

Modern eszközök a mellkassebészetben

Tarsoly Elemér Gábor^{1,2*}, Ghimessy Áron Kristóf^{1,2} ,
Radczyk Péter^{1,2} , Rényi-Vámos Ferenc^{1,2,3,4} 

¹Semmelweis Egyetem, Mellkassebészeti Klinika, Budapest, Magyarország

²Országos Onkológiai Intézet, Mellkassebészeti Osztály, Budapest, Magyarország

³Országos Korányi Pulmonológiai Intézet, Mellkassebészeti Osztály, Budapest, Magyarország

⁴Országos Onkológiai Intézet, Nemzeti Tumorbiológiai Laboratórium, Budapest, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: tarsoly.elemer@oncol.hu

Beérkezett: 2025. január 27.; elfogadva: 2025. március 9.; online megjelent: 2025. június 10.

Összefoglalás

A mellkassebészet az utóbbi évtizedekben forradalmi átalakuláson ment keresztül, köszönhetően a fejlett eszközök, technológiák és minimál invazív eljárások terjedésének, amelyek minimalizálják a sebészeti invazivitást, és felgyorsítják a betegek gyógyulását. Cikkünk célja, hogy áttekintse a modern mellkassebészeti technikákat, valamint bemutassa a legújabb innovációkat, például az AI alkalmazásait a diagnózisban és a sebészeti támogatásban. Az AI fejlődése hozzájárulhat a diagnosztikai folyamatok javulásához, a sebészeti pontosság növeléséhez és a posztoperatív eredmények optimalizálásához. Azonban a technológiai előnyök kihasználásához elengedhetetlen a sebészek megfelelő képzése és az új technológiák iránti nyitottság. A modern mellkassebészet jövője tehát a technológiai újítások és az orvosi tudományok szoros együttműködésén múlik, lehetővé téve a betegek számára a korszerű, hatékonyabb kezelést.

Kulcsszavak: mellkassebészet, a jövő sebészete, minimál invazív technikák, extracorporális membrán oxigenizáció (ECMO), mesterséges intelligencia (AI), 3D technológia

Modern tools in thoracic surgery

Elemér Gábor Tarsoly^{1,2}, Áron Kristóf Ghimessy^{1,2},
Péter Radczky^{1,2}, Ferenc Rényi-Vámos^{1,2,3,4}

¹Semmelweis University, Department of Thoracic Surgery, Budapest, Hungary

²National Institute of Oncology, Department of Thoracic Surgery, Budapest, Hungary

³National Korányi Institute of Pulmonology, Department of Thoracic Surgery, Budapest, Hungary

⁴National Institute of Oncology, National Tumor Biology Laboratory, Budapest, Hungary

Summary

Thoracic surgery has undergone revolutionary transformations in recent decades due to advanced tools, technologies, and minimally invasive procedures. These innovations reduce surgical invasiveness and accelerate patient recovery. This article reviews modern thoracic surgical techniques, highlighting recent innovations such as artificial intelligence (AI) applications in diagnostics and surgical assistance. AI has the potential to improve diagnostic accuracy, enhance surgical precision, and optimize postoperative outcomes. However, harnessing these benefits requires adequate training and openness to new technologies among surgeons. The future of thoracic surgery depends on the close collaboration between technological advancements and medical sciences, paving the way for more effective and modern patient care.

Video-Assisted Thoracoscopic Surgery (VATS). VATS marked the first step toward modern thoracic surgery, enabling small incisions and camera-assisted procedures. This approach minimizes postoperative pain, shortens hospital stays, and reduces complications. It is particularly effective for lung tumor resections, biopsies, and mediastinal tumor treatments.

Robot-Assisted Thoracic Surgery. Robotic systems, especially the da Vinci Surgical System, have revolutionized minimally invasive thoracic procedures. These systems enhance surgical precision through robotic arms controlled by surgeons, reducing hand tremors and improving access to complex structures.

Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO). ECMO supports respiratory and circulatory functions during severe respiratory failure or complex surgeries like lung transplantation. It oxygenates blood outside the body and removes carbon dioxide, allowing the stabilization of critically ill patients.

Ex Vivo Lung Perfusion (EVLP). The EVLP technique optimizes donor lungs before transplantation by maintaining and assessing them in a controlled environment outside the body. It increases the availability of donor lungs by rehabilitating those initially deemed unsuitable, significantly expanding transplant opportunities.

3D Printing and Intraoperative Navigation. 3D printing creates patient-specific anatomical models for detailed surgical planning, especially for complex reconstructions. Intraoperative imaging tools, such as CT or MRI, provide real-time guidance, enhancing surgical precision and patient safety.

Artificial Intelligence in Thoracic Surgery. AI and machine learning are emerging as transformative tools in thoracic surgery, offering significant benefits in diagnostics, imaging, and decision support. AI-powered algorithms improve the analysis of CT and MRI scans, enabling rapid identification of abnormalities such as tumors.

Keywords: thoracic surgery, the future of surgery, minimally invasive techniques, extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), artificial intelligence (AI), 3D technology

Bevezetés

A mellkassebészetben az elmúlt évtizedekben bekövetkezett technológiai fejlődés alapjaiban változtatta meg a mindennapi működést. A fejlett eszközök és technológiák alkalmazása lehetővé teszi a minimál invazív eljárásokat, a szövödmények csökkentését és ezáltal a betegek gyorsabb felépülését. Ennek a cikknek az a célja, hogy bemutassa a modern mellkassebészeti eszközöket, azok előnyeit, alkalmazhatóságát, valamint a hozzájuk kapcsolódó kihívásokat.

A mellkassebészet története egészen az ókorig nyúlik vissza, bár ebben az időszakban az ilyen jellegű beavatkozások rendkívül korlátozottak voltak. A mellkasban elhelyezkedő szervek, különösen a tüdő és a szív sebészi kezelése kifejezetten nehézkes és az esetek többségében végzetes volt. Az 1800-as években a narcosis és a fertőtlenítési technikák fejlődésével együtt a sebészet és azon belül a mellkassebészet is fejlődésnek indult. A 20. század elején egyre több mellkasi betegséget lehetett sebészeti eljárásokkal kezelni, és az antibiotikumok felfedezése új távlatokat nyitott a tüdőbetegségek kezelésében, például a tuberkulózis elleni küzdelemben.

A mellkassebészet igazi áttörése azonban az 1940-es és 1950-es években történt, amikor a mechanikus ventilációs technikák és a vérkeringést támogató eszközök megjelenésével lehetővé vált a komplex mellkasi műtétek biztonságos kivitelezése. Az ezt követő évtizedekben az új képalkotó technikák – mint a röntgen, CT és MRI – jelentősen növelték a diagnosztikai pontosságot, és elősegítették a pontosabb, célzott beavatkozásokat. A 21. században a minimál invazív technikák és a robotsebészet bevezetésével a mellkassebészet még tovább fejlődött, lehetővé téve a gyorsabb gyógyulást, és kisebb műtéti kockázatot biztosítva. A tüdőtranszplantáció mára a végstádiumú tüdőbetegségek leghatékonyabb kezelési módjává vált, különösen olyan betegségek esetén, mint a cisztás fibrózis, a COPD vagy a pulmonális hipertónia. Jelenleg a technológia folyamatos fejlődésével a mellkassebészet újabb kihívásokhoz érkezett.

Videoasszisztált thorakoszkópos sebészet (VATS)

Az első lépés a modern mellkassebészet irányába a videoasszisztált thorakoszkópos eljárás volt (VATS), amelynek térhódításával elkerülhetővé vált a hagyományos, nyílt műtéti technika és a vele járó nagy metszések és nagy fájdalom. Ennek a technológiának a segítségével kis metszésekkel jutunk be a mellüregbe, videoendoszkópos kamerarendszer támogatásával (*Abdelnour-Berchtold et al. 2016*). Az eljárás a tüdődaganatok reszekciójánál, pleurális elváltozások, mediastinalis tumorok kezelésénél és biopsziáknál különösen hatékony. Előnyei között említhetjük a kisebb posztoperatív fájdalmat, a kis hegeket, ezáltal a rövidebb kórházi bennfekvést és a kevesebb szövödményt. Ugyanakkor hátrányként megemlíthetjük a korlátozott látóteret és a rosszabb hozzáférést bizonyos anatómiai struktúrákhoz (*Yan et al. 2009*).

Robotasszisztált thorakoszkópos sebészet

A robotasszisztált sebészet – különösen a da Vinci sebészeti rendszer – forradalmasította a minimál invazív mellkassebészeti eljárásokat. A rendszer robotkarokkal működik, amelyek a sebész által vezérelve végzik a finom, precíz mozdulatokat, minimalizálva az emberi kéz remegését és növelve a műtéti pontosságot. A módszer remekül alkalmazható tüdőreszekciókban, mediastinalis tumorok eltávolításában és nyirokcsomó-disszekciókban. Az előnyei közé sorolhatjuk a kis műtéti metszéseket és a rövidebb kórházi tartózkodási időt. További előnyei a VATS technikával szemben a még nagyobb precizitás és az anatómiai struktúrák jobb hozzáférhetősége. Ugyanakkor kihívást jelent magas költsége és ezáltal a technika elérhetősége, valamint a szakemberek képzése (*Cerfolio et al. 2011*).

Extracorporális membrán oxigenizáció (ECMO)

Az ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) olyan technika, amely támogatja a légzési és keringési funkciókat súlyos légzési elégtelenség esetén, valamint

használható olyan műtéti eljárásokhoz, ahol nehezített a beteg lélegeztetése (például tüdőtranszplantáció vagy a légutak sebészi kezelése). Az ECMO-rendszer egy membránnal ellátott gépen keresztül oxigénnel látja el a vért, és eltávolítja a szén-dioxidot, ezzel tehermentesítve a beteg tüdő- és szív működését. Hatékonyan támogatja a szív és a tüdő működését anélkül, hogy invazív módon megterhelné a beteg szervezetét, valamint lehetővé teszi a szervezet stabilizálását súlyos állapotok esetén (*Combes et al. 2020*).

Ex vivo lung perfusion (EVLP) technika

Az ex vivo lung perfusion (EVLP) technológia egy olyan eljárás, amelynek célja, hogy feljavítsa és értékelje a donortüdők állapotát a transzplantáció előtt. Az EVLP során a tüdőt a szervezeten kívül oxigenizálják, és ellenőrzött körülmények között működtetik, így lehetővé válik a szerv részletes vizsgálata és esetleges regenerálása, mielőtt átültetésre kerülne. Az EVLP egyik legfőbb előnye, hogy jelentősen növeli a donortüdők elérhetőségét (*Cypel et al. 2011*). A donortüdők kezdetben sok esetben alkalmatlannak tűnhetnek az átültetésre, de az EVLP révén ezek a szervek is feljavíthatók, így potenciálisan alkalmasak lehetnek a transzplantációra. Mindezek mellett eltávolított tüdőkön is további vizsgálatokat, kísérleteket végezhetünk, amelyek segíthetnek megérteni a tüdőben végbemenő folyamatokat (*Chambers et al. 2019*).

3D nyomtatási technológia és intraoperatív képalkotó navigáció

A 3D nyomtatás a műtéti előkészítést forradalmasította, mivel lehetővé teszi a betegspecifikus, anatómiailag pontos modellek létrehozását. Ezek a modellek elősegítik a részletes műtéti tervezést, különösen komplex rekonstrukciók esetén. Ezenkívül a navigációs eszközök, mint az intraoperatív CT vagy MR, valós idejű képalkotást biztosítanak, ami megkönnyíti a műtéti orientációt, ezáltal lehetőséget teremtve a személyre szabott, pontosabb műtéti tervezésre, a betegbiztonság növelésére és a szövdmények csökkentésére (*Tam et al. 2016*).

Elektrosebészeti eszközök

Az elektrosebészeti eszközök – beleértve a rádiófrekvenciás kést, az ultrahangos vágókat, valamint a bipoláris koagulációs rendszereket – lehetővé teszik a szövetek vágását és koagulációját minimális vérvesztéssel. Ezek az eszközök különösen előnyösek minimál invazív műtéteknél, ahol a szövetek gyors gyógyulása kívánatos (*Sgarbura–Vasilescu 2014*).

Indocián-zöld (ICG) festés

Az indocián-zöld (ICG) egy speciális fluoreszcens festék, amelyet széles körben alkalmazhatunk a mellkassebészet-

ben, elsősorban a tüdőszegmentumok és az érhalózat vizualizálására, így lehetővé téve a pontosabb műtéti beavatkozásokat. Az ICG intravénásan jut be a szervezetbe, ahol a közeli infravörös fény hatására fluoreszkál, ezáltal láthatóvá téve az érintett szöveteket speciális képalkotó eszközök segítségével. Az ICG különösen hasznos a minimál invazív technikák esetében, például a segmentectomiáknál és lobectomiáknál. A tüdőszegmentumok közötti határok meghatározása gyakran nehéz feladat, különösen a minimál invazív eljárások során. Az ICG fluoreszcenciás technológia lehetővé teszi, hogy pontosan lássuk a szegmentum határait, így csak a szükséges szövetet távolítjuk el, és megkíméljük az ép részeket. Emellett lehetőség van még tüdőgócok jelölésére és ezáltal egyszerűbb lokalizálására. Ugyanakkor az ICG gyorsan eliminálódik a véráramból vagy a szövetekből, így gyorsan kell dolgozni, hogy kihasználhassuk a fluoreszcens jelölés adta lehetőségeket. Jelenleg fejlesztés alatt állnak olyan jelölési technikák is, amelyek tovább adnak jelet, valamint molekulák, amelyek specifikusan a tumorsejtekhez tudnak kötődni (*Okusanya et al. 2014*).

Következő generációs bronchoszkópos eszközök

A bronchoszkópos technológia lehetővé teszi, hogy rugalmas endoszkóp segítségével jussunk hozzá a hörgőrendszerhez. Az új bronchoszkópos eszközök kiválóan alkalmasak a hörgők és a tüdőszövet elváltozásainak még pontosabb diagnosztizálására, jelölésre és a jövőben akár kezelésére vagy eltávolítására is. A két legmodernebb ilyen eszköz jelenleg a navigációs bronchoszkóp és a robot-bronchoszkóp.

Navigációs bronchoszkópos technikák

A navigációs bronchoszkópia egyik fajtáját elektromágneses navigációs bronchoszkópiának (ENB) nevezzük. Az ENB egy háromdimenziós, valós idejű navigációs rendszert használ, amely lehetővé teszi, hogy pontosan meghatározzuk az eszköz helyzetét a tüdőben anélkül, hogy nagy metszéseket kellene ejteni. A módszer különösen hasznos a nehezen hozzáférhető tüdőrészek esetén, ahol a hagyományos bronchoszkópia korlátozott eredményességet biztosítana. Az ENB során a beteg előzetesen CT-vizsgálaton esik át, amely a tüdő struktúráinak részletes, háromdimenziós képét nyújtja. Ezután a CT-felvételeket feltöltik egy navigációs szoftverre, amely lehetővé teszi, hogy virtuálisan „feltérképezzük” a tüdő szerkezetét, és pontosan irányítsuk a bronchoszkópot az elváltozás felé. A navigációs bronchoszkópos eljárások másik fajtája a robot-bronchoszkópia, amely elektromágneses tér nélkül, a hörgőfa nagyon pontos topográfája alapján navigál egy robotkar segítségével, meghaladva az emberi kéz mozgásának limitációit (*Gildea et al. 2006*).

Lézeres sebészet

A lézertechnológia egy másik ígéretes eszköz a mellkas-sebészetben, különösen a szövetek nagy pontosságú reszekciójához és koagulációjához. Az Nd- és argon-lézerek különösen alkalmasak a minimál invazív tüdősebészeti eljárásokban. Nagy pontosság és precizitás érhető el ezekkel az eszközökkel. Leggyakrabban multiplex tüdőmetastasisok eltávolítására alkalmazzuk, amikor minél több ép tüdőterületet szeretnénk megőrizni. Ilyenkor a lézer segítségével csak közvetlenül az elváltozás körüli tüdőszövetet távolítjuk el. Ilyen eljárások során igen nagyszámú elváltozás eltávolítására van lehetőségünk (*Kamiyoshihara et al. 2010*).

Az AI felhasználása a mellkassebészetben

Az utóbbi években a mesterséges intelligencia (AI) és a gépi tanulás technológiái egyre inkább teret hódítanak a mellkassebészet területén is, jelentős előnyöket kínálva a diagnózis, a képalkotás és a döntéstámogatás terén. A fejlett képfeldolgozó algoritmusok, különösen a „deep learning” alkalmazása javította a radiológiai vizsgálatok, például a CT- és MRI-felvételek elemzését. Az AI-rendszerek képesek azonnal azonosítani a potenciális elváltozásokat, például a daganatokat vagy a tüdőbetegségeket, ezáltal gyorsabb diagnózist tesznek lehetővé, illetve a kezelés gyorsabb megkezdését. Az AI figyelheti a képeken a változásokat, és jelezheti, ha egy betegség előrehaladása észlelhető. Emellett az AI-rendszerek hasznosak lehetnek a posztoperatív prognózis előrejelzésében és a morbiditási kockázatok minimalizálásában. Az előrejelzések a betegek egyéni kockázati tényezőinek figyelembevételével segíthetnek elkészíteni a testre szabott kezelési terveket. A robotasszisztált sebészetben az AI fejlődése és integrációja további precizitást és hatékonyságot hozhat a műtéti eljárásokban. Az algoritmusok optimalizálhatják a robotkarok mozgását, csökkentve a sebészeti hibák esélyét, és figyelemmel kísérhetik a sebész mozdulatait valós időben, ezáltal segítve a pontosabb beavatkozásokat. Bár az AI használata a mellkassebészetben ígéretes lehetőségeket rejt magában, számos kihívás is adódik, például az adatok biztonsága, az etikai kérdések és a megbízhatóság. A megfelelő szabályozás és az orvosi közösségek együttműködése kulcsfontosságú a technológiák biztonságos és hatékony alkalmazásához.

Összegzés

A mellkassebészet modern eszközei jelentős előrelépést jelentenek mind a sebészeti pontosság, mind a megbízhatóság terén. Az innovatív technológiák lehetővé teszik a minimál invazív eljárások széles körű alkalmazását,

amelyek csökkentik a posztoperatív komplikációkat és a kórházi tartózkodási időt. A technológiai eszközök elterjedése azonban költségigényes, és szakszerű alkalmazásukhoz megfelelő képzés szükséges. A modern mellkas-sebészeti gyakorlatban ezek a technológiai fejlesztések hosszú távon jobb betegellátást és életminőséget eredményezhetnek.

Irodalomjegyzék

- Abdelnour-Berchtold, E., Perentes, J. Y., Ris, H. B. et al. (2016) Survival and Local Recurrence After Video-Assisted Thoracoscopic Lung Metastasectomy. *World Journal of Surgery*, Vol. 40. No. 2. pp. 373–379. <https://doi.org/10.1007/s00268-015-3254-7>
- Cerfolio, R. J., Bryant, A. S., Skylizard, L. & Minnich, D. J. (2011) Initial consecutive experience of completely portal robotic pulmonary resection with 4 arms. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, Vol. 142. No. 4. pp. 740–746. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.07.022>
- Chambers, D. C., Cherikh, W. S., Harhay, M. O., Hayes, D. Jr, Hsieh, E., Khush, K. K. ... & Meiser, B. (2019) The International Thoracic Organ Transplant Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirty-sixth adult lung and heart-lung transplantation report, 2019. Focus theme: Donor and recipient size match. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, Vol. 38. No. 10. pp. 1042–1055. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2019.08.001>
- Combes, A., Brodie, D., Bartlett, R. et al. (2020) Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Medicine*, Vol. 46. No. 4. pp. 925–937. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5064-5>
- Cypel, M., Yeung, J. C., Liu, M. et al. (2011) Normothermic ex vivo lung perfusion in clinical lung transplantation. *The New England Journal of Medicine*, Vol. 364. No. 15. pp. 1431–1440. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1014597>
- Gildea, T. R., Mazzone, P. J., Karnak, D. et al. (2006) Electromagnetic navigation diagnostic bronchoscopy: A prospective study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 174. No. 9. pp. 982–989. <https://doi.org/10.1164/rccm.200603-344OC>
- Kamiyoshihara, M., Igai, H., Kawatani, N. et al. (2010) Use of a laser in surgery for metastatic pulmonary tumors. *General Thoracic and Cardiovascular Surgery*, Vol. 58. No. 9. pp. 457–461.
- Okusanya, O. T., DeJesus, E. M., Jiang, J. X. et al. (2014) Intraoperative near-infrared imaging can identify pulmonary nodules. *The Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 98. No. 2. pp. 530–536. <https://qims.amegroups.org/article/view/100786/html>
- Sgarbura, O. & Vasilescu, C. (2014) The use of energy devices in laparoscopic surgery. *Chirurgia (Bucharest)*, Vol. 109. No. 3. pp. 297–305.
- Tam, M. D., Laycock, S. D., Brown, J. R. et al. (2016) 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular repair. *Journal of Vascular Surgery*, Vol. 64. No. 3. pp. 828–830. <https://doi.org/10.1583/13-4450MR.1>
- Yan, T. D., Black, D., Bannon, P. G. & McCaughan, B. C. (2009) Systematic review and meta-analysis of randomized and nonrandomized trials on safety and efficacy of video-assisted thoracic surgery lobectomy for early-stage non-small-cell lung cancer. *Journal of Clinical Oncology*, Vol. 27. No. 15. pp. 2553–2562. <https://doi.org/10.1200/JCO.2008.18.2733>