

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA

BRUNO ANDRÉ RODRIGUES COSTA
MARIA GABRIELLA SALUSTIANA DE SOUZA

**BENEFÍCIOS DA PRÓTON TERAPIA MODULADA
POR INTENSIDADE**

RECIFE/2021

BRUNO ANDRÉ RODRIGUES COSTA
MARIA GABRIELLA SALUSTIANA DE SOUZA

BENEFÍCIOS DA PRÓTON TERAPIA MODULADA POR INTENSIDADE

Artigo apresentado ao Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Radiologia.

Professor(a) Orientador(a): Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz

RECIFE/2021

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 1745.

C837b Costa, Bruno André Rodrigues
Benefícios da próton terapia modulada por intensidade. / Bruno André Rodrigues Costa, Maria Gabriella Salustiana de Souza. - Recife: O Autor, 2021.
19 p.

Orientador(a): Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA. Tecnólogo em Radiologia, 2021.

Inclui Referências.

1. Próton terapia. 2. Radioterapia convencional. 3. Câncer. 4. Benefícios. I. Souza, Maria Gabriella Salustiana de. II. Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. III. Título.

CDU: 616-073

Dedicamos esse trabalho

aos nossos país,

A quem devermos todos os nossos valores e conquistas.

Obrigado por serem nossos exemplos.

Amamos muito vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, pela presença constante em nossas vidas, por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades, pela força que colocou em nossos corações para lutarmos até alcançarmos esta grande meta em nossas vidas, pelo auxílio em nossas escolhas e nos confortar nas horas difíceis.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo, apoio, estímulo e inesgotável compreensão, pela paciência de todos esses anos e grande amizade com que sempre nos ouviram, e precaução com que sempre nos ajudaram.

À nossa orientadora Elaine Vaz, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções, incentivos, orientações, amizade e apoio.

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz.”

(Bill Gates)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
2 DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....	09
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	09
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
REFERÊNCIAS.....	17

Benefícios da próton terapia modulada por intensidade

Bruno André Rodrigues Costa

Maria Gabriella Salustiana De Souza

Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz¹

Resumo: Este trabalho apresenta um breve histórico, com os principais fatos da evolução da terapia com feixe de prótons. Onde a importância é explicar que há outros métodos muito eficazes de combate ao câncer, não só tratamentos paliativos e informar profissionais de saúde sobre os grandes avanços tecnológicos em radiologia. É feita uma breve comparação entre a próton terapia e as demais modalidades de radioterapia com feixe de fótons. O tratamento direciona os feixes no tumor, matando as células cancerígenas e preservando os tecidos adjacentes por ser uma inovação na radiologia e na medicina, ainda necessita de muitos estudos e instruções para os profissionais. A próton terapia pode melhorar a taxa de tratamento local do tumor enquanto reduz a lesão em órgãos normais, o que pode resultar em menos efeitos adversos induzidos por radiação. No entanto, o custo significativo de estabelecer e manter instalações de prótons não pode ser esquecido. A terapia por prótons é, atualmente, a mais eficaz para tratamento de tumores de próstata, cérebro, coração, pulmão, esôfago e tumores pediátricos. Superar as limitações quanto ao custo e capacitação de profissionais pode promover o rápido desenvolvimento da próton terapia.

Palavras-chave: Próton terapia, radioterapia convencional, câncer, benefícios.

1 INTRODUÇÃO

A próton terapia, também chamada de terapia por feixes de prótons, é um tipo de terapia que utiliza partículas, também conhecida por ser uma radioterapia avançada. Destaca-se acima de tudo pela sua distribuição de alta precisão, em que direciona os feixes de prótons para células cancerígenas (PEREZ, 2017).

Desta forma, se mostra mais eficiente que a radioterapia convencional para grande parte dos tratamentos realizados, pois em uma área específica recebe uma dose alta, com impacto mínimo nos tecidos saudáveis. É utilizada uma alta energia de feixes de prótons, em vez de uma quantidade alta de energia de raio x, para conduzir uma dose (TODESCATTO, 2019).

¹ Professor da UNIBRA. Doutora em Química. E-mail: elaine.cavalcanti@grupounibra.com

A terapia com feixe de prótons tem sido usada desde 1990 nos Estados Unidos, mas seu uso não se espalhou amplamente devido aos altos custos. É adequada para tumores que precisam de doses mais altas de radiação. Entretanto as principais razões para a escolha são: Tumores oculares, próstata, pulmão, coração, fígado, cabeça, pescoço e pacientes pediátricos. É um método seguro e eficaz para esses pacientes, e também pode ser usado para sarcomas ósseos e de tecidos moles (BRAZIER, 2019).

Apesar da próton terapia, ser utilizada desde 1990 em alguns países, no Brasil foi aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) em 2017. Sendo assim, é pouco conhecida pelos profissionais da área de radiologia, bem como pelos pacientes, enquanto já é uma terapia com maior disponibilidade e mais conhecida pelos profissionais. Pois uma de suas vantagens é a redução da irradiação nas áreas vizinhas onde o tumor se encontra, onde essa técnica tem sido usada muito em tumores delicados, como infantis e oculares (ANVISA, 2017).

De acordo com a Sociedade Americana de Oncologia Clínica (ASCO), a terapia com prótons pode fornecer até 60% menos radiação para tecidos saudáveis ao redor do local-alvo, enquanto entrega uma dose maior ao próprio tumor (BRAZIER, 2019).

A sobrevida de pacientes pediátricos com câncer aumentou de cerca de 30% no final da década de 1960 para 70-80% hoje. Oferecida as melhores chances de cura, e diminuição de complicações agudas e tardias, em particular, transformou um foco importante quando se trata de melhorar as terapias disponíveis. Como não há dose de saída com a terapia de radiação de prótons, a dose direcionada aos tecidos normais circundantes é significativamente limitada, reduzindo a toxicidade aguda. Em última análise, isso reduz o risco de desenvolver efeitos colaterais de longo prazo.

O objetivo do trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre o tratamento com feixes de prótons (próton terapia), onde pode melhorar a sobrevida do paciente ao direcionar a taxa de tratamento local do tumor enquanto diminui a lesão em tecidos e órgãos normais, o que pode dimanar em menos efeitos adversos induzidos por radiação. Fez-se uma revisão sobre as propriedades físicas dos prótons e os estudos clínicos realizados para justificar seu uso no tratamento de tumores e determinar os benefícios da terapia por feixe de prótons.

2 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Foi realizada uma revisão bibliográfica, através de portais como Google Scholar, Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), *National Library of Medicine* (NLM/PubMed) e os livros e artigos mencionados nas referências bibliográficas. A escolha se deu por trata-se das maiores bases de referências bibliográficas, por apresentarem um grande número de artigos científicos na área da próton terapia. O Google Scholar foi escolhido em função do seu uso estar em constante crescimento como uma das principais fontes para pesquisas científicas. Foram utilizadas as palavras chaves: próton terapia, radioterapia convencional, câncer. Nas bases de dados utilizadas foi contabilizado 34 artigos e 04 livros, com pdf livre. Através da leitura dos resumos dos artigos, foi utilizada como critério de elegibilidade artigos científicos que estivessem diretamente relacionados à temática de interesse, e publicados a partir do ano 2000. Dos 34 artigos, os que não se teve acesso ao texto na íntegra foram excluídos. Desta forma, restaram 15 artigos, dos quais tiveram seus dados extraídos para revisão de literatura que se propõe.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A Próton Terapia foi idealizada por Robert Rathbun Wilson em 1946. Suas primeiras aplicações clínicas ocorreram simultaneamente nos Estados Unidos, Suécia e Rússia no ano de 1954. O primeiro centro especializado em terapia por prótons foi o centro médico da universidade de Lima Linda, Estados Unidos/Califórnia, construído em 1990 (ANVISA, 2017).

Essa técnica conquistou seu espaço clínico até os dias atuais, onde é usada hoje para tratar muitos cânceres e é particularmente apropriada em situações em que as opções de tratamento são limitadas e a radioterapia convencional com feixes de fótons apresenta riscos inaceitáveis para os pacientes, apesar da maioria dos aceleradores estarem em instituições de pesquisa (ANVISA, 2017).

Durante esse período, teve mais de 160.000 tratamentos realizados, pesquisadores preveem que os números de pacientes tratado por ano com terapia de prótons, aumentará de 16.200 para 300.000 em 2030, dados e pesquisas que permitem dizer que essa técnica é segura para ser empregada no âmbito hospitalar. Embora a eficácia do tratamento da próton terapia seja mais efetiva do que com fótons, seu custo é bem elevado, o que pode explicar o fato de o Brasil (e nenhum outro país do hemisfério sul) não possuir um centro capaz de executar esse tipo de

procedimento. Enquanto nos Estados Unidos existem 28 centros de próton terapia em operação e 39 em outros países (IBA, 2015).

Atualmente o câncer representa um grande problema de saúde pública para o Brasil, devido ao aumento da expectativa de vida da população, resultante do controle de outras doenças, e ao acelerado processo de urbanização e industrialização das últimas décadas (CARUSO, 2000). O câncer é um importante problema de saúde pública nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, sendo responsável por mais de seis milhões de óbitos a cada ano, de acordo com dados do Instituto do Câncer (Inca, 2009)

Na próton terapia, o médico pode decidir quando e onde o próton libera a maior parte de sua energia. Onde um radiologista pode usar o hardware específico do paciente para esculpir o feixe de prótons. Eles podem personalizá-lo para atingir as bordas do tumor, qualquer que seja a forma. Portanto, em vez de atravessar o alvo, os prótons são interrompidos em uma profundidade dependente de energia no alvo e não tem dose de saída, podendo ajudar a causar danos máximos a células cancerígenas e os tecidos próximos sofrer danos mínimos (BRAZIER, 2019)

A diferença entre a terapia de prótons e fótons, é que antes de chegar ao tumor, os dois tipos de radiação tem que percorrer a pele do paciente e os tecidos adjacentes. O fóton, sem massa e sem carga, é altamente penetrante e fornece uma dose em qualquer volume de tecido irradiado. No entanto, a maior parte da radiação é liberada a apenas 0,5 a 3 cm da pele do paciente, dependendo da energia que foi inicialmente administrada. Em seguida, ele gradualmente perde essa energia até atingir o alvo. Pelo contrário, o próton é uma partícula pesada e carregada que gradualmente perde sua velocidade à medida que interage com o tecido humano. É facilmente controlada e fornece sua dose máxima em uma profundidade precisa, que é determinada pela quantidade de energia que foi dada pelo ciclotron (via aceleração), e pode ir até 32 cm. O próton é muito rápido quando entra no corpo do paciente e deposita apenas uma pequena dose no caminho (CAMARGO, 2015).

O próton é 2000 vezes mais pesado que o elétron, permitindo que o feixe não tenha muitos desvios, depositando sua energia de forma mais localizada. A posição de deposição máxima de energia ionizante é controlada pela velocidade inicial da partícula incidente. A maior parte da sua energia é depositada nos últimos milímetros da sua trajetória antes de parar. Este fenômeno é conhecido como o “Pico de Bragg” e demonstra que um tratamento radioterápico utilizando feixes de

prótons, pode ser muito mais preciso no que diz respeito aos efeitos colaterais no tecido saudável (AMALDI, KRAFT, 2015).

O feixe de prótons produzido num acelerador de partículas, do tipo ciclotron, possui uma única energia (monoenergético) e apresenta dimensões de fonte radioativa de apenas alguns milímetros. Em um tratamento, onde o feixe possa cobrir a extensão do volume-alvo a ser irradiado, de forma adequada na lateral como em profundidade. Uma dose de entrada relativamente baixa é seguida por um pico de alta dose, chamado de pico de Bragg, que pode ser posicionado sobre o tumor. Depois do pico de Bragg a dose cai rapidamente, isto é, de 90% a 20% dentro de poucos milímetros. Portanto, a terapia com feixe de prótons, requer um exato posicionamento do pico de Bragg em relação ao paciente. A terapia consiste, em vários aspectos, em manipular o pico de Bragg de forma adequada, para que todo o volume tumoral seja tratado. As especificações de um feixe de tratamento consiste nos picos de Bragg, cada um com uma energia definida, localizações especiais de cada um dos picos e número de prótons. Dessa forma, a qualidade geral do feixe é determinada pela qualidade de cada um dos feixes (*pencil beams*) individuais (JAKEL, 2013).

A ausência de carga e massa dos fótons e a pequena massa dos elétrons usados em terapia convencional resultam numa maior deposição de energia nos tecidos normais mais próximos da superfície e antes do tumor. Entretanto os prótons são energizados de outra maneira, diferentemente dos fótons e elétrons. Estas energias determinam a profundidade no corpo onde os prótons depositarão sua energia máxima. Há um ponto exato de profundidade no corpo onde a dose de radiação mais intensa será depositada (HIRSCH, 2006).

A melhor maneira para que a terapia de prótons seja entendida e como funciona é examinar a física e a engenharia dentro do acelerador de prótons, ou o sincrotron, e o sistema de distribuição de feixes. O próton começa na fonte de íons. Em frações de segundo, os átomos de hidrogênio são separados em elétrons carregados negativamente e em prótons carregados positivamente. Os prótons são injetados através de um tubo de vácuo em um acelerador linear e em apenas alguns microssegundos, a energia dos prótons chega a 7 milhões de elétron-volts. Os feixes ficam em um tubo de vácuo quando entram no sincrotron, onde a aceleração aumenta sua energia para um total de 70 a 250 milhões de elétron-volts, o suficiente

para colocá-los em qualquer profundidade dentro do corpo do paciente (KIMSTRAND, 2008).

Depois de deixar o sincrotron, os prótons se movem através de um sistema de transporte de vigas composto de uma série de imãs que moldam, focam e direcionam o feixe de prótons para a sala de tratamento apropriada. Para garantir que cada paciente receba o tratamento prescrito com segurança e eficiência, a instalação é controlada por uma rede de computadores e sistemas de segurança. O pórtico pode girar 360 graus, permitindo que o feixe seja entregue em qualquer ângulo. À medida que os prótons passam pelo bocal, um dispositivo feito sobre medida (a abertura) modela o feixe de prótons, e outro dispositivo personalizado (o compensador) molda os prótons em três dimensões, entregando-os à profundidade do tumor. Na energia máxima, um feixe de prótons percorre 125.000 milhas por segundo, o que equivale a dois terços da velocidade da luz. Do recipiente de hidrogênio até o paciente, um próton normalmente percorre 313.000 milhas (KIMSTRAND, 2008).

Para que as técnicas de terapia sejam possíveis e aplicadas de forma acurada, é necessário um planejamento de tratamento que considere todos esses aspectos na estimativa da distribuição de dose no paciente. A taxa de dose absorvida, D , num meio está relacionada com a taxa de fluência de partículas (\varnothing) e o poder de freamento mássico (S/ρ) conforme a Equação:

$$D = \varnothing \frac{S}{\rho}$$

Em que:

S/ρ é dado em MeV.cm²/g

Expressando \varnothing (partículas/cm².s) em termos de corrente, I por unidade de área A , temos que a dose em Gy/s será:

$$D = \frac{I}{A} \frac{S}{\rho}$$

Em que:

I/A é dado em nA/cm².s.

Um valor típico de taxa de dose em radioterapia é da ordem de 1,0 Gy/minuto, assim, para um feixe de prótons de 250 MeV na água, teremos um poder de freamento, S/p , de aproximadamente 3,89 MeV.cm²/g, sendo que necessita-se de uma densidade de corrente I/A de 0,0043 nA/cm².s (KAVIARASU, 2017).

Atualmente existem dois métodos disponíveis para entrega do feixe: o de escaneamento ativo e o espalhamento passivo. Na técnica de escaneamento ativo, um feixe estreito de prótons, com dimensões de alguns milímetros, faz a varredura do tumor com energia e direção moduladas, cobrindo camada por camada para criar uma distribuição de dose em três dimensões (3D) acurada. Na técnica de espalhamento passivo, o feixe é disperso colocando materiais espalhadores em sua trajetória. Um único espalhador permite que o feixe seja ampliado de maneira a cobrir campos pequenos. Um segundo espalhador possibilita uma entrega uniforme de dose para campos maiores. Para que técnicos de terapia sejam possíveis e aplicados de forma acurada, é necessário um planejamento de tratamento que considere todos esses aspectos na estimativa da distribuição de dose no paciente (COPYRIGHT, 2019).

Para câncer de cabeça e pescoço, a terapia de prótons pode diminuir o risco de recorrência ao aumentar a dose no tumor é, devido a pequena dose na mandíbula, glândulas salivares e maxila, pode reduzir o risco de xerostomia, extrações dentárias, cárie dentária e osteorradionecrose. Incluindo que a cirurgia não é necessária, os trabalhadores médicos não são expostos a radiação e não há necessidade de internação hospitalar, enquanto o tratamento é realizado. Devido a essas vantagens, um número crescente de pacientes opta por terapia de prótons em vez de placas radioativas (KRISHNAN, 2005).

O câncer de pulmão é o tipo de câncer mais comum em todo o mundo e a radioterapia é um importante modo de tratamento. A próton terapia é um tipo de radioterapia que tem o potencial de reduzir a toxicidade da terapia de fótons por meio de seu pico de Bragg característico. Em comparação com os fótons, os prótons podem entregar doses menores aos órgãos adjacentes de risco, como coração, esôfago e medula óssea, melhorando a relação terapêutica. O resultado clínico inicial demonstrou que a terapia por feixe de prótons combinada com quimioterapia pode reduzir as taxas de toxicidade e alcançar um possível benefício de sobrevivência em comparação com a terapia por feixe de fótons (JENSEN, 2011).

Para cânceres da junção esofágica, esôfago é uma estrutura torácica localizada centralmente, assim há um requisito mais rigoroso para equilibrar a entrega da dose alta adequada ao alvo, enquanto diminui a dose para os tecidos críticos adjacentes, devido ao risco de toxicidade clinicamente significativas, incluindo pericardite, pneumonite e infarto do miocárdio. A terapia de prótons tem uma dose de saída zero, é possível reduzir ainda mais a exposição a radiação do tecido normal é fornecer benefícios clinicamente significativos para pelo menos uma proporção de pacientes com câncer de esôfago. Além disso, pode ser possível reduzir complicações relacionadas ao coração e mortalidades usando a próton terapia para tratar os pacientes (JENSEN, 2011).

O câncer de próstata tem várias opções de tratamentos atuais, incluindo braquiterapia, prostatectomia e Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT), são mais econômicas em comparação com a próton terapia. Assim, mais pesquisas com dados de acompanhamento adequados são necessárias para avaliar a superioridade clínica do feixe de prótons no tratamento do câncer de próstata, em termos de melhoria da taxa de controle do tumor e redução da toxicidade aguda é de longo prazo por radiação. A próton terapia é um método importante de radioterapia devido a sua vantagem teórica sobre o feixe externo de fótons, que fornece significativamente menos radiação na bexiga e no reto. Outros estudos comparativos que abordam os efeitos adversos, segurança, qualidade de vida do paciente e questões socioeconômicas devem ser realizados para determinar o uso adequado do feixe de prótons para o câncer de próstata (SOFFEN, 2019).

A terapia de prótons também é recomendada para tratamento de tumores pediátricos. Como o crescimento de uma criança implica uma constante alta taxa de mitose, suas células serão tão vulneráveis a partículas ionizantes quanto às cancerosas. A próton terapia tende a reduzir a exposição a dose do tecido normal, o que pode levar a menos efeitos adversos. Portanto, é crucial direcionar os feixes somente ao tumor para evitar danos como anormalidades de crescimento, deficiências cognitivas, tumores induzidos por radiação, danos cardíacos e outras complicações posteriores a vida (ST. CLAIR, 2004).

Conseqüentemente a terapia de prótons mostra muitas vantagens, como, alvos de tumores e células cancerígenas com precisão e dose mínima de saída, reduz a toxicidade geral, reduz a probabilidade e gravidade dos efeitos colaterais a custo e longo prazo em tecidos e órgãos saudáveis circundantes (por exemplo,

reduz a probabilidade de tumores secundários causados por tratamento), fornece precisamente uma dose de radiação ideal para o tumor, pode ser usado para tratar tumores recorrentes, mesmo em pacientes que já receberam radiação, melhora a qualidade de vida durante e após o tratamento, aumenta as taxas de sobrevivência a longo prazo, sem progressão, para certos tipos de tumores (XIANGKUI, 2005).

Uma desvantagem desse tipo de tratamento é apresentar um alto custo, já que um aparelho específico possui valor entre R\$ 70 milhões a R\$ 100 milhões, além de necessitar de uma complexa infraestrutura (COTTA, 2014).

O paciente não sente nada durante o tratamento. A lesão minimizada do tecido normal resulta no potencial de menos efeitos após o tratamento, como náuseas, vômitos ou diarreia. Os pacientes experimentam uma melhor qualidade de vida durante e após o tratamento com prótons.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A próton terapia tem várias vantagens potenciais sobre a terapia com fótons para o tratamento do câncer.

Autores e ano	Tipos do câncer	Toxidade Grave pelo Fóton	Toxidade Grave pelo próton	Taxa de sobrevivência pelo fóton	Taxa de sobrevivência pelo próton
Krishnan, 2005	Cérebro	10%	8%	32%	73%
Jensen, 2011	Pulmão	50%	10%	10%	20%
Jensen, 2011	Esôfago	33%	5%	20 a 30%	50%
Soffen, 2019	Próstata	20%	5%	10%	90%

A partir dos dados obtidos nos estudos sobre cordoma da base do crânio, a terapia com prótons se mostrou mais eficaz que a radioterapia convencional produzindo uma maior probabilidade de controle tumoral, sem aumentar o risco de lesão do lobo temporal. Nos casos de câncer de pulmão os estudos mostram que o aumento de dose não se torna viável para a radioterapia convencional, pois pode

afetar severamente o coração e o próprio pulmão, mas o aumento da dose na terapia por prótons foi bem-sucedida. No caso de esôfago a terapia por feixe de prótons diminuiu drasticamente morbidades relacionadas a problemas no coração, decorrentes da radioterapia. Sobre o câncer de próstata, a terapia de prótons forneceu significativamente menos radiação na bexiga e no reto do que a radiação de fótons. Assim, em pacientes pediátricos a dose aos tecidos normais deve ser reduzida ao máximo, o que pode levar a menos efeitos adversos, a fim de reduzir a morbidades, mortalidade, dor e custos de cuidados de saúde dos sobreviventes, por esse motivo, a próton terapia pode ser útil no tratamento do câncer pediátrico. A questão do risco de câncer induzido por causa da radioterapia também foi bem reduzida. Estudos também demonstraram a queda de dose absorvida por diferentes tecidos, quando comparada a radioterapia convencional e a próton terapia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A próton terapia tem várias vantagens sobre a radioterapia convencional, tem um efeito curativo satisfatório, principalmente em pacientes pediátricos. Pode atingir uma distribuição de dose que geralmente é superior á radioterapia convencional. Em comparação com a terapia com fótons, a terapia de prótons está associada a benefícios óbvios, como redução do volume de tecido normal irradiado, melhorando a conformabilidade e a qualidade da área alvo. Onde estudos futuros devem avaliar e gerenciar as informações associadas ao feixe de prótons, para que forneça aos pacientes o tratamento ideal, para definir evidentemente quais pacientes podem se beneficiar mais com a próton terapia.

Assim, através dos dados apresentados, conclui-se que a próton terapia é mais eficaz no combate a neoplasias, com menos efeitos colaterais para o paciente. A instalação de equipamentos em nosso país permitiria ajudar a combater câncer secundário, sequelas em células normais, no desenvolvimento físico para pacientes pediátricos, e ajudaria no desenvolvimento de tratamentos futuros. Reconhecendo a necessidade de gerar, avaliar, integrar e gerenciar conhecimentos relacionados a terapia com feixe de prótons para transformar o processo de prestação de assistência e desta forma tentar diminuir os custos para os pacientes e para sociedade.

REFERÊNCIAS

ANVISA – Nota Técnica Orientativa nº 003/2017. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/>>. Acessado em 01 de outubro de 2021.

BRAZIER, Yvette – Proton Therapy as na Option for Trating Cancer, N. Medical News Today. 2019 Disponível em: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/268629.php>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

CAMARGO, Renato. Radioterapia e Medicina Nuclear – Conceitos, Instrumentação, Protocolos, Tipos De Exames e Tratamentos. São Paulo: Saraiva Editora, 2015. 103-123 p.

CARUSO F., CARVALHO B.H.V., SANTORO A.F.S. A física de altas energias e a terapia de câncer com prótons: motivações e perspectiva. G. Alves, F. Caruso, H. Motta & A. Santoro (Eds.), O Mundo das Partículas de Hoje e de Ontem, op. cit, (2000) p. 117-130.

COPYRIGHT. The Particle Therapy Co-opetative Group-PTCOG. Particle Therapy Facilities in Operation. 2019. Disponível em: <https://www.ptcog.ch/index.php/facilities-in-operation>. Acessado em 25 de outubro de 2021.

COTTA C. Radioterapia com prótons é chance de cura para câncer raro. Revista Saúde Plena, Minas Gerais, 20 de fevereiro de 2014. Disponível em: http://sites.uai.com.br/app/noticia/saudeplena/noticias/2014/02/20/noticia_saudeplena,147655/radioterapia-com-protons-e-chance-de-cura-para-cancer-raro.shtml. Acessado em 11 de outubro de 2021.

HIRSCH L.R. Dinâmicanuclear para reações secundárias aplicadas a próton-terapia. Tese (Mestrado) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://sites.uai.com.br/app/noticia/saudeplena/noticias/2014/02/20/noticia_saudeplena

[a,147655/radioterapia-com-protons-e-chance-de-cura-para-cancer-raro.shtml](#).

Acessado em 11 de outubro de 2021.

IBA, CENTROS DE TRATAMENTOS DE PRÓTONS TERAPIA. 2015/2018. Disponível em <https://iba-worldwide.com/proton-therapy/why-proton-therapy>. Acessado em 28 de setembro de 2021.

INCA. Instituto Nacional de Câncer. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://www.inca.gov.br>. Acessado em 25 de outubro de 2021.

JAKEL O., Smith Ar., Orton CG. A radioterapia com partículas carregadas mais importante do futuro provavelmente será com íons pesados, em vez de prótons. 2013. Disponível em: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1118/1.4798945>. Acessado em 22 de outubro de 2021.

JENSEN A.W. Radiation Complications and Tumor Control After 125I Plaque Brachytherapy for Ocular Melanoma. PubMed. 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16111577/>. Acessado em 27 de outubro de 2021.

KAVIARASU K., Raj Nan., Hamid M., Babu Aag., Sreenivas L., Murthy Kk. Verification of dosimetric commissioning accuracy of intensity modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy delivery using task Group-119 guidelines. J Med Phys. 2017; 42(4):258-65. Disponível em: https://doi.org/10.4103/jmp.JMP_16_17. Acessado em 12 de outubro de 2021

KIMSTRAND P., Traneus E., et al. Parametrization and application of scatter kernels for modelling scanned proton beam collimator scatter dose. Revista: Phys Med Biol (Physics in medicine and biology). Volume: 53 Edição: 13 Páginas: 3405-29, 2008.
Krishnan S. Radiosurgery for Cranial Base Chordomas and Chondrosarcomas. PubMed. 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15792516/>. Acessado em 27 de outubro de 2021.

KRISHNAN S. Radiosurgery for Cranial Base Chordomas and Chondrosarcomas. PubMed. 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15792516/>. Acessado em: 29 de outubro de 2021.

PERES, Leonardo. Princípios Físicos e Técnicos em Radioterapia. São Paulo: Rubio Editora, 2017. 70-140 p.

SOFFEN E. Próton Therapy as one of the most advanced ways of treating. ProCure. 2019. Disponível em: <https://www.procore.com/prostate-cancer/>. Acessado em 29 de outubro de 2021.

ST. CLAIR W.H. Advantage of Protons Compared to Conventional X-ray or IMRT in the Treatment of a Pediatric Patient With Medulloblastoma. PubMed. 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14967427/>. Acessado em 29 de outubro de 2021.

TODESCATTO, T. Princípios Físicos e Práticas de Radioterapia. São Paulo: Clube de Autores Editora, 2019. 80-120 p

XIANGKUI M. Does Electron and Proton Therapy Reduce the Risk of Radiation Induced Cancer After Spinal Irradiation for Childhood Medulloblastoma? A Comparative Treatment Planning Study. PubMed. 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16165914/>; Acessado em 10 de outubro de 2021.