

# Analýza a klasifikace dat – přednáška 1



RNDr. Eva Koriťáková, Ph.D.

# Přínos předmětu

---

- orientace v principech rozpoznávání a klasifikace dat s důrazem na zpracování medicínských a biologických dat
- schopnost zvolit a aplikovat adekvátní metodu analýzy a klasifikace dat k dosažení požadovaných výsledků
- schopnost správné interpretace dosažených výsledků včetně vyhodnocení úspěšnosti klasifikace

# Forma výuky předmětu

- tzv. „flipped classroom“ – teoretické učivo (prezentace, nahrané přednášky a výukové texty) si studenti prochází sami a při kontaktní výuce probíhá opakování formou Kahootu a cvičení na tabuli či v softwaru Matlab

Datum	Téma	Domácí příprava	Výuka	Vyučující
22.09.2021	Organizační informace	-	Distanční	EK
29.09.2021	Úvod	Ano	-	
06.10.2021	Bayesův klasifikátor	Ano	Prezenční	TJ
13.10.2021	Minimální vzdálenost	Ano	Prezenční	TJ
20.10.2021	FLDA	Ano	Prezenční	TJ
27.10.2021	SVM a sekvenční klasifikace	Ano	-	
03.11.2021	Úspěšnost a ROC	Ano	Prezenční	TJ
10.11.2021	Redukce, PCA a variální učení	Ano	Prezenční	TJ
24.11.2021	ICA a selekce	Ano	Prezenční	TJ
01.12.2021	Neuronové sítě	-	Prezenční	RV
08.12.2021	CCA	Ano	Prezenční	EK

# Požadavky ke zkoušce

---

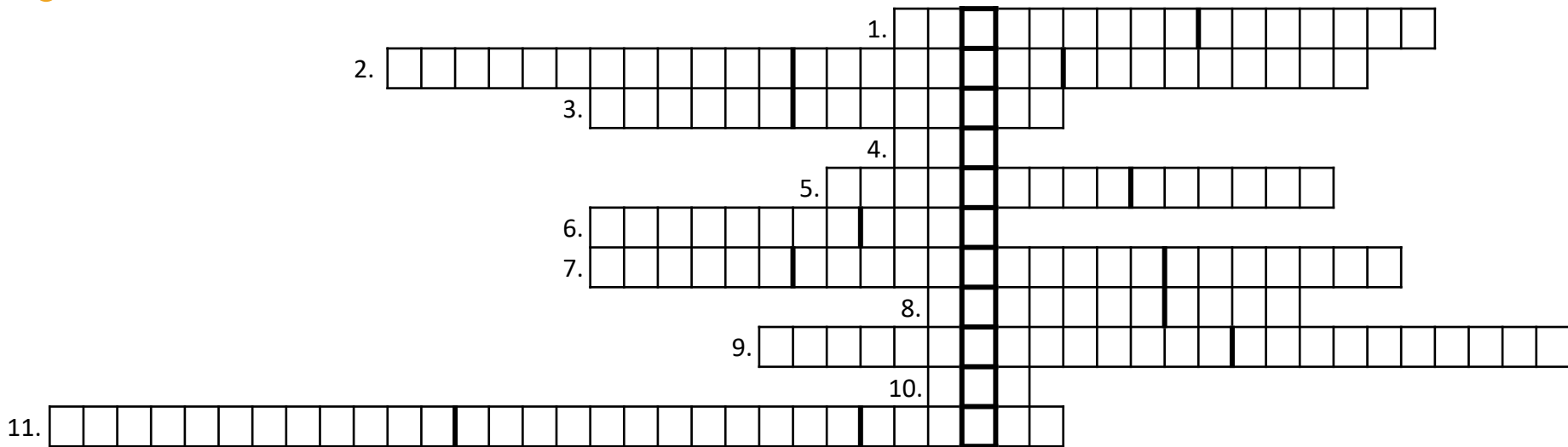
- předmět je ukončen ústní zkouškou – je nutné porozumět probíraným tématům, zvolit správnou metodu na daný analytický problém a umět získané výsledky interpretovat
- maximálně 2 absence na cvičeních

# Doporučená literatura

- Janoušová, E. et al.: online výukové materiály Vícerozměrné metody pro analýzu a klasifikaci dat  
<http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analiza-a-hodnoceni-biologickych-dat--vicerozmerne-metody-pro-analyzu-dat>
- Holčík, J.: Analýza a klasifikace dat. Brno, CERM 2012, 112s.  
<http://www.iba.muni.cz/res/file/ucebnice/holcik-analyza-klasifikace-dat.pdf>  
<http://www.iba.muni.cz/index.php?pg=vyuka--ucebnice>
- DUDA R. O., HART P. E., STORK D. G., 2000: Pattern Classification. Wiley-Interscience, New York, 680 pp.
- BISHOP C., 2006: Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, New York, 738 pp.
- KUNCHEVA L. I., 2004: Combining Pattern Classifiers: Methods and Algorithms. Wiley-Interscience, New Jersey, 376 pp.

# Vícerozměrná analýza dat - opakování

# Křížovka - zadání

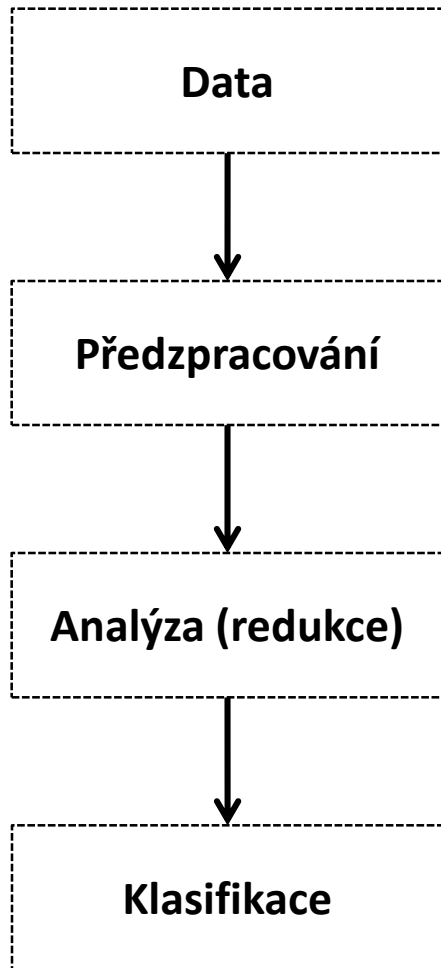


1. Metoda, jež umožňuje spočítat vzdálenost vzdušnou čarou mezi dvěma body.
2. Předpoklad mnoha metod vícerozměrné analýzy dat.
3. Vztah dvou spojených veličin, když s rostoucími hodnotami jedné proměnné narůstají hodnoty druhé proměnné.
4. Metoda, která umožňuje zobrazit pozorované vzdálenosti/nepodobnosti mezi objekty v euklidovském prostoru (zkratka).
5. Tabulkové znázornění vztahu proměnných či objektů.
6. Grafické znázornění vztahu většího počtu spojených proměnných.
7. Metoda vedoucí zpravidla k protáhlým shlukům v datech.
8. Grafické znázornění podobnosti objektů převedením hodnot proměnných na tvary či symboly.
9. Typ analýzy, která umožňuje vytvořit shluky stejného řádu.
10. Metoda, která umožňuje transformaci dat do nových nekorelovaných proměnných (zkratka).
11. Metoda, jež umožňuje zjistit, zda se od sebe liší dvě skupiny objektů, které jsou popsány hodnotami několika proměnných.

# Analýza a klasifikace dat



# Schéma analýzy a klasifikace dat



	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlavi	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M		90
4	3	26	Z	178	70

	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlavi	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M	167	90
4	3	26	Z	178	70

	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlavi	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M	167	90
4	3	26	Z	178	70



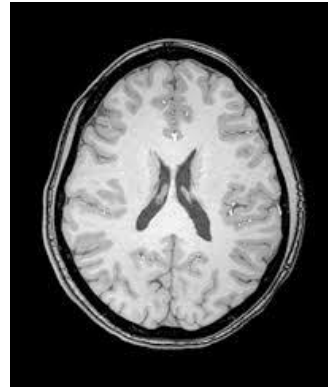
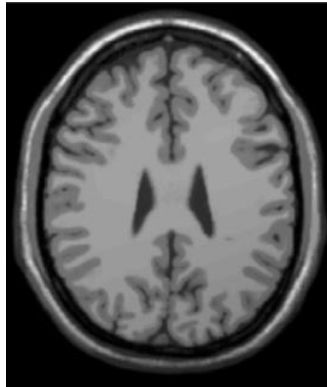
nebo



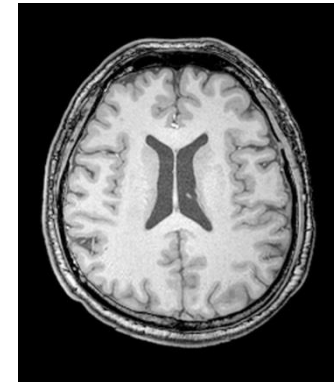
# Proč používat klasifikaci dat?

1. Podpora diagnostiky onemocnění mozku (Alzheimerova choroba, schizofrenie atd.):

Zdravé  
subjekty

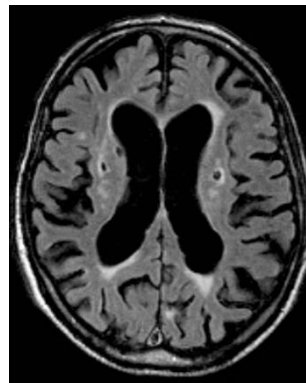
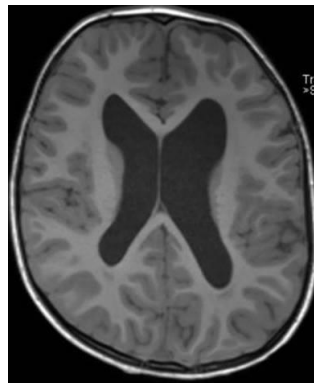


Nový subjekt



Pacient? x Zdravý?

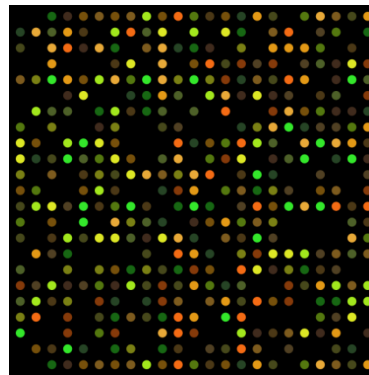
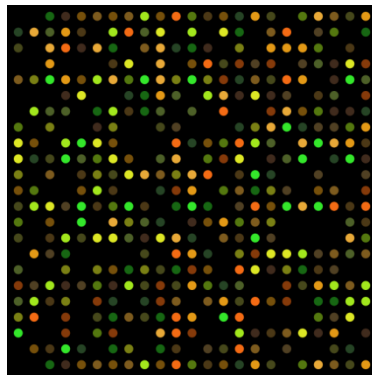
Pacienti



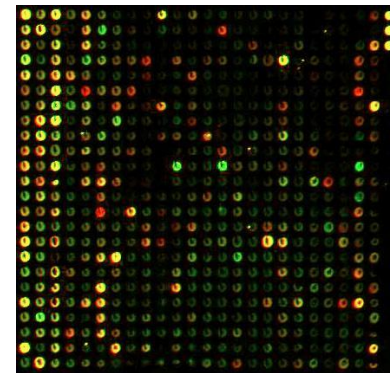
# Proč používat klasifikaci dat?

2. Odhalení genetického onemocnění na základě dat z microarray experimentů:

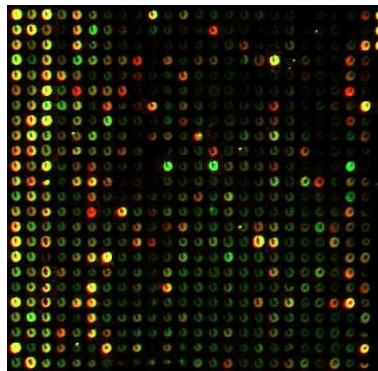
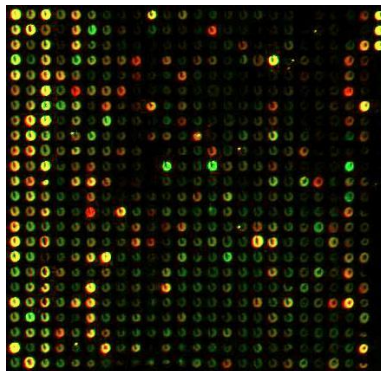
Zdravé  
subjekty



Nový subjekt



Pacienti



Pacient? x Zdravý?



# Proč používat klasifikaci dat?

## 4. Rozpoznání hmyzu:

Nejedovaté housenky



Jedovaté housenky



?



Jedovatá nebo nejedovatá  
housenka?

# Proč používat klasifikaci dat?

## 5. Rozpoznání vadných výrobků:

Matičky bez vady



Matičky s vnitřní prasklinou



?



Matička bez vady nebo  
s vnitřní prasklinou?



# Proč používat klasifikaci dat?

## 6. Rozpoznání tváře při vstupu do zabezpečené budovy:

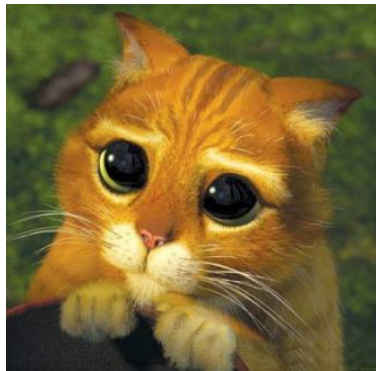
Nemá  
přístup do  
budovy



?



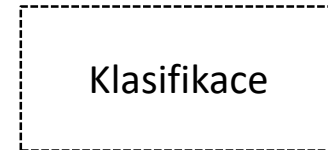
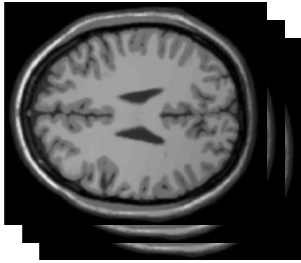
Má přístup  
do budovy



Dostane se do  
budovy: ano? x  
ne?

# Proč používat redukci dat?

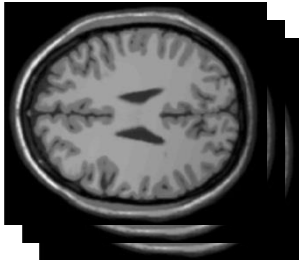
Obrazová data





# Proč používat redukci dat?

Obrazová data



Klasifikace



**X** voxely

	$x_1$	$x_2$	...
<b>I<sub>1</sub></b>	100 x 1 000 000		
<b>I<sub>2</sub></b>			
...			

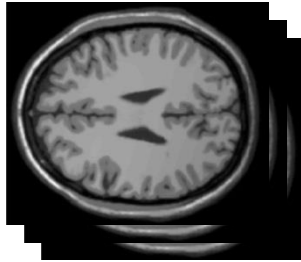
subjekty

<b>I<sub>1</sub></b>	pac.
<b>I<sub>2</sub></b>	kon.
...	

subjekty

# Proč používat redukci dat?

Obrazová data



Redukce dat



Klasifikace



$X$		voxely	
		$x_1$	$x_2 \dots$
subjekty	$I_1$	100 x 1 000 000	
	$I_2$		
	...		



		voxely	
		$x_1$	$x_5 \dots$
subjekty	$I_1$	100 x	
	$I_2$	1 000	
	...		



subjekty	$I_1$	pac.	
	$I_2$	kon.	
	...		

# Proč data předzpracovávat?

id	vek	pohlavi	cholesterol	vyska	vaha	obvod_pasu	obvod_boku	BMI	sys_tlak	dia_tlak
1	38	Z	4.6	164	45	60	87	16.7	120	80
2	36	Z	4.35	167	90	97	112	32.3	130	80
3	26	Z		178	70	72	94	22.1	127	80
4	25	Z	4.2	165	59	65	92	21.7	130	80
5	47	M	5.65	158		92	96	26.8	155	90
6	21	Z	6.35	172	61	69	98	20.6	135	80
7	23	Z	3.45	170	82	92	113	28.4	130	80
8	35	M	7.99	179	90	101	110	28.1	140	88
9	33	Z	4.88	167	57	70	92	20.4	140	85
10	48	Z	9.56	164	70	93	107	26.0	250	97
11	25	M	3.1	186	75	81	102	21.7	120	70
12	41	Z	10	167	62	71	101	22.2	140	90
13	29	ZZ	4.2	165	58	66	98	21.3	120	80
14	24	M	5.62	174	80	92	107	26.4	156	90
15	58	Z	7.9	164	63	73	100	23.4	135	90

Chybné hodnoty

Chybějící hodnoty

Odlehlé hodnoty

# Předzpracování dat – chybějící hodnoty

- snaha, aby v datech vůbec nenastaly
- pokud však nastanou, je silně nedoporučováno dělat každou analýzu na jinak velkém souboru (tzv. „pairwise“ odstraňování objektů) → 3 možná řešení:
  1. vyloučit z analýzy všechny objekty, u nichž se vyskytla nějaká chybějící hodnota (tzv. „listwise“= „casewise“ odstranění objektů):
    - pokud chybějících hodnot mnoho, zbyde pouze málo objektů
    - pozor na systematicky chybějící hodnoty – může dojít ke zkreslení výsledků analýz
    - občas vhodné odstranit proměnné s mnoha chybějícími hodnotami místo objektů, pokud proměnné nejsou důležité pro analýzu
  2. definování souboru s vyplněnými „klíčovými“ proměnnými:
    - na tomto souboru provedena většina analýz
    - další analýzy dělány na podsouboru s menším počtem subjektů
  3. doplnění chybějících hodnot (tzv. imputace):
    - doplnění průměrem z hodnot, které jsou pro danou proměnnou k dispozici
    - doplnění hodnot na základě regresních modelů
    - pozor! doplnění hodnot však může zkreslit výsledky analýz

# Předzpracování dat – odlehlé hodnoty

- k identifikaci odlehlých hodnot mohou pomoci např. tečkové, maticové či krabicové grafy
- je třeba rozlišovat:
  1. **odlehlé hodnoty, které jsou způsobeny chybou** (měřících přístrojů apod.) - jsou to většinou nereálné hodnoty → je vhodné je smazat a dále s nimi zacházet jako s chybějícími hodnotami
  2. **odlehlé hodnoty, které jsou fyziologické** (tzn. jsou to reálné hodnoty) → je vhodné tyto hodnoty v datech ponechat, pokud je to možné a nezkrslí to analýzu a použít neparametrické metody analýzy dat
    - příklad, kdy je vhodné odlehlou hodnotu v souboru ponechat: pacienti Alzheimerovou chorobou v našem souboru mají hodnotu MMSE skóre větší než 15, jeden pacient má však hodnotu skóre 7 (je to reálná hodnota, smazáním bychom uměle snížili variabilitu)
    - příklad, kdy je nevhodné odlehlou hodnotu v souboru ponechat: chceme měřit výšku 15-letých dětí – dítě trpící nanismem měřící 80 cm by průměrnou výšku velice zkreslilo, proto ho ze souboru vyřadíme

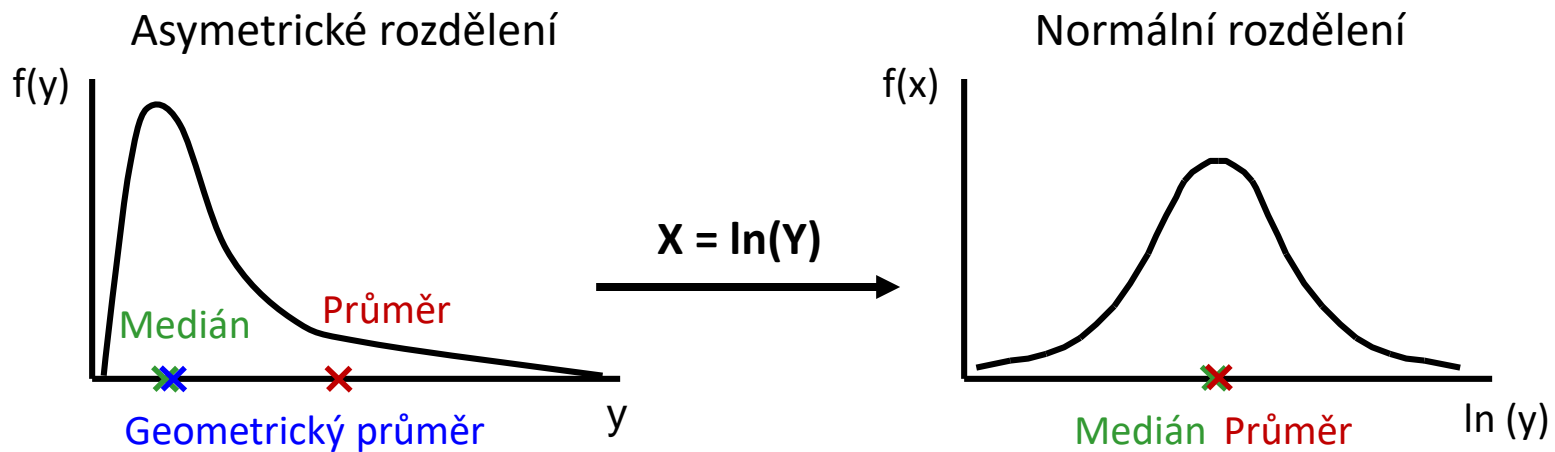
# Předzpracování dat – transformace

---

- normalizace dat (= převod na normální rozdělení)
- standardizace dat
- min-max normalizace
- centrování dat
- odstranění vlivu kovariát

# Normalizace dat

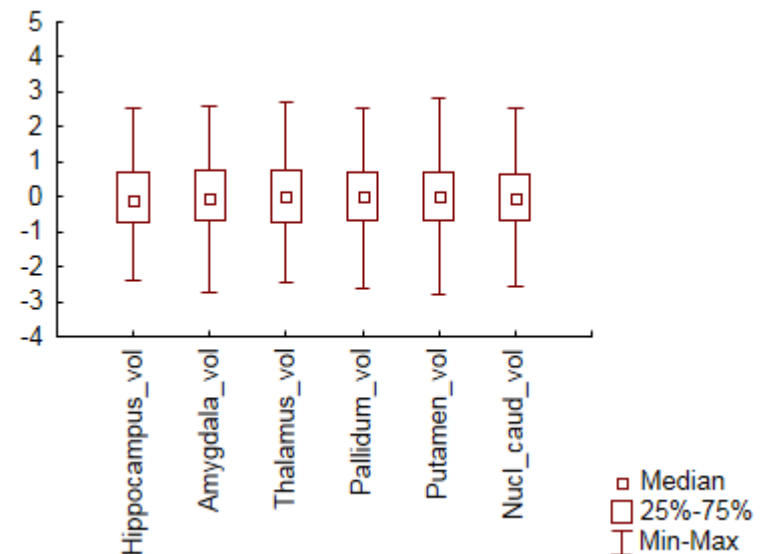
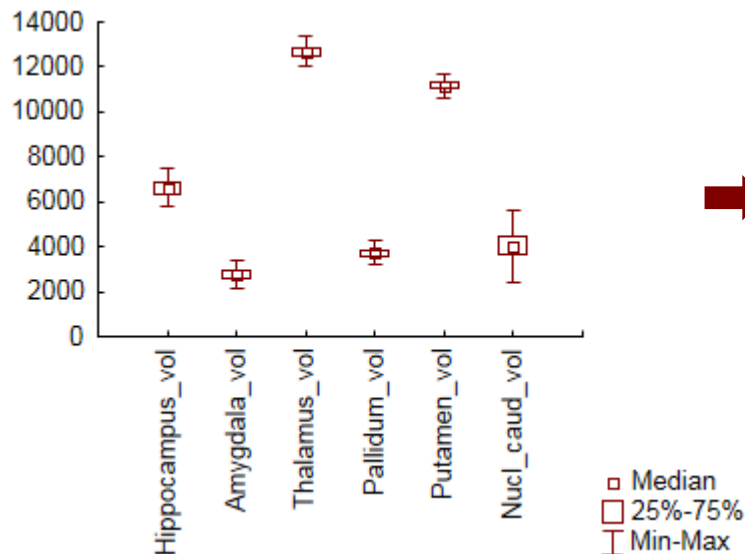
- převod na normální rozdělení (normalita je předpokladem řady statistických testů).
- např. **logaritmická transformace**:  $X = \ln(Y)$  nebo  $X = \ln(Y+1)$ , pokud data obsahují hodnotu 0



- další příklady:
  - **odmocninová transf.** (pro proměnné s Poissonovým rozložením nebo obecně data typu počet jedinců, buněk apod.:  $X = \sqrt{Y}$  nebo  $X = \sqrt{Y + 1}$ )
  - **arcsin transformace** (pro proměnné s binomickým rozložením)
  - **Box-Coxova transformace**

# Standardizace dat

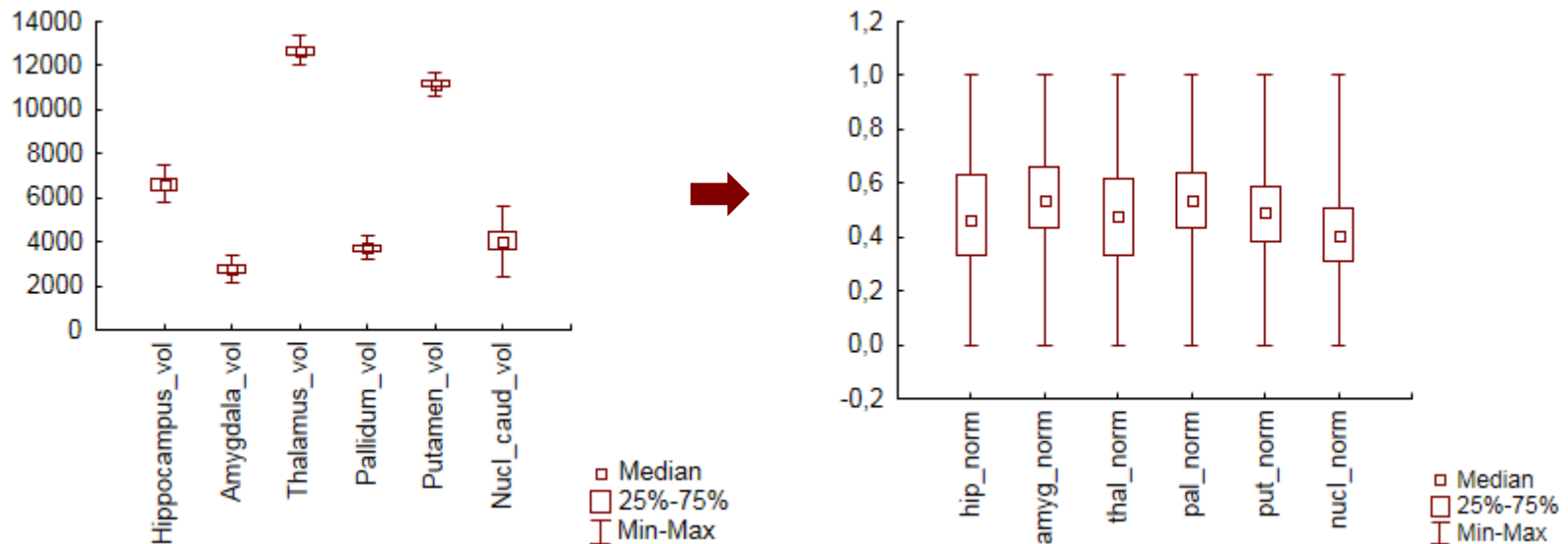
- důvod: převod proměnných na stejné měřítko
- standardizace:  $z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$  (tzn. odečtení průměru od jednotlivých hodnot a podělení směrodatnou odchylkou)
- proměnné budou mít rozsah přibližně od -3 do 3
- získáme tím současně i tzv. z-skóre (které vyjadřuje, o kolik směrodatných odchylek se i-tá hodnota odchýlila od průměru)
- **pozor: standardizace je nevhodná v případě, když proměnné nemají normální rozdělení a když se v datech vyskytují odlehlé hodnoty!!!**





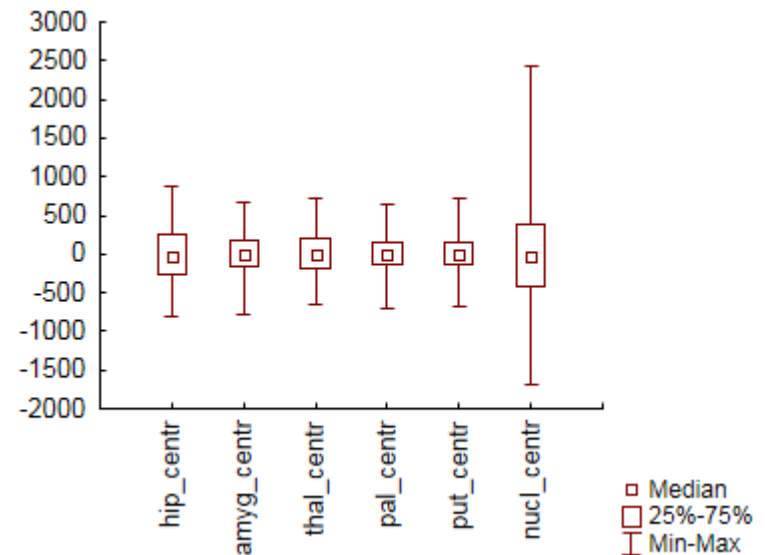
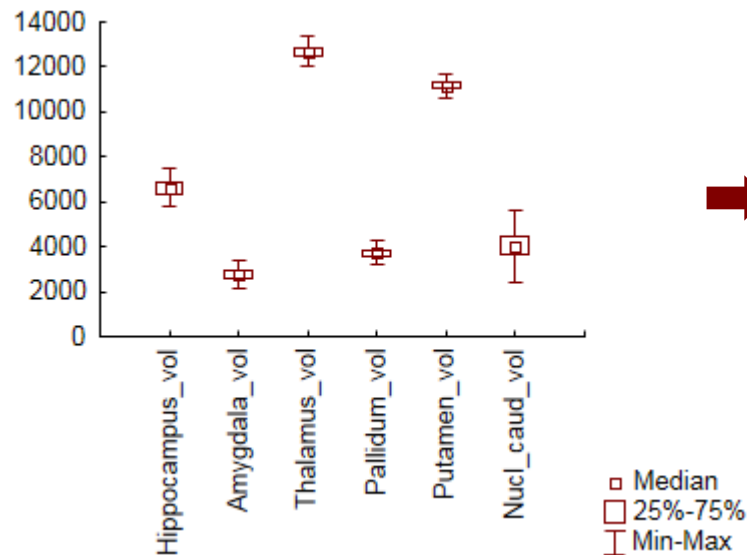
# Min-max normalizace

- důvod: převod proměnných na stejné měřítko
- oproti standardizaci vhodná i na proměnné nemající normální rozdělení či obsahující odlehlé hodnoty
- min-max normalizace:  $y_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$
- rozsah hodnot proměnných po min-max normalizaci je od 0 do 1



# Centrování dat

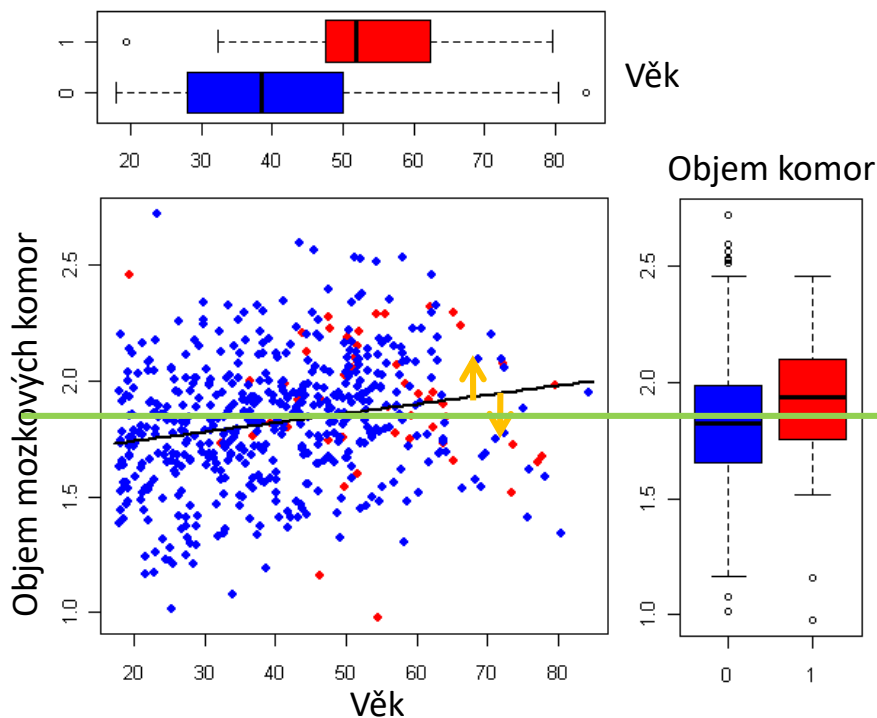
- odečtení průměru od dat – získáme novou proměnnou, která bude mít průměr roven nule
- důvod: centrování je důležitou podmínkou některých pokročilých statistických metod (např. klasifikačních)
- centrování:  $z_i = x_i - \bar{x}$



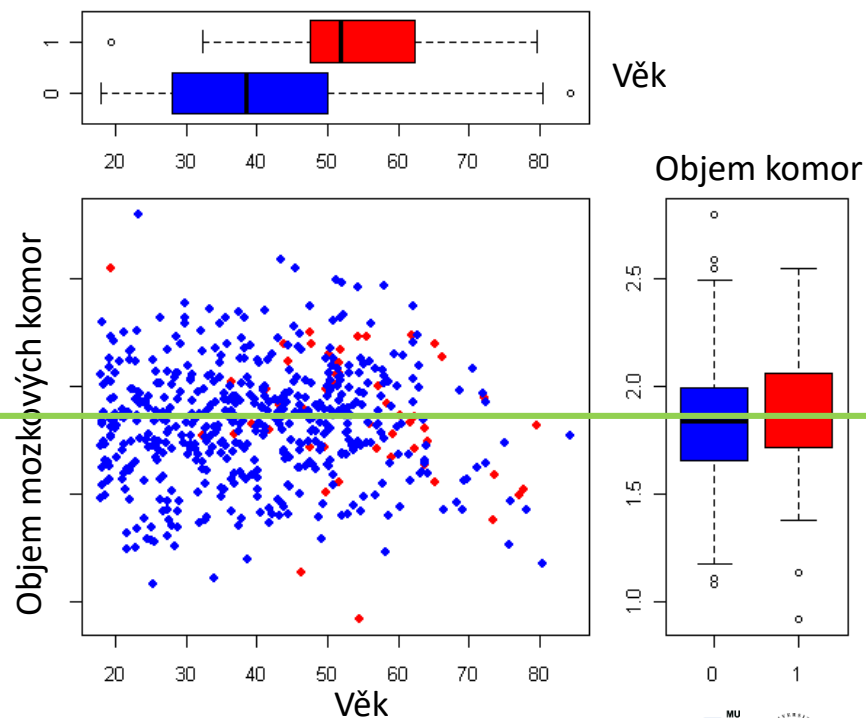
# Odstranění vlivu kovariát (tzv. adjustace)

1. V prvním kroku definujeme regresní model vztahu kovariáty (např. věku) a dané proměnné
2. Pro každého pacienta je vypočteno jeho reziduum od regresní přímky  $\uparrow\downarrow$
3. Reziduum (představující hodnotu parametru po odečtení vlivu věku, jeho průměr je 0) je přičteno k průměrné hodnotě parametru  $\text{---}$
4. Výsledná adjustovaná hodnota má odečten vliv věku, ale zároveň není změněna číselná hodnota parametru

**Původní data**



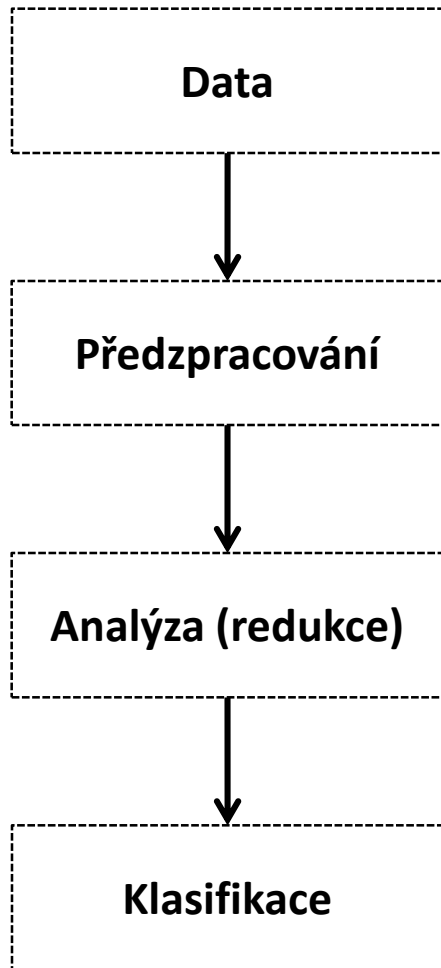
**Adjustovaná data**



# Cíle analýzy a klasifikace dat - shrnutí

- **rozhodnutí o typu či charakteru objektu** – např. že daná rostlina je pomněnka lesní (*Myosotis sylvatica*), zvíře je medvěd hnědý (*Ursus arctos*), nebo že daná budova je vystavěna v renesančním slohu – **klasifikační**, resp. **rozpoznávací úloha**;
- **posouzení kvality stavu analyzovaného objektu** – např. zda je pacient v pořádku, nebo má infarkt myokardu, cirhózu jater, apod. – opět **klasifikační**, resp. **rozpoznávací úloha**;
- **rozhodnutí o budoucnosti objektu** – např. zda lze pacienta léčit a vyléčit, zda les po 20 letech odumře, jaké bude sociální složení obyvatelstva na daném území a v daném čase – **klasifikační**, resp. **predikční úloha**
- poznámka: v některých oblastech se pojem predikce a klasifikace rozlišuje:
  - pojem **klasifikace** je používán, použije-li se klasifikační algoritmus pro známá data; pokud jsou data nová, pro která předem neznáme klasifikační třídu, pak hovoříme o **predikci** klasifikační třídy
  - pojem **klasifikace** je používán, pokud vybíráme identifikátor klasifikační třídy z určitého diskrétního konečného počtu možných identifikátorů; pokud určíme (predikujeme) spojitou hodnotu, např. pomocí regrese, pak hovoříme o **predikci**, i když tento pojem nemá časovou dimenzi

# Schéma analýzy a klasifikace dat



	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlavi	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M		90
4	3	26	Z	178	70

	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlavi	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M	167	90
4	3	26	Z	178	70

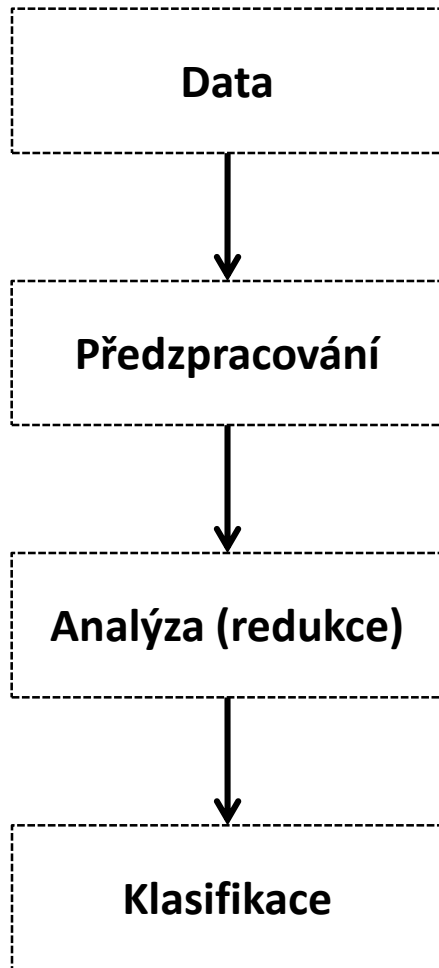
	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlavi	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M	167	90
4	3	26	Z	178	70



nebo



# Schéma analýzy a klasifikace dat



- rekonstrukce a doplnění chybějících údajů;
  - vypořádání se s odlehlými hodnotami;
  - filtrace rušivých a zvýraznění užitečných složek dat;
  - konverze typu dat (A/D převod)
- 
- určení a výběr hodnot příznaků (reprezentativních parametrů) – pro příznakové klasifikátory;
  - nalezení primitiv (charakteristických tvarových segmentů) – strukturální klasifikátory;
  - redukce dat
- 
- zatřídění do skupin (tříd, kategorií)

# Analýza dat

- **Analýza** (z řečtiny – *rozbor, rozčlenění*) je vědecká metoda založená na dekompozici celku na elementární části. Cílem analýzy je identifikovat podstatné a nutné vlastnosti elementárních částí celku, poznat jejich podstatu a zákonitosti.
- opakem je **syntéza** – označení pro proces spojení dvou nebo více částí do jednoho celku (následuje po analýze – spojíme znalosti dohromady; např. lékaři dělají syntézu výsledků, které jim pošlou statistici)
- ze statistického pohledu: analýza = celý proces zpracování dat
- v tomto předmětu především ve smyslu redukce dat:
  - výběr proměnných z předem zvolené množiny proměnných
  - vyjádření původních proměnných pomocí menšího počtu skrytých (tzv. latentních) nezávislých proměnných

# Klasifikace versus diskriminační analýza

- **klasifikace** – rozdělení (konkrétní či teoretické) dané skupiny (množiny) objektů na konečný počet dílčích skupin (podmnožin), v nichž všechny objekty mají dostatečně podobné společné vlastnosti. Předměty (jevy), které mají podobné uvažované vlastnosti tvoří třídu (skupinu).
- **diskriminační analýza** – hledá vztah mezi kategoriální proměnnou a množinou vzájemně vázaných proměnných; je to podskupina klasifikačních metod
- poznámka: analýza a klasifikace dat občas nazývána souhrnně jako:
  - „rozpoznávání obrazů“ (*pattern recognition*) – obraz nejen ve smyslu obraz mozku či obraz sítnice oka, ale ve smyslu popis (tzn. „obraz“) reálného objektu
  - „dolování z dat“ (*data mining*)
  - „strojové učení“ (*machine learning*)



# Typy klasifikátorů

## 1. Podle reprezentace vstupních dat:

- příznakové klasifikátory: paralelní x sekvenční
- strukturální (syntaktické) klasifikátory
- kombinované klasifikátory

## 2. Podle jednoznačnosti zařazení do skupin:

- deterministické klasifikátory
- pravděpodobnostní klasifikátory

## 3. Podle typů klasifikačních a učících algoritmů:

- parametrické klasifikátory
- neparametrické klasifikátory

## 4. Podle způsobu učení:

- učení s učitelem: dokonalým x nedokonalým
- učení bez učitele

## 5. Podle principu klasifikace:

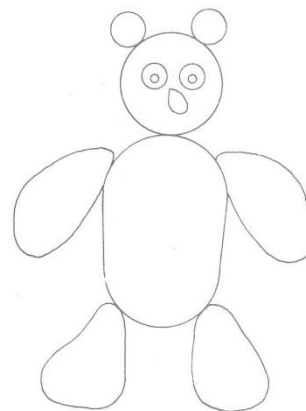
- klasifikace pomocí diskriminačních funkcí
- klasifikace pomocí vzdálenosti od etalonů klasifikačních tříd
- klasifikace pomocí hranic v obrazovém prostoru

# Typy klasifikátorů – podle reprezentace vstupních dat

- **příznakové** – vstupní data vyjádřena vektorem hodnot jednotlivých proměnných (příznaků):
  - **paralelní** – zpracování vektoru jako celku (např. Bayesův klasifikátor)
  - **sekvenční** – zpracování (občas i měření) proměnných postupně (např. klasifikační stromy)

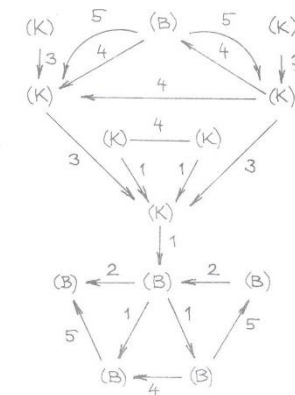
	A	B	C	D	E
1	id	vek	pohlaví	vyska	vaha
2	1	38	Z	164	45
3	2	36	M	167	90
4	3	26	Z	178	70

- **strukturální (syntaktické)** – vstupní data popsána relačními strukturami



PRIMITIVA:  
 (K) – KOLEČKO  
 (B) – BRAMBORA

RELACE:  
 (1) – DOTÝKÁ SE SHORA  
 (2) – DOTÝKÁ SE ZLEVA  
 (3) – LEŽÍ UVNITŘ  
 (4) – LEŽÍ VLEVO OD  
 (5) – LEŽÍ POD



- **kombinované** – jednotlivá primitiva doplněna příznakovým popisem

# Typy klasifikátorů – dle jednoznačnosti zařazení do skupin

- **deterministické klasifikátory:**

- každý objekt musí patřit do nějaké třídy a nemůže být současně ve více třídách
- pozn. použití termínu „**deterministický klasifikátor**“ v případě, že klasifikátor daná data zpracuje vždy se stejným výsledkem (např. Bayesův klasifikátor) x „**nedeterministický klasifikátor**“, který může při opakovaném zpracování daných dat klasifikovat různě (např. neuronové sítě – záleží na tom, jaká bude inicializace)

- **pravděpodobnostní klasifikátory:**

- stanoví pravděpodobnost zařazení obrazů do daných klasifikačních tříd
- např. člověk má s pravděpodobností 0,6 infarkt, s pstí 0,3 má atrofii srdeční komory a s pstí 0,1 je zdravý

# Typy klasifikátorů – dle typů klasifikačních a učících algoritmů

- **parametrické klasifikátory:**

- potřeba nastavit či určit parametry
- např. prahová klasifikace (potřeba stanovit práh), metoda podpurných vektorů (potřeba stanovit parametr „C“) atd.

- **neparametrické klasifikátory:**

- není potřeba nastavovat žádné parametry
- např. klasifikace podle vzdáleností od reprezentativního objektu (tzv. „etalonu“) skupin

- pozn. z tohoto pohledu jsou klasifikační stromy parametrické klasifikátory, pokud to však hodnotíme ze statistického pohledu, jsou to neparametrické metody, protože nemají předpoklad normálního rozdělení

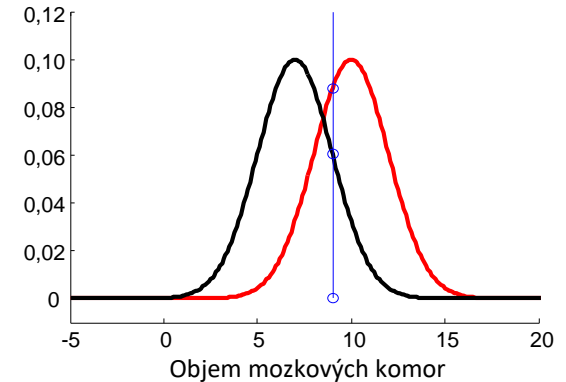
# Typy klasifikátorů – podle způsobu učení

- **učení s učitelem** – k dispozici trénovací množina, u níž známe zařazení každého objektu do jednotlivých klasifikačních tříd
  - **učení s dokonalým učitelem** – učitel se nemůže splést (tzn. předpokládáme, že všechny trénovací objekty jsou správně označené, že patří do dané třídy)
  - **učení s nedokonalým učitelem** – připouštíme, že v trénovací množině mohou být nesprávně označené subjekty (např. u některých duševních onemocnění se lékař může splést a označit pacienta za schizofrenika, i když trpí bipolární poruchou, což se však prokáže až za několik let, takže v naší trénovací množině je takto špatně zařazený subjekt)
- **učení bez učitele:**
  - trénovací množina není k dispozici a často ani předem neznáme, jaké třídy (skupiny) se v datech budou vyskytovat
  - typickým příkladem je shlukování

# Typy klasifikátorů – podle principu klasifikace

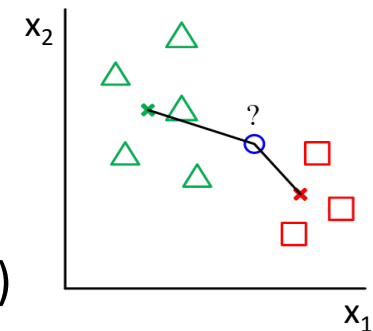
- **klasifikace pomocí diskriminačních funkcí:**

- diskriminační funkce určují míru příslušnosti k dané klasifikační třídě
- pro danou třídu má daná diskriminační funkce nejvyšší hodnotu



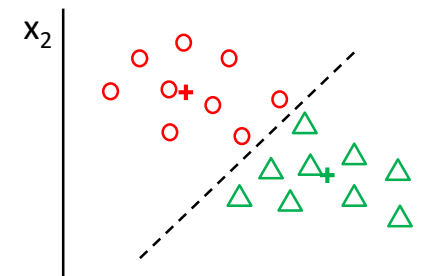
- **klasifikace pomocí vzdálenosti od etalonů klasif. tříd:**

- etalon = reprezentativní objekt(y) klasifikační třídy
- počet etalonů klasif. třídy různý – od jednoho vzorku (např. centroidu) po úplný výčet všech objektů dané třídy (např. u klasif. pomocí metody průměrné vazby)



- **klasifikace pomocí hranic v obrazovém prostoru:**

- stanovení hranic (hraničních ploch) oddělujících klasifikační třídy



# Citát na závěr:

---

Marriott, F. H. C. *The Interpretation of Multiple Observations*. London: Academic Press (1974):

“If the results disagree with informed opinion, do not admit a simple logical interpretation, and do not show up clearly in a graphical presentation, they are probably wrong. There is no magic about numerical methods, and many ways in which they can break down. They are a valuable aid to the interpretation of data, not sausage machines automatically transforming bodies of numbers into packets of scientific fact.”

# Příprava nových učebních materiálů pro obor Matematická biologie

je podporována projektem OPVK

č. CZ.1.07/2.2.00/28.0043

„Interdisciplinární rozvoj studijního  
oboru Matematická biologie“



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ