

# メディカル・エレクトロニクスについて

宮脇一男, 杉山 暁, 橋本良夫 (阪大・工)

高橋 隆 (大阪成人病センター)

稲田 紘 (阪大病院)

## はじめに

いまや、エレクトロニクスに接触する科学技術分野の様相は急速に変わりつつある。もろもろの技術革新のない手の中でも、その急尖峰に立つエレクトロニクスは、ついに、「経験と勘」にたより、堅い殻に閉じこもっていた医学を、「計量と客観」の白日の世界に目を開かせ、新世界への歩みを行なわせることに成功した。この新世界、すなわち、医学とエレクトロニクスが混然一体化した分野こそメディカルエレクトロニクス (ME) と呼ばれるものである。

ME の歴史を大別すると 2 時代に分けられる。心電計 X 線撮影装置に代表される過去の ME と、コンピュータ導入以後の現在の ME とである。前者では、おもに生体现象の計測という点に主力がそそがれ、したがって、エレクトロニクスの実際面 (変換器, 増幅器, 記録器技術等) のごく一部との接触があったにすぎない。しかしながら、医師や技術者の一部で ME の重要性に対する認識が高まり、ついに、わが国においても 1962 年に日本 ME 学会が設立されるにおよんで、医学に対するエレクトロニクスの広範囲な導入が開始された。すなわち実際面のみならず、コンピュータを駆使する情報処理に関する理論面 (情報理論, OR, 制御理論等) の導入である。それが、いかに医学と密着したかという例として、最近の医療施設における情報処理機構 (HIS; Hospital Information System) 確立の気運をあげることができる。すでに厚生省でも HIS の研究に対して積極的に援助をしており、近き将来、HIS によって運営されるモデル病院が建設されるはずである。

そこで、本稿では、最近の ME について、計測、伝送・情報処理・制御・シミュレーションなどについて、最近の話題を中心に解説を進めることにする。

## 計 測

計測技術の ME 応用は歴史も古く非常に多岐にわたっており、紙数も足りないのので、ここでは最近のトピックの 1 つを紹介しよう。

顕微鏡を用いて細胞の形態学的特徴を調べ、癌の診断を行なう「細胞診」という分野があるが、とくに、女性の悪性腫瘍の大半を占める子宮癌においては、その早期発見の唯一の手段となっている。そして最近、子宮癌の集団検診の普及にともない細胞診の自動化が急がれており筆者らはそのファーストスクリーニングを目的として検鏡の自動化を試みた。

スライドガラスに塗抹・固定した細胞を、フォイルゲン反応法により、細胞核のみ染色 (細胞質・赤血球などは全く染色されない。) して可視化した標本を使用し、図 1 のように、顕微鏡による像をテレビカメラにより電気 (ビデオ) 信号に変換している。そして、画像の濃度と大きさに着目してビデオ信号を演算処理することにより、癌細胞検出を行なっている。

顕微鏡は通常の生物用光学顕微鏡を使用しているが、標本上の物体は約 200 倍に拡大され、テレビカメラのビジコン・ターゲット面に実像として投影される。ビデオ信号は適当な前処理を受けた後に、サンプリング回路に入る。サンプリング回路は高利得の差動増幅器であり、基準電圧と信号とを比較して、信号の方が大きければ、“1”なる出力が得られる。すなわち、原信号を振巾空間

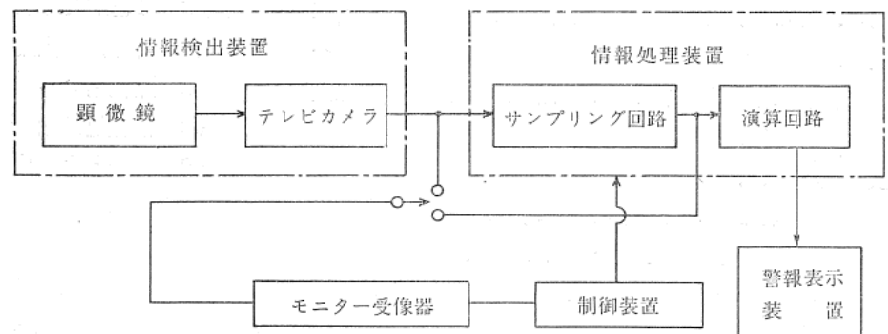


図 1

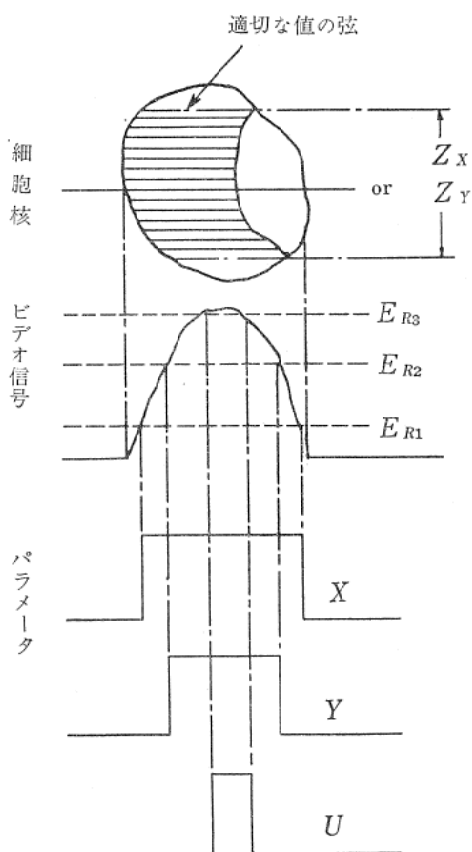


図 2

においてサンプリングしているわけで、その標本値には、画像の位置と形状の情報が、それぞれ、パルスの時間的な位置とパルス巾として変換され保存されている。

このようなサンプリング回路が3個並列に接続され、それぞれの標本点（基準電圧）は、濃度相当で10%、40%、60%（最大濃度の物体による信号の振巾を100%とした単位）で、それぞれの出力はX、Y、Uとよばれる。図2に見られるように、X、Y、Uは画像のうちそれぞれの濃度に達している部分が、テレビの水平走査線によって裁断されてできる弦の長さを表わしている。

テレビジョンの信号であるので、1つの画像よりのX、Y、Uは、1水平走査線毎に、水平同期信号を基準として大体同じ所に、画像の続いている間だけくり返して現われる。そこで、1つの画像の最初のXを検出した時に所定の遅延ゲートを発生させ、すべての演算をそのゲート内で行うようにして、1つの画像と他の画像との区別を行なっている。

演算回路では、

○ 1つの画像からのX（またはY）のうちで、所定の巾をもつものの数を計数しその結果を $Z_x$ （または $Z_y$ ）とする。 $Z_x$ （または $Z_y$ ）は画像の垂直走査方向の大きさを表わすことになる。

○  $Z_x$ （または $Z_y$ ）の大きさが適当な範囲内におさま

っている場合に“1”なる出力を得、1つの画像の演算中にUが現われてくる場合には、その出力を否定させている。Uがゴミなどによつてのみ得られる信号であるからである。

1画面（1フィールド）の出力は“1”または“0”で、すべての演算がオンライン・リアルタイムに行なわれ、1フィールド（1/60秒）で細胞の判定が完了する。

専門医と装置との対話の結果決定された診断の閾値は図3のごとくであり、細胞核は濃度において4段階にわけられ、10%または40%の濃度の部分の大きさが $8\mu \times 8\mu \sim 20\mu \times 20\mu$ （10%）、 $5\mu \times 5\mu \sim 10\mu \times 10\mu$ （40%）であるものが癌細胞と判定される。

実際の患者標本よりピックアップした種々の細胞による精度の検討の結果は、癌細胞の検出率は83%、良性のものを悪性で見誤まるのは0.5%であるが、1標本中には、良性の細胞等は最小1万個も含まれているので、誤計数の実数はかなりのものとなる。

標本全体を自動的にくまなく走査し、装置が異常を認めた画面の数を計数し、その結果によって最終的に症例が癌か否かを判定させている。

この装置はまだ試作の段階であるが、完成すれば、1枚の標本を数分で検査できるようになる。

これまでのMEにおける計測の主流は、単なる測定値・個別的なデータを収集するのみのものであったが、最近では、上述の例にも見られるように収集したデータを有機的に解析し、総合的な判断をも行なわしめる方向に一歩前進してきている。

## 伝 送

医療システムも大規模となり、かつ、その内容も多様性を示してくると、連絡、通信、いわゆる情報伝送網の整備が要求されるに至ったが、多くの病院の実状は、残念ながら満足すべき状態ではなく、病院の自動化、機能化の点から医用情報の特徴にそくした情報伝送網の整備を望む声が強くなっている。

さて、医用の伝送網はその使用目的から次のように大別することができる。

- ① 研究、検査用
- ② 監視用
- ③ 情報処理用
- ④ 管理および広報用

以上の項目について簡単に説明しよう。

- ① 研究、検査用

この目的に使われる伝送は、主に、被験体から測定器までの間の無線伝送であって、システムとしては単純かつ小規模であるので、生体情報を伝送するという特殊性

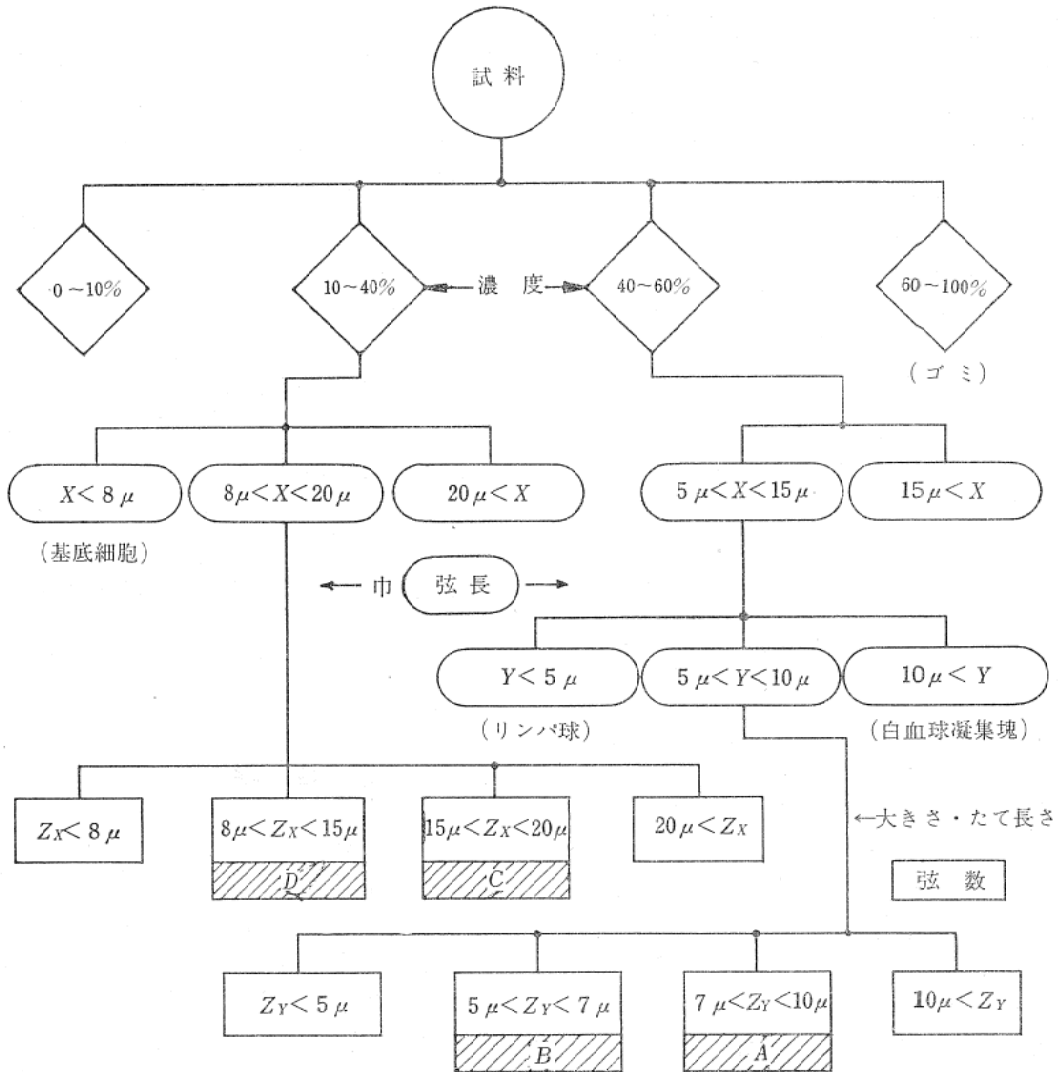


図 3

はあるにしても、比較的とりつきやすい面があり多くの人々が手がけている。この種のもは、無線カプセルに代表される。たとえば、胃内の状態を知りたいときなどに用いられ、トランスジューサと送信機を小さなカプセルに組み込み、被験者がこれを服用すると、胃内の様子が無線で伝送される仕組みとなっていて、温度、PH、圧力等の測定用のものが開発されている。形状は直径8mm 長さ15mm 程度の円筒形で、短波帯あるいは超短波帯のFM方式で伝送距離は数mのものが多い。電源供給方式は、外部より無線でエネルギーを供給する方式と電池内蔵方式とがあるが、電池内蔵式のものには電磁スイッチなどを利用して外部より電源スイッチの投入ができるようになっているものもある。このほか、カプセル方式ではないが、心電図、心拍脈波、などを被験体は無拘束の状態に計測するためのテレメトリ装置が研究用として使われている。

② 監視用

少数の看護人で、回復室あるいは病室の患者の状態を集中監視するために、体温、心拍、心電、呼吸数などを病室から看護人のもとへ伝送するもので、医用監視装置、オートナース、電子看護婦装置などの名前で商品化されている。規模としては、測定項目の多少もあるが、ベッド数で、1~100を対象としたものがある。伝送は有線方式が殆んどである。今後、病院の伝送網が整備されることを予想して、そのシステム内にうまくマッチするように伝送方式ならびに監視方式を十分に検討しておく必要がある。

③ 情報処理用

病院内の情報の流れは、診察室、検査室、薬局、受付会計、資料室、など非常に錯雑しており、現在ではこれらの間の情報伝達がおもに人手によってなされており、病院業務の混雑を招いている。情報処理の項で述べるように現在用いられている書類(記録)をどのように改革するかという問題と密接に関連しているが、病院

業務の能率化を考えると、情報伝送が果す役割の最も大きい分野である。交換方式、回線網の設計は、情報処理システムと有機的に関連づけてなされねばならないが、通常の通信回線網と大きな相違はない。医用情報伝送システムの特徴はその入出力装置であろう。たとえば、現在の病院では、医師は診断の所見をカルテに筆記しており、薬局への指示など殆んど情報の伝達は筆記によるものである。医師の身辺からペンを追放しないことには病院の自動化は困難で、このペんに代わる使いやすしい入力装置の開発が必要である。出力装置についても、検査結果の表示、薬局への指示など多岐にわたり、事務部門へも、料金の指示等を行なわねばならない。現在では、一人の患者についても、多数の書類への住所氏名などの転記だけでも多くの労力が費やされている。

以上は一つの病院内での情報伝達についてみたが、最近の救急センター設置の動きでも知られるように、将来は病院と病院、さらに病院と家庭医の間で有機的なつながりが増し来るであろう。このような状況に基づいて、将来の医療システムへの研究が行なわれつつある。たとえば、現在、心電計の普及は非常によく行きわたって居り大抵の医院で心電図をとることができるが、この心電図の解釈、診断には、専門医を必要とする領域も多く、現在普及している心電計が、十分にその価値が発揮されているとは言い難い。そこで、家庭医の心電計によってとられた心電図を電話回線で、心電図センターへ送り、専門あるいは、計算機によって診断され、解釈結果が直ちに返送されるようにすると、多くの人々に真の心電計の恩恵が与えられることになる。また電話線伝送のほか、無線伝送を利用して、離島、船舶、からも心電図の診断が依頼できるようになる。さらに、救急車にもこのような設備をしておけば、心臓発作などで倒れた人の救急に際し、あらかじめ救急センターへ心電図を伝送しておけば、最も適した救急病院へ送り届けることができ、受け入れ準備も速やかに行なうようになる。米国では一部実用的な段階に足をふみ入れているが、我国においては伝送の問題のみについても、電々公社、電波監理局との間で実施上の問題解決の討議がもたれねばならないが、このようなシステムを想定した実験、研究が行なわれている。

#### ④ 管理および広報用

現在でも、一部救急センターなどでは、救急病院の空ベッド数などが集計表示されているが、それでも交通事故などの場合、医師の処置を速やかに受けられなかったために、後遺症を残したり、一命を落したりすることもあり社会的に非常な損失を招いている。地域社会単位の救急網を整備するとともに、利用者、どこへ行けば一番

いいのかを臨機応変に速やかに知らせるための伝送網を整備することも急務である。また、一つの病院内でも、病院管理の面から見て、最もスムーズに業務の流れが運ぶように、来院者、入院者に指示、広報する伝達網も必要であろうし、医師あるいは、看護婦に対する選択呼出装置など業務を側面から援助する連絡網も必要である。

以上のことは、人体にたとえれば、神経細胞による伝送網がはりめぐらされて、各器官が有機的なつながりをもってはじめて、1人の人間をつくりあげているように、医療システムにおいても、機能的なシステムを作り上げるために伝送網は必須のものである。しかし、現状は、科学技術を十分に駆使しているというには程遠い状態であるが、このままでは、病院の機能は麻痺する恐れも考えられ、時代の要望に則した医療システムの研究に真剣にとり組まれる機運となっており、この方面のシステム技術者が育成され、かなり前時代的様相を呈している病院の管理部門に新風を吹き入れることが時代の一つの要求となっている。

## 情報処理

医学研究や医療の分野においても情報処理の問題はかなり多いが、研究方法が工学などとかなり異なった方法論に立脚しているうえ、医学分野における現象の解析には定性的ないしはパターンによる解析が広く行われており、これを厳密に数量化する必要がないと考えられる分野や数量化が困難である分野が存在すること、また数量化された情報でも生体情報特有の非定常性を示すことが多いなどの医学情報の特殊性のために、情報処理の概念や手法の導入が遅れていた。しかしながら、最近のMEの発達に伴って医学領域における情報処理が重視されるようになり、計算機診断、パターン認識、生体信号の検知および処理、医療システムにおける情報処理、病歴管理の自動化など種々の面にわたって研究が進められ、一部実用化されるほど盛んになってきている。

以下に各項目について簡単に記す。

### 1. 計算機診断

診断とは与えられた症状群を情報として、ある病名の集合のなかから疾病を選び出す情報処理である。したがって、これを計算機により自動化するには獲得したデータをいかにして処理するかということが重要になってくる。すなわち計算機診断の成否はデータの処理方法にかかってくる。この際、問題となる事項をあげると

(i) 医学情報を情報処理に適合する量に変換すること。

(ii) 情報量の性質により、医学的特性を充分考慮して最も適した処理方法を用いること。などである。

診断過程を計算機で行なわせるには、

(i) 医師の診断思考過程をそのまま計算機に演算させる方法。

(ii) 診断論理を数学的モデルにシミュレートして、その計算結果をもって診断の代行とする方法などがある。前者に関して用いられる手法は、患者の示す情報（症状群）を入力として、計算機に記憶させた疾病のパターンと比較して、合致するものを患者の病名とする方法など、非確率的決定論理に基礎をおくもので、論理代数などが使われ、後者は線形判別関数、尤度関数、Bayes の定理など、主として確率統計学ないしは推計学的な手法である。

これらの手法により、これまで先天性心疾患、不整脈、心電図、脳腫瘍、肝疾患、肺癌などを対象として多くの計算機診断に関する研究が行なわれている。また単なる病理的な疾患名の診断にとどまらず、診断の目的である治療方法の選択や予後の判定、社会復帰の可否の決定などに関する研究も始められている。

しかしながら、いずれもおよそつぎのような理由でまだ臨床的実績をあげていない。

- (i) 計算機診断に必要な基礎的データの不足。
  - (ii) 設備費が膨大であること。
  - (iii) 認識をもつ医師が少ないこと。
  - (iv) 工学などの他の分野からの協力者が少ないこと。
- 従って、これらの問題を解決すれば遠からず計算機診断の実用化の道も開けるであろう。

## 2. パターン認識

医学における情報処理には、視診、X線像読影、内視鏡所見、病理組織所見など、パターン認識の問題もかなり多い。この分野は人間の能力が計算機などの機械の能力よりも優れている領域であるが、客観性、再現性、迅速性などに問題があるので、最近計算機や専用の装置によってこれらのパターン認識を行なおうとする研究がかなり試みられている。これまでのところ、前出の細胞診の自動化や心電図の自動解読などわずかのものにすぎず、この分野の発展のためには、工学的なパターン認識技術の進歩が望まれる。

しかしながら、心電図の自動解読に関しては数多くの研究があり、一部では実用化されるほど進んでいる。次に心電図診断について簡単に述べる。

図4に計算機による心電図自動診断過程のブロック図を示すが、図で平滑化というのは、AD変換装置によってデジタル化された心電図波形には筋電や商用周波数などの雑音が混入しており、パターン認識の邪魔になるので、最小二乗放物線近似などにより平滑する過程であり、区分点認識は心電図の各点（図5に示す）を決定する過

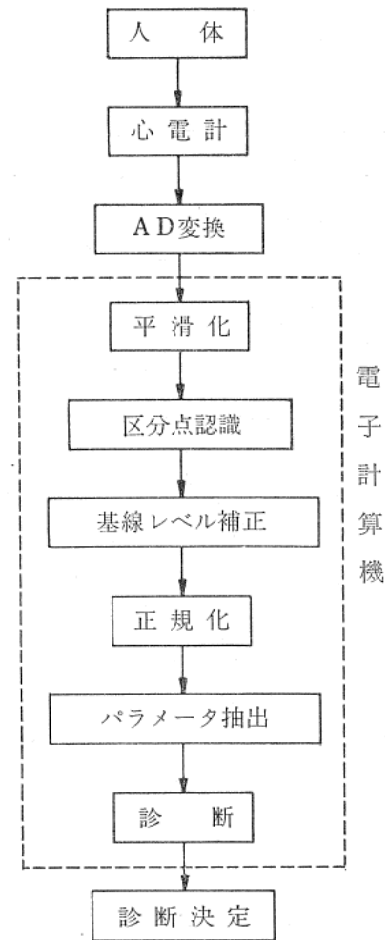


図4 心電図自動診断過程

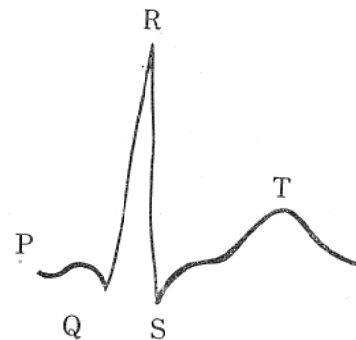


図5 心電図波形

程、またパラメータ抽出とは、Rの高さやQRSの時間間隔など診断に必要なパラメータを測定抽出する過程である。区分点認識からパラメータ抽出まではパターン認識における特徴抽出過程であり、診断は識別過程にあたる。

なお診断のためには計算機診断の項にあげたいくつかの手法が用いられる。

## 3. 生体信号の検知および処理

生体からの情報はしばしば雑音を伴うため雑音中の信号を検知したり、あるいは時系列論の立場から検知した

信号の波形分析を行なおうとするもので、これには相関分析、フーリエ解析、移動平均、ピリオドグラム解析などの通常の工学的手法がよく用いられている。

例としては、average technique による脳波の誘発電位の検出やフーリエ解析を用いた動脈壁による圧力脈波歪の機序の研究、また心房細動時の心室収縮の不規則性の程度、およびその中に隠れた周期性要素の量的記述を相関分析によって行なおうとするものなどがある。

なお、これらの目的に適した計算機として LINC (Laboratory Instrument Computer), ARC (Average Response Computer), CAT (Computer of Average Transients) などがある。

#### 4. 医療システムにおける情報処理

「待時間3時間、診察3分」とよく言われるように、現在の病院は定員過剰の患者をかかえている。これは主として現行の医療制度に原因するものであるが、病院機能の機械化を遂行することによってこれを緩和し、患者に対するサービスを向上するとともに職員の労働量を軽減し、病院管理の合理化をはかることが期待される。病院のオートメーション化において常に問題となるのは情報の流れの複雑性、特異性であり、これを解決することなしに病院管理の発展はありえないとさえ考えられる。したがって、病院における業務を細かく分析し、モデルを組立てたのち（これについてはシミュレーションの項で述べる）EDPS の導入により病院の情報処理をはかることがホスピタルオートメーションの基本的な問題である。

ところで病院内における各種の情報は診断治療部門、検査部門、薬剤部門、看護部門、事務および管理部門などいろいろな部門に発生するが、ほとんどの情報がいくつかの部門にまたがって流れて行くため、システム工学的に充分検討して、各部門における処理を有機的に結合し、全体としての病院情報処理システムを作りあげてゆかねばならない。現在のところ、主に経済的理由から全体のシステムにわたる研究はまだ行なわれていないが、サブシステムにあたる各部門別の情報処理については多くの研究が行なわれているので、その主なものを簡単に紹介する。

##### (i) 診断・治療部門

問診、診察、診断、治療までの一連の過程を自動化しようとするものである。計算機診断については前述したので、ここでは問診の自動化について述べよう。

予診は診断の基礎となる重要な業務であるが、医師の不足による労働過重のため能率の低下や粗雑化が起こる。問診の自動化は患者の待時間を利用して問診カードに記入させ、これを処理して必要検査などの指示を自動的に

行ない、予診医の節約とともに客観的、画一的、かつ能率的な予診をとり、計算機診断との結合をはかろうとするものである。この目的のためにわれわれは自動問診機や、さらに進んで簡単な処方などの指示も出し得る自動診察機などを試作している。

##### (ii) 検査部門

EDPS により各種検査成績を処理し、個人別ないしは検査別に整理して、必要部門に伝送しようとするものである。

##### (iii) 薬剤部門、看護部門

処方箋や、医師の指示などの情報の伝送と処理結果の確認を EDPS により能率化しようとする。

##### (iv) 事務および管理部門

健康保険の点数および料金計算などの会計事務ならびに一般事務や、薬品などの在庫管理などを EDPS 化したり、オペレーションズ・リサーチ (OR) により院内管理の合理化をはかる。

以上の各部門の情報はいずれも病院の特徴である多量かつ少量の情報であるのでこれに適した入力装置の開発が必須である。

#### 5. 病歴管の自動化

患者についての診療記録 (カルテ) には患者の氏名、年齢、性別をはじめ、病名および主要病状、治療方法などを記録し、これを5年間保存して必要時に抽出できることが法律で義務づけられているが、それは別にしても、診療記録は病歴統計、医療監査、診断論理の研究などの病院管理や医学研究、さらに医学教育にも重要であり、また患者の予後観察や病歴索引に不可欠のものである。したがって、患者名、病名、手術名、検査成績などによる整理された索引が必要であるが、医学の進歩に伴ない、診療記録に含まれる情報の種類、量などはますます複雑化し、索引がうまく作ってある場合でも、人手では探索に時間を要したり、時には探索不可能となる場合もしばしばある。そこで IR (Information Retrieval) の技術を応用して病歴索引を機械化し、病歴管理の合理化をはかることが考えられる。

現在までに考えられている病歴管理の機械化には次のようなものがある。

##### (1) パンチカードによるもの

主要な索引項目をパンチカードに穿孔し、各種のカードマシンシステムにより必要事項を検索しようとするもので、実用化されているところもいくつかある。

##### (2) パンチカードとマイクロフィルムによるもの

パンチカードにほう大な病歴の詳細のすべてを記録することは不可能であるので、詳細なデータはもとの診療記録にたよるを得ない。そこで必要最小限の項目をカ

ードにパンチし、主情報をマイクロフィルムに収めて、マイクロフィルム選別装置により、必要箇所を検索しようとするのがこの方式である。

(3) 磁気テープとマイクロフィルムによるもの

パンチカードでは記録する情報量が少ないうえ、検索時間が長く複雑な組合せ事項による検索は不能であるから、見出しに相当する部分を磁気テープに記録し、主情報をマイクロフィルムに収める方式である。このためにマイクロフィルム装置と磁気テープ装置を組合せた専用の検索装置も開発されている。

なお、これら以外にもランダムアクセスメモリに情報を蓄積して検索の迅速化をはかる方法なども検討されているが、費用がかかりすぎて実用化には問題が多い。

また、いずれの方式にしても疾病コードや検査コードの統一など基本的問題をまず解決することが第一である。

### 制 御

生体から情報を検出し、処理し、あるいは、機能解明のためにシミュレーションを行なうその最終目的は、生体自身の持つ恒常状態 (Homeostasis) 維持機能の補助、すなわち、生体に対する制御 (薬剤投与などによる生体機能回復をも含めた広い意味の制御) にあると言える。現在、ME 分野で研究されている制御には、人工臓器 (手術時の人工心肺、人工心臓、人工腎臓、人工血管など)、麻酔、心臓ペースメーカ、人工呼吸器、義肢などの自動化がある。これらのうち、2、3のものについて、最近の研究を簡単に紹介する。

#### 心臓ペースメーカ

心臓ペースメーカとは、心臓の調律を整えるための電気刺激装置であり、これはかなり実用化が進んでいる。図6に示すのはその1つで、直接誘導型と称されるものである。胸壁を介して、刺激電極が送信機に電磁結合さ

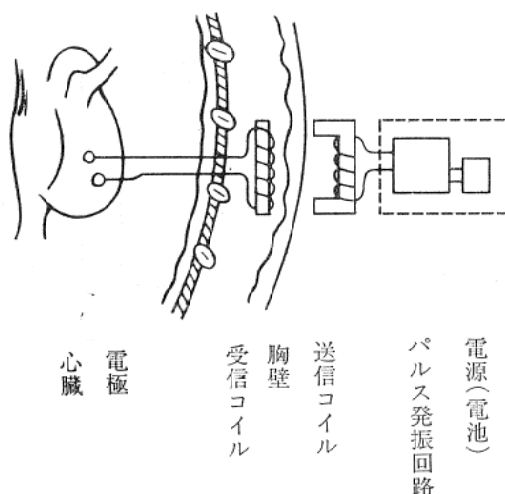


図 6

れており、送信機側の発振周波数を変えて心拍数を変えるようになっている。現在、これらの装置は開ループ系としてしか生体に作用していないが、この種装置で体内埋込型のものもあるゆえ、近き将来、ペースメーカは、血圧や血流量などのやはり埋込型のトランスデューサからの帰還信号で、心拍数を適応制御するような方向へ進展するものと思われる。その際、問題となるのはエネルギー源であるが、これも生体内でまかなう方法が研究されており、現在数100 $\mu$ w (ペースメーカーキングだけには充分) 程度のものが得られているので、見通しは明るい。

#### 人工心臓の自動制御

前項の研究は、生体の心臓機能をそのまま利用して心拍数を制御するだけであったが、心臓自体を人工のものにとりかえる研究も行なわれている。生体の数ある臓器のうち、心臓は、その構造と機能とから考えて、最も簡単なものの1つであると思われる。その理由は、心臓はただの血液送出ポンプにしかすぎないからである。そこで、これを図7に示すような空気ドライブ型のポンプで代用し、その制御を、血圧・血流量などの帰還信号の電子計算機による処理結果で行なうことが試みられている。この方法は、心臓の重症患者が、一時その機能を人工のものにまかせて、本体の回復を待つ場合とか、あるいは、心臓の回復が不可と判断された時に、最近話題の心臓移植に際してその提供者の現われるのを待つ間に1時使用などといった場合には有効であろう。あるいは、もっと積極的に、血圧・血流量などのトランスデューサ・電子装置などの生体埋込化、およびポンプエネルギー源などの問題が解決されて、長期使用可能の時代も出現するかもしれない。

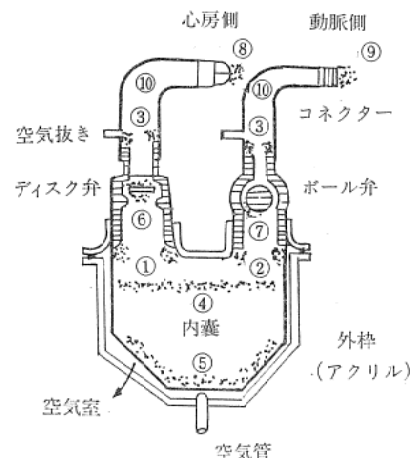


図 7

#### 感覚装置つき義手

これは、義手の先端に感覚装置をとりつけて、物の把握を確実にしようとする装置である。現在広く用いられ



ている鉤を2本用い、その開き角と圧力に対する検出器がつけられている。検出器出力を増幅・変調後バイブレータを働かせ、手の切断端に振動として伝達し、把握感覚の帰還信号としている。この装置によって、ポケットから物を取り出す、メータを見ながらハンドルを操作する、卵・タバコ・アイスクリームコーンなどを取扱う、などに関して非常に容易になったそうで、今後の義肢の1方向を示すものとして興味深い。

シミュレーション

ME分野において現在おこなわれているシミュレーションを分類すると2通りある。1つは、医療システムに対するシミュレーションであり、他は生体に対するシミュレーションである。そのいずれもが、対象とするシステムのアイデンティフィケーションを目的とすることに変わりはないが、解析後の行動においていささか差異が生ずる。すなわち、前者では、システムの効果的な運用をねらって、各コンポーネントの改造(改良, 増設, 削減等), あるいはシステム全体の新設計を行なう。一方、後者には2通りの行動があって、その1つは通常、生体システムは工学システムに比して勝るとも劣らぬ合理性に富んでいるゆえ、その合理性を追究して、これを工学装置に導入しようとする場合(カエルの目→ミサイルのホーミング装置, 脳→電子計算機の記憶機講)と、他は、診断、治療あるいは制御(麻酔等)のために応用展開しようとする場合である。

ここでは、前者、後者から各1例ずつ選んで簡単に説明することにする。なお、後者に対するシミュレーションの手法については、本誌昨年リサーチハイライト13号に筆者らによる解説があるので参照されたい。

病院機能のシミュレーション

これは、医療水準の向上とともに増長されつつある外来患者の待ち時間を、診断精度の低下や患者数の制限なしに、しかも、経済的負担を大きくしないで短縮させるためには、いかにすれば最も能率がよいかということを探求しようとして研究が行なわれたものである。対象は大阪府立成人病センターで、まず、患者の流れを把握するために、到着分布(時刻・人数・初診再診別)、サービス分布(診療部門・所要時間・要員数・処理人数・開始終了時刻)、受診内容(行先部門・順序)、病態分類(到着人数・受診内容)、歩行時間(各部門間距離・単位歩行時間)について現状分析が行なわれた。シミュレーションの基本構想として、まず、temporary elementとしての個々の患者の到着時刻を到着分布から求め、各患者の初診、再診別、1日の受診料とその順序が調査結果を基にして決められる。つぎに、permanent elementとしての各サービス部門間で、その属性と受診順序にした

がって、時刻を離散的に進めながら患者が動かされる。

流れのシミュレーションは、図8のように、患者は玄関またはサービス部門に到着し、待つか、サービスを受けるか、終って歩くか、のうちの1つの状態であるから、indicatorを使って、この4事象次第で、スケジュール表と待ち行列との間の患者コードを送受させる。

デジタル計算機によってシミュレータが構成され、内科初診7 box, 再診9 box 外科4 box として、処理した人数とその終了時刻は現状とよく一致しており、モデルの正当性が確認された。

そこで、このモデルを用いてサービス改善のための各elementの変更が試みられた。たとえば、事務・診療の機械化・自動化などによって、おもな部門のサービス時間が $\frac{1}{2}$ に短縮されると、平均待ち時間は、初診受付で $\frac{1}{5}$ 、会計では $\frac{1}{10}$ 、薬局では $\frac{1}{4}$ に短縮されるが、内科初診・

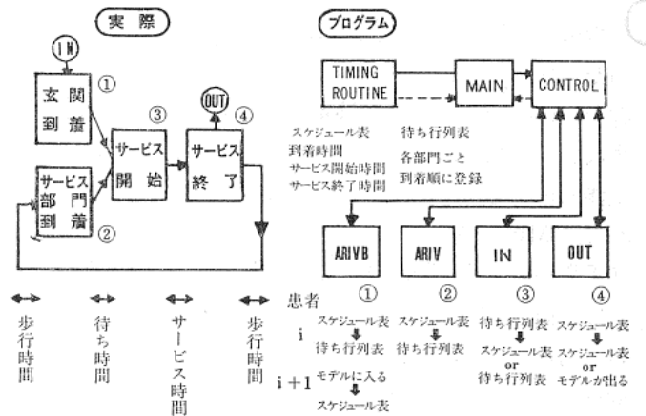


図 8

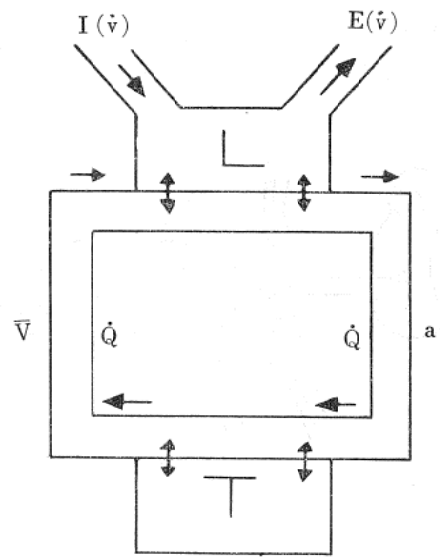


図 9



再診室, 外科, 泌尿器科などの診察室関係では, 約3%程度にしか短縮されないなど, 病院機能の改善のための興味あるいくつかの分析結果が得られている。

潜水時胞肺内ガス交換のシミュレーション

これは, 肺胞内ガス交換の動的プロセスを解析するために組立られた簡単なガス交換モデルを用いて, 過酷な環境下におけるガス交換のメカニズムを解明するために, 筆者らによって行なわれたものである。

生理学的なモデルは図9に示すごとく非常に簡単なもので, 単一肺胞L・動脈血管系a・単一組織T・静脈血管系vからなり, 肺胞において, 換気量 $\dot{V}$ により  $O_2$  がaに供給され, vより  $CO_2$  が肺胞に排出される。また, 組織においては, aにより  $O_2$  がTに与えられ, Tからvに  $CO_2$  が与えられる。いま, このモデルに潜水を行なわせるために呼吸停止 (Breath hold) させ, 水面下に沈ませると, 胞肺内ガスXについて次式が成立する。

$$\frac{dP_{ax}}{dt} = \frac{Q(P_B - P_A)}{V_L} (C_v - C_a) \times + \frac{dP_A}{dt} \frac{P_{ax}}{P_A}$$

また, 組織においては,

$$\frac{dP_{vx}}{dt} = \frac{\dot{V}_x}{b} + \frac{\dot{Q}}{b} (C_a - C_v)$$

ただし,  $P_x$  はガスXの分圧, a・vは動・静脈を表わす添字,  $\dot{Q}$ は循環血液量,  $V_L$  は肺容積,  $P_B$  は大気圧,

$P_A$  は環境圧,  $C_x$  はガスXの血液中濃度 ( $CO_2$  に対しては  $C = k_1 + k_2 P$  とおけるが,  $O_2$  に対しては解離曲線  $C = f_n(P)$  となる),  $\dot{V}_x$  はガスXの代謝量 ( $O_2$  は消費で負符号,  $CO_2$  は産出で正符号),  $b$  はガスXの組織に対する溶解度 ( $C = a + bP$ ) などである。これらの式をアナログ電子計算機に解かせて, 種々な速度で深度30mまでの下降・上昇・浮上・正常呼吸再開の模様を描くと図10のごとくなる。この図の詳細な説明は紙数の制限上はぶくが, 非常に興味深いことは, 高速度で下降すれば,  $P_{aco_2}$  は呼吸停止のために当然上昇一方のはずなのに, 途中から下降するということが, および,  $P_{ao_2}$  は呼吸停止に伴って当然下降しなければならないのに, 高速度下降を行なうと逆に上昇することなどである。これらのデータは数少ない実測値とよい一致を見ているが, 生体の潜水実験で  $P_{ao_2}$  や  $P_{aco_2}$  を連続的に測定するのが非常に困難なために, 示唆に止まる部分が多い。しかしながら, 潜水の限界を示す1つの目安として, 非常に重要な示唆であると考えられる。

以上, 筆者らは最近のMEについて簡単に述べたが, ME分野では, まだまだ多くの技術者の援助を必要としている。本稿が, たとえ1人の方にもに関心を持たれる機会を提供したとすれば, 無上の喜びとするところである。

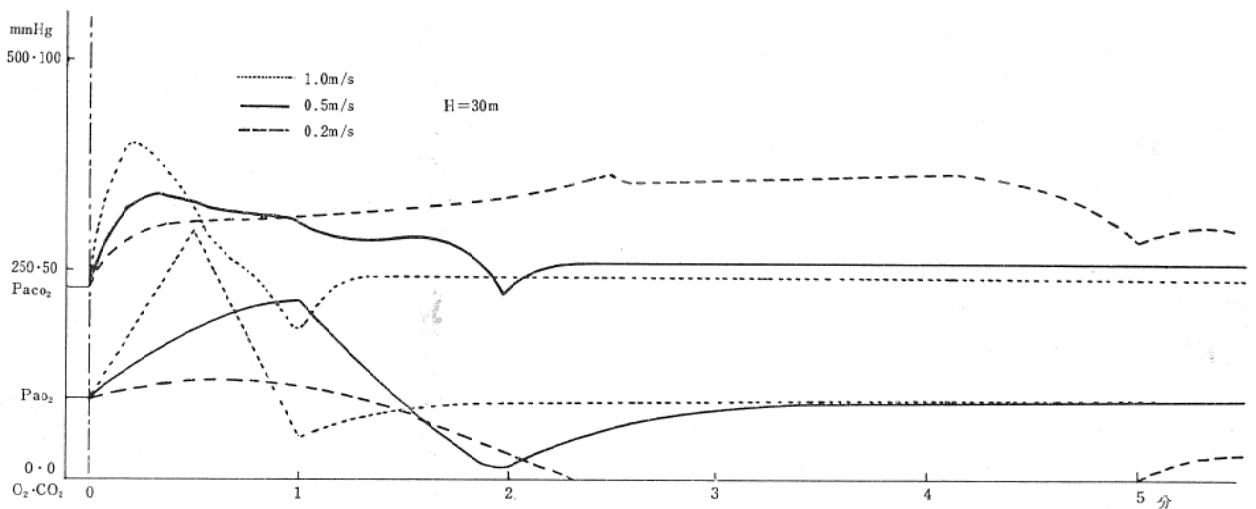


図 10