

A. PERUSSIA

Direttore dell'Istituto di Medicina Nucleare dell'Università di Milano

## Ruolo delle misure di ionizzazione nella valutazione della dose assorbita

L'azione biologica delle radiazioni direttamente od indirettamente ionizzanti si esplica attraverso l'assorbimento di energia nella materia vivente: questo si compie per eventi discreti (processi di eccitazione e di ionizzazione) provocati da particelle elettricamente cariche (primarie e/o secondarie).

A base dell'interpretazione e della previsione degli effetti radiobiologici si assume oggi una descrizione di quei processi di assorbimento di energia che contempra congiuntamente tre criteri indipendenti di valutazione, ognuno dei quali atto a definire una variabile fisica suscettibile, almeno in via di principio, di rappresentazione quantitativa: la « dose », la « qualità », il « tempo ».

Il fattore « dose » considera la densità dei processi di assorbimento di energia nella materia, mediata rispetto alla minuta distribuzione spaziale ed integrata rispetto al tempo: per la sua rappresentazione quantitativa è universalmente accettata la grandezza fisica « dose assorbita » (o, più brevemente, « dose »), definita dall'ICRU come energia assorbita nell'unità di massa del tessuto considerato, nell'elemento di volume che interessa; il rad ne è l'unità di misura.

Il fattore « qualità » riguarda invece la minuta distribuzione spaziale dei processi di assorbimento d'energia nella materia, lungo il percorso delle particelle ionizzanti: esso è quindi inteso a tener conto delle micro-disuniformità di tale distribuzione. Il fattore « tempo » contempla infine la distribuzione dei processi di assorbimento di energia nel tempo. Ma le questioni inerenti alla scelta delle grandezze fisiche rappresentative di questi due fattori o di altre eventuali condizioni modificanti degli effetti biologici delle radiazioni (come ad esempio le più o meno fini disomogeneità di dose dovute alle irregolarità di distribuzione di un radionuclide in un tessuto) esu-

lano dal tema propostomi, che vuol essere limitato alla discussione dell'uso di misure di ionizzazione nella valutazione della dose assorbita.

Non essendo questa grandezza suscettibile di misura diretta, la base empirica per una sua stima va ricercata nell'osservazione di un effetto misurabile prodotto in un materiale campione esposto alla radiazione ionizzante nel punto e nelle condizioni in cui si troverà esposto il tessuto considerato.

Se la ionizzazione dei gas (e soprattutto dell'aria) è stato finora l'effetto più largamente sfruttato a questo scopo, ad altri effetti e ad altri materiali si può pensare di ricorrere in futuro: basti citare i fenomeni di eccitazione (rivelabili in materiali luminescenti, specie nella forma particolare della termoluminescenza) e gli effetti chimici. Ma, qualsiasi effetto si prescelga per la misura (non escluso nemmeno l'assorbimento di energia, ove determinabile per via calorimetrica), sarà sempre necessario usare materiali di composizione nota e riproducibile.

Dalla misura di un dato effetto in un dato materiale si può poi risalire ad una stima della dose assorbita in questo od anche in un diverso materiale o tessuto mediante opportuni coefficienti, determinati sperimentalmente in ricerche di laboratorio e di regola applicabili solo sulla scorta della conoscenza delle caratteristiche della radiazione, del materiale campione e del tessuto, assumendo essi coefficienti valori diversi in funzione di queste caratteristiche.

Le misure di ionizzazione danno solo la determinazione quantitativa di un effetto particolare (la produzione di coppie di ioni) causato da particelle cariche ionizzanti nel gas: tale dato empirico (esprimibile in unità elettrostatiche di elettricità per unità di massa del gas) può però servire di base alla stima di altre grandezze di più diretto interesse dosimetrico, fino alla valutazione della dose assorbita in un elemento di tessuto.

Schematicamente, infatti, dalla misura di ionizzazione si può risalire alla stima dell'energia assorbita nell'unità di massa del gas, attraverso la conoscenza dell'energia media spesa in quel gas dalle particelle ionizzanti in questione per ogni coppia di ioni formata. Dalla dose assorbita nel gas si può poi passare alla valutazione della dose che sarebbe assorbita da un diverso materiale di composizione nota esposto ad un identico flusso di particelle ionizzanti, attraverso la conoscenza del rapporto tra i due valori di potere frenante massico, rispettivamente del gas e del materiale considerato, per particelle ionizzanti di quella specie ed energia, tenuto conto, se necessario, della diversa perdita di energia per radiazione di frenamento.

E' questo, come noto, il principio di utilizzazione della camera di ionizzazione a cavità in determinazioni di dose in singoli punti di una massa di materia esposta a radiazioni ionizzanti.

Naturalmente le valutazioni riguarderanno le dosi assorbite nel materiale in cui è ricavata la cavità; e la presenza di questa, con la sua parete propria ed il gas in essa contenuto, non dovrà alterare apprezzabilmente il flusso di particelle ionizzanti, talché l'effetto di ionizzazione risulti rappresentativo, a meno dei coefficienti già ricordati, dell'assorbimento di energia che si avrebbe nel materiale di cui è costituita la massa, nella posizione occupata dalla cavità, qualora anche questa ne fosse ricolma; ove tale condizione non si realizzi di fatto, bisognerà ad essa approssimarsi per estrapolazione od introdurre opportuni fattori di correzione.

A titolo paradigmatico abbiamo parlato solo di particelle cariche direttamente ionizzanti e supposto implicitamente che queste spendano la loro energia esclusivamente in processi di ionizzazione e di eccitazione. La procedura si applica però in generale pure alle radiazioni indirettamente ionizzanti, essendo irrilevante, ai fini della valutazione della dose assorbita in un elemento di volume di una massa di materia, l'origine delle particelle cariche che attraversano quell'elemento di volume. Naturalmente, nell'esecuzione e nell'elaborazione delle misure, ci si dovrà in tal caso preoccupare di neutralizzare anche l'alterazione del flusso di particelle cariche dovuta alla presenza della cavità e del gas in essa contenuto, per un diverso comportamento di questo nei confronti dei processi di interazione della radiazione indirettamente ionizzante con la materia, dai quali proviene l'energia cinetica delle particelle cariche.

Non mi fermerò a considerare queste complicazioni nè in genere quelle inerenti ai processi meno comuni, non contemplati nello schema di principio sopra delineato: come la perdita di energia di particelle cariche per radiazione, gli eventi implicanti variazioni della massa di riposo di particelle o di nuclei, e così via.

Penso invece opportuno ricordare come il particolare comportamento delle radiazioni indirettamente ionizzanti (neutroni veloci e radiazioni elettromagnetiche X e gamma, con sostanziali analogie formali) permetta di utilizzare il metodo ionometrico nella determinazione di una grandezza fisica diversa dalla dose assorbita ma che, in alcuni casi e sotto certe condizioni, può pure dimostrarsi singolarmente utile a fini dosimetrici ed anche per la valutazione della dose assorbita in un punto di una massa di materia esposta a quelle radiazioni.

La grandezza in questione è stata dall'ICRU battezzata kerma e definita come la somma delle energie cinetiche ini-

ziali di tutte le particelle cariche liberate da una radiazione indirettamente ionizzate in un elemento di volume del materiale o del tessuto che interessa; essa ha quindi, come la dose assorbita, le dimensioni di un quoziente tra energia e massa del materiale cui la misura è riferita.

Con questo intendimento la camera di ionizzazione a cavità, nella forma particolare della camera a guscio, può impiegarsi per la determinazione dell'intensità di un fascio od in genere di un campo di radiazione indirettamente ionizzante, sia nello spazio libero sia entro una massa di composizione anche non omogenea e diversa da quella della parete della camera, purché naturalmente l'alterazione del campo di radiazioni indirettamente ionizzanti dovuta alla presenza della camera risulti trascurabile o se ne possa tener conto a titolo di correzione.

Tralasciando le molte e non facili questioni tecniche inerenti alla attuazione di questo genere di misure di ionizzazione, basterà notare come la loro utilizzazione per una valutazione della dose assorbita in un punto di una massa esposta a radiazioni indirettamente ionizzanti, esiga che nel materiale e nella posizione che interessano si realizzi una situazione di equilibrio delle particelle cariche (il cosiddetto equilibrio elettronico, nel caso di radiazioni elettromagnetiche) e che le perdite di energia per radiazione di frenamento siano trascurabili.

In tali condizioni il valore di kerma sarà uguale al valore di dose assorbita, bene inteso, nel materiale di cui è formata la parete della camera. Questo è infatti il materiale campione di riferimento; mentre l'effetto della radiazione indirettamente ionizzante, che viene determinato attraverso la misura di ionizzazione, è la cessione di energia a particelle cariche, la quale a sua volta è uguale all'assorbimento di energia da particelle cariche, quando per l'appunto vi è compensazione tra l'energia cinetica delle particelle che escono dall'elemento di volume considerato essendo state poste in moto in esso e l'energia cinetica che nel medesimo elemento di volume viene ceduta alla materia da particelle provenienti dalla regione circostante. Dal valore di kerma o di dose determinato per il materiale campione di riferimento si può poi passare alla stima del corrispondente valore per un materiale diverso o per un dato tessuto di composizione nota, in base alla conoscenza dei rispettivi coefficienti massici di trasferimento d'energia (o, se del caso, di assorbimento di energia).

Da quanto si è sopra detto penso risultino chiare le ragioni che limitano la validità della procedura entro l'ambito di valori moderati d'energia della radiazione indirettamente ionizzante, così che il libero cammino medio di questa sia

molto maggiore del percorso massimo delle particelle cariche secondarie. L'aumento dell'energia della radiazione primaria indirettamente ionizzante viene gradatamente a deteriorare le condizioni di equilibrio, con il crescere della anisotropia e della lunghezza del percorso delle particelle cariche secondarie nella materia.

Le stesse limitazioni si incontrano nell'impiego del metodo ionometrico in misure di esposizione in singoli punti di una massa esposta a radiazioni X o gamma, mediante camera a guscio « a pareti d'aria », ossia di composizione equivalente all'aria. Questo può infatti considerarsi un caso particolare della procedura generale ora discussa, caratterizzato dall'impiego dell'aria come materiale campione e dal privilegio ad esso tradizionalmente riservato di esprimere il risultato delle misure mediante il dato empirico originale, vale a dire in unità di ionizzazione. Salvo per l'esclusione (praticamente importante solo per energie elevate) della ionizzazione dovuta all'assorbimento della radiazione di frenamento emessa dagli elettroni secondari, del resto l'esposizione è l'equivalente in termini di ionizzazione del kerma in aria.

Analogamente, nell'ambito di corretto impiego della grandezza e quindi dell'unità roentgen, da determinazioni di esposizione si può, come noto, risalire ad una valutazione della dose assorbita in materiali diversi dall'aria od in tessuti di composizione nota, mediante opportuni coefficienti analoghi (salvo per il fattore costante dell'energia media spesa per ogni coppia di ioni formata in aria) a quelli utilizzabili per passare da valori di kerma o di dose in un materiale ai corrispondenti valori in altro materiale.

E' infine solo il caso di ricordare che limitazioni ancora più strette ha l'impiego delle misure di ionizzazione nelle determinazioni di esposizione su di un fascio collimato di raggi X mediante grande camera di ionizzazione ad elettrodi paralleli in aria libera: procedura che si presta all'esecuzione di tarature di fasci di raggi X di precisione forse insuperata, ma che non può costituire una base per valutazioni di dose assorbita.

In questo sommario giro d'orizzonte ho cercato di delineare in parole povere, da medico quale sono, le basi concettuali dei più importanti schemi elaborativi, dal generale al particolare, attraverso i quali le misure di ionizzazione possono utilizzarsi a fini di valutazione della dose assorbita.

Con ciò non pretendo certo d'aver esaurito il tema assegnatomi; anche prescindendo dai molti ed interessanti problemi di carattere fisico, tecnico e strumentale, inerenti all'esecuzione delle misure in questione ed alla loro elaborazione (problemi che esulano dalla mia competenza), resterebbero da esa-

minare non poche questioni di interesse applicativo e normativo: quale posto si può oggi ancora riconoscere alle misure di ionizzazione, rispetto ai metodi di misura d'altro genere, nella pratica dosimetrica corrente? Quali delle diverse modalità tecniche di esecuzione delle misure di ionizzazione e dei rispettivi schemi elaborativi possono consigliarsi come meglio rispondenti alle esigenze proprie delle singole forme di radioterapia o di particolari situazioni di interesse radioprotettivo? Quale è la precisione da esse offerta, sia in senso relativo sia in senso assoluto, e quali le più importanti cause di errore o di incertezza? Quali unità di misura conviene usare nelle specificazioni delle condizioni di irradiazione, in radioterapia ed in radioprotezione, e quali altre indicazioni, oltre a quelle di dose, debbono precisarsi?

Presumo tuttavia che queste ed altre analoghe questioni verranno almeno in parte toccate dagli Oratori che seguiranno e potranno comunque dibattersi in sede di discussione.

**Argomento precedente**



**Indice**

**Argomento successivo**

