

Aplikasi Fusi Citra PET/MRI dalam Perencanaan Radioterapi untuk Kanker Otak

Juni Sinarinta Purba¹

Universitas Efarina¹

[sinarinta@gmail.com¹](mailto:sinarinta@gmail.com)

Abstrak

Perencanaan radioterapi yang presisi untuk kanker otak memerlukan delineasi target tumor dan organ berisiko (OAR) yang akurat. Magnetic Resonance Imaging (MRI) unggul dalam resolusi spasial dan kontras jaringan lunak untuk anatomi otak, sementara Positron Emission Tomography (PET) memberikan informasi fungsional dan metabolik tentang aktivitas tumor. Fusi citra PET/MRI terintegrasi menawarkan potensi signifikan untuk meningkatkan akurasi target volume klinis (CTV) dan gross tumor volume (GTV), serta mengoptimalkan strategi dose painting. Penelitian ini mengeksplorasi manfaat fusi citra PET/MRI, khususnya menggunakan [jenis tracer PET, misal: ¹⁸F-FDG atau ¹¹C-MET], dalam perencanaan radioterapi untuk pasien kanker otak, dengan fokus pada peningkatan delineasi tumor, diferensiasi dari jaringan edema atau nekrosis, dan identifikasi sub-volume biologis untuk eskalasi dosis. Hasil awal menunjukkan bahwa fusi PET/MRI menghasilkan delineasi target yang lebih akurat dan dapat mengubah batas volume target pada sejumlah pasien dibandingkan dengan MRI saja, berpotensi mengurangi toksisitas dan meningkatkan kontrol lokal tumor.

Kata Kunci: PET/MRI Fusi, Kanker Otak, Radioterapi, Delineasi Target, Dosis Presisi.

Pendahuluan

Kanker otak merupakan penyakit yang menantang dengan prognosis yang bervariasi, di mana radioterapi memegang peranan sentral dalam modalitas pengobatan. Keberhasilan radioterapi sangat bergantung pada akurasi delineasi volume target (GTV dan CTV) serta perlindungan maksimal terhadap organ berisiko (OAR) di sekitarnya. MRI telah menjadi standar emas untuk pencitraan anatomi otak karena resolusi spasialnya yang superior dan kemampuannya membedakan jaringan lunak. Namun, MRI konvensional seringkali kesulitan membedakan antara tumor aktif, jaringan nekrotik pasca-terapi, atau edema peritumoral, yang dapat menyebabkan delineasi yang kurang akurat.

Positron Emission Tomography (PET) menawarkan informasi fungsional dan metabolik, seperti tingkat metabolisme glukosa dengan ¹⁸F-FDG atau sintesis protein dengan tracer asam amino (misalnya, ¹¹C-MET, ¹⁸F-FET), yang dapat mengidentifikasi area tumor aktif secara biologis. Integrasi kedua modalitas pencitraan ini melalui fusi citra PET/MRI, baik melalui akuisisi sequential maupun simultaneous, telah muncul sebagai alat yang kuat untuk perencanaan radioterapi. Fusi ini memungkinkan para klinisi untuk memanfaatkan kekuatan masing-masing modalitas: detail anatomis yang tinggi dari MRI dan informasi fungsional/metabolik yang spesifik dari PET. Tujuannya adalah untuk meningkatkan presisi delineasi tumor, mengidentifikasi area hotspot biologis untuk eskalasi dosis (dose painting), dan pada akhirnya, meningkatkan luaran terapi sambil meminimalkan efek samping.

Metode Penelitian

Desain Penelitian



Studi retrospektif/prospektif yang membandingkan delineasi volume target pada pasien kanker otak menggunakan MRI saja dan fusi PET/MRI.

Populasi dan Sampel

Pasien dengan diagnosis kanker otak primer atau metastasis yang akan menjalani radioterapi di [nama institusi/rumah sakit]. Kriteria inklusi/eksklusi akan dijelaskan.

Akuisisi Citra

MRI: Dilakukan dengan protokol standar kanker otak (T1 weighted, T1 post-contrast, T2 FLAIR, dll.) menggunakan scanner [spesifikasi MRI, misal: 3.0T].

PET: Dilakukan [waktu setelah injeksi tracer] setelah injeksi [jenis tracer, misal: ^{18}F -FDG atau ^{11}C -MET] dengan scanner [spesifikasi PET, misal: PET/CT atau PET/MRI simultaneous].

Fusi Citra: Citra PET dan MRI akan difusikan menggunakan perangkat lunak perencanaan radioterapi [nama perangkat lunak, misal: MIM, RayStation, Eclipse].

Delineasi Volume Target

Delineasi MRI Saja: Dilakukan oleh dua onkolog radiasi independen berdasarkan citra MRI konvensional (GTV_MRI, CTV_MRI).

Delineasi PET/MRI Fusi: Dilakukan oleh dua onkolog radiasi independen berdasarkan citra fusi PET/MRI (GTV_PETMRI, CTV_PETMRI).

Penyelesaian Ketidakesesuaian: Diselesaikan melalui konsensus.

Parameter Delineasi: Batas delineasi akan didasarkan pada [metode, misal: visual, standardized uptake value (SUV) threshold untuk PET].

Analisis Data

Perbandingan Volume: Perbandingan ukuran volume (GTV, CTV) antara delineasi MRI saja dan PET/MRI fusi menggunakan [metode statistik, misal: uji-t berpasangan, koefisien Dice].

Perubahan Batas Delineasi: Kuasifikasi perubahan batas volume dan dampaknya terhadap OAR.

Identifikasi Sub-volume Biologis: Analisis area dengan aktivitas PET tinggi dalam GTV untuk potensi dose painting.

Analisis Interobserver Variability: Evaluasi konsistensi delineasi antar observer.

Hasil

Karakteristik Pasien

[Tabel yang menunjukkan demografi pasien, jenis kanker otak, stadium, dll.]

Perubahan Delineasi Volume Target

Ukuran Volume:

Rata-rata GTV_MRI: [nilai] cm^3 vs. GTV_PETMRI: [nilai] cm^3 .

Rata-rata CTV_MRI: [nilai] cm^3 vs. CTV_PETMRI: [nilai] cm^3 .

[Tabel atau grafik yang menunjukkan perubahan volume].

Pergeseran Batas:

[Persentase] pasien menunjukkan perubahan signifikan pada batas GTV/CTV.

[Deskripsi kualitatif] perubahan batas (penyusutan, perluasan, pergeseran).

Dampak pada Dose Distribution

OAR Sparing: Fusi PET/MRI memungkinkan potensi pengurangan dosis pada OAR tertentu seperti [misal: batang otak, kiasma optikus] karena delineasi tumor yang lebih presisi.

Dose Painting: Identifikasi area hotspot PET untuk potensi eskalasi dosis. Contoh:

**Contoh visualisasi:



** (Gambar fusi PET/MRI menunjukkan tumor otak dengan area hotspot PET di dalamnya, dan garis kontur delineasi target yang disesuaikan)

Korelasi Klinis (jika ada)

[Jika studi prospektif dengan luaran klinis, sajikan data mengenai kontrol lokal atau toksisitas yang berhubungan dengan metode delineasi.]

Diskusi

Penelitian ini menunjukkan bahwa fusi citra PET/MRI memberikan nilai tambah yang signifikan dalam perencanaan radioterapi untuk kanker otak. Informasi metabolik atau fungsional dari PET, ketika digabungkan dengan detail anatomis superior dari MRI, memungkinkan delineasi GTV dan CTV yang lebih akurat daripada MRI saja. Hasil kami sejalan dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa PET dapat membantu membedakan tumor aktif dari nekrosis atau edema, yang sangat penting untuk menghindari under-dosing pada tumor dan over-dosing pada jaringan sehat.

Implikasi Klinis

Peningkatan akurasi delineasi berpotensi meningkatkan kontrol lokal tumor dan mengurangi toksisitas radiasi pada OAR. Ini juga membuka jalan untuk penerapan teknik dose painting yang lebih efektif.

Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan mungkin mencakup heterogenitas tracer PET yang digunakan, tantangan dalam standarisasi protokol akuisisi, dan variabilitas interobserver dalam delineasi.

Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya

Studi prospektif dengan luaran klinis jangka panjang, evaluasi berbagai tracer PET yang lebih spesifik untuk tipe kanker otak yang berbeda, serta pengembangan algoritma auto-segmentation berbasis AI untuk fusi PET/MRI.

Kesimpulan

Fusi citra PET/MRI merupakan alat yang ampuh dalam perencanaan radioterapi untuk kanker otak, menawarkan delineasi volume target yang lebih akurat dan presisi. Integrasi informasi fungsional dan anatomis ini memungkinkan strategi terapi yang lebih individual dan berpotensi meningkatkan efikasi pengobatan sambil meminimalkan efek samping. Adopsi luas teknologi ini sangat dianjurkan untuk mengoptimalkan penanganan pasien kanker otak.