Evaluation Only. Created with Aspose. Words. Copyright 2003-2023 Aspose Pty Ltd.

Applied Radiation and Isotopes 64 (2006) 979-988 RA-226 G. Melvillea 、/C3、SAU Fan Liub、B.J。Allena Acentre の光子誘導変換による癌療法の AC-225 の生産の理論モデル腫瘍学、セントジョージキャンサーケアセンター、グレイセント コガラ、NSW、オーストラリア、NSW、シドニー、ニューサウスウェールズ州シドニー、 オーストラリアは 2006 年1 月 18 日に受賞しました。2006 年 5 月 1 日改訂フォームで 受信。2006 年 5 月 4 日に受け入れられた抽象ラジウム針は、癌治療としてかつて腫瘍に 移植されていたラジウム針が時代遅れであり、半減期は 1600 年であるため、放射性廃棄 物の問題を構成しています。医療線形アクセラレータ(LINAC)からの高エネルギー光子 を使用して RA-226 を爆撃して RA-225 を生成することにより、ラジウムの還元を小規模 でのラジウムの減少を調査しています。癌の「標的アルファ療法」で使用するための BI-213 を生産する発電機。このホワイトペーパーでは、18 mV のリナック電子エネルギーで のブレムストラリング光子スペクトルが RA-226 の対応する光核断面で畳み込まれている 正確な理論モデルを使用して、LINAC で AC-225 を生成する可能性を検証します。その後 、総統合収量を取得でき、コンピューターシミュレーションと比較できます。この研究で は、18 mV で、RA-226 での光核反応が LINAC で AC-225 の低い活性を生成できること を示しています。ただし、実用的な量の AC-225 と RA-226 の有用な削減には、高電流、 パルス長、および周波数を備えた高出カリナックが必要です。R2006 Elsevier Ltd. All Rights Reserved。キーワード:医療線形アクセラレータ(LINAC);アクチニウ ム-225;ラジウム-226;ラジウム-225;bismuth-213;ターゲットを絞ったアルファ療法 ;がん治療1.はじめに1.1。Actinium-225 AC-225 は、Bi-213 を生成するために減 衰する 10 日間の半減期を備えたアルファ放出ラジオティオトープです。いずれかの AC-225 ORBI-213 は、無線免疫療法のエージェントとして使用できます。アルファ粒子エ ミッターは、単一癌細胞およびマイクロメタスターゼの致死照射の最も強力な源であり、 それらの密にイオン化する放射線のためです。軟部組織の短距離は数細胞直径のみに制限 されているため、無線免疫療法アプリケーションにかなりの関心を持つアルファ粒子があ ります。アルファ粒子は、組織内の高い線形エネルギー伝達(LET)を持っています。高 い let 放射線は、低 let ベータ放射よりも短い範囲ではるかに多くの生物学的ダメージ を誘導するため、細胞毒性がはるかに多くなります。非常に小さな容量でこのような高工 ネルギーの送達により、アルファ粒子は、微小転移性疾患や白血病やその他の血液媒介疾 患などの単一癌細胞を標的とするのに特に適しています。Bi-213 放射性同位体は、その 独特の核特性のために特に興味深いものです。これには、46 マンの短い生命と高エネル ギー(8.4 MEV)アルファ粒子エミシオンが含まれます。AC-225/BI-213(Actinium Pharmaceuticals、2005)のジェネレーターシステムからの可用性により、この放射性 同位体は、医療使用に特に適しています。がん試験は、シドニーのセントジョージ病院の

がん治療センターで実施されています。ここでは、Bi-213 を使用した対象標識療法(TAT)(Allen et al。、2004)プログラムは、分離を選択的に殺すことにより、マイクロメタスターゼの成長を阻害する可能性を提供します。がん細胞の血管新生前クラスター。TAT では、放射性同位体はモノクローナル抗体またはタンパク質に結合しており、出版局のがんのがんの受容体に付着している Their 分子サブユニット

www.elsevier.com/locate/apradiso 0969-8043/\$ - フロントマターR2006 Elsvier Ltd.すべての権利を参照してください予約済み。doi:

10.1016/j.apradiso.2006.05.002/c3corresting 著者。Tel。:+61 2 94871619.電子メールアドレス:gmelvill@bigpond.net.au(G。Melville)。

細胞は、放射線ががんを攻撃することを可能にしながら、周囲の組織への潜在的にマイナ スの影響を最小限に抑えます。1.2。ウラン-233 減衰鎖がん治療の可能性を保持してい る Bi-213 同位体は、U-233 から始まる複雑なプロセスを通じて生成されます(図 1)。 **このプロセスの重要な中間体は、**TH-229 および AC-225 です。AC-225 は現在、ORNL で U-233 から抽出された TH-229 から導出されています(Boll et al。、2005)。 AC-225 を生成する方法はいくつかあります。現在最も実用的な方法は、Th-229 の崩壊 からこれらの同位体を導き出すことです。これは、∪−233 の崩壊によって生成されます。 AC-225 は、医療施設に出荷されている製品です。BI-213 は病院の AC-225 から分離さ れ、ターゲ<mark>ティング剤と</mark>組み合わされています。1.3。生産方法 AC-225 は、アクセラレ ータまたは反応器<mark>を使</mark>用して、または分離技術を使用して生産できます。方法には、u-233 の崩壊によってそれを取得するのではなく、直接生産することが含まれます。AC-225 に減少する RA-225 を生産します。AC-225 を直接生産します。これらの各方法は、 BI-213 generator で使用するための AC-225 の供給を 7 つに供給しますが、それらは すべて、追加の化学処理および/または分離ステップを必要とし、まだ決定されていない ため、生産コストを増やす可能性があります。225 (Koch et al。、1999)は: /c15232th(n; g、2b)233u:この方法では、Th-232 を熱中性子で砲撃して U-233 を生成し、u-233 減衰鎖を追跡します。図 1 に示すように、AC-225。/C15226RA(3 N; 2B) 229th: **この方法では、**3neutron キャプチャイベントの後に TH-229 **を生成す** るためにラジウムを熱中性子で爆撃し、AC-225 に減少します。/C15226RA(P; 2N) 225AC: この方法では、サイクロトロンからのプロトンは AC-225 を生成し、ピーク断面 は 16 MEV プロトンエネルギーで約 540 MB です。(プライベートコミュニケーション: G Dracoulis、Australian National University)標準的な融合蒸発コードを使 用しています。)226ra (P; 3N) 224AC **反応は、より高いエネルギーで急速に引き継ぎ** ます。/c15226ra(n;2n、b)225ac:中性子爆撃ラジウムが AC-225 を生成します。 /c15226ra(g; n)225ra:**この反応は** RA-225 **を生成し、その後ベータ崩壊を通じて** AC-225 に減衰します。上記の多くの反応には、熱エネルギーでの中性子爆撃が含まれま

Created with an evaluation copy of Aspose. Words. To discover the full versions of our APIs please visit: https://products.aspose.com/words/

す。中性子を必要とする産業用アプリケーションの場合、ユーザーは、核 rea 網、放射性 同位体、アクセラレータベースの高エネルギー中性子源の 3 つの主要なソースを選択しま す。核牧師は、中性子の最大かつ最も普及している源です。このペーパーでは、医療用リ ナックが放射線療法のインホスピタルに日常的に使用されているため、光核反応経路を調 査します。1.4。光核生産リナックは、放射線療法治療の主力です。彼らは、クライスト ロンまたはマグネトロン生成された電波周波分野によって加速されたメガボルテージ電子 ビームを提供します。グリッドされた電子銃からの電子のビームは、アソレノイドによっ て直径 2 mm 未満のビームに焦点を合わせて、厚さのタンタルまたはタングステン標的と 生産性のある標的放射を獲得します。このペーパーの理論モデルは、Varian の 2100c MV Clinac に基づいていますが、エネルギー範囲が調整されると、任意の LINAC と非常 に似ています。ゼロエネルギーからゼロエネルギーからターゲットにヒットする最大エネ ルギーまで生成されたブレムストラリングフォトンのこれらは、この場合は 18 meV です 。今日の最も一般的なアプローチは、スペクトルを計算するための Usemonte Carlo Methods (Anesjo、1989)です。核核反応は22688raÞy!22588raÞ10nです。(1) 反応(1)中性子が排出されるように、ブレムスストラング光子でラジウム核を刺激する ことを伴います。出版物の審判図 1. U-233 減衰チェーン (Korea Atomic Energy Research Institute、2005).g。メルビルら。/応用放射と同位体 64 (2006) 979-

6.4 MEV の反応しきい値は、LINAC で簡単に達成できます。反応は本質的に電磁的であ り、実質的に瞬時になります。これは、照射後、RA-225 は最大の収量になり、時間の経 過とともにゆっくりと崩壊し、半減期は 14。9 日であり、ベータ排出により AC-225 を 生成し、次の崩壊により生成されます。(2)2。理論 2 . 1。ブレムストラリング生産リナ ック内の電気的に加熱された優先(カソード)は、ドリフトチューブ間に適用される高電 圧パルスの適用により、fi面からタングステンターゲットへの導波路によって加速され る電子を生成します。ドリフトチューブを吸い込んだ場合、それらはフィールドからシー ルドされ、一定の速度で漂流します。彼らが次のギャップに到着すると、ラジオフェーク フィールドは次のドリフトチューブに到達するまでテーマを加速します。これは、粒子が ターゲットに出るまで、各ギャップでますます多くのエネルギーを拾い上げて続きます。 交互のフィールドが使用されており、フィールドが粒子を交互に加速および減速させるた め、ドリフトチューブが必要です。ドリフトチューブは、フィールドが減速する時間の長 さのために粒子を保護します。リナック光子またはブレムストラリング放射(Bueche、 1969)は、高エネルギー電子が原子核の近くを通過する陽極材料に浸透すると発生します 。電子は、速度の変化を引き起こすタングステン原子の核クーロンフィールドによって初 期経路から偏りになります。エネルギーは、「ブレイキング放射」またはブレムスストー ルと呼ばれる電磁放射の形で失われます。爆撃電子が異なる衝撃半径で核に近づくため、

光子放射を生成するエネルギー変換は異なります。したがって、電子が核フィールドによ って単に誘導されるだけである場合、最大(全体のエネルギー全体が光子放射に変換され る)から最大のエネルギー光子放出へのブレムストラリングエネルギーの広がりがありま す。さまざまなターゲットの電子砲撃によって角度が生成された角度の強度の強度の変動 を示す極ダイアグラム (Nordell et al。、1984) を図 2 に示します。曲線 A は、薄 いアルミホイルと曲線 B と C、10 および 20 MEV 電子を砲撃する 34 keV 電子を示して おり、薄い 0.05 cm のタングステルテットを砲撃しています。曲線 D は、16 1 枚のタ ングステンターゲットを備えた断熱 x 線チューブの典型的な強度分布であり、ビームは電 子ビームに直角に採取され、90 kv p で吸収されます。砲撃電子のエネルギーが増加す ると、曲線 A の 2 つのローブが前方に先端に進み、非常に高いエネルギーで、すべての放 射が前方向に分布します。Mohan et al。(1985)CLINAC-20 からの 15 MEV 光子の 角度分布は非常に狭く、ターゲットの中心軸の2°に含まれるすべての光子の99.9%を超 えることがわかりました。2100c のクリニクウィルには、同様の光子角分布があります。 これは、AT100 cm(SSD)を意味します。光子ビームの大部分は、断面が 7 cm 未満の 領域に含まれることを意味します。もちろん、これは彼らの旅に人の干渉がないと仮定し ています。ただし、実際には、LINAC コリメーターと膨張フィルタリングのために光子を 検討する必要があります。article in Press 図 2.加速された電荷からのブレムススト ラン排出。メルビルら。/応用放射と同位体 64 (2006) 979-988 981

この研究は、18 MV 2100C Clinac に基づいています。このように、光子エネルギーの 範囲(bremsstrahlung)は、約 6 meV の平均エネルギーと 1.25 meV のピークフルク スを備えた態で歪んだガウス曲線です。光子の強度は低いエネルギーで高くなりますが、 より高いエネルギーではすぐに先細りになります。これについては後で詳しく説明します 。核核反応によって生成される収量(y)o fr a -225 を計算する最も正確な方法(1) は、個々の収量をすべてのブレムズエネルギーに比べて y(e)y(e)y½ze2e1yðeÞde、 (3) ここで elis6.4 MEV での反応閾値(光核実験センターデータ(CDFE)、2005) a n d e2 は、リナックの最大電子エネルギー、つまり 18 Mev。この統合を実行するには 、エネルギーの関数としての Bremsstrah-Lung 光子と光子反応断面積の数を、最初に 脳卒中のエネルギー範囲で計算する必要があります。2.2。反応断面反応断面(Wehr and Richards、1974) i は s⅓nrn1、(4) ここで、断面積(納屋)、単位面積あたり の単位時間あたりの入射粒子の数が sis(cm2)で定義されています。、および Nr 核ご との単位時間あたりの反応の数。断面はエネルギーの関数であり、以下の式、eq)。この 式は、粒子共鳴の形成のための断面を説明し、他の2つの粒子状態を相互に媒介します: sðeÞ¼ðq=2Þ2ðe/c0erb2Þ2Þ2Þ2Þ2eer/c18/c19ER¼13.45MEV(巨大双極子共鳴(GDR) エネルギー) (Berman、1976)、Etthe 6.4 Mev(反応閾値エネルギー) (CDFE、2005)、G The 3.97 MEV(共鳴時のFWHM)(Berman、1976)、および

Sthe521MB¼52.1/c2 10/c026cm2(ピーク共鳴断面)(Berman、1976):/c15 共 鳴エネルギー(ER)およびピーク共鳴断面積は RA-226 では不明ですが、同様であると仮 定されています。同様のマス数を持つ他の核種に。ここで使用される値は Bェ-209 のもの であり、これは既知の値を持つ最も近い放射性核種の 1 つであり、TH-232 に匹敵します 。/C15 反応閾値エネルギー(ET)は、質量式(CDFE、2005)を使用して計算されてい ます。/c15 共鳴(g)のハーフマキシマム(fwhm)の全幅(g)は RA-226 では不明です が、同様の質量数のシミラルト核種であると想定されています。ここで使用される値は、 BI-209 用です。/c15 上記の断面方向における平方根式は正規化係数です。それは共鳴 時に1つに等しく、共鳴以下の1つ未満であり、共振よりも大きくなります。/c15 上記 の方程式は、最大 18 mev の正確な単一中性子反応が大幅に支配的です(リナックエネル ギーの場合は有効です)。より高いエネルギー(cdfe、2005)では、2 つの中性子が生 成されます。光子スペクトルの高エネルギーテールが弱いため(後で参照)、これらはモ デルの計算を著しく程度まで影響しないはずです。2 . 3。畳み込み RA-225 の総量(y) は、式を使用して計算されます。(6):yシ₄z18Mev 6:4m evyðeÞdeシ₄z18mev6:4m evnfðeÞsðeÞtde、(6)ra-225 原子の収量、n は ra-226/cm3 の原子数、fthe 光子 液/s、STHE **断面積**(MB)、および The RA-226 ターゲット(CM)の厚さ: Yðatoms=SP4Z18MEV 6:4M EVðnatoms= cm3 /c2fphotons = s /c2tcmPde. ð7þ2 . 4。前に図 1 に示されているように、RA-225 が生成されると、RA-225 が生成さ れると、AC-<mark>225 に</mark>減衰します。理想的な理論的症例は図 3 に示されています。ここでは 、娘の放射性核種の半減期が親放射性核種よりも短く、一時的な平衡をもたらします。図 3 **のこの**合格マッチンティクル。メルビルら。 ∕ 応用放射と同位体 64(2006)979−988 982

活動のうち、約 13 日後に発生し、この時点での娘の活動は元の活動の約半分です。ただし、私たちの状況では、AC-225 (娘)の半減期 (10 日)が RA-225 (親)半減期 (14。8 日)よりもそれほど短くないため、曲線は理論的にのみ承認します。3.計算 3.1。 LINAC パラメータ 18 MV LINAC (Varian Australia が提供)の関連する仕様を以下に示します (表 1)。リナックは、パルスされた電子ビームがクライストロンまたはマグネトロン生成された電波周波分野によって導波路ごとに加速されるため、連続電流を生成しません。これは、3.5 および 4 ミリ秒、180 回/s の間の実際の電流時間を意味します。したがって、36 mA の最大パルス電流は、4 ms のパルス長を使用して、26 mA の平均ビームカレントに相当します。1 アンペア $\frac{1}{4}$ 1 クーロン/ $\frac{1}{4}$ 6.25/c210 18 電子/s、26mA $\frac{1}{4}$ 1.625/c21014electrons/s。3.2。Bremsstrahlung の生産効率 Bremsstrahlung Photons の確率、P は、低エネルギーで約 1 $\frac{1}{4}$ 5%/電子 (Dowsett et al。、2001)ですが、アノード材料(ターゲット)と電子ビームエネルギーEB の両方とともに増加します。電子エネルギーのほとんど(99%)は熱として失われます。臨界

エネルギー(E c)と呼ばれる特定のエネルギーの上で、ブレムストラルの効率を考慮す る必要があります。この重要なエネルギーは、この研究の 18 mV エネルギーをはるかに 下回っている ECE600/ZMEV¼8.1MEV: ECE600/ZMEV¼8.1MEV: ceCalculated (Frauenfelder and Henley、1991)を使用できます。低エネルギーでの電子エネルギ ー(EB、EV)でのブレムスストラリング生産の効率は、Z⅓kebz から計算できます。ター ゲット(\mathbb{Z}^{1} 474) (Dowsett et al。、2001)。低エネルギーでのブレムストラリング 収量は、入射電子のエネルギーが増加するにつれて直線的に増加します(Frauenfelder and Henley、1991)が、低い電子エネルギーでは一般に 5%未満です(125 kV /C241 %)。1 MEV では、収量は 8%になる可能性があります(Dowsett et al。、2001)。 エネルギー範囲全体にわたって、勇敢なエフェジー性を正確に表現する表現はありません 。中程度のエネルギーでは、一般的な近似式(Emilio、1975): Z/C25EBZ 750 WHERE EBIS MEV の電子エネルギー: (9)これは式に似ています。(8)しかし、約12 MEV でエネルギーで 100%以上増加します。18 MEV でのブレムストラリンゲルクロン効 率を見つけるために、3 つの方法が特定されています:/c15 高エネルギー近似式(Meyer- Hof, 1967): z/c256/c210/c04zeb1P6/c210/c04 zebwhere mev: (10)フォーミュラは、効率が 100%未満のままであり、18 MEV で 44.4%の効率を与える ことを保証します。/c15 水中の測定された脳腹部の効率(最良のライン)図 4 (Emilio 、1975)。Z 2 とほぼ同じ異なる数字 Zvaries の要素における Bremsstrahlung の効 率(Meyerh<mark>of、1967</mark>)。したがって、タングステンの効率は約 49%AT18 MEV です。 /c15 表 2 (Spring、1960) 以下では、タングステンの測定値と理論的値を少数に示し ます。それは、エネルギーがほぼ 2 倍になると、効率がほとんど密接にかかることを示し ています。これにより、約 52%の 18 MEV で外挿す効率が得られます。高エネルギー近 似式 (1番目の方法)は、他の 2 つの方法として Bremsstrahlungef の効率を決定する 上で最も正確です。このモデルでは、図 5 の光子スペクトルを正常化するために、保守的 な 40%のブレムストラリング効率を使用しています。これは、0〜18 MEV の Linacfrom によって生成される光子の総数が 6.5 /C210 13 に等しいことを意味します 。3.3。Linac Photon Spectrum 光子スペクトルを構築して、光子の総数とその強度 を知って構築できます。図 5 のこれらは、Varian Corporation の光電流データを使用 して最大 18 MEV までの光子エネルギーの関数として光子の数を与え、これらのエネルギ ーでの反応断面を使用してこれらのエネルギーのそれぞれで RA-225 収量を計算すること を可能にします。。Photoneutron eq。(1)6.4 MEV のしきい値エネルギーを有する RA-225 を生み出すことができる光子の総数は 1.61 /C210 13.press の article 表 1 18 mV varian Clinac 2100c 電子エネルギー (max) 18 mev のパラメーター (+3%) ピークパルス電流 /C2436 MA 周波数は180Hz パルス長は3.5m24ms 平均電流は26mag 。メルビルら。/応用放射と同位体 64 (2006) 979-988 983

3. 4。計算された反応断面リナックエネルギーの範囲を介したフォトノートロン反応(式 (1))断面は、式(5)を使用して計算でき、以下の図6に示すことができます。このグ ラフは、6.4 MEV のしきい値反応エネルギーでゼロ断面を示しており、その後、13.75 MEV のエネルギーで 532 MB の最大断面に着実に増加します。断面は 18 MEV で切り捨て られます。これは、このモデルのリラシンの最も高い電子エネルギーと光子エネルギーで す。3.5。RA-225 の収量 RA-225 の総量 (Y)は、式を使用して計算できるようになりま した。(7)および両方のフィグを構築するために使用されたデータ。5 および 6。この計 算の結果を図 7 に示します。これは、反応が発生する可能性のある完全なエネルギー範囲 、つまり 6.4〜18 MEV からの RA-225/s の原子の収量です。最大収量は 13.5 MEV で 発生します。RA-226 の A1 C m 3 ヴォルムには 1.33 /c210222222222222 項が含 まれています。式の使用。(7)、RA-225 の総量(y)⅓2.8/c2101010atoms/s。した がって、エネルギー範囲のブレムストラリング光子を備えた RA-226(アクティビティ 5 CI) の1 cm3 ターゲットを 6.4~18 MEV に襲う 18 mV のリナックは、RA-225/s また は約 1014Atoms/h の 2.8/C2101010110 原子を生成します。照射。これは、このシミ ュレーションの不確実性の主な原因である 40%のブレムストラリング効率に基づいていま す。これは議論されます。RA-225 の活性は、225¼L/C2N225 (RA-225 の原子の no)に よって与えられます。RA-225 の減衰定数(L⅓0.693/T1/2)(半減期:14。9日)は、 L45.38/C210/C07s/C01 および 1CI43.7/C21010DIS/s です。したがって、A22545 :38/C210/C07/C2101445:38/C2107BQðdis=SÞ= H 照射41:45 MCI = H 照射: 3 . 6。C ++と MATLAB を使用した最適な LINAC エネルギーコンピューターシミュレーシ ョンプログラムを使用して、既知の TH-232 断面データ (Berman、1976)を使用して、 Bremsstrahlung Photon Spectra と組み合わせることを使用して OFRA-225 の理論 的収量を計算しました。このプログラムは、さまざまなエネルギーや電流に対して使用で きるように設計されました。マトラブは、グラフのプロットに役立ちます。結果を図 8 と テーブル 3 に示します。このシミュレーションでは、1 モルの RA-226 が照射されました 。計算では、リナックは、増加するエネルギーを持つ収量のプラトーであるため、可能な 限り最高のエネルギーを必要としないことが示されました。したがって、AC-225 ISAROUND 16 MEV の最適なエネルギー。18 MEV (Siemens)は実際に 15.25 MEV を 提供します。これは 16 MEV に最も近いエネルギーです。一方、10 MeV (Varian)は、 フォトヌトロン反応のしきい値エネルギーよりもはるかに大きくありません。25 MEV (Elekta)は最高のエネルギーを提供しますが、低いブレムスストラリング出力のため、 収量は 15 MEV (Varian)未満です。この理由は、LINAC 電力は電流と電圧の積である が、出版物の記事は、表 2 の理論的および測定されたブレムストラリング効率(MEV)効 率(%)実験理論的 0.90 3.4 3.4 1.63 5.8 5.62.35 10.4 5555555 であるからです。0.010.0250.050.11 4 710 18 30 50 70100 エネルギ

ー (MEV)効率(%))18 MEV~7%図4.水中の電子ブレムストラリング効果。メルビル 6。/応用放射と同位体64(2006)979-988 984

出版局の記事 0100200300400500600 01 0 1 5 2 0 エネルギー (MEV) 断面 (MB) 5 図 6.光核断面 (MB) 対光子エネルギー (MEV)。

0.00E+002.00E+084.00E+086.00E+088.00E+081.00E+091.20E+091.40E+091.6
0E+091.80E+09 01 0 1 5 2 0 光子エネルギー (MEV)NO。RA-225 原子/秒。5 図
7. 1 秒あたりの原子と光子エネルギー (MEV)。ピークフラックス (1.25 MEV)平均エネルギー (〜6 MEV)リナック光子光子スペクトル

05E+111E+121.5E+122E+122.5E+122.5E+123e+123.5e+12 01 0 1 5 2 0 光子 エネルギー(MEV)光子数号/s。5 図 5.光子数/s 対光子エネルギー(MEV).g。メルビルら。/適用放射と同位体 64 (2006) 979-988 985

そして、電圧が電子エネルギーを決定し、電子エネルギーと電流は反比例しているため、 両方が特定の出力で一緒に増加することはできません。4.議論総量は、エネルギー範囲 6.4 MEV 218 MEV を超える個々の収量を合計することで計算されているため、平均値が 使用されていないため、計算は非常に正確です。このモデルは、パルス長が 4 ms の最大 電流で動作する LINAC に基づいています。実際には、LINAC は 3.5〜4 ミリ秒で脈動し 、収量をさ<mark>らに 12.5% 減らすことができます。ここでの重要な仮定は、RA-226 がビー</mark> ム内のすべて<mark>の光子と</mark>相互作用することです。したがって、ラジウム源の配置は非常に重 要です。図 9 に示されている RA 原子/cm2A と相互作用する光子/cm 2/s の観点から、 光子流量の計算が行われるようになりました。この計算では、 /c15 ラジウム針はタング ステンターゲットから 49.2 cm の距離に配置されます。/c15photon flux は、ビーム 幅内で均等に分布しています。9.3 cm2 の面積が 49.2 cm の距離である 6.5/c21013 インチの総光子数は、7/c21012photons/cm2/s の光子流量を与えます。ただし、目的 の光核反応が実際に存在する可能性があるしきい値エネルギーを超える光子の数を考慮す ると、上記の光子流量は 1.7/C210 12photons/cm2/s に減少します。低電流と低電流 との組み合わせの低い収量は、低電流と周波数に起因します。収穫量を増やして、価値の ある量の RA-225 と娘の放射性核種を生成できるようにするには、多くの要因を考慮する 必要があります。これらは次のとおりです。 /c15 最大電流、 /c15 はパルス長を獲得 し、 /c15 はパルス周波数を増加させ、 /c15 照射時間、 /c15 はより多くのラジウム を照射します。収量を最大化するために GDR に到達するには、高エネルギーリナックが必 要です。照射時間は、リナックにあまり緊張することなく、10(1〜10時間)以上の攻撃 者によって増加する可能性があります。特に、RA-226 ができるだけ多くの RA-226 をタ ーゲット領域に梱包することは非常に重要です。RA-225/AC-225 を RA-226 から分離す る効率的な方法を使用するなどの他の要因は、小さな収量を考慮する際に重要です。RA-226 の合理的な量を取得する 1 つの方法は、かつて癌を処理するために使用されていたラ

Created with an evaluation copy of Aspose. Words. To discover the full versions of our APIs please visit: https://products.aspose.com/words/

ジウム針を使用することです。治療プロセスには、ステンレス鋼の針のカプセル化ラジウムが含まれ、その後、腫瘍に埋め込まれました。癌療法のためにラジウムの使用は、コバルトとカエシウムソースの開発、および放射線療法のためにリナックが導入されていることに相当します。世界中に 50,000~100,000 のラジウム源があると推定されています(Vicente and Sordi、2004)。オーストラリアの環境保護局(EPA)は、古い廃棄されたラジウム針の積極的な貯蔵庫を持っていることが知られています。Therearticle in Press 図 8. 15 MEV バリアンリナックを使用した RA-225 の収量。ピークは約 11.5 meV で発生します。表 3 Maximum AC-225 は、シミュレーションプログラム C ++および MATLAB エネルギー(MEV)最大エネルギー(MEV)C ++最大 AC-225 (MCI-225 (MCI-MCI)を使用して、RA-226 の照射 1 mol (6.02 /C210 23atoms)の RA-226 の 照射 1 mol (6.02 /C210 23atoms)によって得られたさまざまなリナックエネルギーで得られた収率が得られました。) MATLAB 最大 AC-225 (MCI) 10 (Varian) - 4.0 5.1 15 (Varian) 15 24.3 32.618 (Varian) 16 25.0 26.4 18 (Siemens) 15 29.1 34.1 25 (Eleka) 16 17.9 17.940 49.2 CM 9.3 CM2 図 9 図 9。 linac.g。メルビルら。/適用放射と同位体 64 (2006) 979-988 986

また、一部の病院のラジウム針の貯蔵庫でもあります。これらの針の形状は円筒形で、長 さは約1.5 cm で、直径は約0.25 cm です。彼らは非常に純粋な RA-226 の約20 mg (20 mci)<mark>を取り付けま</mark>す。このペーパーでモデルを使用してこれらの針の1つを1時間 照射すると、各針(20 mg)のラジウムの質量が小さいため、約 6 MCI の RA-225 を生 成します。GDR によって決定された光核反応の RA-226 ターゲットの断面。このタイプの 再ソナンスは、核振動のモードが原因であり、その瞬間に陽子と中性子が集合的に反対方 向に振動し、重心の中心は一定のままです。共鳴は、少なくとも 1 つが関心のある領域で は通常動脈瘤である 1 つまたは複数の核の排出によって減衰します。GDR は海外のピーク (エネルギー対断面積)につながり、周期表(Williams、1991)の核で発生します。リ ナックには、タングステンターゲットと照射された源の間に膨張フィルターがあります。 その目的は、より均一な放射状フィールドを与えることです。予想どおり、フィルターは いくつかの低いエネルギー光子を吸収し、したがって平均ビームエネルギーが高くなりま す。RA-225 を生成するためのしきい値反応は 6.4 MEV であるため、フィルターが削除 されているかどうかにかかわらず、実際にはほとんど違いはありません。AC-225 の活性 は、光子流量、照射時間、RA-225 の活性、および半減期に依存します。THEC-225 生産 率:A2¼nha1ðt1=ðt1/c0t2þð1/c0e/c00:693ðt1/c0t2Þt=t1t2Þ、照射時間と the the the the the the the。ここでは、A1、A2 はアクティビティと T1、T2 を それぞれ RA-225 と AC-225 の半減期を使用します。A1IS 光子流液の積と RA-226 の断 面。2 つの放射性核種の依存性を図 10 に示します。C ++コンピューターシミュレーショ

ンは、少量の RA-226 がシミュレーションで照射された 15 MEV バリアン(最大エネルギ ー: 15 MEV)でこのグラフを生成しました。それは、一時的な平衡が18日後に発生し、 理想的な理論的結果と比較することを示しています(親放射性核種の半減期が娘の放射性 核種の半減期よりもはるかに長い理想的な状況を前提としています)。。 こ ++コンピュー ターシミュレーションプログラムは、18 MEV バリアンを使用して 1 cm 3of RA-226(5 g) を 1 時間照射すると、1 . 25 の RA-225 の収量が得られると予測しています。AC-225 は 0.554 MCI で、430 時間または 18 日後に発生します。これらの C ++収量の結 果は、同じ条件で 1.45 MCI/H OFRA-225 が生成されたこの理論論文の他の結果と非常 に一致しています。以前に考えられていたが、C ++の結果は TH-232 断面データを構築 しており、BI-209 データが使用された場所とは 16%しか異なっていた。これらのシミュ レーションにおけるエラーの最大の原因は、実際のブレムストラリング効率にあります。 RA-226 および TH-232ARE は核を変形させましたが、BI-209 から球状の断面データを 使用しても、LINAC エネルギーでの結果は大幅に(20%未満)変化していません。5.結 論この理論的アプローチに基づいて、RA−225 の非常に低い活動(MCI)は、一般的な高 エネルギーLINAC によって生成される可能性があります。2 つの異なるシミュレーション は、異なる核からの断面データを使用する場合の結果を示します。5 gの RA-226 を 1 時 間照射する 18 mV のリナックは、1〜2 MCI の RA-225 を生成します。シミュレーショ ンは、特定<mark>のレベルを</mark>超えて LINAC エネルギーを増加させるだけでは、図 10 のプレスで の降伏が増加しないことも示しています。Photoneutron 製品(RA-225)は、バリアン (15 MEV)を使用した照射後に最大になり、ゆっくりと減衰する間、ゆっくりと減衰し 、ゆっくりと減衰する 430 時間で最大になります。メルビルら。/応用放射と同位体 64(2006) 979-988 987

全体的な LINAC パワーが増加しない限り。核核反応は非効率的ですが、より長い照射時間を使用してラジウムターゲットをプライム位置に配置し、質量 RA-226 ターゲットを持つことにより、収量を大きく増加させることができます。積み重ねて、多数のラジウム針がこれを行う可能性があります。さらに、貴重な AC-225 がターゲットから抽出された後、残留 RA-226 が継続的なプロセス(RA/AC ジェネレーター)で再び照射できることを考慮すると、プロジェクトは時代遅れの放射性科目をゆっくりと減らし、AC-225 を生成することもできます。謝辞オーストラリアの Varian Corporation の Ole Hagen 氏に、2100C CLINAC とシドニーのニューサウスウェールズ大学のオレグ・スシコフ教授に関する情報を提供してくれたことに感謝します。参考文献 Actinium Pharmaceuticals、2005 年。オンライン:http://www.actiniumpharma ceuticals.com/ahnesjo、A.、1989。光子用量計算。医薬品。Phys。18、377.allen、B.J.、Raja、C.、Rizvi、S.、Li、Y.、Tsui、W.、Zhang、D.、Song、E.、Fa Qu、C.、Kearsley、J.、Graham、P.、Thompson、J.、2004。がんの標的アルファ療法。

Phys。医薬品。Biol。49、3703-3712。Allyn and Bacon、1966。核物理学の基礎 、Boston.Berman、B.、1976。ローレンス・リバモア研究所[64HA2]。Boll、R.A.、 Malkemus, D., Mirzadeh, S., 2005. Appl. radiat.isot. 62 (5), 667-679 (Epub 2005 1 月 28 日)。Bueche、F.、1969。科学者とエンジニアのための物理学の 紹介。McGraw-Hill Co.、ニューヨーク。光核実験センターデータ(CDFE)、2005年 。モスクワ。ref。(T、ヤング、72)。オンライン:http: //cdfe.sinp.msu.ru/index.en.html dimitar、K.、1998。Bremsstrahlungで 生成されたいくつかの異性体収率比の研究。Appl。radiat。ISOT。49(8)、989-995 。Dowsett、D.J.、Kenny、P.A.、Johnston、R.E.、2001。診断イメージングの物 理学。オックスフォード大学出版局、オックスフォード。Emilio、S.、1975。核と粒子 、第2版。議会図書館のカタログ。Frauenfelder、H.、Henley、E.、1991。亜原子 プロセス、第2版。Prentice-Hall、Englewood Cliffs、ニュージャージー州。 Koch、L.、et al。、1999。がん療法における AC-225 の生産と BI-213 娘の適用。 Czechoslovak J. Phys. 49 (Suppl. S1), 817-822. Korea Atomic Energy Research Institute、2005 年。オンライン:http://atom。 kaeri.re.kr/cgi-bin/readgam meyerhof、W.、1967。核物理学の要素。ニューヨ ーク州マクグローヒル。Mohan、R.、et al。、1985。医療線形加速器からの光子のエ ネルギーと<mark>角度分布。医薬品。Phys。12、592。Nordell、B.、et al。、1984。</mark> Bremsstrah-Lung 標的からの角の分布と収量(放射線療法の場合)。Phys。医薬品。 Biol。29、797-810。Spring、K.H.、1960。光子と電子。Methuen&Co。Ltd.、口 ンドン。Vicente、R.、Sordi、G.M.、2004。HiromotoG。Health Phys。86(5) 、497-504。Wehr、M.、Richards、J.、1974。原子の物理学。Addison-Wesley Inc.、リーディング、マサチューセッツ州。ウィリアムズ、W.S.C.、1991 年。核およ

び粒子物理学。オックスフォードサイエンス出版物、オックスフォード。/応用放射と同

位体 64 (2006) 979-988 988