

HEDEFE YÖNELİK ALFA TEDAVİSİ

Fiziksel Prensiplerden
Klinik Uygulamaya

Yazar
M. Fatih BEYTUR



© Copyright 2026

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN 978-625-375-924-7	Sayfa ve Kapak Tasarımı Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı Hedefe Yönelik Alfa Tedavisi Fiziksel Prensiplerden Klinik Uygulamaya	Yayıncı Sertifika No 47518
Yazar M. Fatih BEYTUR ORCID iD: 0000-0001-6636-9749	Baskı ve Cilt Vadi Matbaacılık
Yayın Koordinatörü Yasin DİLMEN	Bisac Code MED080000
	DOI 10.37609/akya.4060

Kütüphane Kimlik Kartı

Beytur, M. Fatih.

Hedefe Yönelik Alfa Tedavisi Fiziksel Prensiplerden Klinik Uygulamaya / M. Fatih Beytur

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2026.

89 s. resim, tablo. ; 135x210 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253759247

UYARI

Bu üründe yer alan bilgiler sadece lisanslı tıbbi çalışanlar için kaynak olarak sunulmuştur. Herhangi bir konuda profesyonel tıbbi danışmanlık veya tıbbi tanı amacıyla kullanılmamalıdır. Akademisyen Kitabevi ve alıcı arasında herhangi bir şekilde doktor-hasta, terapist-hasta ve/veya başka bir sağlık sunum hizmeti ilişkisi oluşturmaz. Bu ürün profesyonel tıbbi kararların eşleniği veya yedeği değildir. Akademisyen Kitabevi ve bağlı şirketleri, yazarları, katılımcıları, partnerleri ve sponsorları ürün bilgilerine dayalı olarak yapılan bütün uygulamalardan doğan, insanlarda ve cihazlarda yaralanma ve/veya hasarlardan sorumlu değildir.

İlaçların veya başka kimyasalların reçete edildiği durumlarda, tavsiye edilen dozunu, ilacın uygulanacak süresi, yöntemi ve kontraendikasyonlarını belirlemek için, okuyucuya üretici tarafından her ilaca dair sunulan güncel ürün bilgisini kontrol etmesi tavsiye edilmektedir. Dozun ve hasta için en uygun tedavinin belirlenmesi, tedavi eden hekimin hastaya dair bilgi ve tecrübelerine dayanarak oluşturması, hekimin kendi sorumluluğundadır.

Akademisyen Kitabevi, üçüncü bir taraf tarafından yapılan kitaba dair değişikliklerden sorumlu değildir.

GENEL DAĞITIM Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A
Yenişehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ALFA PARÇACIKLARININ FİZİKSEL VE BİYOLOJİK

TEMELLERİ.....1

1.1. Alfa Bozunmasının Fiziği: Kuantum

Mekaniksel ve Enerjetik Temeller 1

1.1.1. Kütle-Enerji İlişkisi ve Bağlanma Enerjisi 1

1.1.2. Enerji Spektrumu ve Kinetik Enerji Dağılımı 2

1.1.3. Kuantum Tünelleme Mekanizması 2

1.2. Madde ile Etkileşim: Yüksek LET Radyasyonu,

İyonizasyon Yoğunluğu ve Bragg Tepesi Fenomeni 3

1.2.1. Yüksek Doğrusal Enerji Transferi (LET) 4

1.2.2. İyonizasyon Yoğunluğu ve Spesifik İyonizasyon 4

1.2.3. Bragg Tepesi (Bragg Peak) Fenomeni 4

1.2.4. Oksijen ve Hücre Döngüsünden Bağımsız Etki 5

1.3. Radyobiyolojik Mekanizmalar: Kompleks DNA Çift Zincir

Kırıkları ve Onarım Mekanizmalarının İflası 5

1.3.1. Doğrudan Etki ve İyonizasyon Yoğunluğu 6

1.3.2. Tek Zincir Kırılmaları (SSB) ve Çift Zincir Kırılmaları (DSB) 6

1.3.3. Hasarın Onarılamaz Doğası ve Onarım Mekanizmalarının İflası 7

1.3.4. Hücre Döngüsü Bağımsızlığı 7

1.4. Oksijen ve Hücre Döngüsü: Hipoksi Direncinin Kırılması ve

OER (Oksijen Etkisi Oranı) 8

1.4.1. Oksijen Etkisi ve OER Kavramı 8

1.4.2. Hipoksi Direncinin Kırılması 9

1.4.3. Hücre Döngüsü Bağımsızlığı 9

1.4.4. Klinik Perspektif: Radyo-Dirençli Vakaların Yönetimi 10

1.5. Geri Tepme Etki (Recoil): Fiziksel Kökeni, Şelatör Kopmaları

ve Kız Ürünlerin Kinetiği 10

1.5.1. Fiziksel Köken ve Enerji Dağılımı	10
1.5.2. Kimyasal Bağların Kopma Mekanizması	11
1.5.3. Kız Ürünlerin Kinetiği ve Translokasyon	11
1.5.4. Klinik Riskler ve Toksisite Yönetimi.....	12

BÖLÜM 2

RADYOFARMASI VE İZOTOP ÜRETİM YÖNTEMLERİ 15

2.1. Radyonüklid Üretim Yöntemleri	15
2.1.1. Aktinyum-225 (225Ac) Üretimi.....	15
2.1.2. Astatin-211 (211At) Üretimi	17
2.1.3. Kurşun-212 (212Pb) ve Bizmut-212 (212Bi) Üretimi.....	17
2.1.4. Bizmut-213 (213Bi) Üretimi	18
2.1.5. Radyum-223 (223Ra) ve Toryum-227 (227Th) Üretimi	18
2.1.6. Terbiyum-149 (149Tb) Üretimi.....	18
2.1.7. Uranyum-230 (230U) ve Toryum-226 (226Th)	19
2.2. Şelasyon Kimyası: DOTA, Macropa ve Yeni Nesil Alfa-Spesifik Şelatörler	19
2.2.1. DOTA ve Türevleri: Mevcut Altın Standart	19
2.2.2. Macropa: Aktinyum İçin Devrimsel Yaklaşım.....	20
2.2.3. Kurşun-212 (212Pb) ve TCMC (DOTAM).....	20
2.2.4. Toryum-227 (227Th) ve HOPO Şelatörleri	21
2.2.5. Diğer Yeni Nesil Şelatörler ve Gelişmeler	21
2.3. Kalite Kontrol Süreçleri: Radyokimyasal Sağlık ve Stabilite Testleri	22
2.3.1. Radyokimyasal Sağlık (RCP) ve Seküler Denge Faktörü.....	22
2.3.2. İnce Tabaka Kromatografisi (ITLC) ve Analiz Teknikleri	23
2.3.3. HPLC Analizi ve Stabilite Testleri.....	23
2.3.4. Radyolitik Parçalanma ve Stabilizasyon (Quenching)	24
2.4. Global Tedarik Zinciri: Aktinyum Darboğazı ve Gelecekteki Üretim Projeksiyonları.....	24
2.4.1. Mevcut Arz ve Talep Dengesi.....	24
2.4.2. Darboğazı Aşma Stratejileri ve Yeni Üretim Yolları	25
2.4.3. Uluslararası Ağlar ve Gelecek Vizyonu	26

BÖLÜM 3**KLİNİK UYGULAMALAR I****ÜRO-ONKOLOJİ 27**

- 3.1. Metastatik Kastrasyona Dirençli Prostat Kanseri (mCRPC) ve İlk Alfa Tedavileri27**
- 3.1.1. Radyum-223: Kemik Metastazlarında Standart ve Etki Mekanizması28
- 3.1.2. Beta Direnci ve Aktinyum-225 ile Kurtarma Tedavisi29
- 3.2. 225Ac-PSMA Protokolleri: Doz Belirleme, Siklus Aralıkları ve Hasta Seçimi30**
- 3.2.1. Doz Belirleme Stratejileri ve Doz Bulma Çalışmaları30
- 3.2.2. Siklus Planlaması ve Uygulama Aralığı30
- 3.2.3. Hasta Seçim Kriterleri31
- 3.2.4. Kullanılan Ligandlar: PSMA-617 ve PSMA-I&T31
- 3.3. Kombinasyon Tedavileri: Alfa Tedavisi, İmmünoterapi ve DNA Tamir İnhibitörlerinin Sinerjisi32**
- 3.3.1. Tandem ve Kokteyl Stratejileri (225Ac ve 177Lu Kombinasyonu).....33
- 3.3.2. İmmünoterapi ile Sinerji ve Abskopal Etki33
- 3.3.3. PARP İnhibitörleri ve DNA Hasar Yanıtı (DDR).....34
- 3.3.4. Yeni Nesil Hormonal Tedavilerle (ARPI) Kombinasyon34
- 3.4. Klinik Yanıtın Değerlendirilmesi ve Takip Parametreleri35**
- 3.4.1. Biyokimyasal Yanıt: PSA, ALP ve LDH Dinamikleri.....35
- 3.4.2. Moleküler ve Morfolojik Görüntüleme: PSMA PET/BT'nin Rolü36
- 3.4.3. Toksisite İzlemi ve Güvenlik Protokolleri.....36
- 3.4.4. Standart Takip Takvimi.....37

BÖLÜM 4**KLİNİK UYGULAMALAR II****NÖROENDOKRİN TÜMÖRLER (NET) 39**

- 4.1. Nöroendokrin Tümörlerde Alfa-PRRT: Endikasyonlar ve Hasta Seçimi39**
- 4.1.1. Klinik Endikasyonlar.....39
- 4.1.2. Kontrendikasyonlar40

4.1.3. Uygulama Protokolü ve Böbrek Koruma.....	40
4.1.4. Tedavi Öncesi Hazırlık	41
4.2. Klinik Sonuçlar ve Tedavi Etkinliği.....	41
4.2.1. 225Ac-DOTATATE ve DOTATOC Klinik Deneyimi.....	41
4.2.2. 212Pb-DOTAMTATE (AlphaMedix™).....	42
4.2.3. 213Bi-DOTATOC: İlk Alfa-PRRT Deneyimi	42
4.2.4. Yaşam Kalitesi ve Semptomatik Kontrol.....	43
4.3. Kombinasyon Tedavileri ve Sinerji Yaklaşımları	43
4.3.1. Radyoduyarlılaştırıcı Ajanlar: Kapesitabin Kombinasyonu43	
4.3.2. DNA Hasar Yanıtı (DDR) ve PARP İnhibitörleri Sinerjisi	44
4.3.3. Tandem (Alfa-Beta) ve Ardışık Tedavi Modelleri.....	44
4.3.4. Antagonist Peptidler ve Yeni Vektörler	45
4.4. Yan Etkiler, Toksisite ve Hastalık Takibi	45
4.4.1. Hematolojik Toksisite.....	46
4.4.2. Nefrotoksisite (Böbrek Toksisitesi).....	46
4.4.3. Diğer Klinik Yan Etkiler	46
4.4.4. Takip ve Yanıt Değerlendirme Protokolü	47

BÖLÜM 5

KLİNİK UYGULAMALAR III

DİĞER TÜMÖRLER..... 49

5.1. Beyin Tümörlerinde Lokal Uygulamalar: Glioblastoma	
Multiforme'de İntratekal TAT	49
5.1.1. Uygulama Yolu ve Kan-Beyin Bariyeri Faktörü	49
5.1.2. Substance P ve Nörokinin-1 Reseptör Hedeflemesi	50
5.1.3. Tenasin Antijeni ve 211At-ch81C6 Uygulaması	50
5.1.4. Vasküler Hedefleme ve Mikroçevre Modülasyonu	50
5.2. Hematolojik Maligniteler: Lösemi ve Lenfomalarda	
Radyoimmünoterapi (RIT) Uygulamaları	51
5.2.1. Akut Miyeloid Lösemi (AML) ve CD33 Hedefleme.....	51
5.2.2. CD45 ve Kök Hücre Nakli Hazırlığı.....	52
5.2.3. Lenfoma ve CD20/CD22 Hedefleme.....	52
5.2.4. Multipl Miyelom ve CD38.....	52

5.3. Nadir Tümörler: Metastatik Melanom ve Jinekolojik Kanserlerde Güncel Çalışmalar	53
5.3.1. Metastatik Melanomda TAT ve MC1R Hedeflemesi.....	53
5.3.2. Jinekolojik Kanserler (Over ve Endometrium)	54

BÖLÜM 6

ALFA TERANOSTİK GÖRÜNTÜLEME VE DOZİMETRİ 57

6.1. Görüntüleme İkizleri (Teranostik Çiftler)	57
6.1.1. 225Ac/68Ga Stratejisi.....	57
6.1.2. 212Pb/203Pb Stratejisi	58
6.2. Mikro-Dozimetri: Hücresel Düzeyde Soğurulan Dozun Hesaplanması ve MIRD Modelleri	59
6.2.1. Makroskobik ve Mikroskobik Dozimetri Ayrımı.....	59
6.2.2. Temel Mikro-Dozimetrik Parametreler: z ve y	59
6.2.3. MIRD Modellerinin Mikro-Dozimetriye Adaptasyonu	60
6.2.4. Hesaplama Yöntemleri ve Klinik Önemi	60
6.3. SPECT ve PET Görüntüleme Zorlukları	61
6.3.1. SPECT Görüntüleme ve Düşük Gama Bolluğu.....	61
6.3.2. PET Görüntüleme ve Alfa-PET Konsepti.....	62
6.3.3. Geri Tepme (Recoil) Etkisi ve Görüntü Doğruluğu	63
6.3.4. Teknik Gereksinimler ve Kantifikasyon	63

BÖLÜM 7

TOKSİSİTE YÖNETİMİ VE RADYASYON GÜVENLİĞİ 65

7.1. Kritik Organ Toksisiteleri.....	65
7.1.1. Kserostomi (Tükürük Bezi Hasarı).....	65
7.1.2. Nefrotoksisite	66
7.2. Yan Etki Azaltma Stratejileri	66
7.2.1. Amino Asit İnfüzyonu ve Böbrek Koruması.....	66
7.2.2. Hidrasyon (Sıvı Desteği).....	67
7.2.3. Soğuk Uygulama ve Tükürük Bezi Koruması.....	67
7.2.4. Diğer Toksisite Azaltma Stratejileri	68

7.3. Personel ve Hasta Güvenliği: Alfa Yayıcıların Zırhlanması, Kontaminasyon Kontrolü ve Atık Yönetimi.....	68
7.3.1. Zırhlama Stratejileri ve Radyasyonun Doğası.....	68
7.3.2. Kontaminasyon Kontrolü ve Kişisel Korunma.....	69
7.3.3. Atık Yönetimi ve Uzun Ömürlü Safsızlıklar	69
7.3.4. Hasta Güvenliği ve Taburculuk Talimatları.....	70

BÖLÜM 8

GELECEK VİZYONU VE TARTIŞMALAR 71

8.1. Yeni Nesil Hedefleme Molekülleri.....	71
8.1.1. Nanobadiler (Tek Domenli Antikorlar).....	71
8.1.2. Aptamerler.....	72
8.1.3. Küçük Moleküller	72
8.2. Yapay Zeka Entegrasyonu: Tedavi Yanıtının Öngörülmesinde Radyomiks	73
8.2.1. Radyomiks ve Tümör Heterojenliği	73
8.2.2. Makine Öğrenmesi ve Karar Destek Sistemleri	74
8.2.3. Klinik Çalışma Tasarımı ve Bireyselleştirme	74
8.3. Klinik Onay Süreçleri: Faz Çalışmaları, Regülasyonlar ve TAT'ın Onkoloji Kılavuzlarına Girişi	75
8.3.1. Faz Çalışmaları ve Mevcut Durum.....	75
8.3.2. Regülasyonlar ve Üretim Standartları	76
8.3.3. Onkoloji Kılavuzlarına Giriş.....	76

KAYNAKLAR 78

KAYNAKLAR

1. Toklu T. Physical and Radiobiological Properties of Alpha Emitter Isotopes Used in Radionuclide Therapy. *nts*. 2023 Sep 1;9(2):96–101.
2. Sgouros G, Bodei L, McDevitt MR, Nedrow JR. Radiopharmaceutical therapy in cancer: clinical advances and challenges. *Nat Rev Drug Discov*. 2020 Sep 1;19(9):589–608.
3. Lewis JS, Windhorst AD, Zeglis BM, editors. Radiopharmaceutical Chemistry [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [cited 2026 Jan 21]. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-98947-1>
4. Nelson BJB, Andersson JD, Wuest F. Targeted Alpha Therapy: Progress in Radionuclide Production, Radiochemistry, and Applications. *Pharmaceutics*. 2020 Dec 31;13(1):49.
5. Miederer M, Benešová-Schäfer M, Mamat C, Kästner D, Pretze M, Michler E, et al. Alpha-Emitting Radionuclides: Current Status and Future Perspectives. *Pharmaceutics*. 2024 Jan 8;17(1):76.
6. Ahenkorah S, Cassells I, Deroose CM, Cardinaels T, Burgoyne AR, Bormans G, et al. Bismuth-213 for Targeted Radionuclide Therapy: From Atom to Bedside. *Pharmaceutics*. 2021 Apr 21;13(5):599.
7. Ferrier MG, Radchenko V, Wilbur DS. Radiochemical aspects of alpha emitting radionuclides for medical application. *Radiochimica Acta*. 2019 Sep 25;107(9–11):1065–85.
8. Bolin J, Groves D. Targeted Alpha Radiopharmaceutical Therapy and Key Considerations for Nuclear Medicine Technologists. *World J Nucl Med*. 2025 Sep;24(03):192–203.
9. Beydağı G, Alan Selçuk N, Kabasakal L. Alpha Peptide Receptor Radionuclide Therapy in Neuroendocrine Tumors. *nts*. 2023 Sep 1;9(2):109–15.
10. Ünak P, Tutun E. Current Approach to Potential Alpha Particle Emitting Radionuclides for Alpha Radionuclide Therapy. In: *Nuclear Medicine Seminars* [Internet]. Nuclear Medicine Seminars; 2023 [cited 2026 Jan 21]. Available from: <https://nukleertipseminerleri.org/articles/current-approach-to-potential-alpha-particle-emitting-radionuclides-for-alpha-radionuclide-therapy/doi/nts.galenos.2023.0002>
11. Ocak M, Akit AA, Ünak P. Targeted Alpha Radionuclide Therapy (TAT)-Ac-225 Radionuclides. *nts*. 2023 Mar 1;9(1):16–24.
12. Eychenne R, Chérel M, Haddad F, Guérard F, Gustin JE. Overview of the Most Promising Radionuclides for Targeted Alpha Therapy: The “Hopeful Eight.” *Pharmaceutics*. 2021 Jun 18;13(6):906.

13. Tosato M, Favaretto C, Kleynhans J, Burgoyne AR, Gestin JF, Van der Meulen NP, et al. Alpha Atlas: Mapping global production of α -emitting radionuclides for targeted alpha therapy. *Nuclear Medicine and Biology*. 2025;142:108990.
14. Bruchertseifer F, Kellerbauer A, Malmbeck R, Morgenstern A. Targeted alpha therapy with bismuth-213 and actinium-225: Meeting future demand. *Labelled Comp Radiopharmac*. 2019 Sep;62(11):794–802.
15. Hooijman EL, Chalashkan Y, Ling SW, Kahyargil FF, Segbers M, Bruchertseifer F, et al. Development of [225Ac]Ac-PSMA-I&T for Targeted Alpha Therapy According to GMP Guidelines for Treatment of mCRPC. *Pharmaceutics*. 2021 May 13;13(5):715.
16. Poeppel TD, Handkiewicz-Junak D, Andreeff M, Becherer A, Bockisch A, Fricke E, et al. EANM guideline for radionuclide therapy with radium-223 of metastatic castration-resistant prostate cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018 May;45(5):824–45.
17. Ocak M, Kabasakal L. Targeted Alpha Therapy-Promising Radionuclides Beyond Ac-225. In: *Nuclear Medicine Seminars* [Internet]. Nuclear Medicine Seminars; 2023 [cited 2026 Jan 21]. Available from: <https://nukleertipseminerleri.org/articles/targeted-alpha-therapy-promising-radionuclides-beyond-ac-225/doi/nts.galenos.2023.0017>
18. Ninatti G, Scilipoti P, Pini C, Barletta F, Longoni M, Gelardi F, et al. Time for action: actinium-225 PSMA-targeted alpha therapy for metastatic prostate cancer – a systematic review and meta-analysis. *Theranostics*. 2025 Feb 20;15(8):3386–99.
19. Hofmann W, Li WB, Friedland W, Miller BW, Madas B, Bardiès M, et al. Internal microdosimetry of alpha-emitting radionuclides. *Radiat Environ Biophys*. 2020 Mar;59(1):29–62.
20. Targeted Alpha Therapy Working Group, Parker C, Lewington V, Shore N, Kratochwil C, Levy M, et al. Targeted Alpha Therapy, an Emerging Class of Cancer Agents: A Review. *JAMA Oncol*. 2018 Dec 1;4(12):1765.
21. Kratochwil C, Haberkorn U, Giesel FL. 225Ac-PSMA-617 for Therapy of Prostate Cancer. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2020 Mar;50(2):133–40.
22. Selçuk NA, Akçay K, Kabasakal L. The Role of Alpha Therapy in Metastatic Castration Resistance Prostate Cancer. *Nukleer Tip Seminerleri*. 2023;9(2):102.
23. Guerra Liberal FDC, O’Sullivan JM, McMahon SJ, Prise KM. Targeted Alpha Therapy: Current Clinical Applications. *Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals*. 2020 Aug 1;35(6):404–17.
24. Qin Y, Imobersteg S, Blanc A, Frank S, Schibli R, Béhé MP, et al. Evaluation of Actinium-225 Labeled Minigastrin Analogue [225Ac]Ac-DOTA-PP-F11N for Targeted Alpha Particle Therapy. *Pharmaceutics*. 2020 Nov 12;12(11):1088.

25. Yoshimoto M, Yoshii Y, Matsumoto H, Shinada M, Takahashi M, Igarashi C, et al. Evaluation of Aminopolycarboxylate Chelators for Whole-Body Clearance of Free ²²⁵Ac: A Feasibility Study to Reduce Unexpected Radiation Exposure during Targeted Alpha Therapy. *Pharmaceutics*. 2021 Oct 16;13(10):1706.
26. Bell MM, Gutsche NT, King AP, Baidoo KE, Kelada OJ, Choyke PL, et al. Glypican-3-Targeted Alpha Particle Therapy for Hepatocellular Carcinoma. *Molecules*. 2020 Dec 22;26(1):4.
27. Herrmann K, Schwaiger M, Lewis JS, Solomon SB, McNeil BJ, Baumann M, et al. Radiotheranostics: a roadmap for future development. *The Lancet Oncology*. 2020 Mar;21(3):e146–56.
28. Özdemir E. Radium-223 for the Treatment of Painful Bone Metastases in Castration-resistant Prostate Cancer. *nts*. 2023 Sep 1;9(2):116–23.
29. Zacherl MJ, Gildehaus FJ, Mittlmeier L, Böning G, Gosewisch A, Wenter V, et al. First Clinical Results for PSMA-Targeted α -Therapy Using ²²⁵Ac-PSMA-I&T in Advanced-mCRPC Patients. *J Nucl Med*. 2021 May 10;62(5):669–74.
30. Rosar F, Krause J, Bartholomä M, Maus S, Stemler T, Hierlmeier I, et al. Efficacy and Safety of [²²⁵Ac]Ac-PSMA-617 Augmented [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 Radioligand Therapy in Patients with Highly Advanced mCRPC with Poor Prognosis. *Pharmaceutics*. 2021 May 14;13(5):722.
31. Ballal S, Yadav MP, Sahoo RK, Tripathi M, Dwivedi SN, Bal C. ²²⁵Ac-PSMA-617-targeted alpha therapy for the treatment of metastatic castration-resistant prostate cancer: A systematic review and meta-analysis. *The Prostate*. 2021 Jun;81(9):580–91.
32. Feuererker B, Kratochwil C, Ahmadzadehfar H, Morgenstern A, Eiber M, Herrmann K, et al. Clinical Translation of Targeted α -Therapy: An Evolution or a Revolution? *J Nucl Med*. 2023 May;64(5):685–92.
33. Garo ML, Ovčariček PP, Fanti S, Giovanella L. [²²⁵Ac]Ac-PSMA for the treatment of metastatic castration-resistant prostate cancer: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Clin Investigation*. 2025 May;55(5):e14358.
34. Khreish F, Ebert N, Ries M, Maus S, Rosar F, Bohnenberger H, et al. ²²⁵Ac-PSMA-617/¹⁷⁷Lu-PSMA-617 tandem therapy of metastatic castration-resistant prostate cancer: pilot experience. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020 Mar;47(3):721–8.
35. Şahin OE. Alfa Radyonüklid Tedavilerinde Aktif Faz Çalışmaları. *Nucl Med Semin*. 2023;9:133–9.
36. Ballal S, Yadav MP, Bal C, Sahoo RK, Tripathi M. Broadening horizons with ²²⁵Ac-DOTATATE targeted alpha therapy for gastroenteropancreatic neuroendocrine tumour patients stable or refractory to ¹⁷⁷Lu-DOTATATE PRRT: first clinical experience on the efficacy and safety. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020 Apr;47(4):934–46.

37. Delpassand ES, Tworowska I, Esfandiari R, Torgue J, Hurt J, Shafie A, et al. Targeted α – Emitter Therapy with ^{212}Pb -DOTAMTATE for the Treatment of Metastatic SSTR-Expressing Neuroendocrine Tumors: First-in-Humans Dose-Escalation Clinical Trial. *J Nucl Med.* 2022 Sep;63(9):1326–33.
38. Kunikowska J, Morgenstern A, Pełka K, Bruchertseifer F, Królicki L. Targeted alpha therapy for glioblastoma. *Front Med (Lausanne).* 2022 Dec 16;9:1085245.
39. Zalutsky MR, Reardon DA, Akabani G, Coleman RE, Friedman AH, Friedman HS, et al. Clinical experience with alpha-particle emitting ^{211}At : treatment of recurrent brain tumor patients with ^{211}At -labeled chimeric antitenascin monoclonal antibody 81C6. *J Nucl Med.* 2008 Jan;49(1):30–8.
40. Behling K, Maguire WF, Di Gialleonardo V, Heeb LEM, Hassan IF, Veach DR, et al. Remodeling the Vascular Microenvironment of Glioblastoma with α -Particles. *J Nucl Med.* 2016 Nov;57(11):1771–7.