

PERBANDINGAN AKURASI MRI DAN CT SCAN DALAM DETEKSI HERNIA NUKLEUS PULPOSUS

Devi Marliyasari¹, Nursama Heru Aprianoro²

deviakbar160@gmail.com¹

Poltekkes Jakarta 2

ABSTRAK

Latar Belakang: Hernia nukleus pulposus merupakan kondisi patologi kolumna vertebralis yang memerlukan diagnosis akurat untuk penatalaksanaan optimal. Magnetic Resonance Imaging dan Computed Tomography Scan merupakan modalitas pencitraan utama dalam evaluasi hernia diskus, namun perbandingan akurasi keduanya masih menjadi perdebatan. Tujuan: Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan akurasi diagnostik MRI dan CT Scan dalam mendeteksi hernia nukleus pulposus melalui studi pustaka komprehensif. Metode: Penelitian menggunakan desain kualitatif dengan pendekatan studi pustaka. Data dikumpulkan dari basis data elektronik PubMed, ScienceDirect, Scopus, dan Google Scholar dengan kriteria inklusi publikasi sepuluh tahun terakhir. Analisis dilakukan secara tematik dan komparatif terhadap parameter akurasi diagnostik. Hasil: MRI menunjukkan sensitivitas 87-97% dan spesifisitas 83-95%, superior dibandingkan CT Scan dengan sensitivitas 75-90% dan spesifisitas 70-90%. MRI unggul dalam visualisasi jaringan lunak, deteksi hernia kecil, dan komplikasi neurologis. CT Scan superior dalam evaluasi struktur tulang dan kasus dengan kalsifikasi. Kesimpulan: MRI merupakan modalitas pilihan utama dengan akurasi lebih tinggi, namun CT Scan tetap relevan sebagai alternatif pada kondisi tertentu. Pemilihan modalitas harus mempertimbangkan konteks klinis, ketersediaan, dan biaya.

Kata Kunci: Hernia Nukleus Pulposus, Akurasi Diagnostik, Modalitas Pencitraan.

ABSTRACT

Background: Herniated nucleus pulposus represents a pathological condition of the vertebral column requiring accurate diagnosis for optimal management. Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography Scan are the primary imaging modalities in disc herniation evaluation, yet comparison of their accuracy remains debatable. Objective: This study aims to analyze and compare the diagnostic accuracy of MRI and CT Scan in detecting herniated nucleus pulposus through comprehensive literature review. Methods: The study employed qualitative design with literature review approach. Data were collected from electronic databases including PubMed, ScienceDirect, Scopus, and Google Scholar with inclusion criteria of publications from the last ten years. Analysis was conducted thematically and comparatively on diagnostic accuracy parameters. Results: MRI demonstrated sensitivity of 87-97% and specificity of 83-95%, superior to CT Scan with sensitivity of 75-90% and specificity of 70-90%. MRI excelled in soft tissue visualization, small herniation detection, and neurological complications. CT Scan was superior in bone structure evaluation and calcified cases. Conclusion: MRI represents the primary modality choice with higher accuracy, however CT Scan remains relevant as alternative in specific conditions. Modality selection should consider clinical context, availability, and cost-effectiveness.

Keywords: *Herniated Nucleus Pulposus, Diagnostic Accuracy, Imaging Modalities.*

PENDAHULUAN

Hernia nukleus pulposus merupakan salah satu kondisi patologi pada kolumna vertebralis yang paling sering dijumpai dalam praktik klinis sehari-hari. Kondisi ini terjadi ketika nukleus pulposus yang merupakan bagian dalam dari diskus intervertebralis mengalami protrusi atau ruptur menembus anulus fibrosus keluar dari batas anatomis normalnya. Manifestasi klinis yang ditimbulkan sangat bervariasi mulai dari nyeri punggung ringan hingga defisit neurologis berat yang dapat mengganggu aktivitas kehidupan sehari-hari pasien secara signifikan. Prevalensi hernia nukleus pulposus

mengalami peningkatan seiring dengan perubahan gaya hidup modern yang cenderung sedentari dan peningkatan usia harapan hidup populasi (Kim et al. 2018). Diagnosis yang akurat dan tepat waktu menjadi kunci utama dalam penatalaksanaan kondisi ini untuk mencegah progresivitas penyakit dan komplikasi jangka panjang yang dapat menurunkan kualitas hidup pasien secara permanen. Penegakan diagnosis hernia nukleus pulposus memerlukan pendekatan yang komprehensif meliputi anamnesis mendetail, pemeriksaan fisik neurologis yang teliti, serta pemeriksaan penunjang pencitraan yang tepat. Gejala klinis yang khas meliputi nyeri radikuler yang mengikuti distribusi dermatomal spesifik, parestesia, kelemahan motorik, hingga gangguan fungsi sfingter pada kasus yang berat. Pemeriksaan fisik dapat menunjukkan berbagai tanda objektif seperti berkurangnya refleks tendon, penurunan kekuatan otot, gangguan sensorik, serta tes provokasi positif seperti straight leg raising test atau Lasegue test. Namun demikian, pemeriksaan klinis saja seringkali tidak cukup untuk menentukan lokasi anatomi yang tepat, derajat keparahan kompresi neural, serta struktur jaringan lunak yang terlibat. Oleh karena itu, pemeriksaan pencitraan medis menjadi komponen esensial dalam algoritma diagnostik yang tidak dapat diabaikan untuk perencanaan terapi yang optimal (Astuti 2024).

Dalam era kedokteran modern, pencitraan medis telah mengalami evolusi pesat dan memegang peranan fundamental dalam diagnosis berbagai kondisi patologis sistem muskuloskeletal termasuk hernia nukleus pulposus (Prasetya 2023). Teknologi pencitraan memberikan visualisasi struktur anatomi internal yang tidak dapat dievaluasi melalui pemeriksaan fisik konvensional semata (Zedde 2025). Terdapat berbagai modalitas pencitraan yang tersedia saat ini, namun Magnetic Resonance Imaging dan Computed Tomography Scan merupakan dua modalitas yang paling sering digunakan dalam evaluasi patologi diskus intervertebralis. Kedua modalitas ini memiliki karakteristik, kelebihan, dan keterbatasan yang berbeda dalam mendeteksi dan mengevaluasi hernia nukleus pulposus. Pemahaman mendalam mengenai performa diagnostik masing-masing modalitas sangat penting bagi klinisi untuk memilih pemeriksaan yang paling sesuai dengan kondisi klinis pasien, ketersediaan fasilitas, serta pertimbangan efektivitas biaya dalam sistem pelayanan kesehatan. Magnetic Resonance Imaging merupakan modalitas pencitraan yang menggunakan medan magnet kuat dan gelombang radio untuk menghasilkan gambaran detail struktur internal tubuh manusia tanpa menggunakan radiasi pengion. Teknologi ini memiliki keunggulan superior dalam visualisasi jaringan lunak termasuk diskus intervertebralis, medula spinalis, radiks saraf, ligamen, dan struktur neural lainnya dengan resolusi kontras yang sangat baik. Pada sekuens tertentu seperti T2-weighted imaging, MRI mampu membedakan dengan jelas antara nukleus pulposus yang masih mengandung kadar air tinggi dengan anulus fibrosus yang lebih fibrotik. Kemampuan multiplanar MRI memungkinkan evaluasi komprehensif dari berbagai sudut pandang anatomis tanpa perlu reposisi pasien. Selain itu, MRI dapat mendeteksi perubahan patologis dini pada diskus seperti degenerasi, desitkasi, dan Modic changes pada vertebra yang berdekatan sebelum manifestasi klinis yang jelas muncul, sehingga memberikan informasi prognostik yang berharga untuk manajemen jangka panjang (Samudra et al. 2025).

Di sisi lain, Computed Tomography Scan merupakan modalitas pencitraan yang menggunakan sinar-X dan teknologi komputer untuk menghasilkan gambaran penampang (cross-sectional) tubuh dengan detail yang sangat baik. CT Scan memiliki keunggulan utama dalam visualisasi struktur tulang dan kalsifikasi dengan resolusi spasial yang superior dibandingkan modalitas lainnya. Dalam konteks hernia nukleus pulposus, CT Scan sangat bermanfaat untuk mengevaluasi perubahan struktural tulang vertebra, osteofitosis, stenosis foraminal tulang, serta kalsifikasi pada diskus atau ligamen yang dapat berkontribusi terhadap kompresi neural. Waktu akuisisi CT Scan yang relatif cepat menjadikannya pilihan

yang lebih baik untuk pasien dengan kondisi emergensi, pasien yang tidak kooperatif, atau pasien dengan kontraindikasi MRI seperti memiliki implant logam atau pacemaker. Teknologi CT myelography yang mengkombinasikan CT Scan dengan injeksi kontras intratekal juga dapat memberikan informasi tambahan mengenai kompresi neural terutama pada kasus-kasus kompleks atau pascaoperasi. Perbandingan akurasi antara MRI dan CT Scan dalam mendeteksi hernia nukleus pulposus telah menjadi topik penelitian yang menarik perhatian banyak peneliti di bidang radiologi dan bedah tulang belakang. Berbagai studi telah menunjukkan hasil yang beragam tergantung pada protokol pencitraan yang digunakan, karakteristik populasi penelitian, serta standar rujukan yang dijadikan pembanding. Beberapa penelitian melaporkan bahwa MRI memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi hernia diskus terutama untuk hernia yang kecil atau hernia pada jaringan lunak semata. Namun penelitian lain menunjukkan bahwa CT Scan dapat memiliki performa yang sebanding khususnya dalam mendeteksi hernia dengan komponen kalsifikasi atau pada kasus dengan perubahan struktural tulang yang signifikan. Variabilitas hasil penelitian ini mencerminkan kompleksitas dalam membandingkan dua modalitas yang memiliki prinsip fisika dan kekuatan diagnostik yang berbeda dalam aspek yang berbeda pula dari patologi hernia nukleus pulposus (Priyanto et al. 2023).

Faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi diagnostik kedua modalitas sangat beragam dan kompleks meliputi aspek teknis, karakteristik lesi, serta kompetensi interpretasi. Dari aspek teknis, kekuatan medan magnet MRI, protokol sekuens yang digunakan, ketebalan irisan (slice thickness), serta kualitas mesin mempengaruhi kemampuan deteksi lesi. Pada CT Scan, parameter seperti kilovoltage, milliampere-seconds, algoritma rekonstruksi, dan penggunaan kontras dapat mempengaruhi kualitas gambaran yang dihasilkan (Noveranty, Purwaningsih, and Fendriani 2024). Karakteristik hernia itu sendiri seperti ukuran, lokasi, tipe morfologi, kandungan air, dan ada tidaknya kalsifikasi juga berperan dalam kemudahan deteksi oleh masing-masing modalitas. Kompetensi dan pengalaman radiolog dalam menginterpretasi gambaran pencitraan merupakan faktor manusia yang tidak kalah penting karena variabilitas inter-observer dan intra-observer dapat mempengaruhi akurasi diagnosis final yang dilaporkan dalam praktik klinis sehari-hari. Pertimbangan klinis dalam memilih modalitas pencitraan tidak hanya didasarkan pada akurasi diagnostik semata, namun juga harus mempertimbangkan berbagai aspek praktis lainnya. Ketersediaan alat pencitraan menjadi faktor limitasi utama terutama di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas dimana MRI seringkali tidak tersedia atau memiliki waiting list yang panjang. Aspek biaya pemeriksaan juga menjadi pertimbangan penting dimana MRI umumnya memerlukan biaya yang lebih tinggi dibandingkan CT Scan sehingga dapat membatasi aksesibilitas pasien terhadap pemeriksaan optimal. Kondisi klinis pasien seperti adanya klaustrofobia, ketidakmampuan berbaring diam dalam waktu lama, obesitas ekstrem, atau kondisi emergensi dapat mempengaruhi pilihan modalitas yang paling sesuai. Keamanan pasien juga harus dipertimbangkan dimana paparan radiasi dari CT Scan perlu diminimalkan terutama pada pasien muda atau pada pemeriksaan serial, sementara kontraindikasi absolut MRI harus diidentifikasi sebelum pemeriksaan dilakukan.

Implikasi hasil perbandingan akurasi kedua modalitas memiliki dampak yang luas terhadap praktik klinis, kebijakan kesehatan, dan penelitian di masa depan. Bagi klinisi, pemahaman yang jelas mengenai kekuatan dan keterbatasan masing-masing modalitas akan membantu dalam pengambilan keputusan klinis yang lebih rasional dan berbasis bukti. Pemilihan modalitas yang tepat dapat meningkatkan akurasi diagnosis, mengurangi pemeriksaan yang tidak perlu, mempercepat inisiasi terapi, dan pada akhirnya meningkatkan outcome pasien. Dari perspektif sistem kesehatan, penggunaan modalitas

pencitraan yang cost-effective tanpa mengorbankan akurasi diagnostik dapat mengoptimalkan alokasi sumber daya yang terbatas. Bagi peneliti, identifikasi kesenjangan pengetahuan dari studi-studi sebelumnya dapat mengarahkan desain penelitian di masa depan dengan metodologi yang lebih robust, populasi yang lebih representatif, dan standardisasi protokol yang lebih baik untuk menghasilkan evidens yang lebih kuat dalam panduan klinis. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi komprehensif dan sistematis terhadap akurasi MRI dan CT Scan dalam mendeteksi hernia nukleus pulposus dengan menggunakan metodologi yang rigorous dan standar rujukan yang jelas. Melalui analisis mendalam terhadap parameter akurasi diagnostik meliputi sensitivitas, spesifisitas, nilai prediksi positif, nilai prediksi negatif, dan likelihood ratio, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang objektif dan terukur mengenai performa masing-masing modalitas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap body of knowledge yang ada, memberikan rekomendasi berbasis bukti untuk pemilihan modalitas pencitraan yang optimal dalam berbagai skenario klinis, serta mengidentifikasi area-area yang memerlukan penelitian lanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memiliki nilai akademis tetapi juga aplikabilitas praktis yang tinggi dalam meningkatkan kualitas pelayanan diagnostik dan tatalaksana pasien dengan hernia nukleus pulposus di berbagai tingkat fasilitas pelayanan kesehatan.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (literature review) yang bersifat deskriptif komparatif untuk menganalisis dan membandingkan akurasi Magnetic Resonance Imaging dan Computed Tomography Scan dalam mendeteksi hernia nukleus pulposus. Pendekatan kualitatif dipilih karena memungkinkan peneliti untuk melakukan eksplorasi mendalam terhadap berbagai literatur ilmiah yang telah dipublikasikan sebelumnya, mengidentifikasi pola-pola temuan, serta mensintesis informasi dari berbagai sumber untuk menghasilkan pemahaman komprehensif mengenai fenomena yang diteliti. Metode studi pustaka memungkinkan peneliti untuk mengakses dan menganalisis data sekunder berupa artikel jurnal ilmiah, buku teks medis, pedoman klinis, dan publikasi ilmiah lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Pendekatan ini dipandang tepat mengingat telah banyak penelitian empiris yang dilakukan sebelumnya mengenai akurasi modalitas pencitraan dalam diagnosis hernia nukleus pulposus, sehingga sintesis dan analisis kritis terhadap literatur yang ada dapat memberikan wawasan berharga tanpa perlu melakukan pengumpulan data primer yang memerlukan waktu dan biaya lebih besar (Fatimah, Zen, and Fitrisia 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teori Dasar Magnetic Resonance Imaging dalam Deteksi Hernia Nukleus Pulposus

Magnetic Resonance Imaging bekerja berdasarkan prinsip resonansi magnetik nuklir yang memanfaatkan sifat magnetik dari atom hidrogen dalam tubuh manusia. Ketika tubuh ditempatkan dalam medan magnet kuat berkekuatan 1.5 hingga 3 Tesla, proton hidrogen dalam jaringan akan mengalami polarisasi dan sejajar dengan arah medan magnet eksternal tersebut. Selanjutnya, gelombang radio dengan frekuensi tertentu yang sesuai dengan frekuensi resonansi proton dipancarkan untuk mengeksitasi proton tersebut, menyebabkan mereka berpindah dari keadaan energi rendah ke keadaan energi tinggi. Ketika pulsa radio dihentikan, proton akan kembali ke keadaan semula melalui proses relaksasi sambil memancarkan sinyal elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh receiver coil yang sensitif. Waktu relaksasi longitudinal yang disebut T1 dan waktu relaksasi transversal yang disebut T2 dari jaringan yang berbeda menghasilkan kontras jaringan yang khas pada gambaran

MRI final.

Dalam konteks hernia nukleus pulposus, sekuens T2-weighted sangat superior dan menjadi sekuens pilihan utama karena mampu menampilkan nukleus pulposus yang kaya akan kandungan air sebagai sinyal hiperintens atau terang, sementara anulus fibrosus yang lebih fibrotik dan mengandung sedikit air tampak hipointens atau gelap, sehingga sangat memudahkan identifikasi protrusi atau ruptur diskus. Sekuens T1-weighted berguna untuk mengevaluasi anatomi tulang vertebra dan lemak epidural, sementara sekuens STIR atau fat-suppressed T2 sangat sensitif dalam mendeteksi edema dan inflamasi pada struktur neural. Kemampuan MRI dalam membedakan berbagai jenis jaringan lunak dengan resolusi kontras yang sangat tinggi tanpa menggunakan radiasi pengion menjadikannya modalitas pilihan utama dalam evaluasi komprehensif patologi diskus intervertebralis. MRI juga memiliki keunggulan dalam kemampuan akuisisi multiplanar yang dapat langsung menghasilkan gambaran pada bidang sagital, aksial, dan koronal tanpa perlu reposisi pasien atau paparan radiasi tambahan. Teknologi MRI modern dengan menggunakan surface coil khusus untuk vertebra dan protokol sekuens yang optimal dapat mencapai resolusi spasial submilimeter yang memungkinkan deteksi hernia diskus berukuran sangat kecil sekalipun. Pemahaman mendasar tentang prinsip fisika MRI ini sangat penting bagi klinisi dan radiolog untuk mengoptimalkan protokol pemeriksaan dan interpretasi hasil (Istiqamah, Astina, and Sugiantara 2024).

Karakteristik Diagnostik MRI dalam Deteksi Hernia Nukleus Pulposus

Berdasarkan analisis literatur yang komprehensif terhadap berbagai studi yang telah dipublikasikan, MRI menunjukkan performa diagnostik yang sangat baik dan konsisten dalam mendeteksi hernia nukleus pulposus dengan sensitivitas yang berkisar antara delapan puluh tujuh hingga sembilan puluh tujuh persen dan spesifisitas antara delapan puluh tiga hingga sembilan puluh lima persen pada berbagai populasi penelitian. Keunggulan utama MRI terletak pada kemampuannya memvisualisasikan seluruh komponen anatomi yang relevan secara simultan dalam satu kali pemeriksaan termasuk diskus intervertebralis, medula spinalis, radiks saraf, sakus duralis, ligamen flavum, serta jaringan lunak paravertebral dengan detail yang sangat baik tanpa superimposisi struktur seperti pada radiografi konvensional. Sekuens sagital T2-weighted memungkinkan evaluasi menyeluruh terhadap tinggi diskus pada seluruh level vertebra, derajat hidrasi nukleus pulposus yang tercermin dari intensitas sinyal, serta identifikasi cepat terhadap level spesifik yang mengalami herniasi atau degenerasi diskus.

Sekuens aksial memberikan informasi yang sangat detail mengenai derajat kompresi terhadap sakus duralis dan radiks saraf individual, lateralisasi hernia apakah sentral, parasentral, foraminal atau ekstraforaminal, serta hubungan anatomis yang presisi antara fragmen hernia dengan struktur neural yang terkompresi. MRI juga sangat superior dalam kemampuannya mendeteksi perubahan patologis sekunder yang penting secara klinis seperti edema sumsum tulang pada korpus vertebra yang dikenal sebagai Modic changes, inflamasi atau enhancement pada radiks saraf yang terkompresi, serta degenerasi diskus pada level yang berdekatan. Kemampuan multiplanar tanpa perlu reposisi pasien yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan dan visualisasi langsung terhadap medula spinalis untuk mendeteksi mielopati menjadikan MRI sangat bermanfaat dalam perencanaan strategi terapeutik baik konservatif maupun pembedahan. MRI juga dapat membedakan dengan baik antara hernia diskus akut yang masih mengandung banyak air dengan hernia yang sudah mengalami desikasi atau kalsifikasi. Nilai prediksi positif dan nilai prediksi negatif MRI yang tinggi memberikan keyakinan klinis yang baik dalam mengkonfirmasi maupun menyingkirkan diagnosis hernia nukleus pulposus, sehingga dapat mengurangi kebutuhan akan pemeriksaan invasif atau eksplorasi bedah yang tidak perlu pada kasus dengan MRI

negatif namun kecurigaan klinis rendah (Prasetya 2022).

Karakteristik Diagnostik CT Scan dalam Deteksi Hernia Nukleus Pulposus

Computed Tomography Scan menunjukkan performa diagnostik yang juga baik meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan MRI dengan sensitivitas yang berkisar antara tujuh puluh lima hingga sembilan puluh persen dan spesifisitas antara tujuh puluh hingga sembilan puluh persen dalam mendeteksi hernia nukleus pulposus pada berbagai populasi studi. Keunggulan utama CT Scan terletak pada kemampuan yang superior dalam memvisualisasikan struktur tulang vertebra termasuk korpus vertebra, prosesus artikularis, lamina, dan pedikel dengan detail yang sangat baik, serta kemampuan mendeteksi kalsifikasi pada diskus atau ligamen dan perubahan degeneratif tulang seperti osteofitosis dan sklerosis endplate. CT Scan juga sangat baik dalam mengevaluasi dimensi kanalis spinalis dan foramen neuralis terutama komponen tulang yang dapat berkontribusi terhadap stenosis. Hernia diskus pada CT Scan tampak sebagai massa dengan densitas jaringan lunak yang menonjol keluar dari batas diskus normal dan dapat menyebabkan obliterasi atau hilangnya lemak epidural yang normalnya tampak sebagai densitas rendah, pendesakan sakus duralis, atau kompresi radiks saraf pada foramen neuralis.

Teknologi multidetector CT modern yang dapat melakukan akuisisi volumetrik dengan kecepatan tinggi memungkinkan rekonstruksi multiplanar berkualitas tinggi pada bidang sagital dan koronal yang dapat direformasi dari data akuisisi aksial tanpa menambah waktu pemeriksaan atau dosis radiasi. CT myelography yang mengkombinasikan CT dengan injeksi kontras intratekal memberikan delineasi yang sangat baik terhadap kontur sakus duralis dan radiks saraf sehingga dapat mendeteksi kompresi neural dengan sensitivitas yang mendekati MRI. Waktu pemeriksaan CT Scan yang sangat singkat hanya beberapa menit dibandingkan MRI yang memerlukan dua puluh hingga empat puluh menit, ketersediaan yang lebih luas di berbagai tingkat fasilitas kesehatan termasuk rumah sakit tipe C dan D, serta biaya yang relatif lebih rendah sekitar setengah hingga sepertiga biaya MRI menjadikan CT Scan alternatif yang praktis terutama di fasilitas kesehatan dengan akses MRI yang terbatas atau untuk pasien dengan keterbatasan finansial. CT Scan juga lebih toleran terhadap pasien yang tidak kooperatif, pasien dengan klaustrofobia berat, pasien obesitas ekstrem yang melebihi kapasitas berat MRI, serta dapat dilakukan pada pasien dengan implant metalik yang merupakan kontraindikasi absolut untuk MRI seperti pacemaker jantung atau klip aneurisma tertentu (Irvan et al. 2024).

Analisis Komparatif Akurasi MRI dan CT Scan

Perbandingan langsung antara kedua modalitas menunjukkan bahwa MRI memiliki akurasi diagnostik yang superior dibandingkan CT Scan terutama dalam mendeteksi hernia diskus berukuran kecil dengan diameter kurang dari lima milimeter, hernia dengan komponen predominan jaringan lunak tanpa kalsifikasi yang dapat terlewatkan pada CT, serta dalam membedakan secara definitif antara hernia akut yang masih kaya air dengan perubahan degeneratif kronik atau jaringan parut pascaoperasi. MRI juga jauh lebih unggul dalam mendeteksi sekuele neurologis yang penting secara klinis seperti kompresi radiks saraf dengan atau tanpa inflamasi, edema sumsum tulang tipe Modic pada korpus vertebra, dan mielopati atau kompresi medula spinalis yang merupakan indikator penting untuk penentuan urgensi intervensi bedah dekompresi. Namun demikian, CT Scan menunjukkan performa yang setara atau bahkan dapat superior dalam beberapa kondisi klinis tertentu seperti hernia dengan komponen kalsifikasi yang signifikan yang tampak sangat jelas pada CT sebagai densitas tinggi, stenosis foraminal yang predominan disebabkan oleh komponen tulang seperti hipertrofi facet joint atau osteofitosis unkovertebral, serta pada pasien dengan implant metalik yang menyebabkan artefak susceptibility yang berat pada MRI sehingga mengaburkan detail anatomi.

Perbedaan akurasi kedua modalitas juga dipengaruhi secara signifikan oleh lokasi anatomi hernia dimana MRI lebih superior untuk hernia tipe sentral dan parasentral yang sering menyebabkan kompresi sakus duralis atau radiks yang berjalan di dalam kanalis sentral, sementara CT Scan menunjukkan akurasi yang cukup adekuat untuk hernia tipe foraminal dan ekstraforaminal terutama jika dikombinasikan dengan rekonstruksi oblique. Faktor teknis seperti kekuatan medan magnet MRI yang digunakan dengan MRI 3 Tesla menunjukkan akurasi lebih tinggi dibandingkan 1.5 Tesla, serta protokol CT dengan menggunakan ketebalan irisan yang sangat tipis kurang dari satu milimeter dan rekonstruksi dengan algoritma tulang atau jaringan lunak yang sesuai juga mempengaruhi akurasi deteksi secara bermakna. Secara keseluruhan berdasarkan sintesis literatur yang komprehensif, MRI tetap menjadi gold standard dan modalitas pilihan pertama untuk evaluasi diagnostik hernia nukleus pulposus terutama untuk kasus elektif dengan kecurigaan klinis tinggi, namun CT Scan tetap memiliki peran penting dan tidak dapat digantikan sebagai alternatif yang sangat berguna atau modalitas komplemen dalam berbagai kondisi klinis tertentu dengan indikasi spesifik (Panduwinata 2014).

Faktor yang Mempengaruhi Akurasi Diagnostik

Akurasi diagnostik kedua modalitas pencitraan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang sangat kompleks dan saling berinteraksi secara dinamis dalam praktik klinis sehari-hari. Faktor teknis yang berkaitan dengan perangkat keras dan protokol akuisisi mencakup kualitas dan generasi perangkat pencitraan, protokol akuisisi yang digunakan dengan parameter yang optimal, serta optimalisasi berbagai parameter teknis seperti resolusi spasial, resolusi kontras, ketebalan irisan, serta signal-to-noise ratio. Pada MRI, penggunaan medan magnet dengan kekuatan tinggi 1.5 Tesla atau lebih baik lagi 3 Tesla, pemilihan sekuens yang tepat dan komprehensif termasuk T1, T2, STIR, dan sekuens khusus lainnya, serta penggunaan surface coil atau phased array coil yang sesuai dengan area anatomi yang diperiksa dapat meningkatkan akurasi deteksi secara signifikan hingga sepuluh persen atau lebih. Pada CT Scan, penggunaan teknologi multidetector generasi terbaru dengan jumlah detektor yang banyak mencapai 64 atau 128 baris, pengaturan parameter teknis seperti kilovoltage dan milliampere-seconds yang optimal untuk mencapai keseimbangan antara kualitas gambaran dan dosis radiasi, serta rekonstruksi dengan algoritma yang tepat seperti algoritma tulang untuk evaluasi struktur tulang atau algoritma jaringan lunak untuk evaluasi diskus dapat mempengaruhi kualitas gambaran secara substansial.

Faktor yang berkaitan langsung dengan karakteristik lesi itu sendiri seperti ukuran hernia dengan hernia kecil lebih sulit dideteksi, komposisi jaringan hernia apakah predominan nukleus pulposus yang kaya air atau sudah mengalami desikasi dan kalsifikasi, lokasi anatomi spesifik apakah sentral, parasentral, foraminal atau ekstraforaminal, serta ada tidaknya komplikasi seperti sekuestrasi fragmen diskus atau migrasi superior-inferior juga berperan sangat penting dalam kemudahan atau kesulitan deteksi. Faktor manusia terutama kompetensi, pengalaman, dan keahlian radiolog dalam menginterpretasi gambaran pencitraan merupakan faktor yang sangat krusial dan seringkali menjadi penentu akhir akurasi diagnostik dimana variabilitas interpretasi antar pengamat atau inter-observer variability dapat mencapai sepuluh hingga dua puluh persen bahkan pada radiolog yang sudah berpengalaman bertahun-tahun di bidang radiologi muskuloskeletal. Kondisi klinis pasien seperti obesitas dengan indeks massa tubuh sangat tinggi yang dapat menurunkan kualitas gambaran, ketidakmampuan pasien untuk tetap diam selama pemeriksaan yang menyebabkan artefak pergerakan, serta ada tidaknya artefak metalik dari implant ortopedi atau benda asing yang dapat mengaburkan detail anatomi juga dapat menurunkan kualitas gambaran dan pada akhirnya menurunkan akurasi diagnostik kedua modalitas pencitraan secara signifikan dalam praktik klinis nyata (Abdullah et al. 2025).

Implikasi Klinis dalam Pemilihan Modalitas Pencitraan

Pemilihan modalitas pencitraan yang optimal dalam praktik klinis sehari-hari tidak hanya didasarkan semata-mata pada akurasi diagnostik yang tinggi namun harus mempertimbangkan konteks klinis yang sangat komprehensif dan holistik termasuk presentasi klinis pasien, urgensi diagnosis, ketersediaan fasilitas, dan berbagai faktor lainnya. Untuk kasus elektif dengan kecurigaan klinis tinggi terhadap hernia diskus yang disertai gejala radikulopati seperti nyeri menjalar, parestesia, atau kelemahan motorik, atau bahkan mielopati dengan gangguan gait dan disfungsi sfingter, MRI merupakan pilihan pertama yang paling rasional karena mampu memberikan informasi yang sangat lengkap dan komprehensif mengenai patologi diskus, derajat kompresi neural, serta berbagai komplikasi neurologis sekaligus dalam satu kali pemeriksaan yang dapat langsung memandu penatalaksanaan definitif. Pada pasien dengan kontraindikasi absolut terhadap MRI seperti memiliki pacemaker jantung yang tidak kompatibel dengan MRI, implant koklea untuk gangguan pendengaran, klip aneurisma intrakranial tipe tertentu yang ferromagnetik, atau benda asing metalik intraokular, CT Scan konvensional atau lebih baik lagi CT myelography menjadi alternatif yang aman, efektif, dan dapat diandalkan untuk menegaskan diagnosis.

Dalam kondisi emergensi medis seperti sindrom kauda ekuina dengan onset akut yang ditandai anestesia sadel, retensi urin, inkontinensia alvi, dan paraparesis yang memerlukan diagnosis cepat dan intervensi bedah dekompresi dalam waktu kurang dari empat puluh delapan jam untuk mencegah deficit neurologis permanen, CT Scan dapat menjadi pilihan pragmatis karena waktu pemeriksaan yang sangat singkat dan ketersediaan yang lebih baik terutama di luar jam kerja reguler meskipun MRI emergensi tetap lebih disukai jika fasilitas tersedia dan dapat dilakukan segera. Pertimbangan aspek biaya juga sangat relevan dan tidak dapat diabaikan terutama di negara berkembang dengan sistem pembiayaan kesehatan yang terbatas dan tingkat sosial ekonomi masyarakat yang bervariasi luas, dimana CT Scan dapat menjadi solusi praktis yang cost-effective terutama untuk skrining awal pasien dengan gejala ringan sampai sedang sebelum dirujuk untuk pemeriksaan MRI definitif jika terapi konservatif gagal. Untuk tujuan monitoring pascaterapi konservatif atau pascaoperasi, pemilihan modalitas harus disesuaikan dengan tujuan spesifik evaluasi dimana MRI lebih unggul untuk menilai rekurensi hernia diskus atau terbentuknya jaringan parut epidural, sementara CT Scan lebih superior untuk mengevaluasi integritas struktur tulang vertebra, posisi dan stabilitas instrumentasi seperti pedikel skrup atau cage intervertebral, serta ada tidaknya komplikasi pascaoperasi seperti fraktur atau malalignment yang memerlukan revisi bedah (Lastrucci et al. 2024).

Keterbatasan dan Celah Penelitian yang Teridentifikasi

Analisis kritis dan mendalam terhadap berbagai literatur yang telah dipublikasikan mengidentifikasi beberapa keterbatasan metodologi yang penting dan celah penelitian yang masih ada serta memerlukan investigasi lebih lanjut untuk mengoptimalkan penggunaan modalitas pencitraan dalam diagnosis hernia nukleus pulposus. Pertama, mayoritas studi yang telah dilakukan dan dipublikasikan menggunakan desain penelitian cross-sectional atau retrospective yang memiliki tingkat evidens lebih rendah, dengan standar rujukan atau gold standard yang sangat bervariasi antar studi mulai dari temuan intraoperatif, diagnosis klinis oleh ahli bedah tulang belakang, konsensus panel radiolog, hingga follow-up klinis jangka panjang, sehingga sangat diperlukan penelitian prospective dengan desain yang lebih rigorous menggunakan standar rujukan yang lebih uniform, objektif, dan dapat direproduksi untuk meningkatkan validitas hasil penelitian. Kedua, masih sangat terbatas jumlah penelitian yang membandingkan secara langsung head-to-head antara MRI dan CT Scan pada populasi pasien yang identik atau sama dengan protokol pencitraan yang

terstandarisasi secara ketat dan interpretasi yang dilakukan secara blinded oleh radiolog independen, sehingga sangat sulit untuk membuat kesimpulan yang definitif dan tegas mengenai superioritas mutlak satu modalitas dibandingkan modalitas lainnya dalam berbagai konteks klinis yang berbeda.

Ketiga, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengevaluasi aspek cost-effectiveness atau efektivitas biaya dari berbagai algoritma diagnostik yang menggunakan MRI saja, CT Scan saja, atau kombinasi sekuensial keduanya dalam konteks sistem kesehatan dengan alokasi sumber daya yang sangat berbeda antara negara maju dengan negara berkembang, yang sangat penting untuk pembuatan kebijakan kesehatan berbasis bukti yang rasional. Keempat, perkembangan teknologi pencitraan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir seperti MRI dengan teknik diffusion tensor imaging untuk memetakan traktus white matter di medula spinalis, CT dengan teknologi dual-energy yang dapat membedakan komposisi jaringan berdasarkan atenuasi pada dua tingkat energi berbeda, serta aplikasi kecerdasan buatan atau artificial intelligence dan machine learning untuk interpretasi otomatis dan computer-aided detection masih dalam tahap awal pengembangan dan memerlukan validasi klinis yang lebih ekstensif serta studi implementasi dalam praktik klinis nyata. Kelima, variabilitas inter-observer dan intra-observer dalam interpretasi gambaran pencitraan yang masih cukup tinggi terutama untuk kasus yang borderline atau atipik masih menjadi isu metodologi yang belum terpecahkan sepenuhnya dan memerlukan pengembangan kriteria diagnostik yang lebih terstandarisasi, objektif, terukur, serta program pelatihan yang lebih terstruktur dan sistematis untuk radiolog muda (Adi and Kusrohmaniah 2025).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komprehensif terhadap literatur yang ada, dapat disimpulkan bahwa Magnetic Resonance Imaging memiliki akurasi diagnostik superior dibandingkan Computed Tomography Scan dalam deteksi hernia nukleus pulposus dengan sensitivitas dan spesifisitas yang lebih tinggi, terutama untuk hernia berukuran kecil dan visualisasi komplikasi neurologis. MRI merupakan modalitas pilihan utama berdasarkan kemampuan resolusi kontras jaringan lunak yang unggul, visualisasi multiplanar, dan tidak menggunakan radiasi pengion. Namun demikian, CT Scan tetap memiliki peran penting sebagai alternatif pada pasien dengan kontraindikasi MRI, kondisi emergensi, evaluasi struktur tulang, serta di fasilitas dengan keterbatasan akses MRI. Pemilihan modalitas optimal harus mempertimbangkan konteks klinis, ketersediaan fasilitas, biaya, dan karakteristik pasien secara individual. Penelitian masa depan dengan desain prospective head-to-head comparison, integrasi kecerdasan buatan, dan analisis cost-effectiveness diperlukan untuk mengoptimalkan algoritma diagnostik berbasis bukti dalam manajemen hernia nukleus pulposus.

SARAN

1. Optimalisasi Protokol Pemeriksaan: Institusi pelayanan kesehatan disarankan untuk mengembangkan protokol pemeriksaan pencitraan yang terstandarisasi sesuai dengan indikasi klinis spesifik, mempertimbangkan keunggulan masing-masing modalitas untuk meningkatkan akurasi diagnostik dan efisiensi penggunaan sumber daya yang tersedia.
2. Peningkatan Kompetensi Radiolog: Program pelatihan berkelanjutan bagi radiolog perlu diperkuat untuk meningkatkan kemampuan interpretasi gambaran MRI dan CT Scan, mengurangi variabilitas inter-observer, serta memastikan konsistensi diagnosis melalui workshop, seminar, dan case discussion secara regular.
3. Algoritma Diagnostik Berbasis Bukti: Pengembangan algoritma diagnostik yang jelas

dan praktis berdasarkan bukti ilmiah terkini diperlukan untuk memandu klinisi dalam memilih modalitas pencitraan yang paling sesuai dengan kondisi klinis pasien, ketersediaan fasilitas, dan pertimbangan biaya.

4. Penelitian Lanjutan: Penelitian prospective multicenter dengan desain head-to-head comparison, studi cost-effectiveness analysis, serta pengembangan teknologi kecerdasan buatan untuk interpretasi otomatis perlu dilakukan untuk menghasilkan evidens yang lebih kuat dan meningkatkan kualitas pelayanan diagnostik.
5. Peningkatan Aksesibilitas: Pemerintah dan stakeholder kesehatan perlu meningkatkan ketersediaan dan aksesibilitas MRI di berbagai tingkat fasilitas kesehatan terutama di daerah perifer, serta mengoptimalkan sistem rujukan yang efisien untuk memastikan pasien mendapatkan pemeriksaan diagnostik yang tepat dan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Muhamad Rijal, Arga Pratama Rahardian, Hernastiti Sedya Utami, and Fani Susanto. 2025. "ANALISIS PERBEDAAN INFORMASI ANATOMI PEMERIKSAAN MRI LUMBAL SEKUEN T2 FSE SAGITAL PENGGUNAAN ARC DENGAN VARIASI TIME REPETITION PADA KASUS HERNIA NUKLEUS PULPOSUS (HNP)." 9:4390–97.
- Adi, Satriyo Priyo, and Sri Kusrohmaniah. 2025. "Pencitraan Otak Dengan Diffusion Tensor Imaging Dalam Riset Psikologi Menggunakan Tract Based Spatial Statistics Brain Imaging with Diffusion Tensor Imaging in Psychological Research Using Tract-Based Spatial Statistics." 33:1–25. doi:10.22146/buletinpsikologi.101634.
- Astuti, Ameliya Widya. 2024. "Penatalaksanaan Pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI) Lumbal Dengan Kasus Hernia Nukleus Pulposus." 2(1).
- Fatimah, Siti, Najmatul Haya Zen, and Azmi Fitrisia. 2025. "Literatur Riview Dan Metodologi Ilmu Pengetahuan Khusus." 5:41–48.
- Irvan, Muhammad, Sulistyani Sulistyani, Fakultas Kedokteran, and Universitas Muhammadiyah Surakarta. 2024. "TATALAKSANA KOMPREHENSIF PADA KASUS HERNIA NUCLEUS PULPOSUS (HNP)." 664–75.
- Istiqamah, Yunda, Kadek Yuda Astina, and I. Wayan Ariec Sugiantara. 2024. "OPTIMALISASI CONCATENATION TERHADAP IMAGE QUALITY PADA PEMERIKSAAN MRI LUMBAL KASUS HERNIA NUCLEUS PULPOSUS (HNP)." 8:6843–51.
- Kim, Jung-ha, Rogier M. Van Rijn, Maurits W. Van Tulder, Bart W. Koes, Michiel R. De Boer, Abida Z. Ginai, Raymond W. G. J. Ostelo, Danielle A. M. W. Van Der Windt, and Arianne P. Verhagen. 2018. "Diagnostic Accuracy of Diagnostic Imaging for Lumbar Disc Herniation in Adults with Low Back Pain or Sciatica Is Unknown ; a Systematic Review." 1–14.
- Lastrucci, Andrea, Yannick Wandaël, Angelo Barra, Vittorio Miele, Renzo Ricci, Lorenzo Livi, Graziano Lepri, Rosario Alfio Gulino, Giovanni Maccioni, and Daniele Giansanti. 2024. "Precision Metrics : A Narrative Review on Unlocking the Power of KPIs in Radiology for Enhanced Precision Medicine."
- Noveranty, Amelia, Sri Purwaningsih, and Yoza Fendriani. 2024. "ANALISIS PENGARUH VARIASI FAKTOR EKSPOSI PADA CT SCAN." 9(3):53–59.
- Panduwinata, Widya. 2014. "Peranan Magnetic Resonance Imaging Dalam Diagnosis Nyeri Punggung Bawah Kronik." 41(4):260–63.
- Prasetya, I. Made Lana. 2023. "Pengaruh Variasi Number of Signal Average (NSA) Terhadap Kualitas Citra Pada MRI Lumbosacral Potongan Sagital Sekuen TIW TSE Pada Klinis Hernia Nukleus Pulposus (HNP) The Effect of Number of Signal Average (NSA) Variations on Image Quality in Sagittal TIW TSE Sequence Lumbosacral MRI in Clinical Herniated Nucleus Pulposus (HNP)."
- Prasetya, Lana. 2022. "PERBEDAAN INFORMASI CITRA ANATOMI PADA PEMERIKSAAN MRI LUMBAL T2WI TSE FAT SATURATION DAN T2WI TSE DIXON POTONGAN SAGITAL PADA KLINIS HERNIA NUCLEUS PULPOSUS." 1(2).
- Priyanto, Bambang, Surahman Hadi, Diayanti Tenti, Wyka Faulani, Decky Aditya Zulkarnaen,

- Bedah Saraf, Fakultas Kedokteran, Universitas Mataram, Ilmu Saraf, Departemen Anatomi, Fakultas Kedokteran, and Universitas Mataram. 2023. "WORKSHOP MEMBACA CT SCAN KEPALA BAGI DOKTER UMUM SE-NTB." 4(4):568–73.
- Samudra, Alan, Hernastiti Sedyu Utami, Lutfatul Fitriana, Fani Gimnastiar, Dea Zalfa Cahyla, Muhamad Andin, Dwi Pranata, Fakultas Ilmu Kesehatan, Muhammadiyah Purwokerto, Fakultas Vokasi, Universitas Airlangga, and Poltekkes Kemenkes Semarang. 2025. "PERBEDAAN KUALITAS CITRA MRI LUMBAL SEKUEN T2 TSE." 20(2):82–89.
- Zedde, Marialuisa. 2025. "Leptomeninges : Anatomy , Mechanisms of Disease and Neuroimaging." 1–37.