ヘルスケアと画像工学

名誉会員 宇都宮 敏 男[†]

医療における診断・治療，リハビリテーション，病気の予防，健康の維持・増進などヘルスケア全般の活動において，本学会の主要分野である画像工学・技術が幅広く関与しており，その貢献度は高く評価されている．1 世紀前に現れた放射線医学以来，エレクトロニクス，電子計算機，情報処理，新素材などの急速な発展を基盤として，ハイテクノロジーの現代ではヘルスケア画像工学は一段の発展を遂げ，デジタルラジオグラフィ，超音波イメージング，イメージファイバ技術，各種のコンピュータトモグラフィ，サーモグラフィなど，超音波，可視・不可視光，電磁界ほか，あらゆる信号伝達媒体が画像の構成に応用されるようになった．

1. ま え が き

ここで，ヘルスケア(Health Care)とは病気の治療だけでなく，その予防，健康増進を包含した活動の意味で使う．もちろん，個々人の受けとめ方のスペクトルはかなり異なる．医師は医療に重点を置き，ヘルスクラブ会員はウェルネス(wellness)に関心が高い．一般の市民は病気にならないように願い，予防を優先し，「健テク」に励む人達も増加している．

画像工学は，本学会の主に担当する専門分野であって，視覚を中心とするヒューマンインタフェース技術の向上を使命とする．そして，ヘルスケアには最も重要な役割を担っている．

天然の情報メディア資源は，電磁波と音波がまず挙げられる．しかし，生物の視覚と聴覚に利用されている振動周波数帯は誠に微々たるものであるのに，華やかかつ繊細な色と音の空間を享受することができるのは大きな驚きである．しかも，これら映像・音感脳内で創造されるということも，当たり前ではあるが，常に念頭に置きたい．ヘルスケアの画像は，この可視光のほか，極めて広大な周波数範囲の不可視像を変換し可視画像化して用いるものであって，そこには最新のハ

イテクノロジーも駆使されている．図 1 は，周波数を軸としてヘルスケア画像の主要なものを羅列してある．

さて，医用放射線技術は X 線の発見(レントゲン，1895)， γ 線の発見(キュリー夫妻，1898)があり，20 世紀初頭からのエレクトロニクスに支えられて，無痛で人体内部を透視し，また，腫瘍を破壊する医学に貢献してきた．医用画像技術の源はこの辺にあるといえよう．

当世はハイテクノロジー時代である．コンピュータ，レーザ，光ファイバ，各種新素材の出現により医用画像技術は飛躍した．画像に関係の深い写真の分野では，長年にわたって進展してきたフィルム技術が，CCD センサとビデオテープに置換されるという展開も見られる．技術の高度化は，一方で放送衛星のような巨大技術を進めるが，他方ではムービーのような高級家庭電子製品の大衆化を促す．

画像技術も，病院での使用が可能な高額システムだけでなく，診療所(医院)や家庭にゆきわたるヘルスケア画像機器の開発が期待される．

2. ラジオグラフィ

X 線像の診断応用は極めて広範にわたるが，デジタル化の例を 2 つ挙げる．

一般診療所で従来の X 線装置を使って，フィルムではないイメージングプレート(IP)に感光させる．IP は輝尽性蛍光体，例えば，BaFX:Eu(X はハロゲ

[†] 東京理科大学 理工学部

“Health Care and Image Technology” by Toshio Utsunomiya (Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, Noda, Chiba)

本稿は，昭和 63 年 5 月 28 日，本学会第 34 回通常総会に引続いて行われた特別講演の内容を編集したものである．

図 1 周波数別のヘルスケア画像技術概観

図 2 輝尽発光のメカニズム

X 線により Eu は 2 価から 3 価になり、電離電子は F⁺ (空孔) に補獲され F となり、準安定状態となる。次に 2 eV に相当する 600 nm の He-Ne レーザ光で走査すると、電子が解放され、Eu が 2 価に戻る。このとき 3.2 eV に相当する 390 nm の蛍光紫外線が放射される。これを光電装置で電気信号に変換し、デジタル化する。

(富士写真フィルム FCR テクニカルレビューより)

写真 1 輝尽発光デジタルラジオグラフィの一例
(左は原図で、右がデジタル処理をした乳房透視図)
(富士写真フィルムのご好意による)

ン)をポリエステル板に塗ったものである。現像所では、He-Ne レーザで走査し、X 線で蓄積したエネルギーに比例した蛍光(レーザ波長より短い)を、光電子

増倍管で取出してデジタル信号化する(図 2 参照)。蓄積されたデータは、目的に応じたデジタル信号処理によって、品質の良い画像とすることが可能であるし、線量の不足や過大に対する修正もできる。写真 1 は、乳房の側方からの透視の例である。感度は従来のフィルムより 1 桁以上高いので被曝量も少なくてよ

写真 2 DSA の例(頭部血管像)
(島津製作所のご好意による)

い。

なお、IP は何度でも使用できる。輝尽性蛍光体は古くから知られていたが、この実用方式は、1983 年に富士写真フイルム(株)が開発したもので、普及が期待される。

大病院では DSA (Digital Subtraction Angiography) が用いられる。これは、血管造影剤の注入前後の両 X 線フィルム像の差を、デジタル技術により抽出するもので、血管の異常の診断に役立つ(写真 2)。

3. 超音波イメージング

一定放射束 (1 mW/cm^2) の超音波を体表から加えても無害(非侵襲)というのが現在の定説である。心臓の動画像、胎児の輪郭、結石の標定、その他、典型的医用画像としての応用価値は高い(写真 3)。また、ドッ

写真 3 胎児画像(妊婦の腹部から電子的に線形走査。
頭、手足(LH, RF)がわかる)
(東芝のご好意による)

プラ血流計測を含めた肝臓内血流分布図作成、超高周波音波による皮膚組織の検査、超音波顕微鏡応用なども面白い。充分安全な超音波イメージングの装置は、将来、家庭での使用に解放してもよいのではないだろうか。

放射レベルの大きい衝撃波破石装置による腎結石破砕技術などは、革命的な非観血手術として最近ドイツで開発され、早速わが国にもかなりの輸入があり、恩恵を受けている人が多い。

4. イメージファイバ技術

光ファイバを多数並列に束ねたイメージファイバの細径化技術が進み、導入の容易な胃カメラはもちろん、気管支内、血管内その他の画像を得ることも可能になった。写真 4 は、開発中の尿管内視鏡による実験例である。

さらに、強力なレーザ光を通じて焼灼、その他の効果を求める方法も開発されつつある。カテーテル*や注射針の中に収めて挿入し、体内のかんりの領域に対して直接可視化およびレーザエネルギーの照射などが可能になろう。また、癌を対象とする光線力学的診断治療法と称される新しい手法が開発され、多くの注目を集めている。これは、腫瘍親和性光感受性物質(例えば、ヘマトポルフィリン誘導体, HpD)を体内に注入後、イメージガイドを通じるクリプトンレーザ光 (405 nm) による特異蛍光で診断し、標定された患部をエキシマレーザ等の紫外線で照射し、比較的小エネルギーで上記 HpD 介在による治療効果を得るものである。

写真 4 イメージファイバで尿管内を視る(腫瘍「左上
部」が見える)
(住友電気工業のご好意による)

* カテーテル: catheter 尿路や血管などに挿入する人工の細い管

また、プラスチックファイバ等で廉価なイメージガイドができれば、家庭用として普及できないであろうか。奥歯の虫歯部分、背中中の皮膚の異常部分などの自己観察ぐらいはするようになってほしいものである。

5. コンピュータトモグラフ(CT)

英国のEMI社のHounsfieldにより、X線CTの実用機が開発されたのは1972年であった(1979年、ノーベル生理学・医学賞、1963年 γ 線CT論文を発表した米国Cormackと)。筆者は1975年、エディンバラでの連合王国生体工学会創立20周年記念国際会議で公開されたのを参観した。わが国の医療産業界は大きな刺激を受け、以来、VLSI技術の先進性もあつ

写真5 最新の国産XCTの外観例(東芝)

EMI社の最初のものは64×64画像で、1枚の断層図撮影のため走査に数十秒かかったが、これが512×512画像で1秒以下の走査にまでになった。

写真6 XCTによる腹部断層像の例(512×512画素、健康人、CTは足側から見た図なのでRが右側)
(東芝メディカルのご好意による)

て、世界的なCTの生産・使用国になっている(写真5参照)。

写真7 XCT頭部断層像
(東芝のご好意による)

写真8 MRI画像(磁束密度1.5T, 512×512画素、頭部、胸部、腹部の断層像)
(島津製作所のご好意による)

写真9 PETによる脳の断層像
(秋田県立脳血管研究センターのご好意による)

図 3 CT の原理

(a) のように P に 1 個のファントムがあるとする。方向 1 からみて P の奥行きはわからないから一様に濃度を割当てる。方向 2, 3 と順に繰返して濃度をとると (b) 左のようになる。これは一種のボケ関数であり、中央の逆フィルタを設計することができる。つまり、このような加重関数を全断面にわたって 2 次的に畳み込み積分 (Convolution) したとき原画像になるようにするのである。多数の造影物が分布しているときでも、線形結合であればこの方法でボケが修正できる。したがって、濃度データは線形を保つよう、指数関数で減衰する XCT では減衰量を対数変換する。

図 4 SQUID による生体磁気測定対象

XCT の実用とともに、計算機トモグラフィは体内に微量注入した RI、あるいは、陽電子核種による γ 線放出像を得るエミッション CT、さらに、強磁界下で体内のプロトンなどに電磁波を作用させて核磁気共鳴をさせ、その体内密度分布または緩和時間分布の断層図を作成する MRI (磁気共鳴イメージング) まで、僅か 10 年余で実用化が進んだ。XCT その他の最新の画像例を写真 6～写真 9 に示す。また、断面の周辺か

ら得られる投影情報から 2 次元画像を再構成する原理を、図 3 により説明してある。計測の目的と方法は、XCT, MRI, PET など異なるが、画像再構成の方法は同じといえる。

目下のひとつの課題は、断層面から立体画像を構成することであり、ホログラフ応用の開発が進められている。

MRI は、CT の中では最も無侵襲的である。また、XCT のような物理像より進んで生理情報も含んでいる。今後、ハイテクノロジーの効果を低価格生産に投入して、総合健診センター等で気軽に自らの身体断層図を作ってもらおうという時代になれば、ヘルスケアの一般概念もかなり変化するのであろう。

6. EEG(脳波-脳電図)とMEG(脳磁図)

人体の最後のブラックボックスといわれる脳の解析研究が、各方面から進められている。古くて新しい脳波研究は、空間2次元プラス時間次元の誘発脳波、あるいは、事象関連電位のダイナミックトポグラフィという形で脱皮した研究に移行しつつある。

一方、米国MITのCohen博士のSQUID応用の脳磁図計測の研究は、近年世界的に活発になり、高温超伝導材料の開発との関係もあって大いに期待される分野になった。しかし、頭皮近くでの脳磁束密度はpT以下の程度で(図4)、周辺の磁気遮蔽を実現できても、高温超伝導SQUIDの熱雑音が問題になろう(図5)。

EEGとMEGは当分の間、相互に補間しあう研究が展開されると思われる。

7. 赤外線応用

人体表面の微小温度差を画像化するサーモグラフは、乳癌や白蟻病の早期検診に有効とされ、広く用いられている。

一方、YAGレーザ(1~3 μm)およびCoレーザ(5~7 μm)による高密度集中エネルギーを、導波路を通じて体内に送り込むことが可能になり、イメージガイドモニタ画像を利用しながら閉塞血管の治療を行うという新治療法も開発中である。

なお最近では、生体の代謝に伴う微弱な発光現象を計測し、臨床に応用しようとする研究、また、新生児の脳を赤外線により走査しCT画像を得ようとする研究もある。

8. デジタル画像処理

癌細胞、リンパ球などの細胞診断、染色体分類など、従来、人手に頼る労力の多い医療作業が、電子計算機の援用により省力化された例は多い。これからはさらに、ミクロな蛋白質(抗原・抗体)、DNAなどに関する画像認識の方向に一段の研究努力がなされるものと思う。

また、CTを始めデジタルラジオグラフィの発展に呼応して、各種の画像データベースの構築も進んでいる。医用PACS(Picture Archive and Communication System)の統一化も強く望まれる。

9. むすび

種々の画像が、ヘルスケアの分野で重要な役割を演じていることを概観した。大部分は結局のところ、人間の目で評価するところにつながることに注目すべきである。すなわち視覚、つまりは頭脳力を養うことが最終課題であり、ヘルスケアを実のあるものとするのは人間自身であり、どんな高度技術もこれなくしては無意味であることを強調したい。おわりに、貴重な資料を提供して下さい各社に謝意を表する。

(昭和63年8月12日受付)

宇都宮 敏男 うつのみや としお 昭和18年、東京大学工学部電気工学科卒業。大学院特別研究生を経て、23年、東京大学助教授、36年、同教授。電子回路工学および医用電子工学の教育・研究に従事。57年、定年退職し、現在、東京理科大学教授。日本ME学会長、テレビジョン学会会長を歴任、63年から、本学会技術委員会委員長。工学博士。東大名誉教授。名誉会員。