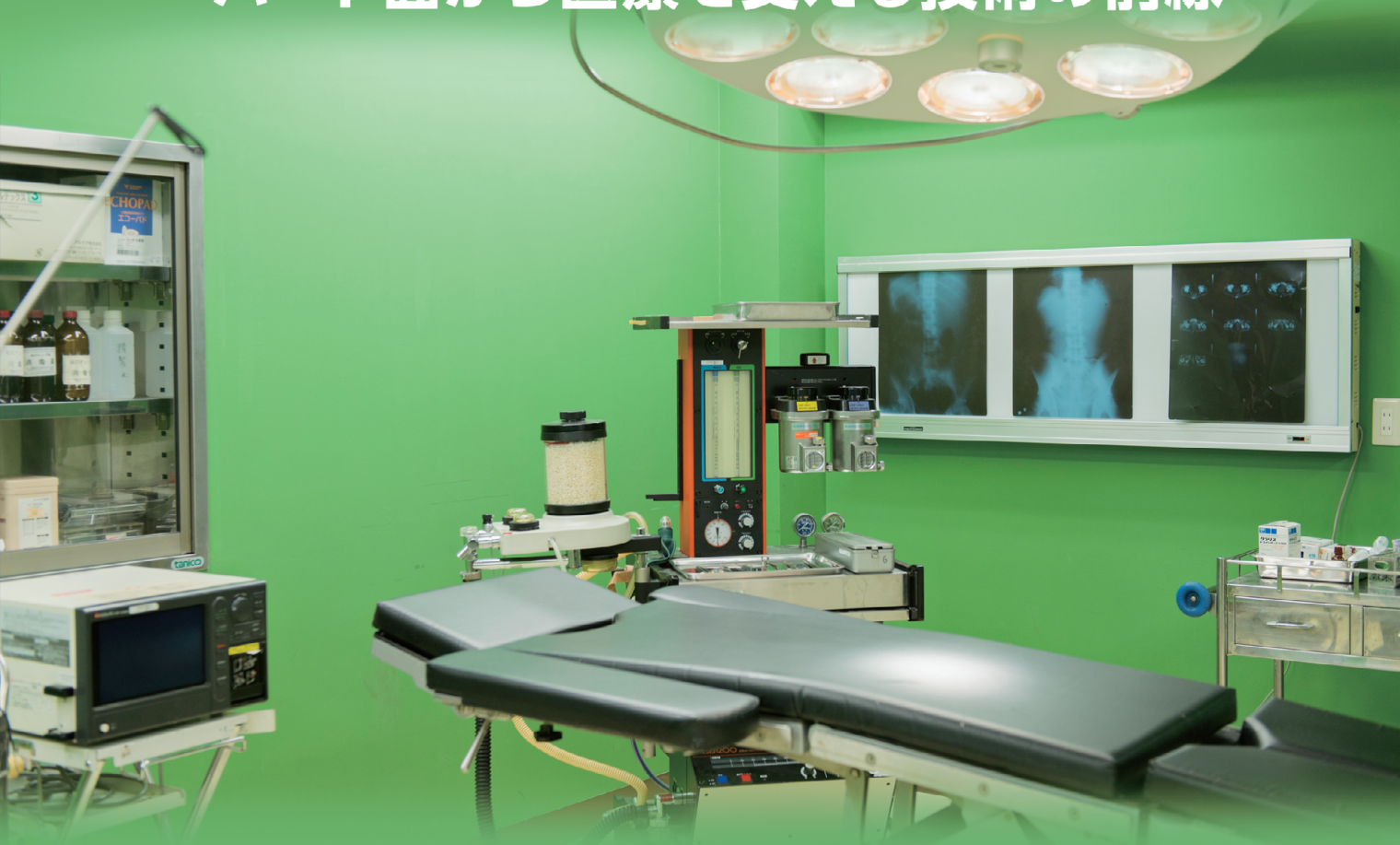


ハイテック医療工学

— ハード面から医療を支える技術の frontline —



新しい領域を創造しつつある。
計測・診断の分野では高度な映像技術によって
見ることができなかったものが
見られるようになり、
微量細胞やDNAなどの微小な世界を
キャッチすることが可能になりつつある。
また脳というあまりにも複雑な組織に対するアプローチも
先端技術によって新たな局面の開けることが期待される。
空前の高齢化社会を目前に、
工学が医療に貢献しうる可能性を
先端での研究例に探してみたい。

医学と工学の結合・協業が拓く 医療・福祉のフロンティア

今日の医療が大きなターゲットとしているもののひとつに、いわゆる成人病がある。成人病の御三家といえ、癌、心臓病、脳卒中で、日本人の病気による死亡原因のトップ3を占めている。加齢による成人病対策の必要性が増すにつれて、診断・治療はもとより、予防、さらには病気以前の健康保持・増進の医学が重視される傾向が強まっている。最近では、Quality of lifeという発想からライフサポートの医学も提唱されている。なるべく苦痛や傷を小さくできる医学、また人としての文化的生活を可能なかぎり全うしうる医学、という発想もそうしたところから生まれてくる。そこに新たな技術と工学が貢献していける可能性は大きい。

医療の様相変えるハイテク工学

先端技術と結びついて医療のレベルが飛躍したのは1960年代頃からである。心電図や脳波計などが開発され、医用計測にエレクトロニクスを応用した新しい装置がさかんに使われるようになった。

1970年代に入ると、医療技術の進歩はさらに多様化しつつ加速され、いろいろな領域で様相を一変させるようになった。それらのキー・テクノロジーは、次の5つのカテゴリーからなる。

①生体計測技術

超音波診断装置、X線CT^{*1}、MRI^{*2}などさまざまな生体計測装置が開発され、診断精度を著しく向上させた。

②衝撃波、レーザー応用技術

衝撃波発生やレーザー光線を利用した結石破碎装置、レーザーメス、レーザー血液凝固装置等の治療装置が開発され、より安全な治療が可能になった。

③情報処理技術

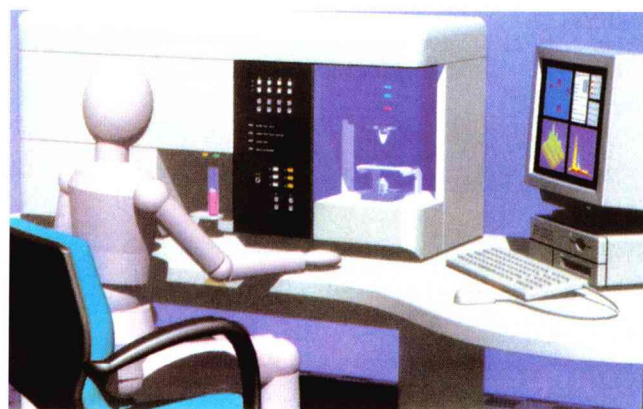
画像処理、CT法、心電図自動診断、病院情報システム等々のコンピュータを利用したシステムの開発で、精度、信頼性、効率が飛躍的に向上した。

④人工臓器

新素材、センサー、情報処理技術などの応用により、人工臓、ペースメーカー、人工関節といった人工臓器が実用化された。

⑤細胞工学、遺伝子工学

実用段階に入り、測り知れない可能性を秘めた有用な技



微量細胞情報検出システムの完成予想図。

術として期待されているが、また新たな論議の対象ともなっている注目の技術である。

これらのカテゴリーのうち人工臓器についてはVol.2 No.3で取り上げており、また細胞工学、遺伝子工学については、一般にいう「工学」の発想でとらえるには特殊なジャンルでもあるので、ここでは非侵襲高性能の生体計測技術と情報処理技術に絞って見てゆきたい。

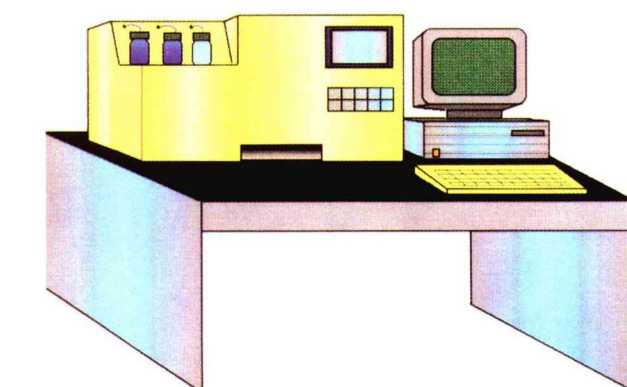
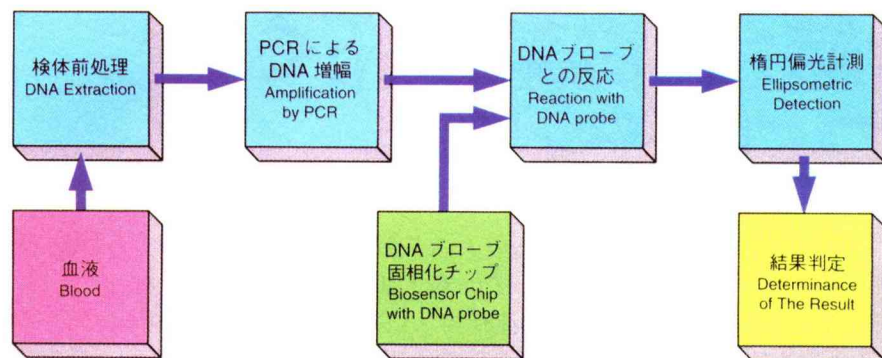
開発が進む高性能検体検査装置

人間の病気はひじょうに多岐に渡っているが、病気を治療するにはどのような病気なのかを正しく見極めなければならない。しかし、不幸なことに似通った症状を起こす病気がたくさんあり、ひとつの検査法で病気の診断を行うことはできない。病院では、各種検査をするとともに、その検査結果を総合して診断を行っている。人間ドックや成人病検査等で経験する数々の検査は、だてに行われているわけではなく、症状を正しく診断するためのものなのである。

病気の診断法は、体から取り出した血液や組織を検査する検体検査、脳波や血圧などの信号を計測する生体信号計測、X線写真のような画像診断に大別される。

^{*1} CT/Computed Tomography：X線を用いて身体の断層撮影を行う装置だが、近年では寝台を一定速度で移動させることで3次元画像がえられるヘリカルCT、スパイラルCTが登場してきた。

^{*2} MRI/Magnetic Resonance Imager：CTが放射線を用いるのに対し、磁気を用いる映像法。原理は静磁場での組織内水素原子核の変化をとらえるもので、情報処理技術の発達にともなってより詳しい画像情報がえられるようになってきた。断層面だけでなくさまざまな方向の像がえられ、臓器の様子も詳細に描出できる。



高感度DNA光検出装置のイメージとシステム構成。

検体検査の一種である血液検査は、全身を流れる血液を検査するものであり、体全体の状態を大まかにつかむのにひじょうに有効な検査方法である。病院で診断してもらうとまず最初に行うのが血液検査である。従来の血液検査はマクロに血液を検査するものだったが、近年では血液に含まれるDNAをミクロに調べることで難病感染症の検査ができるのではないかと期待が高まっている。このようなミクロレベルでの血液の検査を可能にするのが「高感度DNA光検出装置」である。

生体の最小組織単位は細胞であるが、この細胞のレベルでの変化を検知しようというのがこの「微量細胞情報検出システム」である。何らかの要因で生体機能に異変が生じた時、その兆候はまず細胞に現れる。微量な生体試料からその変化情報を光学的に分析して探りだすことで早期発見を行おうというものである。

また、難病感染症の新しい検査法として注目を集めているものに「高感度DNA光検出装置」がある。

難病感染症の検査は、従来、免疫学的な手法で行われていた。しかし、この方法では感染源の早期検出や特定が困難である。そこでDNA検査による方法が登場したが、現在のDNA検査は熟練技術を要し、また結果を得るまでに時間がかかる、検査担当者の安全確保に問題がある、などの難点がある。高感度DNA光検出装置というのは、光センサ技術を用いて、ウイルスのDNAやRNAの量を光量の変化として測定する。また、



光断層イメージングシステムの完成予想図。

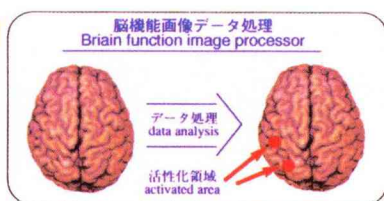
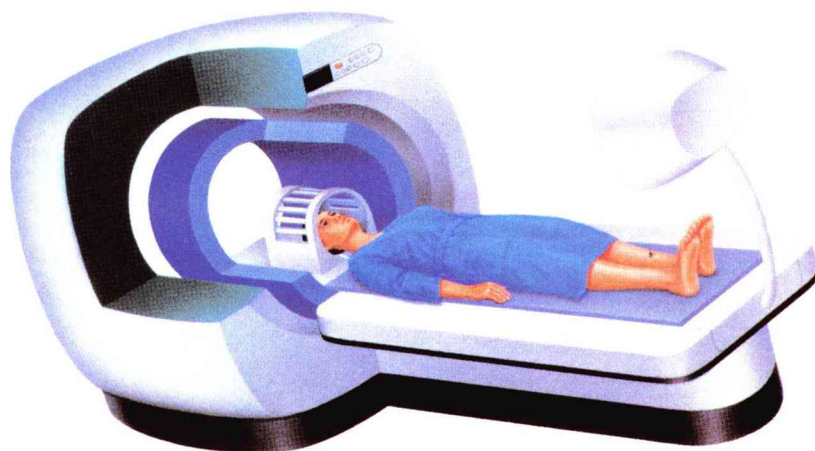
同時に検体の前処理から検出までを自動化するためのマイクロ加工技術を開発、二つの合わせ技で難病感染症の早期診断を可能にしようというものである。

形態から機能・代謝の計測へ

検体検査が取り出した組織の検査をするのに対して、画像診断はあるがままの状態ですべての生体各部の生体情報を取り出す診断方法である。病気がどこまで広がっているかなどの確定診断をするうえでなくてはならない診断方法である。一般に画像診断で得られる情報は次の3つに分類される。

- ①形態情報
- ②機能情報
- ③代謝情報

これまでの検査のほとんどは、たとえば腫瘍とか出血領域などの目で認められる形態の変化を認知するものであった。しかし、病気によって、あるいは病気の進行状況によっては形態に変化が現れないこともある。機能情報や代謝情報をチェックする検査法が開発されれば、早期発見度は飛躍的に向上する。こうしたニーズに答えるものに、「光断層イメージングシステム」がある。



超高速／高精度脳機能MRIシステム。

病気の診断、治療、予防のうえで生体の正常な働きのもとである酸素代謝の状況をチェックすることはきわめて有力な方法である。そのための装置として陽電子放出各種断層装置（PET＝Positron Emission Tomography）というのがあるが、放射性薬剤を用いるため繰り返し計測を行うと人体に影響が出る可能性がある。そこで、すぐれた生体透過性、生体情報抽出性を持つ近赤外線を利用し、生体酸素代謝をCT法による二次元画像として生体を損なうことなく連続的に計測しようというのがこの光断層イメージングシステムである。

また上記のPETは、脳機能の計測にも用いられているが、この場合、陽電子を用いているため、精度や時間分解能に問題がある。そこで脳機能の計測用に超高速・高精度脳機能計測MRIシステムが開発されつつある。このシステムは、各種の刺激を与えることによって促される脳神経細胞の活性化にともなう血中ヘモグロビンの磁性変化を磁気共鳴映像装置（MRI＝Magnetic Resonance Imager）で高速かつ高精度に測定するのである。

「微量細胞情報検出システム」「高感度DNA光検出装置」「光断層イメージングシステム」といった先端での技術開発には、いずれも通産省の外郭団体であるNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託を受けた技術研究組合医療福祉機器研究所を窓口として複数の民間企業が開発に参画している。

高齢化社会のもとの医療

さて、話かわって、先頃の新聞報道によると、日本人の平

COLUMN 1

ハイテク医療の進歩は 磁性材料へのニーズを高める？

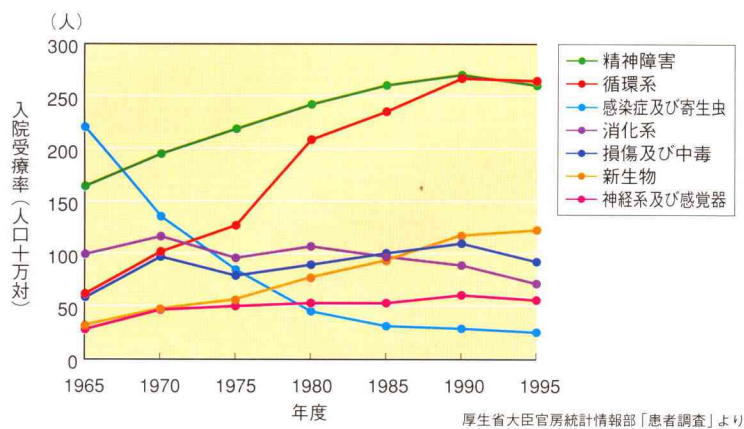
ハイテク医療機器の代表として脳の検査等に用いられるMRIは、生体に含まれる水のNMR信号を計測して、形態変化をとらえようとする装置であり、これまでは脳内の神経細胞の興奮の度合い（機能状態）を調べることができなかった。本文で説明したように、近年、神経細胞の興奮状態とともに変化する磁性をMRIで調べ、脳の活動状況を計測しようという研究が行われ、着実な成果をあげている。一方、神経細胞の興奮にともない発生する磁場を直接計測しようという試みもなされている。

また心筋梗塞の場合では、初期症状として心臓の一部に血が行かなくなる「虚血状態」をあらかじめ発見できれば予防が可能になるが、これも心臓が発する磁気をとらえられれば検知できる。

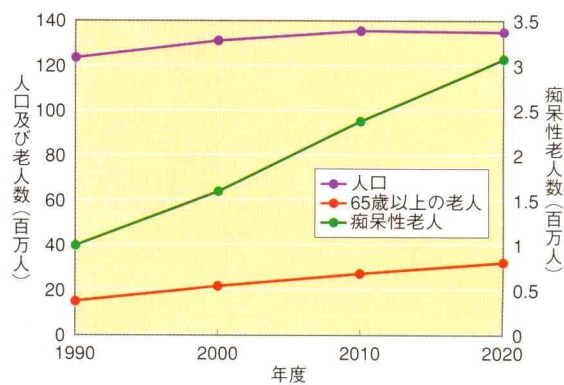
神経細胞や心臓から発生する磁場はごく微弱であり、かつては測定が困難だと考えられていた。だが近年、SQUID（超電導量子干渉素子）というハイテク技術が開発されたことにより、上記MRIによる脳機能計測とともに、臨床への応用が期待されている。

きわめて微弱な人体磁気を検知するには地磁気をも含め、磁気ノイズを完全にシャット・アウトしなければならない。この磁気遮断のためのシールド材には現状、おもに合金鋼による磁性材料が使われているようである。

磁気を含む電磁波の応用は、ハイテク工学のキー・テクノロジーのひとつであり、医療分野での磁気利用がさらに進めば、磁性材料の出番はさらに広がることだろう。



疾病別入院受療率



疾病別入院受療率

均寿命は男女ともにまたも記録を更新して世界一となった。人生80年はおろか、女性の場合は90年にも達しようとしている。これからの医療について考えると、この進み行く人口構成の高齢化を考慮しないわけにはいかない。高齢化が進めば癌、心臓病、脳卒中の成人病御三家への対策がますます必要となるのはもちろんだが、高齢化社会でもうひとつの大切な要素となるのは、のびた寿命をただ命長らえるだけでなく、幸せに全

うすることであり、そのための医療の必要性が叫ばれているのである。最近よく耳にするようになったQuality of lifeを重視する医療、ライフサポートの医療とも呼ばれる発想である。

Quality of lifeを考える場合に必要なのは、やはり個人としての自立性、文化的な生活が維持できる身体の高齢化ということになるだろう。その意味でいわゆる「寝たきり」にさせな

COLUMN 2

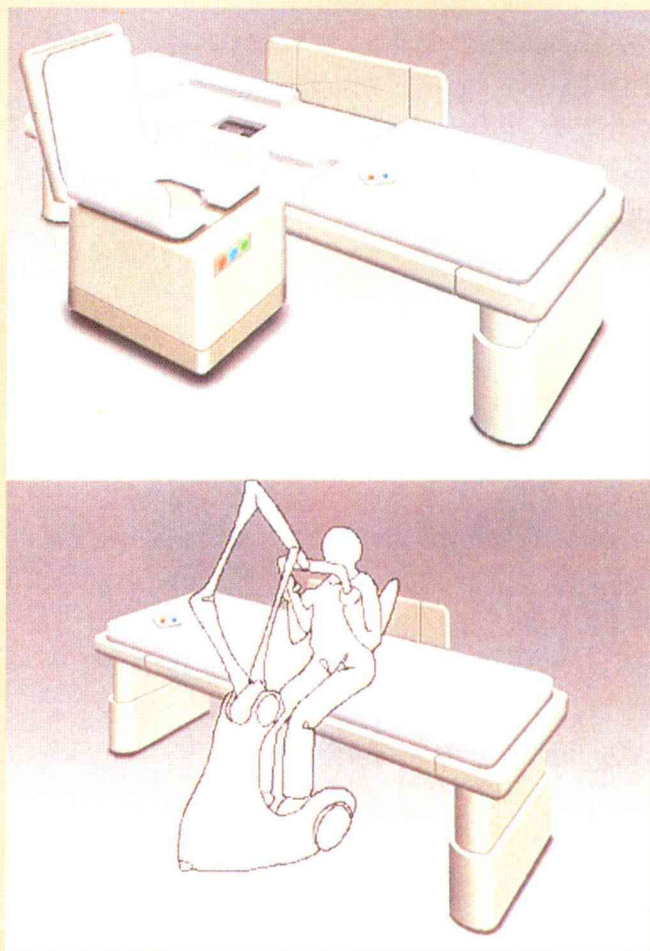
せめて排泄くらいは自分で……

高齢化社会の到来によって痴呆とならんで大きな悩みのタネになるのが「寝たきり」の問題である。2000年には寝たきり高齢者の数は現在より30万人増え約100万人にふくれあがると予測されている。

介護問題に対するハイテク応用の可能性としてはVol.2 No.9で取り上げたような介護ロボットの研究が行われているが、なんといっても寝たきりになった本人にとって心理的な負担になるのが「シモの世話」ではないだろうか。せめて排泄くらいは自分の力というのが心情であるし、自立意識を維持していく意味でもこのテーマは軽視できない。

産業科学技術研究開発制度では、起き上がりを補助するベッドとポータブル・トイレの組み合わせや、トイレまでの移動を助ける簡単なロボット・システムなどの排泄自立支援システムが研究されている。せめてトイレくらいは自分でできれば、寝たきりになった後でも「健康で文化的な生活」が享受しうかもしれない。

1日もはやいこれらハイテク機器の完成に期待をしたいが、実用までの道程を考えると経費問題や住宅事情の改善など、考えていかなければならない問題は多い。要素技術の完成とともに、この種の技術には社会システムとの総合的なすりあわせが欠かせないもののようなのだ。





無侵襲的脳代謝計測用 ^{13}C -MRS装置。

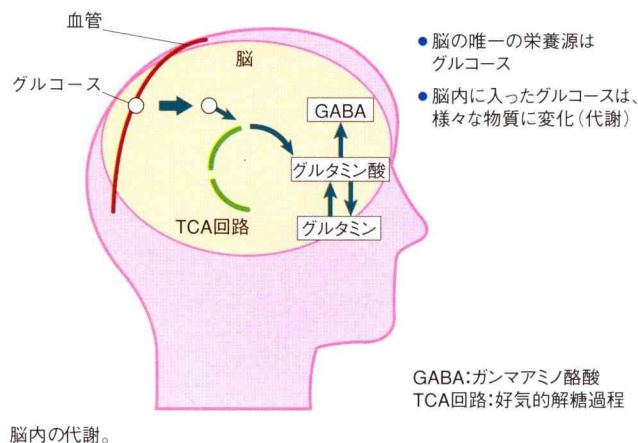
いための努力が重要になってくるが、自由に動きまわる身体
の健康があっても、自立的で文化的な生活ができなくなるケース
がままある。つまり「脳の健康」の問題である。

前頁上のグラフをご覧いただきたい。これは病気の種類別に
人口10万人当たりの入院患者の数をグラフにしたものである。
1995年の時点でのトップは心臓疾患や脳卒中などの循環器系
疾患で、精神神経疾患が僅差でこれに次ぐ。精神神経患者と
循環器系患者がほぼ同数であり、新生物つまり癌が低位であ
ることに意外の感を受けるのではないだろうか。

癌は致死率の極めて高い病気であるが、実は死亡率が高い
がゆえに病院にとどまる人数は少ない。精神神経系疾患には
躁鬱病、精神分裂病、高齢者の精神障害があるが、この中
でも最近患者が急激に増加し、家族への負担が大きいのが老人
性痴呆症である。老人性痴呆症は死に至る病ではなく、入院
期間は長期にわたる。

高齢化社会の到来にともなう極めて深刻な問題の一つがこ
の老人性痴呆症の激増であることは確かである。本人の不幸
だけではなく、すべての近親者を巻き込んで悲惨な状況に立ち
至る例が珍しくない。短命の昔は気は確かなうちに死を迎える
のが普通だったが、今や体はなんとか補修しながらでも命をつ
なげたりする。だが脳がこわれた場合の補修のすべがない。い
いかえれば、肉体疾患の予防や克服は進んだが、精神疾患の
それが立ち遅れていることがこの結果を生んだのである。

そこで医療分野での未知のフロンティアとしてとくにクローズアッ
プされているのが脳の研究である。これが進めば、22世紀の医療



脳内の代謝。

とさえいわれる老人性痴呆治療への道が開けてくるわけである。

まず、精神神経疾患への対策が他の病気の場合と決定的に
異なるのは、確とした診断法が存在しないことである。多くの
病気は装置や試薬を用いて診断することができるが、ほとん
どの精神神経疾患は確実な診断を行うための手段がない。その
原因についても、客観的に調べることは不可能であり、対処
療法以外の抜本的治療法がないのに等しいのが実情である。

確かに脳障害用の薬もいろいろ出ているが、これらはたまた
ま他の病気に使用された際、副次的に脳への効果が認めら
れた偶発的なものがほとんどで、生理学的研究の結果として生
まれた本格的な精神神経障害の治療薬はまだないといってい
い。

第一に必要なのは、脳の中の働きを調べる手段を確立する
ことである。そのための有力な技術として期待されているのが
無侵襲的脳代謝計測用 ^{13}C -MRS装置である。

実験用一次試作装置はすでに完成し、ボランティアを使っ
ての実験データ収集の段階にまで進んでいる。世界初の画期
的な開発ということで、昨年、新聞紙上にも発表されたので
お目に留められた方もあることだろう。

いまや老人性痴呆症は私たちに取って非常に関心の深い問
題であり、その対策は社会的要請ともいえる。

脳内代謝を追跡する画期的新システム

無侵襲的脳代謝計測用 ^{13}C -MRS装置は、先述のいくつか
の開発例と同様にNEDOの委託を受け、技術研究組合医療
福祉機器研究所を窓口として株式会社東芝、東京ガス株式
会社、日本酸素株式会社の3社による機器、試薬の開発チー
ムと、創価大学生命科学研究所所長の塚田裕三客員教授を
中心とする研究チームが協同で開発に当たっている。

開発メンバーの一員として深くかかわってきた東芝研究開発
センター情報・通信システム研究所の鈴木義規参事に話をう
かがってまとめた。

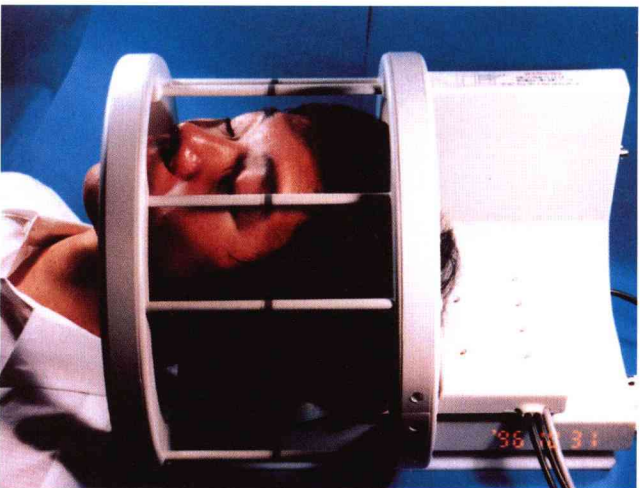
精神・神経系疾患は、①躁鬱病、②精神分裂病、③高齢



^{13}C -MRS用超電導磁石（2Tクラス）。

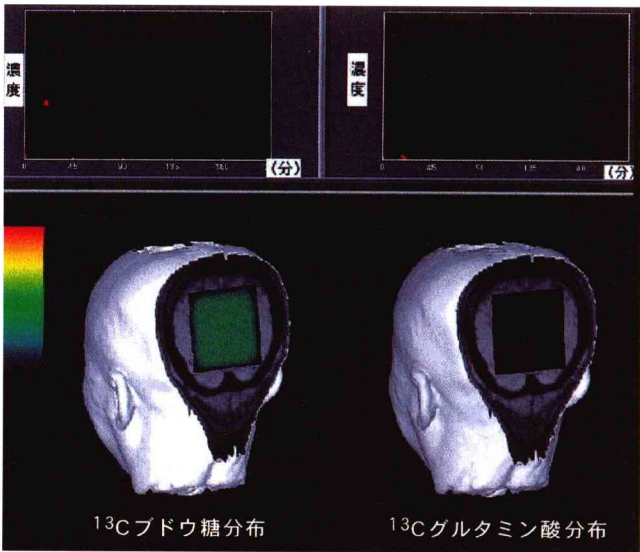


^{13}C -MRSの実験風景。

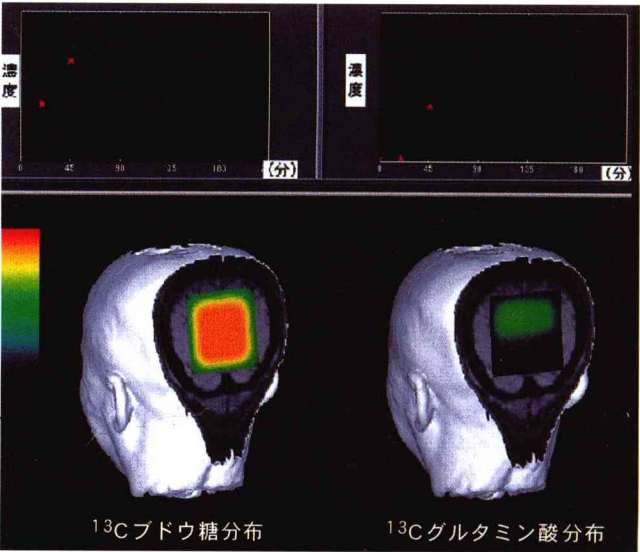


プローブ装着状態。

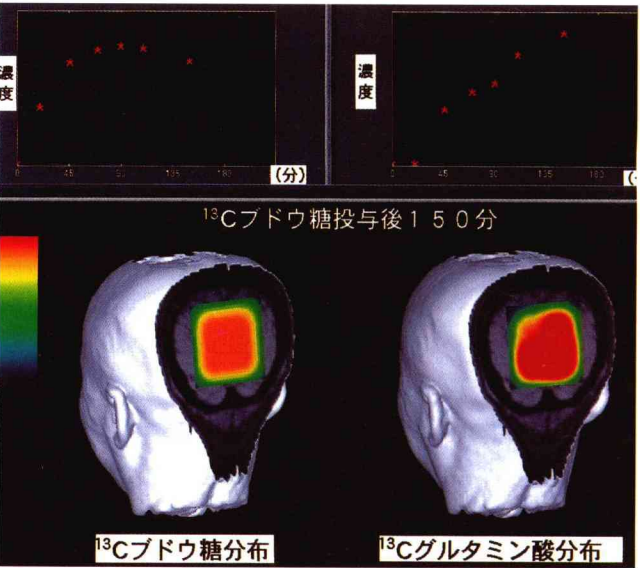
^{13}C ブドウ糖の脳内代謝の経時測定画面例。
ブドウ糖がグルタミン酸に変わっていく様子が分かる。



^{13}C ブドウ糖投与後の断層イメージ（20分後）。



^{13}C ブドウ糖投与後の断層イメージ（50分後）。



^{13}C ブドウ糖投与後の断層イメージ（150分後）。

者の精神障害、④精神発達障害であるが、③は近年患者数が急激に増加しており、家族への負担が大きいため今後大きな問題となってくるという。21世紀には痴呆性老人のいる家庭が10軒に1軒の割合になるといわれている。

こうした精神神経疾患の特徴は、神経系疾患（変性疾患）、欠陥性疾患、代謝性疾患、脳腫瘍・頭部外傷、感染性疾患、欠乏性疾患等々、病因が多様にわたることで、既存の診断装置では確定診断できないことが多い。（特に早期）

このうち例えば脳腫瘍の場合、あるいは老人性痴呆症でも動脈硬化による脳血流障害などは形態情報で診断できるので、MRIといった装置が使える。しかし脳細胞の原因不明の変性によるアルツハイマー氏病の診断や治療には有効な手段が全くない。このような老人性痴呆は目に見えない代謝の変化により引き起こされるのではないかと考えられているようである。代謝異常に端を発しやがて機能障害へと至るというのである。

そこで脳内の代謝の仕組みを見てみよう。脳の唯一の栄養源はグルコースとよばれるブドウ糖で、脳内に入ったグルコースが例えばグルタミン酸などのようなさまざまな物質に変化して行く。これが脳内の代謝である。痴呆症等の早期診断にはこれらの代謝変化の異常を動的にまた経時的に追跡する必要があると考えられている。

無侵襲的脳代謝計測用¹³C-MRS装置では、生体内物質代謝で最も重要な炭素鎖化合物（ブドウ糖、グルタミン酸など）に着目、安定同位元素¹³Cを多く含有した化合物を体内に投与し、脳内での代謝変化を経時的に測定しようというものである。磁場中の原子から発生する固有の電波の周波数を分析し、さらにこれを映像化することで代謝の様子を目の当たりに知ることができる。原理的にはMRIと同じだが、MRIは生体中の水からのNMR信号をとらえるだけなのに対して、本装置では生体中に微妙に含まれる代謝物質からのNMR信号を周波数分析できるのが大きな違いで、MRS（Magnetic Resonance Spectroscopy）と呼ばれる。

装置とともに試薬の開発も行われており、診断に適した試薬の開発、医学的評価が進められており、この方は東京ガス、日本酸素が担当している。

この装置は老化に伴う疾病の早期発見のみならず、新しい精神神経障害の治療薬の開発や脳の高次機能の解析など、広い分野に貢献できる新兵器として大いに期待されている。

期待される高度治療装置と医療情報ネットワーク

ハイテク医療の今一つのキー・テクノロジーは情報処理である。画像処理、CT法、ECG自動診断といった個々の情報処理技術は、これまでに述べてきた生体計測装置でもいろいろな形で応用されているし、また、コンピュータを高度に駆使する

手術システムも開発されようとしている。たとえば「脳腫瘍等手術支援システム」である。

- ①患部映像と各種医療情報を統合する画像情報処理技術、
- ②画像情報を立体高品位表示するハイビジョンビューア、
- ③表示画像を見ながらの狭い空間での手術を可能にする操作型マニピュレータ

の三つを組み合わせたもので、患者の安全の見地から、特に高齢者の場合、短時間で極力ダメージを押さえた手術（低侵襲手術）が必要だが、これを実現するシステムとして期待されている。

こうした個々の技術とは別に、情報の管理、利用、伝達を統合したいわば医療情報ネットワークシステムの整備も急がれている。

地方の場合、最新の医療機器を備えている病院ばかりではないだろうし、また、ハードは完備していても、病理診断の専門家が不足する場合もある。人間のみならず医療の過疎が問題になっているような僻地もある。こうした医療の地域格差を解消するために、通信回線を利用するケースが増えている。たとえば、東京都立広尾病院では伊豆七島から通信回線で送られてきたX線やCTスキャンの影像を専門医が判断して、島の診療医にアドバイスを送るといったシステムが実用に供されている。

これに類する方法を実行する医療機関は増えており、情報メディアを利用した遠隔医療さらには在宅診療はすでに現実のものとなりつつある。今後、病院、医師、患者間の情報の流通がネットワーク化し、もっと大幅かつスピーディーに行われるようになれば、医療サービスは格段に向上し、誤診、治療の遅れなども減少し、医学研究の上でも大きな進歩が期待できよう。

応用例のひとつとして、医療専用のカードシステムがある。国民ひとりひとりが過去の受診記録をすべて記憶したカードを持ち、このカードは全国どここの診療機関でも入出力できて、医師の診断を容易にし、検査の重複の無駄も省ける。

こうしたカードを情報センターで集中管理し、集計や解析を行えば、診断基準や検査データの均質化が進み、疫学や予防医学の上で威力を発揮するであろうし、医師の知見向上にも役立ち、医療環境は理想に近づくであろう。現在のところ、これは構想段階であるが、次代の緊急な医療テーマとして研究段階に入る日も遠くはなさそうである。

ハイテク医療工学は今や世界の至る所でラッシュを迎えている。シーズの澎湃とするところには、これまでになかった新しい何かが生まれてくる可能性がある。新たなハイテク医療技術の確立に期待したい。

〔取材協力・写真提供：技術研究組合医療福祉機器研究所、
（株）東芝研究開発センター情報通信システム研究所〕