

## СТАН ГЕМОПОЕЗУ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РАДІОХВИЛЬ

С. Ф. Городецька, Г. Г. Лисина, М. Б. Рапопорт

*Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ;  
Київський інститут гігієни праці і профзахворювань*

В літературі є невелика кількість праць про вплив радіохвиль на гемопоетичну систему експериментальних тварин і людей, причому вони часом містять суперечливі дані й висновки. Якщо, на думку одних, переважно зарубіжних авторів, електромагнітні хвилі (СВЧ-поля) не викликають змін у морфологічному складі крові і органах гемопоезу, то, за даними багатьох інших дослідників [1—7], в органах кровотворення відбуваються деякі зміни.

Дуже важливою є оцінка впливу на кровотворну систему різних діапазонів і величин щільності потоку потужності, дробних впливів і одноразового, що відповідає сумі дробних інтенсивностей.

Наше дослідження присвячене вивченню морфологічного складу периферичної крові, а також структурних змін в органах кровотворення під впливом електромагнітних полів радіочастот.

### Методика досліджень

Досліди проведені в чотирьох серіях на десяти кроликах обох статей породи шиншила, вагою від 2000 до 2500 г і на 50 білих безпородних мишах, вагою 18—20 г.

Кролики першої серії зазнали одноразового впливу електромагнітного поля НВЧ з щільністю потоку, потужності (ЩПП) — 400 і 700 мвт/см<sup>2</sup>. Тварин другої серії опромінювали по 100 мвт/см<sup>2</sup> протягом семи днів. Діапазон в обох серіях — 12 см, експозиція — 30 хв. Мишей поділили на дві групи. Мишей першої групи опромінювали електромагнітними хвилями з ЩПП 100 мвт/см<sup>2</sup>, другої — дробно протягом п'яти днів по 20 мвт/см<sup>2</sup> в трисантиметровому діапазоні.

Джерелом енергії НВЧ-поля 12 см діапазону був терапевтичний мікрохвильовий апарат трисантиметрового діапазону — магнетронний генератор, що працює в імпульсному режимі з тривалістю імпульсу 1 м/сек і частотою проходження імпульсів 557 гц. ЩПП вимірювали з допомогою вимірника потужності типу НС-1 «Медик» (В. І. Мирутенко).

Кров у тварини досліджували три-чотири рази до початку впливу НВЧ-поля і повторно на першій, сьомій, 15-й, 30-й дні після опромінення.

### Результати досліджень

При одноразовому впливі на кроликів 700 мвт/см<sup>2</sup> відразу після опромінення спостерігалось збільшення кількості гемоглобіну (у середньому від 61 до 70 г%) і числа еритроцитів (від 4,86 до 5,59 млн). Загальна кількість лейкоцитів також збільшилась (від 10 590 до 12 300). Виражені зрушення спостерігались щодо співвідношення окремих елементів білої крові. Збільшилась кількість нейтрофільних лейкоцитів майже вдвоє (у середньому від 33 до 58%), число лімфоцитів зменшилось більш як у два рази (від 65 до 31%).

Щодо кількості ретикулоцитів чітких змін встановити не вдалось, спостерігалась лише тенденція до деякого зменшення їх кількості.

На другу добу після опромінення показники гемоглобіну залишались на такому ж рівні. Число еритроцитів зменшилось на 300 тис (5,59—4,89 млн) і відновилося до вихідного рівня. При цьому різко зменшилась кількість лейкоцитів Ж (від 12 300 до 7000), а співвідношення елементів білої крові мало ту саму спрямованість. На десяту добу спостерігалось різке зменшення вмісту гемоглобіну (до 47%) і кількості еритроцитів (до 3,03 млн). Число лейкоцитів збільшувалось (від 12 до 18 тис). У лейкоцитарній формулі зберігались зміни, характерні для перших днів спостереження. Кількість тромбоцитів у цей строк значно зменшувалась. На двадцяту добу після опромінення були відзначені найнижчі показники гемоглобіну і еритроцитів та найвищий лейкоцитоз. Через два місяці відзначено відновлення вмісту гемоглобіну, кількості лейкоцитів, тромбоцитів; кількість еритроцитів залишалась низькою (3 млн).

Виявлений відразу після опромінення підвищений вміст еритроцитів з базофільною зернистістю (15:10 000) і поліхроматофілів (++++) зберігався ще досить часто протягом двох місяців після опромінення.

Одноразове опромінення кроликів 400 мвт/см<sup>2</sup> не давало чітких змін у вмісті гемоглобіну і еритроцитів, спостерігалась лише тенденція до їх зменшення тоді як кількість ретикулоцитів і тромбоцитів чітко збільшувалась (відповідно у середньому від 4,0 до 6,6% і від 302 100 до 590 000). Кількість лейкоцитів при цьому значно знижувалась (від 11 000 до 8 400). Співвідношення окремих елементів білої крові залишалось без змін щодо вихідних даних.

На другий день після опромінення 400 мвт/см<sup>2</sup> у піддослідних тварин виявлено значне зменшення вмісту еритроцитів (у середньому від 5 380 000 до 3 775 000) і гемоглобіну (від 70 до 60%), збільшувалась кількість ретикулоцитів і еритроцитів з базофільною зернистістю. На десяту добу з'являвся виражений лейкоцитоз з перерозподілом клітинних елементів у бік збільшення сегментоядерних нейтрофілів і зменшення лімфоцитів.

Через місяць після опромінення вміст еритроцитів збільшувався у середньому до 4,6 млн, проте не досягав вихідного рівня, кількість ретикулоцитів нормалізувалась, базофільна пунктація траплялась вкрай рідко. Кількість тромбоцитів і лейкоцитів визначали вище вихідного рівня. У лейкоцитарній формулі наставала повна нормалізація.

Отже, одноразові впливи великої інтенсивності (700 і 400 мвт/см<sup>2</sup>) викликали односпрямовані зміни з дещо більш чітко вираженими зрушеннями при більш значній інтенсивності опромінення.

Кроликів другої серії опромінювали дробними дозами (протягом семи днів по 100 мвт/см<sup>2</sup>), що в сумі становило 700 мвт/см<sup>2</sup>. Протягом місяця спостережень було проведено повторне опромінення при аналогічних умовах досліду.

Результати першого і повторного «дробного» опромінення наведені в табл. 1 (середні дані).

Як видно з наведених у табл. 1 даних, зміни вмісту гемоглобіну і еритроцитів при дробному опроміненні були виражені менш чітко, ніж при одноразовому впливі високої інтенсивності.

Вміст ретикулоцитів у цій серії дослідів збільшився відразу після опромінення, але вже через місяць спостерігалась його нормалізація. Скороминущі зміни були виявлені і в динаміці лейкоцитів. Відразу після опромінення спостерігалось чітке зменшення їх (у середньому від 8000 до 6800) з дальшим незначним збільшенням, а наприкінці

місяця досліджу — відновлення до вихідного рівня. У лейкоцитарній формулі закономірне збільшення проценту нейтрофілів і зниження вмісту лімфоцитів виявлялись лише відразу після опромінення. Щодо вмісту тромбоцитів, то відзначена лише тенденція до зменшення їх кількості.

Таблиця 1

Стан гемопоезу при дробному опроміненні

Показники	До опромінення	Після опромінення									
		1		7		14		21		30	
		Перше	Повторне	Перше	Повторне	Перше	Повторне	Перше	Повторне	Перше	Повторне
Еритроцити (млн)	4,95	4,5	4,7	5,4	6,8	4,5	—	4,85	5,5	4,2	5,8
Гемоглобін (г%)	67,5	63	68	64	75	64	—	68	74	66	78
Ретикулоцити (%)	2,9	4,8	6,1	2,2	—	—	—	—	—	4,4	3,8
Базофільно-пунктировані еритроцити на 10 000	0	10	25	30	35	—	—	30	—	28	20
Лейкоцити (тис)	8,0	6,8	7,1	9,7	10,7	9,9	—	9,3	9,1	8,0	11
Сегментоядерні нейтрофіли (%)	29,5	40	12	24	15	—	—	12	17	28	18
Лімфоцити (%)	67	51	82	66	79	—	—	77	79	69	75
Тромбоцити	186,2	145,3	272,6	376	—	—	—	—	—	302,4	382

При повторному дробному опроміненні цих самих кроликів (через місяць) чіткі зміни у складі червоної крові виявились лише через сім днів після останнього опромінення. Кількість еритроцитів збільшувалась від 4,95 до 6,78 млн, а вміст гемоглобіну — від 67 до 75 г%. Значно збільшилась кількість ретикулоцитів (від 2,9 до 6,1%). Кількість лейкоцитів у першу добу проявляла тенденцію до зменшення, а на сьому добу — значно збільшувалась (у середньому до 10 700) і зберігалась на цьому ж рівні протягом місяця після повторного опромінення. У співвідношенні окремих видів лейкоцитів чітких зрушень не виявлено.

Під впливом одноразових великих інтенсивностей і дробних доз зміни кількості еритроцитів і лейкоцитів були протилежної фазної направленості. Щодо якісних, цитологічних змін елементів білої крові, то вони виявлялись у кроликів (в невеликій кількості — 3—4 : 100) і до впливу НВЧ-поля. Це, насамперед, стосується двоядерних лімфоцитів. Проте, після опромінення вони траплялись значно частіше (12—15 : 100); водночас у значній кількості виявлялись широкоплазмені лімфоцити і клітини з вакуолізацією ядер і протоплазми.

Особливий інтерес становлять дані про поліхромазію і появу після опромінення базофільно-зернистих еритроцитів. Після опромінення як одноразово великими, так і дробними дозами кількість поліхроматофілів у крові значно збільшувалась: від + до +++++. Максимальна кількість базофільно пунктированих еритроцитів відзначена на 21-й день і виявлялася ще через місяць після опромінення. Появу цих клітин, видимо, слід розцінювати, як преданемічний стан, спостережуваний нами під впливом великих інтенсивностей електромагнітного поля НВЧ.

Дані про зміну складу крові мишей, опромінених ЩПП  $20 \text{ мвт/см}^2$  наведені, в табл. 2.

Після одного сеансу опромінення відзначена невелика реакція — зменшення кількості еритроцитів від  $9\,590\,000 \pm 0,23$  до  $8\,890\,000 \pm 0,2$ . Проте в міру дальшого спостереження, до двох місяців, відмінностей від контрольної серії не виявлено ( $9\,620\,000 \pm 0,14$ ), видимо, внаслідок адаптації тварин до цього виду впливу. Реакції з боку гемоглобіну встановити не вдалось.

Таблиця 2

Зміни складу крові мишей, підданих дії  $20 \text{ мвт/см}^2$  у різні строки після опромінення

Показники	Вихідні дані	Після опромінення				
		1	7	15	21	30
Еритроцити	$9,59 \pm 0,23$	$8,89 \pm 0,2$	$9,09 \pm 0,13$	$9,11 \pm 0,14$	$9,25 \pm 0,2$	$9,46 \pm 0,1$
Гемоглобін	$85 \pm 2,34$	$82 \pm 6,03$	$83 \pm 1,65$	$83 \pm 0,01$	$84 \pm 1,18$	$85 \pm 1,12$
Лейкоцити	$12,9 \pm 0,2$	$11,36 \pm 0,99$	$11,40 \pm 0,42$	$11,85 \pm 0,99$	$11,54 \pm 0,98$	$12,70 \pm 0,64$
Еритроцити	$9,42 \pm 0,06$	$9,52 \pm 0,1$	$9,61 \pm 0,1$	$9,65 \pm 0,14$	$9,62 \pm 0,14$	
Гемоглобін	$85 \pm 1,26$	$86 \pm 1,1$	$86 \pm 1,1$	$86 \pm 1,34$	$86 \pm 1,22$	
Лейкоцити	$13,36 \pm 0,45$	$12,89 \pm 0,45$	$12,97 \pm 0,41$	$12,93 \pm 1,6$	$13,00 \pm 0,51$	

У зміні кількості лейкоцитів відзначена деяка тенденція до зменшення їх напочатку спостереження від  $12\,900 \pm 0,2$  до  $11\,360 \pm 0,99$ . На 30-у добу спостерігалось повне відновлення до вихідних величин ( $12\,700 \pm 0,62$ ). Проте, слід сказати, що у окремих тварин (у п'яти) відзначено зниження кількості лейкоцитів на 1000 елементів (швидким відновленням до вихідних показників). Водночас виявлявся (у десяти мишей) також скороминущий лейкоцитоз (від  $13\,200$  до  $16\,980$ ).

При підрахуванні лейкоцитарної формули вдалось встановити спочатку невелике зменшення вмісту лімфоцитів і еозинофілів; при дальших дослідженнях співвідношення елементів білої крові було нормальним.

Водночас одноразовий вплив з високою щільністю потоку потужності радіохвиль викликав у першу добу збільшення кількості еритроцитів і гемоглобіну, зменшення вмісту лейкоцитів, зміну нормального співвідношення нейтрофілів і лімфоцитів, а починаючи з десятого дня після опромінення розвивалася анемія з ретикулоцитопенією, особливо виражена на 20-у добу, при цьому відзначався різкий лейкоцитоз ( $23\,300$ ), який тривав протягом місяця.

Дробне опромінення викликало менш виражені зміни у складі крові, а при повторному дробному впливі спостерігались зміни червоної крові у бік збільшення кількості еритроцитів, гемоглобіну, ретикулоцитів, лейкоцитів.

При опроміненні мишей у дозі  $20 \text{ мвт/см}^2$  зміни картини крові були неістотні і скороминущі.

Можна було припустити, що механізм змін складу крові у тварин, опромінених з різною ЩПП, а також при одноразовому впливі великих інтенсивностей і «дробних» опроміненнях різний.

Для з'ясування причин виникнення описаних змін гемопоезу вивчали патоморфологічні зміни кісткового мозку і селезінки.

При макроскопічному дослідженні кісткового мозку (в області середньої третини стегна) і селезінки (в області середньої її частини) у піддослідних мишей після одноразового впливу електромагнітних радіохвиль НВЧ-поля з ЩПП  $100 \text{ мвт/см}^2$  і дробним п'ятиразовим опроміненням з ЩПП  $20 \text{ мвт/см}^2$  (сумарна доза  $100 \text{ мвт/см}^2$ ), забитих через

добу після опромінення, істотної різниці не встановлено. Кістковий мозок у тварин обох груп, так само як і у контрольних мишей зберігав рожево-червоне забарвлення і кашцеподібну консистенцію.

Селезінка за розмірами і вагою не відрізнялась від контрольної, поверхня її була гладкою, на розрізі пульпа — ясно-вишневою.

Істотної різниці в мікроскопічних змінах в органах кровотворення піддослідних мишей при одноразовому опроміненні з ЩПП  $100 \text{ мвт/см}^2$  і багаторазовому опроміненні  $20 \text{ мвт/см}^2$  при сумарній дозі  $100 \text{ мвт/см}^2$ , встановити не вдалось. У тварин обох груп вони були незначними, відрізняючись лише за ступенем вираженості. У тварин першої групи одноразово опромінені, вони були більш виразні, ніж у мишей, які зазнали багаторазового впливу з інтенсивністю опромінення  $20 \text{ мвт/см}^2$ . Тому мікроскопічні зміни кровотворних органів мишей обох груп наведені щодо тварин обох груп.

У кістковому мозку виявлена виражена повнокровність синусоїдних судин, лише зрідка виявлялись крововиливи і невеликі ділянки набряку і плазматичного просочування. Клітинні елементи в основному зберігали свою структуру і правильне розташування. Лише де-не-де невелика частина молодих клітин червоного і білого ряду перебуває у стані набрякання, в поодиноких клітинах відзначені ознаки некробіозу, каріопікнозу або каріорексису, мегакаріоцити з набряклом цитоплазмою. Найбільш стійкими виявились ретикулярні клітини, проте в цитоплазмі деяких із них виявлені бурі гранули гемосидерину.

У селезінці відзначена повнокровність, особливо венозних синусів. Нерідко виявлявся набряк фолікулів, особливо часто поблизу центральних артерій. У центральних частинах фолікулів відзначений набряк і розпад деяких, переважно малих лімфоцитів. Нерідко траплялись мегакаріоцити з набряклом цитоплазмою, макрофаги з поглинутими частинками клітин або брилками гемосидерину. Виявлені ділянки, де клітини інтерфолікулярної тканини виявились розсунутими набряклом рідиною і розташованими на значній відстані один від одного.

Отже, при впливі на організм магнітних радіохвиль НВЧ-поля з ЩПП  $100 \text{ мвт/см}^2$  в органах кровотворення настають незначно виражені морфологічні зміни, що полягають у порушеннях кровообігу, набряканні і загибелі деяких кровотворних елементів, що може призвести до розладів фізіологічної регенерації крові. При п'ятиразовому впливі магнітних радіохвиль НВЧ з ЩПП  $20 \text{ мвт/см}^2$  морфологічні зміни в органах кровотворення мало відрізняються від виявлених у тварин першої групи. Незначні зміни в органах кровотворення, видимо, відбивають великі адаптаційні можливості організму.

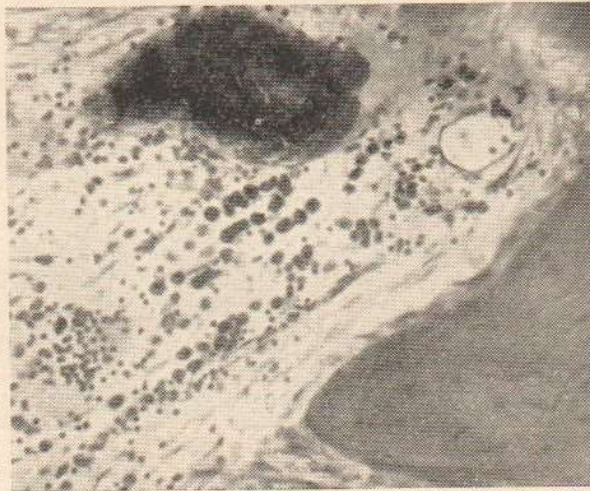


Рис. 1. Осередки некрозу в кістковому мозку стегна кролика при одноразовому впливі НВЧ інтенсивністю  $700 \text{ мвт/см}^2$ .

Гематоксилін-еозин.  $\times 200$ .

У мишей, забитих через місяць після останнього сеансу опромінення, органи кровотворення мають таку саму структуру, як і у контрольних тварин.

При збільшенні ЩПП до  $700 \text{ мвт/см}^2$  морфологічні зміни в органах гемопоезу кроликів значно збільшуються. Кістковий мозок стегна стає набряклим, синусоїди повнокровними. Відзначається розпад клітин червоного і білого ростка, з'являються осередки некрозу (рис. 1), в зв'язку з чим виникає посилена еритрофагія і гемосидероз клітин



Рис. 2. Надлишкове відкладення гемосидерину в селезінці кролика після одноразового опромінення НВЧ інтенсивністю  $700 \text{ мвт/см}^2$ .

Гематоксилін-еозин,  $\times 120$ .

кісткового мозку і селезінки (рис. 2). Утруднюються процеси нормальної диференцировки клітин крові, відносно збільшується кількість ретикулярних клітин.

Характер змін у селезінці аналогічний тому, який відзначається у кістковому мозку. Спостерігається повнокровність інтерфолікулярної тканини органа, загибель окремих дрібних лімфоцитів, спочатку по периферії, а потім розташованих ближче до центральних артерій фолікулів. У ретикулярних клітинах виявляється вели-

ка кількість чорнобурих брилок гемосидерину.

З часом у кістковому мозку з'являються осередки порушеного гемопоезу, а в селезінці наростають ознаки фіброзу і атрофії фолікулів.

При семиразовому впливі елекромагнітних радіохвиль НВЧ з ЩПП  $100 \text{ мвт/см}^2$  морфологічні зміни в кістковому мозку і селезінці піддослідних кроликів виражені менше, ніж при одноразовому опроміненні НВЧ з ЩПП  $700 \text{ мвт/см}^2$ .

Тут значно рідкіше трапляються осередки некрозу, меншою мірою виражений гемосидероз. Розлади кровообігу і набряк зберігаються, як і в попередній групі дослідів.

У селезінці більшою мірою виражені ознаки фіброзу, ніж у піддослідних тварин, опромінених одноразово  $700 \text{ мвт/см}^2$ . Розлади кровообігу і відкладення гемосидерину в ретикулярних клітинах виражені слабкіше ніж у тварин попередньої групи.

Резюмуючи одержані дані, слід відзначити, що морфологічний склад крові, а також патоморфологічна картина кровотворних органів білих мишей і кроликів були різними залежно від інтенсивності і строків опромінення.

Невеликі зміни і швидке відновлення складу крові після опромінення при наявності незначних патоморфологічних порушень свідчать про те, що ці зрушення, спостережувані при опроміненні мишей  $20 \text{ мвт/см}^2$  і дробному опроміненні кроликів по  $100 \text{ мвт/см}^2$ , були перерозподільчого характеру.

Щодо змін у кровотворенні тварин, опромінених одноразово вели-

кими дозами ЩПП  $700 \text{ мвт/см}^2$ , вони, видимо, зумовлені морфологічними порушеннями, що настають у кровотворних органах з появою осередків порушеного гемопоэзу в кістковому мозку і ознак фіброзу і атрофії фолікулів селезінки.

Проте компенсаторні можливості кровотворних органів досить великі, так що через деякий необхідний час після припинення опромінення спостерігалось поступове відновлення функції кровотворення і нормалізація периферичного складу крові.

#### Література

1. Гембицкий Е. К.—В кн.: Гигиена труда и биол. действие электромагнитных полей радиочастот, М., 1963.
2. Кеворкян А. А.—Гигиена и санитария, 1948, 4, 26.
3. Соколов В. В., Ариевич М. И.—В кн.: О биол. действии СВЧ сверхвысоких частот, М., 1960, 43.
4. Шурьян И. М.—В сб.: Матер. научн. конфер. по биофизике и механизму действия ионизир. радиации, К., Изд-во АН УССР, 1950, 210.
5. Deichmann W.—Toxic. Appl. Pharmacol., 1964, 6, 71.
6. Hawland J., Michaelson S.—Industr. Med. Surg., 1964, 33, 500.
7. Michaelson S.—Aerospace Med., 1964, 35, 824.

Надійшла до редакції  
1.VII 1968 р.

### СОСТОЯНИЕ ГЕМОПОЭЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАДИОВОЛН

С. Ф. Городецкая, Г. Г. Лысина, М. Б. Раппопорт

*Институт физиологии им. А. А. Богомольца АН УССР, Киев;  
Киевский институт гигиены труда и профзаболеваний*

#### Резюме

Настоящее исследование посвящено изучению морфологического состава периферической крови, а также структурных изменений в органах кроветворения кроликов при однократном воздействии электромагнитных полей СВЧ с плотностью потока мощности ППМ— $400 \text{ мвт/см}^2$  и  $700 \text{ мвт/см}^2$  и многократном облучении по  $100 \text{ мвт/см}^2$ , диапазон в обеих сериях 12 см, экспозиция 30 мин.

Для патоморфологических исследований использованы кролики, а также белые беспородные мыши, облучавшиеся  $100 \text{ мвт/см}^2$  в трисантиметровом диапазоне и дробно пять дней по  $20 \text{ мвт/см}^2$ .

Одноразовое воздействие СВЧ-поля с высокой плотностью потока мощности радиоволн вызывает в первые сутки увеличение количества эритроцитов и гемоглобина, уменьшение числа лейкоцитов, изменение нормального соотношения нейтрофилов и лимфоцитов, а, начиная с десятого дня после облучения, развивается анемия с ретикулоцитопенией, особенно выраженная на двадцатые сутки, и лейкоцитоз. Дробное облучение вызывает менее выраженные изменения в составе крови, а повторные дробные воздействия приводят к изменениям красной крови в сторону увеличения количества эритроцитов, гемоглобина, ретикулоцитов. Эти данные подтверждены патоморфологическими исследованиями кровотворных органов.

### STATE OF HEMOPOIESIS UNDER THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC WAVES

S. F. Gorodetskaya, G. G. Lysina, M. B. Rappoport

*The A. A. Bogomoletz Institute of Physiology, Academy of Sciences, Ukrainian SSR,  
Kiev, Institute of Labour Hygiene and Professional Diseases, Kiev*

#### Summary

Studying the morphological composition of peripheral blood is presented as well as the structural changes in organs of blood formation of rabbits with effect of electromagnetic fields of SHF.

Single effect of SHF field with density of radiowave power flux provokes the increase of erythrocyte count and hemoglobin, the decrease of leucocyte count, change of the normal ratio of neutrophiles and lymphocytes in the first day and beginning with the 10th day after irradiation anemia with reticulocytopenia develops which is especially pronounced on the 20th day as well as leucocytosis.

Fractional irradiation provokes less pronounced changes in blood composition and repeated fractional effects cause changes of red blood increasing the erythrocyte count, as well as hemoglobin and reticulocytes. These data are confirmed by the pathomorphological investigations of the blood-forming organs.