

Tinjauan Kepustakaan

Vertigo Sentral: Tinjauan Terkini Mengenai Patofisiologi dan Strategi Diagnosis

Central Vertigo: A Contemporary Review Of Pathophysiology and Diagnostic Strategies

Sri Sutarni^{1,2}, Cempaka Thursina Srie Setyaningrum^{1,2}, Mawaddah Ar Rochmah^{1,2}, Halwan Fuad Bayuangga¹

¹Departemen Neurologi, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan Universitas Gadjah Mada / KSM Saraf RS Sardjito, Yogyakarta, Indonesia

²KSM Saraf RS Dr. Sardjito, Yogyakarta, Indonesia

Korespondensi ditujukan kepada Sri Sutarni; profsrisutarni@ugm.ac.id

Hak Cipta © 2025 Sri Sutarni dkk. Ini adalah artikel akses terbuka yang didistribusikan di bawah Creative Commons Attribution License, yang mengizinkan penggunaan, distribusi, dan reproduksi tanpa batas dalam media apa pun, asalkan karya aslinya dikutip dengan benar.

ABSTRACT

Recent advances have fundamentally reshaped the clinical and pathophysiological landscape of central vertigo, moving beyond a simplistic brainstem model to a sophisticated understanding of a distributed central vestibular network. This network, encompassing the brainstem, cerebellum, thalamus, and cortex, provides a robust framework for explaining how disruptions from stroke, demyelination, or functional disorders produce diverse symptoms. In parallel, diagnostic paradigms have evolved dramatically. The advent of quantitative ocular motor testing, epitomized by the HINTS protocol and enhanced by video-head impulse testing (vHIT), now allows for highly sensitive bedside identification of central causes in acute settings. Furthermore, advanced neuroimaging techniques, including optimized diffusion-weighted and vessel wall MRI, have revolutionized our ability to detect subtle posterior fossa infarcts and vascular pathology. These mechanistic and technological insights have also refined our perspective on specific syndromes, solidifying vestibular migraine and persistent postural-perceptual dizziness (PPPD) as central disorders of sensory integration. Ultimately, the integration of this modern network-based pathophysiology with targeted diagnostic tools is establishing a new standard of care, significantly improving diagnostic accuracy, enabling timely intervention, and guiding future therapeutic development for patients with central vertigo.

Keywords: Vestibular network, HINTS examination, neuroimaging, acute vestibular syndrome, central vertigo

ABSTRAK

Perkembangan terkini telah mengubah lanskap klinis dan pemahaman patofisiologi vertigo sentral secara fundamental, bergeser dari model batang otak yang sederhana menuju pemahaman kontemporer mengenai jaringan vestibular sentral yang terdistribusi luas. Jaringan ini, yang mencakup batang otak, serebelum, talamus, dan korteks, menjadi kerangka kerja konseptual untuk menjelaskan bagaimana stroke, demielinasi, atau kelainan fungsional dapat menimbulkan beragam gejala vertigo. Secara paralel, pendekatan diagnostik pun telah berkembang pesat. Inovasi dalam uji motorik okular kuantitatif, seperti uji HINTS yang diperkuat dengan *video-head impulse test (vHIT)*, memungkinkan identifikasi penyebab sentral dengan sensitivitas tinggi pada fase akut. Lebih lanjut, teknik pencitraan mutakhir, termasuk *diffusion-weighted imaging (DWI)* dan MRI dinding pembuluh darah (*vessel wall MRI*), telah merevolusi deteksi infark fossa posterior yang tersamar dan patologi vaskular. Kemajuan dalam pemahaman mekanistik dan teknologi ini juga memberikan perspektif baru mengenai beberapa sindrom spesifik, seperti memperkuat hipotesis bahwa migrain vestibular dan *persistent postural-perceptual dizziness (PPPD)* merupakan gangguan sentral pada integrasi sensorik. Dengan demikian, integrasi paradigma patofisiologi modern berbasis jaringan dengan alat diagnostik mutakhir akan meningkatkan standar perawatan, menuju peningkatan akurasi diagnostik yang signifikan, memungkinkan intervensi yang cepat dan tepat, serta menjadi landasan bagi pengembangan terapi di masa depan untuk kasus-kasus vertigo sentral.

Kata Kunci: Jaringan vestibular, pemeriksaan HINTS, pencitraan neurologi, sindrom vestibular akut, vertigo sentral

1. Pendahuluan

Vertigo, yaitu sensasi ilusi diri atau lingkungan sekitar yang bergerak, merupakan gejala neurologis yang umum ditemui dan seringkali sangat mengganggu.^[1] Tujuan klinis utama tetaplah membedakan antara penyebab perifer (pada labirin atau saraf

vestibular) dan sentral (pada batang otak, serebelum, atau pusat yang lebih tinggi). Meskipun penyebab perifer lebih lazim dijumpai, vertigo sentral tetap menjadi pertimbangan diagnostik karena sering menandakan patologi serius, seperti stroke iskemik, demielinasi, atau neoplasia. Secara historis, diagnosis sangat bergantung pada ketajaman klinis dan keberadaan "tanda bahaya"

(*red flags*), namun tingkat kesalahan diagnosis masih signifikan.^[2]

Dasawarsa terakhir telah mengalami perubahan paradigma dalam pemahaman dan pendekatan diagnostik terhadap vertigo sentral.^[3] Kemajuan di bidang neurofisiologi dan pencitraan neurologi fungsional telah memungkinkan konstruksi model jaringan vestibular sentral, sementara teknik *magnetic resonance imaging* (MRI) terbaru secara dramatis meningkatkan kemampuan mendeteksi stroke iskemik akut di fossa posterior.^[4] Lebih lanjut, analisis sistematis terhadap pola-pola okulomotor yang spesifik melalui *video-oculography* (VNG) kuantitatif dan *video-head impulse testing* (vHIT) memberikan opsi alat diagnostik yang dapat digunakan untuk pemeriksaan *bedside*.^[5] Tinjauan ini mensintesis literatur terkini dengan fokus pada konsep patofisiologi vertigo sentral yang terus berkembang serta kemajuan transformatif dalam tata laksana diagnostik, yang secara paralel meningkatkan akurasi diagnosis dan manajemen terapi bagi pasien.

2. Pembahasan

Jaringan Vestibular Sentral sebagai Kerangka Patofisiologi Modern

Pemahaman kontemporer tentang vertigo sentral telah mengalami perubahan fundamental, bergeser dari model sederhana yang berpusat pada batang otak menuju konsep yang lebih modern mengenai jaringan vestibular sentral yang terdistribusi luas.^[1,6] Pergeseran paradigma ini, didorong utamanya oleh studi pencitraan neurologi fungsional dan pemetaan *lesion-network*, mengungkap bahwa persepsi orientasi spasial dan diri berasal dari interaksi dinamis dari berbagai jaras saraf. Integrator inti memang tetap berada pada nukleus vestibular dan vestibuloserebelum, namun penelitian terbaru secara signifikan telah mempertajam pemahaman akan perannya. Kini dipahami bahwa struktur spesifik seperti nodulus dan uvula tidak hanya terlibat, tetapi sangat krusial dalam memproses informasi otolith dan mengontrol mekanisme *velocity storage*.^[1] Lesi di area ini kini diketahui secara langsung menyebabkan ilusi miring (*tilt illusions*) dan nistagmus periodik alternan.^[1]

Lebih lanjut, jaras proyeksi dari batang otak menuju korteks telah diakui sebagai komponen esensial dari jaringan ini. Talamus vestibular berperan sebagai situs relai yang sangat penting dalam mendistribusikan informasi ke area kortikal multisensorik, termasuk korteks vestibular parieto-insular (*parieto-insular vestibular cortex*, PIVC).^[6,7] Integrasi pada tingkat kortikal adalah vital untuk menciptakan persepsi yang koheren tentang diri dalam ruang dengan cara menggabungkan sinyal vestibular dengan input visual dan somatosensoris. Peran serebelum juga telah diperluas melampaui flokulus, karena vermis posterior kini dikaitkan dengan kontrol prediktif gerakan dan penyempurnaan refleks vestibulo-okular (*VOR fine-tuning*).^[1]

Kerangka berbasis jaringan ini dengan elegan dapat menjelaskan beragam presentasi klinis dari vertigo sentral. Menurut kerangka ini, gangguan pada jaras mana pun, baik berupa lesi iskemik di batang otak, perdarahan di serebelum, atau demielinasi yang memengaruhi jalur talamokortikal, dapat menghasilkan sindrom klinis yang khas.^[7] Dengan demikian, kerangka ini memberikan dasar patofisiologi yang lebih komprehensif dibandingkan dengan klasifikasi biner tradisional.

Perkembangan Diagnostik Kuantitatif Vertigo Sentral

Pemeriksaan klinis untuk vertigo telah mengalami revolusi kuantitatif, bergerak dari deskripsi subjektif menuju penilaian objektif yang berbasis data. Pergeseran paradigma ini ditandai dengan validasi dan pengembangan pemeriksaan HINTS (*head-impulse, nystagmus, test-of-skew*), yang telah terbukti lebih sensitif dibandingkan MRI untuk mendeteksi stroke pada pasien dengan *acute vestibular syndrome*.^[3,8] Kehadiran *video-head impulse test* (vHIT) sangat transformatif, karena memungkinkan kuantifikasi presisi dari refleks vestibulo-okular (VOR) dan deteksi gerakan sakadik tersembunyi. Studi terkini menunjukkan bahwa lesi sentral, terutama yang mengenai serebelum, dapat

menghasilkan pola vHIT yang spesifik, seperti peningkatan *gain VOR* akibat hilangnya inhibisi flokular.^[5] Temuan ini sangat spesifik untuk etiologi sentral.

Lebih lanjut, analisis kuantitatif dan sistematis terhadap nistagmus telah mengungkap tanda-tanda lokalisasi yang penting. Munculnya *perverted nystagmus*, yakni nistagmus vertikal selepas pergerakan kepala pada bidang horizontal, adalah indikator klasik dari lesi nodular.^[9] Demikian pula, nistagmus posisional yang dikarakterisasi dengan ketiadaan latensi dan kelelahan, persistensi, dan arah vertikal murni, dapat secara hampir pasti membedakan penyebab sentral dari perifer.^[9]

Sebagai pelengkap, pemeriksaan *vestibular evoked myogenic potentials* (VEMPs) telah memperluas jangkauan diagnostik hingga ke organ otolith. Temuan VEMP yang abnormal, seperti latensi yang memanjang atau asimetri yang tidak sesuai dengan pola perifer, memberikan gambaran mengenai integritas jalur otolith sentral di batang otak, sekaligus memperkuat pendekatan multimodal untuk diagnosis *bedside*.^[10]

Perkembangan Pencitraan Fossa Posterior

Kemajuan teknologi dalam pencitraan neurologi secara dramatis meningkatkan kemampuan dalam mengilustrasikan korelasi struktural dari gejala vertigo sentral dengan anatomi fossa posterior yang kompleks.^[4] MRI tetap menjadi baku emas dengan nilai sensitivitas yang cukup tinggi sebagai alat uji diagnostik. Penggunaan *Diffusion-weighted imaging* (DWI) dengan protokol yang dioptimasi mampu mengurangi angka "*false-negative DWI stroke*" dan memungkinkan deteksi infark akut ukuran kecil di serebelum dan batang otak.^[4]

Teknologi terbaru seperti *high-resolution vessel wall imaging* (HR-VWI) turut mengubah pendekatan pemeriksaan integritas vaskular.^[4] Modalitas ini memungkinkan visualisasi secara langsung patologi dinding arteri, seperti aterosklerosis intrakranial atau diseksi, pada pasien dengan *transient ischemic attack* (TIA) atau stroke kriptogenik yang bermanifestasi sebagai vertigo, sehingga dapat memandu pengambilan keputusan intervensi terapeutik yang lebih tertarget. Selain itu, *susceptibility-weighted imaging* (SWI) juga menjadi metode penting dalam mengidentifikasi penyebab vertigo yang terkait dengan perdarahan atau malformasi vaskular.^[4] Sensitivitasnya yang cukup tinggi terhadap komponen darah terdeoksigenasi menjadikannya ideal digunakan untuk diagnosis kavernoma atau perdarahan mikro, yang dapat memicu gejala vertigo episodik apabila mengenai jaras-jaras kunci jaringan vestibular sentral.^[4] Secara kolektif, teknologi-teknologi tersebut memberikan gambaran struktural yang komprehensif yang sulit dibayangkan sebelumnya.

Tinjauan Kontemporer Sindrom Vertigo Sentral Spesifik

Kerangka patofisiologi modern dan kemajuan teknologi telah memperdalam pemahaman mengenai beberapa sindrom vertigo sentral yang spesifik, terutama terkait kriteria diagnostik dan landasan biologisnya. *Vestibular migraine* (VM) kini diakui sebagai penyebab umum vertigo episodik yang disebabkan oleh gangguan integrasi sensorik pada jaringan vestibular sentral.^[11] Model terbaru menunjukkan bahwa gelombang *cortical spreading depression* selama kejadian migrain mengakibatkan disregulasi sirkuit talamokortikal dan batang otak, sehingga menimbulkan gejala khasnya.^[12] Meskipun diagnosis tetap ditegakkan secara klinis, penelitian saat ini secara aktif mencari penanda biologis objektif yang dapat digunakan.

Demikian pula, *persistent postural perceptual dizziness* (PPPD) telah dipercaya sebagai suatu gangguan fungsional. Studi pencitraan neurologi secara konsisten menunjukkan konektivitas yang maladaptif, khususnya antara korteks vestibular parieto-insular dan struktur limbik seperti kortek cinguli anterior, yang menjadi dasar terjadinya gejala pusing persisten dan hipersensitivitas terhadap rangsang gerakan.^[13,14] Pemahaman ini merestrukturisasi konsep PPPD dari yang awalnya dianggap sebagai gangguan konversi psikiatri menjadi gangguan sentral pada integrasi multisensorik.^[13]

Selanjutnya, stroke serebelum dengan gejala yang menyerupai neuritis vestibular masih menjadi suatu tantangan klinis tersendiri. Telah banyak disadari bahwa infark akut *posterior inferior cerebellar artery* (PICA) atau *anterior inferior cerebellar artery* (AICA) dengan manifestasi vertigo murni, secara klinis sulit dibedakan dari lesi perifer. Hal ini menegaskan pentingnya pemeriksaan HINTS-plus (ditambah gejala auditori) dalam mengidentifikasi tanda-tanda sentral yang halus dan memandu penentuan jenis intervensi yang akan dilakukan.^[15] Perspektif patofisiologi yang diperbarui memastikan bahwa sindrom-sindrom yang umum namun kompleks ini dapat diidentifikasi dan ditangani dengan lebih dini dan tepat.

3. Kesimpulan

Lanskap diagnosis dan pemahaman mengenai vertigo sentral telah mengalami perubahan signifikan sebagai hasil perkembangan ilmiah terkini. Pergeseran dari pandangan tradisional yang berpusat pada batang otak menuju model jaringan dinamis dari pemrosesan vestibular sentral memberikan kerangka patofisiologis yang lebih kompleks dalam menafsirkan presentasi klinis yang beragam. Secara bersamaan, pendekatan diagnostik telah berevolusi dari penggalan riwayat subjektif dan pemeriksaan dasar menuju paradigma kuantitatif yang objektif.

Integrasi pemeriksaan okulomotor kontemporer (seperti HINTS, vHIT, dan VEMP) memberikan metode yang sangat sensitif dan spesifik dalam melakukan triase pada pasien dalam kondisi akut, bahkan seringkali lebih unggul dibandingkan pencitraan neurologi. Ketika pencitraan diperlukan, teknologi MRI terbaru (seperti DWI, HR-VWI, dan SWI) telah meningkatkan kemampuan klinisi dalam mendeteksi lesi iskemik, hemoragik, dan struktural yang halus di area fossa posterior.

Tantangan di masa depan terletak pada diseminasi dan implementasi luas dari pendekatan ini di luar pusat-pusat spesialis vertigo. Lebih lanjut, penelitian terhadap jaringan vestibular sentral yang mendasari kondisi kronis seperti *vestibular migraine* dan PPPD berpotensi munculnya inovasi intervensi yang tertarget, baik melalui neuromodulasi maupun farmakoterapi. Sintesis antara fenotipe klinis yang detail dengan teknologi diagnostik modern diharapkan dapat menjadi standar manajemen pasien terkini. Hal ini tak lain bertujuan untuk memastikan penyebab sentral vertigo dapat diidentifikasi dengan cepat dan akurat, serta meningkatkan luaran klinis.

4. Daftar Pustaka

- [1] Dieterich M. Central vestibular disorders. *J Neurol*. 2007;254(5):559-568.
- [2] Strupp M, Brandt T. Diagnosis and treatment of vertigo and dizziness. *Dtsch Arzteblatt Int*. 2008;105(10):173-180.
- [3] Newman-Toker DE, Kerber KA, Hsieh YH, Pula JH, Omron R, Saber Tehrani AS, dkk. HINTS outperforms ABCD2 to screen for stroke in acute continuous vertigo and dizziness. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. 2013;20(10):986-996.
- [4] Dieterich M, Brandt T. VESTIBULAR SYSTEM: Anatomy and Functional Magnetic Resonance Imaging. *Neuroimaging Clin N Am*. 2001;11(2):263-273.
- [5] Nerdal PT, Gandor F, Friedrich MU, Schappe L, Ebersbach G, Maetzler W. Vestibulo-Ocular Reflex Suppression: Clinical Relevance and Assessment in the Digital Age. *Digit Biomark*. 2024;8(1):52-58.
- [6] Brandt T, Dieterich M. The vestibular cortex. Its locations, functions, and disorders. *Ann N Y Acad Sci*. 1999;871:293-312.
- [7] Lopez C, Blanke O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Res Rev*. 2011;67(1-2):119-146.
- [8] Kattah JC, Talkad AV, Wang DZ, Hsieh YH, Newman-Toker DE. HINTS to diagnose stroke in the acute vestibular syndrome: three-step bedside oculomotor examination more sensitive than early MRI diffusion-weighted imaging. *Stroke*. 2009;40(11):3504-3510.
- [9] Brandt T, Strupp M. General vestibular testing. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol*. 2005;116(2):406-426.
- [10] Rosengren SM, Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibular evoked myogenic potentials: past, present and future. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol*. 2010;121(5):636-651.
- [11] Lempert T, Olesen J, Furman J, Waterstone J, Seemungal B, Carey J, dkk. Vestibular migraine: diagnostic criteria. *J Vestib Res Equilib Orientat*. 2012;22(4):167-172.
- [12] Huang TC, Wang SJ, Kheradmand A. Vestibular migraine: An update on current understanding and future directions. *Cephalalgia Int J Headache*. 2020;40(1):107-121.
- [13] Staab JP, Eckhardt-Henn A, Horii A, Jacob R, Strupp M, Brandt T, dkk. Diagnostic criteria for persistent postural-perceptual dizziness (PPPD): Consensus document of the committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society. *J Vestib Res Equilib Orientat*. 2017;27(4):191-208.
- [14] Popkirov S, Staab JP, Stone J. Persistent postural-perceptual dizziness (PPPD): a common, characteristic and treatable cause of chronic dizziness. *Pract Neurol*. 2018;18(1):5-13.
- [15] Newman-Toker DE, Curthoys IS, Halmagyi GM. Diagnosing Stroke in Acute Vertigo: The HINTS Family of Eye Movement Tests and the Future of the "Eye ECG." *Semin Neurol*. 2015;35(5):506-521.