

Acta Periodica

**FENNTARTHATÓSÁG
ÉS
FEJLŐDÉS**



**EDUTUS
EGYETEM**

XXX. KÖTET

Edutus Egyetem
2800 Tatabánya, Stúdium tér 1.

Főszerkesztő:
Némethné Dr. Gál Andrea

Felelős szerkesztő:
Forrai Márta

Szerkesztette:
Vigh László PhD

MINDEN JOG FENNTARTVA

A mű egészének, vagy bármely részének másolása, sokszorosítása,
valamint információszolgáltató rendszerben történő tárolása
és továbbítása csak a kiadó engedélyével megengedett

Lektorált

ACTA PERIODICA 30. KÖTET
EDUTUS EGYETEM KIADÁSA

www.edutus.hu

ISSN 2063-501X

2024. május

LINK: [HTTPS://WWW.EDUTUS.HU/CIKK/FENYVEZETES-KEPTOVABBITAS-UEVGSZAL-SEGITSEGEVEL-UT-A-MEREVSZARU-ENDOSZKOPTOL-BORESCOPE-A-LAPARASZKOPIAIG/](https://www.edutus.hu/cikk/fenyvezetes-keptovabbitas-uevgszal-segitsegevel-ut-a-merevszaru-endoszkoptol-borescope-a-laparaszkoiaig/)

FÉNYVEZETÉS, KÉPTOVÁBBÍTÁS ÜVEGSZÁL SEGÍTSÉGÉVEL:

út a merevszárú endoszkóptól (borescope) a laparaszkópiáig

BORBÁS LAJOS PhD, Professor Emeritus, Edutus Egyetem, Műszaki Intézet
borbas.lajos@edutus.hu

DOI: [10.47273/AP.2024.30.40-53](https://doi.org/10.47273/AP.2024.30.40-53)

ABSZTRAKT

Az eszközök, gépek, berendezések megbontás nélküli vizsgálatának, állapotuk felmérésének lehetősége mindig is kihívást jelentett a rendszerek használói, üzemeltetői számára.

Hasonlóképpen évszázados igény az emberi szervezetbe történő betekintés lehetősége annak jelentős mértékű feltárása nélkül, minimális fizikai terhelés okozásával, amely vizsgálódás során a feltárt rendellenességek esetleges orvoslása is megvalósítható. A 21. század modern képalkotó rendszerei megteremtették az élő szervezetek belső viszonyainak pontos feltárási lehetőségét (ultrahang, röntgen, CT, MR), a mérnöki gyakorlatból átvett és továbbfejlesztett beavatkozásra is alkalmas eszközök párhuzamos alkalmazásának biztosítása mellett.

Kulcsszavak: endoszkóp, képtovábbítás üvegszállal, flexibilis rendszerek

ABSTRACT

The possibility of inspecting tools, machines and equipment without dismantling them and assessing their condition has always been a challenge for users and operators of systems.

Likewise, the possibility of gaining an insight into the human body without significant exploration, with minimal physical stress, and with the possibility of correcting any anomalies detected, has been a centuries-old requirement

Modern imaging systems now allow accurate exploration of living organisms (ultrasound, X-ray, CT, MR) while enabling simultaneous use of advanced engineering tools for interventions.

Keywords: endoscope, image transmission with glass fibre, flexible systems

Bevezetés

A tudomány régi törekvése – legyen is bármely tudományterület érintett – ismeretek szerzése olyan területekről, amelyek az érdeklődés középpontjában levő tárgy belső, nem látható területein kialakult állapotokról adnak tájékoztatást, akár azok működésének megértése, akár rendellenes viselkedésük feltárása érdekében.

A mérnöki tudományokban mindig is kihívás volt a működő gépek, eszközök és berendezések belső viszonyainak nyomon követése és az esetleges hibajelek keresése.

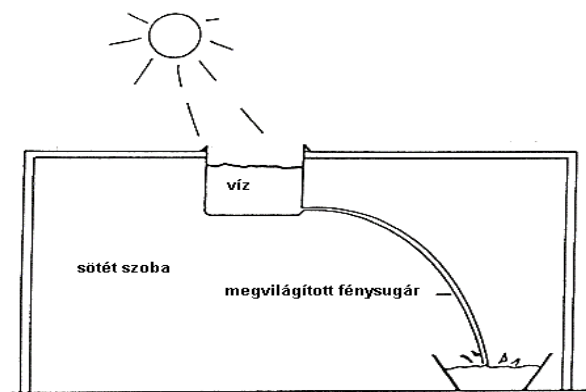
Hasonlóképpen évszázados igény az emberi szervezetbe történő betekintés lehetősége, a legkisebb fizikai terhelés okozásával, amely vizsgálódás során a feltárt rendellenességek esetleges orvoslása is megvalósítható. Ez utóbbi terület részben a biomechanika tárgykörébe sorolható, nevezetesen a vizsgálat lefolytatására alkalmas megfelelő eszköz biztosításával. A 21. század modern képalkotó rendszerei megteremtették az élő szervezetek belső viszonyainak pontos feltárási lehetőségét (ultrahang, röntgen, CT, MR), a beavatkozásra is alkalmas eszközök párhuzamos alkalmazásának biztosítás mellett.

A dolgozat áttekinti az üvegszálalás fényvezetés történetét és technikai fejlődését, különös tekintettel annak ipari és orvosi alkalmazásaira, és bemutatja, hogy ezek a technológiák miként alakították át a diagnosztikai és beavatkozási gyakorlatokat.

Optikai alapismeretek

Az optikai alapismeretek megértése elengedhetetlen a száloptikák működésének és felhasználási lehetőségeinek megértéséhez.

A fizika törvényei szerint a fény a tér minden irányában, egyenes vonalban terjed. Azonban a múlt évszázad közepén egy angol tudós, *John Tyndall* (1820 – 1893) professzor (*Royal Institution of Great Britain in London, 1853 – 1887*) megfigyelte, hogy a fény a kiömlő vízszugárban bennrekedhet. Ezt egy látványos kísérlettel igazolta 1854-ben Londonban a Royal Institution patinás épületében. Az épület kupolájába beépítettek egy víztároló tartályt, amely felülről nyitott volt és a napsugarak fényét a konténer oldalából ívben kifolyó víz továbbította a belülről elsötétített helyiségben lévő felfogó tartályba. A fény a vízszugár ívét követve haladt tovább, mintha a vízszugár fogságába került volna (1. ábra, [1]).



1. ábra

John Tyndall kísérlete 1854-ben:
A fény terjedésének bemutatása vízszugárban. [1]

A száloptika eszközeiben a fénytovábbítás hasonló alapelven történik, vagyis a teljes belső visszaverődés elvén. Az endoszkópban az optikai üvegszálak (*glass fiber*) hasonlóképpen továbbítják a fényt, mint Tyndall kísérletében a vízszugár. A teljes visszaverődés mindig két különböző sűrűségű közeg találkozásánál (*közeghatár*) jön létre, amelyknél a törésmutató index különböző. A fény a különböző sűrűségű anyagokban különböző sebességgel halad (*pl. vákuumban, levegőben, vízben, üvegben, stb.*). Minden egyes közegben, amelyben a fény haladni képes létezik egy kritikus visszaverődési szög [2], amelynél nagyobb beesési szög esetén visszaverődik a fénysugár.

Amikor a fénysugár áthalad az egyik fényáteresztő közegen (pl. vízrétegen) eléri a másik közeget (pl. levegő) akkor attól függően, hogy a beesési szög mekkora, vagy tovább halad a ritkább közegben egy megtört szögben, vagy teljesen visszaverődik a határfelületen a sűrűbb közeg irányába. Ez utóbbi akkor következik be, ha a beesés szöge nagyobb az illető közegre jellemző kritikus szögértéknél [2].

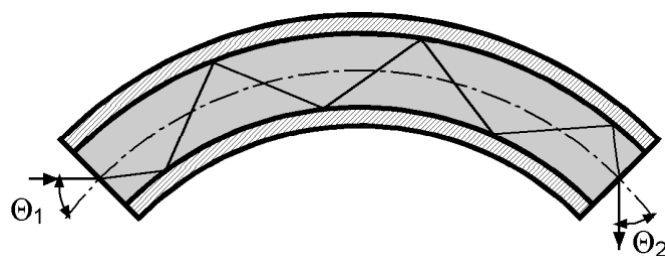
A száloptikák ipari alkalmazása teremtette meg a lehetőséget arra, hogy alkalmasan megválasztott helyeken a berendezések belsejébe bepillantsunk, onnan a működés szempontjából fontos információkat megismerjük. Ehhez természetes a vizsgált területeket láthatóvá kellett tenni, majd az ott látható információ kép formájában történő megjelenítését is meg kellett valósítani. Köztudott a fény terjedésének fizikai eleve, miszerint a tér minden irányában egyenletesen terjed, amely terjedés útjába eső objektumok a látható fény tartománya számára áthatolhatatlan. Ez a tény a kutatásokat több irányban is megindította – a különböző sugárforrások lehetséges alkalmazási területeinek feltárására – jelen összeállításban azonban maradjunk a látható fény hullámhossz tartományának nagyságrendjében.

A száloptikákról

A száloptika fogalma: az ultraibolya, a látható, és az infravörös spektrum tartományokba eső sugárzási energia irányított vezetése többszörös belső visszaverődés útján.

A száloptikai iparág rohamos fejlődése – hasonlatosan az 1970-es években a mikroelektronika területén bekövetkezett fellendüléshez – a nagy tisztaságú anyagok (kvarcüveg, egyes polimerek) előállításához és alkalmazásához köthető. Az új anyagok alkalmazásával lehetővé vált az energiatovábbítási veszteség mértékét az elméleti minimális határ környezetébe szorítani. Az optikai szálak gyártása során alkalmazott új *termodiffúziós* és *ionimplantációs* eljárások bevezetésével a fényt vezető (*általában*) hengeres szálon belül parabolikus lefutású (*az eddigi lépcsős ugrás helyett*) törésmutató profil kialakítás vált lehetővé, elérve ezáltal a *100-1000 MHz km* (híradástechnikában adatátvitelnél alkalmazott mértékegység) átviteli sáv szélességet. A *száloptika* tehát egy olyan optikai elem, amely *fényt képes továbbítani olyan tetszőleges pálya mentén, amelyet vékony üvegszál alkot*. Az elemi szálakat lehetőségünk van kötegelni is. A fényvezető szál nagy törésmutatójú üvegből készült magból (*d_e elemi szál átmérővel, kötegelés esetén az elemi szálak középpontjának D_e távolságával*), valamint az azt körülvevő köpenyből (mechanikus védelem, valamint optikai szigetelés feladattal, melyekből minimális mérete meghatározható) áll.

Ebben a megvilágításban az optikai szál alapvető feladata a fény és az optikai kép minél jobb hatásfokú átvitele. A fény továbbításának *lehetőségét* elemi optikai szálakon a *teljes reflexió* fizikai jelensége *teremti meg*. Az elemi fénytovábbító optikai szál magja, valamint a magot körülvevő burkolat törésmutatójának különbözősége alapján a szálba belépő fénysugár a közeghatárról visszaverődik, (*a burkolat törésmutatója kisebb, mint a magé*) a fénytörésre vonatkozó szabályok alapján az elemi szálba belépett (Θ_1 *belépési szöggel*) fénysugár többszörös visszaverődés után a szál végén abból kilép (Θ_2 *kilépési szöggel*), (2.ábra) [2].



2. ábra

Fénysugár ki- és belépése az elemi szálba, az üvegszálon belüli útja üvegeköpennyel burkolt üvegszálaban [2]

Jelen összeállításnak nem feladata a száloptikák fizikai hátterének részletes ismertetése, ugyanakkor néhány alapvető, működésük, felhasználásuk szempontjából fontos tulajdonságuk, fénytani jellemzőjük bemutatása elengedhetetlen.

Alapvető kérdés a továbbítható fénynyaláb esetében a be-, -és kilépési szögek (*félszögek*) kérdése.

Az a maximális belépési szög, amely esetben az elemi szál képes a fény-nyalábot továbbítani, alapvetően az elemi szál magjának, valamint köpenyének törésmutató különbségétől függ. Az optikai szálba, egy annak meridionális síkjában belépő fénysugár a szálon áthaladva mindvégig ebben a síkban marad. A nem meridionálisan belépő fénysugár totálreflexiós beesési síkja az egyes reflexiók között mintegy körbe forog a szál tengelye mentén, így a Θ_1 szög alatt beeső fénysugarak egy Θ_2 nyílásszögű kúp palástja mentén hagyják el a szálat. Az a határszög, (Θ_0) amin belül a totálreflexió feltétele teljesül, a rendszer elemeinek törésmutatóitól függ, az alábbiak (1) szerint [2]:

$$N.A. = n_3 \sin \Theta_0 = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (1)$$

ahol: $N.A.$: a *numerikus apertura* (az $n_3 \sin \Theta_0$ kifejezés)

n_3 : a környezetre vonatkozó törésmutató index (*levegőből való belépés esetére 1*)

Θ_0 : a belépő fénysugár elemi szál tengelyéhez viszonyított maximális szöge

n_1 : az elemi szál magjának törésmutató indexe

n_2 : az elemi szálat körülvevő burkolat törésmutató indexe

Az egykori MOM (*Magyar Optikai Művek*) által készített elemi üvegszálak vonatkozásában a belépési szög Θ_1 értéke 38° levegőre vonatkoztatva, míg a numerikus apertura $N.A.$ $0,61$ értéket ér el. [3]

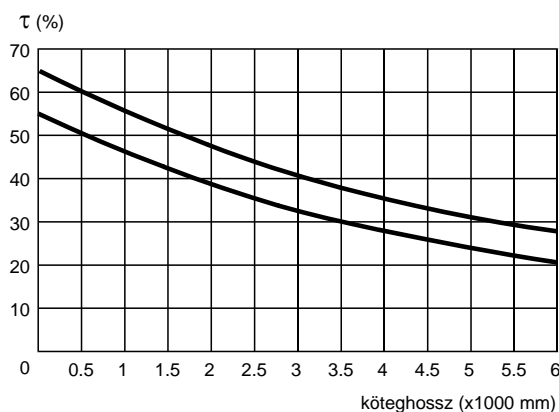
Egyedi fényvezető szálakat a gyakorlatban igen ritkán használnak. Az egyes elemi szálak átmérője a szokásos $10...70 \mu m$ között változik. Az elemi szálak szilárdsága, valamint minimális hajlítási sugara nagymértékben függ azok átmérőjétől. Az összefüggés fordított arányosságot követ, azaz az átmérő csökkenésével nő a szilárdság, és csökken az a sugár, amiben a szál még törés nélkül meghajlítható. Az elemi szálakat kötegelt formában használjuk, melyekben a szálak többnyire szabadon helyezkednek el. A kötegek végei foglalatban (beragasztva) helyezkednek el, amely végeket csiszolást követően optikailag políroznak. A *fényáteresztés mértéke* a kötegen áthaladó, valamint a kötegebe belépő fényáramok hányadosával (százalékos aránya) határozható meg [2].

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad (2)$$

ahol: Φ_{τ} a kötegen áthaladó fényáram

Φ a kötegbe belépő fényáram mértéke

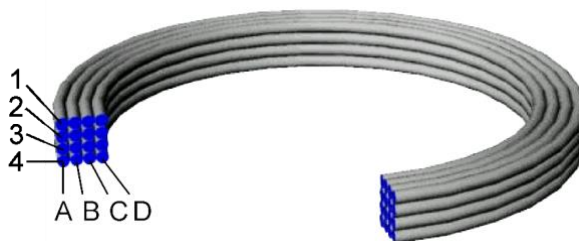
Az elemi szálakból kötegelte fénytovábbító kábelek hosszának a fénytovábbítás intenzitására gyakorolt hatását a 3. ábra mutatja [3].



3. ábra

Fénytovábbítás intenzitásának változása a fénytovábbító kábel köteghosszának függvényében [2]

Rendezett (képtovábbító) kötegek esetén az elemi szálak elrendezésére vonatkozóan, teljesülnie kell annak a feltételnek, miszerint egy feltételezett mátrix sorának és oszlopának egyes pontjaiban elhelyezkedő szálak sorrendje és egymáshoz viszonyított helyzete a köteg ki- és bemeneti végén azonos legyen. (3. ábra) A továbbított képek információ tartalma (a kép feloldás mértéke) a képpontok méretének és a kötegelte szálak egymáshoz viszonyított elrendezésének a függvénye. A feloldás tehát függ az elemi szál méretétől (átmérőjétől), a köteg rendezettségétől (képpontok optikai tengelyeinek egyenletes távolsága), az elhelyezkedés struktúrájától (pl. a köteg szálainak *háromszöges*, vagy *négyszöges* elrendezése). A 4. ábrán egy *négyszög* struktúrában elrendezett képtovábbító köteg elvi vázlatát látható [2].



4. ábra

Rendezte köteg szálainak elhelyezkedése a ki- és a belépő felületeken, *négyszöges* elemi szál elrendezés esetén [2]

Egy vizsgált terület megvilágítása jelentősen egyszerűbb feladat, hiszen az optikai kötegek rendezte sorrendjére ebben az esetben nincs szükség, mindössze a kötegbe bejuttatott

fénynyaláb célzott helyre történő eljuttatása a feladat. Ezt a célt egyszerű fénytovábbító köteg alkalmazásával meg lehet oldani, mégpedig néhány ezer, mintegy $30\ \mu\text{m}$ vastagságú üvegszál nyalábra kötésével. A szálak ebben az esetben rendezetlenek, elrendezésük tehát inkohereus. A külső burkolat hajlékony fémspirál, az üvegszál kötegtől flexibilis polimer választja el. A fényvezetés egyes esetekben folyadékba helyezett oldhatatlan fényvezető kristályok alkalmazásával is megvalósítható. A fényvezető kristályok alkalmazásának előnye a nagyobb fényerő biztosítása, jobb hatásfokuk révén, valamint a szélesebb spektrumban történő fényátvitel (*látható és ultraibolya tartomány egyaránt*).

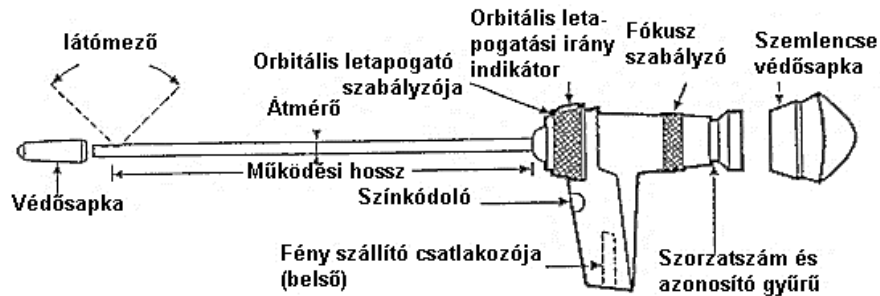
Képtovábbításra alkalmas üvegszálás eszközök – endoszkópok - a műszaki gyakorlatban

A száloptikát alkalmazó merevszárú és flexibilis üvegszálás endoszkópokat leggyakrabban a roncsolásmentes anyagvizsgálat különböző területein alkalmazzák. Ezek az eszközök a képek rögzítésére alkalmas kiegészítésekkel (video-endoszkóp) lehetővé teszik a berendezések, bonyolult szerkezetek belső részeinek vizsgálatát, az ott látható állapotok rögzítését, az így nyert adatok további elemzését, adott esetben a hibaelhárítás meghatározását. A távirányított vizuális vizsgálat (az angol "*Remote Visual Inspection*", röviden: *RVI*) az emberi szem kiterjesztésének tekinthető olyan fontos feladatok elvégzése során, mint a minőségellenőrzés (*Quality Control: QC*) valamint a roncsolásmentes vizsgálat (*Nondestructive Testing: NDT*) [1].

Mind a merevszárú, mind a flexibilis fiberscopok olyan száloptikai eszközök, amelyekkel a felhasználó kis nyíláson bevezetve az endoszkóp optikáját ott megvilágítja a vizsgálandó objektumot és az arról visszaverődő fényt pedig az okuláron keresztül vizsgálhatjuk, rögzíthetjük további feldolgozás céljára.

A flexibilis fiberscope felbontóképességét az a 40-50 ezer db. $10\ \mu\text{m}$ átmérőjű üvegszál adja. A nagyobb felbontóképességet a video-endoszkópok biztosítják, melyek a fiberszkópok elektronikus változatai.

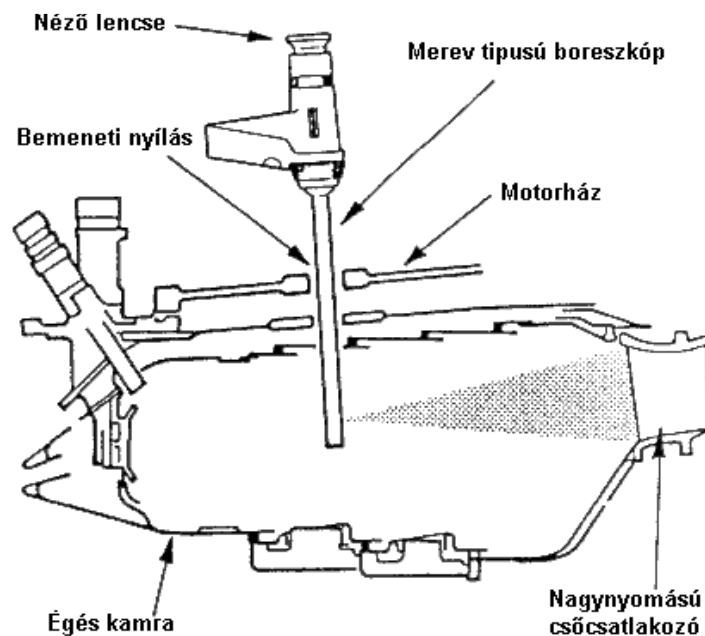
Az egyik első eszköz, amelyet a műszaki diagnosztikában, roncsolás mentes vizsgálati technikában alkalmaztak, a merev szárú endoszkóp volt (*5.sz. bára*). Az eszköz a kép továbbító rendezett üvegszál kötegen kívül alkalmas lencserendszert használt a fény számára nem látható területek vizsgálatára. Tartalmazta a megvilágító fényforrást is, a vizsgált területre a fényt eljuttató rendezetlen fénytovábbító köteget is. A látómező szélesítése érdekében a az endoszkóp végében levő tárgylencse mögé prizmat illesztettek, amely az endoszkópba bejutó fénnyalábot annak tengelyvonalához képest különböző irányokba (45, 90, 110 fok) tudja elfordítani. Az endoszkóp szárának átmérője 1,2 mm ...16,0 mm tartományban választható, hossza 1000 mm értékig elérhető a különböző gyártók termékskáláján. A különböző vizsgálati eszközöket a gyártók feladat-orientáltan fejlesztik (*pl. belsőégésű motorok, vagy repülőgép gázturbinák számára, stb.*), melyek méret, valamint optika rendszer alapján jelennek meg a termék választékban [1].



5 ábra

Merev szárú endoszkóp elvi összeállítása [1]

Példaként egy gázturbina égőterének roncsolásmentes ellenőrzését – hiba, repedés keresés – láthatjuk a 6. sz. ábrán, merev szárú endoszkóp használatával [1].

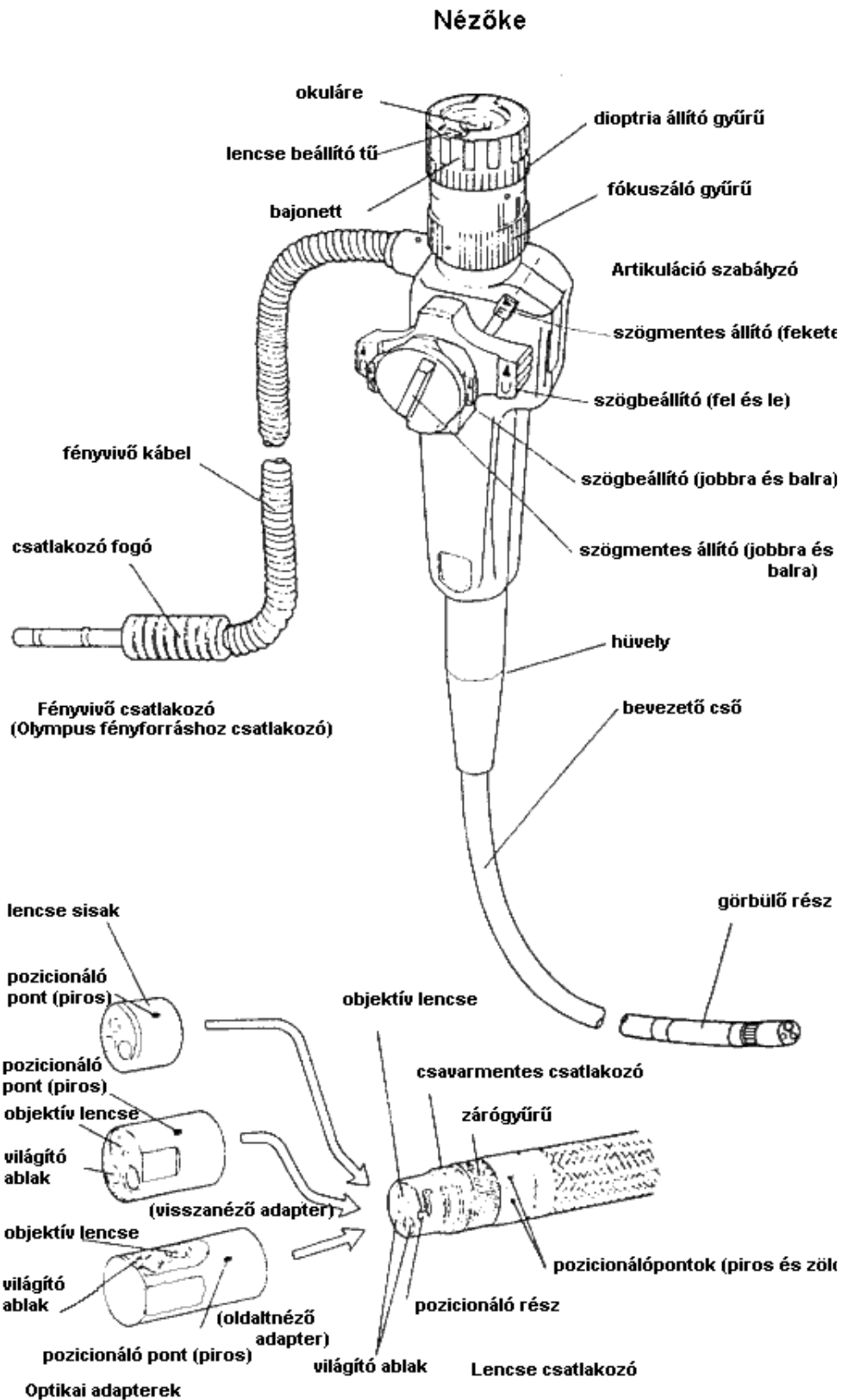


6 ábra

Gázturbi égésterének folytonásgi ellenőrzése (repedés keresés) merev szárú endoszkóppal [1]

Flexibilis endoscope – fiberscope

A merev endoszkópokhoz képest a flexibilis fiberscope előrelépést jelent a roncsolásmentes diagnosztikában, mivel nagyon sok vizsgálati helyen nincs lehetőség a fénynyaláb egyenes irányú bevezetésre. A fiberscópok olyan flexibilis üvegszál köteget tartalmazó eszközök, amelyek lehetőséget biztosítanak a fénynyaláb egyenes iránytól eltérő továbbítására (7.sz. ábra). Az ábrán bemutatott eszközt vizsgálva láthatjuk, mennyire összetett műszerről beszélünk, amelyben az optikai képet alkotó lencserendszer cserélhető, azaz a különböző célok szerint meghatározott feltételekhez az összeállítás hozzárendelhető.



7 ábra

Fiberscope felépítése, fejmozgatást biztosító mechanikával [1]

Endoszkópok orvosi alkalmazása: laparaszκόpia

Az emberi testüregbe való betekintés, vagyis a laparaszκόpia igénye – a műszaki gyakorlatban történt roncsolásmentes vizsgálati megoldások lehetőségének megteremtésével szinte egyidőben - nagyon régen felmerült. A laparaszκόpia atyja Kelling (1901) volt [4], aki hólyagtükörrel kutyán végzett hasüregi betekintést, azaz laparaszκόpos vizsgálatot. A beavatkozást már ekkor pneumoperitoneum kialakításával végezte. A pneumoperitoneum a hasüreg levegővel, vagy semleges gázzal való felfújását jelenti. A hasfalat felemeli, és így a hasüregi szervek jobban áttekinthetők, valamint a szervek egymástól is könnyebben elválnak.

Az eljárást emberen először Jakobeus (1910) végezte és ő nevezte el laparaszκόpiának [5]. Mérföldkövet jelentett a magyar Dr. Veres János (1938) kapuvári orvos [6] által kifejlesztett speciális tű, amellyel lehetővé vált a pneumoperitoneum biztonságos létrehozása. Használatának lényege, hogy a tű lumenében egy rugós betét van elhelyezve, amelynek a vége tompa és ezen van a gáz beömlő nyílása. A tű beszúrásakor, amikor ez a hasfalon áthalad és a hasüregbe jut, a hasfal által okozott ellenállás megszűnik, a tű tompa betétje előreugrik és óvja a beleket/belső szerveket a tű hegyes vége által okozott esetleges sérülésektől. A tű hasüregbe helyezése után ezen keresztül töltik fel a hasüreget a szükséges gázmennyiséggel. Jelenleg a világon mindenütt, az összes laparaszκόpos sebész első mondata az, hogy kérem a Veres-tűt a műtét elkezdéséhez. A világon az első laparaszκόpos műtét feljegyzések alapján 1985.ben történt [7]. Magyarországon Kiss Tibor (1990) a Pécsi II. sz. Sebészeti Klinikán [8] végzett epehólyag eltávolítást laparaszκόpia alkalmazásával. Az eljárás Magyarországon is rendkívül gyorsan terjedt el, ma már nincs olyan sebészeti osztály, amely ne rendelkezne laparaszκόpos berendezéssel. Az epesebészeti beavatkozásokat a világban, majd Magyarországon is követte az úgynevezett „haladó laparaszκόpos sebészet”, amely azt jelenti, hogy a *laparaszκόpos Műhe* beavatkozásokat a többi hasüregi szervre is kiterjesztették.

Az endoszkóp az orvosi gyakorlatban a belső üreges szervek vizsgálatára szolgáló eszköz. Miután az eszköz tekintetében a mérnöki gyakorlatban alkalmazott területeken túlmutatóan egy új alkalmazást kívántak bevezetni, ennek megfelelően az alkalmazott eszköz sem lehetett nagyon más, mint amit korábban megismertünk. Merev vagy hajlékony fémcsőből áll, amiben olyan üvegszálkötegek találhatóak, melyek megvilágítják a nehezen hozzáférhető helyeket, valamint egy optikai rendszer, amely lehetővé teszi a testüregbe való minden irányú betekintést, és a látott képet rendezett kötegben juttatják el a beavatkozást végzőhöz. Az optikai rendszer lencserendszer közbeiktatásával nagyított képek megjelenítésére alkalmas. Az orvosi eszköz tekintetében az egyetlen lényeges különbség, miszerint külön, alkalmasan megválasztott csőrendszeren keresztül kis túlnyomást biztosítanak a vizsgált terület számára a belső szervek összetapadásának minimalizálása érdekében, semleges gáz szervezetbe juttatásával.

Az eszköz alsó végéhez mintavételt (*biopszia*) biztosító eszköz: fogó, olló, kacs vagy diatermiás hurok (*belsejében áram fut, polipeltávolítására használják*) csatlakoztatható. Minden olyan kiegészítő eszköz, mely metszésre, lecsípésre és kiemelésre alkalmas, szintén illeszthető a rendszerhez. Videokamera és fényképezőgép is szerelhető hozzá, amelyekkel jó minőségű, dinamikus képek nyerhetők a vizsgált szervekről vagy azok elváltozásairól. Ez a lehetőség egyben a távkapcsolat is megteremti, amely az alkalmazott technika szinte korlátok nélküli használatának lehetőségét biztosítja, térben és időben egyaránt. A műtéti technika jelentősen csökkenti az emberi szervezet terhelését, lerövidíti a felépülési fázis idejét,

megkönnyíti a beteg állapotának ellenőrzését és a különböző eltérő időben készült vizsgálati eredmények összehasonlítását [9], [10], [11].

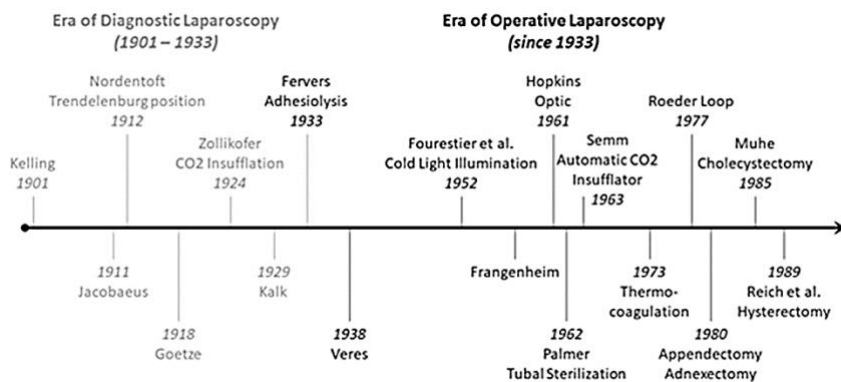
Egy, az fül-orr-gégészeti diagnosztikában használatos laparaszko­pos eszközt, egy fiberoszkópot a 8. ábra mutatunk be [12].



8. ábra

Orr-fül-gégészetben alkalmazott diagnosztikai eszköz, fiberoszkóp [12]

Az élő szervezetekben diagnosztika,- valamint kisebb beavatkozás lehetőségét biztosító eszközök szélesebb körű – például műtéti lehetőség – alkalmazására komoly igény jelentkezett gyakorlatilag a diagnosztikában végbement széles körű bevezetésével szinte egyidőben. Az orvosi diagnosztikai, valamint beavatkozást – operációt - is végezni tudó eszközök megjelenését a 9. ábra mutatja [12].



9. ábra

A laparasz­kópia (diagnosztikai, valamint operatív) fejlődése – történelmi áttekintés [13]

Az ellenőrzésen túlmenően a lényegét tekintve műtéti beavatkozás lehetőségét megteremtő technika az eszközök érdemi fejlesztését igényelte. A beavatkozó eszköz távműködtetéssel – az első fejlesztések esetében mechanikai kapcsolattal – végzi el az operációt, és a szükséges rögzítések, varrások megvalósítására is alkalmas. Ez a technika, merőben eltér a hagyományos sebészeti eljárásoktól (*nyitott műtétek*), betanulása, alkalmazása komoly feladat elé állítja a beavatkozást végző orvosokat. Látva az újonnan felmerülő igényt, oktatóeszköz segítette az orvosokat a felkészülés során a rendszer megismerésében, rutinszerű

alkalmazásában. Egy ilyen, laparaskópos technika bevezetését, a műtéti eljárás betanulását segítő eszközt mutat a 10. ábra [14].



10. ábra

Tanuló, gyakorló eszköz az operatív laparaskópiában, 1985 [14]

A fejlődés innen megállíthatatlanul haladt a robotsebészet irányában, amikor is beavatkozást végző orvos fizikailag elválik a műtétet végrehajtó egységtől – akár úgy, hogy a műtét és a robotkarok vezérlése külön helységben nyer elhelyezést. A robotsebészet meghatározás alatt három fő területet különböztethetünk meg, úgymint: irányított sebészet (*remote surgery*), a minimális behatolással végzett beavatkozás (*minimally invasive*), valamint az emberi beavatkozást nélkülöző (*unmanned*) operáció. A beavatkozást végző orvos sztereó kamerán keresztül látja a műtéti teret, lehetősége van akár 10x nagyítás beállítására is. A robotkarok, amelyek a beavatkozást végzik, mentesek a kéz remegésétől, olyan finom műveletek megvalósítását is megoldják, mint pl. egy szőlőszem meghámozása. A robotcsuklók 360 fokos körül-fordulásra is képesek, mindegyik csukló 6 szabadságfokos mozgást tud megvalósítani (*térbeli koordináta rendszerben 3 db elmozdulás, 3 db elfordulás*), amely lehetőségek túlmutatnak az ember fizikai képességein. Természetesen ennek a műtéti technikának az elsajátítása időigényes, számos új, a mérnökök által definiált feladatot foglal magában, amely a biomechanika egy speciális, kiemelten fontos, új területe. A terület éllovasának tekinthető a Da Vinci robot, amelyből 2023-ban a világon mintegy 8000 berendezés működött, és 2,5 millió beavatkozást végeztek alkalmazásukkal [15]. Hazánkban öt egészségügyi központban működnek ilyen berendezések, és 2023-ban az elvégzett műtétek száma egyre növekszik [15].

A Da Vinci robotkarjait [16], valamint vezérlőegységét [17] a 11. ábrán mutatjuk be.

A Da Vinci rendszert napjainkban (2024) egyre szélesebb körben alkalmazzák gyomor-bél rendszeri beavatkozások, nőgyógyászati műtétek, valamint urológiai operációt igénylő területeken.



a)



b)

11 ábra

Da Vinci robot a) robotkaros egység az operációs asztallal [16], b) vezérlőkonzol [17]

Egyéb robotsebészeti technikák dinamikus fejlődésének idejét érzük, amelyek területei mára kiterjednek az idegsebészetre, valamint a különleges technikákat alkalmazó miniatűr sebészet alkalmazásaira [18] is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Sólyomvári Károly: Ipari endoszkópia a roncsolásmentes diagnosztikában <https://doksi.net/hu/get.php?lid=3304#:~:text=IPARI%20ENDOSZK%C3%93PIA%20%C3%89S%20M%C3%89R%C3%89STECHNIKAI%20ALKALMAZ%C3%81SOK%20A%20RONCSOL%C3%81SMENTES%20DIAGNOSZTIK%C3%81BAN,hogy%20berendez%C3%A9sek%20%C3%A9s%20bonyolult%20szerkezetek%20bels%C5%91%20r%C3%A9szeibe%20belel%C3%A1thasson.> (2011) BME Közlekedésmérnöki, és Járműmérnöki Kar, Járműgyártás, és Javítás Tsz.
- [2] Rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat fejlesztése száloptika alkalmazásával. Borbás Lajos, Ph.D. értekezés, BME, Közlekedésmérnöki Kar, 2001
- [3] Fiberoptics, MOM. Statisztikai Kiadó, Petőfi Nyomda, Kecskemét (83. 33826), 1987.
- [4] Urologe A. 2006 Jul;45(7):868-71. doi: 10.1007/s00120-006-1068-9. National Library of Medicine, National Centre for Biotechnology information. (2006)
- [5] Martin Hatzinger , S T Kwon, S Langbein, S Kamp, Axel Häcker, Peter Alken: Hans Christian Jacobaeus: Inventor of human laparoscopy and thoracoscopy. J Endourol, 2006 Nov;20(11):848-50. doi: 10.1089/end.2006.20.848. National Library of Medicine, National Centre for Biotechnology information. (2006) <https://doi.org/10.1089/end.2006.20.848>
- [6] A Veres-tű története Szabó István Dr., Langmár Zoltán Dr., Sobel Gábor Dr, László Ádám Dr. A gyökerek nyomában, Nőgyógyászati Onkológia 2009; 14:138
- [7] W. Reynolds Jr.: The first laparoscopic cholecystectomy. SLS 2001 Jan-Mar;5(1):89-94. National Library of Medicine, National Centre for Biotechnology information. 2001.
- [8] Berkő Péter (szerk.) Betegségek megelőzése és korai felismerése. A laparoszokópia története Kiadó: Akadémiai Kiadó Online megjelenés éve: 2020 https://mersz.hu/dokumentum/m722bmekf_183 (megnyitva: 2024.01.30.) ISBN: 978 963 454 430 2
- [9] A laparaszokópia fejlődése – történeti áttekintés. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsurg.2021.799442/full> (megnyitva 2024.01.31)
- [10] [https://www.hazipatika.com/napi_egeszseg/orvosnal/cikkek/szaloptikas_vizsgaloeszkozok_\(2023\)](https://www.hazipatika.com/napi_egeszseg/orvosnal/cikkek/szaloptikas_vizsgaloeszkozok_(2023)) (megnyitva 2024. 02 28.)
- [11] <https://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=Endoszkópia&oldid=22480496> (megnyitva 2024.01.24.) <https://doi.org/10.19256/abstract.ONJ.02.2024>
- [12] FNL-10RP3 Fül-Orr-Gégészeti fiberoszkóp [https://www.nedirex.hu/Fül-Orr-Gégészet_\(medirex.hu\)](https://www.nedirex.hu/Fül-Orr-Gégészet_(medirex.hu)) (megnyitva 2024-02-01)

- [13] Ibrahim Alkatout, Ulrich Mechler, Liselotte Mettler, Julian Pape, Nicolai Maass, Matthias Biebl, Georgios Gitas, Antonio Simone Laganà and Damaris Freytag. Review published: 15.12.2021. doi: 10.3389/fsurg.2021.799442
<https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.799442>
- [14] Pelvi trainer (1985). Source: Department of Obstetrics and Gynecology, University Clinic of Kiel.
- [15] Dr. Haidegger Tamás: Robotok az egészségügyben. Medicalonline, 2023. 08 10. 06:24https://medicalonline.hu/tudomany/cikk/robotok_az_egeszsegugyben
- [16] <https://www.beaconhealthsystem.org/da-vinci-robotic-surgery/> megnyitva 2024.02.02)
- [17] Da Vinci vezérlőkonzol
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Cmglee_Cambridge_Science_Festival_2015_da_Vinci_console.jpg (megnyitva 2024.02.02)
- [18] Robots Helping Surgeons: The da Vinci and ZEUS Surgical System
By Food and Drug Administration (FDA).
<https://web.archive.org/web/20101201025941/http://www.enotalone.com/article/8839.html> (megnyitva: 2024.02.10)