د. جازي بن معاذ المخلف

يمثل السرطان ثاني مسبب للوفاة بعد أمراض القلب في الولايات المتحدة الأمريكية، ويوجد للسرطان تأثير متزايد على معدل الوفيات في العالم، حيث يتم تشخيص حوالي ٨ ملايين حالة سرطان في العام يتوفى منهم حوالي ٥ ملايين. وحسب تقديرات منظمة الصحة العالمية (WHO) فإن عدد مرضى السرطان سيكون حوالي ٢٠ مليون في عام ٢٠٢٠م. لذلك فإنه يمثل مشكلة صحية حقيقية تهم جميع الناس، وذلك لوجود الكثير من التعقيدات التي تكتنف طرق اكتشافه وعلاجه.

يتم في الولايات المتحدة وأوربا علاج حوالي ٥٠ إلى ٧٠٪ من حالات السرطان بالإشعاع، وذلك في فترة من فترات المرض.

وهناك حوالي ٦٥ ٪ من المرضى الذين لديهم أورام محددة يتم شفاء حوالي ثلثيهم بواسطة الجراحة أو الأشعة أو الإثنين، أما الذين لديهم احتمال انتشار الورم من هذه المجموعة فيستخدم العلاج الكيميائي كمدعم للشفاء، بجانب ذلك فإن الـ ٣٥٪ الباقية من المرضى والذين لديهم أورام لا يمكن إزالتها جراحيا أو لديهم انتشار فإن ٥٪ منهم يمكن أن يشفوا بواسطة العلاج الكيميائي والمناعي معا بالإضافة إلى العلاج بالأشعة أو الجراحة. لذلك يعد طريق العلاج بالإشعاع ـ منفرداً أو مجتمعا مع الطرق الأخرى ـ من أهم الطرق لعلاج هذا المرض.

تاريخ تطور العلاج بالإشعاع

منذ اكتشاف الأشعة السينية عام ١٨٩٥م على يد العالم الألماني **رونتجن** واكتشاف النشاط الإشعاعي على يد العالم **بيكرل** عام ١٨٩٦م، ومن ثم اكتشاف مادة الريديوم ٢٦٦ المشع على يد **مدام كيوري** عام ١٨٩٨م، بدأ استعمال الأشعة في علاج الأورام السرطانية، وقد تم شفاء أول مريض عن طريق العلاج بالإشعاع عام ١٨٩٩م. لذلك فقد أدت هذه الاكتشافات إلى فتح أبواب جديدة في البحث والتطوير لكشف أسرار الأشعة وإيجاد الطرق المثلى للاستفادة منها. وقد تم تصنيع واستخدام المصادر المشعة ـ مادة الريديوم ٢٦٦ـ على شكل إبر أو أنابيب منذ عام ١٩١٠م، وفي عام ١٩١٣م تم تصنيع أول أنبوب أشعة سينية بجهد قدره ١٤٠ كيلوفولت، ثم تم تطويره عام ١٩٢٢م للحصول على جهد مقداره ٢٠٠ كيلوفولت تم استخدامه في علاج الأورام العميقة. أما في مجال الأشعة الحيوية فقد تسابق العلماء على إجراء العديد من الدراسات والتجارب لمعرفة تأثير الإشعاعات المؤينة على خلايا الأورام السرطانية وخلايا الأنسجة السليمة من حيث مقدار تحملهما لجرعات مختلفة من الأشعة سواء مرة واحدة أو تجزئتها على دفعات تفصلها فترات زمنية محددة، وعلاقة التأثير بمقدار الجرعة والنتائج الآنية أو اللاحقة لهذا التأثير.

وفي عام ١٩٣٤م طور **كوتارد** نظام لتجزئة جرعات الأشعة العلاجية الذي ثبتت فعاليته، وقد بقي هذا النظام أساساً للعلاج بالأشعة حتى اليوم. أدى التراكم المعرفي إلى إدراك الأطباء والعلماء أن استخدام الأشعاعات المؤينة بشكل آمن ومفيد يستلزم أمرين هما:

* **تحسين وسائل توليد الطاقة**، حيث استمر دأب العلماء والمهندسين في هذا الطريق، إذ تم عام ١٩٥١م تصنيع أول جهاز أشعة يعمل بمصدر الكوبلت ٦٠ (Cobalt-60) بطاقة حوالي ١,٢٥ مليون إلكترون فولت، ويمكنه الدوران دورة كاملة حول المريض. ومنذ عام ١٩٤٥م ـ بعد اختراع أنابيب توليد الميكروويف ـ بدأ اختراع وتصميم أجهزة المعجلات الخطية (Linear Accelerators)، حيث تم عام ١٩٥٣م علاج أول مريض بمعجل خطي طاقته ٨ مليون إلكترون فولت. تلا ذلك إدخال الكثير من الإضافات والتحسينات على المعجلات الخطية التي تمثل اليوم الغالبية العظمى من أجهزة

العلاج بالأشعاع. ولم يقتصر الأمر على ذلك، فقد تم اختراع المعجلات الدائرية لإنتاج الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات.

* **ضوابط قياس جرعات الأشعة**، حيث شهد عام ١٩٢٥م أنعقاد أول مؤتمر عالمي في لندن لعلوم الأشعة تقرر بموجبه إنشاء هيئة عالمية تقوم بوضع معايير لشدة الأشعة السينية الصادرة من أجهزة الأشعة، وقد سميت هذه الهيئة " الهيئة العالمية لأجهزة الأشعة السينية " والتي أصبحت لاحقا "اللجنة الدولية للقياسات الاشعاعية " (ICRU)، وقد قامت هذه اللجنة بعد إنشائها بوضع وحدات ومسميات لكميات الأشعة، منها على سبيل المثال وحدة التعرض للأشعة "**رونتجن**" في عام ١٩٢٨م، ووحدة النشاط الإشعاعي "**كيوري**" في عام ١٩٥٠م، ووحدة الجرعة الممتصة "**راد**" في عام ١٩٥٣م. وفي عام ١٩٦٠م تم اعتماد النظام المعياري العالمي للوحدات (SI)، وبناءً على ذلك تم تعديل معظم الوحدات فاستعمل "**جراي**" بدلاً من "**راد**" و"**بكرل**" بدلاً من "**كيوري**" إلخ. وقد دأبت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الأشعة على إصدار تقاريرها فيما يخص وحدات وقياسات الإشعاعات التي شملت كثيراً من الأنظمة والضوابط، وتعد أهم مرجع للعاملين في هذا الحقل.

الجدير بالذكر انه توجد الآن الكثير من الهيئات العالمية التي تهتم بحقل العلاج بالأشعة مثل الوكالة العالمية للطاقة الذرية التي أصدرت في عام ٢٠٠٠م أحدث نظام لقياس الجرعات الممتصة حسب نشرتها رقم (TRS No. 398)، بالإضافة إلى الاكتشافات السالفة الذكر فقد واكب ذلك اختراع أجهزة التشخيص المختلفة وأجهزة القياس والمعايرة، مثل جهاز حجرة التأين (Ionization chamber)، وأجهزة قياس كميات ومعدلات الجرعة (Dosemeters). كما تم استنباط العلاقات الرياضية المختلفة التي تحكم تفاعل الأشعة مع الوسط الحي واستخدام أجهزة الحاسب الآلي في التحكم بهذه الأجهزة، وحساب جرعات الأشعة وإيجاد الطرق المثلى للعلاج.

تفاعل الإشعاعات المؤينة

تنقسم الأشعاعات المؤينة إلى أشعة كهرومغناطيسية مثل الأشعة السينية وأشعة جاما، وأشعة جسيمية مثل الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات وغيرها، ومن حيث الشحنة فإن بعض الأشعة المؤينة تحمل شحنات موجبة أو سالبة مثل الإلكترونات والبروتونات، والبعض الآخر لا يحمل شحنات مثل الأشعة الكهرومغناطيسية وأشعة النيوترونات. وعندما تسقط هذه الإشعاعات على المادة فإنها تودع طاقتها عن طريق تصادمها بذرات الوسط لينتج عن ذلك تأيين ذرات المادة بتكوين أزواج من الأيونات الموجبة والسالبة.

● جهاز معجل خطي.

يتكون الكائن الحي من أنسجة مختلفة، وتتكون هذه الأنسجة من خلايا ذات تراكيب بيولوجية غاية في التعقيد، وعندما يحدث تأيين في الوسط الحيوي فإن ذلك يؤدي إلى سلسلة متعاقبة من الأحداث الفيزيائية والكيميائية التي تنتهي بوقوع إصابات بيولوجية في مكونات الخلية. وتكون نتائج إصابة الخلية إما قصيرة المدى مثل وقف قدرتها على الانقسام، أو إضعاف قدرتها على تأدية وظيفتها الحيوية أو موتها. أما الإصابة طويلة المدى فينجم عنها تغير في التركيب الوراثي في الخلية (الجينات)، مما يؤدي إلى تغيرات وراثية لاحقة. وللخلية الحية ـ سواء سرطانية أو سليمة ـ القدرة على ترميم نفسها وإصلاح بعض الإصابات غير المميتة، وهذه الخاصية دفعت العلماء إلى استعمال نظام تجزئة جرعات العلاج بالإشعاع لإتاحة الفرصة للأنسجة السليمة للقيام بعملية الإصلاح.

أسس وأهداف العلاج بالإشعاع

يمكن تعريف العلاج بالإشعاع على أنه تخصص طبي يعنى بعملية استخدام الإشعاعات المؤينة في علاج مرضى الأورام السرطانية (وأحياناً الحميدة)، ويهدف العلاج بالإشعاع إلى إعطاء المريض جرعة من الأشعة مقاسة بدقة إلى حجم محدد من الورم مع السماح بأقل قدر ممكن من الأشعة على الأنسجة السليمة المحيطة بالورم أو التي تمر من خلالها، وتكون هذه الجرعة كافية لتدمير الورم وتؤدي إلى تحسن في صحة المريض وإلى زيادة متوقعه في طول عمره.

يكون الهدف من العلاج إما شفائي وإما تخفيفي، ويكون الهدف الشفائي شفاء المريض من الورم بإذن الله ليعيش لفترة طويلة بعد العلاج. أما العلاج

التخفيفي فيقرره الطبيب في حالة كون المرض خارج عن السيطرة العلاجية، ويكون احتمال الشفاء منه شبه معدوم، وفي هذه الحالة يكون الهدف هو فقط تخفيف الآلام المصاحبة للورم.

تجزأ الجرعة الكلية للإشعاع إلى أجزاء عديدة، وتعطى على شكل جلسات يومية، ويوجد حد أعلى مسموح فيه لجرعة الأشعة العلاجية (سواء الجرعة اليومية أو الكلية)، فإذا زادت عن هذا الحد قد تحدث إصابات جسيمة في الأنسجة السليمة، كما أنها إذا قلت عن الكمية المطلوبة للقضاء على الورم فإن الورم سيعاود انتشاره. وهناك الكثير من العوامل التي تتحكم في وصفة العلاج منها مدى حساسية الورم للعلاج بالإشعاع، ومعدل نموه وحجمه، وموقعه بالجسم، وحالة المريض. لذلك يجب على الطبيب وضع الخطة العلاجية المثلى لكل حالة. وفيما يخص تنفيذها يجب أن لا تتجاوز نسبة الزيادة أوالنقصان في جرعة الإشعاعات المعطاة (±٥٪) من جرعة الأشعاعات المقررة .

عملية العلاج بالإشعاع

تعد عملية العلاج بالإشعاع من الإجراءات المعقدة لكونها تشتمل على العديد من العناصر المتخصصة والعمليات المشتركة أو المتداخلة والأجهزة الدقيقة. ومن العناصر التي تشارك في عملية العلاج بالإشعاع الأطباء، والفيزيائيون، وفنيو العلاج الإشعاعي (مشغلو الأجهزة)، ومهندسو الأجهزة العلاجية، ومخططو ومقننو الجرعات بالكمبيوتر، وممرضات، وأخصائيو الخدمة الإجتماعية ومساعدو المرضى. ويجب أن يكون هناك قدر كبير من التنسيق بين أعضاء هذا الفريق بحيث يكون هناك إنسيابية والتزام بالقيام بالدور المحدد لكل منهم.

ويبدأ مسار العملية العلاجية في الغالب بتشخيص الورم عند المريض بواسطة أجهزة التشخيص الطبية المتعددة ـ الأشعة المقطعية، وأشعة الرنين المغناطيسي، والأشعة فوق الصوتية، والأشعة النووية، وأشعة البوزترون، والفحوص المختبرية وغيرها ـ ليتم بعدها إرسال المريض إلى عيادة مشتركة مكونة من مجموعة من أطباء الأشعة العلاجية، أطباء جراحة الأورام، وأطباء العلاج الكيميائي وتخصصات أخرى إذا لزم الأمر. وتقوم هذه المجموعة بمراجعة كافة بيانات المريض وتقييم حالته واتخاذ القرار الأمثل للعلاج، حيث قد يكون العلاج الجراحي أو الكيميائي أو بالإشعة أو بها جميعا أو بإثنين منهما فقط. وبناء على ذلك يتم توجيه المريض لبدء العلاج، فإذا كان في الأشعة العلاجية يتولى أخصائيو العلاج الإشعاعي من فيزيائيين ومبرمجين مسؤولية وضع الخطة العامة للعلاج والإشراف العام على تنفيذها.

● جهاز المحاكاة .

تبدأ أولى مراحل الخطة العلاجية بقسم جهاز المحاكاة (Simulator) حيث يتم أخذ صور أشعة لمنطقة الورم، وتحديد مساقط حقول الأشعة العلاجية، وتحديد الأنسجة والأعضاء الحساسة التي يجب تلافي تعرضها للأشعة، وأيضا تحديد ما إذا كان المريض يحتاج إلى أقنعة تثبيت أو دروع حماية لبعض المناطق. وقد تستخدم في هذه المرحلة جهاز التصوير المقطعي أو جهاز المحاكاة الافتراضي (Virtual Simulator) إن وجدت، حيث تؤخذ صور مقطعية لمنطقة الورم، ومن ثم عن ـ طريق الكمبيوتر ـ يتم تحديد مساقط الأشعة وأخذ صور تشخيصية لها، بعد ذلك يتم وضع علامات محددة على جسم المريض، وغالباً ما يرسل المريض في نهاية هذه المرحلة إلى غرفة الدروع وكتل الحماية، حيث يتم عمل هذه الدروع هناك.

وفي المرحلة الثانية يتم إرسال جميع هذه البيانات إلى الحاسب الآلي لتخطيط العلاج بالأشعة ثلاثية الأبعاد، حيث يقوم طبيب العلاج بالأشعة ـ في البداية ـ بتحديد حجم الورم المزمع علاجه، ثم يقوم أخصائيو التخطيط بالكمبيوتر وتقنين الجرعات بقسم الفيزياء الطبية بعمل خطة علاج مثلى ثلاثية الأبعاد، معتمدين في ذلك على البيانات المأخوذة من الجهاز المشابه والأشعة المقطعية والبيانات التي تم تغذية جهاز الكمبيوتر بها مسبقا، مثل أنواع أجهزة العلاج بالأشعة وطاقتها والخصائص الفيزيائية لكل منها. وعند إنهاء هذه الخطة يتم شرحها للطبيب المعالج وعند موافقته ـ قد يطلب بعض التعديلات ـ تتم مراجعتها من قبل أحد أخصائيي الفيزياء الطبية.

وفي المرحلة الثالثة من عملية التخطيط يتم أرسال الخطة الكاملة إلى جهاز المحاكاة

للتأكد عملياً من إمكانية تطبيقها على المريض، وعند نجاحها يتم إرسالها إلى جهاز المعالجة بالأشعة.

يتم في المرحلة الرابعة تنفيذ الخطة العلاجية على المريض باستخدام جهاز المعالجة بالإشعة ويقوم بذلك فريق من الفنيين المؤهلين.

الجدير بالذكر أن التطوير الحديث في الخطة العلاجية بالإشعاع يتم عن طريق ارسالها عن طريق الحاسب الآلي بواسطة شبكة داخلية ترتبط بجميع أجهزة قسم العلاج بالإشعاع، وتعمل ببرامج تقوم بتخزين بيانات المريض والخطة العلاجية والجلسات اليومية ولا تسمح للعاملين بتجاوز أي من عناصرها.

طرق العلاج بالإشعاع

تتوفر الآن ثلاث طرق رئيسية للعلاج الإشعاعي، هي كما يلي :

● العلاج الإشعاعي الخارجي عن بعد

توجد الكثير من أجهزة العلاج الاشعاعي الخارجي عن بعد (External Teletherapy) مثل أجهزة الأشعة السينية بجهد يتراوح من ٥٠ إلى ٣٠٠ كيلو فولت، وأجهزة الكوبلت، وأجهزة المسرع (المعجل) الخطي، وأجهزة العلاج بالبروتونات، وأجهزة العلاج بالنيوترونات.

تشكل المسرعات الخطية حوالي ٩٠٪ من الأجهزة المستخدمة في العلاج الإشعاعي في الوقت الحاضر، وقد تم أكتشاف المسرعات الخطية بعد اكتشاف أنابيب توليد الموجات الكهرومغناطيسية المعروفة باسم المغنترون أو الكليسترون (Magnetron or Klystron) التي تعمل بتردد يقارب ٣٠٠٠ ميجاهرتز، وقد تمكن العلماء من استخدام الأجهزة المذكورة في تسريع

● جهاز المغنترون .

الإلكترونات داخل أنبوبة التسريع إلى سرعات عالية للغاية تقارب سرعة الضوء، وعندما تصل حزمة الإلكترونات الى سرعة معينة حسب طول أنبوب التسريع يتم التحكم في مسارها بواسطة مغناطيسات تعمل على انحرافها بزاوية ٩٠ أو ٢٧٠ درجة لتصطدم بالهدف (Target)، وهنا يمكن اختيار إحدى عمليتين:

ـ الحصول على الأشعة السينية بوضع هدف من مادة التنجستن بسمك حوالي ١ملم، لتصطدم به حزمة الإلكترونات السريعة، فتتولد عن ذلك الإصطدام أشعة سينية تستخدم في العلاج.

ـ الحصول على حزمة أشعة الإلكترونات بإزاحة الهدف ـ مادة التنجستن ـ واستبداله بشريحة معدنية رقيقة تقوم ببعثرة الإلكترونات الساقطة عليها وزيادة سعة الحزمة لأغراض العلاج.

تستخدم الغالبية العظمى من المسرعات الخطية لعلاج أورام مساحة مقطعها مابين ٥×٥ سم٢ إلى ٤٠×٤٠ سم٢، أما في حالة الأورام صغيرة الحجم أو كبيرة المساحة فيمكن استخدام طرق خاصة لعلاجها. فمثلاً يتم علاج الأورام الصغيرة في الرأس بما يسمى «الأشعة الجراحية» (Radiosurgery). وتتلخص هذه الطريقة بأخذ صور مقطعية لرأس المريض بواسطة جهاز الرنين المغناطيسي، ومن ثم يثبت على رأسه قالب من مادة كربونية وتؤخذ له صور مقطعية بواسطة جهاز الأشعة المقطعية. بعد ذلك تتم مطابقة الصور المقطعية وتحديد مكان الورم المزمع علاجه وعمل الخطة العلاجية المناسبة بواسطة جهاز تخطيط الجرعات الخاص بهذه التقنية. أما في حالة سرطانات الدم أو الجلد فيتم تشعيع كامل الجسم (TBI TSET). حيث تستخدم الأشعة السينية في حالة سرطانات الدم وحزمة الإلكترونات في حالة سرطان الجلد.

مما يجدر ذكره أن تقنية المسرعات الخطية قد تطورات أخيراً وأصبحت اليوم أكثر دقة وديناميكية وأضيفت لها العديد من المكملات، ويتم التحكم فيها بالحاسب الآلي.

● العلاج الإشعاعي عن قرب

العلاج الإشعاعي عن قرب (Brachy therapy) عبارة عن علاج الأورام السرطانية عن طريق وضع مصدر مشع مغلق في وسط الورم أو على سطحه مباشرة، ويتم العلاج بهذه الطريقة عن طريق أنابيب يتم ادخالها من خلال الفتحات الطبيعية بالجسم، أو عن طريق إبر أو كبسولات أو أسلاك من المصادر

● جهاز العلاج الإشعاعي عن قرب .

المشعة ـ مثل السيزيوم ١٣٧ والإريديوم ١٩٢ واليود ١٢٥ـ يتم غرزها وسط الورم، أو توضع المصادر المشعة في قالب يوضع على سطح الجسم عندما يكون الورم سطحياً. وتستخدم اليوم أجهزة التعبئة اللاحقة (Afterloading devices) التي يتم استعمالها على مرحلتين:

* **المرحلة الأولى**، يتم إدخال الحاويات أو الأنابيب وهي فارغة إلى المنطقة المزمع علاجها حسب توزيع معين، ويتم التأكد من ذلك بأخذ صور أشعة تشخيصية.

* **المرحلة الثانية**، وتبدأ بعد التأكد من وجود الأنابيب في أماكنها الصحيحة وحسب التوزيع المطلوب بإرسال المصادر المشعة لتبقى فترة زمنية محددة حسب الخطة العلاجية لتعطي الجرعة المطلوبة، بعدها تسحب المصادر المشعة آلياً إلى مستودع خاص.

● العلاج بالنظائر المشعة غير المغلفة

تتميز بعض خلايا الجسم بخاصية امتصاص وتركيز بعض العناصر لاستخدامها في بناء مركبات معينة كجزء من وظيفتها الطبيعية ، فمثلاً تقوم الغدة الدرقية بامتصاص وتركيز اليود من الدم، كما تقوم كريات الدم الحمراء بامتصاص مادة الفسفور، وقد استفاد الأطباء من هذه الخواص باستبدال هذه العناصر بنظائر مشعة، فيما يعرف بالعلاج بالنظائر المشعة غير المغلفة (Unsealed Radioisotopes) لذلك يستخدم اليود ١٣١ الصناعي المشع في علاج بعض أمراض الغدة الدرقية مثل الأورام وزيادة النشاط. كما يستعمل الفسفور٣٢ المشع في علاج مرض كثرة خلايا الدم الحمراء.

دور أخصائي العلاج بالأشعة

يقوم أخصائيو الفيزياء الطبية بكثير من المهام منها:

ـ عمل الخطط العلاجية بالأشعة لمرضى الأورام يدويا أو بواسطة الحاسب الآلي. وتكون الخطة العلاجية حسب نوع الورم وحجمه وموقعه، حيث يقوم المخطط باختيار نوع الأشعة، وطاقتها، وعدد الحقول، ومساحة كل منها، وزاوية سقوط الحزمة على الورم. بالإضافة إلى ذلك يقوم المخطط عند الحاجة باستعمال المرشحات الوتدية (Wedges) ومعوضات الأنسجة (Tissue compensators) وقوالب التدريع (Shielding Blocks).

ـ معايرة أجهزة العلاج بالأشعة بضبط معدل ناتج الأشعة (Output-cGy/MU)، ويتم ذلك حسب أنظمة دقيقة لقياس الجرعات باستخدام أجهزة قياس تتكون من غرفة تأين ومقياس جرعات خضع للمعايرة من مختبر أولي للمعايرة والتقييس.

ـ عمل قياسات وفحوص الجودة النوعية بشكل دوري.

ـ عمل فحوص الإستلام والتأهيل لجميع أنواع أجهزة العلاج بالإشعاع.

المراجع

١ـ **حسن كامل عوَاض، محمود محمد الجنتيري**، أساسيات تخطيط العلاج الإشعاعي، المعهد القومي للأورام ـ جامعة القاهرة ١٩٩٦م، مطبعة أخبار اليوم.

٢ـ **د. مرسي عرب**، الذرة والنظائر المشعة في الطب والعلاج ١٩٦٦م. شركة الأسكندرية للطباعة والنشر.

٣ـ **محمد فاروق أحمد محمد، أحمد محمد السريع**، الإشعاعات المؤينة ـ خصائصها وتأثيرها واستخداماتها، الندوة العالمية لاستخدامات وتكنولوجيا الأشعاعات المؤينة١٩٨٢م. مطابع جامعة الملك سعود.

4- **Carlos A. Perez, Luther W. Brady.** Principles and Practice of Radiation Oncology. 2nd edition, 1992. J. B. Lippincott Company.

5- Reports by: International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Publications. 7910 Woodmont Avenue, Suite 1016. Bethesda, Maryland 20814.

6- Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of x- or gamma rays in radiotherapy procedures. International. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) #24 , Bethesda, MD, 1976.

7- Radiation Dosimetry: Electron Beams with Energies Between 1 and 50 MeV. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) #35 , Bethesda, MD, 1984.

8- Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) #50 , Bethesda, MD, 1993.

9- **Faiz M. Khan.** The Physics of Radiation Therapy. 2nd edition, 1994. Baltimore, Maryland. Wiliams & Wiliams.

10- **Eric J. Hall.** Radiobiology for the Radiologists. 2nd edition, 1978. Hagerstown, Maryland. Harper & Row.

11- Internationl Atomic Energy Agency (IAEA). TRS-398. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water. IAEA, 2001.

12- **H. E. Johns, J. R. Cunningham.** The Physics of Radiology. 4th edition, 1983. Thomas Books

13- **C. J. Karzmark, Craig S. Nunan, Eiji Tanabe**. Medical Electron Accelerators, 1993. McGraw-Hill, Inc.