

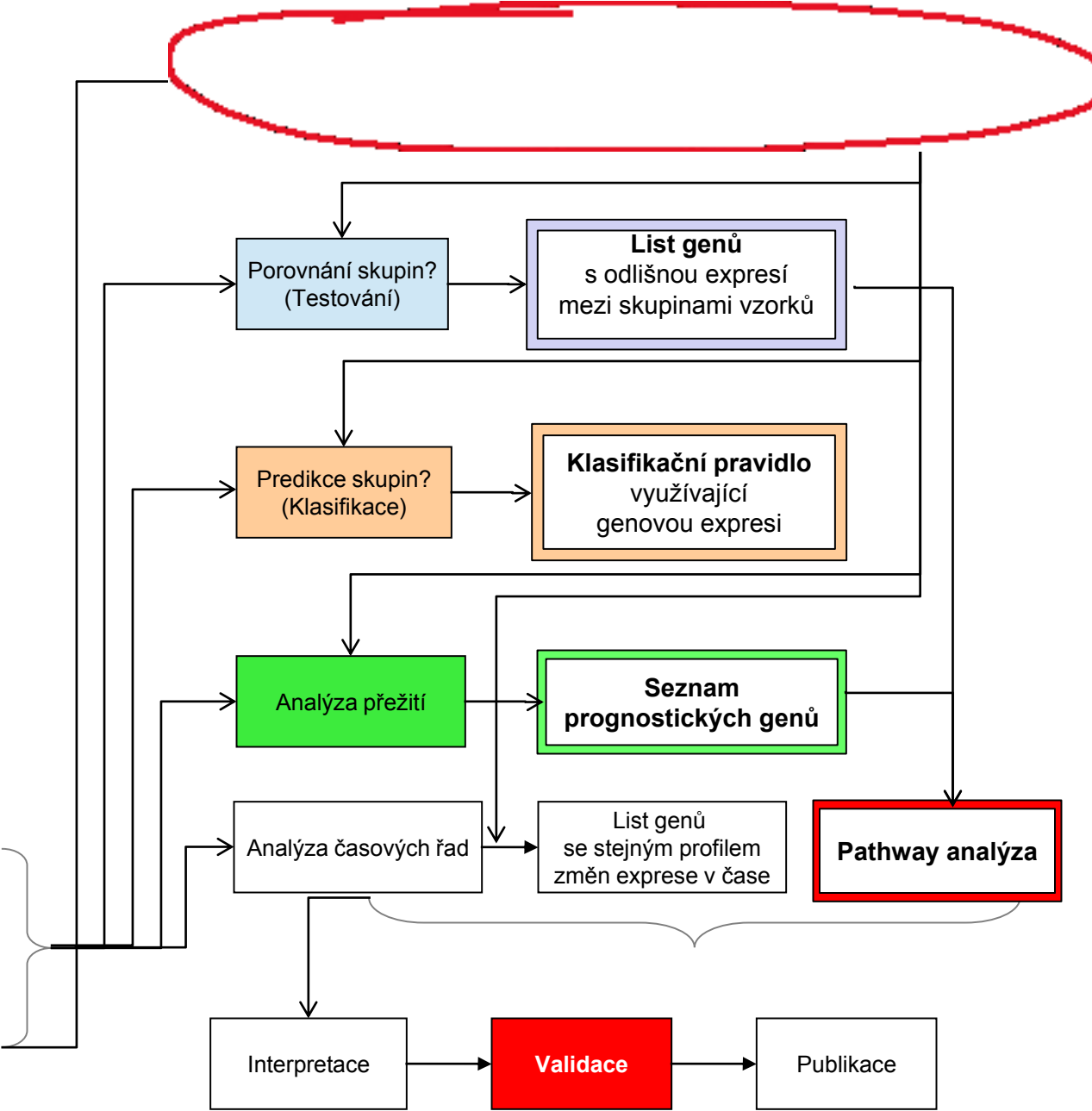


# Detekce biomarkerů z omics experimentů

- Mgr. Eva Budinská, PhD
- RECETOX
- [budinska@recetox.muni.cz](mailto:budinska@recetox.muni.cz)
- Podzim 2023

# Objevování neznámých skupin

**Jak se hledá potenciální biomarker v omics datech**



# Objevování skupin



- Snažíme se **vyvodit závěry o vzorcích** nebo **molekulách bez** (brání do úvahy) **jakékoliv předchozí znalostí** biologických skupin (=shlukování)
- Cílem je **vytvořit skupiny objektů** na základě jejich vzájemné **podobnosti**
- Objekty **uvnitř skupiny** mají být co **nejpodobnější** a objekty z **různých** skupin mají být vzájemně **tak odlišné, jak jen je to možné**

Odpovídáme  
na otázky:

Existují skupiny vzorků s  
podobným molekulárním  
profilem?

Existují skupiny molekul s  
podobnými vlastnostmi?

**Kdy  
provádíme  
shlukování  
v  
molekulární  
biologii**

---

# Příklady objevování skupin

Molekulární podtypy karcinomu prsu

Bakterie se stejnými geny rezistence

Proteiny s podobnou abundancí u  
zdravých vs nemocných

Geny se stejnou genovou expresí v čase

Skupiny bakterií společně se vyskytující s  
konkrétními metabolity

# Omezení

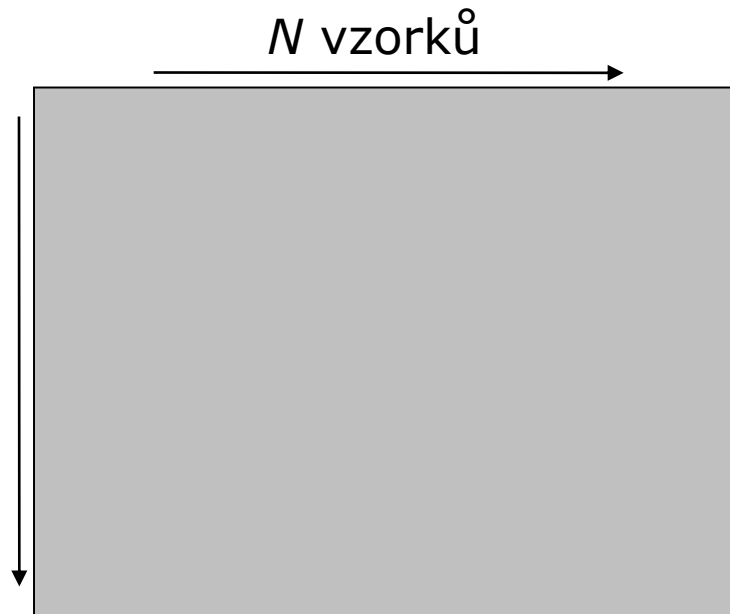
- Neznámá pravda – nutné co nejobektivněji popsat skutečnost
- (Ne) reprezentativnost populace v datech
- Technické možnosti
- Odchytky v datech mohou podstatně ovlivnit výsledek
- Typ dat určuje úhel pohledu (génová exprese vs proteinová abundance, metabolický profil, epidemiologie, histologie, DNA mutace... )



# Princip shlukování

- Máme datovou matici  $X$  velikosti  $N \times P$ 
  - $N$  – počet objektů (vzorků)
  - $P$  – počet proměnných (geny/proteiny...)

$P$  proměnných  
(geny, proteiny)



Hledáme **nejlepší rozdělení dat na skupiny** tak, aby nalezené skupiny byly uvnitř vysoce **homogenní** a mezi sebou vysoce **heterogenní**

# Typy shlukovacích metod

- Shlukovací metody se dělí na dvě hlavní skupiny:
  - **Metody založené na vzdálenosti**
    - neparametrické
    - nejčastěji používané, intuitivní
    - hierarchické a nehierarchické shlukování
  - **Metody založené na modelování**
    - parametrické, kladou silné předpoklady na rozložení dat
    - založeny na statistickém modelování – přiřazují každému objektu pravděpodobnost s jakou patří do daného shluku

# Metody založené na vzdálenostech

## Princip:

- Zvolíme **metriku vzdálenosti** (jak vzdálenost měříme?)
- Vypočteme matici vzdáleností mezi objekty (každý s každým)
- Vybereme shlukovací algoritmus
- Stanovíme počet shluků – jen u některých metod
- Aplikujeme shlukovací algoritmus na matici vzdáleností  
→ získáme shluky

## Shlukovací algoritmy:

- Hierarchické
  - Aglomerativní – Single, Complete, Average, Ward linkage, ...
  - Divizivní – DIANA, ...
- Nehierarchické
  - K-means, PAM...

# Metriky vzdálenosti

# Euklideovská vzdálenost

---

Mějme 2 vektory hodnot  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ ,  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$

- Euklideovská vzdálenost:
- Standardizovaná Euklideovská vzdálenost:

Tato metrika penalizuje – snižuje vzdálenost mezi objekty s velkou variabilitou, předpokládajíc, že jsou důležitější než objekty s malou variabilitou.

# Manhattanova vzdálenost

---

Máme 2 vektory hodnot  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ ,  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$

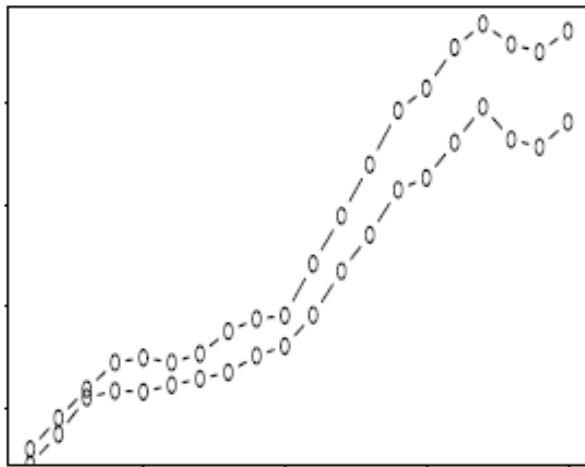
Robustnější vůči odlehlým hodnotám.

# Metriky vzdálenosti založené na korelačním koeficientu

Obzvláště často využívané u dat z omics experimentů

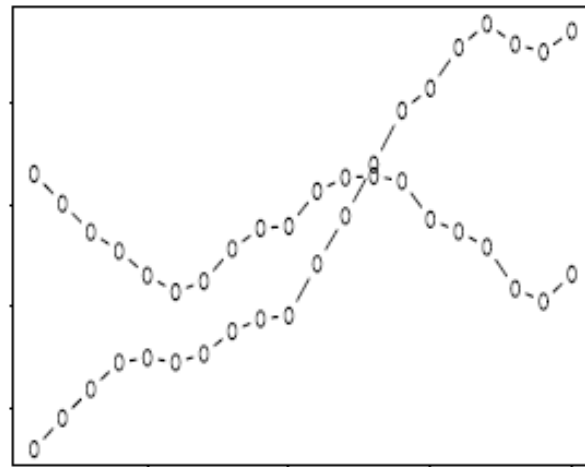
---

*Můžeme odvodit dvě různé metriky:*



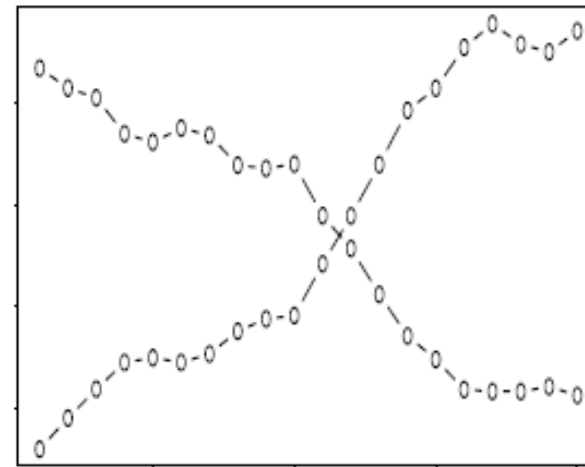
$r = 0.9$

$d_1=?$ ,  $d_2=?$



$r = 0.0$

$d_1=?$ ,  $d_2=?$



$r = -0.9$

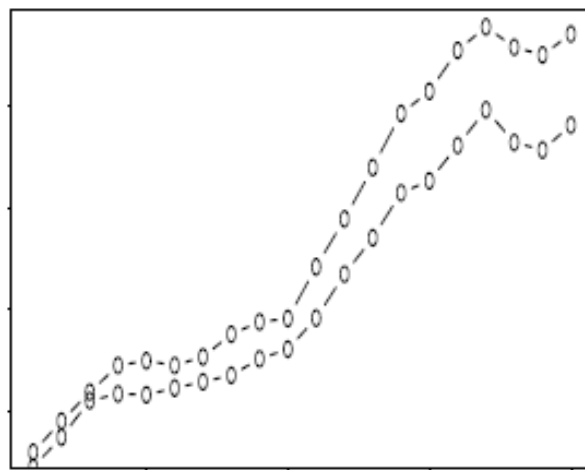
$d_1=?$ ,  $d_2=?$

# Metriky vzdálenosti založené na korelačním koeficientu

Obzvláště často využívané u dat z omics experimentů

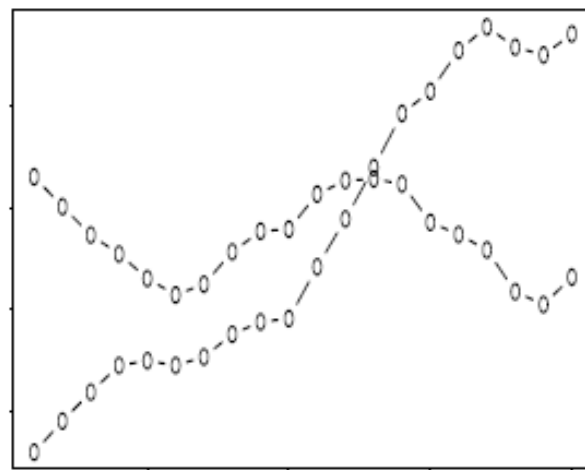
---

*Můžeme odvodit dvě různé metriky:*



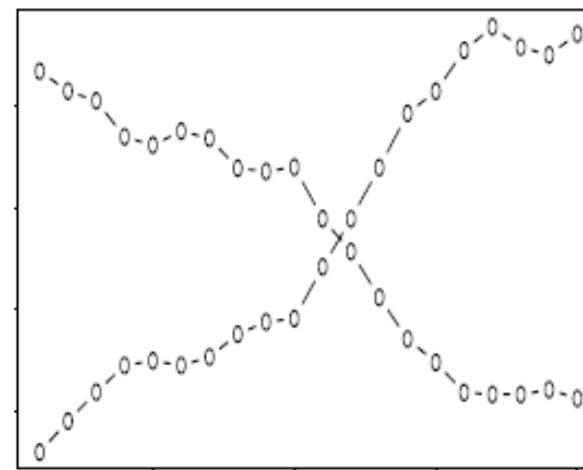
$r = 0.9$

$d_1=0.05, d_2=0.19$



$r = 0.0$

$d_1=0.5, d_2=1$



$r = -0.9$

$d_1=0.95, d_2=0.19$

Při použití  $d_1$  budou geny s opačnými profily patřit do odlišných shluků, zatímco při použití metriky  $d_2$  budou patřit do toho stejného shluku. Pokud chceme shluky interpretovat jako množiny genů ze stejné regulační sítě, použijeme raději  $d_2$ .

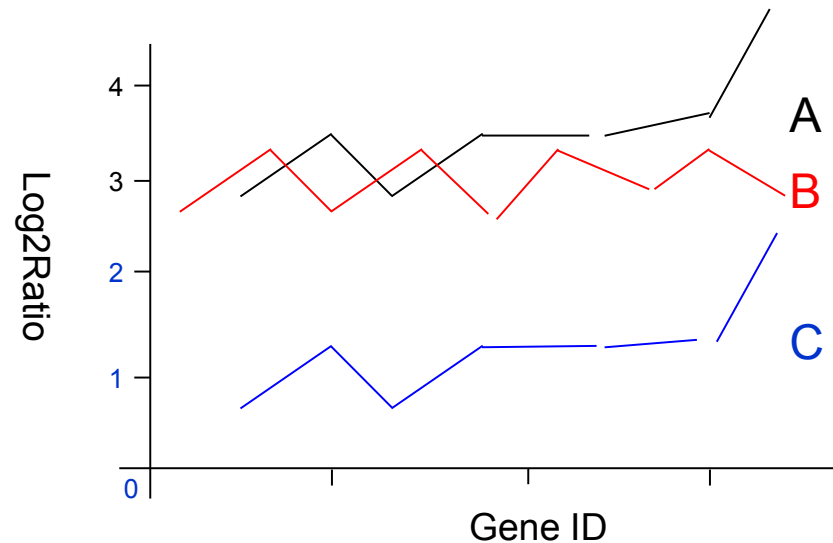


# Výběr metriky

Výběr metriky záleží na tom, jaký typ podobnosti nás zajímá

Pokud nás zajímá **podobnost hodnot** (A a B jsou podobné), aplikujeme Euklidovskou vzdálenost

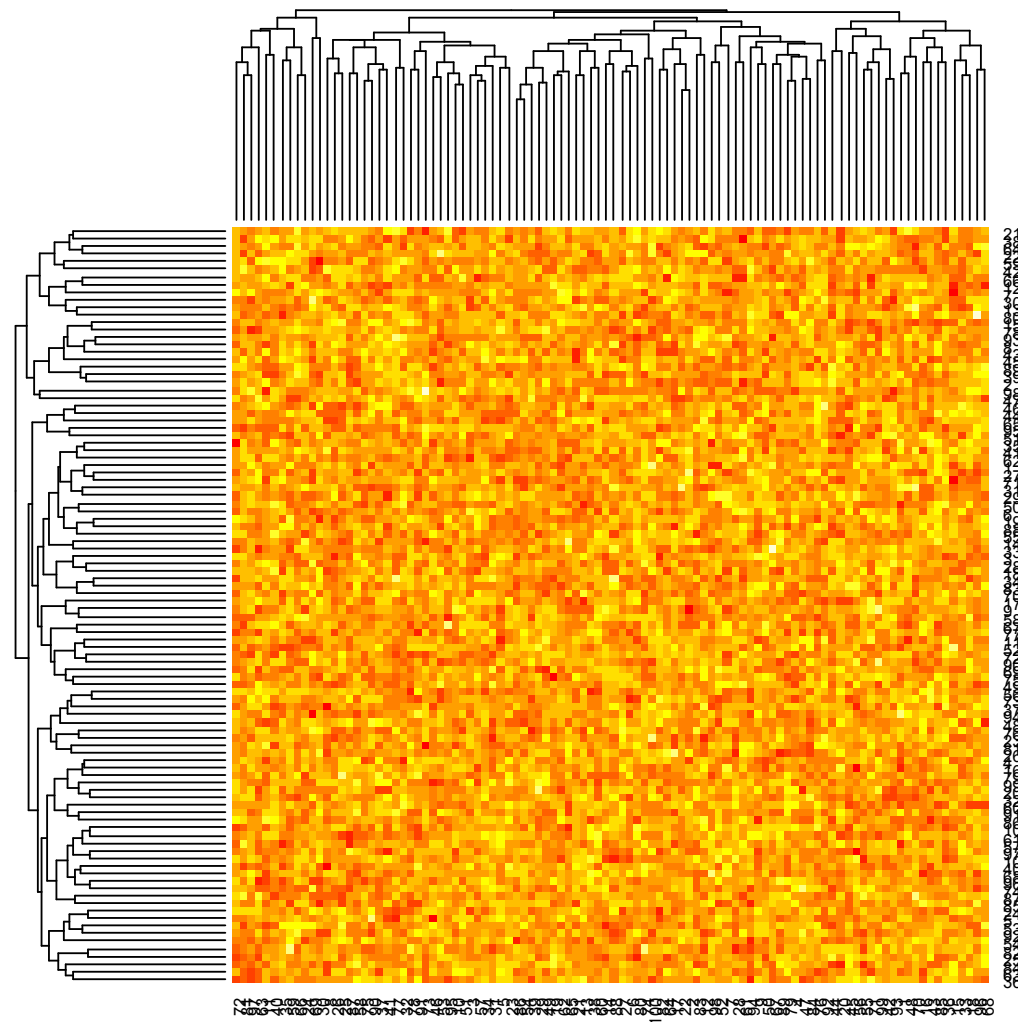
Pokud nás zajímá **vzor hodnot** (A a C jsou podobné), aplikujeme vzdálenost založenou na korelaci



# Na co si dávat pozor I.

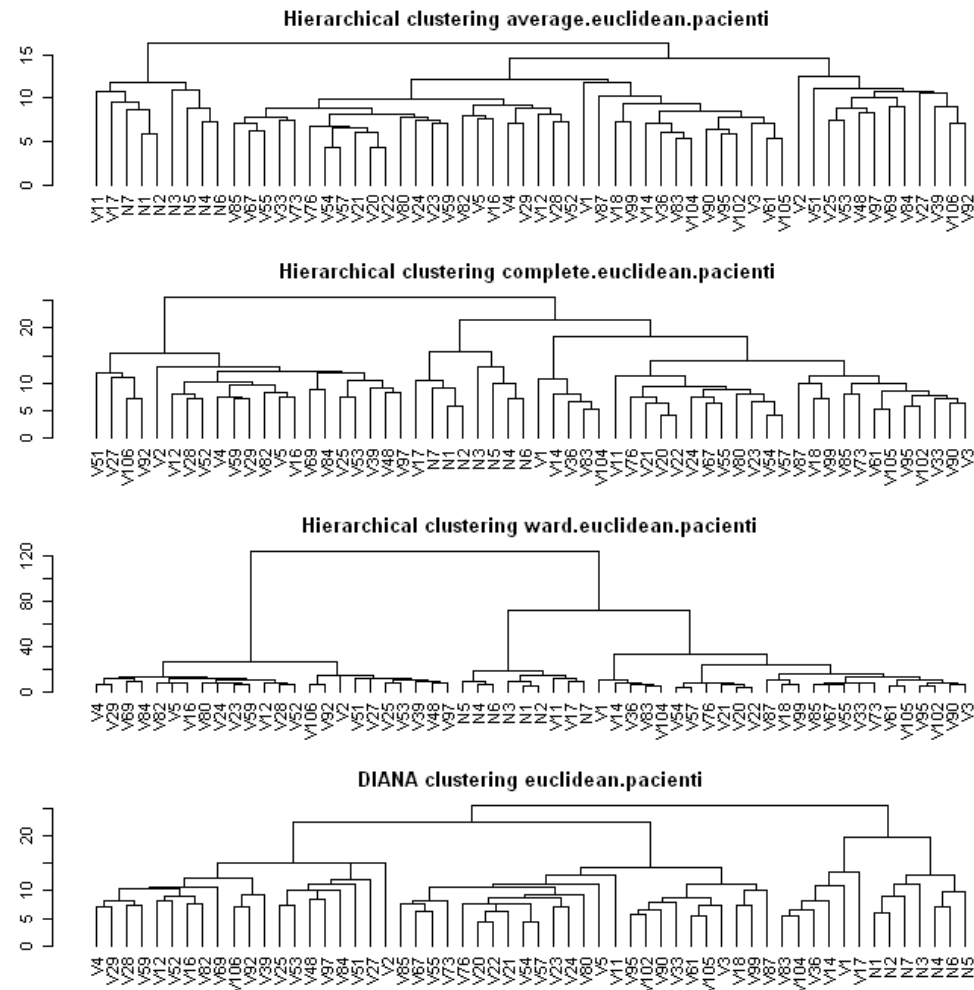
Mnoho shlukovacích technik najde shluky i v datech, ve kterých nejsou žádné přirozené shluky, a to jen proto, že byly pro tento účel vytvořeny.

Příkladem je právě hierarchické shlukování!



# Na co si dávat pozor II.

- Výsledek jediného shlukování by nikdy neměl být považován za objektivní reprezentaci informace skryté v datech, protože je závislý od použité metody a také v rámci metody od jejího nastavení!



# Další problémy

---

Výběr shlukovacího algoritmu a metriky ovlivňuje konečné výsledky

---

Výsledky jsou závislé na samotných datech

---

Kolik shluků?

---

Potřebujeme odhad jistoty, že nalezené shluky jsou správné

---

Odhad kvality shluků je založen na metrikách z dat ze kterých byli shluky vytvořené

# Robustní shlukování

---

V analýze vysocepokryvných molekulárních dat mají výše uvedené problémy větší váhu

---

Malý počet vzorků a vysoký počet proměnných (genů, proteinů...) spolu s vyšším množstvím šumu v datech jsou důvodem, proč je shlukování těchto dat citlivé na přeučení (overfitting)

---

Shlukování je méně robustní (více ovlivněné variabilitou dat)

---

Variabilita dat a výsledky shlukování se dají simulovat opakovaným náhodným výběrem z dat

# Konsenzuální shlukování

---

- Forma robustního shlukování (Monti et al., 2003)
- Opakované vzorkování a shlukování jako způsob nalezení **konsenzusu** mezi jednotlivými výsledkami shlukování za účelem:
  - **Určení počtu a stability shluků** v datech
  - **Vytvoření nové metriky vzdálenosti** – konsenzusu
- Základní princip:
  - Rozrušení struktury originální  $N \times P$  datové matice pomocí náhodného výběru podmnožiny vzorků a/nebo genů
  - Na novém datovém souboru aplikujeme shlukovací algoritmus se stejnou mírou similarity a počtem shluků
  - Oba body jsou opakované  $L$  krát pro jiný počet shluků.

# Základní princip konsenzuálního shlukování

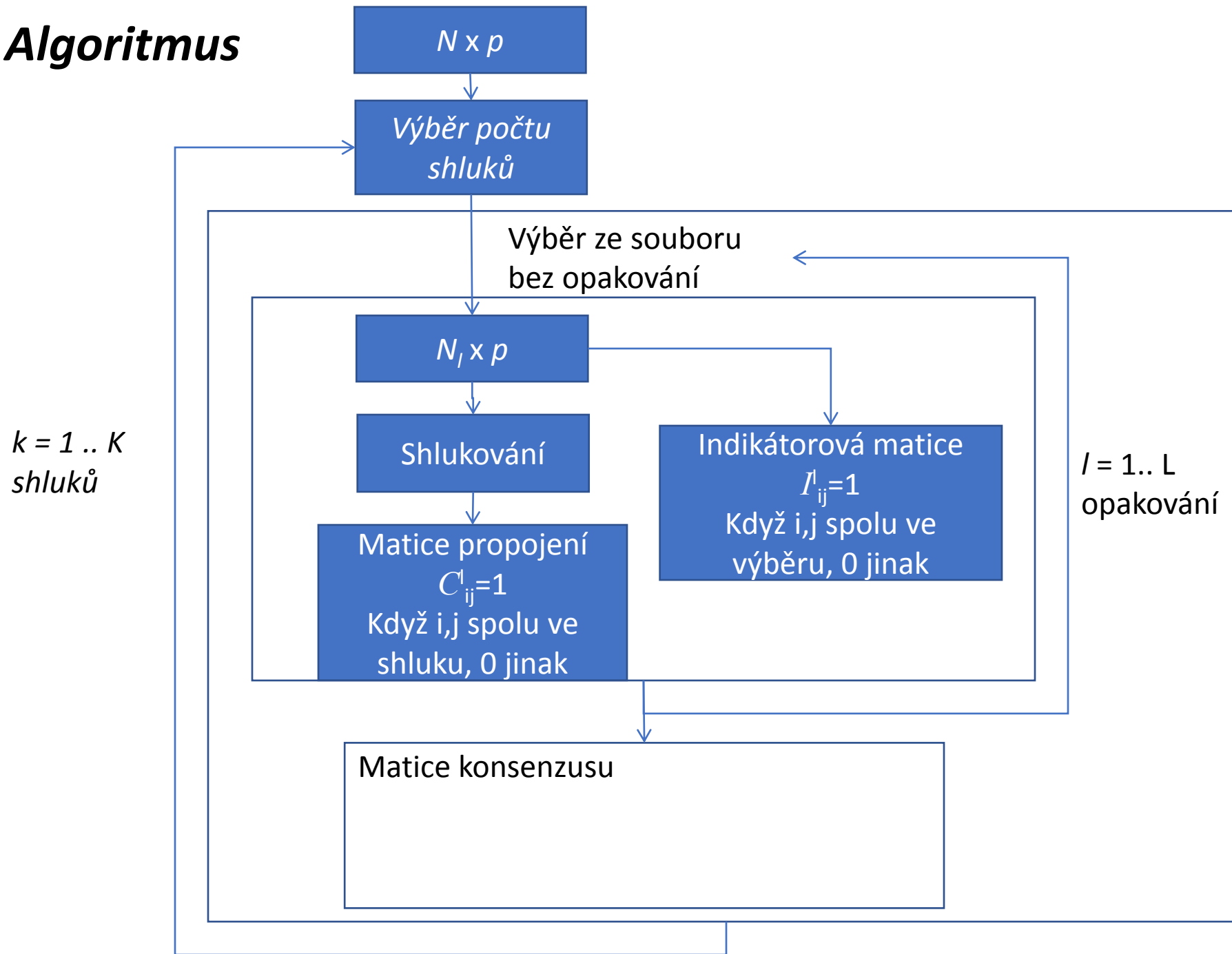
---

(i) Narušení struktury originální  $N \times P$  datové matice pomocí náhodného výběru podmnožiny vzorků a/nebo proměnných

(ii) Na novém datovém souboru aplikace shlukovacího algoritmu se stejnou mírou similarity a počtem shluků

(i) a (ii) opakuj  $L$ -krát pro různé počty shluků  $(1, \dots, k)$

# Algoritmus





# Konsenzuální shlukování

- V každém výběru (pro daný počet shluků) vznikají dvě matice  $N \times N$ :
- **Matice konektivity  $C^{(l)}$**  – pro každý pár vzorků  $i, j$  ukládá informaci, zda byly ve stejném shluku

$$C^l(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pokud } i \text{ a } j \text{ patří do stejného shluku} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

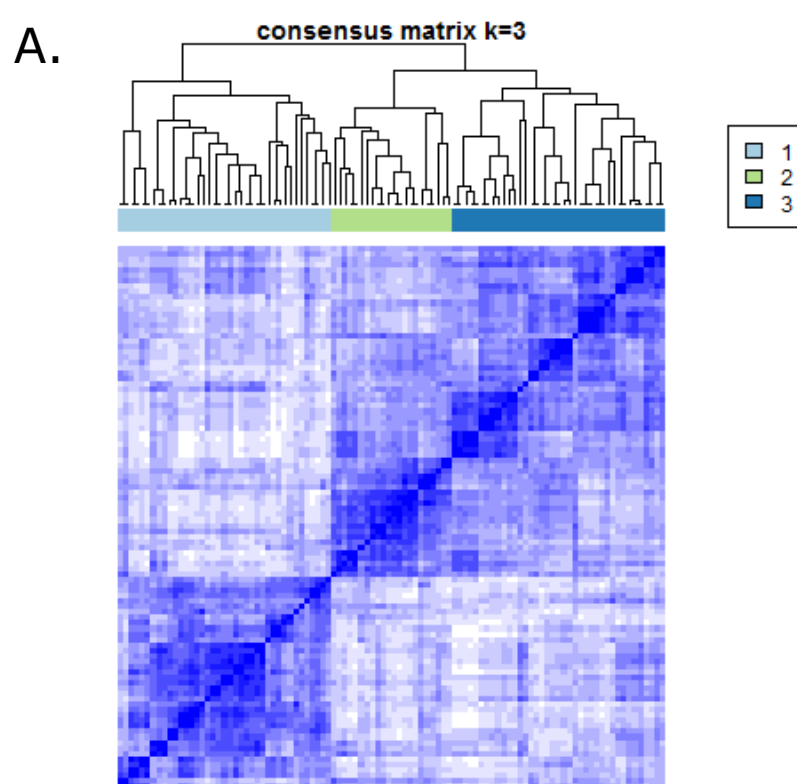
- **Indikátorová matice  $I^{(l)}$**  – pro každý pár vzorků  $i, j$  ukládá informaci, zda byly vybrány ve společném výběru

$$I^l(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pokud } i \text{ a } j \text{ patří do stejného výběru} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

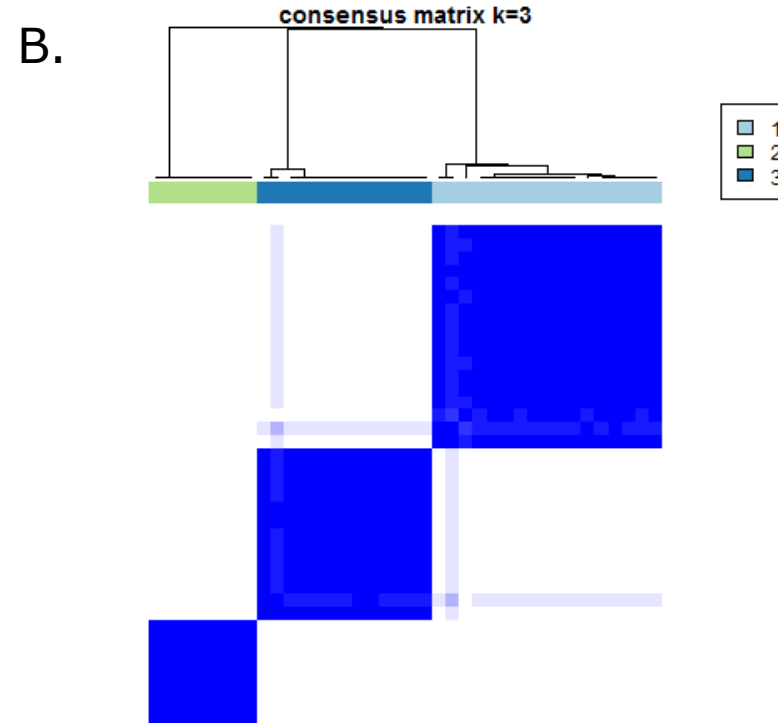
- **Matice konsenzusu  $M$**  je definovaná jako:

# Myšlenka konsenzuálního shlukování

- Pokud se dva vzorky v jednotlivých výběrech nacházejí často spolu ve shluku, jsou důvěryhodnějšími členy shluku než ty, které se ve shluku nacházejí méně často



*Data bez struktury (náhodný výběr z normálního rozložení)*



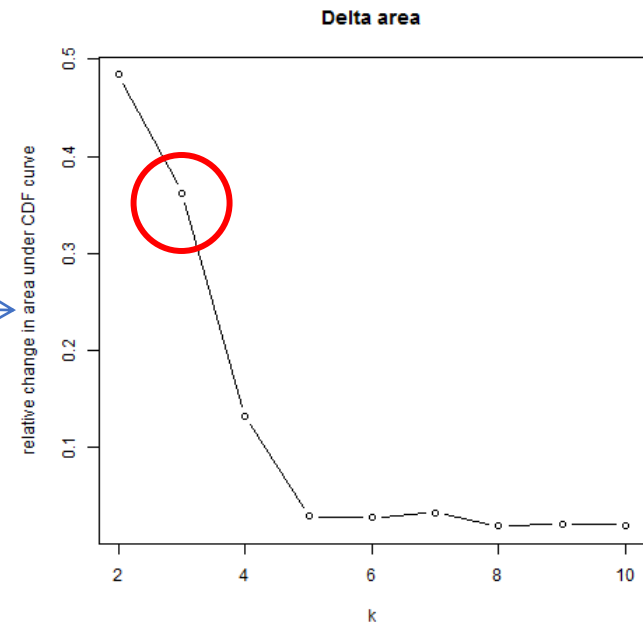
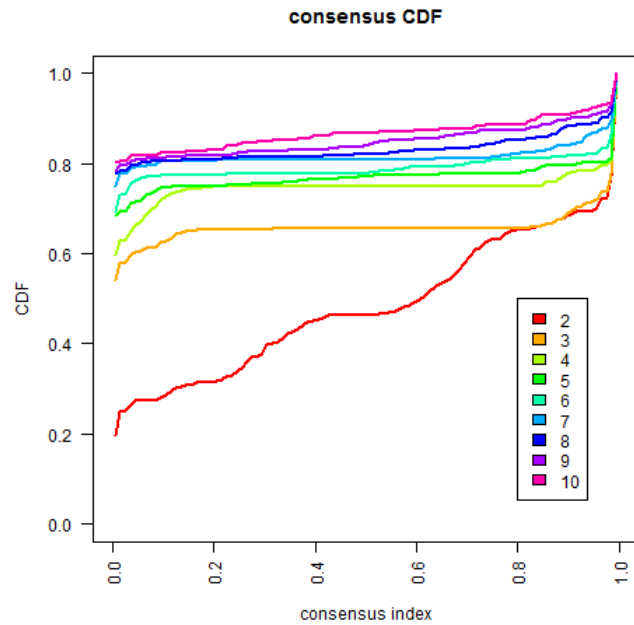
*Data se třemi skupinami*





# Odhad počtu zhlukov III

Delta = relativní změna plochy pod CDF  
křivkou mezi dvěma k



# *Další metriky konsenzuálního shlukování*

*Konsenzus shluku  $k$*

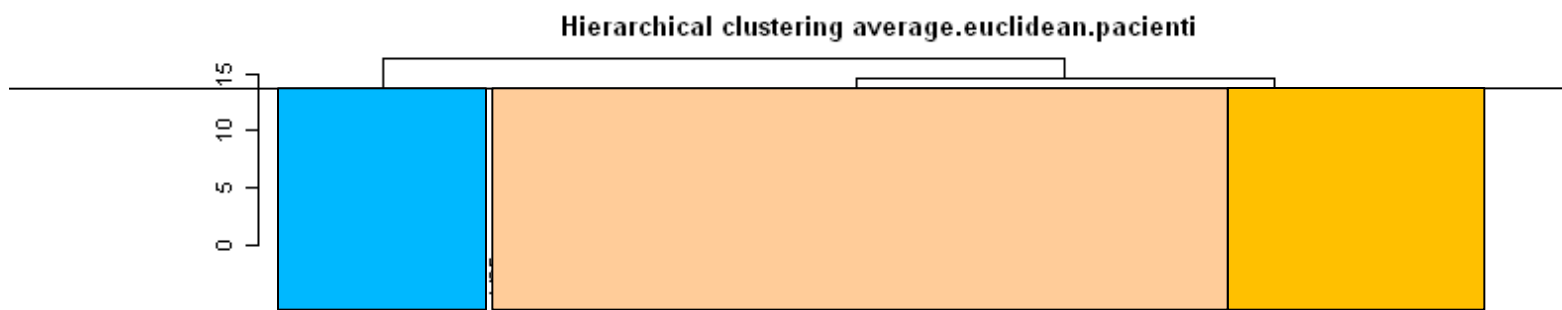
*Konsenzus vzorku  $s_i$  v  $k$ -tém shluku*

kde  $\delta_{ij}$  je indikátorová funkce

Obě míry se používají pro identifikaci odlehlých hodnot (vzorky s nízkou mírou konsenzu k jakémukoliv jinému vzorku v jinak homogenním shluku; shluky s nízkou mírou konsenzu obecně)

# Kolik shluků?

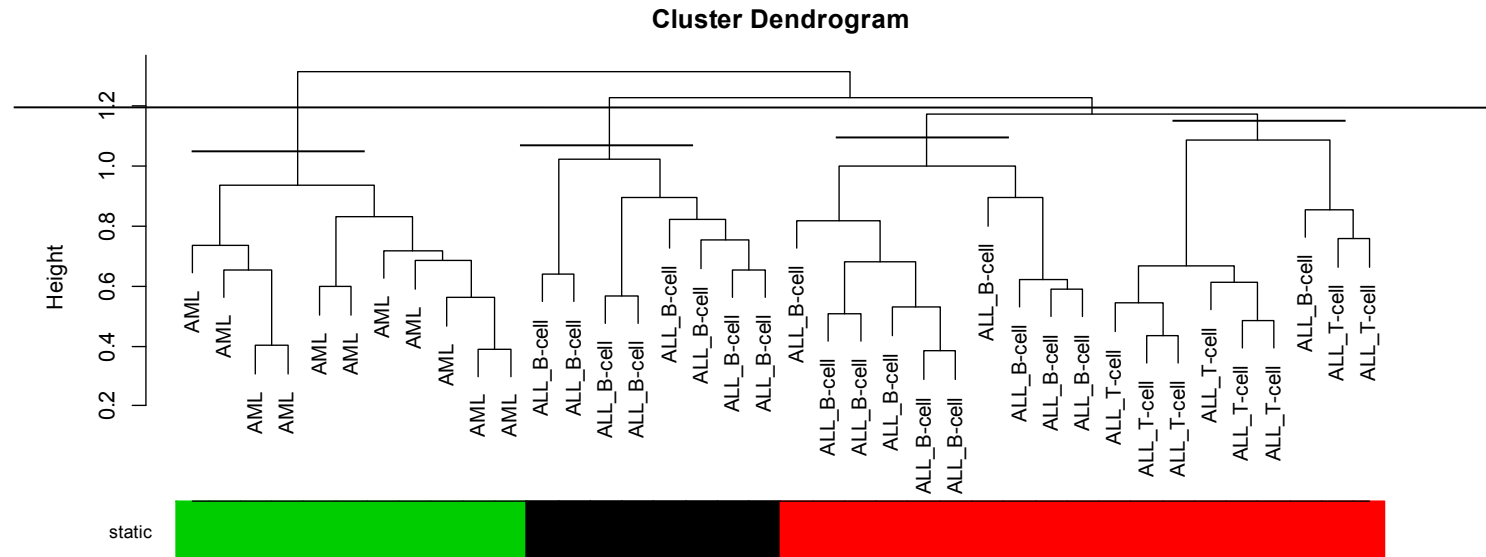
- V případě nehierarchických metod počet shluků určujeme dopředu
- V případě hierarchického shlukování vytváříme strom, dendrogram, který se potom prořezává



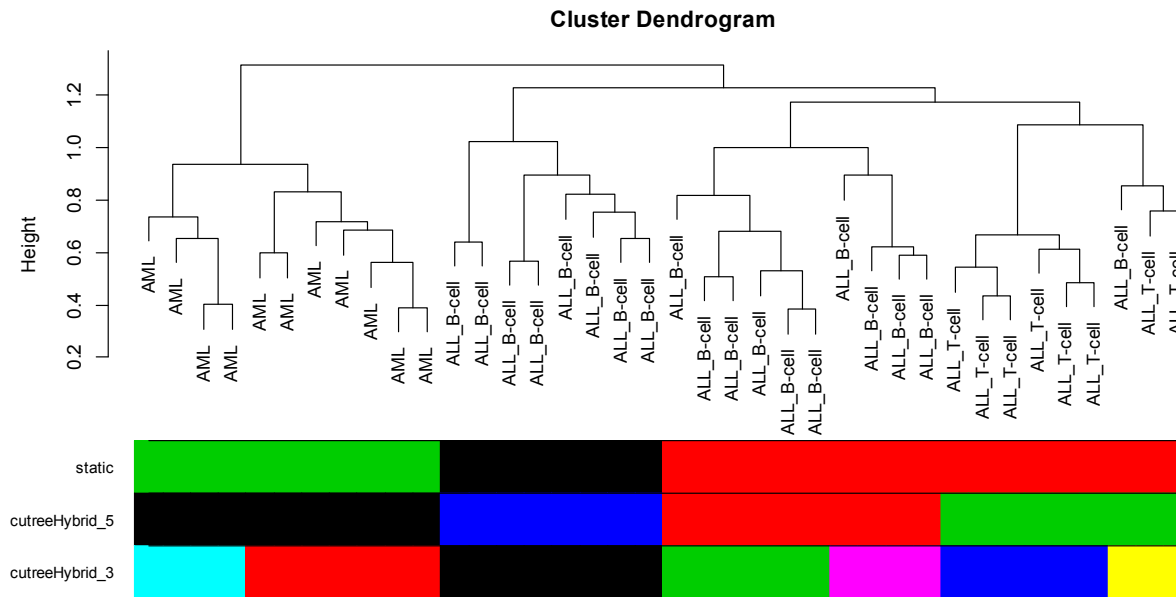
- Počet shluků je následně určený tak, aby heterogenita v rámci shluků byla co nejmenší a mezi shluky co největší
- Různé metriky heterogenity shluků – variabilita, Silhouette, ...

# Řezání dendrogramu jeho problém

- U hierarchického shlukování se **stanovuje fixní výška řezu** dendrogramu
- Problém: u omicsových molekulárních dat se často vyskytují **shluky v různých výškách řezu**







- Metoda dynamického prořezávání dendrogramu (Langfelder et al, 2007)
- Dynamické řezání dendrogramu na základě minimální velikosti shluků, maximální výšky řezu a dalších parametrů
- Pokud vzorek nespĺňuje kritéria, není zařazen do shluku!


# Dynamic hybrid tree cut

# ***Dynamic hybrid tree cut - základy***

Shluk musí mít minimální počet objektů



Příliš vzdálené objekty jsou ze shluku vyloučené i v případě, že patří do stejného ramena dendrogramu

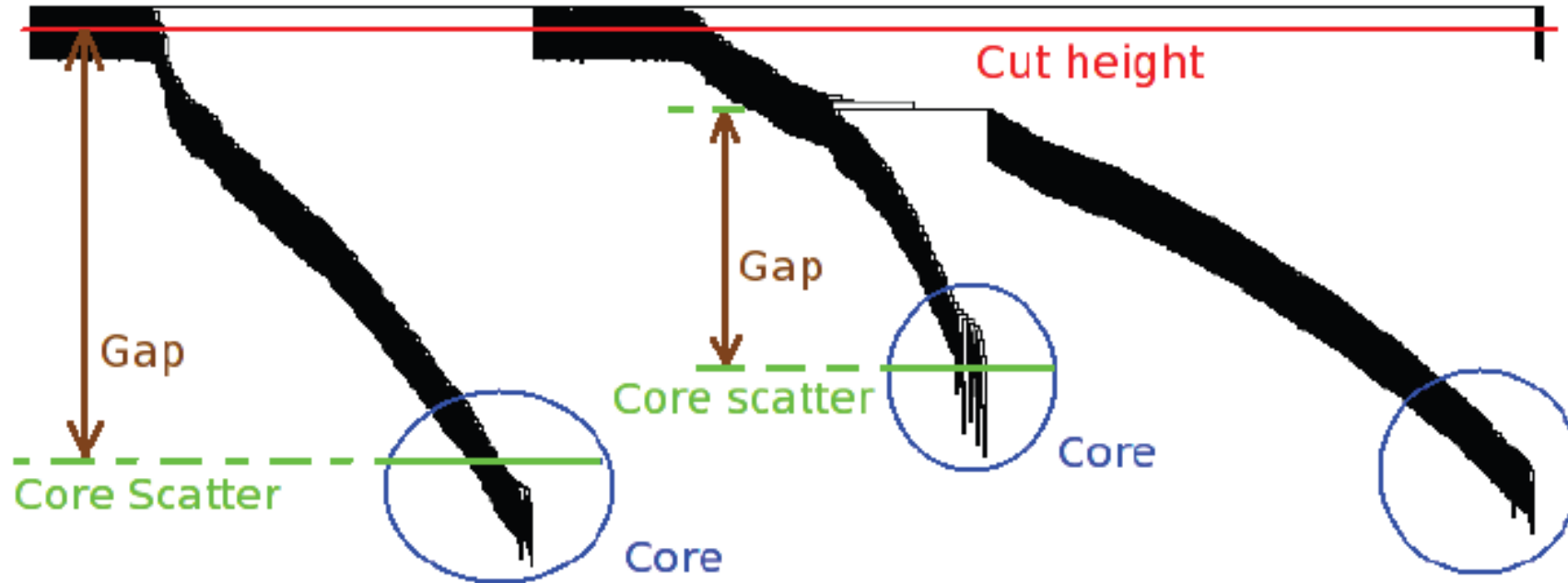


Každý shluk by měl být oddělený od okolí mezerou

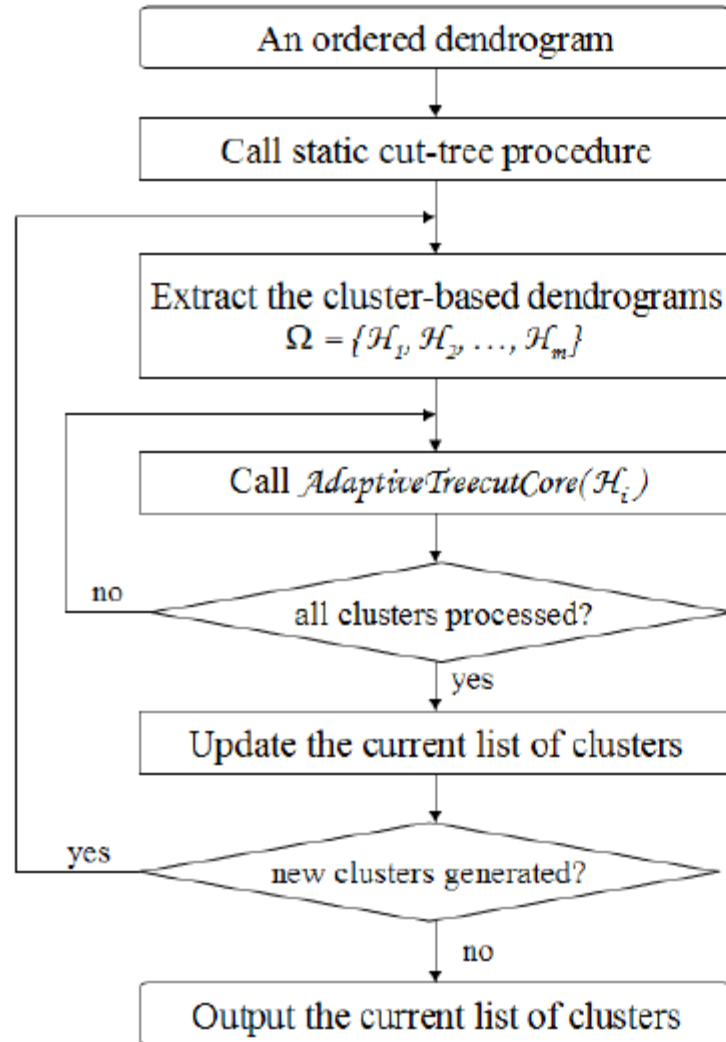


Jádro (nejnižší propojené objekty) každého shluku musí být silně propojeno

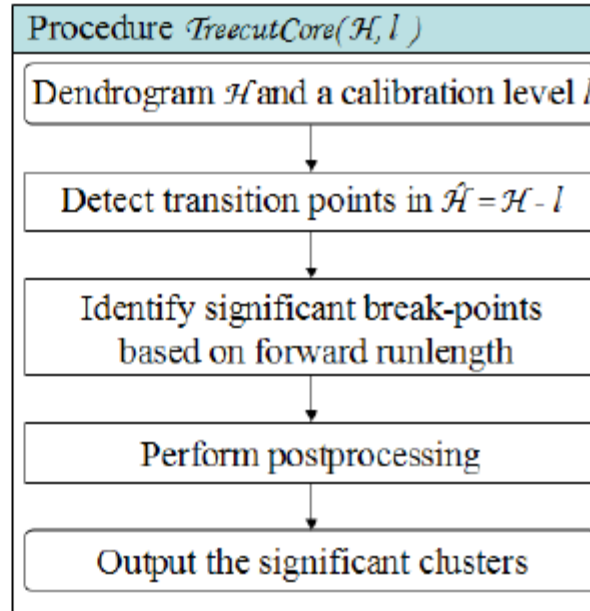
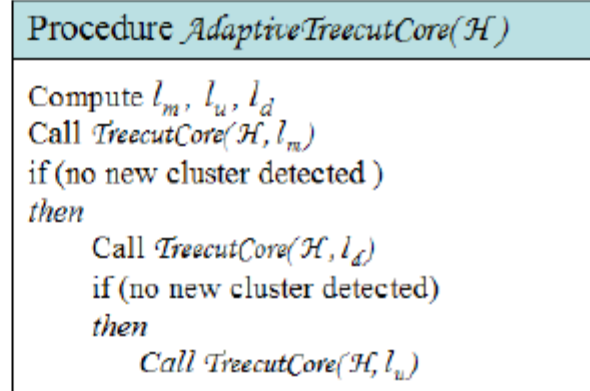
# *Parametry dynamic hybrid cut*



# Algoritmus dynamic hybrid tree cut



(a)



(b)

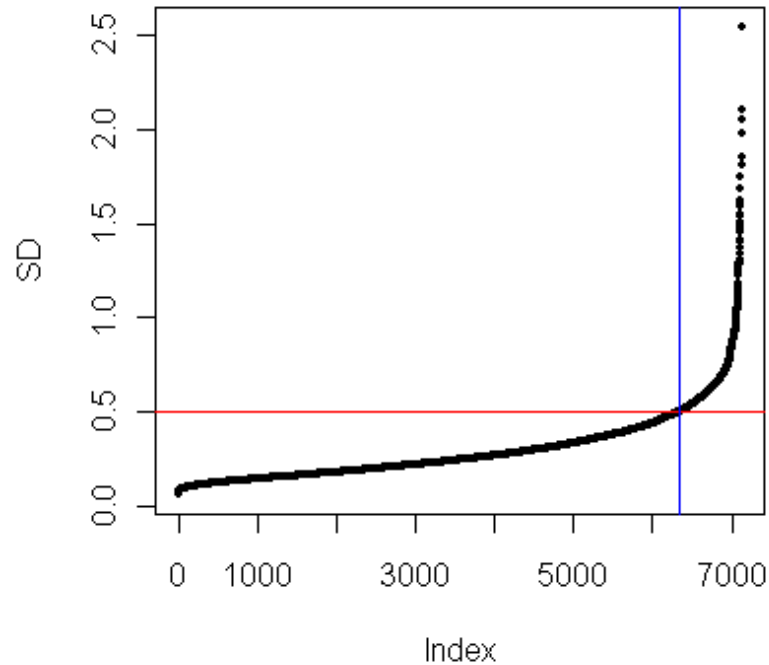


# Metody založené na modelech

- **Modely Gaussových směsí (mixture models)**
  - Předpokládají, že naměřené hodnoty genu/proteinu  $g$  ve všech vzorkách ( $X_g$ ) jsou náhodným výběrem a jejich rozložení závisí na skupině do které gen  $g$  patří
  - Náhodnost  $X_g$  souvisí s pozorovanou variabilitou v datech z genomických a proteomických experimentů
  - Na rozdíl od metod založených na vzdálenosti poskytují tyto modely:
    - odhad parametrů, které charakterizují každou skupinu (průměr, rozptyl, ...)
    - pravděpodobnost příslušnosti genu ke každé ze skupin
    - statistická kritéria pro výběr počtu skupin

- Většina shlukovacích technik vytváří disjunktní shluky: každý objekt je součástí jediného shluku
- Toto zvláště v genomice a proteomice nemusí být nejlepší přístup, protože většina proteinů/genů je součástí více biologických drah -> proto by měli patřit do více skupin
- Jak zohlednit tuto informaci:
  - Aplikujeme speciální shlukovací metody (například fuzzy clustering)
  - Aplikujeme metody založené na modelech a vyvodíme závěry z přiřazených pravděpodobností
- Biclustering (two-way clustering) shlukuje zároveň řádky i sloupce

# Jak shlukovat efektivně



V genomice a proteomice obvykle nemá význam shlukovat úplně všechny objekty (proteiny/geny)

Většina z nich není významná

Vnášejí do procesu šum, který zakryje pravou strukturu dat

Je vhodné zredukovat dimenzi dat:

PCA, gene-shaving, ... - dokáží extrahovat informaci o genech/proteinech s podobnými charakteristikami, stačí potom ve shlukování reprezentovat charakteristikami těchto skupin

Redukce na základě SD anebo CV

## ***Problémy shlukování u omicsových molekulárních dat***

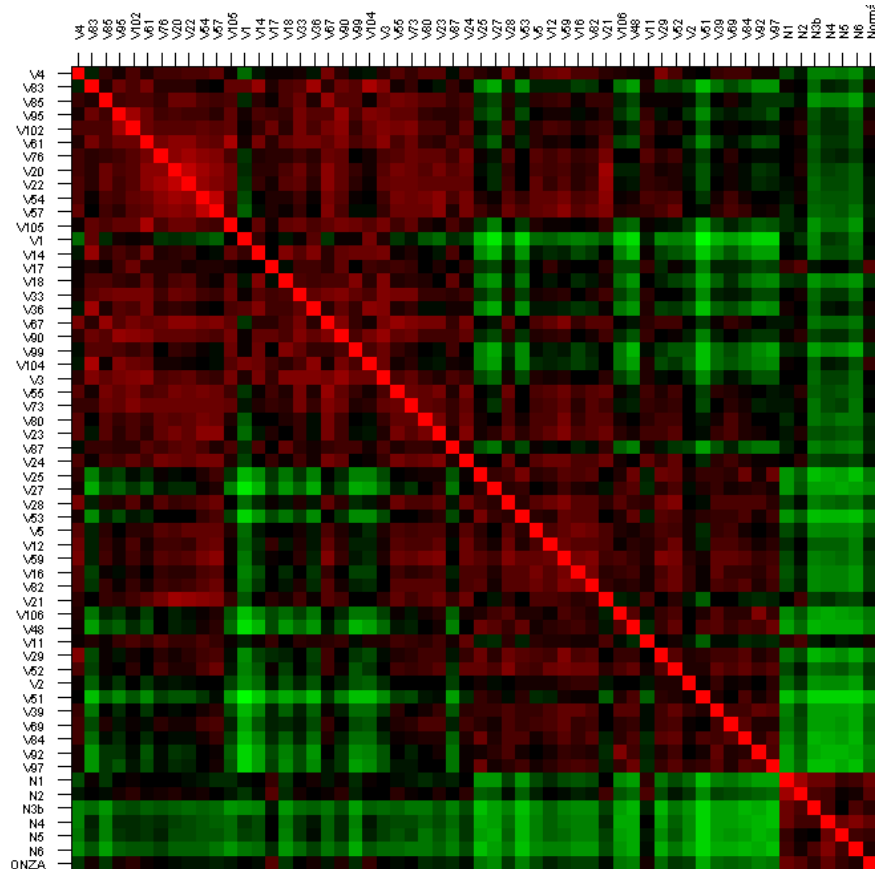
- Šum v datech negativně ovlivňuje výsledky
  
- **Jedna velká množina genů (proteinů, metabolitů) ze stejného biologického motivu zásadně shluky ovlivní**



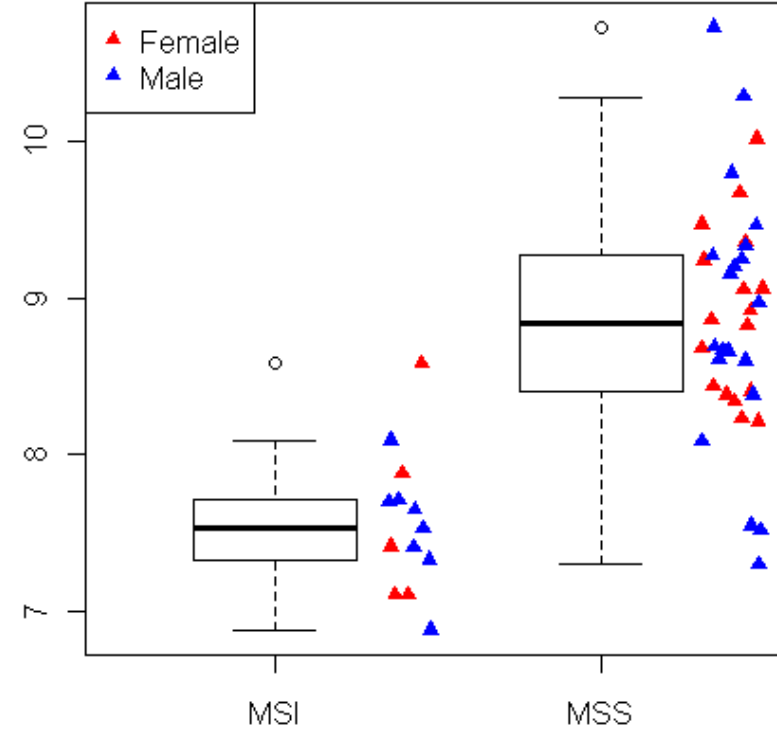
# Vizualizace výsledků

- Správná vizualizace výsledků je nejdůležitější součást analýzy!

Vizualizace korelací mezi vzorky



Boxploty exprese genů

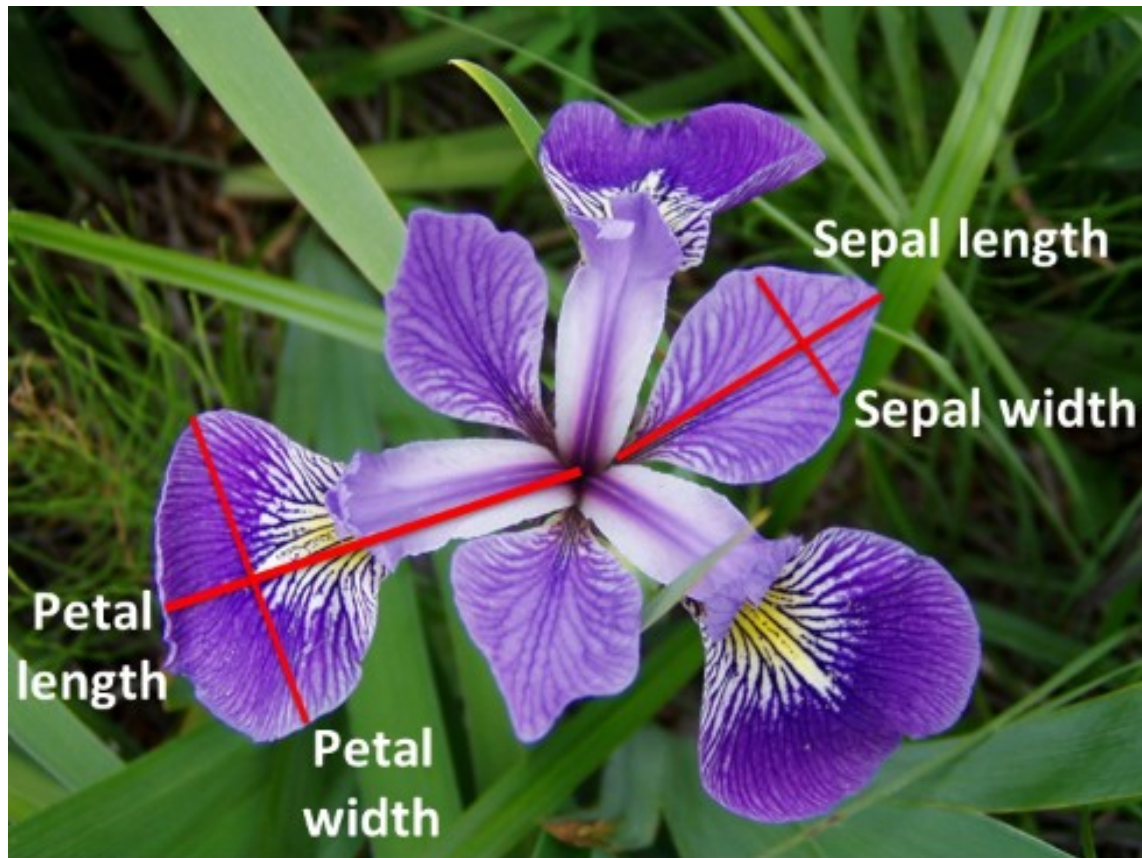


# Heatmapa

- Vzorky v řádcích, proměnné ve sloupcích (nebo naopak)
- Čtvereček – intenzita barvy představuje hodnotu
- Obvykle se zobrazují i dendrogramy

# Příklad - kosatce

3 druhy kosatců se liší na základě **šířky** a **délky** kališních (sepal) a okvětních (petal) lístků

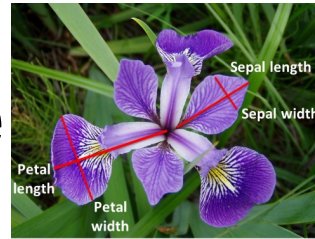


**Iris Versicolor**

**Iris Setosa**

**Iris Virginica**

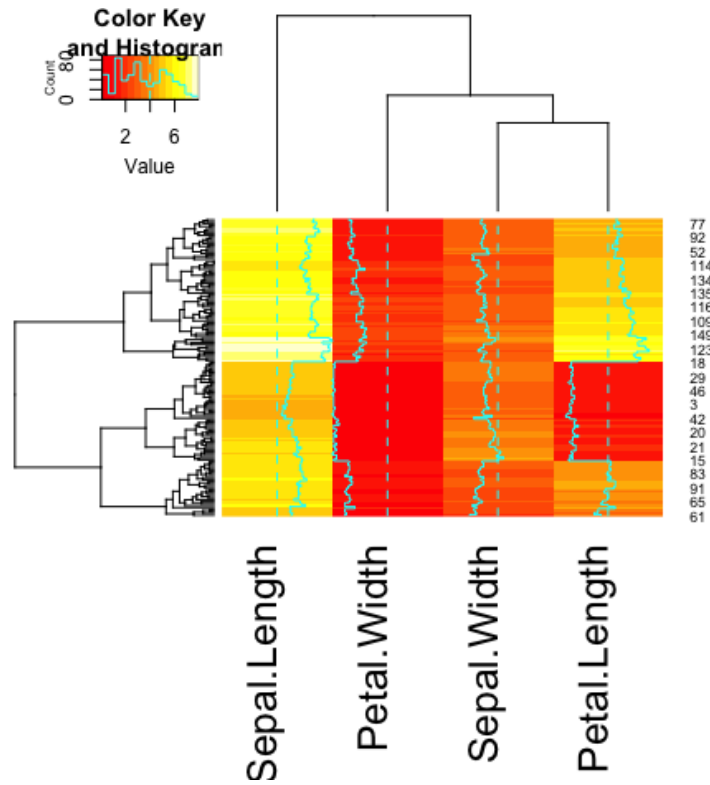
# Příklad - kosatce



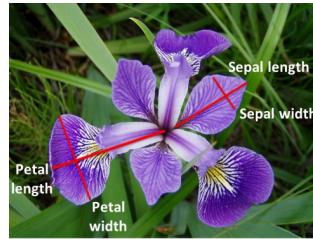
Iris Versicolor

Iris Setosa

Iris Virginica



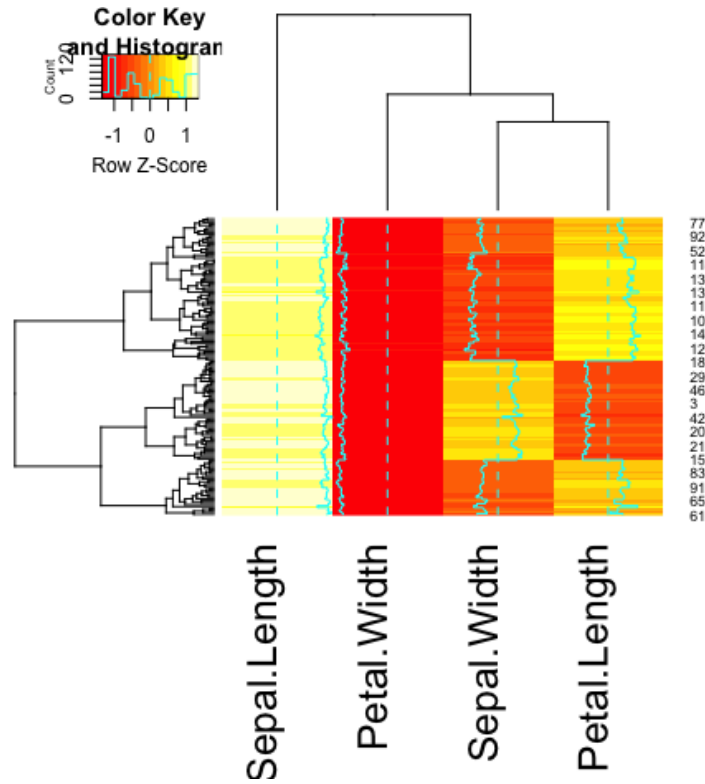
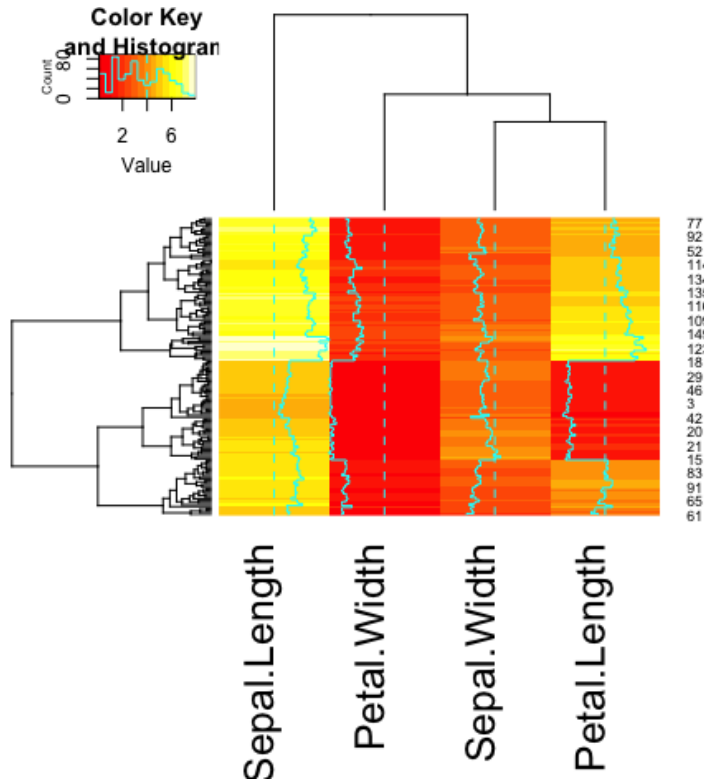
# Příklad - kosatce



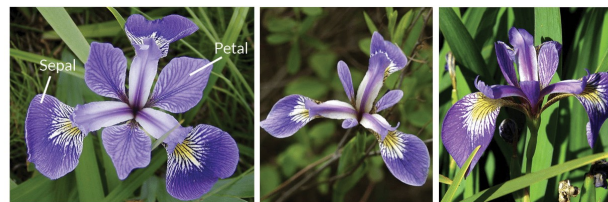
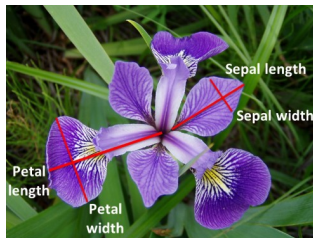
Iris Versicolor

Iris Setosa

Iris Virginica



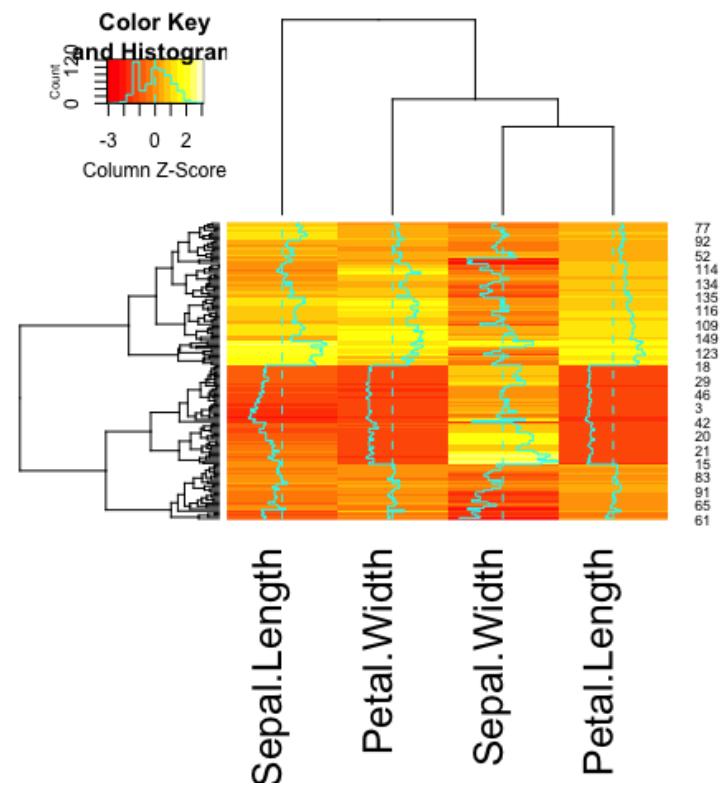
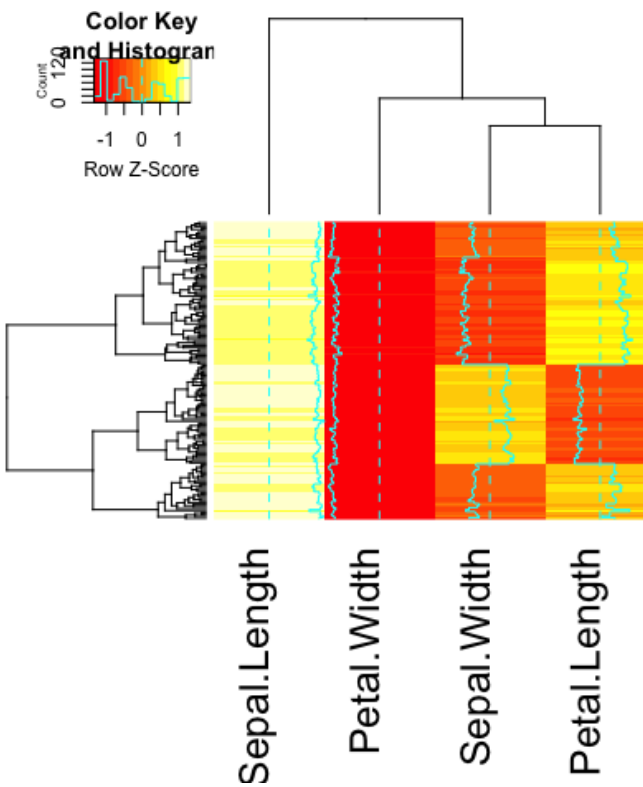
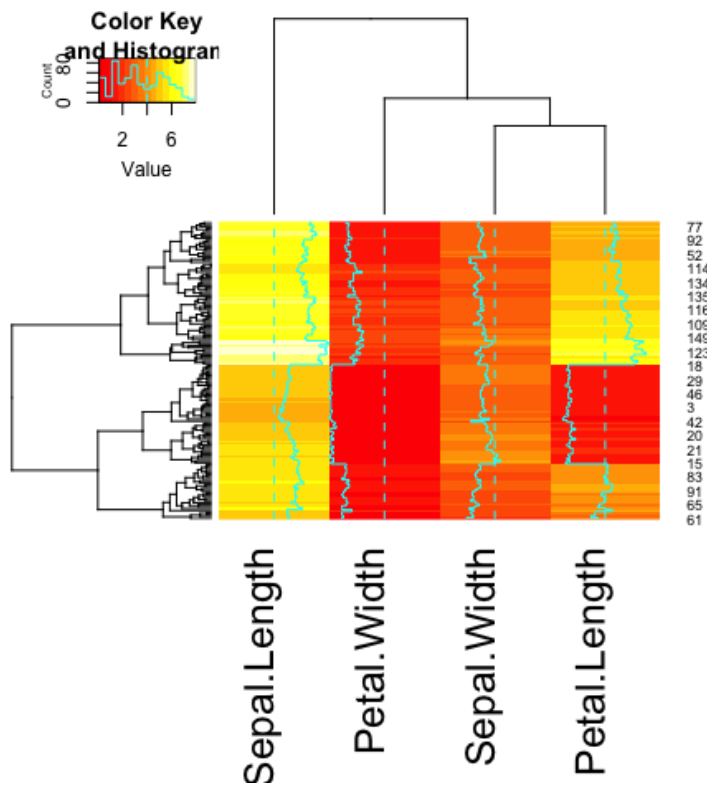
# Příklad - kosatce



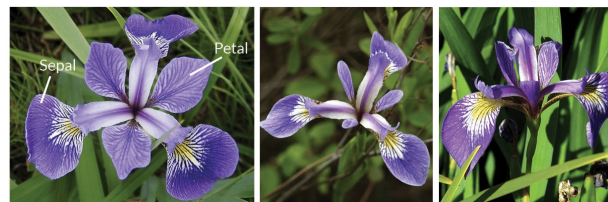
Iris Versicolor

Iris Setosa

Iris Virginica



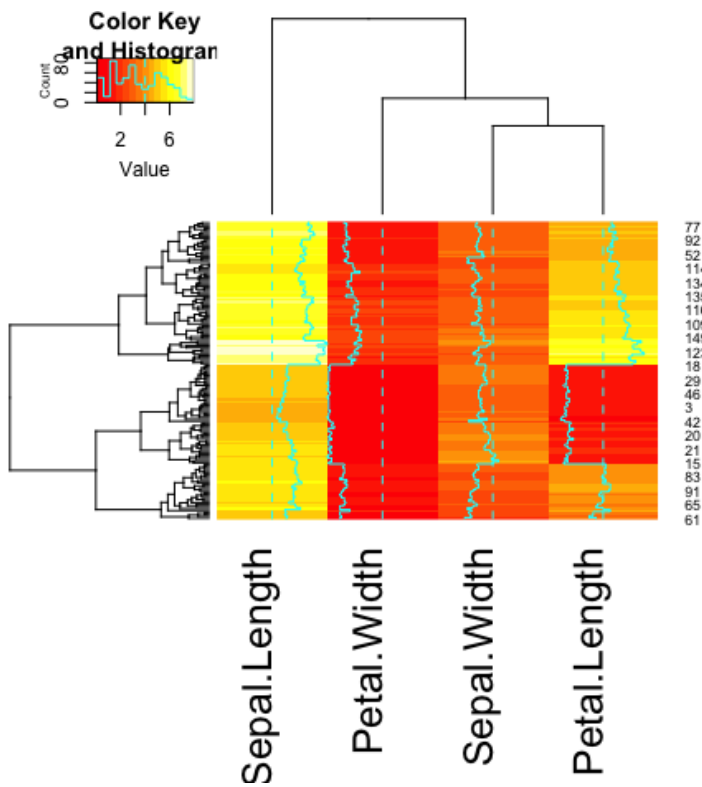
# Příklad - kosatce



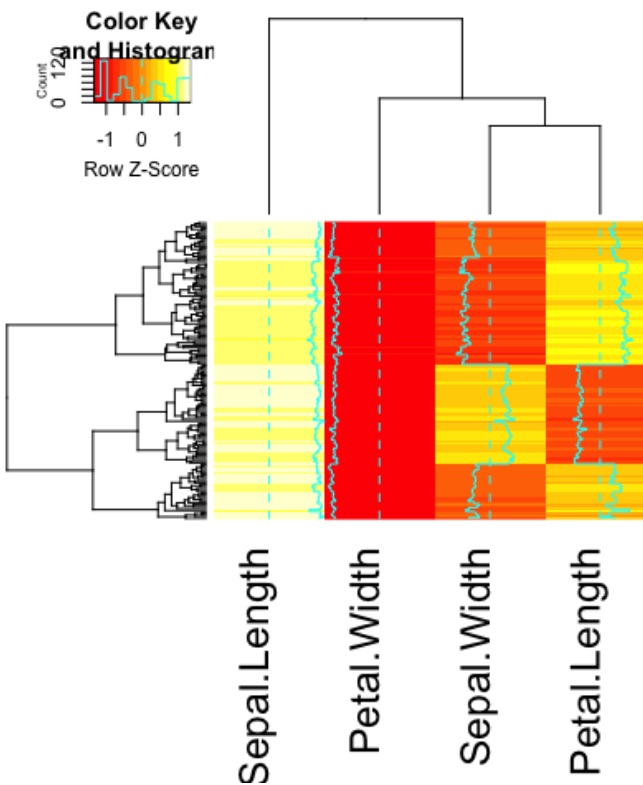
Iris Versicolor

Iris Setosa

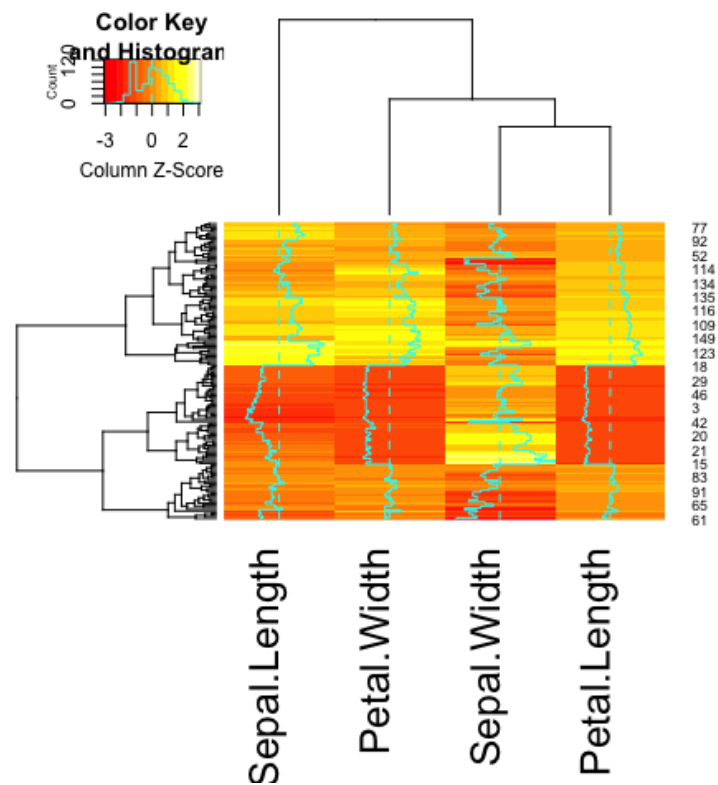
Iris Virginica



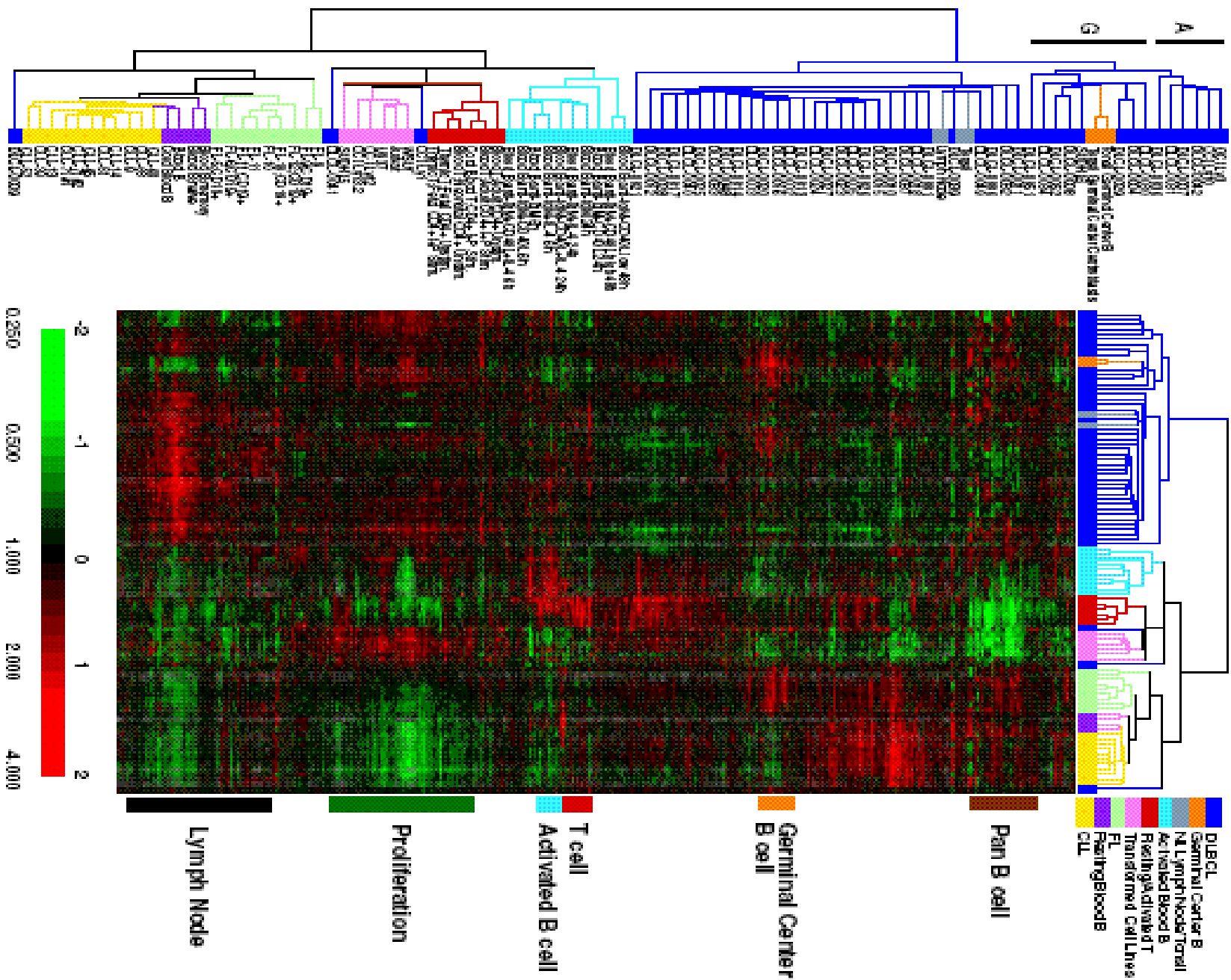
Bez centrování hodnot



Centrování na řádek



Centrování na sloupec



Alizadeh et al., Nature 403:503-11, 2000



# Validace ve shlukování molekulárních dat

# Jak validovat, když neznáme pravdu???

---

**Validace algoritmu a parametrů** modelu na testovacím souboru

(Když zopakujeme celou proceduru na dalším souboru, dostaneme stejný výsledek?)

# Jak validovat, když neznáme pravdu???

---

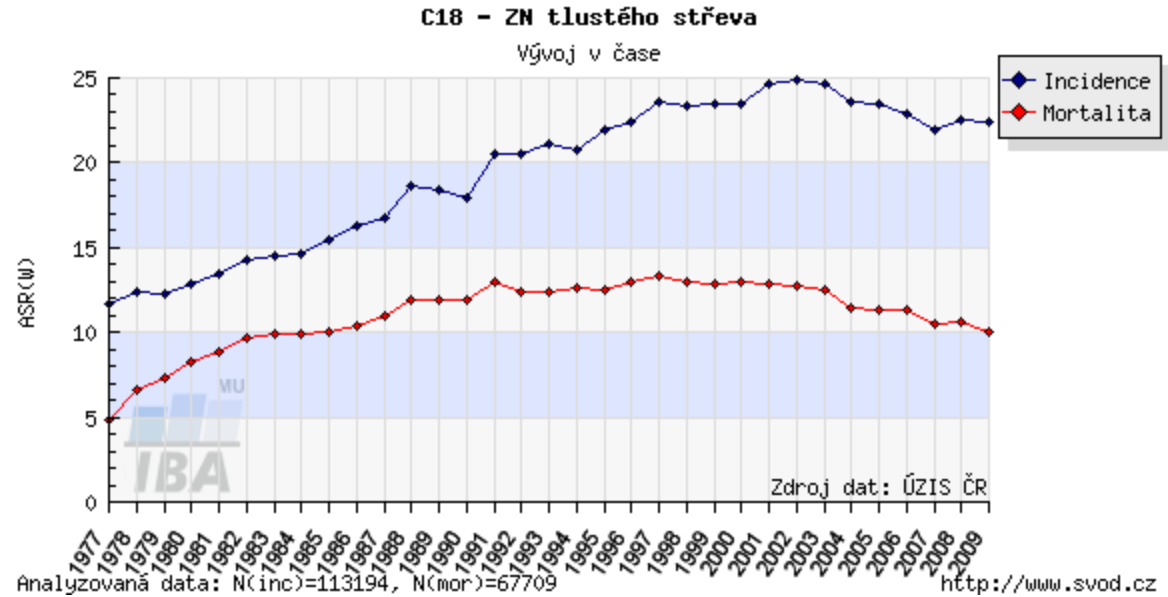
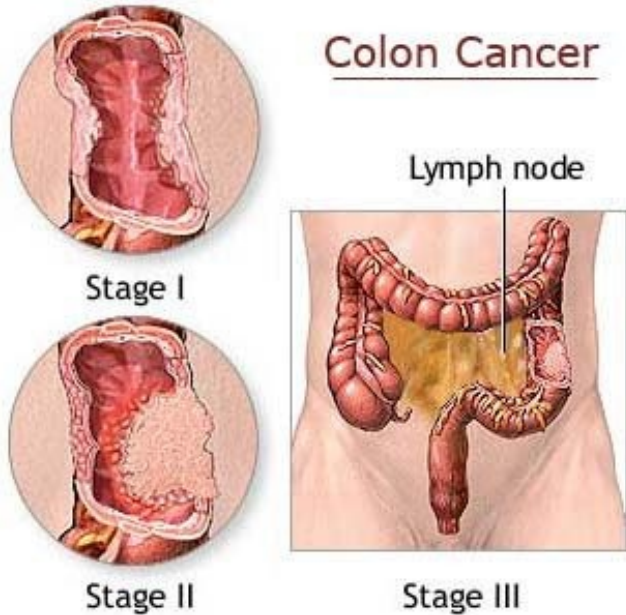
**Validace konceptu** pomocí klinických, molekulárních a histologických charakteristik objevených skupin

(Mají objevené skupiny biologickou podstatu / odrážejí známé vědecké poznatky?)

(Je rozložení těchto charakteristik mezi podtypy srovnatelné ve validačním souboru?)

# Kolorektální karcinom

příklad



Heterogénne ochorenie s rozdielnou odpoveďou na terapiu.

*Len niekoľko klinicky používaných markerov:*

- *BRAF/KRAS mutácia – pre kvalifikáciu na antiEGFR terapiu (u štádia s metastázami)*
- *MSI – mikrosatelitová nestabilita – všeobecne považovaná za dobrý marker*

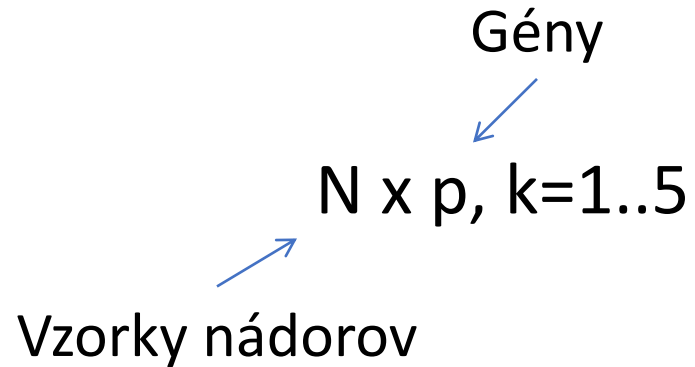
Cieľ:

*Nájsť skupiny nádorov kolorekta s podobnou expresiou génov (podobným génovým profilom) ~ podtypy*

*Charakterizovať tieto podtypy pomocou klinických a známych molekulárnych parametrov.*

Dátové súbory:

*Matica obsahujúca kvantitatívnu expresiu génovej aktivity nádorov*



*Matica klinických a molekulárnych parametrov ku každej nádorovej vzorke, vrátane prežitia pacienta*

VÝBER PREMENNÝCH /  
Zmenšenie dimenzie dát



***Nezávislý výber*** – z 25 000 génov, výber podmnožiny 3025 génov s najvyššou variabilitou v súbore

***Redukcia dimenzionality*** – práca s gényovými modulmi

***gényový modul*** – sada génov s rovnakou gényovou expresiou

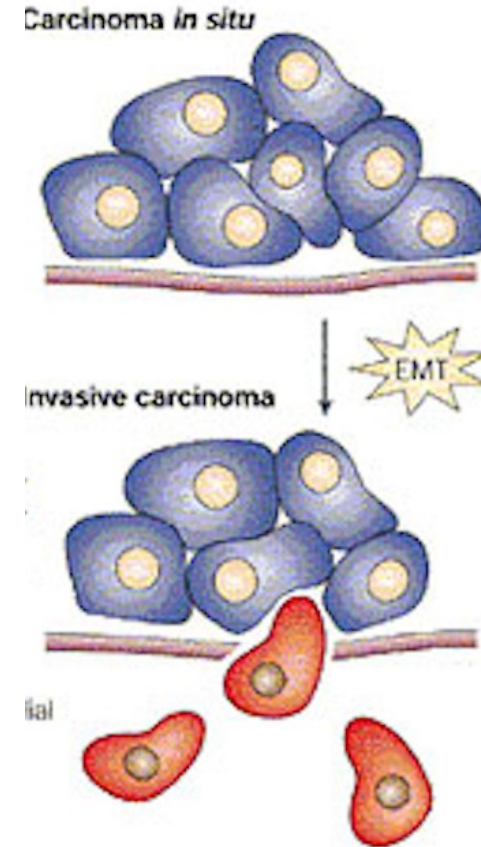
***Jedná sa o istú formu váženia efektu biologických motívov***

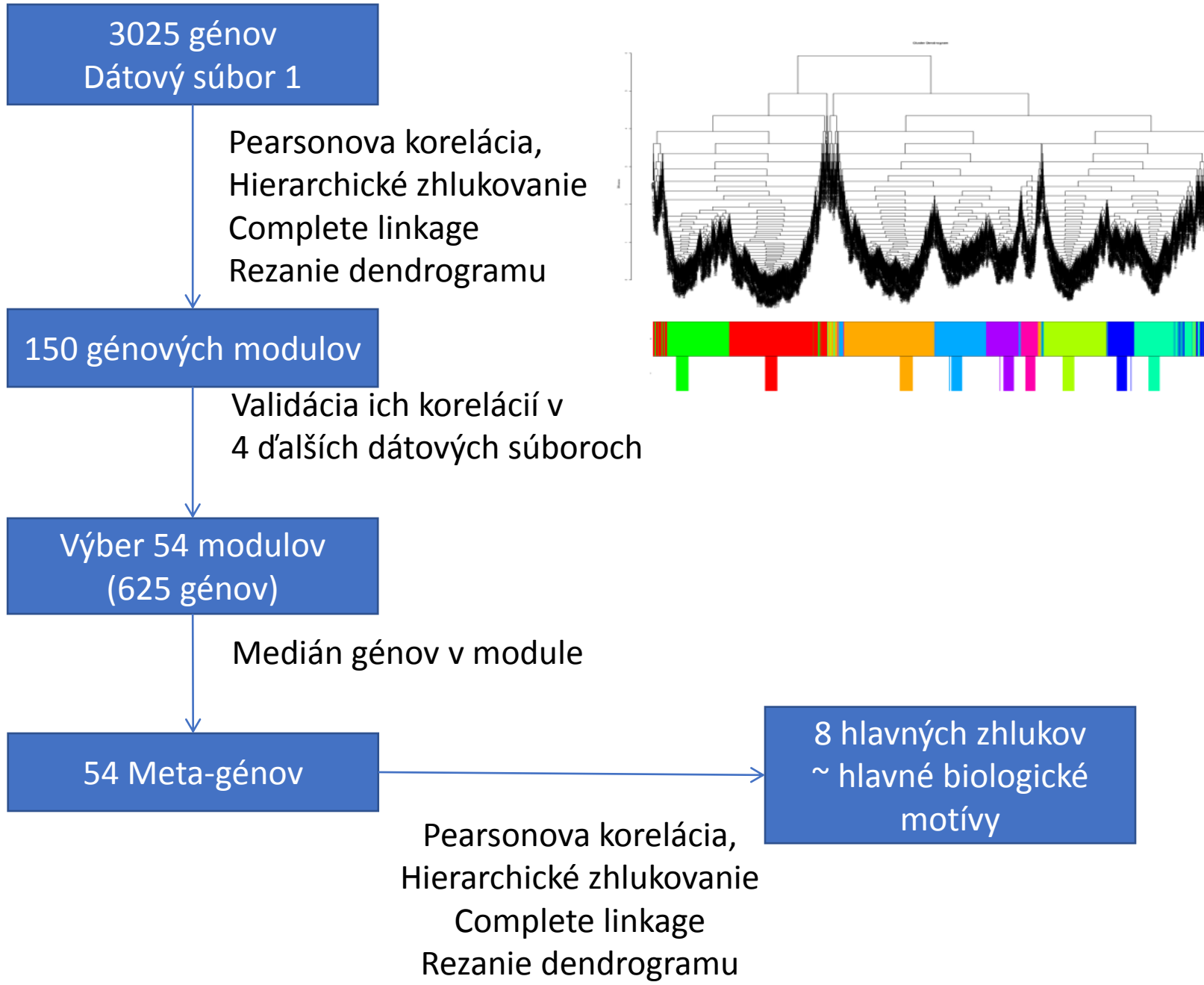
***Predpoklad:***

sada korelovaných génov ~ biologický motív

# Príklad EMT

- EMT – epiteliálno mesenchymálny prechod
- Génová expresia podobná zdravému mezenchymálnemu tkanivu
- Obvykle reprezentovaný **zmenou v stovkách génov**
- Identifikácia modulu EMT a jeho reprezentácia jednou hodnotou (priemerom) **zmenší jeho efekt v zhlukovaní** a dá šancu **d ďalším dôležitým procesom** reprezentovaným menším množstvom génov



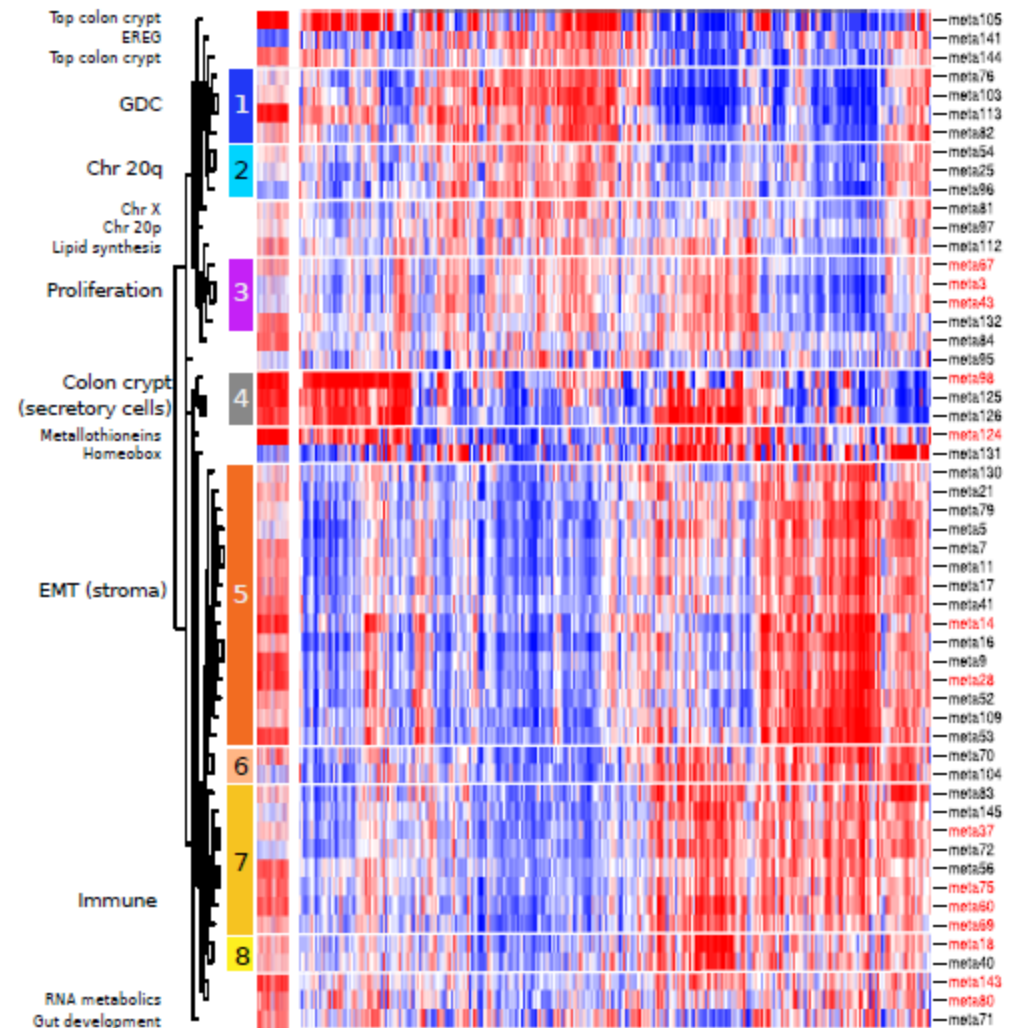


# Identifikácia biologických motívov

- Analýza génových sád

	V genóme	V biol motíve
V genóme	a	b
V module	c	d

Biol motív:  
EMT, proliferácia,  
Chromozóm 20q...



Cieľ:

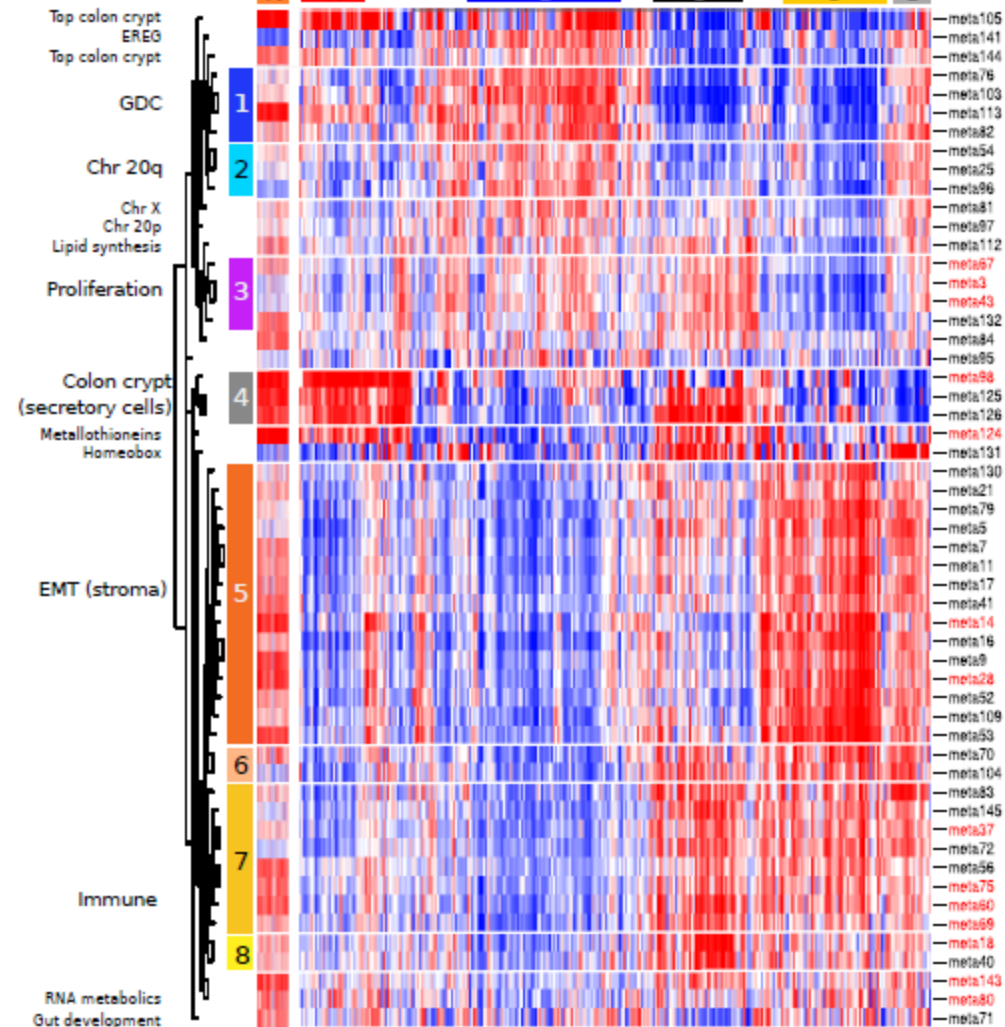
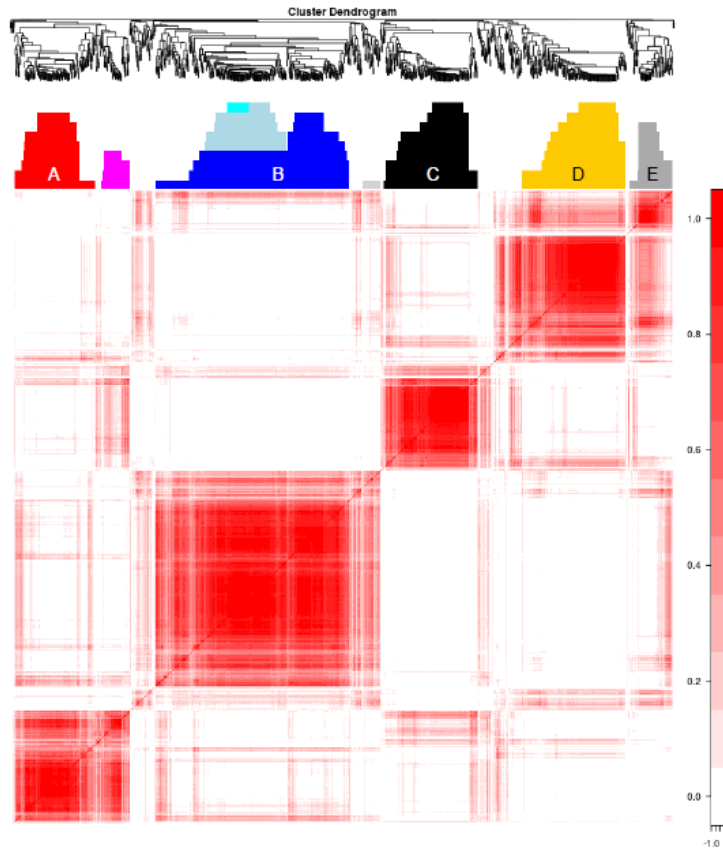
*Nájsť skupiny nádorov kolorekta s podobnou expresiou génov (podobným génovým profilom) ~ podtypy*

*Charakterizovať tieto podtypy pomocou klinických a známych molekulárnych parametrov.*

# Motívy génovej expresie v podtypoch

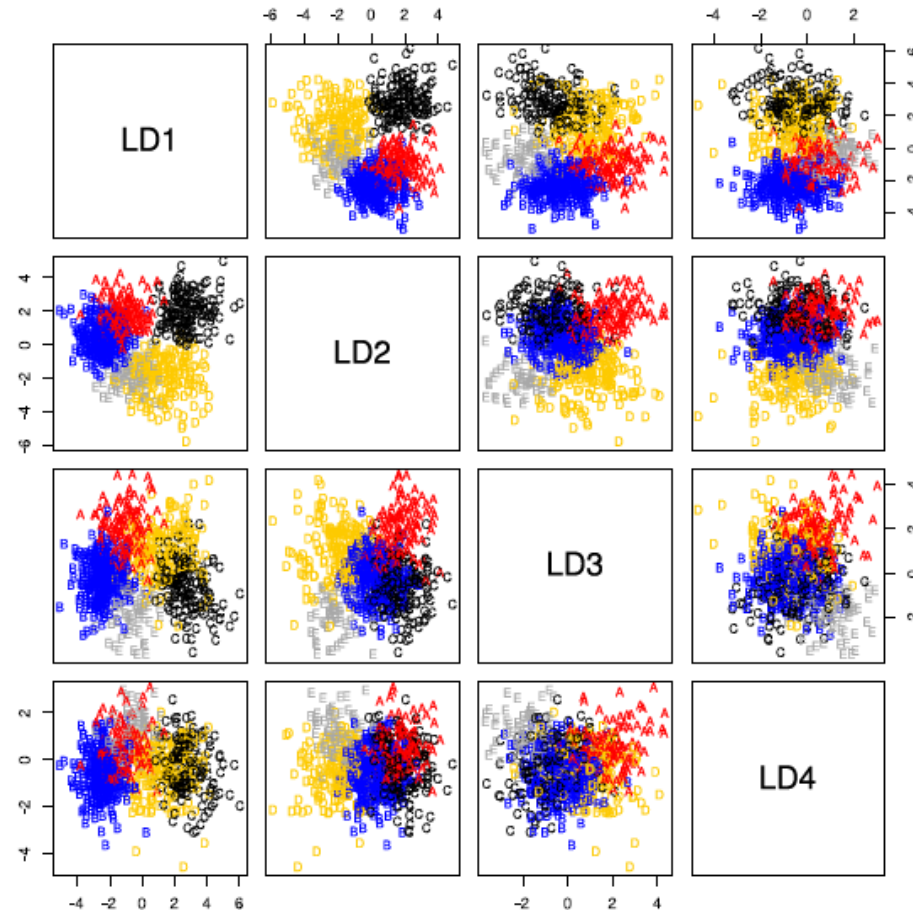
Analýza génových sád

Hierarchické zhlukovanie na matici konsenzusu



# *Expresné profily pre jednotlivé podtypy*

- Klasifikátor LDA (linear discriminant analysis)





# Minimálna génová sada

- Selekcia génov pomocou *elastic net* – počíta s korelovanými génmi (neodstraňuje len jeden gén, ale všetky korelované)
- Klasifikátor vytvorený na selektovaných génoch (shrunken centroids)

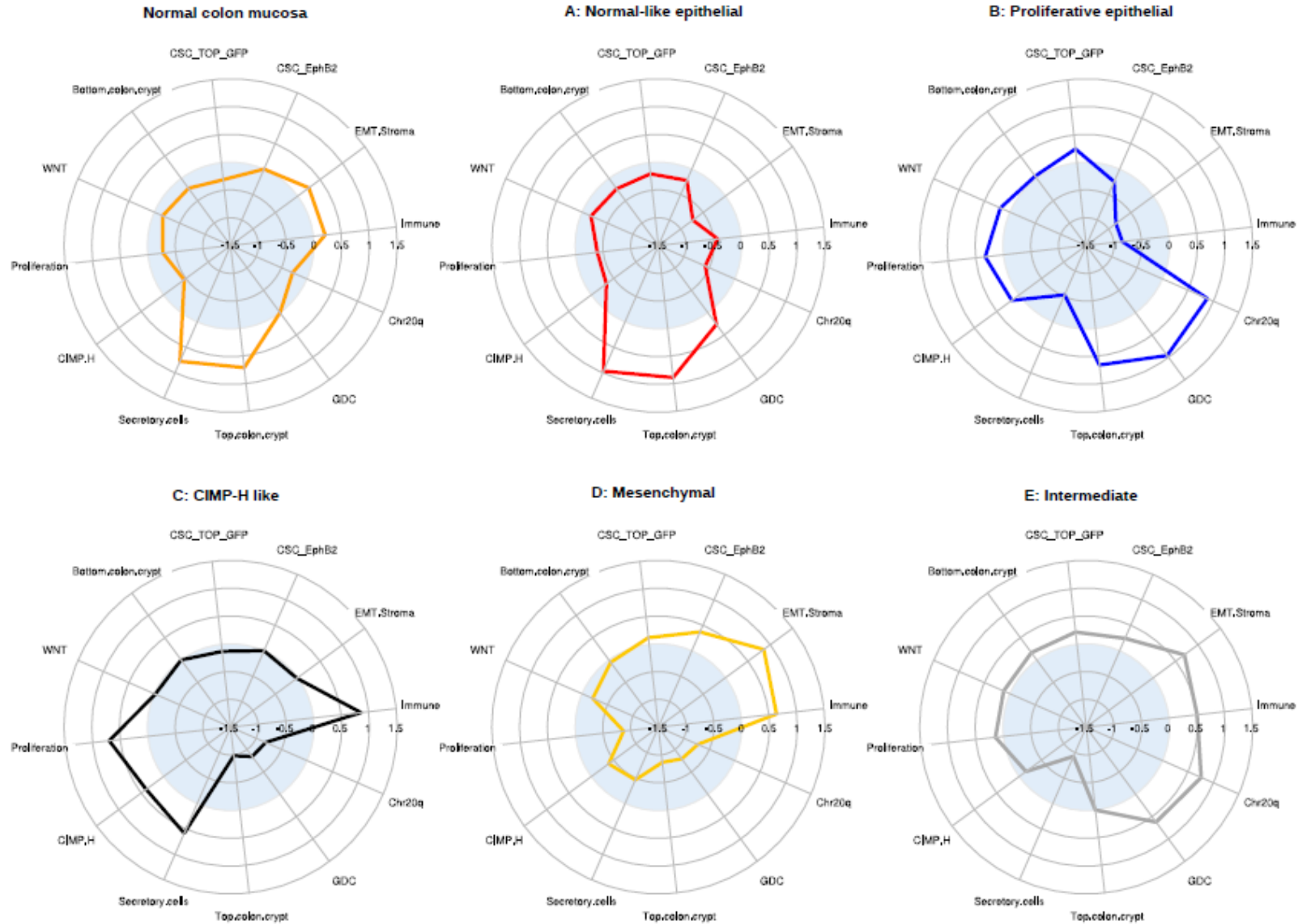
Subtype	Minimálna génová sada
A	CLCA1, PADI2, ADTRP, RETNLB, TIMP3, MUC2, FNDC1, NR3C2, SULF1, B3GNT7, STYK1, CHI3L1
B	FARP1, ALOX5, FSCN1, HNF4A, RARRES3, MYRIP, GPSM2, TSPAN6, CCDC113, CDHR1, KCTD12, SGK1, BASP1, MT1E, GPX8, RPS6KA3, SOCS3, SLC5A6, PRR15, PLAGL2, IHH, CREB3L1, TP53RK, YAE1D1, EPB41L3, QPRT, KCNK5, RNF43, VAV3, CXCR4, ITPRIP, GRM8, GFPT2, KCNMA1, KIAA0226L, RNASE1
C	TFAP2A, ATP9A, RAB27B, ANP32E, CXCL14, IDO1, RARRES3, EGLN3, KIAA0226L, C10orf99, RPL22L1, PLK2
D	PRICKLE1, RBM47, TAGLN, BOC, HOOK1, C7, ANK2, DCHS1, DDR2, CRYAB, GEM
E	REG4, IL6, CXCL5, RAB27B, CEACAM6, PI15, MRPS31, RAP2A, UQCC, AGR3, HSD11B1, IL1B

Cieľ:

*Nájsť skupiny nádorov kolorekta s podobnou expresiou génov (podobným génovým profilom) ~ podtypy*

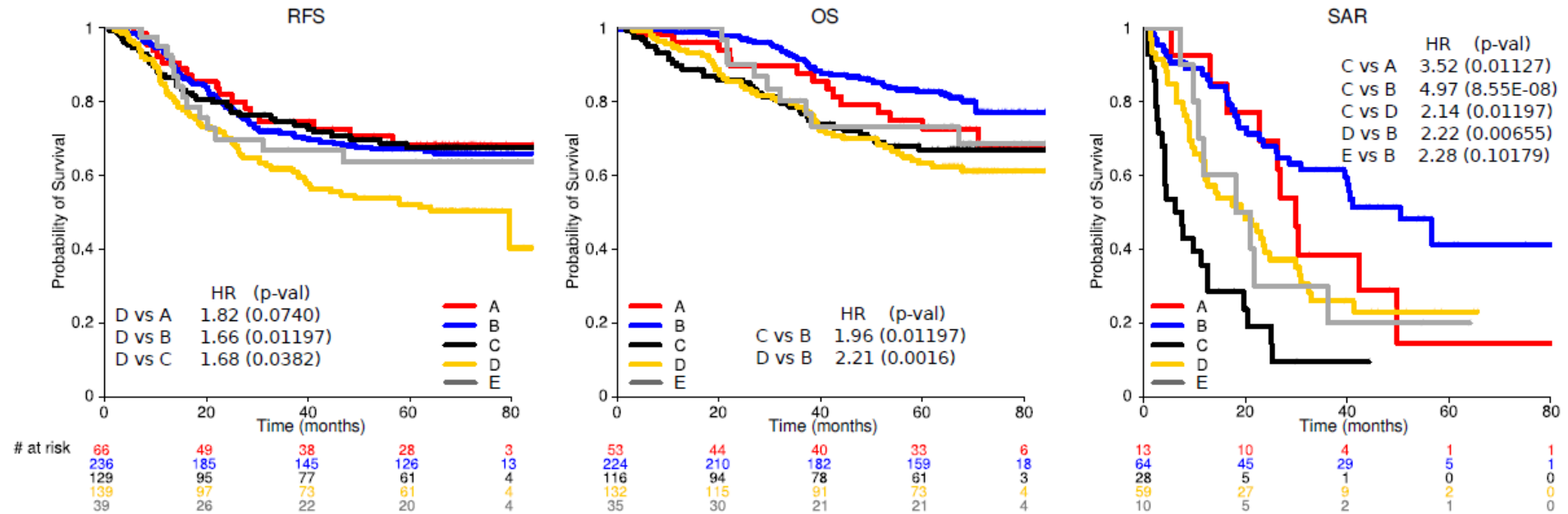
*Charakterizovať tieto podtypy pomocou klinických a známych molekulárnych parametrov.*

# Vzor expresie biologických motívov



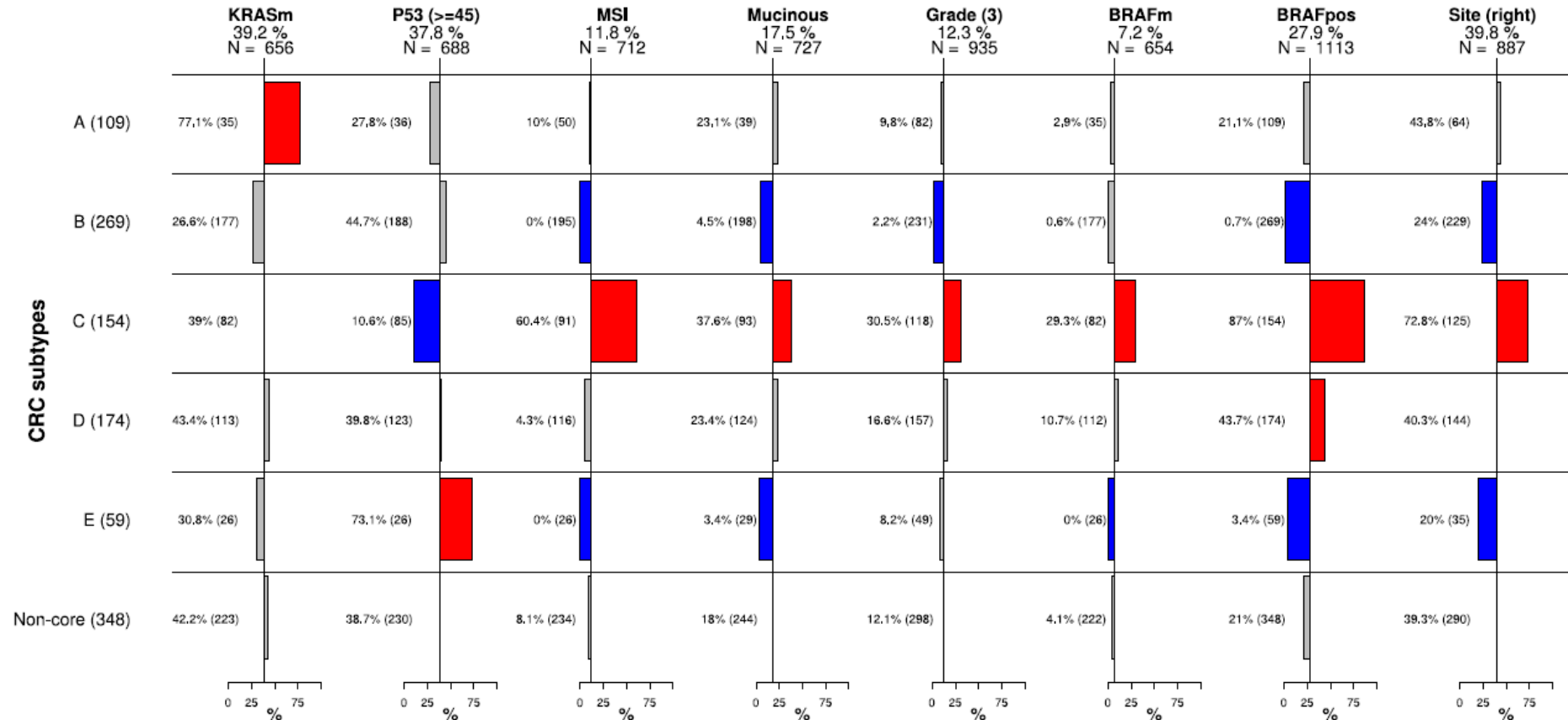
- Analýza génových sád pomocou KS testu

# Rozdiely v prežití



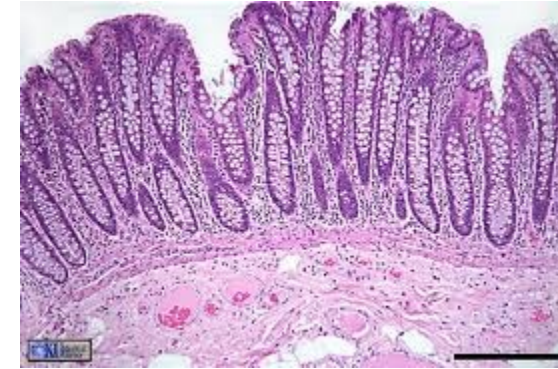
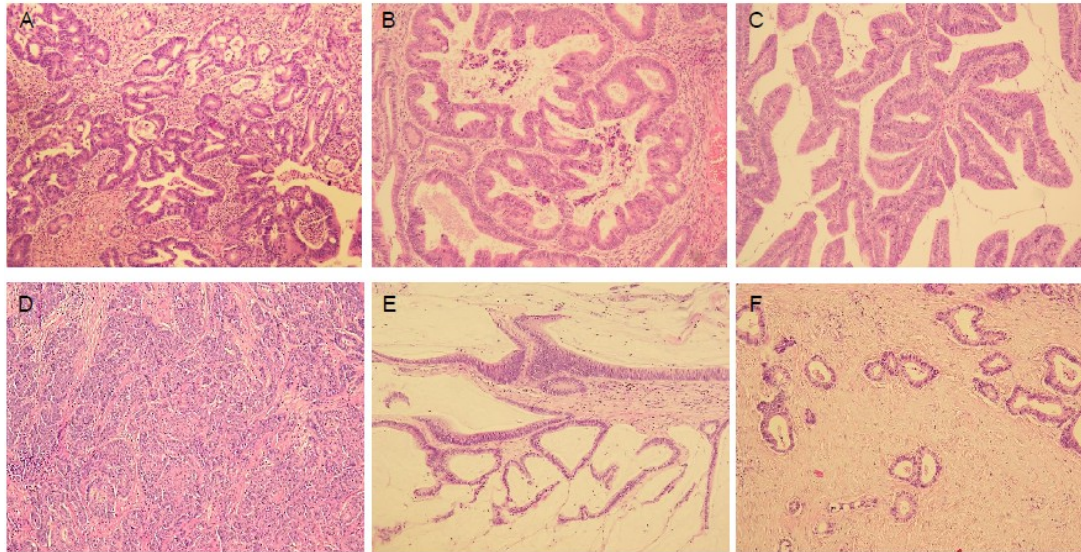
- Kaplan-Meierove krivky prežitia
- Coxov model proporcionálnych rizík (efekt štádia vs podtypov)

# Charakterizácia podtypov klinickými a molekulárnymi premennými

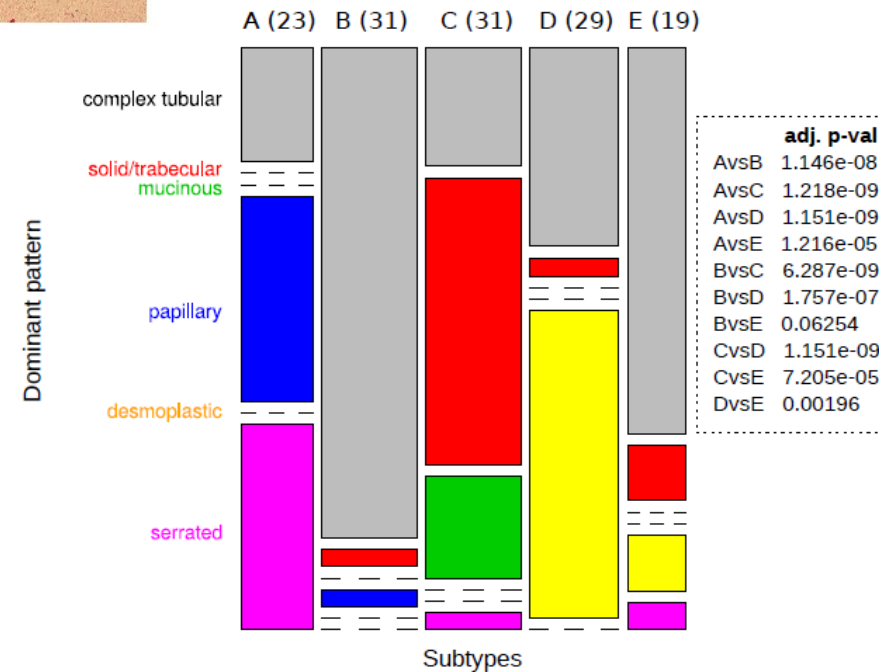


- Rozdiel od populačnej baseline u každého podtypu pomocou Fisherovho exaktného testu, FDR úprava p-hodnôt

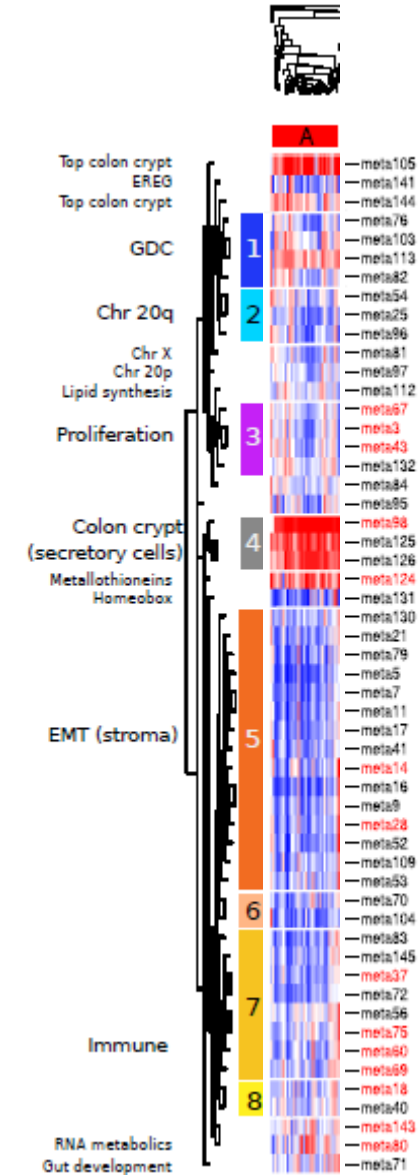
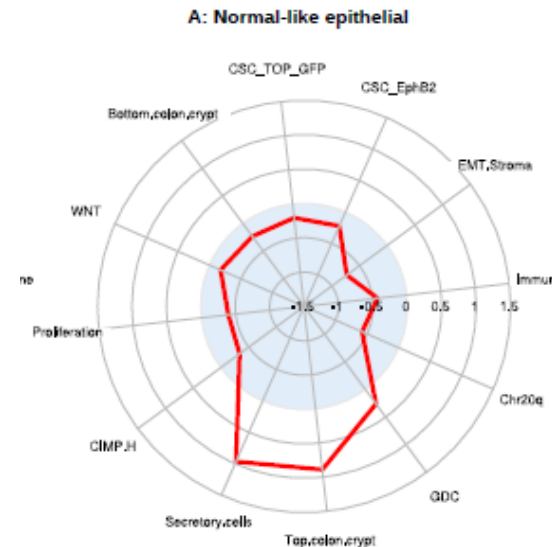
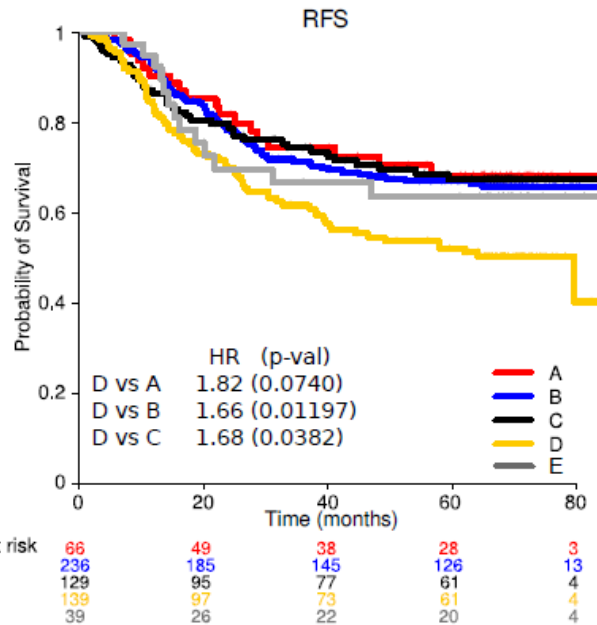
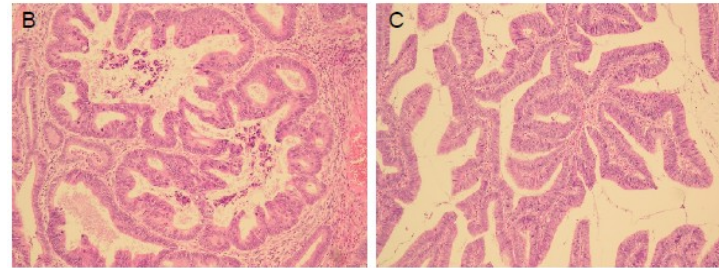
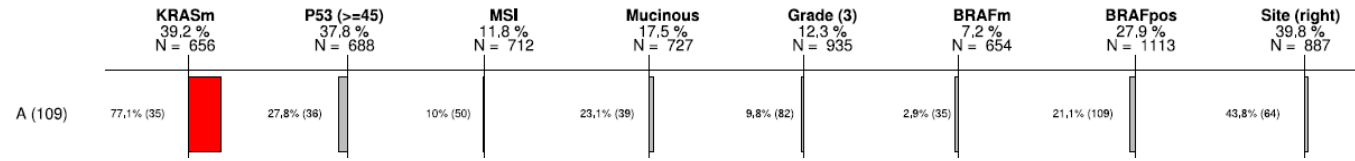
# Histologické rozdiely



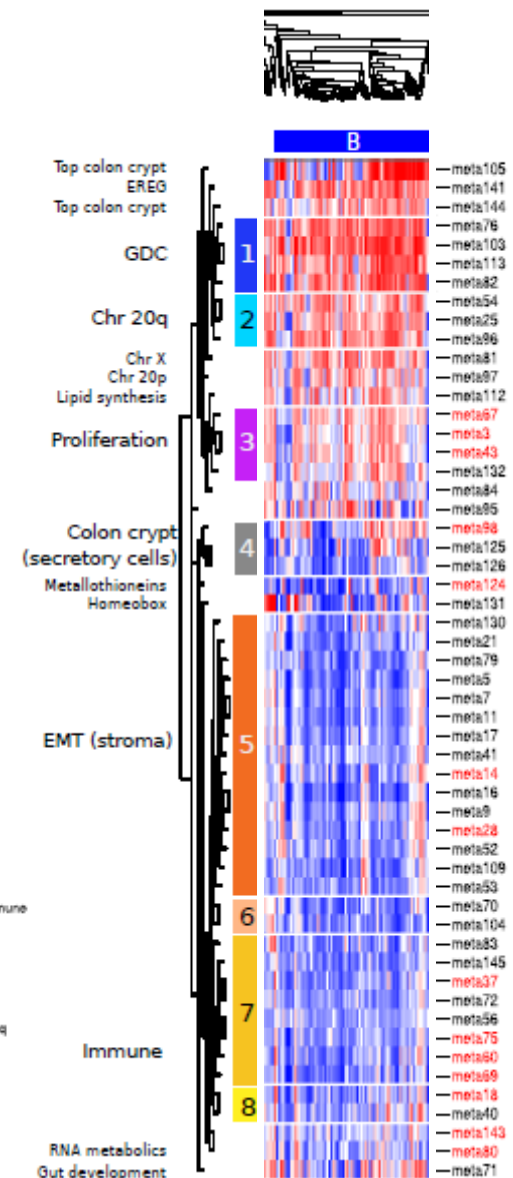
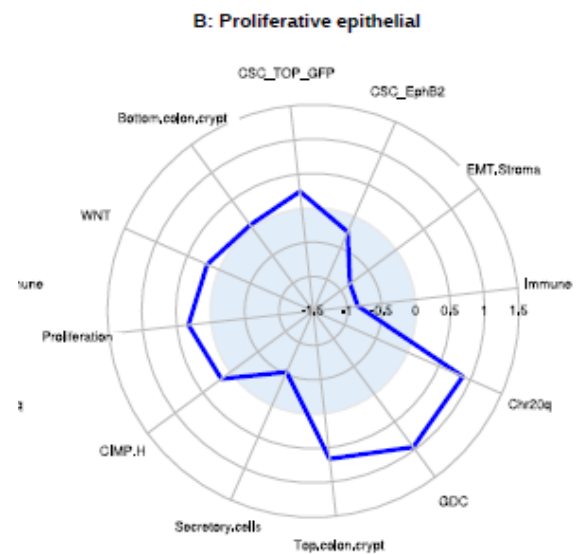
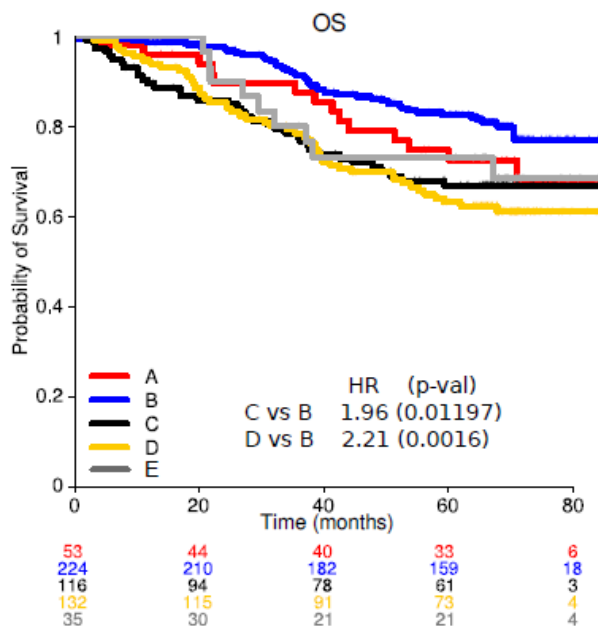
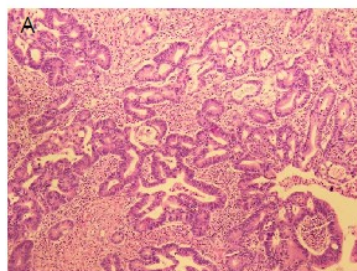
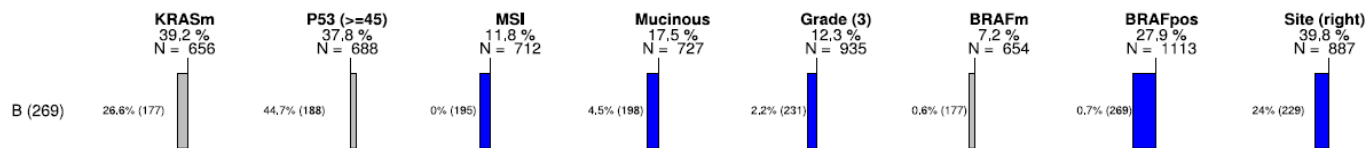
- Fisherov test, adjustácia na FDR



# Podtyp A – Surface crypt like - KRAS mutanti, papillary a serrated morfotyp, najviac diferencovaný, bez aktívnej Wnt signálnej dráhy. Dobrý OS a RFS.

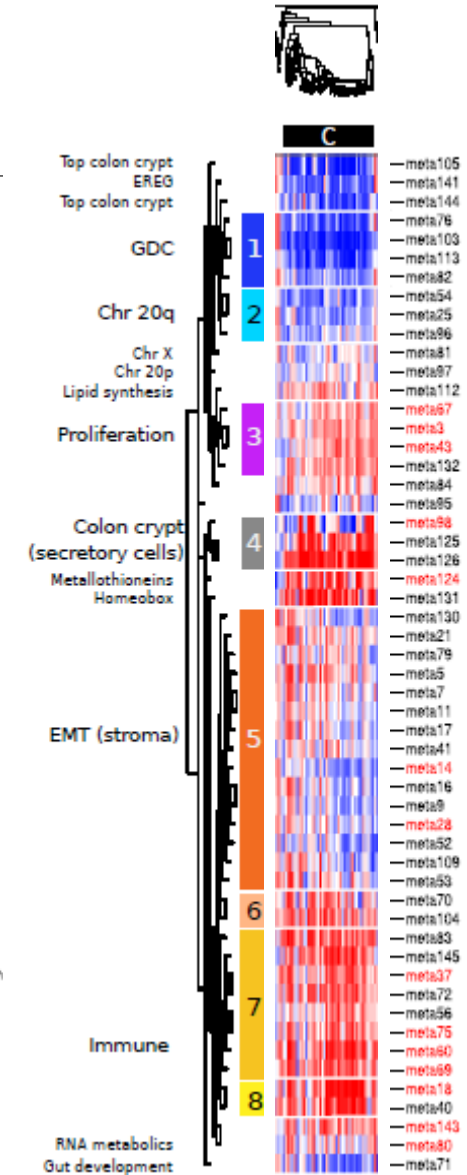
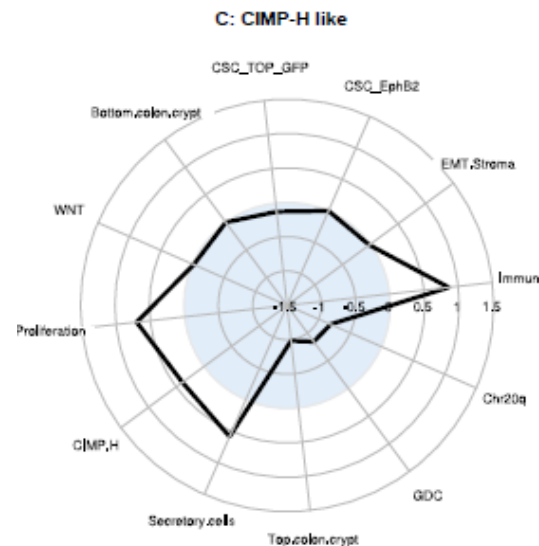
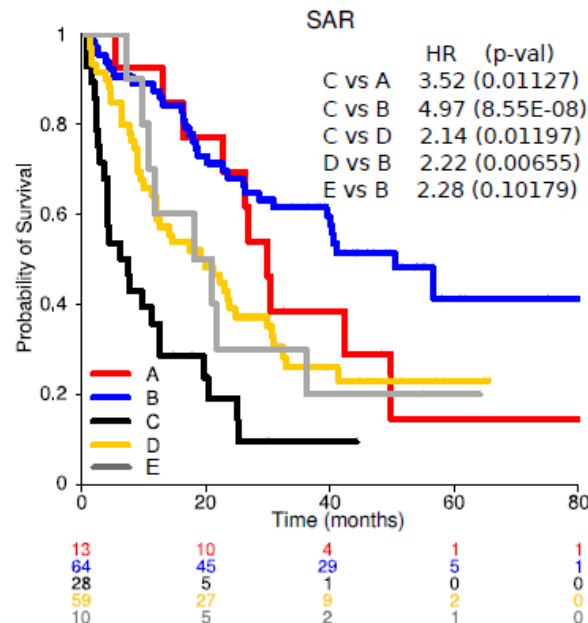
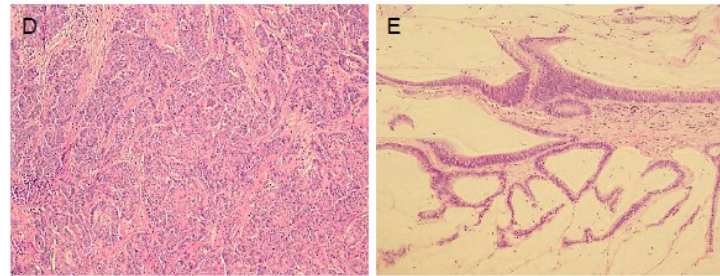
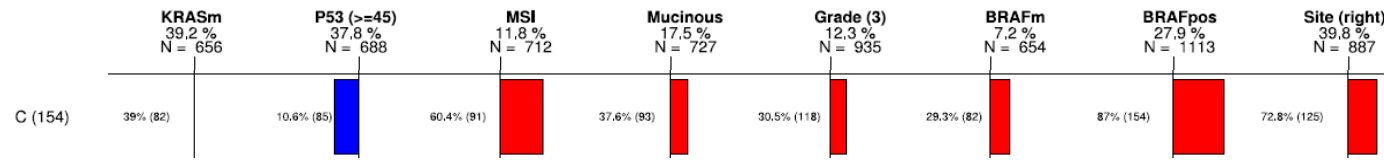


**Podtyp B – Lower crypt like –** diferencované ale bez sekrečných buniek, proliferujúce, a aktívnou Wnt signálnou dráhou. Komplexný tubulárny morfológy. Časo MSS, BRAFwt, nižšieho grádu, dobré prežitie v OS, RFS i SAR.



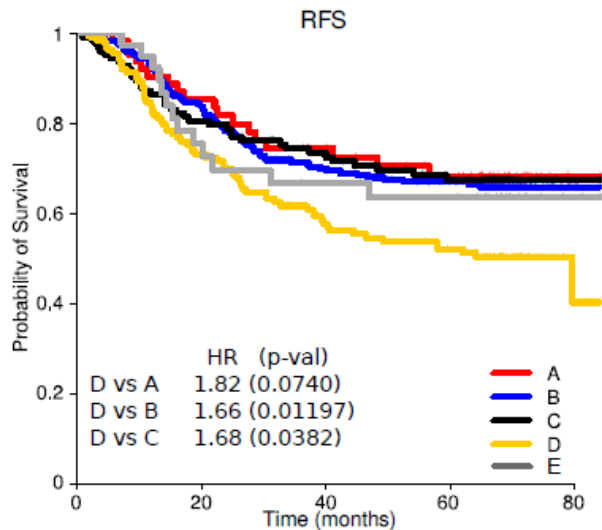
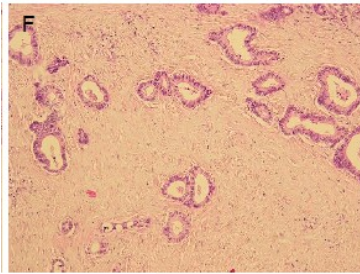


**Podtyp C – CIMP-H like** - časo MSI, *BRAF*-mutantné, hypermutované, z pravej časti hrubého čreva. Histologicky - horšie diferencované, solídno-trabekulárne s mucínovým morfortypom. Aktívne proliferujú a majú silnú imunitnú reakciu. Dobrý RFS, ale zlý OS and SAR.

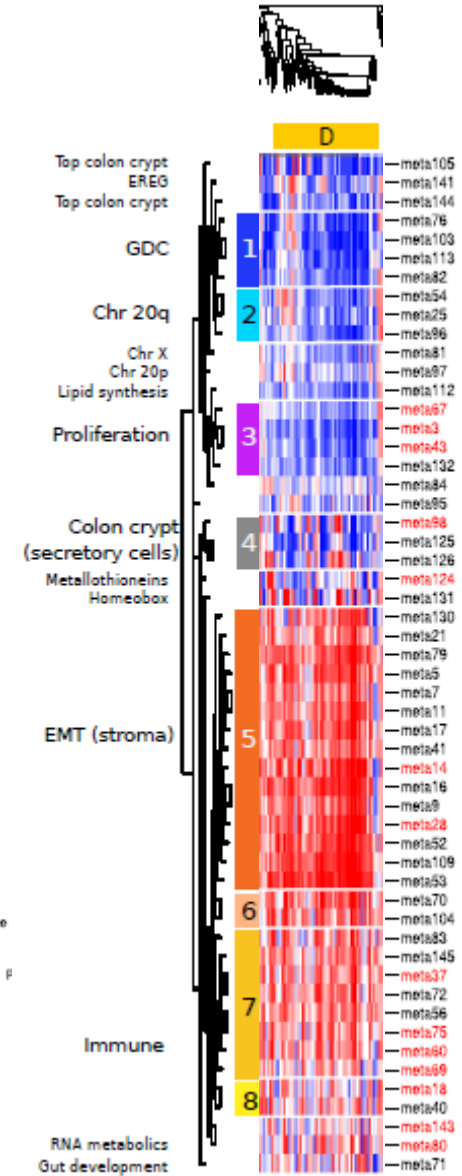
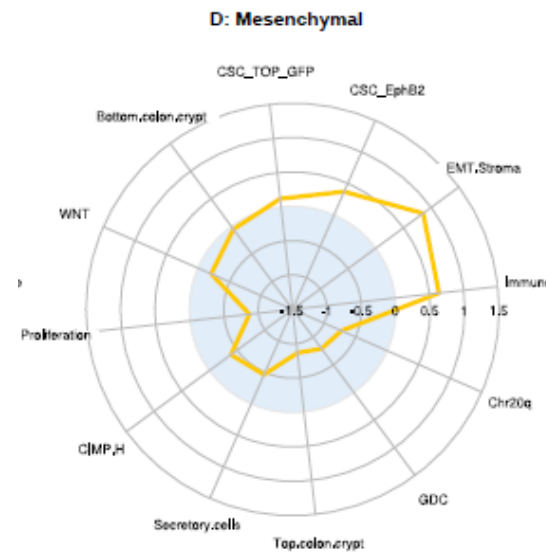


**Podtyp D – Mesenchymal** – markery kmeňových buniek, veľa mezenchymálnych buniek, ktoré sa prejavujú expresiou EMT génov. Wnt signálna dráha je neaktívna a proliferácia nízka. Klinické a mutačné charakteristiky sa nelíšia od populačnej baseline. Majú najkratšie prežitie do relapsu, zlý OS a SAR.

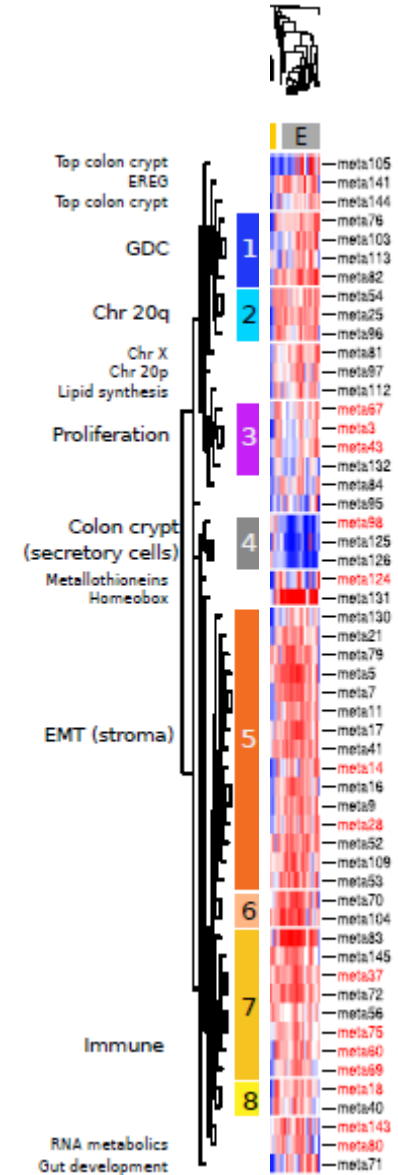
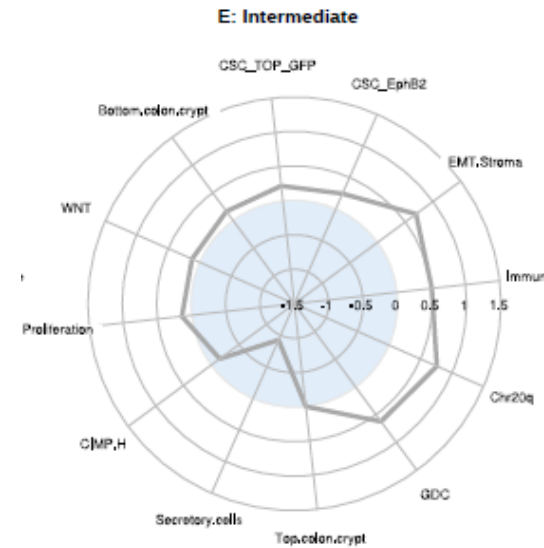
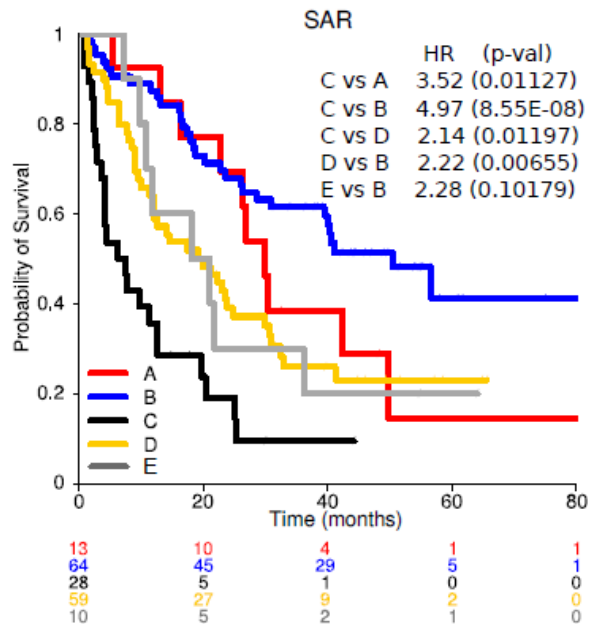
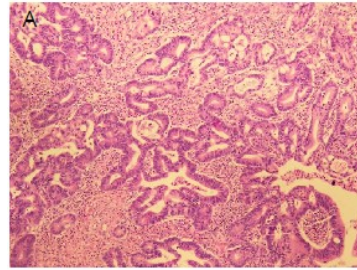
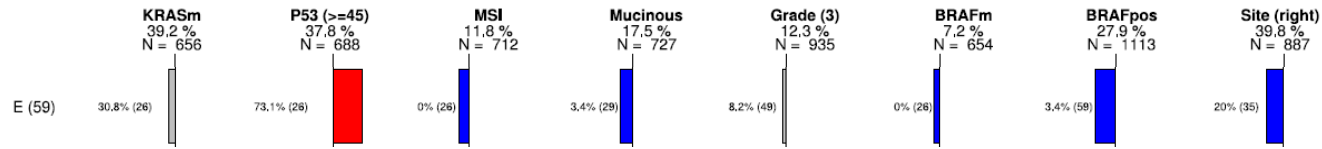
	KRASm 39.2% N = 656	P53 (>=45) 37.8% N = 688	MSI 11.8% N = 712	Mucinous 17.5% N = 727	Grade (3) 12.3% N = 935	BRAFm 7.2% N = 654	BRAFpos 27.9% N = 1113	Site (right) 39.8% N = 887
D (174)	43.4% (113)	39.8% (123)	4.3% (116)	23.4% (124)	16.6% (157)	10.7% (112)	43.7% (174)	40.3% (144)



# at risk	66	49	38	28	3
	236	185	145	126	13
	129	95	77	61	4
	139	97	73	61	4
	39	26	22	20	4



**Podtyp E – Mixed** – často MSS, *BRAF*wt, z ľavej strany hrubého čreva. Podobne ako podtyp D exprimuje gény kmeňových buniek a EMT procesu, avšak podobne s B má vysokú aktivitu kanonickej Wnt dráhy a vyzerá viac diferenciovaný. Je podobný B – komplexný tubulárny, len častejšie obsahuje mutáciu *p53*.



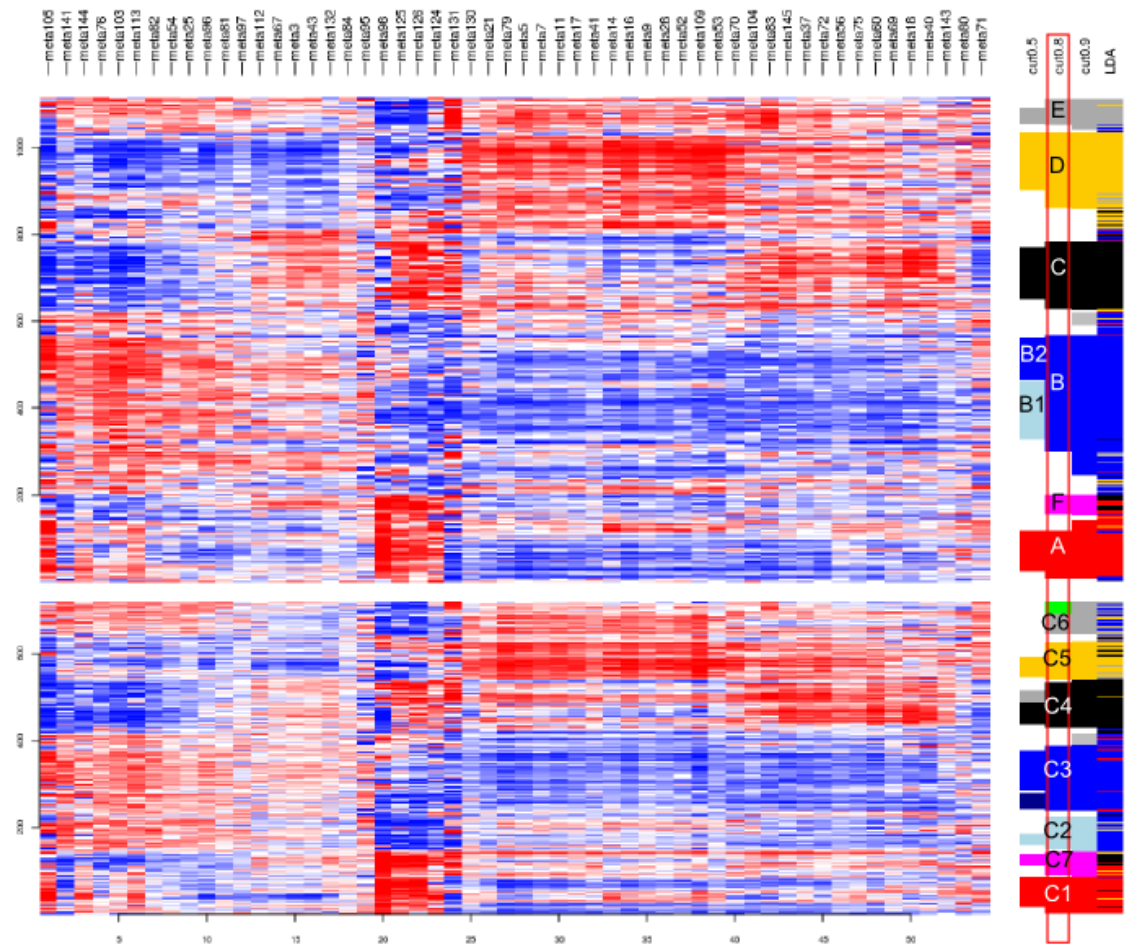
# Validace podtypů kolorektálního karcinomu

## **Validácia algoritmu a parametrov modelu na testovacom súbore**

Keď zopakujem celú procedúru na inom súbore, dostanem podobné skupiny?

training set

validation set



Cluster/subtype in validation set	LDA assignment					SUM
	A	B	C	D	E	
C1 / A	74	4	3	3	0	84
C2 / B1	1	58	0	2	13	74
C3 / B2	12	134	1	0	1	148
C4 / C	1	2	99	4	0	106
C5 / D	0	3	12	64	7	86
C6 / E	1	17	0	17	13	48
C7 / F	23	1	22	9	1	56
Non-core	21	53	18	8	18	118
SUM	133	272	155	107	53	720

Cluster/subtype in validation set	Subtypes from training set most correlated to validation subtypes					
	First subtype			Second subtype		
	Subtype	Cor	P-val	Subtype	Cor	P-val
C1 / A	A	0.85	p<1.0E-15	F	0.41	p<1.0E-15
C2 / B1	B	0.71	p<1.0E-15	E	0.47	p<1.0E-15
C3 / B2	B	0.91	p<1.0E-15	A	0.36	p<1.0E-15
C4 / C	C	0.89	p<1.0E-15	F	0.29	p<1.0E-15
C5 / D	D	0.93	p<1.0E-15	E	0.37	p<1.0E-15
C6 / E	E	0.63	p<1.0E-15	D	0.58	p<1.0E-15
C7 / F	F	0.61	p<1.0E-15	C	0.55	p<1.0E-15

**Validácia konceptu** pomocou klinických, molekulárnych a histologických charakteristík objavených skupín

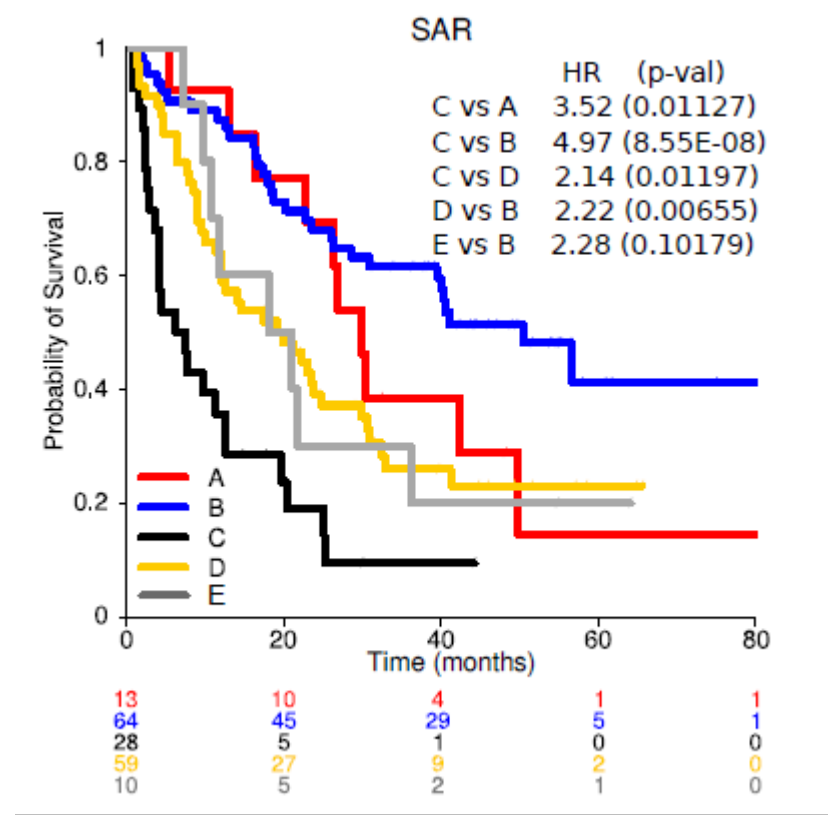
Majú objavené skupiny biologickú podstatu / odrážajú známe vedecké poznatky?

Je rozloženie týchto charakteristík medzi podtypmi porovnateľné vo validačnom súbore?

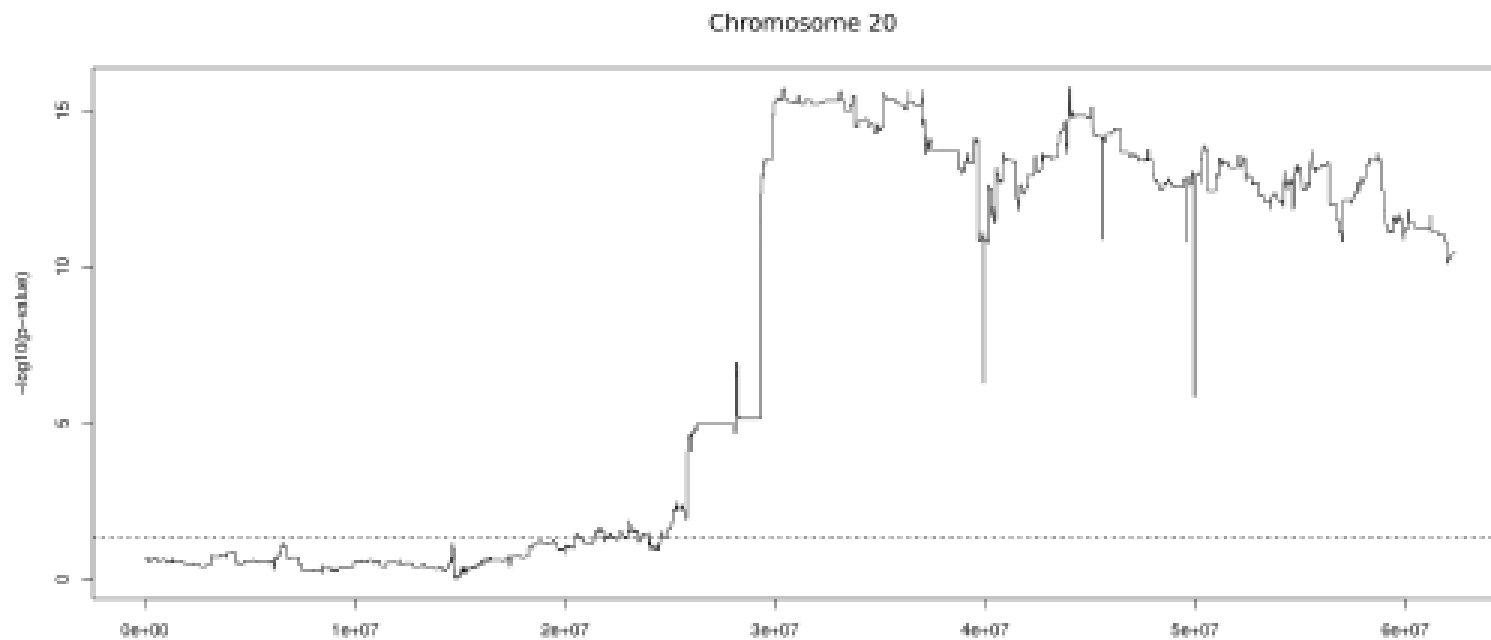
***Majú objavené skupiny biologickú podstatu / odrážajú  
známe vedecké poznatky?***



**Podtyp C – pravostranné, BRAFm, MSI nádory, ktoré sú známe zlým prežitím po relapse**

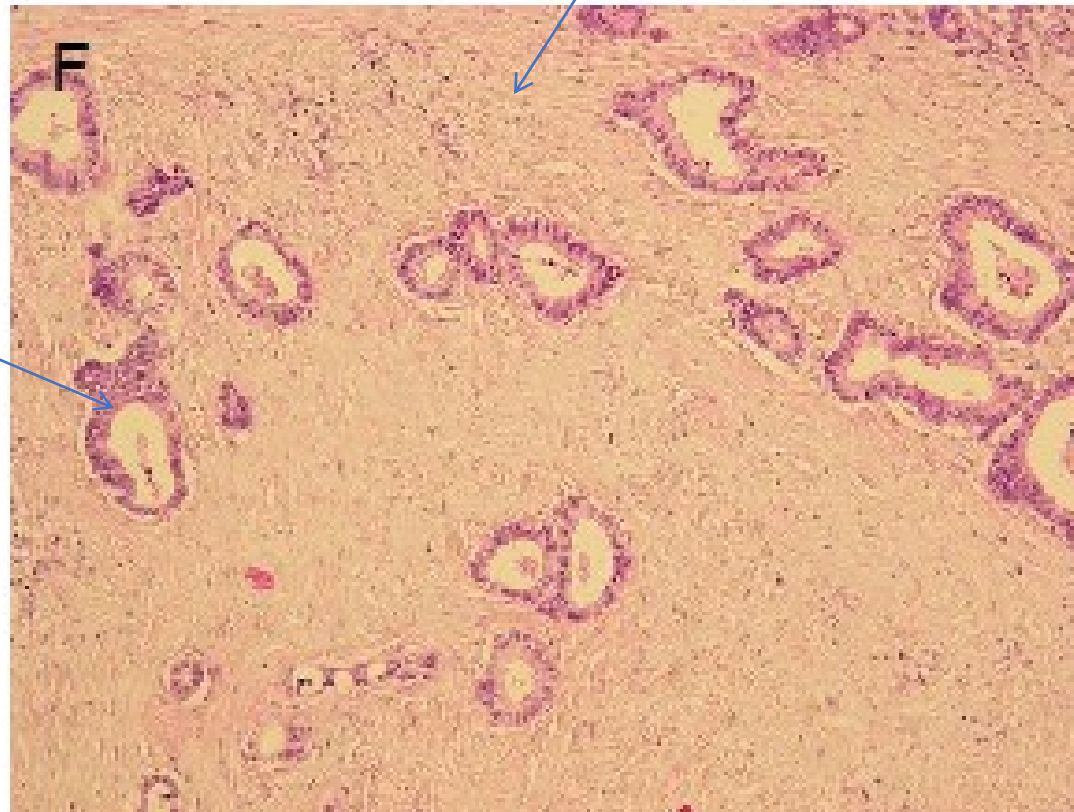


**Zvýšená expresia génov chr. 20q** v podtype B by mohla znamenať amplifikáciu chr20q regiónu.



**Podtyp D – mezenchymálny** – histologické vyhodnotenie: v nádore prítomná silná desmoplastická reakcia (mezenchymálne tkanivo)

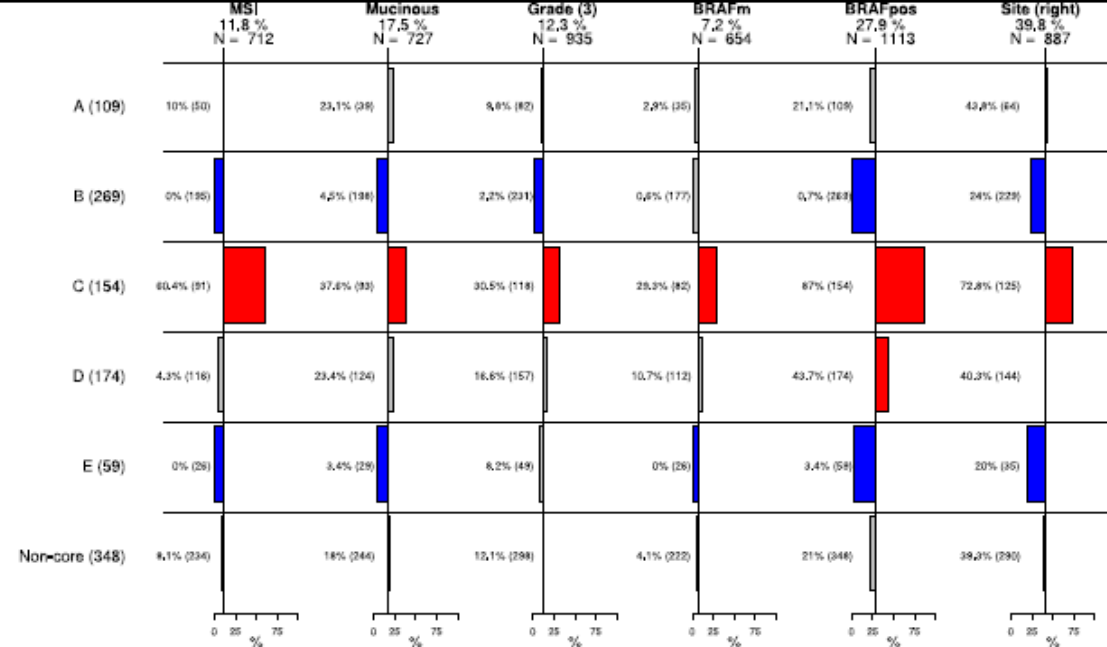
Nádor



***Je rozloženie klinických charakteristík medzi podtypmi  
porovnateľné vo validačnom súbore?***

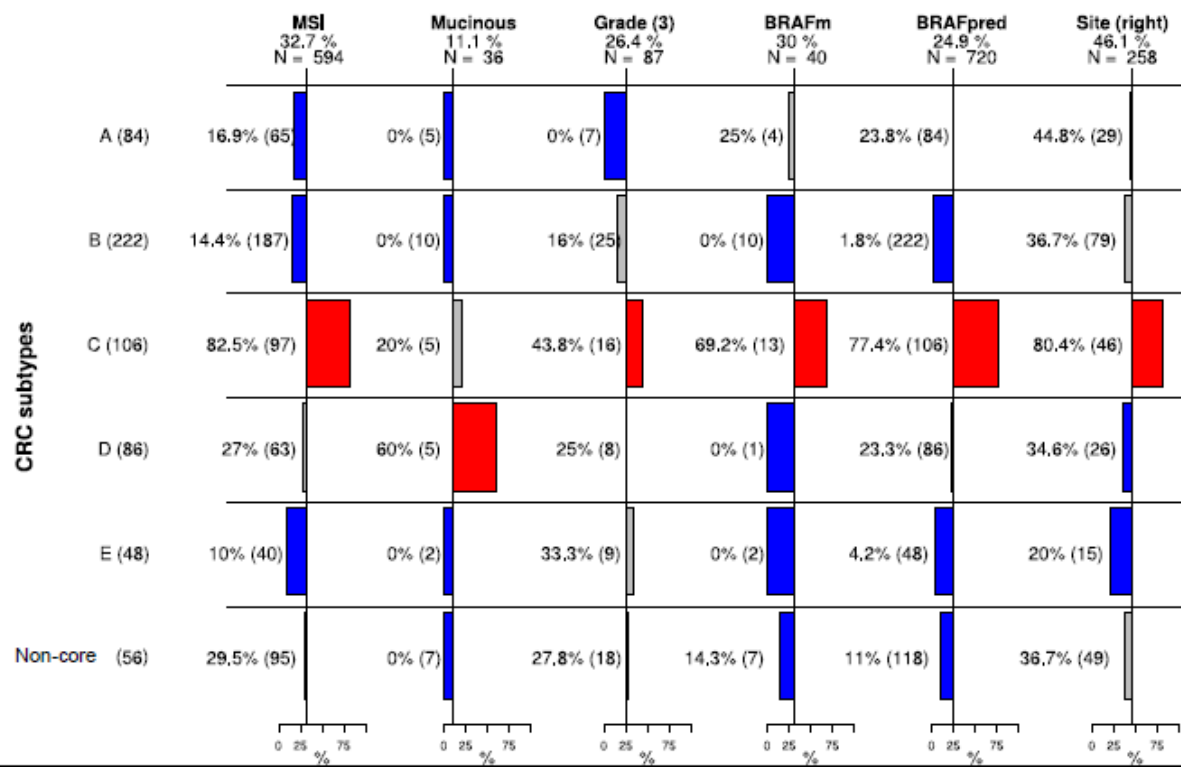
## Discovery

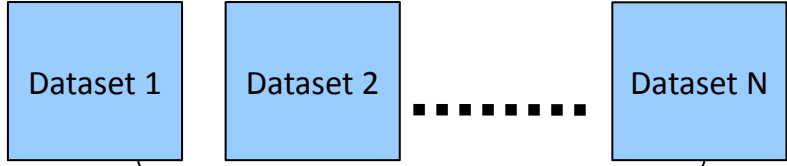
## CRC subtypes



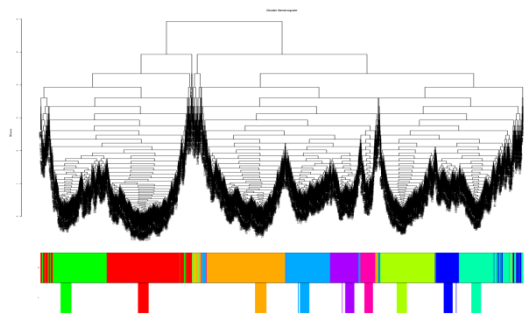
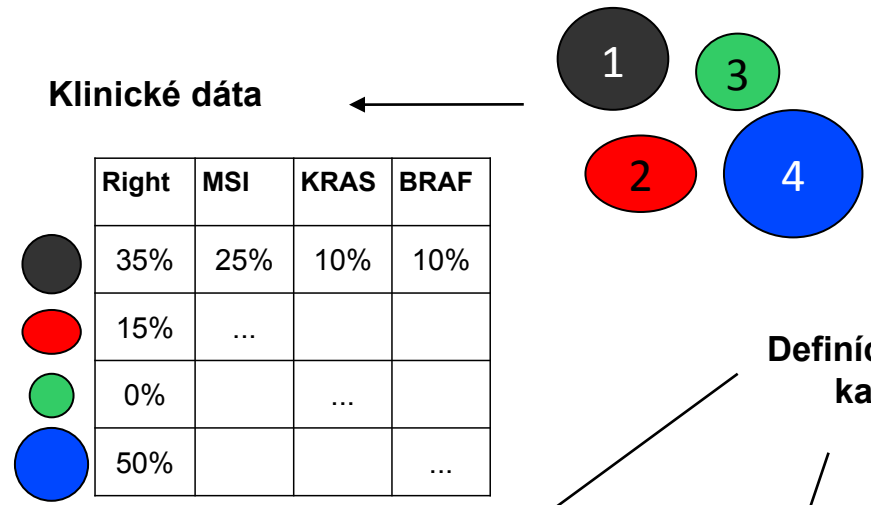
## Validation

## CRC subtypes





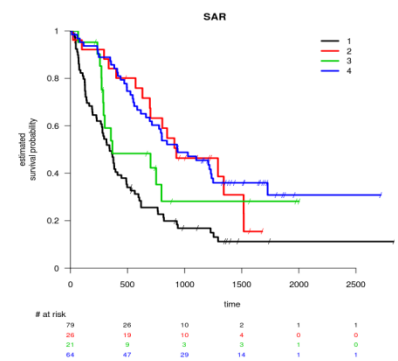
Klinické dáta



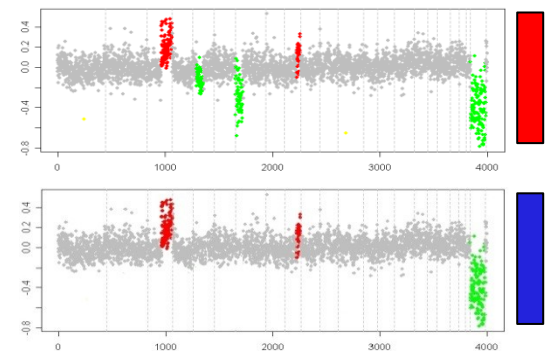
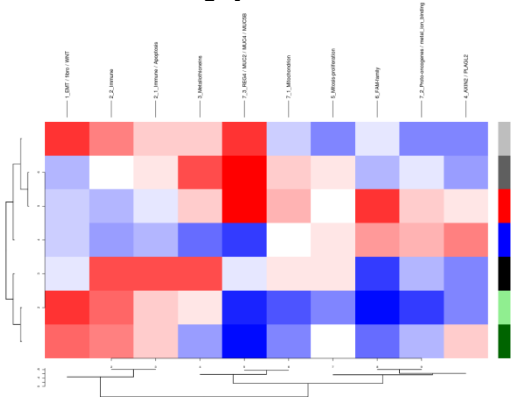
Definícia podtypov karcinómu

Iné zdroje dát (CNV, metylácia...)

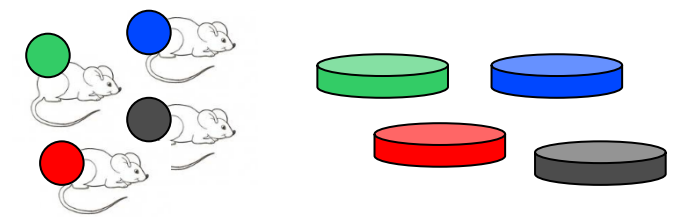
Prežitie



Molekulárny profil



Rezistencia na liečbu



# Shrnutí

Více metod v rámci jedné studie

Konsenzuální shlukování

Dynamické řezání stromu

Vizualizace výsledků

Propojení výsledků s biologickými či klinickými proměnnými

Validace výsledků na testovacím souboru!