

APOPTOSA

Programovaná buněčná smrt neboli apoptosa je vysoce regulovaný a geneticky kódovaný proces sebeustrukturace buňky. Apoptosou jsou odstraňovány buňky nadbytečné, nesprávně fungující, nevhodně lokalizované, pro organismus nebezpečné, závažně postižené či infikované virem apod. Dochází s její pomocí k udržení rovnováhy mezi produkcí nových buněk a odstraňováním starých. Dále se apoptóza uplatňuje např. při tvarování prstů či tělních dutin plodu v období embryonálního vývoje, při odstraňování nepotřebných struktur (ocas pulce žáby), při cyklických změnách endometria během reprodukčního cyklu ženy nebo při eliminaci nadbytečných aktivovaných T a B-lymfocytů atd. Apoptosa může být vyvolána i některými negativními vlivy prostředí: ionizujícím zářením, toxickými chemikáliemi, tepelným šokem, hypoxií apod. Při poruchách apoptosy může dojít k její patologické aktivaci, vznikají tak některá závažná neurodegenerativní onemocnění jako např.: Parkinsonova či Alzheimerova nemoc, dále také AIDS, myelodysplastické syndromy či infarkt myokardu. V opačném případě, při patologické inhibici apoptosy, vznikají nádorová onemocnění, některé imunitní či autoimunitní choroby (alergie) apod. Určité viry a bakterie (herpes viry, poxviry) tuto inhibici mohou také vyvolat. Význam programované buněčné smrti v řadě onemocnění vede v současné době k vývoji nových léčiv, jejichž cílem jsou právě molekulární dráhy apoptosy.

VYBRANÉ METODY DETEKCE APOPTOSY

Světelná a elektronová mikroskopie

Pomocí této metody lze sledovat některé morfologické znaky apoptosy např. kondenzaci chromatinu, puchýřkovatění membrány, tvorbu apoptotických tělísek atd.

Translokace fosfatidylserinu

Annexin-V je protein o velikosti 35-36 kDa vykazující vysokou afinitu k fosfatidylserinu, který je během apoptózy translokován z vnitřní strany plazmatické membrány na vnější. Běžně se vyskytuje na povrchu fagocytujících buněk, které s jeho pomocí rozpoznávají apoptotické buňky a likvidují je. Problém nastává u nekrotických buněk s porušenou integritou plazmatické membrány, kde annexin-V vstupuje do nitra buňky a váže se na fosfatidylserin z vnitřní strany. Pro jejich odlišení se využívá dvojitého barvení např. s využitím červeného fluorescenčního barviva propidium jodidu (PI), který se přes narušenou membránu nekrotických a zároveň i pozdně apoptotických buněk dostává do jádra, kde barví DNA. Ve výsledku pak můžeme odlišit 3 populace buněk: neapoptotické (annexin-V-negativní, PI-negativní), raně apoptotické (annexin-V-pozitivní, PI-negativní) a pozdně apoptotické a nekrotické (annexinV-pozitivní, PI-pozitivní). Vyhodnocování je prováděno průtokovou cytometrií či pomocí fluorescenční mikroskopie (Vermes et al., 1995).

Permeabilizace membrány

Některá barviva např. zelené fluorescenční barvivo Yo-pro se dostává do buňky pouze přes mírně permeabilizovanou plazmatickou membránu apoptotických či porušenou membránu nekrotických buněk, kde se váže na jadernou DNA. Živé buňky zůstávají Yo-pro negativní. Pro odlišení nekrotických buněk od apoptotických se využívá opět propidium jodid (Idziorek et al., 1995).

Aktivace caspasy 3

Caspasy (cystein rich aspartate protease) jsou hlavními výkonnými jednotkami apoptosy, jejichž cílem je celá řada různých proteinových substrátů, které však obsahují specifickou sekvenci třech až čtyřech aminokyselin následovanou aspartátem, za nímž je protein štěpen. Tato metoda využívá uměle vyrobených substrátů s touto sekvencí, jejichž rozštěpením dochází k uvolnění fluorescenční molekuly (fluorimetrické testy) či molekuly absorbující záření ve viditelné oblasti spektra (kolorimetrické testy) (Gurtu et al., 1997).

Fragmentace DNA

Fragmentace DNA je jedním z hlavních ukazatelů apoptózy. DNA je štěpena na větší části o velikostech 50 - 300 kbp, které jsou dále štěpeny na menší okolo 200 bp. Fragментy pak mohou být z buněk extrahovány a detekovány pomocí horizontální gelové elektroforézy následované barvením ethidium bromidem (Wyllie, 1980). Další možností je využití metody TUNEL (terminal deoxynucleotidyl transferase dUTP nick end labeling) využívající fluorescenčně značené nukleotidy dUTP, které jsou pomocí enzymu terminální deoxynukleotidyltransferasy inkorporovány na 3' konce DNA zlomů.

Štěpení substrátů caspas

PARP (poly(ADP-ribose) polymerase) je jedním z nejvýznamnějších substrátů caspas o velikosti 116 kDa, který je během apoptózy štěpen na fragmenty o velikostech 89 a 25 kDa. K jejich detekci se využívá immunoblotting, průtoková cytometrie atd. (Shah et al., 1995).

Změny mitochondriálního membránového potenciálu

Pro sledování změn mitochondriálního membránového potenciálu se využívá např. TMRE (tetramethylrhodamin ethyl ester). Tato fluorescenční molekula se akumuluje v mitochondriích živých buněk a v případě ztráty membránového potenciálu mitochondrií dochází k poklesu intenzity fluorescence. K detekci lze použít fluorescenční mikroskop nebo průtokový cytometr (O'Reilly et al., 2004).

Literatura:

- Gurtu, V., Kain, S.R., Zhang, G.H.: Fluorometric and colorimetric detection of caspase activity associated with apoptosis. *Analytical Biochemistry* 251, 98-102, 1997.
- Idziorek, T., Estaquier, J., de Bels, F., Ameisen, J.C.: YOPRO-1 permits cytofluorometric analysis of programmed cell death (apoptosis) without interfering with cell viability. *Journal of Immunological Methods* 185, 249-258, 1995.
- O'Reilly, C.M., Fogarty, K.E., Drummond, R.M., Tuft, R.A., Walsh, J.V. Jr.: Spontaneous mitochondrial depolarizations are independent of SR Ca²⁺ release. *American Journal of Physiology. Cell Physiology* 286, 1139-51, 2004.
- Shah, G.M., Kaufmann, S.H., Poirier, G.G.: Detection of poly(ADP-ribose) polymerase and its apoptosis-specific fragment by a nonisotopic activity-western blot technique. *Analytical Biochemistry* 232, 251-254, 1995.
- Vermes, I., Haanen, C., Steffensnakken, H., Reutelingsperger, C.: A novel assay for apoptosis - flow cytometric detection of phosphatidylserine expression on early apoptotic cells using fluorescein labeled Annexin-V. *Journal of Immunological Methods* 184, 39-51, 1995.
- Wyllie, A.H.: Glucocorticoid-induced thymocyte apoptosis is associated with endogenous endonuclease activation. *Nature* 284, 555-556, 1980.
- Zuliani, T., Duval, R., Jayat, C., Schnebert, S., Andre, P., Dumas, M., Ratinaud, M.H.: Sensitive and reliable JC-1 and TOTO-3 double staining to assess mitochondrial transmembrane potential and plasma membrane integrity: Interest for cell death investigations. *Cytometry Part A* 54, 100-108, 2003.

Průtoková cytometrie

ZNAČENÍ TUNEL

Vybavení a pomůcky:

Petriho misky (6 cm), 15 ml zkumavky, vortex, nádoba s ledem, centrifuga, sada pipet a špiček, průtokový cytometr Cell Lab Quanta SC PML (Beckman Coulter)

Chemikálie:

- PBS
- 4% formaldehyd / PBS, pH 7,4 – připrav vždy čerstvý!
- 0,1% Triton X-100 / 0,1 % citrát sodný – připrav vždy čerstvý!
- TUNEL (Roche) reakční směs – připrav vždy čerstvou!

TdT : dUTP = 1:9 (enzym : nukleotid) – na ledu až do použití, neskladovat

Vlastní postup:

1. Sklid' suspenzní buňky (10^6) centrifugací (2400 rpm, 5 min, 4 °C).
2. Promyj buňky **2x 1 ml PBS (4 °C)**, pouze jemně protřepávat.
3. Zafixuj buňky: po kapkách přidávej 1 ml **4% formaldehyd** (konečná konc. 2 %) za mírného vortexování, inkubuj 10 min.
4. Centrifuguj (1000 g, 10 min, 4 °C).
5. Promyj **1 ml PBS**.
6. Centrifuguj (1000 g, 10 min, 4 °C).
7. Permeabilizuj buňky: pelet resuspenduj v 0,1% Triton X-100 v 0,1% citrátu sodném , inkubuj 2 min na ledu!
8. Promyj **2x 1 ml PBS**.
9. Pelet resuspenduj v 50 μ l **TUNEL** reakční směsi.
10. Inkubuj směs **1 h při 37 °C ve tmě**.
11. Promyj **1 ml PBS**.
12. Analyzuj na průtokovém cytometru.

Příklad:

