

A SZÁMITÁSTECHNIKA SZEREPE AZ ORVOSI KÉPALKOTÓ ELJÁRÁSOKBAN

Kalmár László-emlékelőadás

Dr. Csernay László

SZOTE Központi Izotópdiaosztikai Laboratórium

A "Számítástechnikai és kibernetikai módszerek alkalmazása az orvostudományban és biológiában" elnevezésű kollokvium, amely találkozóhelye az egészségügyben dolgozó, orvostudományi problémákkal foglalkozó matematikusoknak, számítástechnikai szakembereknek, Kalmár professzor *szellemi gyermeke*. Ő kezdeményezte, ösztönözte a szegedi Mikulás-táji találkozókat, személyesen vezette jónéhány kerekasztal konferenciáját, amelyeken akkor még arról csatáztak, vitáztak hévvel és lelkesedéssel, vajon időszerű-e, vajon szükséges-e a magyar egészségügy korlátolt anyagi helyzetében számítógépek munkába állítása. Méltó és igazságos tehát, hogy a konferencia rendezői úgy döntöttek, hogy ezután - míg a szegedi kollokviumok fennmaradnak - minden megnyitón előadást szentelnek a már több mint 6 éve elhunyt Mester emlékének.

Az első emlékelőadás megtartása igen nagy megtiszteltetést jelent és komoly felelősséget ró a választott előadóra. Pár röpké percben felidézni alakját, méltatni munkásságát, jelentőségét még annak is nehéz, aki abban a szerencsés helyzetben volt, hogy utolsó éveiben közelebb-ről figyelhette, tanácsait hallgathatta, választott új tématerületén vezetőjének tekinthette. A megtiszteltetést hálás szívvvel köszönöm, a feladat komolyságát, felelősségét értem és érzem.

Kalmár László akadémikus *élete* 1905-től 1976-ig a matematika iránti csillapíthatatlan rajongásban, tudományos vitákban, harcokban, győzelmekben és verségekben, újat teremtésben, szünetet nem ismerő hatalmas ivben telt el. Mindenki, aki ismerte, meglepődött, hogy véget ért. Az elhivatottság olyan stigmáival rendelkezett, melyek elrejtették életkorát, folyamattá varázstolták az éveket. A Kibernetikai Laboratórium előtt 1969-ben ugyanolyan frissességgel szállt le örökös közlekedési eszközéről, a kerékpárról, mint 1976-ban a halála előtti hónapokban. Senki nem érezte, hogy közben történt valami.

Kalmár mint matematikus ugyanilyen folyamatossággal foglalkozott diszciplínája izgató kérdéseivel, és ha számbavesszük a területeket, ahol újat alkotott, szinte az egész matematikát a felsorolásban találjuk. A Peano-féle, az aritmetika alapjaira vonatkozó axiómák vizsgálata, a struktúra fogalmának általánosítása az algebrában, a Gödel és Church tételével kapcsolatos megfontolások, Gentzen számelméleti bizonyításának egyszerűsítése mind egy-egy nagyszerű Kalmár-eredmény.

Kalmár filozófikus hajlama az agnoszticizmus elleni küzdelem mellett információelméleti megfontolásaiban is megnyilvánult. Volt benne valami hatodik vagy hetedik érzék, képesség vagy zsenialitás, amely előre *megérezte, megsejtette* azokat a területeket, ahol kutatni, dolgozni érdemes. Így ismerte fel hazánkban elsőként az új trónkövetelő, a számítástudomány jelentőségét s tett meg mindent kibontakozásáért. A számítástechnikában ma dolgozók ezért direkt vagy indirekt módon az ő tanítványai.

Kalmár a szó igaz és teljes értelmében *tanár volt*. Imádott tanítani, imádta a mások által nehezen megfogható leegyszerűsíteni, érthetővé tenni, demisztifikálni és ezzel a matematikának hiveket, értő

főket, újabb apostolokat szerezni. A kívülálló szakmákkal való, legendás jó kapcsolatának mélyén is ez a hittérítő, misszionáriusi magatartás rejlett. A nevezetes "integrál" levél, amelynek közel 60 oldalán egy hozzá fordult makói orvoskollégának az integrál fogalmát, az integrálszámítás lényegét magyarázza, olyan mestermű, amely Kalmár didaktikus készségét, a matematika iránti mérhetetlen szerelmét, a kívülállókkal szemben tanusított elnéző szeretetét egyaránt tanusítja. Kalmár fontosnak érezte, hogy egy lelket megmentsen a matematika számára.

Lehet-e csodálkozni azon, hogy az említettek a legegyszerűbb és legközvetlenebb emberi tulajdonságokkal ötvözve alkalmasak voltak arra, hogy mint a nap a bolygókat, úgy kényszerítse körpályára maga körül a tehetségeket. Így épített velük logikai gépet, telepített számítógépet, inspirált filozófiai értekezést, irt számítástudományi tanulmányokat, rendezett orvostudományi és biológiai kollokviumot.

Hálás szívvvel szeretnék emlékezni végül arra az 1975. januári délutánra, amelyen Laci bácsi, addigi munkánk elismeréseként érkezettnek látta az időt, hogy az azóta már róla elnevezett Kibernetikai Laboratóriumban interdiszciplináris képfeldolgozási kutatócsoportot hozzon létre. Elismerő, biztató, lelkesítő szavai meghatározták és ma is meghatározzák munkánkat. Eredményeink ihletője a Mester, a dicsőség az övé, a hála és a köszönet a tanítványoké.

* * *

A számítógépek, a számítástudomány orvosi képkalkoló eljárásokban betöltött szerepének általános analizise előtt úgy vélem, *szükséges* és ezért *érdemes* beszélnünk magáról az orvosi képkalkotásról, az eljárások céljáról, elvi nehézségeikről, számuk szaporodásáról, kapcsolataukról, jövőjükéről.

A talán évezredes emberi vágy - *átlátni* az emberi test kültakaróján, *belelátni* az emberi testbe, megismerni felépítését, szerveit, a szervek anatómiai kapcsolatát, normális, olykor patológiás struktúráját -, e vágyról a képzőművészet óriásainak rajzai, festményei tanuskoznak - a mult század végén Konrad Röntgennek sikerült először. A homályos elképzelések, a boncolással megismert emberi test általános felépítésének színes anatómiai ábrái után az első átvilágítások, majd a rögzített képek a maihoz képest jóval durvább felbontóképességgel egy-egy *konkrét személy* röntgen-sugárral vizsgált szervéről nyújtottak felvilágosítást. A statikus - csupán a strukturális - felépítés megismerése mellett, amely önmagában is szenzáció, hihetetlen varázslat, misztifikálható mágia volt, talán ma már mi el sem tudjuk képzelni azt az élményt, amikor a készülék ernyőjén relative világos tüdővetületek között a határozott konturu, de sötét egynemű folt, a csak hangjelenségeiről és a hozzárendelt pulzusqualitásairól ismert szív dobogni, *mozogni* látszott. A mozgás különböző fázisaiban lévő szívet a tüdővetületekkel együtt képekké merevítve, alakítva a testbelátást megengedő röntgen-sugártól, készüléktől térben és időben elválasztva nézni, *tanulmányozni, analizálni*, majd véleményezni lehetett. *Megszületett az első*, a test belsejéről, felépítéséről, elváltozásairól híreket, tudósításokat, információkat hozó *képkalkoló eljárás*. Rövid időn belül a klinikai diagnosztika mechanizmusának nélkülözhetetlen, szerves elemévé vált.

Az újszülött, szépen cseperedő, fejlődő gyermek sajnos, születésétől, talán már fogantatásától kezdve magában hordta, hordja ma is nemcsak saját, hanem az őt követő újabb és újabb orvosi képalkotó eljárások alapvető problémáját.

Mit lát a képen az észlelő? Hogyan interpretálja, hogyan ismeri fel a képen rejlő információkat? Hogyan adja azt tovább?

Az orvosi képalkotás célja az emberi test felépítéséről, a benne zajló normális vagy kóros változásokról, eseményekről olyan értesülések szerzése, amelyek a vizsgálat előtt nem voltak ismeretesek. Információ-elméleti szempont szerint ez az információszerezés *több lépcsőben* zajlik és sajnos, a folyamatban az elvileg megszerezhető információ mennyisége általában csökken, tartalma változik, *torzul*. Magának az információ fogalmának meghatározása sem könnyű feladat, hiszen a fogalomnak nemcsak szűkebb szaktudományos, hanem filozófiai, ismeretelméleti jelentősége is van. Kalmár László szerint az információ valamely anyagi rendszer *állapotának* vagy a benne végbemenő folyamatnak *többé-kevésbé teljes tükröződése* egy másik anyagi rendszerben. Az információ tehát anyagi rendszerekhez és a közöttük kialakuló kölcsönhatásokhoz kapcsolódik anélkül azonban, hogy bármelyikükkel azonosítható lenne. A *hatásnak* az anyagi hordozótól elvonatkoztatott tartalmáról van szó. Feltétlenül szükséges leszögeznünk, hogy nem anyagi objektumok, viszonyok vagy állapotok alkotják az információt, hanem *speciális elrendeződésük*, melyek révén a felvevőrendszerben meghatározott változások jönnek létre.

Ezzel szemben maga az *információhordozó* mindig valamely anyagi objektum, viszony vagy állapot - legyen az röntgen, gamma, ultrahang vagy elektromágneses sugárzás -, amely alkalmas arra, hogy továbbítsa az információt egy anyagi rendszerből - pl. az emberi testből egy vagy több másikba - végeredményképpen a képalkotó eljárásokkal foglalkozó orvos illetve a beteggel foglalkozó, a diagnosztikai tevékenységet irányító-szintetizáló klinikus tudatába. Az információ és hordozója mindig egységben vannak. Ha a hordozó irreverzibilis változást szenved, pl. a már készített kép elpusztul, elvész, akkor az információ, melyet az hordozott, részben vagy teljesen megsemmisül. Nyilvánvaló, hogy az információnak nemcsak tartalma - igaz vagy hamis volta - a fontos, hanem a *mennyisége* is. A kvantitatív információelmélet egyik legjelentősebb eredménye, hogy a legkülönbözőbb formákban lévő információkat egységes mérőszámmal jellemezhetjük. Egységnyinek az olyan kérdésre adott válasz információtartalmát tekintjük, amelyre csak igennel vagy nemmel válaszolhatunk és mindkét válasz valószínűsége egyenlő. Az információmennyiség egységét bit-nek nevezzük.

Az információ Kalmár-féle definíciója alapján világos, hogy nem minden hatás jelent információt, hanem csak az, melyet valamely felvevőrendszer befogad és *rá meghatározott effektussal reagál*, amely valamely strukturában tükröződik. Végeredményben tehát információról két anyagi rendszer meghatározott relációjában van szó, amelyben az *egyik hat a másikra s a másik visszatükrözi ezt a hatást*.

Gyakran fordul elő, hogy valamely információ, pl. egy adott radioaktív farmakon vizsgált szervben való eloszlása, többféle kérdésre is *választ jelent*. Egy vizsgált probléma szempontjából azonos információnak többféle jelentése is lehet. A válasz, amelynek nemcsak információelméleti, hanem *logikai aspektusa* is van, a megszerzett információnak az adott, a feltett kérdésre vonatkozó jelentése. Az orvosi képalkotás információelméleti vizsgálatához szükségünk van még

további három, rövid definícióra, amelynek az eddigi megmondásokból illetve a Kalmár-féle alapinformációból logikusan következnek.

Információfelvételnek azt a folyamatot nevezzük, melynek során egy anyagi rendszerben /megfelelő információhordozó hatására/ egy másik anyagi rendszerhez tartozó valamely speciális elrendeződés az általa determinált változást idézi elő /tükröződik/.

Információátadásnak a duális fogalmat nevezzük, tehát azt a folyamatot, melynek során valamely anyagi rendszer egy hozzá tartozó speciális elrendeződéstől függő hatást /megfelelő információhordozó révén/ oly módon továbbít egy másik anyagi rendszerbe, hogy az utóbbiban az elrendeződés által determinált effektus idéződik elő /tükröződik/.

*Információáramlás*on anyagi rendszerek között, meghatározott csatornák révén végbemenő információátadások és felvételek sorozatát értjük.

A felsorolt információelméleti fogalmakra támaszkodva tekintsük át részletesebben azt a folyamatot, melynek során a nukleáris medicina képzővizsgáló eljárásaival információkat igyekszünk nyerni, majd azokat a felhasználás helyére /a klinikus tudatába/ továbbítani.

Az izotópdiagnosztika módszereire karakterisztikusan jellemző a radioaktív izotópok által kibocsátott sugárzás észlelése és mérése. A képzővizsgáló /szcintigráfias/ eljárás esetén a radioaktív izotóppal jelölt preparátum adott szervben *specifikus dusulása, szervben belüli elrendeződése, a dusulás időbeni változása ad információkat*, ha a kibocsátott sugárzást a szerven kívül érzékelni, mérni és lokalizálni tudjuk egy erre szolgáló mérőberendezéssel, a gammakamerával. Ily módon tájékozódni tudunk - egyebek között - a vizsgált szerv sikkbéli vetületének méretéről, alakjáról, a szerv anatómiai helyzetéről, a preparátum dusulásának egyenletességéről, a szervben belüli térszűkítő folyamatok jelenlétéről, stb.

A szóbanforgó információkat a szervben dusult radioaktív preparátum folyamatos /véletlenszerű/ bomlása során keletkező gammasugárzás hordozza, de csak akkor adja át, ha egy másik /felvévő/ rendszerben - a kamera detektorában - meghatározott effektust /fényfelvillanást/ idéz elő. Az *információ anyagi hordozója* ebben a pillanatban megváltozik és bizonyos változás következik be az információ mennyiségében és tartalmában is. Hozzá kell tennünk: mindez csak azokra a gamma kvantumokra vonatkozik, melyek a detektor kristályával kölcsönhatásba lépnek. A többi gamma kvantumok /pl. amelyek elkerülik a detektor kristályát vagy elnyelődnek a test szöveteiben/ mint információhordozók megsemmisülnek s velük együtt elvész a hordozott információ is.

A fényfelvillanás mint *új információhordozó* feszültség-jellé alakul a detektor elektronsokszorozójának munkaellenállásán. Ebben a fázisban szintén számolnunk kell információvesztéssel, ugyanis azok a fényfelvillanások, amelyek holtidőben érik az elektronikus rendszert, nem képesek információforrássá válni. A feszültségjelek /impulzusok/ mint újabb információhordozók, keresztülhaladva a mérőkészülék jelfeldolgozó rendszerén, a megjelenítő rendszer vezérlését végzik. A jelfeldolgozó rendszerben is történik veszteség, végül azonban - a technikai megoldástól függően - az impulzusok a megjelenítő rendszer típusának megfelelő képfajta *elemi képpontjaivá válnak*. A vázlatosan leírt folyamat sokszoros illetve párhuzamos lejátszódása

nyomán több ezer elemi képpontból összetevődő képet kapunk. Az információhordozó tehát ismét megváltozik, mostmár az információkat - szemben az előző hordozókkal - a jóval időállóbb kép tartalmazza /tárolja/.

A kép tanulmányozásakor felismerési folyamat játszódik le az értekelő orvos tudatában, amelyben a látási mechanizmus működése valamint a meglévő tapasztalatok és ismeretek igénybevétele mellett szerephez jutnak a többszörösen is - a visszacsatolások. Ennek során a képi információ realizálódik, *átkódolódik* és *tárolódik* az emberi tudatban. Az emberi agy speciálisan szervezett strukturája mint információt *felvevő, hordozó, tároló és feldolgozó rendszer jön számításba*. A felismerési folyamat ismeretek kialakulását eredményezi az adott képről. Az információ feldolgozása során keletkezett ismeret lesz azután az orvosi tevékenység forrása. A tudatban feldolgozott és tárolt információkat általában *írásos formában /lelet, vélemény/ továbbítjuk*. A feldolgozott információ hordozója ettől kezdve a megfogalmazott /képet leíró/ *szöveg lesz*. Azok az információk, melyeket nem ismertünk fel /vagy amelyekre nem figyeltünk fel/ a tudati tevékenység során, a folyamat szempontjából elvesznek, de nem semmisülnek meg. Az archivált kép mint információhordozó továbbra is tárolja azokat. A felismert, de a leletben nem megfogalmazott, szöveg formába át nem kódolt információk *előbb-utóbb megsemmisülnek* agyi strukturánk mennyiségileg és időbelileg korlátozott kapacitása folytán. Az eredeti kép természetesen ezeket az információkat továbbra is megőrzi.

A szöveges lelet mint információhordozó a *vizsgálatot* eredetileg *kezdemenyező klinikushoz* jut. A lelet szövegének olvasásakor a szintetizáló orvos tudatában ismét felismerési folyamat játszódik le. Az eljárás eredményeként, mint utolsó állomás, a klinikus tudata veszi fel az információt. Tudatában - optimális esetet feltételezve - a kérdéses szervben a leképezési folyamat kezdetekor fennálló izotópeloszlás illetve annak klinikai jelentése tükröződik. Más orvosi képkeltő eljárások végrehajtása során lényegében az ismertetethez hasonló folyamat játszódik le.

Az információfelvétel-átadás az információhordozók többszöri változása idején - vagyis a képkeltő eljárásokban - az eredeti információ mennyisége és sokszor minősége is sajnálatosan csökken. Az *optimális cél*, hogy az információ mennyiségileg és minőségileg is változatlan maradjon. Évtizedek óta, így napjainkban is változó kimenetelű, ellentmondásoktól sem mentes küzdelem folyik az információvesztés csökkentéséért és ebben a küzdelemben a *számítógépek alkalmazása, a számítástechnika egyre átfogóbb bevonása már konkrét eredményekkel büszkélkedhet és további jelentős perspektívával rendelkezik*.

Mielőtt a matematikai eljárások, újabb és újabb algoritmusok, a számítógépek alkalmazásának feladatait, szerepét az említett küzdelemben megvizsgálánk, röviden foglalkoznunk kell az *orvosi képkeltő eljárások számának növekedésével*. A fejlesztések célszerűségét, az újabb eljárások bevezetését, elterjedését kísérő anakronisztikus, gyakran csillapodni sem akaró, általában frustrán, de energiát emésztő *viták okait érdemes szemügyre vennünk*.

Az újabb és újabb képkeltő eljárások *születését* az anyag finomabb szerkezetét és tulajdonságait vizsgáló fizikai alap kutatás eredményei alapján, a hatékonyságában szinte exponenciálisan növekvő műszaki-technikai fejlődés, fejlesztés, a *gyors innovatív tevékenység egyrészt*; az emberi anatómiai struktúra eddiginél finomabb felbontásu analizisének, a fegyverkezési spirálhoz hasonló, gerjesztett, ön-

törvényü követelése másrészt; azonkívül azoknak az igényeknek mind markánsabb megfogalmazása kívánja, szinte kikényszeríti, amelyek a struktúra mellett a hozzárendelt funkciót, a mozgást, az élet lényegéhez tartozó anyagcserét, metabolizmust - annak változását képi formában kívánják birtokolni és analizálni.

Az emberi testről, szervekről, a működés szabályozásáról, ezek zavarairól *ujabb és újabb*, az eddigiektől eltérő információk birtoklását kívánja a depersonifikált orvostudomány és kínálja az újabb és újabb információhordozókat csatasorba állító műszaki tudomány.

A klasszikus képalkotást képviselő röntgendiagnosztika rohamos fejlődése mellett az elmúlt évtizedekben, években megjelent a gamma-, a pozitronsugárzás, az ultrahang és termográfia és már itt kopog, megérkezett a nukleáris mágneses rezonancia; az NMR-technika. Vajon ki tudja megjósolni, megszámlálni azokat a még *nem ismert*, nem sejtett információhordozókat, amelyek - idézzük ismét Kalmár Lászlót - képesek az emberi testről, mint anyagi rendszerről, annak állapotáról, a benne végbemenő folyamatokról tudatunkban tükröződést kiváltani.

Az újabb képalkotó eljárásokkal kapcsolatban úgy foglalhatunk állást, hogy azok bonyolultságuktól, árúktól függetlenül akkor *szükségesek*, alkalmazások akkor *indokolt*, ha információhordozójukkal az emberi test veszélyeztetése nélkül a többi eljárástól eltérő, azokkal meg nem ragadható, a diagnosztika számára előnyös és fontos információt vagy információtöbbletet képesek szolgáltatni. Egy adott diagnosztikai folyamatban a klinikus által feltett kérdések - azok adekvát megválaszolásának képessége kell, hogy *döntsen* a képalkotó eljárások közötti *választásban*, vagy kell, hogy megszabja azok *alkalmazási sorrendjét*. *Téves, hibás* az a nézet, amely a képi felbontás finomságával kívánja mérni a képalkotó eljárások információszolgáltató hatékonyságát vagy eldönteni az eljárás művelésének szükségességét. Ugyanilyen *anakronisztikus* az az elgondolás, amely szerint a mozgás, az anyagcserére képi ábrázolása avat egy módszert magasabb rendűvé.

És most a kitérő után térjünk vissza a számítógépek, a számítástechnika orvosi képalkotó eljárásokban betöltött vagy betölthető szerepének vizsgálatához, az orvos és számítógép *rövid multu kapcsolatának fejlődéséhez*.

Nem régen, szinte hihetetlen, alig több mint 15 éve, a hatvanas évek közepén-végén, a számítógépek alkalmazása a képek torzításainak mérséklésével, a képek javításával kezdődött. A számítógép és a képjavításhoz használt algoritmusok *eszközként* szerepeltek az előbbieken részletesen taglalt információvesztés csökkentésében, megakadályozásában. A képjavítás, a képfeldolgozás iránti igényt az ürkutatás és a fegyverzetellenőrzés - megegyezés nélküli, de hallgatólagosan elismert, tudomásul vett - spontán fejlődése szülte és tökéletesítette.

Az optikai leképezés hibáinak korrekciója, a simitó, a szubstrakciós, a frekvencia analizáló, az él- és konturkereső algoritmusok kidolgozása, az alakfelismerés alapjainak lerakása erre az időszakra tehető.

A képek javításában a többi orvosi képalkotó eljárásokat megelőzőve, elsősorban a nukleáris medicina volt *érdekelte*, hiszen a radioaktív izotópok stohasztikus bomlása okozta statisztikus hiba, a kollimátorok pont-válasz függvényrel jól jellemezhető leképezési torzításai ellen, a megfelelő algoritmusok sikerrel voltak alkalmazhatók.

A feladat végrehajtásához a klasszikus mozgódetektoros szcintigráfok és a korszerű, nagy felbontóképességű gammakamerák analóg mérési adatainak digitalizálására volt szükség, mert ez a számítógépes feldolgozás számára alapvető követelmény. A klasszikusnak számító röntgen-eljárások - pl. az angiográfia - során keletkező analóg jelek digitalizálása teremtette meg a nagy jövő előtt álló digitális szubtrakciós angiográfia technikáját is.

Az alkalmazás kezdetén a képjavító eljárásokat a mérési adatok rögzítése után *off-line* módon hajtották végre. A mérőkészülék és a számítógép térben és időben távol, egymástól függetlenül működött. Ma már a technikai fejlődés, a számítástechnikai beruházási költségek drasztikus csökkenése oda vezetett, hogy az említett feladatok zömét a mérőrendszerrel szervesen összeépített és *on-line* működő számítógépek programrendszere standard feladatként képes végrehajtani.

A számítógép - legyen az klasszikus felépítésű vagy mikroproceszor alapú - akkor lépett egy, a fejlődésben magasabban álló osztályba, amikor különböző információhordozókkal működő újabb képalkotó eljárások komplett eszközeiben *nélkülözhetetlen, integrális részként* került alkalmazásra. Jó példák erre az izotópdiaosztika un. gyors dinamikus vizsgálóeljárásai, amelyek a vizsgált szerv morfológiája mellett *funkcionális információkat* is szolgáltatnak és gammakamerához kapcsolt számítógépek nélkül nem hajthatók végre. A számítógép ilyen esetben semmiképpen nem opcionális luxus, hanem a rendszer alapvető, *nélkülözhetetlen eleme*.

A gammakamera-kisszámítógép rendszerek rutinszerű alkalmazása az izotópdiaosztikában az utóbbi években a *megszokottól eltérő* képi ábrázolást is lehetővé tett. A morfológiai struktúra helyett kiválasztott, kvantitativ mérhető, normálható és ilyképpen osztályba sorolható *funkcionális paramétereket* /pl. ejekciós frakció, ürülési félidő stb./ ábrázolnak a konkrét vizsgált szerv körvonalait megtartva, felhasználva. Ezek az un. *parametrikus képek* az izotópdiaosztikában ma virágkorukat élik. A legújabb példák közül a Fourier analízissel kiszámított amplitúdó- és fázisképeket említem. Az amplitúdókép a pumpateljesítmény balkamrán belüli, lokális eltéréseit, a fáziskép a szívizom kontraktilitási illetve ingerületvezetési képességét ábrázolja.

A különböző képalkotó eljárások fejlesztésének létjogosultságát igazolják azok a vizsgálatok, amelyek a különböző szövetek jellemző Hounsfield számait, az NMR technikával meghatározható hidrogén atommag sűrűségét és az un. relatív relaxációs időértékeit hasonlították össze. A három paraméter *divergáló értéke* és ily módon egy ismeretlen strukturaelem szöveti összetételének differenciálására való alkalmassága ezekből a megfigyelésekből nyilvánvaló.

Az axiális komputer tomográfia quintessenciája a vetületi képekből akár iteratív, akár konvolúciós visszavetítéssel dolgozó *képrekonstrukciós algoritmus*, amely nem hajtható végre a rendszerbe szervesen illesztett számítógép nélkül. A transzmissziós komputer tomográfia kidolgozása és egyre terjedő alkalmazása forradalmat jelentett nemcsak a röntgendiagnostika, hanem egyéb orvosi képalkotó eljárások számára is. Ujra kellett értelmeznünk és tanulnunk az anatómiát, a patológiás struktúrákról bennünk élő fogalmakat. A vizsgálati idő rövidülése, a feldoldóképesség javulása, a megjelentető eljárások gazdagsága a finomtechnika és műszaki technika mellett a számítástechnika diadala is.

Nem kisebb, talán az eddigiéknél *exkluzívabb jelentőségű* az emissziós komputer tomográfia pozitronsugárzással működő változata. Az ultrarövid fizikai félidejű ciklotrontermékeknek, a N, C és O pozitronsugárzó izotópjainak gyors, jól előkészített radiokémiai beépítése az anyagcsere szempontjából alapvető molekulákba lehetővé tette egy új információhordozó a pozitronsugárzás érzékelése és lokalizálása segítségével, hogy az emberi agykéreg vagy a szivizomrostok *anyagcserejét in vivo* körülmények között tanulmányozzuk. Az ugyancsak számítógépes képrekonstrukcióval előállított axiális metszetek képei a vizsgált területek metabolizmusáról adnak információt.

Az emissziós komputer tomográfia ún. single-photon vagy gammakamerás verziója a vizsgált szervben dúsuló ^{99m}Tc sugárzását a vizsgáló test körül körpályán mozogva méri. A kameradetektor által észlelt impulzusadatokból az általános szöveti abszorpciót is figyelembe vevő képrekonstrukció kerül végrehajtásra. A kameradetektor *egyszeri körülfordulása* a detektor feloldóképességétől és a rendelkezésre álló számítógép memóriánagyságától függően 60-120 axiális metszet előállítását engedi meg. Fantomkísérleteink alapján *kidolgozott emissziós komputer tomográfias programrendszerünk*, a szocialista országokban elsőként, ma már betegvizsgálatok végzésére is alkalmas. Az axiális metszetek birtokában frontális ill. sagittális metszetek előállítása nem jelent nehézséget.

Elérkeztünk felosztásunk harmadik, egyben utolsó állomásához. A számítógép, a számítástudomány még az eddigiéknél is fontosabb, előkelőbb szerephez juthat a közeljövőben az orvosi képalkotó eljárásokban. Nem csupán javítja, előállítja a képeket, hanem az *orvos partnerévé válik* a diagnosztikai folyamatban a képek automatikus értékelésével.

Az elképzelés 15 évvel ezelőtt utópiának tűnt, ma már egyáltalán nem az. Léteznek, működnek transzmissziós CT képeket felhasználva besugárzási terveket készítő, izodózis görbéket kiszámító és megjelenítő programrendszerek, melyek ajánlatát a kezelést irányító orvos vagy elfogadja vagy újabb, módosított, előnyösebb besugárzási terv-variáció elkészítésére utasítja.

A felvételi technika automatizált irányítása, az automatikus képfelismerés kidolgozása, az egyes képalkotó eljárások értékelésébe történő bevezetése a *jövő feladata*. Ha ismét gondolunk arra, hogy 15 év sem telt el a számítógépek képalkotó eljárásokban való rendszeres alkalmazása óta, ennek a magasabb szintű feladatnak a sikeres megoldásában is *joggal bizakodhatunk*.

Siker esetén a klinikus, az izotópdiagnosztikai szakember Mi ez? kérdésre partnerétől, a géptől, rövid időn belül *szöveges választ* kaphat. A kép és szöveg kompatibilitásának ellenőrzése, jóváhagyása után idejét még tökéletesebb, korrektebb vizsgálatok kivitelezésére, a klinikusokkal való konzultációkra és a beteg emberrel a személyes kapcsolat megteremtésére fordíthatja.