

PERAN VIRTUAL AUTOPSY DALAM PENGUNGKAPAN KASUS KEMATIAN TIDAK WAJAR - ASPEK HUKUM & KEDOKTERAN

Triyana Indah Purwati¹, Niufti Ayu Dewi Mahila²

¹Fakultas Kedokteran, triyanaindah48@gmail.com, Universitas Islam Indonesia

²Departemen Ilmu Kedokteran Forensik, Etika dan Hukum Kedokteran, Fakultas Kedokteran,
217111301@uii.ac.id, Universitas Islam Indonesia

ABSTRAK

Latar Belakang: Kematian tidak wajar seringkali memerlukan investigasi mendalam untuk kepentingan hukum dan medis. Metode autopsi konvensional, meskipun masih menjadi standar emas, menghadapi berbagai tantangan meliputi risiko infeksi bagi operator, penolakan keluarga berbasis budaya atau agama, serta keterbatasan dokumentasi yang bersifat destruktif dan tidak dapat diulang. Virtual autopsy atau virtopsy, yang memanfaatkan modalitas pencitraan canggih seperti PMCT, MRI, dan PMCTA, telah berkembang sebagai pendekatan non-invasif yang menjanjikan dalam investigasi kematian forensik. **Tujuan:** Tinjauan literatur ini bertujuan mengkaji peran virtual autopsy dalam pengungkapan kasus kematian tidak wajar dari perspektif hukum dan kedokteran forensik, serta mengidentifikasi keunggulan, keterbatasan, dan implikasinya.

Metode: Metode yang digunakan adalah narrative literature review terhadap sepuluh artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2018 hingga 2025.

Hasil: Virtual autopsy unggul dalam mendeteksi fraktur, benda asing, emboli gas, dan cedera vaskular, serta menghasilkan dokumentasi digital permanen yang bernilai sebagai barang bukti di persidangan. Teknik ini terbukti efektif pada kasus trauma, tenggelam, luka tembak, kebakaran, dan kematian mendadak. PMCT angiography memberikan nilai tambah dalam visualisasi lesi vaskular dan deteksi emboli paru. Namun demikian, virtual autopsy memiliki keterbatasan dalam evaluasi histopatologi, perubahan jaringan lunak, identifikasi trombus intravaskular, serta deteksi keracunan sistemik. Secara hukum, keabsahan temuan virtual autopsy sebagai alat bukti masih bervariasi di berbagai yurisdiksi dan belum sepenuhnya terstandarisasi secara internasional.

Kesimpulan: Virtual autopsy merupakan instrumen komplementer yang signifikan dalam investigasi kematian tidak wajar, mampu memperkuat temuan autopsi konvensional sekaligus memberikan alternatif pada situasi di mana autopsi tradisional tidak dapat dilaksanakan.

Kata kunci: virtual autopsy, virtopsy, kematian tidak wajar, forensic imaging, postmortem computed tomography

PENDAHULUAN

Kematian tidak wajar adalah kematian yang terjadi akibat dari faktor eksternal atau bukan disebabkan oleh penyakit alami dan proses penuaan. Hal ini mencakup kematian yang terjadi akibat kekerasan, kecelakaan, bunuh diri, dan kematian mendadak yang tidak dapat dijelaskan secara klinis. Investigasi terhadap kasus-kasus ini merupakan pondasi penting dalam sistem peradilan pidana dan kepastian hukum. Autopsi konvensional telah lama diakui sebagai *gold standard* dalam penentuan sebab kematian, namun dalam praktiknya masih menghadapi kendala-kendala yang terus meningkat.

Kendala utama autopsi konvensional meliputi: (1) Penolakan keluarga atas dasar keyakinan agama atau budaya terhadap prosedur invasif, (2) Risiko paparan patogen berbahaya bagi operator, (3) Sifat destruktif dan proses tidak dapat diulang pada prosedur diseksi, serta (4) Keterbatasan dalam mendokumentasikan cedera pada area anatomi yang sulit diakses seperti basis cranii, pelvis, dan vertebra. Di beberapa negara, termasuk Jepang, keluarga memiliki hak hukum untuk menolak autopsi konvensional sehingga investigasi forensik sangat bergantung pada modalitas alternatif.

Virtual autopsy atau *virtopsy*®, sebuah konsep yang diperkenalkan oleh tim peneliti Swiss pada awal tahun 2000-an, menawarkan paradigma baru dalam investigasi kematian forensik melalui pemanfaatan teknologi pencitraan medis canggih.¹ Metode ini memanfaatkan *postmortem computed tomography* (PMCT), *magnetic resonance imaging* (MRI), dan *postmortem CT angiography* (PMCTA) untuk memvisualisasikan struktur internal tubuh secara tiga dimensi tanpa perlu melakukan insisi.^{1,2}

Meskipun perkembangan virtual autopsy telah berlangsung selama lebih dari dua dekade dan telah diimplementasikan di berbagai institusi forensik di Eropa, Amerika Utara, dan Asia, masih terdapat kesenjangan dalam pemahaman komprehensif mengenai perannya secara hukum dan medikolegal, khususnya dalam konteks kasus kematian tidak wajar di yurisdiksi yang berbeda. Keabsahan temuan virtual autopsy sebagai alat bukti di persidangan, standar pelatihan tenaga ahli, serta integrasi teknik ini dalam peradilan belum sepenuhnya terstandarisasi secara internasional.

Tinjauan literatur ini bertujuan untuk: (1) Mengkaji peran virtual autopsy dalam pengungkapan kasus kematian tidak wajar dari perspektif hukum dan kedokteran forensik; (2) mengidentifikasi keunggulan dan keterbatasan teknik ini dibandingkan autopsi konvensional; serta (3) menganalisis implikasi hukum dan rekomendasi pengembangan ke depan.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *narrative literature review*, yaitu metode tinjauan yang mensintesis, menganalisis, dan menginterpretasikan literatur ilmiah yang relevan secara sistematis sehingga memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap aspek klinis, teknis, dan hukum dari virtual autopsy.

Sampel dan Bahan

Sumber data terdiri dari sepuluh artikel ilmiah yang diterbitkan pada rentang tahun 2018 hingga 2025. Artikel dipilih berdasarkan relevansi dengan topik virtual autopsy dalam konteks kematian tidak wajar.

Teknik Pengumpulan Data

Pencarian literatur dilakukan melalui basis data elektronik PubMed/MEDLINE, Google Scholar, dan Scopus menggunakan kata kunci: “virtual autopsy”, “*virtopsy*”, “*postmortem CT*”,

“PMCT”, “forensic imaging”, “unnatural death”, “postmortem MRI”, dan kombinasinya. Kriteria inklusi meliputi: (1) Artikel berbahasa inggris atau indonesia, (2) membahas virtual autopsy dalam konteks forensik, (3) diterbitkan tahun 2016 - 2026, dan (4) tersedia dalam teks lengkap. Kriteria eksklusi mencakup artikel yang membahas virtual autopsy hanya dalam konteks klinis non-forensik atau hewan.

Tahap Analisis Data

Data diekstraksi dari setiap artikel mencakup: penulis, tahun, desain penelitian, populasi/sampel, modalitas pencitraan yang digunakan, temuan utama, keunggulan, keterbatasan, dan implikasi hukum. Sintesis dilakukan secara naratif dengan mengelompokkan temuan berdasarkan tema: (1) efektivitas deteksi cedera dan sebab kematian, (2) perbandingan dengan autopsy konvensional, (3) aplikasi pada jenis kasus kematian tidak wajar, dan (4) aspek hukum dan etika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Artikel yang Dianalisis

Tabel 1 menyajikan karakteristik kesepuluh artikel yang diikutsertakan dalam tinjauan ini.

No	Penulis (Tahun)	Judul	Desain	Temuan Utama
1	Gascho D (2025)	VIRtual autOPSY - applying CT and MRI for modern forensic death investigation	Review	CT unggul deteksi fraktur & benda asing; MRI unggul untuk cedera jaringan lunak; PMCTA untuk lesi vaskular.
2	Tyagi S & Ravi A (2025)	Virtopsy Vs. Traditional Autopsy: A Review of Accuracy, Limitation, And Future Potential	Review	Virtopsy efektif untuk fraktur, benda asing, lesi vaskular; terbatas pada histopatologi & biokimia.
3	Singh S, et al. (2025)	Virtual Autopsy in Trauma Case: A Retrospective Study from a Tertiary Care Institute	Retrospective Descriptive Study	139 kasus trauma; cedera kepala 67,6%; NCCT Head digunakan 90,6% kasus; SOD: cedera kepala berat 49,30%
4	Dedouit F, et al. (2025)	The current state of forensic imaging - postmortem imaging	Review	PMCT unggul untuk cedera tumpul, tulang, gas; PMCTA penting untuk lesi vaskular; MRI untuk kasus pediatri.
5	Gascho D (2024)	Photon-counting CT for forensic death investigations - a glance into the future of virtual autopsy	Cros-sectional Study	Photon-counting CT menawarkan resolusi 0,2mm; potensi diferensiasi material lebih baik; masa depan untuk CT forensik.
6	Jangid C, et al. (2024)	From Traditional to Virtual: The Evolving Landscape of Autopsy Techniques in Forensic Science	Review	CT, MRI, US, radiografi dibahas; aplikasi pada tenggelam, luka bakar, luka tembak, odontologi forensik.

7	Dodiya KR, et al. (2025)	Forensic Applications of Virtual Autopsy in Noninvasive Death Investigations: A Comparative Analysis with Traditional Methods	Comparative Analysis	CT unggul deteksi skeletal & benda asing; MRI untuk jaringan lunak; PMCTA untuk vaskular; studi kasus pembunuhan & tenggelam.
8	Liu YW, et al. (2024)	Comparison of Forensic Virtual Autopsy and Conventional Autopsy Findings in China: A 10-year Retrospective Study	Retrospective Study	322 kasus; virtopsy unggul deteksi fraktur tulang aksial & benda asing; autopsi konvensional unggul histopatologi & lesi jaringan
9	Malizia A, et al. (2020)	Post-Mortem Investigation Through Virtual Autopsy Techniques: Proposal of a New Diagnostic Approach to Reduce the Risks of Operators During Emergencies	Case Study	PMCT sebagai alat skrining COVID-19 post-mortem; mengurangi risiko infeksi operator; percutaneous biopsy sebagai tambahan.
10	Filigrana L, et al. (2018)	A Practical Guide to Virtual Autopsy: Why, When, and How	Review	Panduan whole-body PMCT, PMCTA, dan biopsi percutaneous; workflow virtual autopsy; indikasi dan protokol teknis.

Tabel 1. Karakteristik Artikel yang Dianalisis.

Modalitas Pencitraan dalam Virtual Autopsy

Berdasarkan seluruh artikel yang dianalisis, terdapat tiga modalitas utama yang digunakan dalam virtual autopsy. *Postmortem Computed Tomography* (PMCT) merupakan modalitas yang paling umum digunakan dan telah menjadi prosedur standar di sebagian besar institusi forensik yang menerapkan virtual autopsy.^{1,3}

PMCT mampu mendokumentasikan seluruh tubuh dalam hitungan detik, menghasilkan data volumetrik tiga dimensi yang dapat dianalisis berulang kali.⁴

Magnetic Resonance Imaging (MRI) postmortem memberikan keunggulan dalam evaluasi cedera jaringan lunak, perdarahan pada otot leher pasca strangulasi, dan deteksi infark miokard akut yang sering tidak terdeteksi pada autopsi konvensional.¹ Namun, MRI post mortem masih jarang digunakan secara rutin karena biaya tinggi, waktu pemeriksaan yang lama, serta kompleksitas teknis terkait pengaruh suhu tubuh pada proses dekomposisi terhadap kontras gambar.^{1,3}

PMCT Angiography (PMCTA) diperkenalkan pada tahun 2005 oleh kelompok Jackowski et al. sebagai teknik komplementer untuk mengatasi keterbatasan PMCT dalam evaluasi lesi vaskular.¹ Studi multisenter oleh Grabherr et al. menunjukkan bahwa tanpa PMCT dan PMCTA, sebanyak 39% temuan dan 23% temuan esensial tidak akan dilaporkan.³ Teknik terbaru, *photon-counting CT*, yang disetujui untuk penggunaan klinis pada 2021, menjanjikan resolusi hingga 0,2 mm dan kemampuan diferensiasi material spektral yang lebih presisi untuk masa depan forensik.⁵

Efektivitas Virtual Autopsy pada Kasus Kematian Tidak Wajar

Virtual autopsy terbukti efektif pada berbagai kasus kematian tidak wajar. Pada trauma mekanik, NCCT Head digunakan pada 90,6% dari 139 kasus trauma dan memiliki sensitivitas tinggi untuk mendeteksi fraktur tengkorak serta perdarahan intrakranial.⁶ Kesesuaian antara virtopsy dan autopsi

konvensional juga sangat tinggi untuk fraktur tengkorak ($K=0,937$) dan fraktur sternum/iga ($K=0,873$), dengan keunggulan tambahan dalam mendeteksi fraktur pelvis ($K=0,612$), cedera vertebra, dan fraktur ekstremitas yang sering terlewat pada autopsi konvensional.⁷ Pada luka tembak, PMCT menjadi metode terbaik untuk menentukan lokasi proyektil, menganalisis trajektori, dan mendokumentasikan cedera skeletal, sedangkan MRI efektif menilai kerusakan jaringan lunak, PMCTA bahkan direkomendasikan sebagai prosedur standar karena mampu mendeteksi lesi vaskular yang tidak ditemukan saat autopsi.^{3,8,9}

Pada kasus tenggelam, PMCT mampu mengidentifikasi temuan khas seperti cairan pada sinus paranasal, paru-paru hiperinflasi, dan cairan di trakea, dengan akurasi diagnostik yang sebanding dengan autopsi konvensional.^{8,9} Virtual autopsy juga terbukti bermanfaat ketika autopsi invasif ditolak oleh keluarga.⁹ Pada korban kebakaran atau tubuh terkarbonisasi, PMCT efektif mendeteksi benda asing, membedakan cedera ante-mortem dari perubahan termal post-mortem, serta mengidentifikasi edema paru sebagai indikator korban masih hidup saat kebakaran.^{3,8} Selain itu, PMCTA dan MRI postmortem menunjukkan nilai diagnostik tinggi dalam mengidentifikasi stenosis koroner, diseksi aorta, serta infark miokard akut maupun kronik melalui karakteristik sinyal T1 dan T2.^{1,3}

Perbandingan Virtual Autopsy dengan Autopsi Konvensional

Tabel 2 merangkum perbandingan komprehensif antara virtual autopsy dan autopsi konvensional berdasarkan berbagai aspek forensik.

Aspek	Virtual Autopsy (Virtopsy)	Autopsi Konvensional
Deteksi Fraktur	Sangat unggul, terutama tulang aksial, basis cranii, pelvis, ekstremitas (κ 0,612-0,937) ^{3,6,7}	Terbatas pada area yang diinsisi; sering melewatkan fraktur tersembunyi
Benda Asing/Proyektil	Sangat sensitif; PMCT mampu triangulasi lokasi proyektil dan analisis trajektori ^{3,5,8}	Dapat merusak bukti saat ekstraksi; <i>risk of displacement</i>
Cedera Jaringan Lunak	Terbatas pada PMCT tanpa kontras, MRI lebih unggul untuk perdarahan otot leher, infarkmiokard ¹	Unggul; dapat dievaluasi langsung secara makroskopis dan histopatologi
Emboli Gas	PMCT <i>gold standard</i> untuk pneumocephalus, pneumothorax, dan emboli gas intravaskular ³	Dapat terlewat akibat dekompresi saat sayatan
Evaluasi Vaskular	PMCTA memberikan visualisasi 3D pembuluh darah dan mendeteksi lesi minimal ⁹	Evaluasi hanya dengan diseksi manual; berisiko merusak trombus
Histopatologi & Toksikologi	Tidak tersedia langsung; memerlukan biopsi perkutaneus tambahan ¹	Tersedia penuh; sampling jaringan komprehensif
Dokumentasi	Digital permanen; dapat diputar ulang dan dianalisis kembali kapan saja ⁴	Destruksi dan tidak dapat diulang; bergantung pada foto 2D
Keamanan Operator	Lebih aman pada kasus infeksius; minim paparan patogen ¹⁰	Risiko paparan patogen tinggi; perlu APD lengkap

Penerimaan Keluarga & Budaya	Lebih diterima oleh kelompok agama/budaya yang menolak diseksi ^{1-3,5,6,8,9}	Sering ditolak; menimbulkan distress keluarga
Nilai Hukum & Persidangan	Rekonstruksi 3D mudah dipahami awam; bernilai sebagai alat bukti ⁸	Laporan tertulis dan foto; memerlukan kesaksian ahli yang lebih ekstensif

Tabel 2. Perbandingan Virtual Autopsy dan Autopsi Konvensional.

Keterbatasan Virtual Autopsy

Meskipun menjanjikan, virtual autopsy memiliki keterbatasan fundamental yang tidak dapat diabaikan. Keterbatasan terbesar adalah ketidakmampuan melakukan evaluasi histopatologi, yang mana merupakan pemeriksaan mikroskopis jaringan lunak yang esensial untuk menentukan usia lesi, mendeteksi infeksi, dan mengidentifikasi penyakit sistemik.^{1,7,9} Untuk mengatasi hal ini, biopsi perkutaneus pasca-PMCT diusulkan sebagai pemeriksaan tambahan yang dapat mempertahankan keuntungan non-invasif virtual autopsy sambil menyediakan spesimen jaringan.^{1,4}

Keterbatasan lain meliputi: (1) deteksi trombosis intravaskular yang tidak handal, studi Liu et al. menunjukkan PMCT gagal mendeteksi seluruh 7 kasus trombosis yang diidentifikasi autopsi ($K=0$)⁷; (2) evaluasi cedera jaringan lunak yang terbatas pada PMCT tanpa kontras, khususnya laserasi organ solid, lesi miokard, dan cedera vaskular kecil^{3,7}; (3) deteksi keracunan sistemik yang tidak dapat dilakukan secara langsung tanpa pengambilan sampel biologis^{1,9}; dan (4) pengaruh artefak logam dari implan atau proyektil yang dapat mengganggu kualitas citra CT.¹

Kendala praktis juga signifikan, antara lain: tingginya biaya investasi awal peralatan pencitraan, kebutuhan pelatihan khusus bagi ahli radiologi dan patologi forensik, serta ketersediaan pemindai CT di institusi forensik yang masih terbatas di banyak negara berkembang.^{4,8} Dedouit et al. menekankan bahwa meskipun ada konsensus luas tentang manfaat radiologi forensik, masih banyak pusat di dunia yang belum memiliki akses ke teknologi pencitraan modern.³

Implikasi Hukum Virtual Autopsy

Dari perspektif hukum, dokumentasi digital permanen yang dihasilkan virtual autopsy memiliki nilai bukti yang signifikan di persidangan. Rekonstruksi 3D cedera dapat dipresentasikan dalam format visual yang mudah dipahami oleh awam, termasuk hakim dan juri, sehingga memiliki kekuatan persuasif yang lebih tinggi dibandingkan laporan tekstual autopsi konvensional.^{4,9} Cetak 3D dari data CT bahkan telah digunakan untuk mempresentasikan representatif fisik temuan di pengadilan tanpa perlu memindahkan atau merusak tulang dari jenazah.

Namun, keabsahan temuan virtual autopsy sebagai alat bukti masih bervariasi di berbagai yurisdiksi. Di Jepang, program *autopsy imaging* (Ai) telah mendapat dukungan pemerintah dan infrastruktur jaringan interpretasi jarak jauh.¹ Di Eropa, beberapa negara telah mengintegrasikan PMCT kedalam prosedur medikolegal standar, sementara di negara-negara berkembang, regulasi dan standarisasi masih dalam tahap awal.^{3,8} Penting dicatat bahwa dalam kasus pembunuhan, virtual autopsy umumnya tidak dapat menggantikan autopsi konvensional secara menyeluruh karena persyaratan pembuktian hukum yang lebih ketat.¹

Aspek hukum lain yang perlu diperhatikan adalah perlindungan privasi data berupa rekonstruksi 3D wajah dari data CT yang dapat mengidentifikasi individu⁵; standar pelatihan dan kualifikasi tenaga ahli yang melakukan interpretasi PMCT yang belum terstandarisasi secara internasional^{1,4}; serta kebutuhan akan protokol baku nasional yang dapat memastikan reproduktibilitas dan reliabilitas temuan virtual autopsy di persidangan.³

Perkembangan Terkini dan Masa Depan

Perkembangan teknologi terbaru membuka peluang lebih besar bagi virtual autopsy *Photon-counting CT*, yang mendapatkan persetujuan klinis pada 2021, menawarkan resolusi spasial hingga 0,2 mm, diferensiasi material spektral yang lebih presisi, dan kemampuan rekonstruksi 16-bit yang memungkinkan visualisasi benda asing logam dengan akurasi tinggi. Teknologi ini berpotensi meningkatkan kemampuan analisis fraktur hairline, evaluasi tulang rawan laring pada kasus strangulasi, dan kalkulasi densitas tulang untuk analisis biomekanik trauma.⁵

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* dalam analisis citra PMCT diprediksi akan merevolusi virtual autopsy dengan memungkinkan deteksi fraktur, perdarahan, dan anomali secara otomatis, mengurangi waktu analisis, dan meminimalisasi kesalahan manusia.⁸ *Magnetic Resonance Spectroscopy* (MRS) postmortem juga menawarkan kemungkinan analisis metabolomik non-invasif untuk deteksi gangguan metabolik fatal, pengukuran kadar etanol otak, dan bahkan termometri jaringan. Pengembangan *MRI 7 Tesla* untuk pemeriksaan postmortem telah menunjukkan keunggulan diagnostik dalam mendeteksi mikro perdarahan serebral dan lesi akibat kavitas sementara pada luka tembak, meskipun masih terbatas pada penggunaan selektif saja karena biaya dan tantangan logistik yang tinggi.¹

KESIMPULAN

Virtual autopsy telah membuktikan dirinya sebagai instrumen komplementer yang bernilai tinggi dalam investigasi kematian tidak wajar. Tinjauan literatur ini mengkonfirmasi bahwa PMCT, MRI postmortem, dan PMCTA, secara bersamaan maupun terpisah, memberikan kontribusi diagnostik yang signifikan dalam penentuan sebab kematian, khususnya pada kasus trauma, luka tembak, tenggelam, kebakaran, dan kematian mendadak akibat penyakit kardiovaskular. Keunggulan utama virtual autopsy terletak pada kemampuannya mendeteksi fraktur pada area yang sulit diakses ($K=0,612-0,937$), memvisualisasikan lesi vaskular melalui PMCTA, menghasilkan dokumentasi digital permanen yang berperan sebagai alat bukti di persidangan, serta memberikan alternatif yang aman dan dapat diterima secara budaya ketika autopsi konvensional ditolak atau berisiko bagi operator.

Keterbatasan fundamental virtual autopsy, terutama ketidakmampuan melakukan evaluasi histopatologi, mendeteksi trombotik intravaskular, dan menganalisis toksin sistemik, menegaskan bahwa teknik ini bukan pengganti, melainkan pelengkap autopsi konvensional. Pendekatan hibrida yang mengintegrasikan PMCT dengan biopsi perkutaneus dan, apabila diperlukan, autopsi konvensional terfokus, merupakan strategi optimal untuk memaksimalkan akurasi diagnostik forensik.

Dari perspektif hukum, standarisasi protokol virtual autopsy, regulasi tentang kualifikasi tenaga ahli, dan pengakuan formal terutama PMCT sebagai alat bukti yang sah dalam berbagai sistem peradilan merupakan agenda prioritas yang perlu diselesaikan. Kerangka hukum yang jelas akan memungkinkan pemanfaatan optima virtual autopsy dalam sistem peradilan pidana dan perdata.

Rekomendasi ke depan mencakup: (1) pengembangan kurikulum terstandarisasi untuk pelatihan spesialis radiologi forensik dan patologi forensik dalam interpretasi PMCT; (2) investasi infrastruktur CT di institusi forensik, terutama di negara berkembang; (3) penelitian lebih lanjut tentang validasi teknis PMCTA pada populasi yang beragam; (4) pengembangan regulasi nasional dan internasional tentang status hukum temuan virtual autopsy; serta (5) eksplorasi potensi AI dan *photon-counting CT* dalam meningkatkan presisi dan efisiensi virtual autopsy di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gascho D. VIRTual autOPSY—applying CT and MRI for modern forensic death investigations. *Front Radiol.* 2025 May 12;5:1557636. doi:10.3389/fradi.2025.1557636
2. Tyagi shakshi, Ravi A. Virtopsy Vs. Traditional Autopsy: A Review of Accuracy, Limitations, And Future Potential [Internet]. 2025 Aug 24. doi:10.5281/ZENODO.16934132

3. Dedouit F, Ducloyer M, Elifritz J, Adolphi NL, Yi-Li GW, Decker S, et al. The current state of forensic imaging – post mortem imaging. *Int J Legal Med.* 2025 May;139(3):1141–59. doi:10.1007/s00414-025-03461-x
4. Filograna L, Pugliese L, Muto M, Tatulli D, Guglielmi G, Thali MJ, et al. A Practical Guide to Virtual Autopsy: Why, When and How. *Semin Ultrasound CT MRI.* 2019 Feb;40(1):56–66. doi:10.1053/j.sult.2018.10.011
5. Gascho D. Photon-counting CT for forensic death investigations—a glance into the future of virtual autopsy. *Front Radiol.* 2024 Sep 16;4:1463236. doi:10.3389/fradi.2024.1463236
6. Singh S, Singh B, Kaur T, Wall W. Virtual Autopsy in Trauma Case: A Retrospective Study from A Tertiary Care Institute. *Int J Pharm Res.* 2025 Jul;6(4):393–6.
7. Liu YW, Wang ZQ, Tian ZL, Dong HW, Liu YY, Fu EH, et al. Comparison of Forensic Virtual Autopsy and Conventional Autopsy Findings in China: A 10-year Retrospective Study. *J Forensic Sci Med.* 2024 Oct;10(4):296–303. doi:10.4103/jfsm.jfsm_156_24
8. Jangid C, Dalal J, Kumari K, Hamza Mohd. From Traditional to Virtual: The Evolving Landscape of Autopsy Techniques in Forensic Science. *J Indian Acad Forensic Med.* 2024 Dec;46(4):545–52. doi:10.1177/09710973251327639
9. Dodiya KR, Kumar K, Sharma P, Thakar A. Forensic Applications of Virtual Autopsy in Noninvasive Death Investigations: A Comparative Analysis with Traditional Methods. *J Forensic Sci Med.* 2025 Jul;11(3):234–40. doi:10.4103/jfsm.jfsm_9_25
10. Malizia A, Filograna L, Ryan CP, Manenti G. Post-Mortem Investigation Through Virtual Autopsy Techniques: Proposal of a New Diagnostic Approach to Reduce the Risks of Operators During Emergencies. *Int J Saf Secur Eng.* 2020 Aug 31;10(4):535–41. doi:10.18280/ijse.100413