

ДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ РАДІАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПЕРСОНАЛУ НА ОБ'ЄКТАХ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

© 2010 **І. П. Дрозд¹, А. І. Липська¹, М. Ю. Гридчук²**

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

² *Територіальне медичне об'єднання "Лівобережне" МОЗ України, Київ*

Проаналізовано сучасний стан управління безпекою персоналу, який працює з ядерними матеріалами та іншими джерелами іонізуючих випромінень. Указано на недоліки, що наявні в діючій системі радіаційного захисту та необхідність її удосконалення на принципово новій концептуальній основі, що базується на врахуванні індивідуальної радіочутливості людини при доборі персоналу для виконання радіаційно небезпечних робіт. Обґрунтовано принципову можливість оцінки індивідуальної радіочутливості, перелік необхідних для цього медико-біологічних показників та запропоновано сучасну неінвазивну експрес-методику для їхнього отримання.

Ключові слова: радіаційний захист, управління безпекою, радіочутливість, навантажувальні тести, система кровообігу, вегетативний гомеостаз.

Вступ

Основними принципами радіаційного захисту є пріоритет захисту людини та навколишнього природного середовища від впливу іонізуючого випромінювання, а також заборона будь-якої діяльності, результатом якої є прогнозований більший негативний вплив на майбутні покоління, ніж той, що допускається для нинішнього покоління. Ці принципи покладено в основу управління безпекою персоналу об'єктів атомної енергетики, промисловості та інших осіб, професійна діяльність, умови проживання, тимчасового перебування, лікування яких пов'язані з дією техногенних чи техногенно підсилених джерел іонізуючих випромінень (ДІВ). Водночас світовий та вітчизняний досвід широкого використання ядерних матеріалів (ЯМ) та ДІВ в економічній діяльності свідчить про те, що існуюча методологія управління радіаційною безпекою потребує подальшого удосконалення. Очевидно, найефективніше мінімізувати шкоду для здоров'я при дії іонізуючої радіації можливо лише допускаючи до виконання радіаційно-небезпечних робіт радіорезистентних осіб. У зв'язку з цим проблема визначення індивідуальної радіочутливості (особливо в прогнозованому контексті) набула особливої актуальності й пріоритетності. Найважливішими аспектами цієї проблеми є виявлення факторів, які визначають індивідуальні особливості реакції організму на опромінення та дослідження механізмів, що контролюють формування радіочутливості. Урахування індивідуальної радіочутливості людини є актуальним у багатьох аспектах, починаючи з комплектування спеціалізованих військових та воєнізованих підрозділів, призначених для виконання спеціальних завдань у випадку можливого застосування потенційним противником чи терористами ядерної зброї (ра-

діаційна розвідка, загони термінового реагування тощо) та техногенних ядерних аварій (спеціальні підрозділи Міністерства надзвичайних ситуацій України) і закінчуючи професійним добором персоналу для виконання робіт із ЯМ та іншими ДІВ. На сьогодні радіобіологами, медиками, генетиками та фахівцями в галузі радіаційного захисту ведеться широкий науковий пошук у плані вирішення цієї проблеми [1 - 7]. Пошуки ведуться за активністю клітинного й гуморального імунітету, діяльністю регуляторних систем, цитогенетичними характеристиками клітин крові та іншими показниками. Однак хоча деякі з цих досліджень дали позитивні результати, завдяки методичним труднощам вони ще далекі від свого завершення.

Наукове обґрунтування показників, здатних характеризувати індивідуальну радіочутливість, які можна отримати експресним неінвазивним методом, є важливим кроком у напрямку вирішення поставленої задачі.

Аналіз існуючих методів управління радіаційною безпекою

Управління безпекою персоналу, що зазнає професійного опромінення джерелами іонізуючих випромінень полягає у забезпеченні протирадіаційного захисту, який базується на сукупності радіаційно-гігієнічних, проектно-конструкторських, технічних та організаційних заходів, спрямованих на дотримання вимог радіаційної безпеки в частині обмеження та мінімізації опромінення персоналу й радіоактивного забруднення навколишнього середовища при проектуванні, будівництві, експлуатації та технічному обслуговуванні об'єктів та установок, які містять ЯМ та/або ДІВ. При цьому для забезпечення радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту керуються такими основними принципами: [8]

будь-яка *практична діяльність*, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не приносить більшої *користі* опроміненню особам або суспільству в цілому в порівнянні зі *шкодою*, яку вона завдає, - **принцип виправданості**;

опромінення окремих осіб від усіх джерел та видів діяльності в підсумку не повинно перевищувати встановлених *лімітів доз* - **принцип неперевищення**;

величина індивідуальних доз, кількість осіб, які опромінюються, та ймовірність опромінення від будь-якого з видів іонізуючого випромінювання повинні бути найнижчими з тих, що їх можна практично досягти, враховуючи економічні і соціальні фактори, - **принцип ALARA** (As Low As Reasonably Achievable).

Однак слід зауважити, що у практичній діяльності застосовують переважно другий принцип (неперевищення). Про причини обмеженого застосування двох інших принципів йтиметься нижче.

В основу принципу неперевищення покладено дотримання лімітів доз та допустимих рівнів, регламентованих для різних категорій опромінюваних осіб у державних гігієнічних нормах "Норми радіаційної безпеки України" НРБУ-97/Д-2000 (НРБУ) [8], санітарно-гігієнічних вимог до організації та виконання робіт з ДІВ, дотримання допустимих рівнів радіоактивного забруднення тіла, одягу та робочих поверхонь, інших радіаційно-гігієнічних вимог, відображених в "Основних санітарних правилах забезпечення радіаційної безпеки України" (ОСПУ) [9]. Крім цього, ОСПУ обмежують доступ до роботи з ДІВ за медичними протипоказаннями, перелік яких наведено в [10].

Управління безпекою персоналу на об'єктовому рівні

Суть управління ядерною та радіаційною безпекою на рівні експлуатуючої організації полягає в:

організації роботи з безумовним дотриманням діючих в Україні норм і правил ядерної та радіаційної безпеки, санітарних правил поведінки з ЯМ та ДІВ, виконанні вимог ядерного законодавства, ліцензійних вимог;

зонуванні робочих приміщень та прилеглих територій за рівнями дії радіаційного фактора;

організації проведення індивідуальної дозиметрії персоналу та документування індивідуальних ефективних доз опромінення;

уведенні контрольних рівнів опромінення із застосуванням принципу ALARA для кожної з категорій персоналу;

організації постійного та/чи періодичного контролю параметрів радіаційної обстановки робо-

чих зон, санітарно-захисної зони, зони спостереження та їхнього документування у відповідності з вимогами НРБУ-97/Д-2000, ОСПУ та інших відомчих нормативних документів;

забезпеченні персоналу необхідними засобами колективного, індивідуального захисту та предметами особистої гігієни;

проведенні ефективного контролю виконання персоналом норм і правил ядерної та радіаційної безпеки; інших вимог; документуванні та усуненні виявлених порушень;

організації періодичного контролю за станом здоров'я персоналу;

забезпеченні якості проведення будь-яких робіт на об'єкті;

формуванні культури безпеки при виконанні робіт з ядерними матеріалами та/чи іншими ДІВ;

створенні, навчанні та періодичному тренуванні аварійних бригад;

постійному підвищенні рівня кваліфікації керівних та виробничих кадрів.

Вибір шляхів удосконалення існуючої методології

Виходячи з наведеного аналізу існуючої методології управління безпекою персоналу, задіяного на роботах з ЯМ та іншими ДІВ, можна окреслити шляхи її удосконалення. Вище нами було перелічено три основні принципи, якими керуються при забезпеченні радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту: неперевищення, виправданості та оптимізації (ALARA). Як було зазначено, наразі найдосконаліше опрацьовано питання, що стосуються застосування *принципу неперевищення*. Для ефективного застосування *принципу виправданості* вкрай необхідно офіційно затвердити методику оцінки вартості життя, що поки що в Україні не реалізовано, хоча відповідні наукові публікації існують [11, 12]. Значною мірою з цієї ж причини недостатньо розвинена в Україні методологія оптимізації професійного опромінення (*застосування принципу ALARA*). Недостатньо розвиненою є й відповідна методична база. Значний резерв удосконалення управління безпекою персоналу міститься в розвитку систем забезпечення якості на всіх етапах життєвого циклу ядерних установок і радіаційних технологій та формування культури безпеки.

Однак перераховані та будь-які інші заходи вдосконалення існуючої методології управління ядерною та радіаційною безпекою в діючих концептуальних рамках себе в основному вичерпали і можуть лише частково сприяти вирішенню поставленої задачі. Для переходу на якісно вищий ступінь управління безпекою персоналу необхід-

но застосувати концептуально новий підхід. Зауважимо, що всі нормативи, які наразі застосовуються в галузях, де застосовуються ядерні та радіаційні технології, установлені для усередненої, референтної людини. Між тим відомо, що у людини всі біологічні показники, очевидно, і ті, які обумовлюють індивідуальну радіочутливість, варіюють у широких межах і найчастіше розподіляються в популяції за нормальним законом. Тому значна частина (до 20 %) осіб, яких за діючими нормативами допускають до роботи з ЯМ та ДІВ, є радіочутливими й зазнають підвищених радіаційних ризиків, що призводить до інвалідації та передчасної смерті. Отже, перевести забезпечення персоналу на якісно новий рівень дозволить саме врахування індивідуальної резистентності людини до дії іонізуючих випромінень при професійному доборі.

Наукове обґрунтування можливості оцінки індивідуальної радіочутливості людини

У загальнобіологічному плані питання пристосування організмів до умов навколишнього середовища, що змінюються, в основному вирішене в теорії природного відбору, однак конкретні механізми пристосування до цього часу є предметом наукової дискусії. Вважається, що пристосування здійснюється шляхом розвитку адаптаційних реакцій, ступінь прояву яких визначається індивідуальним статусом організму, його індивідуальною чутливістю чи резистентністю, тобто сукупністю морфологічних, біохімічних і фізіологічних особливостей, які дозволяють даній особі існувати в несприятливих і навіть екстремальних умовах навколишнього середовища [13]. З позиції біологічної доцільності для формування в процесі еволюції адаптаційних реакцій найзручнішими для організму були стандартні комплексні відповіді, що базуються не на специфіці окремих подразників, а на загальних їхніх властивостях [14]. Процес пристосування до будь-яких впливів неминуче втягував в адаптацію ряд функціональних систем і забезпечувався тривалим напруженням усього комплексу компенсаторних механізмів організму. Унаслідок цього самоорганізація організму як адаптивної системи відбувалася неспецифічним шляхом, що зрештою призвело до усталення обмеженої кількості комплексних адаптаційних реакцій, які визначаються величиною біологічної активності діючих зовнішніх факторів.

Згідно з концепцією адаптаційного синдрому, основоположником якої по праву вважають Г. Сельє [15], променеве ураження організму розглядається як стрес-реакція, що супроводжується неспецифічним адаптаційним синдромом,

тобто групою стереотипних реакцій, які виникають у найрізноманітніших стресових ситуаціях по черзі й чітко визначеним чином та спрямовані на зменшення загального напруження організму (стресу). Основним організатором цих реакцій є нервова система та пов'язана з нею функціонально-ендокринна система [16, 17]. Реакція-відповідь організму на вплив факторів зовнішнього середовища охоплює весь організм у цілому. Однак ступінь мобілізації компенсаторних механізмів, що тісно пов'язана з його індивідуальними типологічними особливостями і, у першу чергу, зі станом центральних систем регуляції, визначає різні шляхи реалізації нейрогуморальних (неспецифічних) реакцій стресу, що обумовлюють появу специфічних змін чи прояви так званої патологічної адаптації, яка, використовуючи механізми компенсації, переводить організм у патологічний стан [18]. Виявлено, що після опромінення розвивається нейроендокринна реакція, яка є дуже подібною до неспецифічних реакцій після дії різних подразників іншої природи, а зміни кровотворення, що спостерігається за динамікою морфологічної картини кісткового мозку, є характерними для класичного адаптаційного синдрому [19, 20]. Це дає підставу припустити, що іонізуючій радіації притаманні риси звичайного подразника, на який організм реагує стереотипно, викликаючи появу всіх трьох фаз адаптаційного синдрому: мобілізації, резистентності та виснаження [21]. Однак, з огляду на поліпатогенність променевого фактора, нейроендокринний синдром, що розвивається при опроміненні, є не зовсім ідентичним адаптаційному синдрому при звичайних видах стресу. Лише початкова променева реакція виникає за типом синдрому адаптації, компенсаторна ж реакція організму на опромінення є своєрідною, що змусило І. Бака й П. Александра відзначити, що опромінення є специфічним видом стресу [22]. Так зване пристосувальне збудження, що викликає в організмі людини й тварин іонізуюче випромінювання, не завжди змінюється адаптацією. Супроводжуване появою в організмі нерівноважних систем з перевагою дисиміляторних процесів, що призводять до порушення гомеостазу, надасиміляторними, воно може закінчитися загибеллю клітин, тканин, а іноді цілого організму. Пояснення цьому слід шукати в самій природі іонізуючої радіації, яка за своєю суттю значно відрізняється від інших стресорних факторів. Це, по-перше, її здатність безпосередньо проникати в різні структурні елементи живої системи й впливати на всі процеси життєдіяльності організму відразу. По-друге, відомо, що дуже незначна за величиною енергія випромінень здатна виклика-

ти незрівнянно сильніший (порівняно з дією звичайних подразників) біологічний ефект ураження за рахунок іонізації молекул води, що міститься в організмі, й утворення біологічно активних вільних радикалів. І, по-третє, організм не має рецепторів для безпосереднього сприйняття іонізуючої радіації і передачі відповідної інформації про небезпеку від периферії до центру, як це відбувається при дії будь-якого іншого стресуючого агента, тому радіація виявляє властивості “тотального подразника”.

Згідно з адаптаційною гіпотезою біологічної ефективності іонізуючих випромінень [23] усі живі організми та їхні системи адаптовані до дії іонізуючої радіації в межах еволюційно сформованої норми реакції. Водночас аналіз залежності адаптивних реакцій від величини впливу радіаційного фактора дозволив виокремити діапазони адаптації, що якісно розрізняються між собою. Так, для оптимальної адаптації характерним є повна відповідність морфофункціональних можливостей організму умовам існування на основі оптимального гомеостазу. При напруженій адаптації відбувається включення механізмів, що компенсують вплив виникаючих змін у морфофункціональному стані організму. При досить великих рівнях променевого впливу відбувається обмеження адаптивних можливостей, коли значні зміни гомеостазу призводять до виникнення преморбідних станів. І, нарешті, зрив адаптації, що відбувається при патогенних рівнях променевого впливу, призводить до патологічного стану з обмеженням життєздатності організму.

Участь різних фізіологічних систем у формуванні клінічних синдромів променевих уражень є неоднаковою. На ранніх етапах формування патології першорядними є системи, в яких процеси променевого ураження відбуваються швидко. Для систем з повільним розвитком порушень характерною є й менша ступінь ураження. Вплив одних органів чи систем ураженого організму на інші може генералізувати ураження і сприяти дезорганізації процесів регуляції та саморегуляції, що відбуваються в організмі.

Відомий у радіобіології ефект невідповідності патогенних доз опромінення для різних за ступенем біологічної організації живих організмів дозволяє говорити про залежність величини радіорезистентності від ступеня складності біологічних систем і їхньої надійності. На рівні цілісного багатоклітинного організму найбільше значення при променевому ураженні мають нейрогуморальні і гормональні порушення інтегруючих регуляторних систем, які є радіорезистентними і покликані здійснювати адаптацію організму до екстремальних впливів. Однак якщо на першому ета-

пі мобілізація регуляторних механізмів спрямована на усунення радіаційних ушкоджень, то в період клінічного розпаду захворювання перенапруження або виснаження наявних пристосувальних механізмів призводить до відмови їхніх адаптуючих функцій, що детермінує ступінь і прикінцеві наслідки променевого ураження [24].

Клінічними дослідженнями встановлено, що значно легше опромінення переносять особи з урівноваженою і сильною нервовою системою. Симптоми загальної реакції у них незначні або зовсім відсутні. Водночас у людей з ослабленими кірковими процесами спостерігається виражена реакція на опромінення [25]. Аналогічні результати отримано в експериментах на тваринах. Високу радіорезистентність виявлено у тварин із швидкою реакцією кори головного мозку. Водночас низька резистентність характерна для тварин з уповільненою, а також надшвидкою реакцією [26, 27]. Найрезистентнішими є тварини із сильним типом вищої нервової діяльності за І. П. Павловим. Це підтверджує висновок М. Поспішил і І. Ваха про те, що між видом активності чи діяльності центральної нервової системи (ЦНС) і радіорезистентністю безсумнівно існує взаємозв'язок [21]. Імовірно “U-подібна” залежність, яка спостерігається найчастіше, свідчить, що існує певна ступінь збудження ЦНС, яка є оптимальною як з точки зору ефективності регуляторних та адаптивних функцій, так і радіорезистентності.

У детермінації індивідуальної радіочутливості також виявлено очевидну роль генетичних факторів [28 - 30]. У [31] вивчали асоціацію генетичних маркерів HLA з особливостями стану імункомпетентних клітин і з деякими процесами в мембранах лімфоцитів, що забезпечують стійкість до низькодозового опромінення. У результаті проведених досліджень автори дійшли таких висновків:

1. Індивідуальна радіочутливість пов'язана з генетично детермінованими властивостями компенсаторних, репараційних і регуляторних систем організму, які на різних рівнях його інтеграції визначають інтенсивність і спрямованість біохімічних, імунних та інших фізіологічних процесів, що підтримують сталість внутрішнього середовища організму.

2. В опроміненіх осіб накопичення вільного холестеролу, активація вільнорадикальних процесів у мембранах лімфоцитів, що супроводжується змінами синтезу ДНК та порушенням співвідношення субпопуляцій клітин, зумовлює розвиток імунних дисфункцій і може використовуватися як прогностична ознака підвищеної радіочутливості.

Отже, у сучасній радіобіології при вивченні проблеми формування індивідуальної радіочутливості перевагу надають концепції про провідну роль адаптаційних систем організму. Наразі достеменно встановлено, що активність цих систем залежить від фізіологічного стану індивіду під час дії іонізуючого випромінення та його генетичних особливостей. Таким чином, можна констатувати, що індивідуальну радіочутливість людини можна принципово визначити й прогнозувати за загальносистемними та імуногенетичними маркерами.

Пошук показників, що можуть характеризувати індивідуальну радіочутливість

Пошук імуногенетичних маркерів індивідуальної радіочутливості виходить за рамки цієї роботи через інвазивність та рутинність, оскільки експресивність та неінвазивність є умовами професійного добору як частини скринінгового обстеження працездатного населення. Тому зосередимо наш пошук на загальносистемних маркерах.

Порівняння радіаційної ураженості з типом вегетативної реакції в експериментах на тваринах показало, що найбільші шанси вижити після опромінення мають особини з парасимпатичним типом реакції вегетативної нервової системи (ВНС) на стрес-агент [25, 26]. Звідси випливає, що пошук механізмів фізіологічної адаптації до дії іонізуючого випромінення й пов'язаної з ними індивідуальної радіочутливості треба вести в плані вивчення стану вегетативного гомеостазу й механізмів його неспецифічної регуляції. Відомо, що ВНС забезпечує функціонування організму, збереження постійності внутрішнього середовища тощо. Вона регулює діяльність серця, гладкої мускулатури, залоз травного тракту, статевих залоз та ендокринних органів. Складаючи разом із ЦНС і гіпоталамо-гіпофізарно-адреналокортикальною системою єдину нейрогуморальну систему, ВНС забезпечує оперативне й стратегічне керування в цілісному організмі.

Водночас універсальним індикатором різних порушень в організмі, у тому числі спричинених впливом іонізуючого випромінення, є стан системи кровообігу, яка відіграє величезну роль у найрізноманітніших і складно організованих реакціях організму. Вона забезпечує киснем і поживними речовинами органи й тканини, бере участь у виведенні продуктів обміну в тісному взаємозв'язку з іншими функціями організму: обміном речовин, терморегуляцією, диханням, виділеннями тощо. При будь-яких патологічних станах спостерігаються порушення загальних чи локальних механізмів гемодинаміки. У зв'язку з

цим, з огляду на тісний зв'язок системи кровообігу з іншими системами, вона є універсальним індикатором різних змін в організмі [32]. Функціонування системи кровообігу з її складним апаратом керування органічно вплітається в конструкцію адаптаційних механізмів цілісного організму завдяки багатоповерховій ієрархії регуляторних механізмів, у якій виділяється дві ланки: керуюча (ЦНС, ВНС, гуморально-гормональні підсистеми) та узгоджувальна (вісцеральні системи). Функціональний стан систем регуляції (керуюча ланка) головним чином визначає стресостійкість організму і є фактором, що лімітує досягнення певного рівня фізичного стану. Узгоджувальна ланка, яка включає і систему кровообігу, вирішує задачу пошуку оптимального стану внутрішнього середовища відповідно до тих критеріїв, що були задані керуючими ланками. Вона реалізує адаптивну відповідь організму на будь-який стресорний вплив, у тому числі і на дію іонізуючої радіації.

Методи тестування систем кровообігу та його регуляції

Неспецифічні адаптивні реакції організму успішно вивчаються за допомогою застосування різноманітних функціональних проб і навантажень [33, 34], що може бути використано для прогнозування типів реакції ВНС на опромінення і їхні кореляції з радіаційною ураженістю. Ще в 1970 р. Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) було опубліковано доповідь "Рухові тести для визначення функціонального стану серцево-судинної системи" [34], у якій було рекомендовано з метою визначення функціонального стану серцево-судинної системи (ССС) у здорових людей і при захворюваннях серця використовувати методи тестування із застосуванням фізичного навантаження. При цьому тестування має проводитися за стандартних умов з гарантуванням пацієнтам безпеки та врахуванням протипоказань щодо його застосування. Тести з фізичним навантаженням дають змогу визначити фізичну працездатність, типи реагування гемодинаміки на навантаження, адекватність гемодинамічних реакцій [35]. Дозоване фізичне навантаження дозволяє виявляти ранні порушення гемодинаміки при серцевій недостатності, прогнозувати перебіг захворювання, оцінювати резервну силу серця, тобто різницю між величиною його роботи за умов спокою і максимальною роботою, яку воно здатне виконати. Навантажувальні тести дозволяють успішно вирішувати й ширшу задачу, даючи можливість всебічно оцінювати функціональний стан і резерви ССС, яка є провідною у забезпеченні життєдіяльності ор-

ганізму та визначати ймовірність розвитку серцево-судинних захворювань, у першу чергу доклінічних форм коронарної недостатності. За допомогою навантажувальних тестів можна також вивчати неспецифічні адаптивні реакції організму, що можна використати для прогнозування особливостей реакції ВНС на опромінення залежно від ступеню радіаційного ураження.

Серцевий ритм як один з базових критеріїв оцінки функціонального стану ССС. Найдоступнішим для аналізу показником системи кровообігу є серцевий ритм, чи тривалість часового інтервалу між двома серцевими скороченнями. Його можна віднести до найоперативніших механізмів адаптації, оскільки при невеликих енергетичних витратах він задовольняє запити цілісного організму [36]. Його значення разом із значеннями систолічного та діастолічного тиску є необхідними й достатніми показниками для розрахунку всіх основних гемодинамічних характеристик ССС: ударного об'єму, пульсового тиску, хвилинного об'єму крові, серцевого індексу, периферичного опору судин, вегетативного індексу та середнього динамічного тиску, за якими, застосовуючи тестування з дозованим фізичним навантаженням, можна отримати повну характеристику функціонального стану ССС. Серцевий ритм є дуже чутливий до змін функціонального стану окремих фізіологічних систем і організму в цілому. За ним разом з іншими гемодинамічними характеристиками ССС можна робити інтегральну оцінку загального функціонального стану організму, яка була вперше продемонстрована під час другого групового космічного польоту В. Ф. Биковського і В. В. Терешкової в 1963 р., добре себе зарекомендувала і з тих пір почала широко застосовуватися у практиці прикладних фізіологічних досліджень.

Математичний аналіз серцевого ритму як неспецифічний метод діагностики ВНС. Про функціональний стан центральних механізмів регуляції можна створити уявлення на підставі результатів математичного аналізу серцевого ритму. Виходячи з основних положень кардіоритмології, прикінцевий результат усіх регуляторних впливів на серце і систему кровообігу в цілому відображає показник **М** (математичне очікування тривалості серцевого циклу). Він є еквівалентом середньої частоти пульсу і найбільш розповсюдженою характеристикою гуморального рівня функціонування ССС. Як неспецифічний метод діагностики, математичний аналіз серцевого ритму дає змогу виявити ранні зміни балансу ланок ВНС, по величині напруження яких можна створити уявлення про вираженість адаптаційно-компенсаторних реакцій, які є по

суті тими чи іншими стадіями загального адаптаційного синдрому, що дозволяє прогнозувати стан організму при надзвичайних впливах, оскільки зміни в нервовій і гуморальній регуляції настають раніше, ніж відбуваються енергетичні, метаболічні й гемодинамічні порушення [37]. Використання методів математичного аналізу ритму серця з метою неінвазивної оцінки стану вегетативної регуляції, зокрема активності симпатичного та парасимпатичного відділів ВНС, є перспективним напрямком досліджень. Вивчення ступеня напруження регуляторних систем організму, визначеного за допомогою математичного аналізу серцевого ритму, є також метою донозологічної діагностики, спрямованої на розпізнавання станів на межі норми та патології і, як вважає Р. М. Басєвський [38], має найбільше діагностичне значення при розпізнаванні станів функціонального напруження й подальшому переході до станів незадовільної адаптації внаслідок перенапруження та виснаження регуляторних механізмів. Сучасні методи математичного аналізу серцевого ритму дають змогу визначити основні показники активності однієї з найважливіших регуляторних систем – ВНС, які характеризують її функціональний стан. Такими є сумарний ефект регуляції, функція автоматизму, вегетативний гомеостаз, активність підкіркових центрів та стійкість регуляції.

Фізичний стан людини на сьогодні оцінюється за показником, що характеризує максимальні можливості аеробного енергоутворення – максимальним споживанням кисню (МСК). Відповідно до рекомендації комітету експертів ВООЗ, МСК пропонується використовувати як міжнародний еталон функціональної здатності серця і легень. У науковій літературі містяться докази того, що МСК є критерієм неспецифічної стійкості організму при впливі на нього найрізноманітніших факторів – від гострої гіпоксії до проникаючої радіації [39, 40]. Аеробна здатність, чи величина МСК, є головним показником при оцінці та градаціях фізичного стану людини. За його величиною можна визначити рівень функціонального резерву здорової людини й прогнозувати її стан в екстремальних умовах, оскільки цей показник характеризує функціональні можливості серцево-судинної та дихальної систем і фізичний стан у цілому.

Вибір тесту з фізичним навантаженням. Із різних схем дозованого фізичного навантаження для визначення зазначених вище показників найбільш адекватним є степ-тест із субмаксимальним навантаженням [34]. При такому тестуванні оптимальним вважається темп роботи, при якому досягається 75 % МСК.

Таким чином, застосування навантажувального

тесту дає змогу оцінювати загальний фізичний стан осіб, які зазнають професійного впливу іонізуючих випромінень, функціональний стан їхньої ССС і визначати функціональний стан одної з основних регулюючих систем організму – ВНС, що, у свою чергу, дозволить вивчати особливості адаптації до несприятливих умов дії іонізуючих випромінень, оцінювати групову резистентність, а також відкриває перспективу вирішення проблеми прогнозування індивідуальної радіочутливості.

Висновки

1. Захист персоналу на об'єктах, що використовують ядерні матеріали та інші ДІВ регламентується нормами та правилами радіаційної безпеки, санітарними правилами поведінки з джерелами іонізуючих випромінень, законами та нормативно-правовими актами ядерного законодавства України, яке на сьогодні можна вважати практично сформованим.

2. Для переходу на якісно вищий ступінь управління безпекою персоналу необхідно застосувати концептуально новий підхід, який полягає у доборі для роботи з ЯМ та іншими ДІВ осіб з підвищеною радіорезистентністю організму.

3. За результатами численних наукових досліджень, що проводилися за проблемою вивчення можливості визначення та прогнозування

індивідуальної радіочутливості ссавців, можна стверджувати, що ця задача може бути позитивно вирішена із застосуванням загальносистемних або імуногенетичних маркерів, існування яких принципово доведено.

4. Необхідну й достатню кількість загальносистемних показників, що дозволять простежити функціональні можливості основних адаптаційних систем організму, можна отримати, реалізуючи сучасний метод тестування організму з фізичним навантаженням. Такими показниками є: при визначенні фізичного стану - максимальне споживання кисню; при визначенні функціонального стану системи кровообігу – частота серцевих скорочень, систолічний тиск, діастолічний тиск, ударний об'єм, пульсовий тиск, хвилинний об'єм крові, серцевий індекс, периферичний опір судин, вегетативний індекс та середній динамічний тиск (гемодинамічні показники); при визначенні функціонального стану ВНС – сумарний ефект регуляції, функція автоматизму, вегетативний гомеостаз, активність підкіркових центрів та стійкість регуляції (показники активності ВНС). Усі ці показники можуть бути використані при розробці методики оцінки індивідуальної радіочутливості для формування єдиного критеріального дозозалежного показника (маркера), за яким з'явиться можливість характеризувати радіорезистентність кожної конкретної особи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку” від 8 лютого 1995 р. № 39/95-ВР.
2. Закон України “Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання” від 14 січня 1998 р. № 15/98-ВР.
3. Закон України “Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії” від 11 січня 2000 р. № 1370-XIV.
4. Закон України “Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання” від 19 жовтня 2000 р. № 2064-III.
5. Закон України “Про поведінку з радіоактивними відходами” від 30 червня 1995 р. № 255/95-ВР.
6. Закон України “Про видобування і переробку уранових руд” від 19 листопада 1997 р. № 645/97-ВР.
7. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/101440>.
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи. - К.: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. - 121 с.
9. Наказ МОЗ України “Про затвердження державних санітарних правил “Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України” від 2 лютого 2005 р. № 54.
10. Наказ МОЗ України “Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій” від 21 травня 2007 р. № 246.
11. Дрозд І.П., Дрозд М.І., Семко О.П. Втрати держави внаслідок виробничого травматизму зі смертельними наслідками // Україна: аспекти праці. - 2006. - № 5. - С. 23 - 29.
12. Трунов І.Л., Айвар Л.К., Харисов Г.Х. Эквивалент стоимости человеческой жизни // Представительная власть XXI век: законодательство, комментарии, проблемы. - 2006. - Вып. № 3(69). - С. 24 - 29.
13. Слоним А.Д. Физиологические адаптации и поддержание вегетативного гомеостаза // Физиология человека. - 1982. - Т. 8, № 3. - С. 355 - 361.
14. Царегородцев Г.И. Философские вопросы адаптации. - М.: Мысль, 1975. - 123 с.
15. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. - М.: Медгиз, 1960. - 247 с.

16. Мороз Б.Б., Кендыш И.Н. Радиобиологический эффект и эндокринные факторы. - М.: Атомиздат, 1975. - 198 с.
17. Горизонтов П.Д. Современное состояние проблемы "стресс" // Материалы пленума всесоюз. н.-метод. о-ва патофизиол. - Ереван, 1974. - С. 23 - 40.
18. Нягу А.И. Психоневрологические эффекты острого облучения после аварии на Чернобыльской АЭС // Тез. доп. III з'їзду з радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія), Київ, 21 - 25 травня 2003 р. - К.: Вид-во фітосоцентру, 2003. - С. 239.
19. Нейман О.В., Горлов В.Г. Специфические и неспецифические реакции костного мозга при действии пролонгированного гамма-излучения // Изв. АН СССР. - 1985. - № 1. - С. 137 - 140.
20. Бебешко В.Г., Базыка Д.А., Клименко В.И. и др. Гемопоетическая система у лиц, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС в отдаленный период // Тез. доп. Міжнар. конф. "П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи. Досвід подолання", Київ, 18 - 20 квітня 2001 р. - К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. - С. 3.17.
21. Постишил М., Ваха И. Индивидуальная радиочувствительность, ее механизмы и проявления. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 286 с.
22. Бак И., Александр П. Основы радиобиологии. - М.: ИЛ, 1963. - 237 с.
23. Кудрицкий Ю.К., Георгиевский А.Б., Карнов В.И. Адаптация к ионизирующему излучению // Инф. бюл. науч. сов. АН СССР по пробл. радиобиологии. - 1987. - № 34. - С. 13 - 17.
24. Акоев И.Г. Теоретические и количественные аспекты радиационного поражения организма. Общие закономерности формирования поражения и восстановления // Радиационное поражение организма. - М.: Атомиздат, 1976. - С. 240 - 246.
25. Тедьнов В.И., Сотник Н.В. Оценка риска неблагоприятных последствий облучения у людей с разными генотипами // Тез. докл. IV съезда по радиационным исследованиям, Москва, 20 - 24 ноября 2001 г. - М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2001. - Т. 1. - С. 112.
26. Мамотюк Є.М. Вплив типів реагування щурів на перебіг у них гострої променевої хвороби // УРЖ. - 2008. - № 16. - С. 178 - 182.
27. Свердлов А.Г., Пеймер С.И., Дудкин А.О. и др. Исследование действия ионизирующей радиации на центральную нервную систему млекопитающих // Информ. бюл. научн. сов. АН СССР по пробл. радиобиол. - 1986. - № 32. - С. 29 - 33.
28. Білий О.В. Імуногенетичні критерії медичного відбору спеціалістів для роботи в умовах впливу низьких рівнів іонізуючої радіації: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. - К., 1998. - 16 с.
29. Гончарова И.А., Фрейдин М.Б., Тахауов Р.М., Карпов А.Б. Молекулярно-генетические подходы, применяемые для оценки воздействия радиации на геном и индивидуальная радиочувствительность человека // Сибирский медицинский журнал. - 2003. - № 5. - С. 78 - 83.
30. Минченко Ж.Н. Генетические системы крови и радиочувствительности // Int. J. Rad. Med. - 2003. - No. 5. - P. 128 - 138.
31. Афонина Г.Б., Варус В.И., Коляденко В.Г. и др. Радиочувствительность и мембраны лимфоцитов. - К.: Нац. мед. ун-т им. А. А. Богомольца, 2001. - 203 с.
32. Гайтон А. Физиология кровообращения. Минутный объем сердца и его регуляция. - М.: Медицина, 1969. - 189 с.
33. Вебер В.Р., Гаевский Ю.Г. О регуляции сердечного ритма в покое и при ортостазе // Физиология человека. - 1982. - Т. 8, № 2. - С. 258 - 261.
34. Двигательные тесты для определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы: Доклад совещания ВОЗ. Сер. техн. докл. № 388. - Женева, 1970.
35. Апанасенко Г.Л. О возможности количественной оценки здоровья человека // Гигиена и санитария. - 1985. - № 6. - С. 55 - 58.
36. Дембо А.Г. Ритм сердца и его значение в исследовании спортсменов // Актуальные вопросы спортивной медицины: Материалы респ. науч.-практ. конф. - К., 1980. - С. 15 - 18.
37. Баевский Р.М. Кибернетический анализ сердечного ритма как метод экспериментальной и прикладной физиологии // Материалы Всесоюз. симп. "Кибернетические методы анализа сердечного ритма". - Павловский Посад, 1977. - С. 3 - 5.
38. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. - М.: Медицина, 1979. - 234 с.
39. Василенко А.М. Максимальное потребление кислорода как критерий устойчивости человека к гипоксии, гипер- и гипотермии // Космическая биология. - 1980. - № 6. - С. 3 - 10.
40. Пронин М.А., Захаров В.П., Никифоров А.М. и др. Функциональное состояние кардиореспираторной системы организма у лиц, участвующих в работах на радиоактивно зараженной местности // Актуальные вопросы последипломной подготовки военных врачей. - М., 1990. - С. 188 - 189.

К УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПЕРСОНАЛА НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И. П. Дрозд, А. И. Липская, М. Ю. Гриджук

Проанализировано современное состояние управления безопасностью персонала, работающего с ядерными материалами и другими источниками ионизирующих излучений. Указано на недостатки действующей системы радиационной защиты и необходимость ее усовершенствования на принципиально новой концептуальной основе, учитывающей индивидуальную радиочувствительность человека при отборе персонала для выполнения

радиационно-опасных работ. Обоснованы принципиальная возможность оценки индивидуальной радиочувствительности и перечень необходимых для этого медико-биологических показателей, предложена современная неинвазивная экспресс-методика для их получения.

Ключевые слова: радиационная защита, управление безопасностью, радиочувствительность, нагрузочные тесты, система кровообращения, вегетативный гомеостаз.

ON IMPROVEMENT OF RADIATION SAFETY MANAGEMENT METHODOLOGY OF THE PERSONNEL ON THE ATOMIC ENERGY AND INDUSTRY OBJECTS

I. P. Drozd, A. I. Lypska, M. Yu. Grydzhuk

The present situation of the management of the personnel safety working with nuclear materials and other sources of ionized radiation was analyzed. The drawbacks of the operating radiation protection system and the necessity of its improvement on the principally new concept base were indicated with regard to individual radio sensibility of the person while selecting the personnel to carry out radio hazard works. Conceptual possibility of the evaluation of the individual radio sensibility, the list of the needed medical and biological index was provided. Modern non- invasive express- methods were proposed.

Keywords: radiation protection, safety management, radio sensibility loading tests, blood circulation system, vegetative gomeostaz.

Надійшла до редакції 08.10.10,
після доопрацювання - 01.11.10.