

## 解説



## 医学におけるコンピュータの応用†

伊藤正男‡ 外山敬介‡

## 1. はじめに

医学におけるコンピュータの応用は最近次第にその比重を増し、いろいろな面に広がっている。基礎医学の研究においては実験用の機器として、複雑で膨大な実験データを迅速に処理することは勿論、実験システムの中に積極的にコンピュータを組込んでその制御のもとで実験を行うことも行われ始めている。コンピュータによるシミュレーションやモデル実験もしばしば行われる。臨床医学においては診断や調査に広く使われ出しているし、医学教育用の人体シミュレータやコンピュータに制御されるロボットによる治療や看護の実現もそう遠い夢ではなくなってきたようである。基礎臨床を問わずコンピュータによる情報検索は次第に一般化しつつある。本稿ではこれら最近の医学におけるコンピュータの応用について主だったものを取上げて解説したいと思う。

## 2. 基礎医学における応用

基礎医学の分野では、解剖学や放射線健康管理学などにおける画像処理、生理学、生化学や血清学におけるデータ処理、医用工学におけるシミュレーション、衛生学、公衆衛生学における統計解析の問題にコンピュータが多く用いられている。次にあげるのはその例である。

## 2.1 組織形態学

生体組織の薄い切片を顕微鏡で調べる時得られる情報をデジタル化して読取り、コンピュータで処理することが行われるようになった。いわゆるデジタル顕微鏡と呼ばれるものである<sup>1)</sup>。切片資料の上をフォトマルチプライアや光電半導体を用いた読取り装置で走査して行く方式と、TV 撮像管を用いて光電変換を行いビデオ信号として情報を取出す「画像解析装置」方

式とがある。精度の点では走査方式の方がすぐれているが、処理の迅速さや読取った情報をモニターでディスプレイして原像との対応をすぐ確認出来るのは撮像管方式の利点である。こうして得た情報をもとに、輪廓の検出、特徴部分の抽出、部分曲線の方向や曲率半径の計測、部分領域の形状の識別、各領域の相互関係の分析と全体の構造の識別などを行う。最近では脳組織の中にある小胞体と呼ばれる球形ないし楕円形の超微細構造の長径、短径の測定をこの方法で行った例がある。

更にまた、組織の連続切片からその中のある構造の立体的な再構成を行うことが行われる。何枚もの連続切片をコンピュータに記憶させて再構成を行うと、再構成された対象物を回転させて種々の角度から眺めることが容易に出来る。1977年11月ロスアンゼルス近郊で行われた北米神経科学学会ではこの方法による神経細胞の型の分析、神経細胞の樹状突起の形状の分析、シナプス付着位置の分析などが発表されていた。神経組織の定量的な研究には今後ますます利用されるようになるだろう。

## 2.2 正弦波状刺激に対する生体反応のフーリエ解析

線形システムに正弦波状の入力を与えれば出力も正弦波であり、その振幅、位相を測定すればそのシステムの伝達関数が得られる。システムが非線形であれば反応に歪みがおこり、この歪みによってシステムの非線性を調べることが出来る。生体に対する刺激を正弦波状に加え、正弦波状の反応を得る場合は多い。筆者らの研究室では動物の頭を水平面上で行きつ戻りつ正弦波状に回転させ、これにより惹起される眼球の正弦波状の回転を計測したり、延髄や小脳内の神経細胞の発生するインパルス信号に生ずる正弦波状の変調を分析している。このような場合コンピュータで高速フーリエ変換を行うのが簡単である。筆者らは一周期を18ピンに分けてサンプルした反応の曲線をNOVAOIを用いて分析しているが、最近次の2つの問題に遭遇し、ポーランドから留学して滞在中のヤストレボフ氏

† Application of Computers to Medicine by Masao ITO and Keisuke TOYAMA (Department of Physiology, Faculty of Medicine, University of Tokyo).

‡ 東京大学医学部生理学教室

がこれを解決してくれた<sup>2)</sup>。第1に、生体の正弦波状の反応にはしばしば他の成分が混入しフーリエ解析の結果に誤差を導入する。直線的なドリフトが混入する場面が多いので、フーリエ解析と線形回帰分析を組合せて行うことによりこのドリフト成分の影響を除くことに成功した。第2に、反応が比較的小さくてしかも雑音を含んでいる時にはフーリエ解析により与えられる正弦波成分に果して反応としての意味があるかどうか問題になる。これに対してはその正弦波成分が偶発的に与えられる確率を分散分析により計算し、確率が5%以上の場合は正弦波成分には反応としての意味がないと判定することにした。以上の解析のためのプログラムはFORTRAN IVにより構成した。正弦波を刺激として用いる生理実験などに一般的に有用な方法であると思われる。

### 2.3 パルス列の相関解析

神経や筋の発生するインパルス信号のもつ情報をとり出すために、種々の方法が案出されてきた。インパルスの間隔を計測したり、刺激と相対的にインパルス発射頻度の変る状況を分析することは極めてルーチン化し、そのための比較的簡単なプロセッサは大抵の生理実験室に備えられている。更に最近では2つのインパルス列の間の相関を解析することにより、脳内の2つの神経細胞の間の結合の有無を判別するなど、ミニコンを用いた新しい型の実験が行われるようになっていく。次に筆者らの研究室で行っている大脳皮質視覚領の神経回路の解析の例を説明する<sup>3)</sup>。

視覚領の2個の細胞からのインパルス反応を2本の双管微小電極を用いて同時にとらえる(図-1A)。このインパルス反応を01のデジタル信号と見なし、2個の細胞間のインパルス反応の相互相関を求める。大脳の神経細胞は神経結合を通して多数の細胞と相互作用を及ぼしあっている。したがって、2個の細胞間だけの相互作用は大変小さなものに過ぎない。この相互作用を2個の細胞のインパルス反応の相互相関から分離して検出するためには、長時間にわたりインパルス反応を計測し、多数のインパルス数について相互相関を求め、そのSN比を高めることが必要である。このため、網膜を光で刺激して、インパルス反応の頻度を高め、細胞間の相互作用を強めることを行う。視覚領の細胞は特定の形の図形に対して選択的に反応するので、この性質を利用して、計測下の2個の神経細胞を含む比較的少数の細胞に高頻度のインパルス反応(100-500ヘルツ)をひき起すことが出来る。図形刺激によって

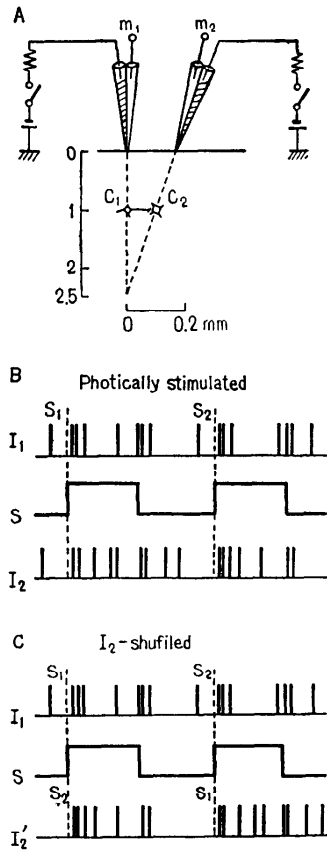


図-1 インパルス列の相関解析

A, 実験のための配置。  $m_1$ ,  $m_2$ , 2本の双管微小電極。  $m_1$ ,  $m_2$ とも双管の1つより電位を導出し、他の1つから電流を流し電極内のグルタミン酸イオンを流し出せるようにしてある。グルタミン酸イオンは細胞の興奮を促進する働きがある。  $C_1$ ,  $C_2$ , 2つの神経細胞。 0は大脳皮質視覚領の表面。数字は皮質内の深さ。 B, 網膜に図形刺激を与えた時の2個の細胞の反応 ( $I_1$ ,  $I_2$ )。  $S$ は刺激の時間経過。破線は刺激の開始時間。 C, Bと同様であるが  $I_2$ をシャッフルしてある ( $I_2'$ )。

ひき起されるインパルス反応の相互相関は、2個の細胞が共通の刺激に対して反応するために生じる、見かけ上の相互作用と細胞間の神経結合により生じる真の相互作用による2種類の相関を含む(図-1B)。

図形刺激を周期的に与えた場合、両者の相関を分離することができる。すなわち、2個の細胞から得られるインパルス反応を刺激の周期ごとに分けてこれにシャッフルをほどこす。そうしても、刺激とインパルス反応の時間関係は統計的には変化しない。したがってシャッフル後も刺激による見かけ上の相関は保存される。一方2個の細胞のインパルス反応の時間的対応関係はシャッフルによって破壊され、神経結合による相

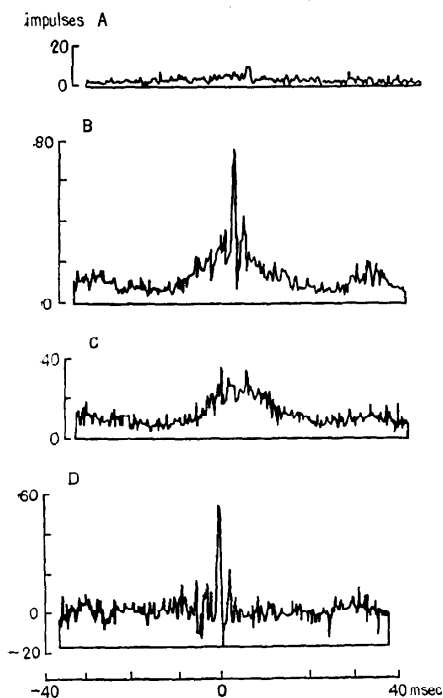


図-2 2つの神経細胞の相関図の例.

A, 刺激なしの条件下で得られたクロスコログラム. B, 視覚刺激を与えた時. C, Bのインパルス列をシャッフルした場合. D, BからCを差引いたもの. Dが正味のユリログラムである<sup>3)</sup>.

関は消失する (図-1C). したがって両者の相関を含むシャッフル前のインパルス反応の相関から刺激による見かけ上の相関を差し引くことによって、神経結合によって得られる正味の相関が得られる。この図形刺激下のインパルス反応の相関解析は非常に有効で、刺激無し条件下ではほとんど不可能であった細胞間の微小な神経結合がこの手法によって証明されている。図-2は、この手法を用いて2個の視覚領細胞が共通の神経細胞から興奮（共有性興奮）を受けていることを証明した例である。刺激無しの条件下 (A) では2個の細胞のインパルス発火にほとんど相関が見られない。しかし光刺激を与えシャッフル前 (B) かシャッフル後 (C) を差し引いて得られる正味の相関 (D) には明らかな相関が認められる。この手法により、これまで不可能とされた神経回路網の局所構造の解析が可能となった。この手法による神経回路網の研究の進展が期待される。

### 2.4 雑音解析

生体の電気信号は一般に極めて微小な雑音成分を含

んでいる。コンピュータを用いる雑音解析によって、この雑音が細胞膜の発生する電気信号を構成する量子的電気変動によることが明らかにされている。量子的電気変動は細胞膜の1個ないし複数個の蛋白分子によって構成されるイオンチャンネルを通して、電流が流れるために生じる。この量子的電気現象を解析し、神経細胞膜のイオンチャンネルの性質を調べる研究が試みられている。これらの研究は実験が容易でしかも神経細胞と類似の性質を持つ、筋細胞についてもっばら行われている<sup>4)</sup>。

神経細胞に接続する筋細胞のシナプス膜（神経筋接合部）は化学伝達物質（アセチルコリン）と結合して反応する受容体を持つ。アセチルコリン分子が1個の受容体と結合した時、膜を横切る量子的な微小電流が発生する。多数のアセチルコリン分子の存在下では、この微小電流の量子和としてシナプス電流が生じる。したがってシナプス電流は電流の平均値としての直流成分と平均値を中心とする微小変動としての交流成分を含む (図-3A)。後者の交流成分についてフーリエ分析を行いパワースペクトラム (図-3B) を求めると、シ

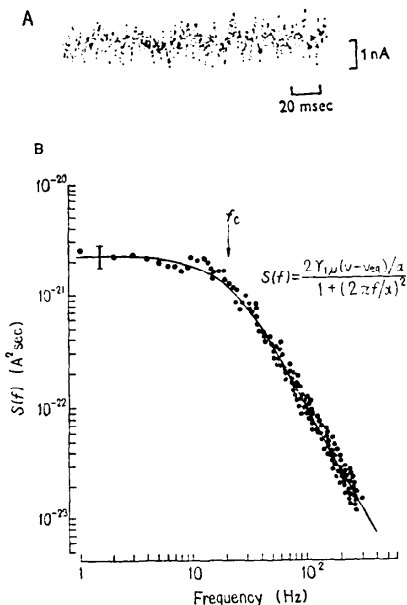


図-3 シナプス電流雑音の解析.

A, 神経筋接合部にアセチルコリンを与えた時筋細胞の膜に生ずる電流雑音. BはAの雑音をフーリエ解析して得たパワースペクトル. 実線は測定値にもっともよく合う理論カーブ. 図に示す式に  $\gamma_1=0.32 \times 10^{-10}$  mhos,  $\mu=8 \times 10^{-6}$  A,  $V=-60$  mV,  $\alpha=0.132$  msec,  $f_c=\alpha/2\pi=21$  Hz を入れて得たもの<sup>4)</sup>.

ナプス電流を構成する量子電流の波形を求めることが出来る。シナプス電流の解析は通常、AD-変換器（サンプル速度、4 kHz）を備えたミニコンで、記憶容量の関係から 10 秒間程度の計測データについて行われる。

この解析によって、1) アセチルコリンが1個の受容体と結合すると平均 6.5 msec の間、イオンチャンネルが開き、シナプス電流が流れる。2) チャンネルの開閉はポアソン分布に従う確率過程であること。3) このチャンネルの開閉の間に  $2 \times 10^6$  の陽イオンが  $2 \times 10^7$ /秒の速度で通過することが示唆されている。

2.5 モデルに基づくシミュレーション

神経生理学の進歩により、脳の神経回路網の構造と機能が次第に明らかにされている。これにつれて小脳や大脳の神経回路網の働きをシミュレーションによって調べる試みがさかんになっている。

ここでは大脳皮質視覚領のシミュレーションの例を紹介する。視覚領の神経回路網は失天的に全部が形成されるのではなく、幼生時の視覚体験に適応して完成される。この形成過程が神経回路網の自己組織化のモデルとして、多くの理工学者の興味を集め、さまざまな仮説に基づいた自己組織化のシミュレーションが試みられている。

これらの試みに共通する点は、神経細胞間のシナプス結合が変り得るとするシナプスの可塑性を仮定することである。シナプス結合が変化することとしてシナプスを通して信号を受けとる神経細胞がインパルスを発生すること（自己学習あるいは Hebb 型学習）、あるいは他の細胞から何らかの教師信号を受けとること（教師付学習）が挙げられている。

視覚領では自己学習を仮定するシミュレーションの結果が実際に神経生理学の明らかにしたさまざまな可塑的な現象を良く説明する。一方視覚領で処理された情報を受ける連合野ではむしろ、教師付の学習が神経生理学で得られる知見を良く説明することが興味深い。

神経回路網の動作のシミュレーションは高度の演算を必要とするので、一般に大型計算機が使用される。しかしながら演算結果の表示（グラフィックディスプレイ）のためには小回りの効くミニコンが衛星計算機として用いられることが多い。

神経回路網のシミュレーションは神経生理学による実験的な研究に対して、理論的見通しを与えるものとして、将来の発展が期待される。

2.6 動物の学習行動の解析

近年、神経生理学者の関心が次第に高次の脳機能に及び、精神機能と神経細胞の活動の対応が研究されるようになった。このような研究には正常な意識を持つサルが用いられる。サルに種々の行動を学習させ、脳のさまざまな部位でこの学習行動間に生じる神経細胞の活動を観測する。学習行動と神経細胞の活動との対応関係から神経細胞の働きを推定する。

学習行動の訓練には通常数ヶ月を要するが、この訓練にはミニコンが用いられる。ミニコンはあらかじめ与えられたプログラムに基づき、光あるいは音によってサルに行動を指令する。サルの行動はさまざまなインタフェースを介してミニコンにより計測され、それが適切であった場合にサルに報酬として飲食物を与える（図-4）。

学習が完成した後、脳の種々の部位の神経細胞からインパルス反応を計測し、同時に学習行動も計測す

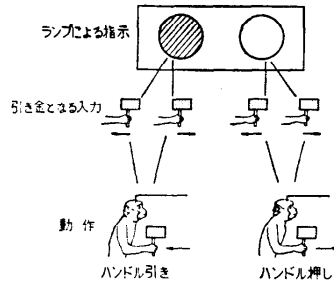


図-4 サルの学習行動訓練のプログラム<sup>4)</sup>。

サルがハンドルを握って定位に保っていると眼前にランプが点き運動の指示を与える。赤ランプではハンドルを引き、緑ランプではこれを押す。ただしサルはランプがついてもそのまま待ち、数秒してハンドルに力が外から加えられた時に運動をおこす。この実験過程はミニコンで操作し、正しい反応をサルが行うと餌を与える。

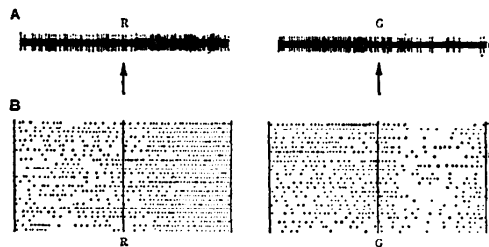


図-5 サルの大脳運動野ニューロンの発生するインパルス信号<sup>4)</sup>。

A, 記録の例。B, インパルスのラスタ表示。1個1個のインパルスが点で現われる。横の一行が一回の試行をあらわし、25回の繰返し試行が縦に重ねてある。Aの矢印、Bの縦線（中央）はランプのついた時点を示す。R, 赤, G, 緑。Bの中央の縦線より左右にそれぞれ約1秒間におこった反応が示してある。

る。学習行動とインパルス反応との対応関係の検索には両者の間の相互相関を示すさまざまな表示法がとられ、これもミニコンが用いられる。図-5はランプで運動方向を指示した後のサルの運動野ニューロンのインパルス反応(A, B)の変化の様子をラスタ表示で示した例である。インパルス反応が生じた時点がラスタ上の点として表示されている。RおよびGの矢印が指示が与えられた時点を示し、その前後の1秒のインパルス反応が表示されている。線のランプでハンドルを押すように指示すると運動野ニューロンの反応が増加し、赤のランプでハンドルを引く指示を与えると反応が減少する様子が示されている。

### 3. 臨床医学における応用

臨床データの統計解析、脳波や心電図、筋電図など電気現象の解析、眼球運動の解析、問診、心理テストによる自動診断、核医学画像処理など、コンピュータの応用範囲が広がっている。

#### 3.1 計量診断学

患者から計測して得た情報を処理して診断を下す過程をコンピュータを用いて行おうとするもので、病名ないし診断名の決定を行う例としては下にのべる心電図の自動解析や、自動問診による患者のふるいわけの例がある。また手術の適応を決める時のように二者択一的な選択を迫られる時の意志決定に際し、コンピュータによる多変量解析とくに判別分析を参考に用いる例は今日かなり多い。病気を多次元の観測ベクトルとして認識・記述し、数学的手法を用いて病気の法則性を明らかにすること、病気の現状の把握にとどまらず、その予後を正確に予測することなどが今後の計量診断学に期待される所である。

#### 3.2 心電図の自動解析

生体情報処理のコンピュータ化の最初の対象として取上げられた心電図の自動解析は、心電図がもともと電気波形として与えられていて処理し易いこと、波形が比較的単純なパタンの繰返しであって図形認識の対象として扱い易いこと、臨床医学上の必要性の高いことなどの理由により、過去17年間によく研究され実用化されてきた<sup>2)</sup>。近年における米国での心電図検査件数は8,000万件にのぼり、このうち690万件が計算機処理をうけている。我が国においては総件数2,000万のうち10万が計算機処理されるに過ぎず、約5年の遅れがある。計算機診断の適中率については、厳格にいうと76%程度であるといわれているが、更に向

上を目指して開発が続けられている。マイクロプロセッサの発達により、これを心電計へ組み込みデータの質を向上させれば自動診断はよりしやすくなると予想される。診断ソフトの改良も盛んに進められているが、前にとった心電図と比較してよくなったか悪くなったかを判断するなど、まだ出来ないこともある。

#### 3.3 細胞診断

顕微鏡像の画像処理については上に紹介したが、白血球、癌細胞、染色体などの自動計測、自動鑑別に関する研究は近年大いに進歩し、すでに実用されつつある。癌細胞を鑑別するためには核の濃度、細胞および核の大きさ、面積、核と細胞の面積比、細胞および核の形、核内微細構造などをコンピュータにより計測し、正常細胞と比較する。子宮癌の早期診断などに極めて有効な手段を提供するものである。

#### 3.4 X線画像

頭蓋骨内の脳や胴体内の臓器の断面像を画き出すX線コンピュータ断層撮影(XCT)は近年における目覚ましい発明の一つである<sup>3)</sup>。とくに脳疾患の診断に大きな威力を発揮しており、臨床的に症状がないのに脳腫瘍が見付け出されて早期の対策を可能にするなどの場合が少なくない。

頭部のXCTについて説明すると、頭の一断面をX線管とそれに頭をはさんで対向して配置された検出器が同期して走査する。こうして頭の横断面を透してX線の一次元強度分布(投影という)が出力として得られる。走査が終わるとX線管と検出器は横断面を含む平面内である微小角度だけ回転し、再び走査を行い投影が求められる。このように多方向からの投影を求めて電子計算機に記憶させ、横断面を再構成させる。初期の装置では1本のX線ビームと1個のX線検出器を用い、X線管、検出器ともに1°ごとに回転、走査を行い、180回繰り返したのであるが、新しい方式では、X線に扇状にひろがり被写体を全部カバーするものを用い、検出器も多数(304~600個)用いて多数の投影を同時にとれるようにしてあるため、X線管が一回転すればすむようになっている。従って撮像時間も5秒程度に短縮されている。再構成像はGE社のCT/Tを例にとってみると、320×320画素より成り、一面素の寸法は1.3×1.3×10(厚さ)ミリである。

更に体の中で動きの一番激しい心臓の静止像の撮像を得ることを目指す超高速XCT装置の開発などが進められており、将来大きな発展が期待される。

身体に入れた放射能物質の出す放射線を検出して

XCTと同じ原理でその分布を描き出すRCTも最近実用化されてきている。

### 3.5 患者の自動監視・治療

連続的長時間の監視、緊急事態への即応、多チャンネル要素の並行監視と各チャンネルにおける変化への適切適時の対応など人間には負担の大きい作業をコンピュータで代行させようとする試みがなされている。たとえば急性心筋硬塞の患者をいち早く収容して絶えず容態を監視しながら適切な緊急処置を講ずるCCU (Coronary Care Unit)を設置する病院は多いが、これを人手だけにたよってはいは医師や看護婦の負担が大きく、またそのようなことに熟練した医師や看護婦は不足がちである。従って出来る限り自動化することが強く求められている。CCUの場合には心電図の監視が主であるから、上記の自動診断装置によって心電図を解析し、その変化や危険に応じて記録をとったり警報を発する装置・システムが開発研究されている。血管内に色素を注入してその稀釈曲線から心拍出量を計算することもミニコンを使って自動的に行うことが出来る。コンピュータに記憶されている治療規準に従って、パルスモータまたはサーボモータによりチューブをしごいて薬液を自動注射する装置もある。

将来、計測、監視、診断、治療の全過程を自動的に行うコンピュータシステムが出来れば、避地や船の上での利用価値は大なるものがある。

### 3.6 人工臓器のコンピュータ制御

人工心臓や人工腎臓などの人工臓器が一般化してきた。人工腎臓のように時々まとめて一括使用するものはとくにコンピュータによる制御は必要でない。しかし心臓の場合、正常では神経系の働きにより、生体条件の変化に対して速やかに対応し、予測的、先行的な反応を行っているのであって、そのような制御のない人工心臓では身体の活動に充分に対応することが出来ない。人工心臓にコンピュータを組み込み、静脈圧、動脈圧波形、血中の酸素濃度などを制御する試みが行われるゆえんであるがまだ一般化はしていない。

糖尿病に対して1日1回インシュリンを注射する従来の方式では必ずしも血糖値を一定に保つことは出来ず、そのため高血糖状態が生ずるおそれがある。これに対し、血糖値を測定しながら、それに応じて生体の膵臓内にあるベータ細胞の働きをシミュレートした形でインシュリンを注射して行く人工膵臓が最近開発された<sup>9)</sup>。糖を負荷した時などの血糖値の変動を出来るだけ少なく、正常値への回復を出来るだけ速く、

且つ注射するインシュリンの量を出るだけ少なくするためにどのような制御がよいかを検討され、たとえ血糖値が正常範囲内であってもその増加スピードに応じてインシュリンを注入して行く制御がよいとされる。

コンピュータを組み込んだ高性能の人工臓器は今後大きな発達をとげるものと期待される。

## 4. 医療における応用

医療における応用はまだ研究の段階にある。実用化には種々の困難があるが、成功した時の事を考えるとその意義は大きい。今後発展の期待される分野にある。

### 4.1 日常生活介助用機械

手足の機能不全を補うための義手、義足、車椅子にコンピュータを用いて高い性能を与える工夫がなされている。不自由な手足の胴体に近い部分の筋肉から出る筋電図の信号や、体の他の部分の運動を信号化して義手、義足の運動を制御するものを能動義肢と呼ぶ。筋肉の代りには炭酸ガスの圧力を用いた伸縮性チューブを使う方式と電動式の歯車を使う方式がある。油圧式のものもある。まだあまりよく実用化されていないが、筋電図をピックアップする電極が改良されたり、筋電図の信号処理をする技術が進歩すると、もっと実用的なものが出来ると期待される。電動車椅子を呼吸、視線、音声、頭の動きなどで操作する方式も研究されている。音声の識別はミニコンピュータを用いて行われる。

欠落した感覚器官のはたらきを補助代行する装置の工夫も進んでいる。感覚用トランスデューサによりとらえた情報ある程度処理してから正常な他の感覚器官に与えたり、神経に直接刺激として与える。たとえば盲の人に光の情報を皮膚への触・圧、あるいは音にかえてそれぞれ知覚させる方式が試みられている。たとえば文字を10×10の振動素子を用いて触覚でディスプレイしたり、文字情報を音の周波数変調で表現する。更には文字をパターン認識して音声に変え、あるいは綴りとしてではなく単語として読むものまで研究されている。光の情報をいきなり電気刺激の形にして大脳の視覚領に送り込む試みもあるが、これに対しては批判が強い。聾の人には音を光、圧、触に変えて知覚させる。音を電気刺激に変えて聴神経や大脳の中核に与えようとする試みもあるが成功していない。

寝たきりの身体障害者や高齢者がベッドを離れずに

日常生活を行うことが出来、しかも治療やベッドの保守維持が可能な限り自動化されたシステムベッドが開発されている。いろいろな装置のついたベッドにコンピュータで制御されて無人・有人の運転が出来る各種のサービスワゴンが組合されている。更にベッドを部屋に拡大したシステムルームも考えられている。このような自動装置に対する社会的な要求はますます高くなるものと思われるが、患者を取扱う装置であるだけに、本当に有効に機能するものが出来るまでにはまだまだ多くの研究開発が必要である。

#### 4.2 リハビリテーションの介助

運動療法、日常生活動作訓練などの理学療法と種々の作業療法は近年よく体系化され発達してきたがこれを行う専門家の数は少なく、コンピュータによってこれを助けようとの要求がおこる。コンピュータに介助される学習方式によってこれを行うことが考えられているが実現はまだ将来の夢である。

### 5. 医学教育における応用

医学教育にコンピュータによる学習方式を導入する試みがあるがまだあまり普及はしていない。また患者の代りに実習用に使うシミュレータも作られ始めている。患者を未熟な学生と接触させることがだんだん困難になっているところから出た要求に答えるものである。たとえば薬剤を注入するとそれに反応して血圧や呼吸が変化するハードウェアシミュレータが麻酔の教育実習に利用されている例がある。患者あるいは病態のソフトウェアシミュレーションもようやく研究が始められた所である。

### 6. おわりに

以上、現在医学におけるコンピュータの応用について目立ったところを紹介した。筆者らの関心の深いと

ころに偏っているおそれは充分あるが、その点については読者の寛容をお願いしたい。医学にはコンピュータの役に立たない局面も多いが、コンピュータによって始めて実現されるようになったことも少なくない。生理学の研究ではミニコンがほとんど必需品となり、多くの研究室に備えつけられている。高性能のコンピュータがもっと使い易く、廉価になって広く医学の各分野で利用されるようになることを期待したい。

### 参 考 文 献

- 1) 平田幸男: デジタル顕微鏡, 生体の科学 25, 346-355, (1974).
- 2) Jastreboff, P.T.: Evaluation and Statistical Judgement of Neural Responses to Sinusoidal Stimulation in Cases with Superimposed Drift and Noise. Biological Cybernetics. 印刷中, (1979).
- 3) Kimura, M., Tanaka, K. and Toyama, K.: Interneuronal Connectivity between Visual Cortical Neurons of the Cat Studied by Cross-correlation Analysis of their Impulse Discharges. Brain Res., 118, 329-333 (1976).
- 4) Anderson, C.R. and Stevens, C.F.: Voltage Clamp Analysis of Acetylcholine Produced End-plate Current Fluctuations at Frog Neuromuscular Junction. J. Physiol., 235, 655-691 (1973).
- 5) 甘利俊一: 神経回路網の数理, 産業図書, (1978)
- 6) 円治 順: 大脳運動野の単一ニューロン活動と随意運動の関連, 塚田裕三編, 神経系の統合機構 共立出版, (1978).
- 7) 古川俊之: アメリカにおける心電図計算機解析, 臨床 ME 2, 73-83, (1978).
- 8) 飯沼 武: 医用放射線画像の現状と将来, 光学 7, 1-11, (1978).
- 9) 小島洋彦ほか: 人工臓腑, その血糖自動測定装置, 人工臓器 4巻 Suppl. 149, (1975).

(昭和54年1月17日受付)