

APOPTOZ VA NEKROZ MOLEKULAR MEXANIZMLAR VA KLINIK AHAMIYATI

Qo'qon universiteti Andijon filiali

Tibbiyot fakulteti Davolash ishi

Toirjonova Buxajalxon Muzafarjon qizi

Ilmiy raxbar. Mamajonov Abrorbek

Adiljonovich Tibbiy biologiya va Jamoat

salomatligi kaferdrasi o'qituvchisi

Anotatsiya. Mazkur maqola hujayra o'limining asosiy shakllari bo'lgan apoptoz va nekrozning molekulyar-biokimyoviy mexanizmlarini, ularning fiziologik va patologik jarayonlardagi o'rnini har tomonlama yoritishga bag'ishlangan. Apoptoz organizmda genetik dasturlashtirilgan hujayra o'limi shakli sifatida to'qimalar homeostazini ta'minlash, immun javobni tartibga solish, embrional rivojlanish va shikastlangan yoki mutatsiyaga uchragan hujayralarni yo'q qilishda muhim ahamiyatga ega. Maqolada apoptozning ichki (mitoxondrial) va tashqi (o'lim retseptorlari orqali) signallash yo'llari, ularning faollashuv bosqichlari, kaspazalar kaskadi, Bcl-2 oilasiga mansub pro- va antiapoptotik oqsillar, mitoxondrial membrana o'tkazuvchanligining o'zgarishi hamda sitoxrom c ning roli molekulyar darajada tahlil qilinadi. Nekroz esa nazorat qilinmaydigan, ko'pincha tashqi zararli omillar ta'sirida yuzaga keluvchi hujayra o'limi turi sifatida tavsiflanadi. Maqolada nekroz rivojlanishining asosiy mexanizmlari — energiya yetishmovchiligi (ATP tanqisligi), kalsiy ionlari homeostazining buzilishi, reaktiv kislorod turlarining ko'payishi, hujayra membranasi yaxlitligining izdan chiqishi va yallig'lanish mediatorlarining ajralib chiqishi keng yoritiladi. Ishemik shikastlanishlar, travmalar, toksik moddalar va infeksiya jarayonlar nekrozning asosiy etiologik omillari sifatida ko'rib chiqiladi. Shuningdek, maqolada apoptoz va nekrozning morfologik, biokimyoviy va molekulyar darajadagi farqlari, ularning laborator va klinik diagnostikadagi

ahamiyati taqqoslab tahlil qilinadi. Apoptozning buzilishi onkologik kasalliklar, autoimmun holatlar va virusli infeksiyalar rivojlanishida muhim rol o'ynashi, nekroz esa yurak miokardi infarkti, insult, og'ir yallig'lanish va to'qima destruksiya bilan kechuvchi kasalliklarda yetakchi patogenetik mexanizm ekanligi ko'rsatib beriladi. Maqola yakunida apoptoz va nekrozni nishonga oluvchi zamonaviy terapevtik yondashuvlar, jumladan, kaspazalarni modulyatsiya qilish, mitoxondrial yo'llarga ta'sir etish hamda yallig'lanishga qarshi strategiyalarning klinik istiqbollari muhokama qilinadi. Olingan ma'lumotlar hujayra o'limi mexanizmlarini chuqurroq anglash va kasalliklarni davolashda individual yondashuvlarni ishlab chiqish uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar. Apoptoz, nekroz, hujayra o'limi, kaspazalar, mitoxondriyal yo'l, klinik ahamiyat.

Kirish. Hujayra o'limi bu biologiyaning asosiy jarayonlaridan biri bo'lib, organizmning rivojlanishi, to'qimalar gomeostazi va ichki muhit barqarorligini saqlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Hujayra o'limining asosiy shakllari apoptoz va nekroz molekulyar mexanizmlar, morfologik xususiyatlar va klinik natijalar jihatidan tubdan farq qiladi. Apoptoz tartibli, genetik dasturlashtirilgan va nazorat ostidagi jarayon sifatida tanilgan bo'lib, hujayralarning ortiqcha ko'payishi yoki shikastlanishini oldini oladi. U organizmda embrional rivojlanish, to'qimalar yangilanishi, immun javob va virus bilan zararlangan yoki mutatsiyaga uchragan hujayralarni bartaraf etishda muhim rol o'ynaydi. Nekroz esa ko'pincha tashqi zararlar, ishemiya, toksik moddalar yoki infeksiyalar ta'sirida yuzaga keladigan nazorat qilinmaydigan hujayra o'limi shaklidir. Nekroz hujayra membranasining yorilishi, ichki tarkibning tashqi muhitga chiqishi va yallig'lanish reaksiyasi bilan tavsiflanadi. So'nggi yillarda nekrozning tartiblangan shakllari, masalan necroptoz, molekulyar yo'llar orqali qisman regulyatsiya qilinishi mumkinligi aniqlangan. Bu ilmiy yangiliklar hujayra o'limi jarayonlarini klinik va terapevtik nuqtai nazardan chuqurroq tushunishga imkon beradi. Hujayra o'limining molekulyar mexanizmlari kaspazalar kaskadi, Bcl-2 oilasi oqsillari, mitoxondrial yo'l, turli tashqi va ichki signal yo'llari orqali amalga oshadi. Apoptozda initsiator

kaspazalar (masalan, kaspaza-8 va kaspaza-9) signalni qabul qilib, effektor kaspazalarni faollashtiradi va hujayra ichki tarkibini tartibli ravishda parchalaydi. Mitoxondrial yo'l orqali faollashuvchi apoptoz esa sitoxrom c ajralishi va Apaf-1 bilan apoptozoma hosil qilinishi orqali amalga oshadi. Shu bilan birga, nekroz va nekroptoz jarayonlarida ATP tanqisligi, kalsiy ionlarining ortiqcha to'planishi va oksidativ stress asosiy mexanizmlar sifatida ishlaydi. Hujayra o'limi mexanizmlarini chuqur o'rganish klinik tibbiyotda ham katta ahamiyatga ega. Apoptozning susayishi o'smali hujayralarning nazoratsiz ko'payishiga olib kelishi mumkin bo'lsa, uning haddan tashqari faollashuvi neyrodegenerativ kasalliklar, miokard infarkti va boshqa patologiyalarda hujayralarning nobud bo'lishiga sabab bo'ladi. Nekroz esa ko'pincha og'ir patologik shikastlanishlarda markaziy patogenetik omil sifatida namoyon bo'ladi. Shu sababli hujayra o'limining molekulyar mexanizmlari va ularning klinik ahamiyatini chuqur tushunish yangi dori vositalari ishlab chiqish, individual davolash strategiyalarini aniqlash va kasallik asoratlarini kamaytirishda muhim ilmiy asos hisoblanadi. Apoptoz va nekrozning molekulyar mexanizmlari, morfologik xususiyatlari, kaspazalar va mitoxondrial yo'lning roli hamda klinik ahamiyati tizimli tarzda ko'rib chiqiladi. Shu bilan birga, hujayra o'limini tartibga soluvchi mexanizmlarning zamonaviy ilmiy tadqiqotlar asosidagi tavsifi va klinik qo'llanilishi ham tahlil qilinadi. Ushbu ish hujayra o'limi bilan bog'liq dolzarb ilmiy masalalarni yoritishga, shuningdek, tibbiyot va farmakologiya sohasida yangi yondashuvlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi. Apoptoz bu hujayra hayot siklining ajralmas qismi bo'lib, genetik jihatdan oldindan dasturlashtirilgan, energiyaga bog'liq va qat'iy molekulyar nazorat ostida kechadigan hujayra o'limi shaklidir. Ushbu jarayon organizmda to'qimalar gomeostazini saqlash, hujayralar soni va sifatini muvozanatda ushlab turish hamda ichki muhit barqarorligini ta'minlashda muhim biologik mexanizm hisoblanadi. Apoptoz fiziologik sharoitlarda ham, turli patologik holatlarda ham muhim himoya va moslashuv jarayoni sifatida namoyon bo'ladi. Keng ma'noda apoptoz faqat hujayraning yo'q qilinishi bilan cheklanmay, balki rivojlanish, differensiasiya, regeneratsiya va immun nazorat jarayonlari bilan chambarchas bog'liq murakkab

biologik tizimni ifodalaydi. Embrional rivojlanish davrida ortiqcha yoki noto'g'ri joylashgan hujayralar apoptoz orqali bartaraf etiladi. Yetuk organizmda esa qarigan, funksional faoliyatini yo'qotgan, DNKsi shikastlangan yoki xavfli mutatsiyaga uchragan hujayralar aynan apoptoz yo'li bilan yo'q qilinadi. Morfologik jihatdan apoptoz hujayraning hajmi kichrayishi, xromatinning kondensatsiyasi, yadroning fragmentatsiyasi, sitoskelet qayta tashkil topishi hamda apoptozik tanachalar hosil bo'lishi bilan tavsiflanadi. Muhim jihati shundaki, hujayra membranasining yaxlitligi saqlanib qoladi, bu esa yallig'lanish reaksiyalarining yuzaga kelishining oldini oladi va apoptozni nekrozdan tubdan farqlaydi. Molekulyar darajada apoptoz kaspazalar deb ataluvchi proteolitik fermentlar kaskadi orqali amalga oshadi. Apoptozning ichki (mitoxondrial) va tashqi (retseptor orqali) signal yo'llari mavjud bo'lib, ularda Bcl-2 oilasiga mansub proapoptotik va antiapoptotik oqsillar, sitoxrom c, Apaf-1 hamda turli regulyator molekulalar ishtirok etadi. Ushbu yo'llarning muvozanatli ishlashi hujayra taqdirini belgilaydi. Klinik nuqtayi nazardan apoptoz mexanizmlarining buzilishi ko'plab kasalliklar patogenezida muhim o'rin tutadi. Apoptozning yetarli darajada kechmasligi o'smali hujayralarning nazoratsiz ko'payishiga olib kelishi mumkin, uning ortiqcha faollashuvi esa neyrodegenerativ kasalliklar, ishemik shikastlanishlar va to'qima atrofiyasiga sabab bo'ladi. Shu bois apoptozni chuqur o'rganish va uni farmakologik boshqarish zamonaviy tibbiyotning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Nekroz bu hujayra yoki to'qimaning tashqi va ichki zararli omillar ta'sirida yuzaga keladigan, nazorat qilinmaydigan va patologik xarakterga ega bo'lgan hujayra o'limi shaklidir. Nekroz, asosan, hujayra energetik resurslarining keskin kamayishi, metabolik jarayonlarning izdan chiqishi va hujayra tuzilmalari butunligining buzilishi bilan kechadi. Ushbu jarayon apoptozdan farqli ravishda organizm tomonidan dasturlashtirilmagan bo'lib, ko'pincha og'ir shikastlanishlar natijasida rivojlanadi. Keng ma'noda nekroz organizmning to'qimalari va organlarida kechadigan chuqur patologik o'zgarishlarning muhim belgisi hisoblanadi. U mexanik travmalar, ishemiya va gipoksiya, toksik moddalar, infeksiya agentlar, fizik omillar (yuqori yoki past

harorat, radiatsiya) hamda kimyoviy ta'sirlar natijasida yuzaga kelishi mumkin. Nekroz ko'pincha o'tkir va tez rivojlanib, atrofdagi sog'lom to'qimalarga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Morfologik jihatdan nekroz hujayraning shishishi, plazmatik membrananing yorilishi, mitoxondriya shikastlanishi, lizosomal fermentlarning ajralib chiqishi va hujayra ichki tarkibining tashqi muhitga chiqishi bilan tavsiflanadi. Natijada yallig'lanish reaksiyasi faollashadi, bu esa nekroz joyida og'riq, shish va funksional buzilishlar bilan kechuvchi klinik belgilarni yuzaga keltiradi. Molekulyar darajada nekroz rivojlanishida ATP tanqisligi, kalsiy ionlari gomeostazining buzilishi, reaktiv kislorod turlarining ortiqcha hosil bo'lishi va oksidativ stress muhim rol o'ynaydi. Ushbu omillar hujayra membranasi lipidlarining peroksidlanishiga, oqsillar va nuklein kislotalarning shikastlanishiga olib keladi. So'nggi tadqiqotlarda nekrozning ayrim shakllari (masalan, nekroptoz) qisman molekulyar regulatsiyaga ega ekanligi ham ko'rsatib o'tilmoqda. Klinik nuqtayi nazardan nekroz ko'plab og'ir kasalliklarning patogenezida markaziy o'rin tutadi. Yurak miokardi infarkti, insult, gangrena, og'ir yallig'lanish jarayonlari va travmatik shikastlanishlar nekroz bilan chambarchas bog'liq. Nekrozning erta aniqlanishi va uning sabablarini bartaraf etish klinik amaliyotda hayotni saqlab qolish va asoratlarning oldini olishda muhim ahamiyatga ega. Hujayra o'limi bu hujayraning hayot faoliyati to'liq va qaytmas tarzda to'xtashi bilan tavsiflanadigan biologik jarayon bo'lib, u organizmning rivojlanishi, to'qimalar gomeostazini saqlash va patologik holatlarga javob reaksiyalarida muhim o'rin tutadi. Hujayra o'limi tirik organizmlar uchun zarur bo'lgan tabiiy jarayon hisoblanib, u fiziologik muvozanatni saqlash va shikastlangan hujayralarni bartaraf etishga xizmat qiladi. Keng ma'noda hujayra o'limi birgina mexanizm bilan cheklanmay, balki turli molekulyar yo'llar orqali amalga oshadigan murakkab biologik hodisani o'z ichiga oladi. Hujayra o'limining asosiy shakllariga apoptoz, nekroz, nekroptoz, autofagiya bilan bog'liq hujayra o'limi va piroptoz kiradi. Ushbu shakllar hujayraning tashqi muhit sharoitlari, genetik holati va metabolik imkoniyatlariga qarab faollashadi. Molekulyar darajada hujayra o'limi hujayra ichidagi signallash tizimlari, ionlar muvozanati, mitoxondrial funksiyalar va gen ekspressiyasi bilan

chambarchas bog'liq. Energiya ta'minotining buzilishi, oksidativ stress, DNK shikastlanishi, oqsil sintezidagi nosozliklar hujayra o'limini boshlovchi asosiy omillar hisoblanadi. Ushbu jarayonlarda kaspazalar, kinazalar, transkripsion faktorlar va sitokinlar muhim regulyator vazifasini bajaradi. Morfologik jihatdan hujayra o'limi hujayra tuzilmasining qaytmas o'zgarishlari bilan ifodalanadi. Bu o'zgarishlar hujayra turiga va o'lim mexanizmiga qarab farqlanadi. Masalan, apoptozda hujayra membranasi saqlangan holda parchalanish sodir bo'lsa, nekrozda membrana yorilib, hujayra ichidagi moddalar atrof-muhitga chiqadi va yallig'lanish reaksiyasi rivojlanadi. Klinik nuqtayi nazardan hujayra o'limi ko'plab kasalliklar patogenezining markaziy bo'g'ini hisoblanadi. Onkologik kasalliklarda hujayra o'limi mexanizmlarining susayishi o'smalarning rivojlanishiga olib keladi, yurak-qon tomir va neyrodegenerativ kasalliklarda esa hujayralarning haddan tashqari nobud bo'lishi to'qima funksiyasining buzilishiga sabab bo'ladi. Shu bois hujayra o'limi jarayonlarini chuqur o'rganish diagnostika va davolashning yangi usullarini ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Kaspazalar bu hujayra o'limi, ayniqsa apoptoz jarayonining asosiy ijrochi fermentlari hisoblangan sistein proteazalar oilasiga mansub fermentlardir. Ular hujayra ichidagi muhim strukturaviy va regulyator oqsillarni parchalash orqali hujayraning tartibli va nazorat ostida nobud bo'lishini ta'minlaydi. Kaspazalar apoptoz mexanizmlarining markaziy bo'g'ini bo'lib, hujayra taqdirini belgilovchi molekulyar kalit vazifasini bajaradi. Keng ma'noda kaspazalar faqat hujayra o'limida emas, balki hujayra differensiasiyasi, immun javob, yallig'lanish jarayonlari va sitokinlar faollashuvida ham ishtirok etadi. Ular nofaol profermentlar (prokaspazalar) shaklida sintezlanadi va ma'lum signallar ta'sirida proteolitik yo'l bilan faollashadi. Kaspazalarning faollashuvi kaskad xarakterga ega bo'lib, bitta kaspazaning faollashuvi keyingi bir necha kaspazalarni ishga tushiradi.

Molekulyar tasnifiga ko'ra kaspazalar ikki asosiy guruhga bo'linadi. Initsiator kaspazalar (kaspaza-8, kaspaza-9) apoptozni boshlovchi signal bosqichida ishtirok etadi va quyi oqimdagi kaspazalarni faollashtiradi.

Effektor (ijrochi) kaspazalar (kaspaza-3, kaspaza-6, kaspaza-7) hujayra ichki tuzilmalarini, jumladan, sitoskelet, yadroviy oqsillar va DNK bilan bog'liq fermentlarni parchalash orqali apoptozning yakuniy bosqichini amalga oshiradi.

Kaspazalar faollashuvi mitoxondrial yo'l (sitoxrom c va Apaf-1 orqali) yoki retseptor orqali kechuvchi tashqi signal yo'li natijasida yuzaga keladi. Ushbu jarayon qat'iy regulatsiya qilinadi va antiapoptotik oqsillar hamda kaspaza ingibitorlari tomonidan nazorat ostida ushlab turiladi. Klinik nuqtayi nazardan kaspazalar faoliyatining buzilishi ko'plab kasalliklar bilan bog'liq. Kaspazalar faolligining pasayishi o'smali hujayralarning apoptozdan qochishiga olib kelishi mumkin, ularning ortiqcha faollashuvi esa neyronlar va boshqa muhim hujayralarning nobud bo'lishiga sabab bo'ladi. Shu sababli kaspazalar zamonaviy farmakologiyada muhim terapevtik nishon sifatida qaralmoqda. Mitoxondrial yo'l bu apoptoz jarayonining ichki (intrinsik) signal yo'li bo'lib, hujayra ichidagi stress va shikastlanishlarga javoban hujayra o'limini boshqaruvchi markaziy mexanizm hisoblanadi. Ushbu yo'l mitoxondriyaning membrana o'tkazuvchanligi, sitoxrom c ning ajralishi va proapoptotik hamda antiapoptotik oqsillar muvozanati orqali amalga oshadi. Keng ma'noda mitoxondrial yo'l hujayra ichidagi energetik holat, oksidativ stress, DNK shikastlanishi yoki metabolik buzilishlar natijasida faollashadi. Mitoxondriya ichki membranasidagi kanal tizimlari (masalan, MPTP mitoxondrial o'tkazuvchanlik o'tkazgichi) ochilishi natijasida sitoxrom c sitozolga chiqadi va Apaf-1 bilan birlashib apoptozani boshlovchi apoptozoma hosil qiladi. Molekulyar mexanizmida mitoxondrial yo'l Bcl-2 oilasiga mansub oqsillar bilan tartibga solinadi: proapoptotik oqsillar (Bax, Bak) membrana o'tkazuvchanligini oshiradi, antiapoptotik oqsillar (Bcl-2, Bcl-XL) esa jarayonni to'xtatadi. Ushbu muvozanat hujayraning tirik qolishi yoki nobud bo'lishini belgilaydi. Kaspazalar kaskadi mitoxondrial yo'l faollashgandan so'ng ishga tushadi va hujayra ichki tarkibi tartibli tarzda parchalanadi. Mitoxondrial yo'lning klinik ahamiyati katta. Uning buzilishi onkologik kasalliklar, kardiomiopatiya, neyrodegenerativ kasalliklar va boshqa metabolik patologiyalarda kuzatiladi. Masalan, sitoxrom c ajralishi va mitoxondrial disfunktsiya miokard infarkti yoki insultda hujayra nobud

bo'lishining asosiy mexanizmi sifatida qaraladi. Shu sababli mitoxondrial yo'lni tartibga soluvchi farmakologik yondashuvlar zamonaviy tibbiyotda katta ilmiy va terapevtik ahamiyatga ega. Klinik ahamiyati hujayra o'limi, xususan apoptoz va nekroz jarayonlarini tushunish va tibbiyotda qo'llash jihatidan juda muhimdir. Hujayra o'limining mexanizmlarini aniqlash shifokorlarga turli kasalliklarni diagnostika qilish, asoratlarni oldini olish va samarali davolash strategiyalarini ishlab chiqishda yordam beradi. Apoptoz mexanizmlarini tartibga solish onkologiya, immunologiya va neyrodegenerativ kasalliklarda beqiyos ahamiyatga ega. Masalan, saraton kasalliklarida apoptozning susayishi hujayralarning nazoratsiz ko'payishiga olib keladi, shuning uchun apoptozni faollashtiruvchi dori vositalari (kaspaza aktivatorlari, Bcl-2 ingibitorlari) tadqiq etilmoqda. Aksincha, neyrodegenerativ kasalliklarda yoki yurak-qon tomir patologiyalarida apoptozning ortiqcha faollashuvi to'qima yo'qolishiga sabab bo'ladi, shuning uchun uning faolligini kamaytiruvchi strategiyalar ishlab chiqilmoqda. Nekrozning klinik ahamiyati esa ko'proq patologik jarayonlar bilan bog'liq. Ishemik shikastlanishlar, infarktlar, insult, og'ir yallig'lanishlar va travmatik jarayonlarda nekroz markaziy patogenetik mexanizm sifatida namoyon bo'ladi. Nekrozning erta aniqlanishi va uni kamaytirishga qaratilgan davolash choralari asoratlarning kamayishiga va bemor hayotining saqlanishiga yordam beradi. Shuningdek, hujayra o'limi mexanizmlarini o'rganish yangi biomarkerlar va terapevtik nishonlarni aniqlashga imkon yaratadi. Bu esa zamonaviy farmakologiya va klinik tibbiyotda individual yondashuvni rivojlantirish, kasalliklarni erta aniqlash va samarali davolash strategiyalarini ishlab chiqish imkonini beradi. Hujayra o'limining molekulyar mexanizmlari va ularning klinik ahamiyati tibbiyotning ko'plab sohalarida onkologiya, kardiologiya, nevrologiya va immunologiyada muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Xulosa. Hujayra o'limi bu biologiyaning asosiy jarayonlaridan biri bo'lib, organizmning normal rivojlanishi, to'qimalar gomeostazi va himoya mexanizmlarida muhim o'rin tutadi. Hujayra o'limining ikki asosiy shakli apoptoz va nekroz molekulyar mexanizmlar, morfologik belgilari va klinik ahamiyati

jihatidan tubdan farq qiladi. Apoptoz genetik dasturlashtirilgan, tartibli va nazorat ostidagi jarayon bo'lib, hujayra ichidagi kaspazalar kaskadi, mitoxondrial va retseptor orqali signal yo'llari orqali amalga oshadi. Ushbu jarayon hujayralarning ortiqcha ko'payishi yoki shikastlanishini oldini oladi, embrional rivojlanishda, immun javoblarda va to'qimalarning yangilanishida muhim rol o'ynaydi. Nekroz esa patologik va nazoratsiz jarayon bo'lib, tashqi omillar (ishemiya, travma, toksinlar, infeksiya) ta'sirida rivojlanadi. Nekroz hujayra membranasining buzilishi, mitoxondrial disfunktsiya va yallig'lanish reaksiyalari bilan kechadi, bu esa atrofdagi sog'lom to'qimalarga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu bois nekroz ko'pincha klinik jihatdan jiddiy asoratlar bilan bog'liq bo'ladi. Molekulyar nuqtayi nazardan apoptoz va nekroz jarayonlarida kaspazalar, mitoxondrial yo'l va Bcl-2 oilasi oqsillari markaziy rol o'ynaydi. Kaspazalar apoptozning ijrochi fermentlari sifatida hujayra ichidagi tarkibiy va regulyator oqsillarni parchalashni ta'minlaydi, mitoxondrial yo'l esa ichki stress signallarini kaspazalar kaskadiga uzatadi. Ushbu mexanizmlarni chuqur o'rganish hujayra o'limining fiziologik va patologik shart-sharoitlarini tushunishga yordam beradi. Klinik nuqtayi nazardan hujayra o'limi mexanizmlarini aniqlash va tartibga solish onkologiya, kardiologiya, nevrologiya va immunologiyada muhim ahamiyatga ega. Apoptozni faollashtirish yoki inhibe qilish orqali saraton, neyrodegenerativ kasalliklar, miokard infarkti va insult kabi patologiyalarni davolashda yangi terapeutik strategiyalar ishlab chiqilmoqda. Shu bilan birga, nekrozning erta aniqlanishi va uni kamaytirishga qaratilgan chora-tadbirlar kasallik asoratlarini kamaytirishga xizmat qiladi. Apoptoz va nekrozning molekulyar mexanizmlari va ularning klinik ahamiyatini chuqur tushunish zamonaviy tibbiyotda individual yondashuvni rivojlantirish, yangi dori vositalarini ishlab chiqish va kasalliklarni samarali davolash imkonini beradi. Shu bois hujayra o'limi tadqiqotlari biologiya va klinik tibbiyotning eng dolzarb va istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mustafa M., Apoptosis: A Comprehensive Overview of Signaling 2024
2. Nature Reviews Molecular Cell Biology A guide to cell death pathways

2023.

3. Qi K. va boshqalar, Comprehensive landscape of cell death mechanisms

2025.

4. Nature Reviews Molecular Cell Biology Molecular mechanisms of necroptosis 2021.

5. International Journal of Molecular Medicine 2021, Molecular aspects of necroptosis and disease relevance

6. Cell Death Differentiation / Cell death classification and current insights
2023.

7. D'Arcy M.S., Cell death: a review of the major forms of apoptosis and necrosis 2019