

El naixement de la magnetoscòpia

per François de Closets

Tumors que fins ara cap tècnica d'exploració del cos humà no permetia descobrir, poden detectar-se avui mitjançant la ressonància magnètica nuclear, i, això, sense exposar el pacient a les radiacions ionitzants.

Assabentar-se que existeix un nou sistema per examinar l'interior del cos humà és sempre una notícia important. És evident que no manquen mètodes d'exploració intracorporals: radioscòpia, endoscòpia, gammagrafia, ecografia... L'únic problema dels espeleòlegs de les vísceres és l'elecció. No obstant això, no estan del tot satisfets. Cadascun d'aquests mètodes presenta límits i inconvenients; només aporten un determinat tipus d'informació. Cal combinar-los per aconseguir les dades desitjades. A més a més, aquest arsenal de mètodes, malgrat els progressos més recents, està encara molt lluny d'assegurar una exploració completa del cos humà. Massa sovint, el metge descobreix tard la malaltia: és el cas, especialment, de totes les formes de tumor.

Aquesta novetat bé podria anomenar-se "magnetoscòpia", de la mateixa manera que es parla de gammagrafia o de radiografia, ja que fa servir fenòmens magnètics per observar l'interior del nostre cos. Aquest efecte, la Ressonància Magnètica Nuclear, la R.M.N. en l'argot dels especialistes, és conegut des de fa trenta-cinc anys. De fet, els especialistes eren els únics que en parlaven, puix que aquest efecte els era molt útil per realitzar les més precises anàlisis d'espectrometria i, en aquest aspecte, ha proporcionat serveis dignes d'ésser apreciats. Però es tractava d'una tècnica de laboratori, coneguda tan sols pels químics.

Des de fa poc, la R.M.N. ha sortit d'aquest cercle estret per fer la seva aparició dins dels hospitals. A Gran Bretanya, als Estats Units, a Ale-

manya, alguns malalts s'assabentaren que serien sotmesos als "exàmens de la R.M.N." i, de fet, així fou. Potser els han mostrat una imatge fantasmagòrica molt poc diferent d'aquelles que donen els altres mètodes d'examen. No obstant això, si aquesta tècnica manté les seves promeses, presentarà diversos avantatges. En primer lloc, no utilitza cap radiació ionitzant; per consegüent, és d'una innocuïtat quasi total. D'altra banda, permet de veure allò que no apareix a les altres imatges. Encara que aquest resultat demani confirmació, hauria de permetre, en especial, la detecció de tumors no observables pels altres mitjans.

Aquest sol fet, o aquesta sola esperança, seria suficient per explicar aquest apassionament actual. La posta a punt d'una tècnica per detectar de forma més precoç els tumors és tant important com el descobriment d'una nova teràpia. De fet, fou suficient que es demostrés la possibilitat de realització, perquè les recerques s'acceleressin bruscament.

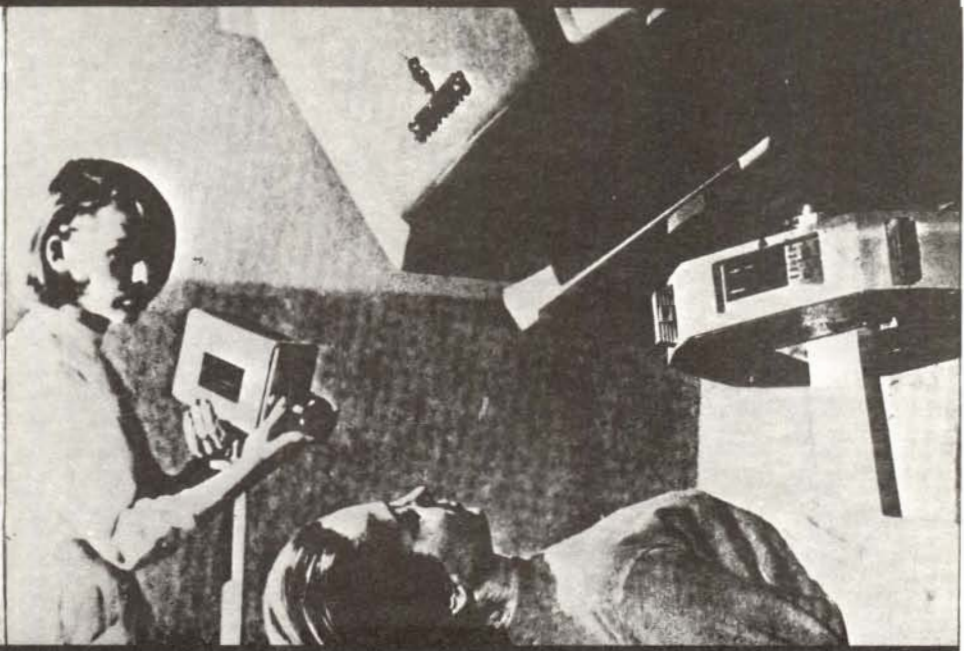
1982, any decisiu

Fa uns deu anys, un nord-americà, el Dr. Raymond Demadian, fou qui primer llançà la idea que els teixits

cancerígens no presentaven la mateixa imatge en R.M.N. que els teixits sans. La hipòtesi, en aquella època, semblava un atreviment. Poc temps després, un altre nord-americà, P. Lauterbur, obtenia les primeres imatges de mostres biològiques preses mitjançant la R.M.N. Fou aleshores que observà clarament una diferència d'aspecte entre la imatge d'un teixit sa, i la d'un teixit cancerigen. Amb tot, encara calgué treballar molt de temps *in vitro* sobre mostres de petites dimensions. Tan sols molt recentment s'ha passat a treballar amb éssers vius. El 1978, Lauterbur aconseguia els primers clixés d'un animal viu de petites dimensions, tot s'ha de dir: un ratolí. A partir de l'any següent, Demadian presentava els primers clixés d'un cos humà sencer. Es necessitaren de deu a trenta minuts per prendre una imatge, però la realització d'aquest prototipus d'scanner R.M.N. accelerà el moviment. Avui dia, hi ha aparells en fase d'experimentació a diversos hospitals del món. Els simposis on els especialistes comparen la qualitat de llurs imatges es multipliquen. Totes les grans empreses s'han abocat a aquest camp: els nord-americans, els anglesos, Philips, Siemens i, a França, la Companyia General de Radiologia del grup Thomson, que ha obtingut, recentment, les seves primeres imatges. L'apassionament és tan fort dins l'àmbit de la radiologia, que ja hi ha qui comença a temperar aquest entusiasme, recordant que encara s'ha d'avaluar l'interès d'aquest mètode, tant des del punt de vista del diagnòstic, com des de l'econòmic. Per con-

Fig. 1

L'exploració interna del cos humà té molts mètodes però també moltes limitacions. La magnetoscopia pot aportar informació fins ara inaccessible.



següent, 1982 hauria d'ésser l'any decisiu per a l'scanning R.M.N.

Per continuar aquesta aventura de l'exploració intracorporal, s'ha de tornar al fenomen físic de base. Aquest, descobert el 1945 per E.M. Purcell i F. Bloch, consisteix a provocar un cert tipus de "vibració magnètica" dels nuclis atòmics, la qual permetrà identificar aquests nuclis i, fins i tot, conèixer l'entorn on es troben. Si comparem els nuclis atòmics amb campanes, la R.M.N. permetrà atiar-los i escoltar-ne amb molta cura el so per poder reconèixer-los i, fins i tot, explorar el medi on repercuteixen aquestes vibracions.

En termes físics, com indica el qualificatiu, "nuclear", l'efecte se centra sobre el nucli atòmic, que es compon de partícules pesants: nucleons, on es barregen protons de càrrega elèctrica positiva i neutrons sense càrrega elèctrica, que precedentment feia coexistir al mateix nivell d'energia àtoms de moments magnètics contraris, es troba llavors dividida en dos, amb una part dels àtoms en un nivell i una altra part en un altre. Entre les dues parts es crea un decalatge proporcional a la intensitat del camp aplicat.

Ara bé, la repartició no es duu a terme de forma equitativa. Podem constatar que el nivell corresponent a l'estat $+1/2$ és netament més poblat que l'altre, segons l'equilibri termodinàmic que pobla amb avantatge els nivells amb energia més baixa. Fem notar des d'ara una característica essencial per a la continuació: els nivells d'energia en què es reparteixen els àtoms, en el cas que depenguin del

camp magnètic aplicat, són igualment específics per als àtoms considerats. En efecte, per a cada nucli existeix un acoblament giromagnètic que defineix l'espectre dels estats magnètics autoritzats en funció d'un camp donat. Es a dir, que aquí tenim els elements d'una espectrometria magnètica —de la mateixa manera que els nivells d'energètica. Aquestes partícules posseeixen un cert nombre de grandàries característiques, els famosos números quàntics, que es refereixen a diverses propietats: massa, moment cinètic, càrrega... Entre aquestes hi ha un moment magnètic. Des d'aquest punt de vista, podem comparar la partícula a un microimant dipolar.

Fixem-nos ara en l'àtom més senzill, el de l'hidrogen, el nucli del qual es compon només d'un protó. La mecànica quàntica autoritza el protó a prendre solament i única dos estats, l'estat $+1/2$ i l'estat $-1/2$. En absència d'un camp magnètic extern, aquestes diferències d'estat no corresponen a nivells d'energia decalats. Són, com diuen els físics, nivells "degenerats".

Si ara apliquem un camp magnètic a una població de nuclis, podem comprovar que aquests es reparteixen entre dos nivells d'energia de sentit oposat segons alineï llurs moments magnètics en paral·lel o no a la direcció del camp extern. Això és el paramagnetisme nuclear. Aquesta població gèica electrònica permeten dur a terme una espectrometria dins una altra gamma de l'espectre electromagnètic. Dit amb altres paraules, existeix potencialment una marca magnètica del

nucli. Aquesta es caracteritza per una repartició específica dels estats energètics, i permetrà eventualment una identificació.

Però, arribats a aquest punt, hem de fer ja una advertència important. Aquesta marca magnètica existeix tan sols quan el nucli no és magnèticament neutre: no han d'anul·lar-se els moments magnètics de les partícules que el constitueixen. Aquest és el cas del nucli d'hidrogen amb un sol protó. Per als nuclis més complicats, no hi ha dubte que els moments magnètics dels diferents àtoms es combinaran, com els nivells electrònics dels diferents àtoms que constitueixen una molècula. D'això en resultarà un moment magnètic global. Quin serà aquest?

Tot dependrà de la composició del nucli. Prenem el cas del carboni 12: sis protons i sis neutrons. La simetria és perfecta dins la composició entre masses i càrregues. En aquest cas, tot s'anul·la i el nucli no posseeix un moment magnètic propi. Es una mena de "neutró" en el pla magnètic: no manifesta paramagnetisme nuclear. Amb el carboni 13 tot canvia: aquí trobem números senars o una ruptura de l'equilibri entre els constituents. D'aquest desequilibri naixerà un paramagnetisme propi que permetrà la segregació dels nuclis sota la influència d'un camp magnètic. D'entrada, s'eliminen del camp de la R.M.N., tots els àtoms els nombres de masses i de càrregues atòmiques dels quals són parells.

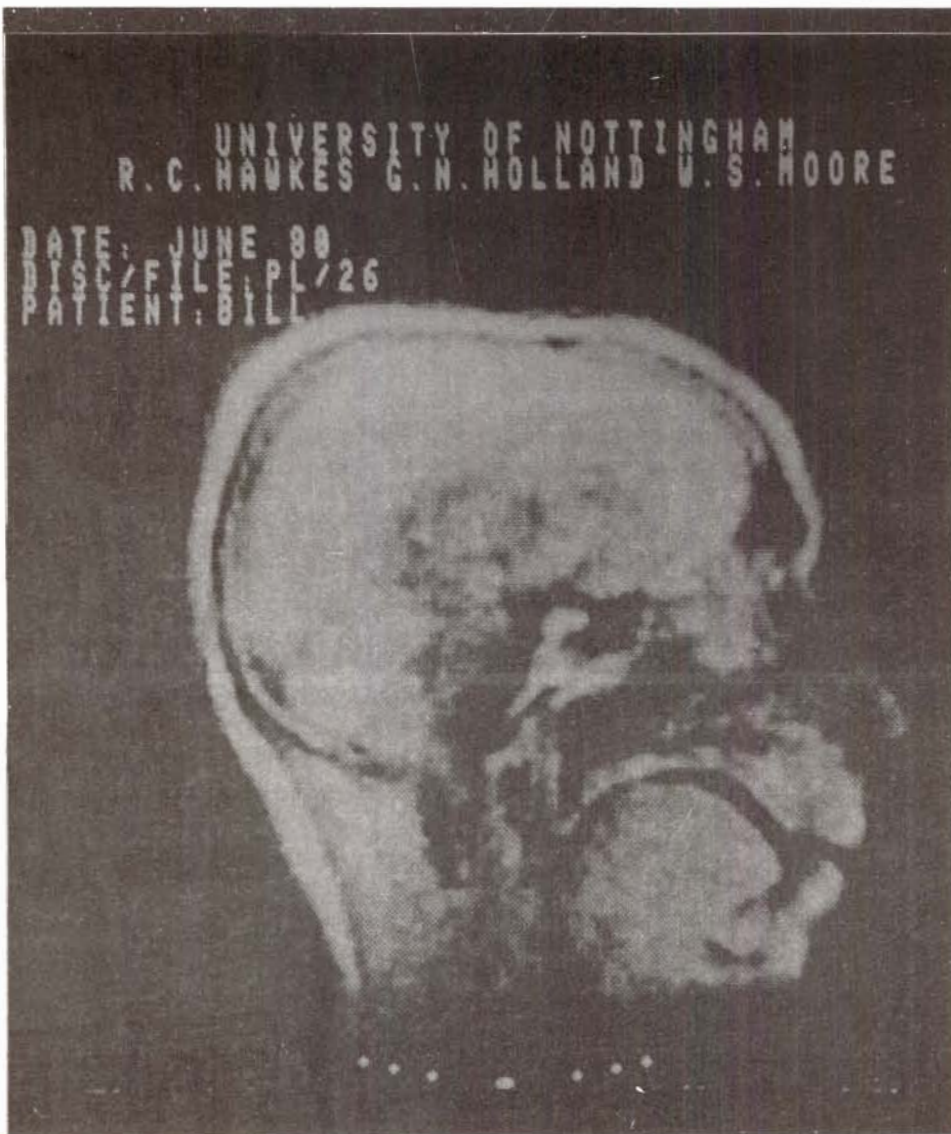


Fig. 4

La RMN permet l'adquisició d'imatges en tots els plans (axial, sagital i frontal) sense que el pacient hagi de moure's. Aquí veiem una secció cranial axial.

Fer "vibrar les campanes"

Tornem a aquesta població atòmica repartida de forma desigual sobre les dues branques de la seva perxa magnètica. D'un nivell a l'altre existeix un decalatge energètic, una transició. Aquesta correspon a l'emissió, en forma d'energia electromagnètica, d'un fotó l'energia del qual exactament igual a aquesta transició. Com que hi ha poca diferència entre aquests nivells, la transició és feble, i el fotó corresponent no se situa pas dins la gamma de radiacions dures: X o ultraviolades, ni tampoc en la del visible o de l'infraroig. Aquestes transicions corresponen a fotons de ràdio situats dins la gamma centimètrica. Ens trobem dins les hiperfrecüències.

Pel que es veu, les coses no resten fixades en aquest estat. Hi ha àtoms que continuament passen d'un estat a l'altre. Cada cop que un àtom passarà del nivell $-1/2$ al nivell $+1/2$ (en el cas de l'hidrogen), perdrà l'energia

corresponent a la transició, és a dir, emetrà un fotó de ràdio de la freqüència corresponent. La població atòmica dins el seu camp magnètic emetrà, per emissió espontània, radiofotons corresponents a aquesta transició. No obstant això, aquestes emissions espontànies es fan d'una manera desordenada, incoherent i constitueixen un soroll de fons molt feble, que no es pot diferenciar de l'agitació tèrmica fonamental. Sota aquest aspecte, el senyal és totalment inútil per poder identificar els àtoms. Per detectar el senyal, caldrà fer "vibrar les campanes"...

Imaginem-nos que s'envia una ona hertziana amb una freqüència que correspon exactament a l'energia de transició entre els dos nivells. Un gran nombre d'àtoms situats al nivell més baix, en absorbir un d'aquests fotons, començaran a "saltar" al nivell superior. El nivell superior augmentarà la seva població en detriment del nivell inferior. Tot això transcorre com si s'utilitzés un ventilador per sota d'una catifa de globus. Aquests darrers, por-

tats per ratxes d'aire, es posen a flotar en l'espai a una determinada alçada en lloc de quedar-se a terra en repòs. Però bastarà que tanquem el ventilador perquè els globus tornin a baixar a terra. I és aquí, precisament, on es veu l'efecte fonamental de la R.M.N.

Quan el nivell superior està poblat fins al punt d'albergar, per exemple, la meitat de la població, s'interromp bruscament el senyal. En aquest moment, els àtoms es relaxen. Un cert nombre d'aquests tornen a passar a l'estat de menor energia fins que retroben la repartició anterior de l'equilibri termodinàmic. En tornar a caure, aquests nuclis emeten fotons corresponents a la transició energètica, és a dir, de la freqüència del senyal. Però, mentre que els fotons, durant l'emissió permanent i espontània, eren emesos amb un desordre total, aquesta vegada l'emissió es duu a terme de manera sincronitzada i coherent. Per consegüent, l'emissió ja no és la d'un simple soroll de fons sinó la d'un senyal veritable. Aquest és el principi fonamental de la R.M.N., un mecanisme que ha permès el desenvolupament d'un mètode original d'espectrometria.

Exploració del nucli i del seu entorn

Sobre aquest principi, podem imaginar-nos un primer mètode d'ex-

Fig. 3

Secció sagital del crani, obtinguda, igual que la imatge anterior, a la Universitat de Nottingham.

ploració molt senzill. En un principi, les marques magnètiques d'un cert nombre d'àtoms són identificades, i també s'identifiquen llurs espectres. Posteriorment, una substància que es vol explorar és escombrada en freqüència després d'haver estat situada dins un camp magnètic. Llavors s'observen els nivells de ressonància aconseguits, i, segons llur freqüència, pot detectar-se la presència d'aquest o d'aquell àtom. Elemental; però la R.M.N. es revela molt més útil.

En efecte, l'àtom sol·licitat no es conforma amb emetre la seva vibració característica, sinó que també ofereix informacions sobre el seu medi. Això vol dir que el nucli atòmic no es troba aïllat. Forma part d'un conjunt molecular, lligat, també aquest, a tot un entorn. Ara bé, la resposta R.M.N. es troba pertorbada en funció d'aquest entorn. Donem dos exemples. D'una banda, el nucli es veu envoltat per un seguici electrònic el de l'àtom o el de la molècula, segons el cas. Aquestes càrregues elèctriques negatives en rotació constitueixen una pantalla magnètica pertorbadora que influeix sobre el senyal. D'altra banda, el nucli està acoblat magnèticament als nuclis que es troben dins del seu entorn pròxim. Encara aquí continuen havent-hi interferències; els moments magnètics són decalats per la presència d'aquest entorn.

D'això en resulta que el senyal R.M.N. d'un àtom d'hidrogen no és pas el mateix, segons si es troba en una molècula d'aigua, de metà o d'amoniac. I, naturalment, no ens acontentem pas amb detectar el senyal de l'àtom d'hidrogen aïllat; l'obser-

NMR HEADSCAN 24 JAN 80
PATIENT W S M SCAN TIME 2 MINS



W S MOORE G N HOLLAND R C HAWKES

vem també dins dels seus diferents entorns moleculars. D'aquesta forma, el senyal obtingut, a més d'indicar la presència d'un àtom d'hidrogen, pot igualment precisar l'entorn molecular dins del qual es troba aquest àtom.

L'àtom de fòsfor 31 és així conegut perquè proporciona una clara resposta a la R.M.N. Però es pot distingir entre el senyal de fòsfor present en els fosfats inorgànics, el fòsfor d'una molècula d'A.T.P. i el de la fosfocreatina, per exemple. Aquesta possibilitat ha estat recentment utilitzada amb èxit per l'equip del doctor Radda d'Oxford per detectar, mitjançant la R.M.N., una malaltia molt rara: la síndrome de Mc Ardle. El pacient, de cinquanta-un anys, es queixava d'un cansament constant, com si el més mínim esforç muscular el cansés de forma anormal. Els metges d'Oxford el sotmeteren a un test d'esforç —obrir i tancar el canell—, mentre el seu braç era sotmès a un examen R.M.N., centrat en l'observació del fòsfor. Es descobrí que la proporció de fosfocreatina variava de manera anormal en el

transcurs de l'exercici, i mostrava una deficiència de l'organisme en la fabricació de l'enzim fosforilasa. Els exàmens clàssics confirmaren el diagnòstic que s'havia obtingut sense recórrer a sostraccions, biòpsies i anàlisis: únicament mitjançant un examen exterior sense perill i sense dolor.

Actualment s'intenta seguir el cicle del fòsfor 31 mitjançant la R.M.N., per poder conèixer millor certs processos de cancerització. En efecte, és molt important poder observar un procés de transformacions bioquímiques sense pertorbar-lo. Des d'aquest punt de vista, l'espectrometria R.M.N. podria completar els diferents mètodes de traçadors radioactius. Però les possibilitats de l'anàlisi espectral R.M.N. han suscitat ja d'altres recerques. S'intenten realitzar mesures dels tumors de pit a partir de l'oxigen 17 . Es pensen detectar algunes formes de càncer mitjançant el sodi 23 , que existeix en quantitats més febles a les cèl·lules cancerígenes que a les cèl·lules sanes...

Es gairebé segur que es desenvolupa

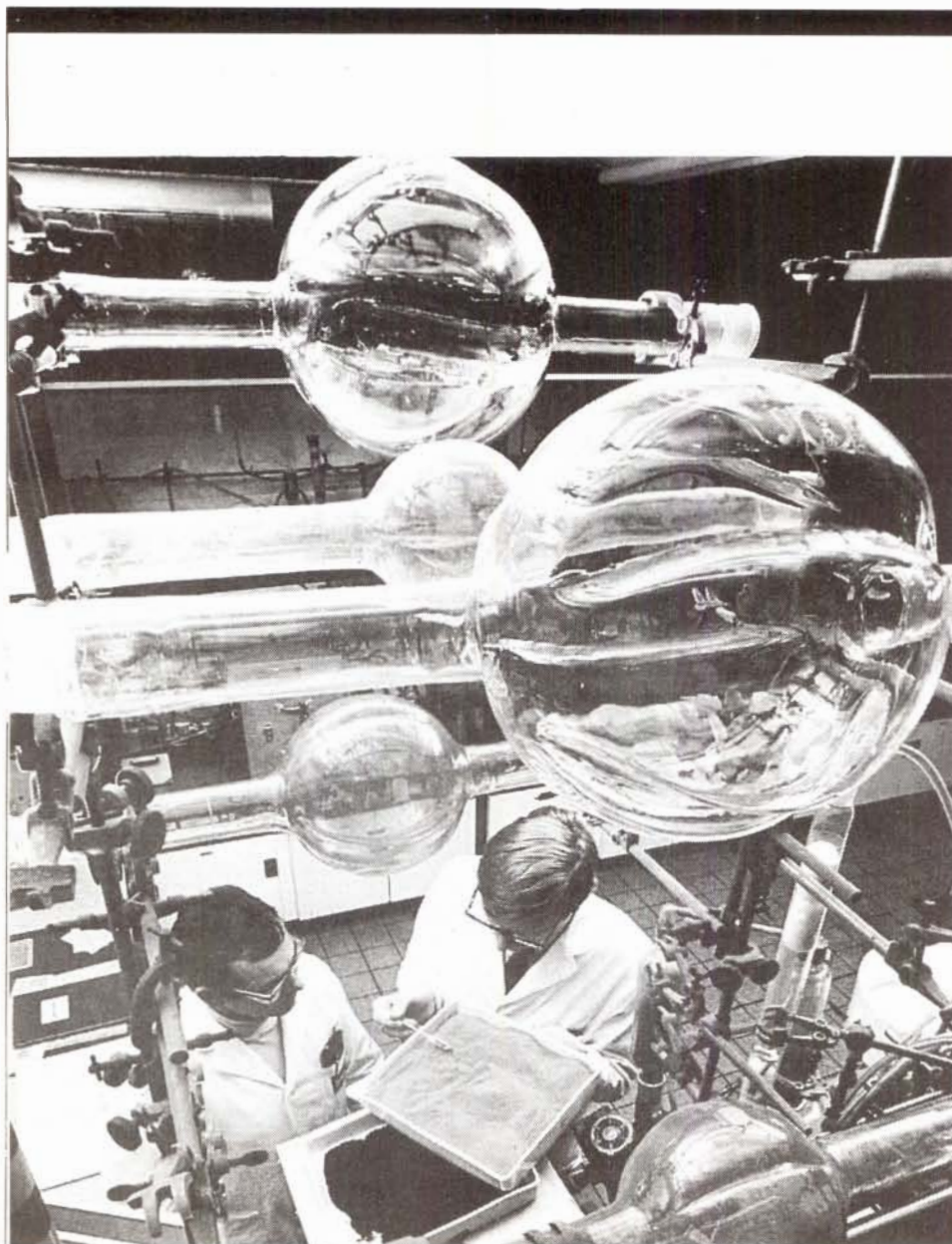


Fig. 4
Instal·lació de scanning RMN.

paran aplicacions mèdiques perquè els avantatges d'aquesta "tele-anàlisi" espectral són evidents, ja que permeten una observació bioquímica intracorporal sense sostraccions i sense recórrer a radiacions ionitzants. Evidentment, encara caldran llargues recerques per definir les normes d'utilització precises en els casos d'aplicació fructuosa.

Mapa de la proporció d'aigua en el cos humà

No obstant això, l'interès principal de la R.M.N. mèdica s'ha concentrat en les imatges. Ja no es

tracta aquí de cercar substàncies o d'efectuar anàlisis, sinó d'obtenir una imatge, qüestió ja totalment diferent. Amb aquesta finalitat ens interessarem principalment pel nucli que, a la vegada que és molt freqüent dintre de l'organisme, proporciona una excel·lent resposta R.M.N.: el nucli d'hidrogen. En principi es tractaria d'aconseguir una emissió R.M.N. de tots els nuclis d'hidrogen presents al cos humà o, si més no, dintre de la part de cos que ens interessa. L'interès d'un mapa de l'hidrogen d'aquest tipus és comprensible si recordem la manera extremadament variable amb què els teixits responen a l'examen R.M.N. d'hidrogen. Alguns teixits emeten d'una manera molt forta, i d'altres de forma més feble. La raó és que l'hidrogen es troba majorment en

les molècules d'aigua. Per consegüent, el senyal R.M.N. va molt lligat a la proporció d'aigua que tenen els teixits. Ara bé, aquesta proporció és variable: culmina a la matèria grisa amb més del 80%, se situa al voltant del 70% al fetge o a la pell i es redueix al 12% a l'esquelet. És a dir, els ossos donaran un senyal molt feble, mentre que el cervell serà molt lluminós...

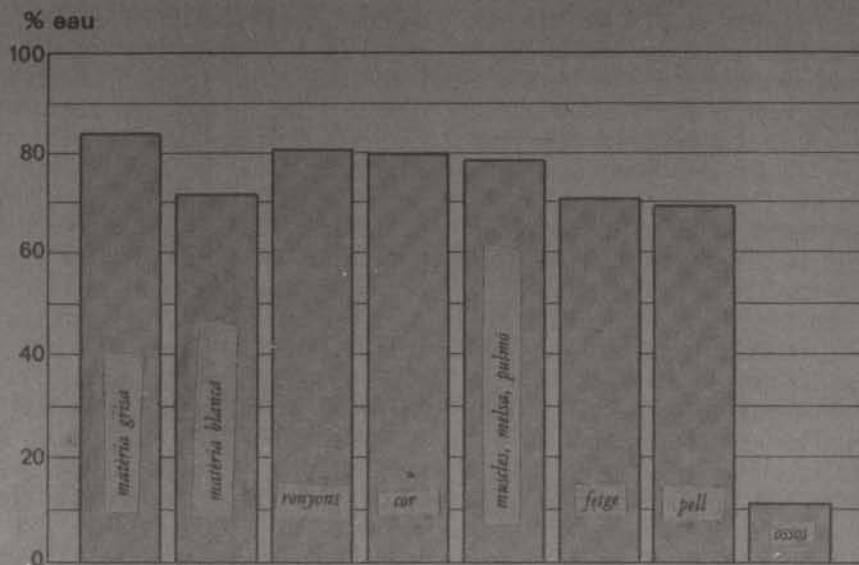
Imaginem-nos que fem d'aquesta manera un mapa del cos humà. En certa mesura seria un "mapa de la proporció d'aigua", que distingiria els òrgans segons aquest criteri. Aquest fet té molta importància per a un cert nombre d'exàmens, ja que els altres mètodes no reflecteixen aquests contrastos. Sobre aquestes imatges podríem veure certs detalls que no apareixerien pas en clixés radiològics clàssics. Per exemple, l'alta resolució que podria assolir-se amb aquesta tècnica i els forts contrastos entre l'esquelet i el seu entorn podrien posar en evidència detalls poc visibles amb els raigs.

No obstant això, el gran interès, la gran esperança de les imatges aconseguides amb la R.M.N. continua essent la detecció de tumors naixents. ¿Com podria una imatge del cos fonamentada en la "fotografia de protons" conduir a un resultat semblant? De fet, els especialistes encara no són totalment capaços d'explicar les raons que distingeixen, per aquest procediment, els teixits sans dels teixits malignes. Només es troben a l'estadi de la comprovació, i això no és gaire fàcil.

En efecte, la distinció no és molt evident si ens conformem a fer una

Fig. 5

Les diferents concentracions d'aigua, és a dir, de nuclis d'hidrogen, a diversos òrgans del cos humà.



imatge banal que reflecteixi la intensitat del senyal, és a dir, la densitat de protons a cada punt. Ha de realitzar-se un examen més subtil per poder veure com s'accentuen les diferències. Tot el sistema es basa en les formes d'amortiment del senyal. Tornem ara un instant al fenomen fonamental: aquest àtom-campana que, a la freqüència de ressonància, es posa a vibrar. Aquesta vibració, molt neta després d'aturar el senyal d'hiperfreqüència, s'amorteix i desapareix. Com succeeix això? El senyal influït per l'entorn és una emissió del medi, que no solament té en compte la suma dels senyals individuals, sinó també les relacions entre els diferents àtoms i els paràmetres que defineixen la matèria dins la mostra. I és en descompondre aquest senyal de forma més acurada, de forma en certa manera qualitativa, i no ja solament quantitativa, que se'n podrà extraure el màxim d'informació. Per això, caldrà estudiar amb molta atenció la manera de relaxar el senyal després de l'excitació en hiperfreqüència.

Aquest amortiment es realitza mitjançant la pèrdua de qualitat de l'ona, i després per reequilibrament termodinàmic. El primer fenomen, el més curt, que els físics (desgraciadament!) batejaren amb el nom de T_2 , és el temps de relaxació transversal: és el temps durant el qual les emissions individuals perden llur coherència, destrossant d'aquesta manera la qualitat del senyal. Aquesta pèrdua de coherència té lloc encara més ràpidament quan els àtoms es troben en situacions més contrastades, i, per consegüent, les emissions inicials es fan segons

freqüències més dissemblants. Si el medi és completament homogeni, el pic del senyal correspon a una emissió de gran coherència, és molt estret i el temps de relaxació T_2 serà molt llarg, puix que el senyal conservarà durant un cert temps la seva coherència. Si, contràriament, el medi és molt heterogeni, els àtoms emetran, des del començament, en freqüències bastant decalades; l'espectre serà gran i la pèrdua ràpida de coherència comportarà una degradació de l'emissió. L'observació d'aquest primer paràmetre donarà un cert tipus d'informacions sobre el medi.

D'altra banda, es considera el temps de relaxació longitudinal T_1 , que tradueix el retorn a l'equilibri termodinàmic, la realineació dels moments magnètics dins el camp després de la desaparició del senyal d'hiperfreqüència. Aquest fenomen depèn molt de l'entorn molecular. Per exemple, si observem protons dintre de les molècules d'aigua líquides, l'acoblament de molècules entre si és relativament feble. Per això, T_1 serà relativament llarg, podent arribar fins i tot a un segon. Si, al contrari, es tracta d'àtoms d'hidrogen a l'interior d'una matèria plàstica, les molècules són molt més interactives i el temps T_1 podrà ésser mil vegades més curt. És, per tant, un altre tipus d'informació sobre el medi.

Evidentment, encara resta per diferenciar els paràmetres T_1 i T_2 dins l'amortiment del senyal R.M.N. Sense entrar en els detalls de les tècniques R.M.N., diguem que, avui dia, jugant amb la cadència que són enviats els senyals d'hiperfreqüència, es

poden fer ressaltar aquests dos paràmetres. En aquest moment apareix l'especificitat dels teixits malignes, que distingeix la imatge presa sobre el temps de relaxació T_2 dels teixits sans. Es encara molt aviat, repetim-ho, per saber fins a quin punt aquest mètode permetrà una detecció més precoç dels càncers. L'experimentació hospitalària no ha fet altra cosa que començar.

Aparells delicats per posar a punt

Tan sols mancava passar d'un principi físic a un aparell operacional, és a dir, a un veritable scanner. Això no és fàcil, com podem imaginar-nos, i diverses tècniques han estat ja posades en pràctica. Una d'aquestes, utilitzada per la C.G.R., sembla la més prometedora. El principi consisteix en la creació d'un camp magnètic perfectament uniforme dins un volum capaç de contenir el cos del pacient. Aquesta és una primera exigència, i una de les més difícils de realitzar, puix que cal aconseguir una homogeneïtat espacial de l'ordre de 10^{-3} , com a mínim; molt superior, per exemple, a la que es realitza per als acceleradors de partícules. El senyal d'hiperfreqüència serà calculat perquè sigui lleugerament inferior a la freqüència de ressonància per a un camp d'aquest tipus. Recordem que aquesta darrera

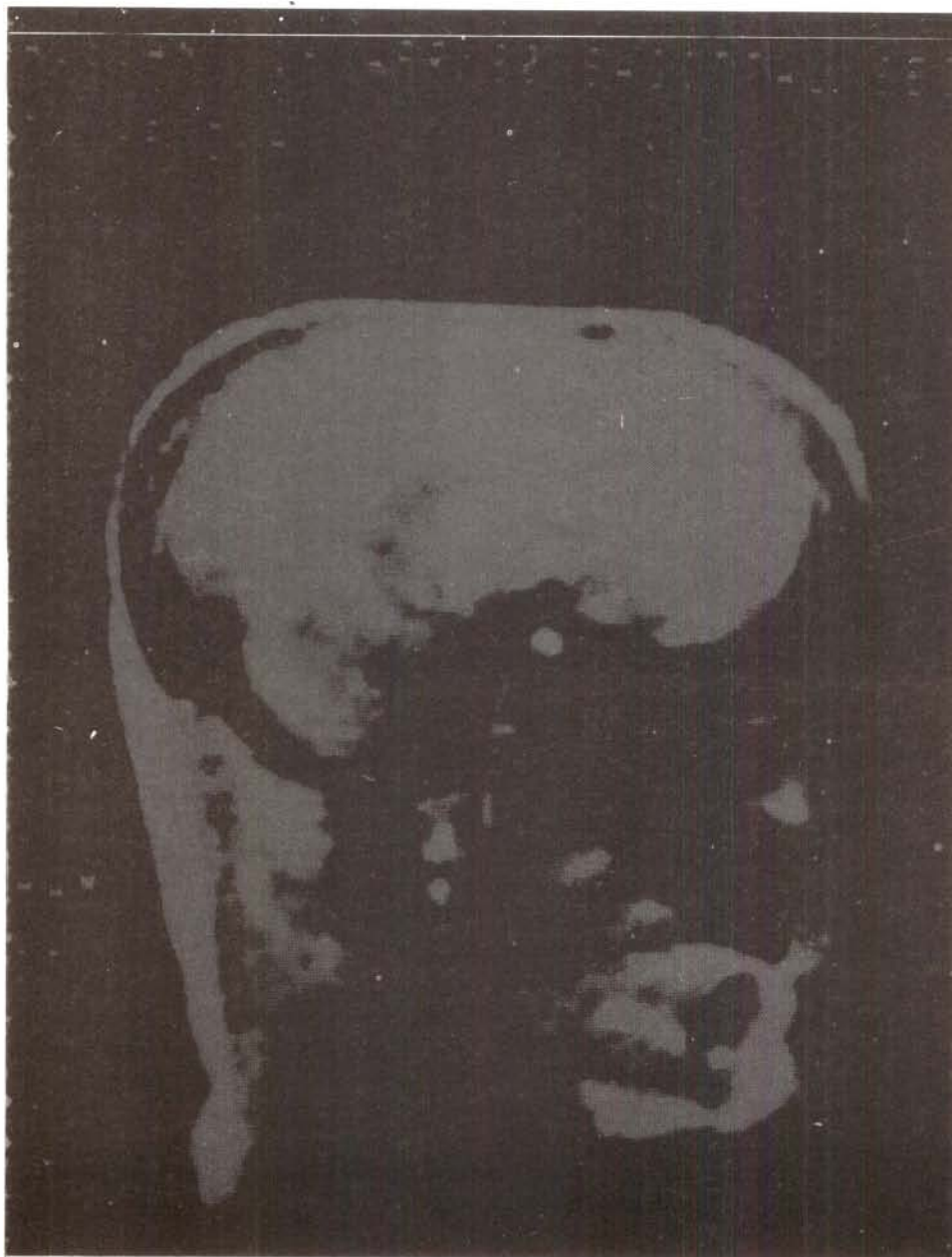


Fig. 6
Secció sagital de crani.

varia en funció del camp aplicat. Això vol dir que, dins aquesta situació inferior al límit, hi ha dues solucions per assolir el llindar crític. Una seria incrementar lleugerament la freqüència, i l'altra augmentar el valor del camp per assolir d'aquesta forma el llindar en què s'aconsegueix la ressonància a la freqüència donada. És aquesta segona solució la que ha estat escollida.

Al camp magnètic fix i homogeni se superposa un camp la intensitat del qual varia dins l'espai, un camp deliberadament no homogeni el gradient del qual, però, es coneix perfectament. Els dos camps se sumaran en cada punt. En un cert lloc, al llarg d'una línia o d'un pla, la suma dels dos assolirà el valor exacte en el qual els àtoms d'hidrogen entren en ressonància amb el senyal d'hiperfreqüència. Per tant, solament quan els àtoms es troben en aquestes condicions, en

aquest punt, sobre aquesta línia o dins aquest pla, entraran a la R.M.N. i emetran el senyal. Així es podrà localitzar perfectament, sobre la imatge que s'ha de construir, el lloc d'on prové el senyal en aquest precís instant. Un instant després, el camp irregular es veurà lleugerament decalat i les condicions de la ressonància es trobaran reunides sobre el pla o la línia del costat. D'aquesta manera podrà seguir-se l'escombrada amb totes les possibilitats d'exploració tridimensional que ofereixen, d'ara endavant, les tècniques de l'scanning.

Un intal·lació d'scanning R.M.N. es compondrà de l'imant permanent que assegurí el camp estable dins el cercle complet, l'electroimant que controlí el camp amb gradient espacial, el sistema emissor-receptor d'hiperfreqüència, un rellotge de sincronització, i finalment, i sobretot, un

sistema informàtic que tracti els senyals i construeixi les imatges. Degut que aquesta tècnica només pot aplicar-se, evidentment, en condicions de pilotatge constant per part d'un ordinador, no pot considerar-se aquest com la part menys important de l'equip.

Ara es tracta de saber fins a quin punt arribarà el poder discriminant d'aquest mètode. ¿Es podrà fer aparèixer a les imatges diferències visibles entre els diferents teixits, basant-nos en el fet que posseeixen proporcions distintes d'aigua? Aquesta és la primera qüestió. La segona és la de conèixer el grau de precisió que serà possible assolir en l'exploració del cos humà. En principi, s'hauria d'obtenir una resolució molt fina. En quines condicions podríem assolir resultats semblants?

Tercera qüestió: Què es podrà deduir disposant d'una senzilla imatge? A més a més de la diferenciació de teixits sans —teixits cancerígens, la R.M.N. podria permetre altres observacions. Es pot, per exemple, utilitzar aquest mètode per seguir el cap al d'un líquid. Quins beneficis podria extreure la cardiologia, posem per cas, d'una observació en R.M.N. de la circulació sanguínea? I un altre problema encara: l'anàlisi del temps de relaxació, ¿conduirà a fer altres distincions o a identificar altres fenòmens? A partir d'aquests aparells, ¿podran fer-se observacions R.M.N. sobre altres àtoms per permetre altres observacions? I, naturalment, caldrà saber quant costaran aquests aparells.

Sabem ja que ho seran tot, menys

Fig. 7

Composició del primer aparell d'exploració per ressonància magnètica nuclear utilitzant el nucli d'hidrogen com a suport d'informació.

1. Circuit magnètic del camp director.
2. Circuit d'emissió del camp de radiofreqüència i de recepció del senyal R.M.N.
3. Unitat de visualització dels temps de relaxació dels nuclis d'hidrogen (induat per la corba al requadre a part).

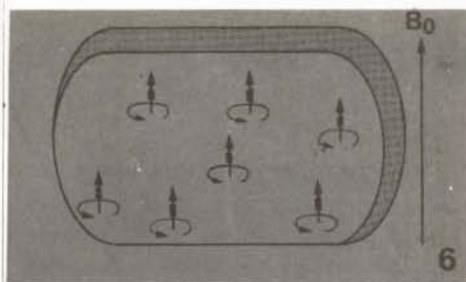
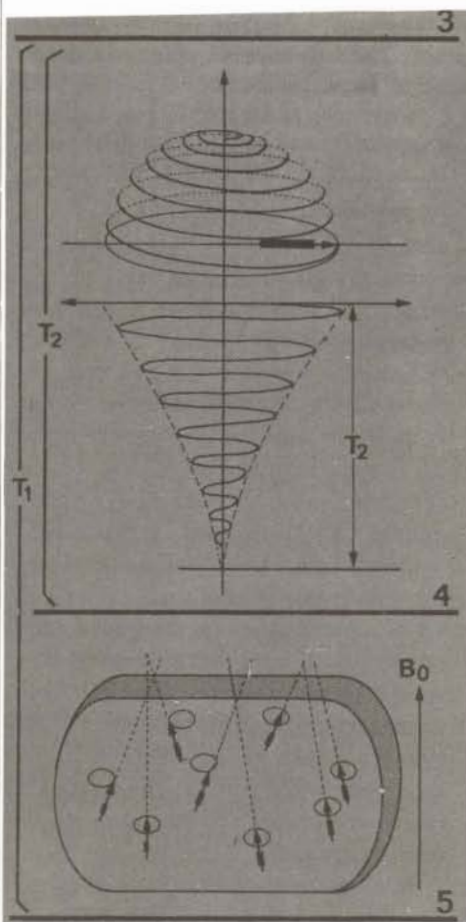
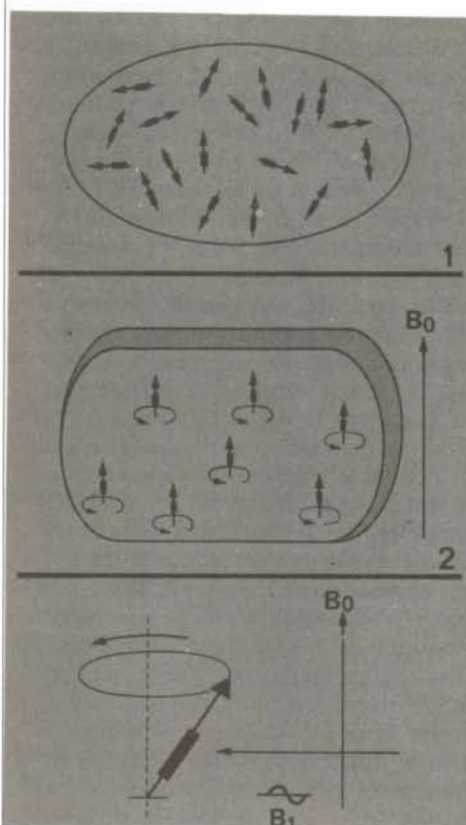
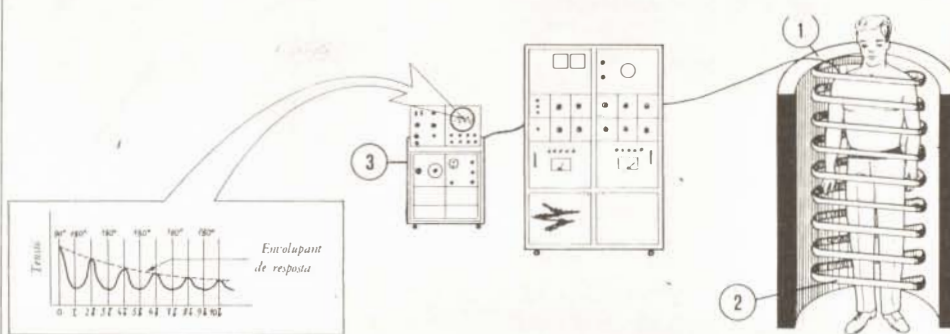


Fig. 8

- Les diferents fases de la ressonància magnètica nuclear
- (1) Estat inicial de la mostra. Els moments magnètics estan desorganitzats per l'agitació tèrmica.
 - (2) Els moments magnètics s'alineen sota l'aplicació d'un camp director B_0 .
 - (3) L'aplicació d'un camp alternatiu crea un moviment de rotació.
 - (4) La pèrdua de coherència del moviment de rotació dels moments magnètics provoca una baixa exponencial del senyal.
 - (5) En el transcurs d'aquest període, els moments magnètics es realinearan al voltant del camp director B_0 , després de la impulsio d'hiperfreqüència.
 - (6) Els moments magnètics tornen a estar agrupats al voltant de B_0 .

barats. Sense voler fixar un preu, ara que ens trobem encara amb prototipus, direm que aquests aparells podrien ésser tan cars com els scanners X. Aquest ordre d'importància situa molt amunt la relació cost-servei. Tan sols manca, sens dubte, que aquesta tècnica ofereixi avantatges específics i prou importants perquè pugui desenvolupar-se en un moment en què els hospitals acaben tot just de fer unes inversions considerables per a l'esc-

ner. L'esdevenidor mèdic de la R.M.N. depèn, així, més dels serveis que pugui oferir que del preu, que romandrà molt alt. La resposta vindrà dels hospitals.