NURLANISH TA’SIRIDA ANEMIK QON ERITROTSITLARINING STRUKTURAVIY-FUNKSIONAL O‘ZGARISHLARI VA BIOFIZIK KO‘RSATKICHLARI

Berdiqulova Xursheda Mirsaliyevna
ZARMED universiteti Samarqand kampusi,
“Tibbiy biologik fizika” kafedrasi assistenti
berdiqulova42@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.24015195

Annotatsiya

Maqolada ionlovchi nurlanish ta’sirida eritrotsitlarda yuzaga keladigan strukturaviy-funksional o‘zgarishlar va ularning anemik holatdagi xususiyatlari bo‘yicha 2016–2025-yillarda e’lon qilingan ilmiy ma’lumotlar tahlil qilingan. Eritrotsit membranasining lipid qatlami, oqsil komponentlari va sitoskeletida kuzatiladigan shikastlanishlar, hujayra shakli, o‘lchami, deformatsiyalanuvchanligi, osmotik mo‘rtligi, membrana o‘tkazuvchanligi va lipidlarning perekisli oksidlanishi ko‘rsatkichlari qiyosiy baholangan. Temir tanqisligi anemiyasida eritrotsitlarning dastlabki biofizik holati o‘zgargani sababli ularning nurlanishga javobi sog‘lom hujayralardan farq qilishi mumkinligi asoslangan. Mavjud natijalarning ziddiyatli jihatlari ko‘rsatilib, anemik qon eritrotsitlarini nurlanish ta’sirida o‘rganish uchun kompleks biofizik ko‘rsatkichlar majmuasi taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: eritrotsit, ionlovchi nurlanish, anemiya, temir tanqisligi, membrana, deformatsiyalanuvchanlik, osmotik mo‘rtlik, lipidlarning perekisli oksidlanishi, biofizik ko‘rsatkichlar.

Аннотация

В статье проанализированы научные данные 2016–2025 гг. о структурно-функциональных изменениях эритроцитов под действием ионизирующего излучения и их особенностях при анемии. Сопоставлены повреждения липидного бислоя, белковых компонентов и цитоскелета мембраны, а также изменения формы, размеров, деформируемости, осмотической резистентности, проницаемости мембраны и уровня перекисного окисления липидов. Обосновано, что при железодефицитной анемии исходное биофизическое состояние эритроцитов изменено, поэтому их ответ на облучение может отличаться от ответа здоровых клеток. Показаны противоречия имеющихся данных и предложен комплекс биофизических показателей для изучения эритроцитов анемической крови при облучении.

Ключевые слова: эритроцит, ионизирующее излучение, анемия, дефицит железа, мембрана, деформируемость, осмотическая резистентность, перекисное окисление липидов, биофизические показатели.

Abstract

The article reviews scientific data published in 2016–2025 on radiation-induced structural and functional changes in erythrocytes and their features in anemia. Damage to the lipid bilayer, membrane proteins and cytoskeleton is compared together with changes in cell shape, size, deformability, osmotic fragility, membrane permeability and lipid peroxidation. Because the baseline biophysical state of erythrocytes is already altered in iron deficiency anemia, their response to irradiation may differ from that

of healthy cells. Contradictions in the available data are discussed, and a set of biophysical indicators is proposed for studying irradiated erythrocytes of anemic blood.

Keywords: erythrocyte, ionizing radiation, anemia, iron deficiency, membrane, deformability, osmotic fragility, lipid peroxidation, biophysical parameters.

Kirish

Ionlovchi nurlanish zamonaviy tibbiyotda tashxis va davolashning ajralmas vositasiga aylangan. Rentgen tekshiruvlari, kompyuter tomografiyasi, radionuklid diagnostika, masofaviy va intraoperatsion nur terapiyasi yildan yilga kengroq qo‘llanilmoqda. Shu bilan birga, nurlanish nishondagi o‘sma hujayralaridangina emas, balki qon tomirlari orqali nurlanish maydonidan o‘tayotgan qon hujayralariga ham ta’sir ko‘rsatadi. O‘sma joylashgan sohada mikrotomirlar soni ko‘p bo‘lgani uchun eritrotsitlarning nurlanishga duch kelish ehtimoli ortadi [1].

Eritrotsit nurlanish ta’sirini o‘rganish uchun qulay biofizik model hisoblanadi. U butun organizm bo‘ylab aylanadi, qondan oson ajratiladi, yadrosi va ichki membranalari yo‘q. Shu sababli plazmatik membrananing xossalarini boshqa membrana tuzilmalarining aralashuvisiz o‘lchash mumkin [2]. Gamma-nurlanish eritrotsit membranasining uchta funksional qismiga ta’sir qiladi: lipid qo‘sh qavati, oqsil komponentlari va membrana yuzasidagi sitoskelet [2, 3].

Nurlanish suyak ko‘migining qon yaratish faoliyatini susaytirib, anemiyaga olib kelishi ma’lum. Biroq eritrotsitlarning kislorod tashish funksiyasidagi molekulyar darajadagi o‘zgarishlar yetarli o‘rganilmagan [1]. Nur va kimyoterapiya olayotgan onkologik bemorlarda gemoglobin konsentratsiyasining pasayishi holsizlik, hayot sifatining yomonlashuvi va yashovchanlikning kamayishi bilan bog‘liq ekani qayd etilgan [3]. Radiatsiya foni yuqori hududlarda yashovchi bolalarda ham eritrotsit membranasining o‘tkazuvchanligi va sorbsion qobiliyati nazorat guruhidan sezilarli farq qilgan [4].

Anemiya, ayniqsa temir tanqisligi anemiyasi, eritrotsitlarning dastlabki strukturaviy holatini o‘zgartiradi. Temir tanqisligi eriptoz, ya’ni eritrotsitlarning dasturlashgan nobud bo‘lishi kuchayadigan holatlar qatoriga kiradi [5]. Temir tanqis eritrotsitlarda membrana qattiqligi ortishi va lipidlarning perekisli oksidlanishi kuchayishi qayd etilgan [6]. Ammo so‘nggi tadqiqotlar temir tanqisligi og‘irlashgan sari eritrotsitlarning deformatsiyalanuvchanligi ortishini ko‘rsatgan [7]. Demak, anemik eritrotsitlar nurlanishga sog‘lom hujayralardan farqli javob berishi mumkin, ammo bu masala alohida tizimli tahlil qilinmagan.

Tadqiqot maqsadi - ionlovchi nurlanish ta’sirida eritrotsitlarning strukturaviy-funksional o‘zgarishlari va biofizik ko‘rsatkichlari bo‘yicha mavjud ilmiy ma’lumotlarni tahlil qilish hamda anemik qon eritrotsitlarini o‘rganish uchun asosiy ko‘rsatkichlar majmuasini asoslash.

Vazifalar:

1. Nurlanish ta’sirida eritrotsit morfologiyasi va o‘lchamlarining o‘zgarishi bo‘yicha ma’lumotlarni umumlashtirish.
2. Deformatsiyalanuvchanlik, osmotik mo‘rtlik va membrana o‘tkazuvchanligi ko‘rsatkichlarining dozaga bog‘liqligini tahlil qilish.
3. Oksidlanish stressi va lipidlarning perekisli oksidlanishining roli haqidagi natijalarni solishtirish.
4. Anemiyada eritrotsitlarning dastlabki biofizik holatini baholash va nurlanish bilan birgalikdagi ta’sirining mumkin bo‘lgan mexanizmlarini ko‘rsatish.

Materiallar va usullar

Tadqiqot sharhiy-tahliliy xarakterga ega. Manbalar PubMed Central, RSC Publishing, Frontiers, CyberLeninka, eLIBRARY, MDH va Markaziy Osiyo davlatlari ilmiy jurnallari hamda dissertatsiya repozitoriylaridan tanlab olindi. Qidiruv o‘zbek, rus va ingliz tillarida “eritrotsit”, “ionlovchi nurlanish”, “gamma-nurlanish”, “anemiya”, “temir tanqisligi”, “deformatsiyalanuvchanlik”, “osmotik mo‘rtlik”, “membrana” kalit so‘zlari va ularning birikmalari bo‘yicha olib borildi.

Tanlov mezonlari: (1) eritrotsitlarga ionlovchi yoki elektromagnit nurlanish ta’siri miqdoriy ko‘rsatkichlar bilan baholangan tadqiqotlar; (2) anemiyada eritrotsitlarning biofizik va membrana xossalari o‘rganilgan ishlar; (3) 2016–2025-yillarda nashr etilgan maqola va dissertatsiyalar. Mexanizmlarni tushuntirishda asos bo‘lib xizmat qiladigan klassik ishlar ham qo‘shimcha ravishda kiritildi [6, 13, 14]. Tahlil qilingan tadqiqotlarda qo‘llanilgan asosiy biofizik usullar quyidagilardan iborat:

- **Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM)** — eritrotsitlar shakli, chiziqli o‘lchamlari va yuzasidagi nanoshkala tuzilmalarni aniqlash [1].
- **Ikki nurli optik pinset** — alohida hujayrani cho‘zish orqali deformatsiyalanuvchanlik indeksini (DI) o‘lchash [8].
- **Atom-kuch mikroskopiyasi (AKM) va Raman spektroskopiyasi** — membrana yuzasining nanometr darajadagi notekisligi va gemoglobinning biokimyoviy “izi”ni baholash [9].
- **Yorug‘lik mikroskopiyasi va tasvir tahlili** — hujayra yuzasi (S), perimetri (P) va shakl parametri α ni hisoblash [2].
- **Osmotik mo‘rtlik testi** — turli konsentratsiyadagi tuz eritmalarida gemoliz darajasini o‘lchash va gemoliz egri chizig‘i qiyaligini tahlil qilish [3, 10].
- **Kislotali gemoliz eritrogrammasi** — eritrotsitlarning kimyoviy chidamliligini baholash [11].
- **Membrana o‘tkazuvchanligi va sorbsion qobiliyat** — mochevina eritmalarida gemoliz va metilen ko‘ki bo‘yog‘ining yutilishi bo‘yicha [4].
- **Agregatsiya va membrana yuza qovushqoqligi** — eritrotsitlarning viskoelastik xossalarini o‘lchash [12].
- **Malon dialdegidi (MDA) miqdori** — lipidlarning perekisli oksidlanishi markeri [3].

Natijalar va muhokama

Nurlanish ta’sirida eritrotsitlar shaklining o‘zgarishi eng aniq qayd etiladigan strukturaviy belgilardan biridir. T.E. Gogoleva va hammualliflar ko‘krak bezi saratoni tashxisi qo‘yilgan 7 nafar bemorning venoz qonini KMB-8 betatronida elektron nurlanish bilan uch fraksiyada (50, 100 va 150 Gy) nurlantirib, SEM yordamida o‘rganishgan [1]. Nurlantirishgacha qonda normal shakllar — diskotsitlar (29,9 %) va ovalotsitlar (28,6 %) ustun bo‘lgan. Har bir keyingi bosqichda dismorf shakllar (sferotsit, shizotsit, akantotsit, stomatotsit, exinotsit) soni ortgan. 100 va 150 Gy dan keyin diskotsitlar umuman aniqlanmagan, sferotsitlar ulushi esa 4,2 % dan 19,8 % gacha ko‘tarilgan [1].

Eritrotsitlarning o‘rtacha chiziqli o‘lchami dastlab 8,26 mkm bo‘lib, 50 va 100 Gy dan keyin mos ravishda 7,71 va 7,55 mkm gacha kichraygan, 150 Gy dan keyin esa 8,31 mkm gacha kattalashgan. Mualliflar buni gemolizdan oldingi qaytmas shakl - sferotsitlar va exinotsitlar ulushining ortishi bilan izohlaydi [1]. Ionlovchi nurlanish sutemizuvchilar qonida gematokrit ortishiga olib kelishi haqidagi ma’lumotlar ham shu natijaga mos keladi [15].

Past dozalar sohasida ham shakl o‘zgarishlari kuzatiladi. H. Badalyan va hammualliflar kalamush eritrotsitlarini ^{226}Ra manbasidan chiqqan gamma-nurlar bilan 35 mkZv/soat doza quvvatida nurlantirishgan; bu tabiiy fondan taxminan 200 marta yuqori [2]. 5 daqiqalik nurlanishdan keyin membrana qattiqlashgan, hujayra yuzasi 21,68 % ga, perimetri 14,06 % ga kamaygan. 15 daqiqadan keyin esa hujayra

yuzasi boshlang‘ich qiymatgacha qayta bo‘rtgan, perimetri 14,69 % ga ortgan, ammo membrana qattiqligi saqlangan [2]. Yuza va perimetr alohida olinganda hujayra holatini to‘liq tavsiflay olmagani uchun mualliflar α shakl parametrini taklif qilgan; 15 daqiqalik nurlanishda u 18 % ga kamaygan [2].

Ushbu natijalar eritrotsitlar javobining dozaga bog‘liq va nochiziqli ekanini ko‘rsatadi: hujayra avval suvsizlanib kichrayadi, keyin membrana yuzasidagi zaryadlar va o‘tkazuvchanlik o‘zgarishi hisobiga bo‘rtadi.

Eritrotsitning kapillyarlardan o‘tish qobiliyati uning deformatsiyalanuvchanligiga bog‘liq. Qattiqlashgan hujayra qon qovushqoqligini sezilarli oshiradi [2]. M.T. Inanc va hammualliflar sog‘lom donorlar eritrotsitlarini chiziqli tezlatkichda 2, 12 va 25 Gy dozalarda nurlantirib, ikki nurli optik pinset bilan o‘rganishgan [8]. Nazorat guruhida DI 0,33 ± 0,08 ni tashkil etgan. 2 va 12 Gy da statistik farq aniqlanmagan (mos ravishda 0,33 ± 0,08 va 0,31 ± 0,09), 25 Gy da esa DI 0,38 ± 0,11 gacha ortgan ($p = 0,0068$) [8]. Mualliflar buni lipidlar, yog‘ kislotalari va spektrin oqsilining qayta joylashuvi hamda membrana skeletining susayishi bilan izohlaydi. Shu bilan birga, 12 va 25 Gy da o‘rtacha eritrotsit gemoglobin konsentratsiyasi (MCHC) referens qiymatdan pastga tushgan [8].

Bu natija amaliy ahamiyatga ega, chunki transfuziya uchun qon mahsulotlarini nurlantirishda aynan 25 Gy tavsiya etiladi (15–50 Gy oralig‘ida) [8]. Gamma-nurlantirilgan inson eritrotsitlarida agregatsiya vaqti, membrana yuza qovushqoqligi va agregatlar o‘lchami o‘zgargani ham qayd etilgan; bu shikastlanish membrananing turli darajalariga ta’sir qilishini ko‘rsatadi [12].

AKM va Raman spektroskopiyasi yordamida 15, 25, 35 va 50 Gy dozalarda nurlantirilgan qon tahlil qilinganda, doza ortgan sari membrana yuzasidagi nanovezikulalar soni va o‘lchami ortgani aniqlangan. Membrana mo‘rtlashgan, ammo gemoglobinning biokimyoviy “izi” o‘zgarmagan [9]. Demak, dastlabki shikastlanish asosan membrana darajasida bo‘lib, gemoglobin molekulasi nisbatan barqaror qoladi.

Osmotik mo‘rtlik eritrotsit membranasi holatining eng ko‘p qo‘llaniladigan integral ko‘rsatkichidir. A.R. Khoshbin va hammualliflar ko‘krak bezi saratoni bilan kasallangan 17 nafar bemorda kimyoterapiyadan oldin, nur terapiyasidan oldin va undan keyin osmotik mo‘rtlik (OM) va plazmadagi MDA miqdorini o‘lchashgan; bemorlar ko‘krak devori va o‘mrov usti sohasiga 54 Gy standart protokol bo‘yicha nur olishgan [3]. OM uch bosqichda 0,52 dan 0,54 va 0,56 g/dl gacha, MDA esa 1,48 dan 1,60 va 1,88 ng/ml gacha ortgan, biroq farqlar statistik ahamiyatga ega bo‘lmagan ($p > 0,05$) [3].

Adabiyotdagi natijalar bir-biriga zid. Kalamushlarda butun tanani gamma-nurlantirishda MDA ortgani, ammo osmotik mo‘rtlik kamaygani qayd etilgan [13, 14]. Bu hodisa MDA ning membrana fosfolipidlari va oqsillarining aminoguruhlari bilan ko‘ndalang bog‘lar hosil qilib, membranani vaqtincha mustahkamlashi bilan izohlanadi [3]. Shu sababli faqat OM qiymatiga tayanish yetarli emas. T. Walski va hammualliflar osmotik xossalarni tavsiflash uchun kamida ikki parametr — OM qiymati va gemoliz egri chizig‘ining keskin ko‘tarilgan qismidagi qiyaligi zarurligini ko‘rsatishgan [10].

Membrana o‘tkazuvchanligi bo‘yicha in vivo ma’lumotlar ham mavjud. Radiatsiya foni yuqori hududda yashovchi yangi tug‘ilgan chaqaloqlar va 3–5 yoshli bolalarda eritrotsitlarning sorbsion qobiliyati 58,8–59,2 % ni tashkil etgan, tabiiy fondagi hududlardagi tengdoshlarida esa 37,1–37,6 % bo‘lgan [4]. Bu membrana tuzilishining surunkali past dozali nurlanishda ham buzilishini ko‘rsatadi.

Noionlovchi nurlanish turlari eritrotsitlarga turlicha ta’sir qiladi. O‘ta yuqori chastotali elektromagnit maydon eritrotsitlarning kislotali gemolizga chidamliligini pasaytirgan, past quvvatli geliy-neon lazeri esa qisqa ekspozitsiyada uni oshirgan; ikki omil birga qo‘llanilganda lazer UYuCh maydonining salbiy ta’sirini kamaytirgan [11]. Nazariy jihatdan nurlanishdan keyingi erta davrda eritrotsitlarning bo‘rtishi va kichrayishi membrana o‘tkazuvchanligi va diffuziya kinetikasining o‘zgarishi bilan bog‘langan hamda bu jarayonlar uchun “diffuzion diod” matematik modeli ishlab chiqilgan [16].

Nurlanishning eritrotsitlarga ta’sirida asosiy oraliq bosqich erkin radikallar hosil bo‘lishidir. Ionlovchi nurlanish qon hujayralarida erkin radikallar paydo qiladi; ular membranalar, oqsillar va retikulotsitlar DNKsini shikastlaydi, natijada moddalar almashinuvi buziladi, hujayra osmotik beqaror bo‘lib, lizisga uchrashi mumkin [1]. Erkin radikallar lipid membranaga yuqori moyillikka ega; shikastlangan lipid molekulalari dastlabki holatiga qiyin qaytadi va hujayra ichidagi ionlar almashinuvini buzadi [3].

Shikastlangan eritrotsitlar organizmdan eriptoz yo‘li bilan chiqariladi. Eriptoz hujayraning kichrayishi, membrananing pufakchalanishi va fosfatidilserinning hujayra yuzasiga chiqishi bilan tavsiflanadi; bu jarayonni oksidlanish stressi, Ca^{2+} ionlarining hujayraga kirishi va p38 kinazaning faollashuvi ishga tushiradi [5]. Kuchaygan eriptoz temir tanqisligi, o‘roqsimon hujayrali anemiya, beta-talassemiya, glyukoza-6-fosfatdegidrogenaza tanqisligi va boshqa holatlarda kuzatiladi [5]. Demak, nurlanish va anemiya eriptozning umumiy mexanizmlari - oksidlanish stressi va ion muvozanatining buzilishi orqali bir-birining ta’sirini kuchaytirishi mumkin.

Anemik qon eritrotsitlari nurlanishga “sog‘lom boshlang‘ich nuqta”dan emas, balki allaqachon o‘zgargan holatdan duch keladi. Klassik tadqiqotda parhez orqali temir tanqisligi chaqirilgan kalamushlarda eritrotsitlar deformatsiyalanuvchanligi tanqislik og‘irligiga mutanosib ravishda pasaygan; bu asosan membrana qattiqligi bilan bog‘liq bo‘lgan. Bunday eritrotsitlar H_2O_2 bilan inkubatsiya qilinganda nazoratga nisbatan ko‘proq MDA hosil qilgan [6]. Optik pinset yordamida temir tanqisligi anemiyasi bilan kasallangan 7 bemor va 11 sog‘lom donor eritrotsitlari solishtirilganda, bemorlarda hujayra qattiqligi ortgani va bu gemoglobin konsentratsiyasi bilan bog‘liqligi aniqlangan [17]. Anemiyaning turli shakllarida deformatsiyalanuvchanlik nazoratga nisbatan sezilarli pasaygani boshqa ishlarda ham tasdiqlangan [19].

Biroq 2025-yilda 120 nafar ishtirokchida mikrochip asosidagi qurilma bilan o‘tkazilgan tadqiqotda eritrotsitlar deformatsiyalanuvchanlik indeksi aynan temir tanqisligi va anemiya birga kelgan guruhda eng yuqori bo‘lgan [7]. Bu ziddiyat o‘lchash usullari (ektatsitometriya, optik pinset, mikrokanal) va bemorlar guruhining farqi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shuning uchun anemik eritrotsitlarda deformatsiyalanuvchanlikni kamida ikki xil usul bilan o‘lchash maqsadga muvofiq.

Temir tanqisligi anemiyasida eritrotsit membranasining lipid tarkibi ham o‘zgaradi: 53 nafar anemik va 42 nafar anemiyasiz ayollar solishtirilganda umumiy lipidlar va fosfolipidlar miqdorida sezilarli farqlar aniqlangan [18]. Gemolitik anemiyada esa membrana tuzilishi va lipidlarning perekisli oksidlanishi alohida o‘zgarishlarga ega ekani yangi tug‘ilgan chaqaloqlarda ko‘rsatilgan [20].

Yuqoridagi ma’lumotlar asosida quyidagi ilmiy farazni ilgari surish mumkin: anemik eritrotsitlarda membrana lipid tarkibi o‘zgargan, perekisli oksidlanishga moyillik yuqori va mexanik xossalar buzilgan. Shu sababli bir xil dozadagi nurlanish ularda sog‘lom hujayralarga nisbatan kuchliroq yoki boshqacha yo‘nalishdagi o‘zgarishlarni keltirib chiqarishi kutiladi. Tahlil qilingan manbalar orasida anemik qon eritrotsitlarini nurlanish ta’sirida bevosita solishtirgan tadqiqot topilmadi; bu mazkur yo‘nalishdagi asosiy ilmiy bo‘shliqdir.

Tahlil natijalariga ko‘ra, nurlanish ta’sirida anemik qon eritrotsitlarini o‘rganishda quyidagi ko‘rsatkichlar majmuasidan foydalanish tavsiya etiladi.

1-jadval.

Eritrotsitlarning asosiy biofizik ko‘rsatkichlari, ularning nurlanish va anemiyadagi o‘zgarishlari

Ko‘rsatkich	O‘lchash usuli	Nurlanish ta’sirida	Anemiyada
Shakl (morfologik turlar ulushi)	SEM, yorug‘lik mikroskopiyasi	Dismorf shakllar ortadi; 100–150 Gy da diskotsitlar yo‘qoladi [1]	Gemolitik anemiyada membrana tuzilishi o‘zgaradi [20]
O‘lcham va shakl parametri α	Tasvir tahlili	Dozaga bog‘liq kichrayish va qayta bo‘rtish; α 18 % gacha kamayadi [1, 2]	Ma’lumot yetarli emas
Deformatsiyalanuvchanlik indeksi	Optik pinset, ektatsitometriya, mikrokanal	25 Gy da ortadi, 2–12 Gy da o‘zgarmaydi [8]	Pasayadi [6, 17, 19] yoki ortadi [7]
Membrana nanotuzilishi	AKM, Raman spektroskopiyasi	Nanovezikulalar dozaga mutanosib ortadi [9]	Ma’lumot yetarli emas
Osmotik mo‘rtlik	Tuz eritmalarida gemoliz	Ortish tendensiyasi [3] yoki kamayish [13, 14]	Egri chiziq qiyaligi bilan birga baholash zarur [10]
Membrana o‘tkazuvchanligi va sorbsiya	Mochevinada gemoliz, metilen ko‘ki	Sorbsion qobiliyat ~37 % dan ~59 % gacha ortadi [4]	Lipid tarkibi o‘zgaradi [18]
Lipidlarning perekisli oksidlanishi	MDA miqdori	Ortish tendensiyasi [3, 13]	Oksidlanishga moyillik yuqori [6]
Agregatsiya va yuza qovushqoqligi	Viskoelastik o‘lchovlar	O‘zgaradi [12]	Ma’lumot yetarli emas

Xulosa

O‘tkazilgan tahlil asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Ionlovchi nurlanish eritrotsitlarda dozaga bog‘liq strukturaviy o‘zgarishlarni keltirib chiqaradi: dismorf shakllar, ayniqsa sferotsitlar ulushi ortadi, hujayra o‘lchami nochiziqli o‘zgaradi, membrana yuzasida nanovezikulalar paydo bo‘ladi. Past dozalarda ham membrana qattiqlashuvi va shakl parametrining kamayishi kuzatiladi.

2. Funksional ko‘rsatkichlar orasida deformatsiyalanuvchanlik, osmotik mo‘rtlik va membrana o‘tkazuvchanligi eng sezgir hisoblanadi. Biroq ularning o‘zgarish yo‘nalishi doza, nurlanish turi va o‘lchash usuliga bog‘liq, shuning uchun bitta ko‘rsatkich hujayra holatini to‘liq tavsiflay olmaydi.

3. Lipidlarning perekisli oksidlanishi nurlanish va anemiyani bog‘lovchi umumiy mexanizm hisoblanadi. MDA ning ortishi membranani shikastlashi bilan birga, ko‘ndalang bog‘lar hisobiga vaqtincha mustahkamlashi ham mumkin; bu osmotik mo‘rtlik bo‘yicha ziddiyatli natijalarni izohlaydi.

4. Temir tanqisligi anemiyasida eritrotsitlarning lipid tarkibi, mexanik xossalari va oksidlanishga moyilligi dastlabki holatdayoq o‘zgargan. Shu sababli anemik eritrotsitlarning nurlanishga javobi sog‘lom hujayralardan farq qilishi kutiladi, ammo bu masala bevosita eksperimental o‘rganilmagan.

5. Anemik qon eritrotsitlarini nurlanish ta’sirida o‘rganish uchun morfometriya (SEM, α parametri), deformatsiyalanuvchanlik indeksi, osmotik mo‘rtlik va gemoliz egri chizig‘i qiyaligi, membrana o‘tkazuvchanligi hamda MDA miqdorini o‘z ichiga olgan kompleks ko‘rsatkichlar majmuasi taklif etiladi.

Amaliy tavsiyalar. Nur terapiyasi rejalashtirilayotgan anemiyali bemorlarda eritrotsitlarning biofizik ko‘rsatkichlarini davolashdan oldin va keyin baholash nurlanishning qon hujayralariga ta’sirini erta aniqlash imkonini beradi. Transfuziya uchun nurlantiriladigan qon mahsulotlarida, ayniqsa donor anemiyaga moyil bo‘lsa, deformatsiyalanuvchanlik va osmotik mo‘rtlikni nazorat qilish maqsadga

muvofiq. Kelgusi tadqiqotlarda sog‘lom va anemik qon eritrotsitlarini bir xil dozalar va bir xil usullar bilan parallel o‘rganish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Гоголева Т.Е., Мамаева С.Н., Рычков М.М., Максимов Г.В. Влияние электронного излучения на эритроциты крови в патологии // Письма в ЖТФ. – 2025. – Т. 51, вып. 18. – С. 8–12. – DOI: 10.61011/PJTF.2025.18.61079.7917. – URL
2. Badalyan H., Baghdasaryan N., Ohanyan K., Stepanyan M., Kishmiryan A. Dependence of erythrocyte shape parameter on the low dose γ-irradiation // Armenian Journal of Physics. – 2016. – Vol. 9, Issue 1. – P. 95–99. – URL
3. Khoshbin A.R., Mohamadabadi F., Vafaeian F., Babania A., Akbarian S., Khandozi R., Sadrebazaz M.A., Hatami E., Joshaghani H.R. The effect of radiotherapy and chemotherapy on osmotic fragility of red blood cells and plasma levels of malondialdehyde in patients with breast cancer // Reports of Practical Oncology and Radiotherapy. – 2015. – Vol. 20, No. 4. – P. 305–308. – DOI: 10.1016/j.rpor.2014.11.002. – URL
4. Indicators of sorption ability and permeability of erythrocyte membranes in children and newborns, living in the area of increased radiation background // Вестник Авиценны (Avicenna Bulletin). – 2019. – URL
5. Vaschenko V.I., Vil’yaninov V.N. Eryptosis (quasi-apoptosis) of human red blood cells. Its role in medicinal therapy // Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy. – 2019. – Vol. 17, No. 3. – P. 5–38. – DOI: 10.17816/RCF1735-38. – URL
6. Yip R., Mohandas N., Clark M.R., Jain S., Shohet S.B., Dallman P.R. Red cell membrane stiffness in iron deficiency // Blood. – 1983. – Vol. 62, No. 1. – P. 99–106. – URL
7. Kajitani K., Ohtani T., Higuchi R. et al. An on-chip deformability checker demonstrates that the severity of iron deficiency is associated with increased deformability of red blood cells // Scientific Reports. – 2025. – URL
8. Inanc M.T., Demirkan I., Ceylan C., Ozkan A., Gundogdu O., Goreke U., Gurkan U.A., Unlu M.B. Quantifying the influences of radiation therapy on deformability of human red blood cells by dual-beam optical tweezers // RSC Advances. – 2021. – Vol. 11. – P. 15519–15527. – DOI: 10.1039/d1ra01948a. – URL
9. Nano alterations of membrane structure on both γ-irradiated and stored human erythrocytes // International Journal of Radiation Biology. – 2017. – Vol. 93. – P. 1306–1311. – DOI: 10.1080/09553002.2017.1393581. – URL
10. Walski T., Chludzińska L., Komorowska M., Witkiewicz W. Individual osmotic fragility distribution: a new parameter for determination of the osmotic properties of human red blood cells // BioMed Research International. – 2014. – URL
11. Elancev A.B., Syaburyar D. Protective and damaging role of electromagnetic influences on biomembranes // International Journal of Biology and Chemistry. – 2017. – Vol. 10, No. 1. – P. 15–18. – DOI: 10.26577/2218-7979-2017-10-1-15-18. – URL
12. Estrada E., Castellini H., Acosta A., Di Tullio L., Borraz J., Chinellato A., Tack I. et al. Preliminary study of the effects of gamma radiations on human red blood cells // Anales (Asociación Física Argentina). – 2020. – URL
13. Kergonou J., Thiriot C., Braquet M., Ducousso R., Rocquet G. Influence of whole-body γ-irradiation upon rat erythrocyte: lipid peroxidation and osmotic fragility // Biochimie. – 1986. – Vol. 68, No. 2. – P. 311–318. – DOI: 10.1016/s0300-9084(86)80028-1.

14. Selim N.S., Desouky O., Ali S.M., Ibrahim I., Ashry H.A. Effect of gamma radiation on some biophysical properties of red blood cell membrane // Romanian Journal of Biophysics. – 2009. – Vol. 19. – P. 171–185.
15. Мамаева С.Н., Иванова С.М., Шутова В.В., Максимов Г.В. Исследование изменений состояния эритроцитов и плазмы крови обезьян при воздействии ионизирующего излучения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2022. – № 5 (104). – С. 86. – URL
16. Sargsyan H. On the influence of ionizing radiation on erythrocyte membrane permeability and the diffusion mechanisms of cell hydration // Xalqaro konferensiya ma'ruzasi. – Yerevan, IAPP NAS RA, 2025-yil 17-iyun. – URL
17. Impaired red cell deformability in iron deficient subjects // Clinical Hemorheology and Microcirculation. – 2009. – Vol. 43, No. 3. – P. 217–221. – DOI: 10.3233/CH-2009-1211. – URL
18. Sharma D.C., Hemkar N. Red cell membrane lipid composition in iron deficiency anemia // Indian Journal of Physiology and Pharmacology. – 1999. – Vol. 43, No. 1. – P. 114–116. – URL
19. Нагорнова П.В. Оценка реологических детерминант крови человека с анемиями различного генеза: магистерская диссертация. – Тюмень: ТюмГУ, 2021. – URL
20. Матвеев А.В. Структурные особенности эритроцитарной мембраны новорожденных в норме и при гемолитической анемии невыясненной этиологии: дис. … канд. мед. наук: 03.00.02 – Биофизика. – М., 2002. – 95 с. – URL