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、N SW、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力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エ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、U-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、ターゲティング剤と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を使用して、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-22 5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(3N;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、その後ペータ崩壊を通じて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プ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)979–988 980

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。プ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)979-988981

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e1is6.4 MEVでの反応閾値(光核実験センターデータ(CDFE)、2005)a n de2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(Wehrand Richards、1974)iはs½nrn1、(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:sðeÞ½ðg=2Þ2ðe/c0erþ2Þ2Þ2 Þ2Þ2eer/c18/c19ER¾13.45MEV(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Sthe521MB½52.1/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BI-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):y½z18Mev6:4m evyőeÞde½z18mev6:4m

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=SÞ½Z18MEV 6:4M EVðnatoms= cm3 /c2fphotons = s /c2tcmÞde。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-225に減衰します。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)979-988982

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、36mAの最大パルス電流は、4ms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¼1クーロン/s¼6.25/c210

18電子/s、26mA¼1.625/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1~5%/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(Ec)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 He nley、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、Z¼k ebzから計算できます。ターゲット(Z¼74)(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/c04zeb1Þ6/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)。Z2とほぼ同じ異なる数字Zvariesの要素におけるZ2 Bremsstr ahlungの効率(Meyerhof、1967)。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Z2 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Z2 の方法としてZ3 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Z40%のブレムストラリング効率を使用しています。これは、Z4 Canal Cana

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)¼18mevのパラメーター(+3%)ピークパルス電流 /C2436 MA周波数%180Hzパルス長%3.5m24ms平均電流%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A1Cm3ヴォルムには1.33/c21022222222222222項が含まれています。式の使用。(7)、RA-2 25の総量(y) ½2.8/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%のプ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、225%L/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(L¼0.693/T1/2)(半減期:14。9日)は、L¼5.38/C210/C07S/C01および1CI¼3.7/C21010DIS/sです。したがって 、A225¼5:38/C210/C07/C21014¼5:38/C2107BQðdis=SÞ= H照射¼1:45 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

MEV~7%図4.水中の電子ブレムストラリング効果。メルビルら。/応用放射と同位体64(2006)979-988984

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+091.60E+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+123.5E+123.5E+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がビーム内のすべての光子と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/c2101 2photons/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)を取り付けます。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

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)。。C++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 3 of 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、実際のプ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。5g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、特定のレベルを超えて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。科学者とエクシーアのための物理学の紹介。McGraw-Hill Co.、ニューヨーク。尤核美験センターデータ(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 di mitar、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。Do wsett、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角度分布。医薬品。Phys。12、592。Nordell、B.、et al。、1984。Bre msstrah-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.、ロンドン。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