

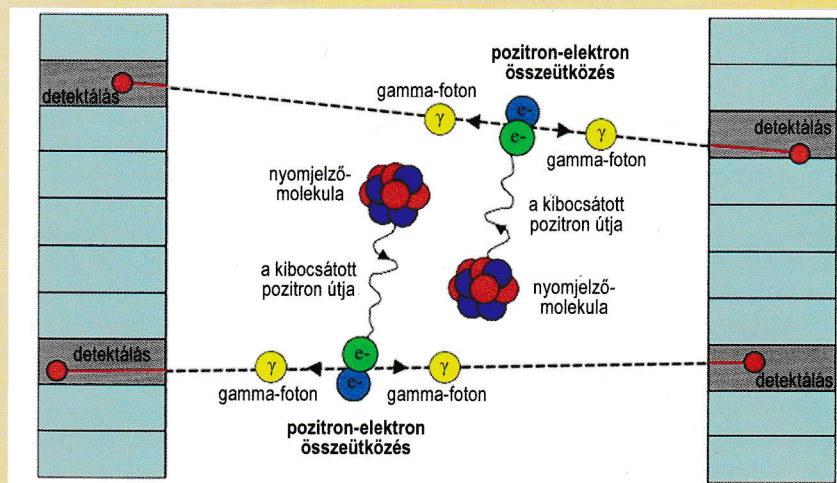
KÉPALKOTÁS AZ AGYRÓL NAGYROHAM ALATT

Eszméletvesztés, összecuklás, az izmok megfeszülése, majd az egész testen végighaladó, heves izomrángások – így zajlik le egy tipikus epilepsziás nagyroham. Sokaknak egész életükön át ezektől a rángógörcsöktől kell rettegniük, amelyek mintha bármiféle kiváltó ok nélkül indulnának be. Korunk egyik leggyakoribb idegrendszeri betegsége: az epilepszia.

Ezeket a rohamokat már az ókorban is ismerték, akkoriban azonban úgy tartották, hogy a beteg testét valamiféle földöntúli erő szállja meg, innen ered a régi neve is: „szent betegség”. A kór hátterében valójában az idegi aktivitás rendellenes megnövekedése áll, amikor is az agy bizonyos területein rövid időn belül nagyszámú idegsejt bocsát ki elektromos impulzust. Előfordul, hogy ezt valamilyen agyi károsodás, például infarktus, agydaganat, gyulladásos fertőzés vagy fejsérülés idézi elő, a legtöbb betegnél azonban a kiváltó okra sosem derül fény. Egyes tanulmányok szerint a világ lakosságának mintegy 5%-a él át élete során legalább egy epilepsziás rohamot, közülük minden ötödiknél pedig a panaszok rendszeresen visszatérnek.

Az epilepsziától szenvedők közel harmada nem reagál a gyógyszeres kezelésre, így náluk sebészeti beavatkozásra lehet szükség. Ezen műtétek célja a rendellenes idegműködést okozó agyterület, az úgynevezett epilepsziás fókusz eltávolítása. Ahhoz, hogy az operáció sikeres lehessen, nagyon pontosan kell ismerni az epilepsziás fókusz elhelyezkedését. Itt kapnak szerepet a modern orvosi képalkotó eljárások – más néven tomográfiai módszerek –, az MRI, a SPECT és a PET.

Az MRI erős mágneses tér és rádióhullámok segítségével térképezi fel az agy szerkezetét, ezáltal képes feltárni az anatómiai rendellenességeket, például daganatokat, cisztákat, illetve korábbi infarktusok nyomait. Az epilepsziás betegek 20%-ánál azonban nem mutatható ki látható méretű elváltozás. A SPECT és a PET ezzel ellentétben nem a szövetek felépítését, hanem azok működését, például



A nyomjelző bomlásakor egy pozitron keletkezik, amely elkezd vándorolni a testben, és rövid időn belül nekiütközik egy elektronnak. Az ütközéskor a két részecske megsemmisül, és az energiájuk egy fotonpár formájában távozik. A PET-gép ezt a foton sugárzást méri.

a véráramlásukat és az anyagcseréjüket vizsgálja, ebből kifolyólag a szerkezeti helyett a viselkedési rendellenességeket jelzi ki. E két vizsgálat nemcsak az epilepsziás fókuszt találja meg, hanem az agy többi részének működéséről is fontos információkat szolgáltat. Segítenek megérteni az ingerületátvivők szerepét az epilepsziás aktivitás terjedésében, és kulcsfontosságúak új kezelési módszerek kifejlesztésében is. A PET, jóllehet költségesebb eljárás, jobb minőségű és nagyobb felbontású képet eredményez a SPECT-nél, ez pedig meghatározó lehet egy olyan műtét előtt, amely során az agyból metszenek ki egy darabot.

Radioaktivitással fürkészni az agyat

A PET-vizsgálat során a páciensbe egy kis mennyiségű radioaktív nyomjelző anyagot fecskendeznek, amelyet a vér a test különböző részeibe szállít.

Leggyakrabban ez az anyag a ¹⁸fluorodezoxi-glükóz, másnéven FDG, amely nem más, mint egy fluorizotóppal jelölt szőlőcukor-molekula származéka. Mivel a sejtek fő energiaforrása a cukor, a nyomjelző a gyors anyagcseréjű szövetekben felhalmozódik, azok aktivitásával arányos mértékben. A fluorizotóp bomlásakor egy pozitron keletkezik, amely elkezd vándorolni a testben, és rövid időn belül nekiütközik egy elektronnak. A pozitron és az elektron egymás

A cikk az **Élet és Tudomány – BME – Pro Progressio Alapítvány** idei tudomány-népszerűsítő cikkpályázatának I. díját nyerte hallgatói kategóriában.



PRO PROGRESSIO
AZ EGYETEMI
OKTATÁSSÉRT
ALAPÍTVÁNY KUTATÁSSÉRT

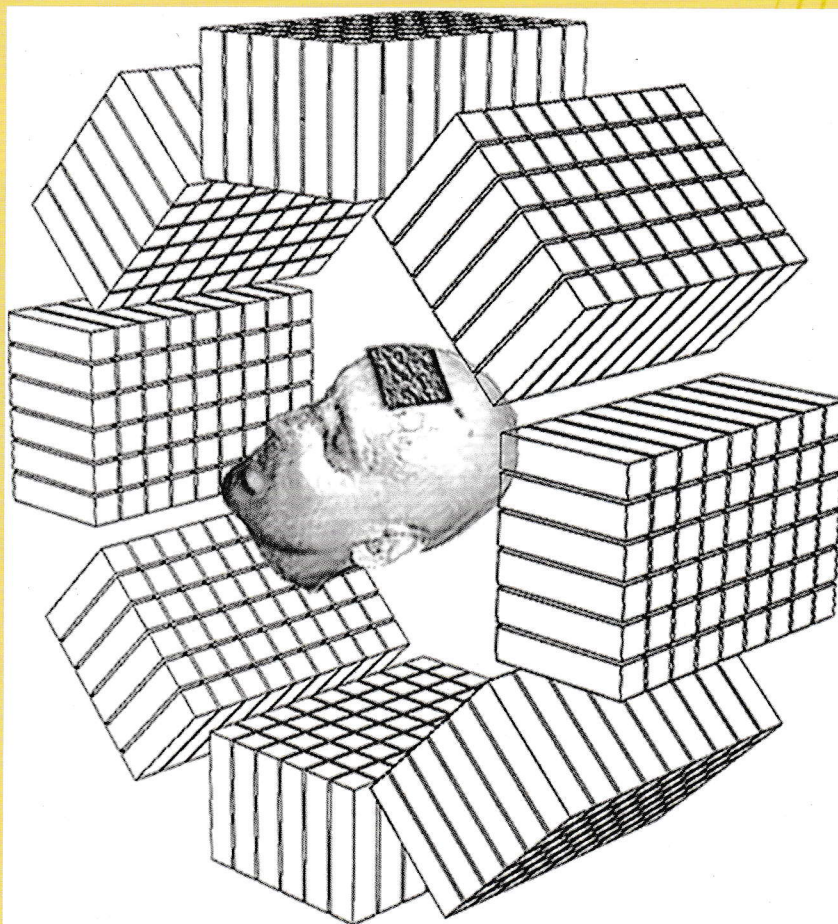


ÉLET-TUDOMÁNY

antirészecskéi, emiatt az ütközéskor a két részecske megsemmisül, és az energiájuk egy fotonpár formájában távozik. A PET-gép ezt a foton sugárzást méri: minden érzékelt fotonpárról rögzíti, hogy pontosan mikor és az érzékelő melyik pontjára történt a becsapódásuk. Ezekből az adatokból egy számítógépes szoftver rekonstruálja a nyomjelző háromdimenziós térbeli eloszlását, fényes foltként jelenítve meg a gyors anyagcseréjű területeket. Ezáltal megállapítható, hogy az agy melyik részein rendellenesen magas vagy alacsony az aktivitás.

Lényeges kérdés, hogy hogyan válasszuk meg a PET-vizsgálat elvégzésének idejét. A legtöbb PET-mérést rohamok között bonyolítják le, amelyek alapján – kissé talán meglepő módon – az mutatható ki, hogy ekkor az epilepsziás fókusz területére csökkent cukorfelvétel jellemző. Csakhogy sajnos egy roham után sokszor az epilepsziás zóna közvetlen környezetében is lelassul az anyagcsere, emiatt nem tudjuk elég precízen megállapítani az eltávolítandó terület határait. Pontatlan adatokkal pedig nem érdemes megkockáztatni az operációt, hiszen egy agyműtét során bármilyen apró hiba végzetes lehet. Ahhoz, hogy biztonságosan vághassunk neki a beavatkozásnak, valójában az lenne a legjobb, ha roham közben sikerülne feltérképeznünk az agy működését. Ilyen vizsgálatokat azonban nem könnyű megvalósítani, hiszen a beteg teste fölött éppen egy görcsös állapot vette át az irányítást! Heves, irányíthatatlan rángatózása annyira eltorzíthatja

Az agy aktív területei fényes foltként jelennek meg a rekonstruált képen



A PET-vizsgálat alatt a tomográf érzékelői között húzódó térfogaton dolgozunk. Itt helyezkedik el a páciens, akinek a mozgását a fejére helyezett jelzőminta segítségével követjük nyomon.

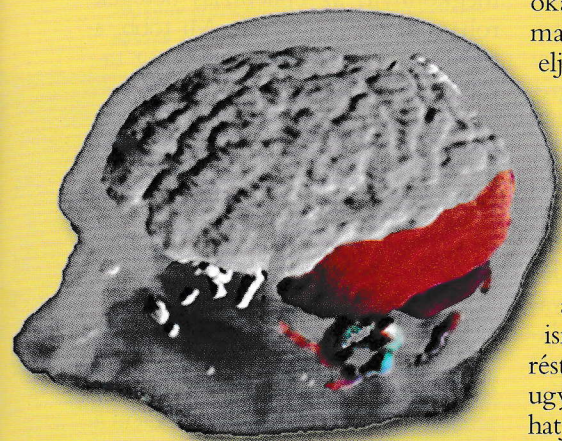
a mérés adatait, hogy azok diagnosztikai célokra használhatatlanná válhatnak. Ha a mozgás hatását valahogy képesek lennénk kijavítani, olyan ismeretekre tehetnénk szert az epilepszia során végbemenő biokémiai folyamatokról, amelyek nemcsak az adott páciens műtétéhez bizonyulhatnak kulcsfontosságúnak, hanem általánosságban segítenének megérteni a betegség okát és lezajlását. Kutatócsapatommal egy ilyen mozgáskompenzációs eljárás kidolgozását tűztük ki célul.

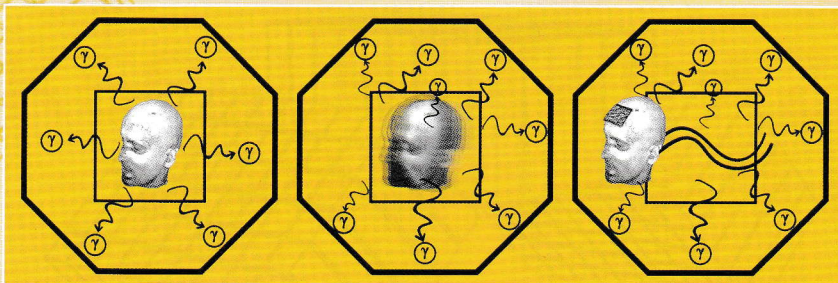
Nehéz helyzetben

Ami különösen nehéz feladattá teszi a rohamok alatti képalkotás során a mozgás ellensúlyozását, az a rázkódás rendszertelensége. Egyszerűbb a dolgunk, amikor valamilyen periodikusan ismétlődő mozgást, például szívverést vagy légzést vizsgálunk. Ekkor ugyanis a mért adatokat csoportosíthatjuk aszerint, hogy a mozgás melyik

fázisában keletkeztek. Például külön gyűjthetjük a be- és a kilégzés során érzékelt fotonbecsapódásokat, és mindkét csoportból egymástól függetlenül rekonstruálhatjuk az adott testrész képét. Így lenne egy felvételünk arról a helyzetről, amikor a tüdő a belégzés következtében ki van tágulva, és lenne egy másik arról, amikor a kilégzés után el van ernyedve. Sajnos az epilepsziás rohamokra nem az ilyen jól kezelhető, ismétlődő mozgások a jellemzők – a beteg rángatózása teljesen kiszámíthatatlan. Következésképpen más megközelítést kell találni a mozgás korrigálására.

A megoldáshoz jó kiindulópontul szolgálhat az a módszer, amellyel biokémiai folyamatok időbeli változását szokták megfigyelni PET-méréseknél. Ennek lényege, hogy a vizsgálat alatt nemcsak egyetlen felvételt készítenek, hanem egymás után többet is. Ilyenkor a mérés teljes időtartamát kisebb intervallumokra, úgynevezett





A szokásos rekonstrukciós eljárás feltételezi, hogy a páciens a vizsgálat alatt egy helyben fekszik. Ez jól működik mindaddig, amíg a beteg mozgása valóban elhanyagolható (balra), egyébként viszont elmosódott képet eredményez (középen). A mi módszerünk (jobbra) úgy javít ezen, hogy a mozgás szimulációját beépíti a rekonstrukciós számításokba.

időkeretekre osztjuk, és minden időkeretben külön-külön rekonstruáljuk a figyelemmel kísért testrészt. Vegyük észre, hogy ekkor minél kisebb részekre osztjuk fel az időt, a beteg mozgásának annál kisebb hányada esik egy-egy intervallumba, ebből adódóan annál kevésbé lesznek elmosódottak az előálló képek. Sajnos mégsem lehet túlságosan megnövelni az időkeretek számát, mert a számítási erőforrások, a tárhely és a rekonstrukciók elvégzéséhez rendelkezésre álló idő is korlátozott.

Bár ennek a technikának köszönhetően kevesebb mozgás kijavításával kell egyszerre megbirkóznunk, egy heves rángatózással járó roham tanulmányozásához ez még nem elegendő: egy-egy időkeretbe így is számottevő mozgás eshet. Hogyan lehetne ezt kezelni? A kulcs a beteg mozgásának beépítése az időkeretek rekonstrukciós számításaiba.

A mi mozgáskompenzációnk

Első lépésként valahogy figyelemmel kell kísérnünk és le kell írunk a mozgást. Ehhez mi egy, a tomográf belsejébe rögzített kamerát használunk: a vizsgálat előtt a fejre könnyen felismerhető jelzőmintákat helyezünk, majd később, a roham alatt ezek elmozdulása alapján követjük nyomon a koponya helyzetét.

A mozgáskompenzációs eljárásunk megértéséhez először tekintsük át, hogy hogyan történik egy kép rekonstrukciója. A PET-vizsgálat alatt a tomográf érzékelői között húzódó térfogaton dolgozunk. Itt helyezkedik el a páciens, aki ideális esetben ébren, de mozdulatlanul fekszik. Ahogy arról korábban szó volt, a páciens testében radioaktív nyomjelző található, amelynek bomlása

következtében foton sugárzás keletkezik. A PET-gép méri, hogy hol és mennyi foton csapódik be az érzékelőbe, a feladatunk pedig az, hogy ezen detektálások mintázatából kiszámoljuk a nyomjelző eloszlását a testben. A rekonstrukció során egy iteratív finomítást hajtunk végre. Kiindulunk valamilyen kezdeti becslésből a nyomjelző eloszlására vonatkozóan, és megpróbáljuk megjósolni, hogy ez az eloszlás hol és mennyi fotonbecsapódást váltana ki. Ezt a leképezést a tomográf által nyilvántartott statisztika alapján számoljuk ki, amely azt adja meg, hogy a térfogat egy adott pontjában kibocsátott fotont az érzékelő melyik pontjában mekkora valószínűséggel fogjuk detektálni. Miután megkaptuk a ténylegesen mért fotonbecsapódások adatait az érzékelőberendezéstől, összehasonlítjuk azokat a jóslatunkkal, majd a kettő közti eltérés alapján korrigáljuk a korábbi nyomjelzőeloszlás-becslésünket. Ezt a folyamatot ismétljük addig, ameddig elég pontosak nem lesznek a jóslataink. Amikor ez bekövetkezik, a számítások leállíthatók – elkészült a kép az adott időkeretről.

Láthatjuk, hogy ez az eljárás nem veszi figyelembe, hogy a beteg mozoghat a mérés közben – a rekonstrukciót azt feltételezve hajtja végre, hogy az alany végig egy helyben volt. Nem meglepő tehát, hogy még a vizsgálat időkeretekre osztása után is elmosódottak lehetnek a felvételek. A páciens mozgásának rekonstrukcióba építését a következőképpen valósítjuk meg. Mivel a kamerától folyamatosan érkeznek be a helyzetadatok a beteg pozíciójáról, a mozgás voltaképpen a nyomjelzőeloszlás-becslés szempontjából is szimulálható:

ahelyett, hogy a rekonstrukció során statikusnak tekintenénk, egy időke-reten belül is mindig a páciens helyzetének megfelelően pozicionáljuk az eloszlást. Ehhez az időkereteket tovább osztjuk kisebb időlépésekre, és minden időlépésben külön-külön jósoljuk meg az akkorra várható fotonbecsapódások mintázatát. Ezt az alapján tesszük meg, hogy a beteg teste, és benne a nyomjelző az adott időlépésben hol helyezkedett el a tomográfban belül. Végül az egyes időlépésekre számított jóslatokat összegezzük, és ezt használjuk fel az iterációs lépés elvégzése során. Hasonló szimulációt bonyolítunk le akkor is, amikor az eloszlásbecslésünket a jóslott és a ténylegesen mért fotonérzékelések eltérése alapján korrigáljuk, csak ott a mozgást visszafelé játsszuk le.

Ily módon nem az elvégzendő rekonstrukciók számának továbbnövelésével ellensúlyoztuk a mozgást, hanem az egy rekonstrukció során végzett iterációs lépéseken javítottunk. A számításokba illesztett szimulációk gyorsan elvégezhetők, szinte semmi többletidőt nem jelentenek a többi, bonyolultabb rekonstrukciós művelet mellett. Az eljárás egy kedvező tulajdonsága az is, hogy rendkívül pontos: mivel az időlépések méretét mi választjuk meg, megtehető, hogy amikor pontosabb szimulációra van szükségünk – mert például hevesebben mozgott a beteg –, akkor még gyakrabban korrigáljuk a nyomjelző becslt pozícióját.

Ezen egyszerű szimulációk hozzáadásával sikerült elérnünk, hogy a PET-rekonstrukció kezelni tudja a páciens folyamatos mozgását. Ez egy olyan előrelépés, amely lényegesen megkönnyíti az epilepsziás betegek roham alatti vizsgálatát. Mi több, a technikát bármely más betegség tanulmányozásakor is fel lehet használni, ahol a páciens nem tud mozdulatlan maradni, így többek között a Parkinson-kór, a Tourette-szindróma, valamint az agyhártya- és az agyvelőgyulladás bizonyos típusainak vizsgálata is megbízhatóbbá válik. A kifejlesztett eljárás nemsokára éles PET-szoftverbe is be fog kerülni – reméljük, hogy életet menthetünk majd vele.

VARNYÚ DÓRA