplexů a VKG transformace

- Extrahované QRS komplexy jednotlivých cyklů (světle modrá) s jejich průměrnou křivkou (tmavě modrá)



- VKG smyčky ve frontální rovině. VKG před MR vyšetřením (vlevo), smyčka během MR vyšetření (vpravo).
- Smyčky z 12 srdečních cyklů, transformované Korsovou regresní metodou.



# Příznaky VKG křivky pro morfologické hodnocení

- Analýza křivosti na základě gradientu VKG křivky:

$$VKG = f(x, y, z)$$

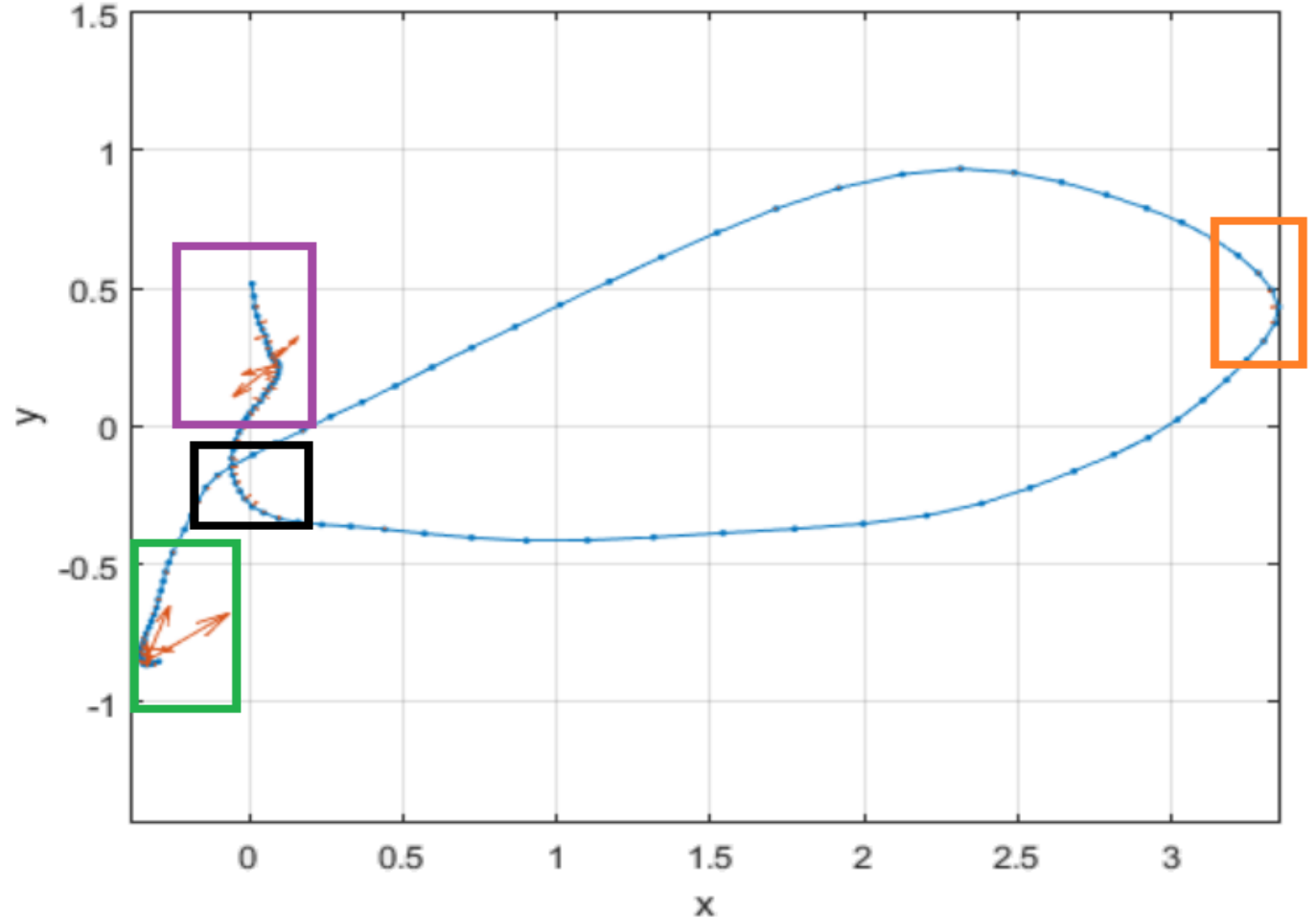
$$grad(VKG) = \left( \frac{\partial VKG}{\partial x}, \frac{\partial VKG}{\partial y}, \frac{\partial VKG}{\partial z} \right)$$

- Maximální vzdálenost QRS smyčky a jejího těžiště:

$$T = [x_T, y_T, z_T], [x_j, y_j, z_j] \in VKG, \forall j$$

$$E_d = \max_{\forall j \in VKG} \left( \sqrt{(x_T - x_j)^2 + (y_T - y_j)^2 + (z_T - z_j)^2} \right)$$

- Délka VKG křivky:  $L_{VKG} = \int \sqrt{x'(t)^2 + y'(t)^2} dt$





# Evaluace křivosti VKG křivky

- **Evaluační parametry VKG morfologie:**
- **Korelační koeficient** – míra lineární difference v intervalu: [0; 1]
- **Mean Absolute Error (MAE):**  $MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |VKG(i) - VKG'(i)|$
- **Mean Square Error (MSE):**  $MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (VKG(i) - VKG'(i))^2$
- **Root Mean Square Error (RMSE):**  $RMSE = \sqrt{MSE}$

Svod	Korelační koeficient [%]	MSE [mV]	RMSE [mV]	MAE [mV]
X	72	0,1581	0,364	0,2958
Y	52,3	0,6347	0,6746	0,535
Z	64,7	0,1165	0,3245	0,2671

Statistické hodnocení křivosti VKG signálů mimo/vně MR

Svod	Korelační koeficient [%]	MSE [mV]	RMSE [mV]	MAE [mV]
X	99,98	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,0191	0,0162
Y	99,97	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,011	0,0091

Statistické hodnocení křivosti VKG signálů mimo/vně CT

# Statistické testování signifikantnosti morfologie VKG

- Statistické testování **diference rozptylu a střední hodnoty: F-test, t-test.**
- Ověření normality dat na základě Chí-kvadrát ( $\chi^2$ ) test.
- Testování na **hladině významnosti:  $\alpha = 0,05$ .**

- **Hypotéza pro F-test:**

$$H_0 = \sigma^2(VKG(.)) = \sigma^2(VKG'(.))$$

$$H_A = \sigma^2(VKG(.)) \neq \sigma^2(VKG'(.))$$

Testovaný rys	$p(\text{grad}(VKG))$		$p(E_d)$		$p(L_{VKG})$	
	CT	MR	CT	MR	CT	MR
Modalita	CT	MR	CT	MR	CT	MR
Výsledek p-hodnoty	0,29	0,0067	0,16	0,31	0,0022	0,0021

- **Hypotéza pro t-test:**

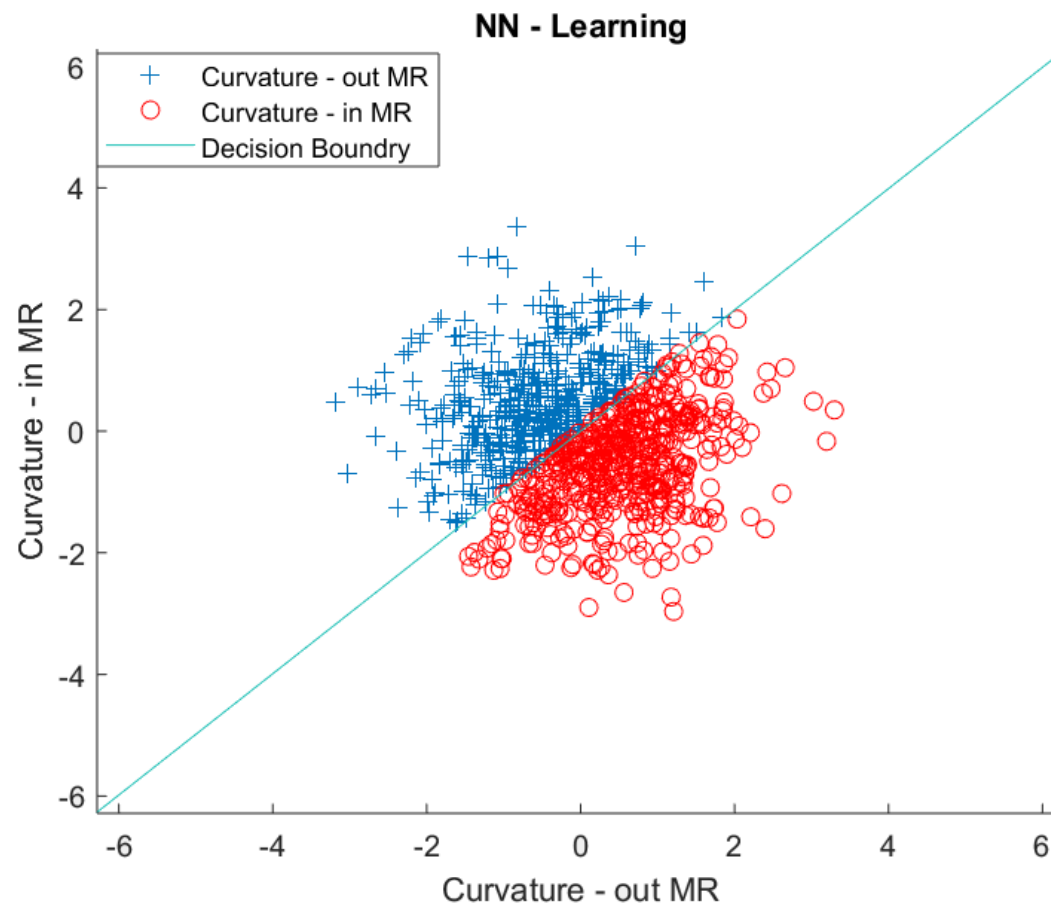
$$H_0 = E(VKG(.)) = E(VKG'(.))$$

$$H_A = E(VKG(.)) \neq E(VKG'(.))$$

Testovaný rys	$p(\text{grad}(VKG))$		$p(E_d)$		$p(L_{VKG})$	
	CT	MR	CT	MR	CT	MR
Modalita	CT	MR	CT	MR	CT	MR
Výsledek p-hodnoty	0,27	0,0053	0,31	0,0042	0,42	0,0022

# Budoucí směřování: Klasifikace VKG příznaků

- Lineární klasifikátor pro příznaky křivosti.
- Selekcce signifikantních VKG příznaků (**in/out MR**).
- Testování klasifikačních procedur: lineární/nelineární separace.



# Děkuji za pozornost