Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

バイオメカニズム学会誌, Vol. 18, No. 1 (1994)

解　説

高齢化時代の創健とME

桜　井　靖　久*

1．人機共生

数十億年前に地球ができてから，人間が進化して今日にいたるまでの歴史は次のように記述し得る．

[地球]—自然(生命)—自然(生物・ヒト)—自然[生物・ヒト(脳)]—自然(生物)×人間(人工物)—地球[自然×人間×人工物]

高齢化社会そのものも，けっして自然の生態ではなくて，いわば人工物の所産である．人間は人工物と共存するべく運命づけられている．いかに上手に共存していくかが，持続可能な発展(sustainable development)社会における最重要課題である．

高齢化社会は当然福祉重視社会となる．福祉の心は，一口に言えばnormalizationということになろう．世の中にはさまざまな弱者がいる．社会における人間の強弱は，性，年令，身体機能，精神機能，疾病，財，地位，権力，国，地域，人種，種族，血縁，家族，血統など，さまざまな要因によって左右される．すべての人の日常生活や社会的な状況が健常化できることがノーマライゼーションの目標となろう．それを達成するには，精神主義だけでは不可能である．環境，設備，機器などがトータルで機能し，人と機械とが一体となって，はじめてノーマル化が現実のものとなる(図1)．人機共生による福祉の達成が高齢化社会における医学と工学の務めになるであろう．

2．医療テクノロジーの進歩

医療に関する現代テクノロジーの日本における歴史をざっとまとめてみると次のようになる．

(1) 1940～'50年代

1928年にフレミングによりペニシリンが発見され，従来の石炭酸やクレゾールなどの消毒薬

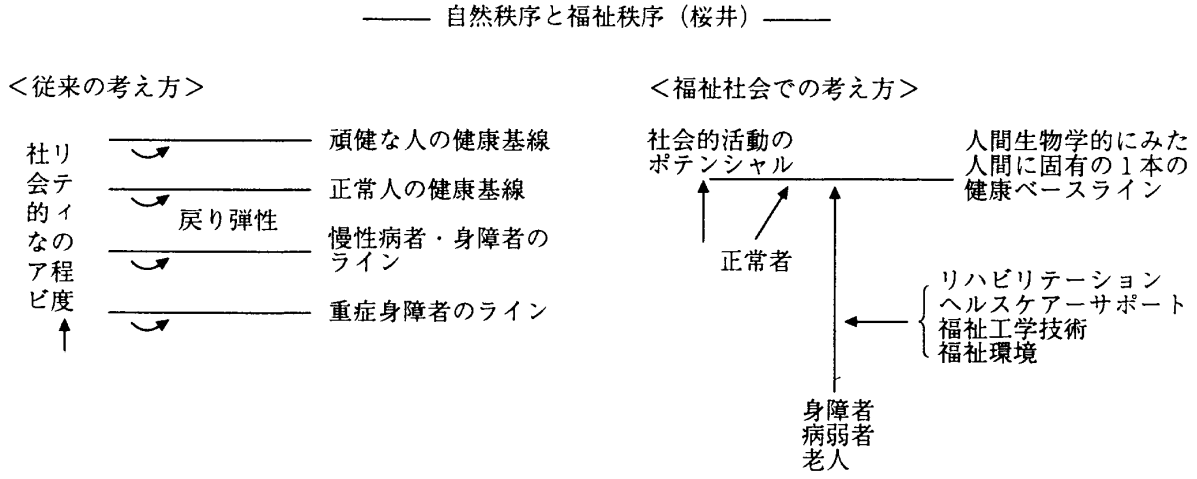


図1. ノーマライゼーションの考え方

とは違って，生体内に投与されて制菌効果を発揮できる抗生物質が出現した．その御蔭で感染症に対する効果的な治療が可能となった．日本において，結核が死因の2位に下がり，脳溢血が

平成5年12月10日受付
＊東京女子医科大学　医用工学研究施設
〒162　新宿区河田町 8－1

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

1位となったのは昭和26年のことである.

公衆衛生の領域で健康転換(health transition)という概念がある. 一国の経済, 社会や医療供給の状態によって, 国民の健康は質的量的に大きく変遷する. それが実現する時期だが, ドイツでは第二次大戦前のナチスの時代に, 保健医療政策の中心はすでに感染症ではなくて, がんであったという. 日本では前記のとおり, 1951年が健康構造転換の時期といえるだろう.

昭和27年に血液銀行が発足して, 輸血のためのインフラができた. 点滴による輸液や輸血は救命に大いに貢献した. そして, 麻酔, 特に全身麻酔の普及と相まって, 外科手術のメスは心臓から脳にまで及び, 医療における生命操作能力は格段に進んだのである.

(2) 1960～'70年代

真空管からトランジスタへと, 電子工学がはなばなしく登場するにつれて, 心電計, 脳波計などの医用電子機器が医療現場に普及した. また, 自動化技術の発展によって血液などの生化学検査が自動化され, 検体の大量処理が可能となった. これまではごく限られた専門家だけの手によって施行されていた臨床検査が, いつでも, どこでもできるようになり, 疾患のチェック機能が著しく向上した.

(3) 1970～'80年代

1972年のX線CTの実用開発を契機として, 医療は一挙に画像診断の時代を迎えた. 生体に苦痛や害を与えることなく, 鮮明で精確な人体の内部構造図が提示されるという, 医学の夢が実現したのである. 私はこれを解体ならぬ生体新書時代の到来と称している. 日本におけるX線CT稼働台数は約7,100台(1991年8月現在), 磁気共鳴断層撮影装置MRIは約1,300台(1992年3月現在)と, 諸外国に比べてその普及台数は群を抜いて多い. ハイテク医療への国民の接近が他国に比べて容易であるといえる.

一方, RIA(ラジオ・イムノ・アッセイ)やEIA(またはELISA, 酵素免疫測定法)等の開発により, ホルモン, 免疫関連物質のような極微量の生理活性物質の定量が可能となり, 検査の精密化は一段と進んだ.

(4) 1980～'90年代

人工臓器, レーザ医学(レーザメスによる無血手術, ファイバースコープを通してレーザ光を胃腸, 膀胱, 気管, 血管, 体腔内などに送り込むレーザ内視鏡手術, 光化学治療など), 内視鏡手術(胆嚢摘出手術などを腹腔内に挿入した電子内視鏡のビデオ画面を見ながら遠隔的操作で行なう方法), IVR(Interventional Radiology, X線透視下で細いプラスチック管カテーテルを病変部血管内に進めて, この管を通して治療操作をする等の方法), 温熱治療(ハイパーサーミア), 粒子線治療, 体外衝撃波結石破砕(ESWL), DDS(ドラッグ・デリバリィ・システム　薬物送達システム), 福祉工学など, 多くの治療, 福祉技術のハイテク化が実現した. これらによってQOL(生活の質)を考慮にいれた患者の負担の少ない治療が可能になり, また治療のメニューが多様化した. その結果, 診療内容を十分に説明した上で, 医師と患者の双方が治療法の決定を分担して決める, いわゆるインフォームド・コンセントの必要性が増した.

これらのハイテク医療に共通していえることは, 精密, 正確な再現性ある医療を可能にしていること, 被験者, 患者の苦痛や有害副作用を軽減するのに役立っていること, である. ハイテク医療こそがヒューマン医療の実現に大きな貢献をしていることを, しっかりと認識すべきであろう.

3. 創健技術

欧米では包括してヘルスケアーというが, 日本では保健・医療・福祉というタテ割りの垣根があって, その間の線引き, 特に行政や予算がからんだ時の境界争いは恰好の議論のタネとなる. いずれも人間の健常な生活を支えようとする業務なのだから, これらを一本化して, “創健”と称したらいかがかと思っている. これからの創健テクノロジーは, トップをめざす専門家向けのハイテクと, 広く一般人が用いるポピュラー技術の2方向になるであろう. 後者には身体

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

機能を助ける福祉技術といわゆる在宅介護やセルフケアー用の家庭用健康機器とがある(表1).

表1. 健康機器とシステム

健康機器	
	ヘルスチェック機器
	ヘルスケアー機器
	生活ヘルス機器
	環境ヘルス機器
	体力ヘルス機器
	ビューティー・ヘルス機器
	余暇ヘルス機器
	メンタル・ヘルス機器
	リハビリ福祉機器
	在宅ケアー機器
	ヘルス情報機器
健康システム	
	環境
	建造物
	搬送
	通信

将来の成人病医療にとって重要なのは，予防である．一次予防(発病の防止)，二次予防(早期発見，早期治療)，三次予防(罹患後の重症化，合併症，後遺症の防止，リハビリ)という具合に，先手を打つ医療によって，人々の生活の質の向上と医療費の節減は可能になる．悪くなってから治そうというフィードバック型医療から，悪くならないように気を付けようという先行予測的フィードフォワード型養生を主体とする医療へと支点を移すことが，すこやかな高齢者社会を築くために必要である．

4．検査技術

現在の医療に欠けているものの一つは“個体差医学”である．多数例の平均値を基準として正常範囲をきめ，そこから外れたものを異常とする現行のやり方は，“人類医学”乃至は“平均値医学”であって，必ずしも個人個人の健康状態に相応しているかどうかわからない．もう一つ重要なのは“時間医学”である．日(概日周期，サーカディアン・リズム)，週，月，季節，年などを周期として，生物の体内現象はリズミカルに変化している．体温，血圧，脈拍数，ホルモン濃度，胃腸管活動，腎機能，細胞分裂，細胞膜上のリセプターの数や活性など，多数にわたる生体内現象は24時間の間に揺動している．例えば薬の効果も，朝と夕方で倍以上違うものがある．それ故に，1日3回食後30分服用というように一律に投薬されるやり方は，けっして精密な医療とはいえない．

個体それぞれの時間医学を把握するためには，セルフチェック，セルフケアーが欠かせない．生体現象を長時間連続して多点サンプリングするME技術の開発によって，はじめて時間・個体差医学が確立する．検査は無侵襲から無拘束へ，さらに無意識検査へと進むであろう．

もう一つ，現行の臨床検査の大部分は，病気によって変化した状態を知るための“病態検査”である．現在，ヒトゲノム解析が世界的規模で進行中であり，30億対のDNA文字によって記された10万にもおよぶ遺伝子が着々と解明されつつある．がん，高血圧，糖尿病，動脈硬化などの成人病には，日常生活や食物履歴と同時に，体質，素因の関与が大きい．従来，きわめて感覚的に体質とか素因とか称されていたものが，遺伝子解析によってその科学的根拠を明らかにされる日が近い．それはまさに原因を知るための病因検査といえるだろう．素因の遺伝子解析を基盤として科学的に打ち樹てられた一生を通じての健康設計，養生プログラムが，成人病予防の第一選択となるであろう．

表2. 治療の方法論

薬剤療法	食事，栄養，内服，注射，外用，坐薬，吸入
理学療法	温熱，寒冷，水治，温泉，電気，光線，マッサージ，運動，作業，鍼灸，高気圧，機械力
放射線療法	X線，ガンマ線，中性子線，中間子，重粒子線
手術療法	切除，止血，縫合，焼灼，凍結，蒸散，移植
精神療法	精神分析，説得，暗示，支持，催眠，自律訓練，バイオフィードバック，作業，遊び
人工臓器療法	形態補填，臓器機能代行，機能補助，補助循環，運動機能代行，免疫機能補助，機能増幅，新機能

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

5．治療技術

病気を克服して，患者にQOL(Quality of Life)に満ちた社会復帰を得さしめるための治療行為は，医療の中で最も大切であると同時に最も難しい仕事でもある．現在の治療はいくつかの方法論に分けられる(表2)．将来へ向かっての治療の概念としては，次の三つが考えられよう．

(1)標的治療技術

制がん剤は試験管内ではたしかにがん細胞を傷害できるが，人体に投与されると，がん組織と同時に健常部位にも薬が配送されて副作用がでてしまう．病変部のみを狙い撃ちして，健常部にはできるだけ障害を与えないようにするようなターゲッティング，それが標的治療である．そのような部位的ターゲッティングのほかに，血中の目標とする物質や細胞だけを除去するとか，生体に有効な波長の光を選択して与える，といったようなスペクトル的な標的もこの中に含ませて考えている(表3)．治療の効果を高め，副作用や二次的傷害を最小限にするためには，マイクロマシンをはじめとしたハイテクによって，標的治療が発展することが望ましい．

表3. 標的治療の例

○ レーザー内視鏡による胃粘膜の止血，腫瘍の焼灼，血管挟窄部の蒸散拡張，光化学治療
○ 体外衝撃波による結石(尿路結石，胆石)の破砕
○ カテーテルによる薬剤の局所注入
○ バルーンつきカテーテルによる血管狭窄部の拡大
○ マイクロ切削器による動脈硬化部の切除
○ 粒子線による腫瘍照射治療
○ ミサイルドラッグ

(2)バイオホロニクス治療

細胞はそれ自らが生存，機能，増殖できる独

表4. 人工臓器の使用概要

種　類	日　本	世　界	臓器移植
完全人工心臓		累計 103 ('88.1)	2,100 ('87) (累計 6,290)
補助心臓	百数十 ('88)	500 ('88)	
人工弁	5,000/年	30,000/年 (米)	
人工血管	10,000/年	150,000/年 (米)	
心臓ペースメーカー	15,000/年	300,000/年 (世界) (このうち100,000 (米))	
人工肺	20,000/年	200,000/年 (米)	心肺＝100 ('87) (累計 287 ('87))
人工腎臓	80,000 ('88)	300,000 (世界)	世界＝15,000/年 (累計 100,000以上)
			日本＝400/年 (累計 4,000 ('85))
人工骨・関節 股	30,000/年 22,000	数十万/年 110,000	
人工骨・関節 膝	5,000	65,000	
人工骨・関節 指	1,000		
人工骨・関節 肩手		50,000	
人工歯根	数例 ('88)	20,000/年 (米)	
人工中耳			
人工内耳		千数百 ('88)	
眼内レンズ	37,000 ('85)	900,000/年 (米)	角膜：日本＝1,000/年 (累計 15,000)
人工ペニス		50,000/年 (米)	
人工乳房		100,000/年 (米)	
人工肝			3,000 ('86)
人工膵			762 ('88.3)

表中(米)は米国内における数

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

立ユニットであるが，人体は60兆個の細胞から成り，それらの細胞が自律分散制御系として働いて，全体として調和してホメオスタシスが維持されている．このような生体の調節系をうまく利用して，病気の時にホメオスタシスを快復させるような治療法を“バイオホロニクス治療”と名付けた．例えば，がん組織を直接攻撃するのが標的治療だとすれば，免疫賦活剤によってマクロファージなどを活性化したり，腫瘍壊死因子を増強したりしてがん細胞を間接的に抑え込み，生体系全体の秩序の中に組み入れてしまう，というのがバイオホロニクス治療である．東洋医学的手法などはこの範疇に入るであろう．

(3)生体代替治療

表5. 人工臓器の性能別分類(桜井)

構造的	人工血管
	管腔器官
	人工骨
機械的	人工心臓
	人工筋肉
	人工関節
物理化学的	血液透析
	血液酸素化装置
	吸着装置
生化学的	人工膵
	人工肝
	人工内分泌腺
生物学的	人工免疫系
	人工細胞
情報的	人工神経
	人工感覚器
	人工脳

傷害された組織，器官の形態・構造あるいは機能を代替物によって補うもので，人工臓器，臓器移植，福祉工学などがある．広義の人工臓器によって生活を続けている人の数は，世界中で恐らく数千万人に達するであろう(表4)．特に高齢化社会を反映して，白内障のとき混濁した眼の水晶体を摘出したあとに挿入する人工水晶体(眼内レンズ)の普及は著しく，1年に200万人に近い人が，その恩恵を受けて，健常人と変わらない視力を得ている．心臓ペースメーカーもきわめて成熟した治療技術となっている．

人工臓器をその機能メカニズムに従って分類すると表5のようになる．これらの中で，現在までに実用普及の段階に達しているのは，構造的および機械的な人工臓器の一部と，透析，濾過，吸着などの物理化学的な原理を利用したもの，それから，機能的電気刺激(FES, functional electrical stimulation)の範疇に入る心臓ペースメーカー，人工内耳などであって，そのほかのものは開発研究途上にある．

人工肝臓など代謝系人工臓器の実用化には生体細胞と人工材料とを組み合わせたバイオ(またはハイブリッド)型人工臓器が有望であろう．バイオ型人工臓器は，ちょうど人工物による人工臓器と自然の臓器を使う臓器移植との中間にあり，バイオテクノロジーの急速な発展によって大きな展開が期待できる分野である．自己の健康な細胞を貯えておいて，体外で増殖させて利用する自己移植も有望である．臓器移植については，ドナーの慢性的不足という問題を，異種動物からの移植などによって補充することが課題となるであろう．

高齢者や身障者の運動系，感覚系，神経系等の機能補助は，高齢化時代にあっては汎用性の大きな技術となる．神経系とマイクロエレクトロニクス系との直接の結合は医工両者にとって魅力的テーマの一つである．

6．インフラストラクチャー

MEという略語に関しては，Medical Electronics あるいはMedical Engineering が元祖であったように思うが，その後，Micro-Electronics にすっかりお株を奪われてしまった感がある．もう一つのMEはMacro-Engineering である．

高齢化時代のQOLを考えたヘルスケアーを実効あらしめるためには，各々の方法論や機器の開発とともに，社会的な基盤構築，環境づくりが重要である．電気，ガス，水道，道路などが日常生活におけるライフラインであるのと同様に，ヘルスケアーを支える社会的インフラの構

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

築は成人病医療にとって不可欠のものである．創健のためのインフラには，いろいろな面が考えられる(図2)．その中で，筆者の考えている新しいシステムを紹介したい．

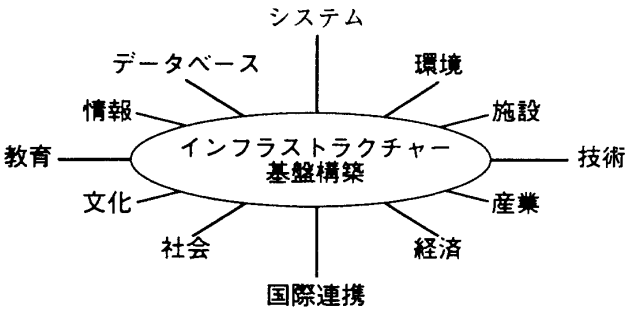


図2. ヘルスケアーのためのインフラ

(1)ホスピタウン構想

現在の医療機関は社会の中において一つの閉鎖的特殊空間を形成しており，一般人にとっては一つの塀の中である．医療機関がもう少し社会と融合した形，社会の中に医療機能が拡散した形をつくり，健康チェックが日常的に可能になるようにしたならば，疾患の予防がより効果的になるだろう．ニューメディア時代はすぐそこまできている．双方向情報ネットワークが，セルフケアー，ホームケアー，第一線医療，専門病院の間の連係づくりに資するところは大きい．

例えば，街角にセルフケアー・ボックスを設置して，無侵襲，安全な検査が，コイン投入によって一人で実施できるようにしておき，異常がみつかればかかりつけの医師に情報が伝達されるような仕組みができれば，個人の責任における健康管理が可能となる(図3)．

(2)創健パーク

日本における病院と大学とは旧態依然の双璧である．いま，世界中で1日に発表される医学論文の数は実に5,500で年6～7%の割合で増え続けている．世界の医学雑誌は10年前に17,000で現在約20,000種類といわれている．このような情報の大洪水時代においては，教育は一生のストックのために詰め込まれるものではなく，絶えず正確で新規なフローを取り入れていくものと変貌してきた．大学などの教育年限はむしろ短縮して，生涯教育や情報提供システムの充実に力を注ぐべきであろう．

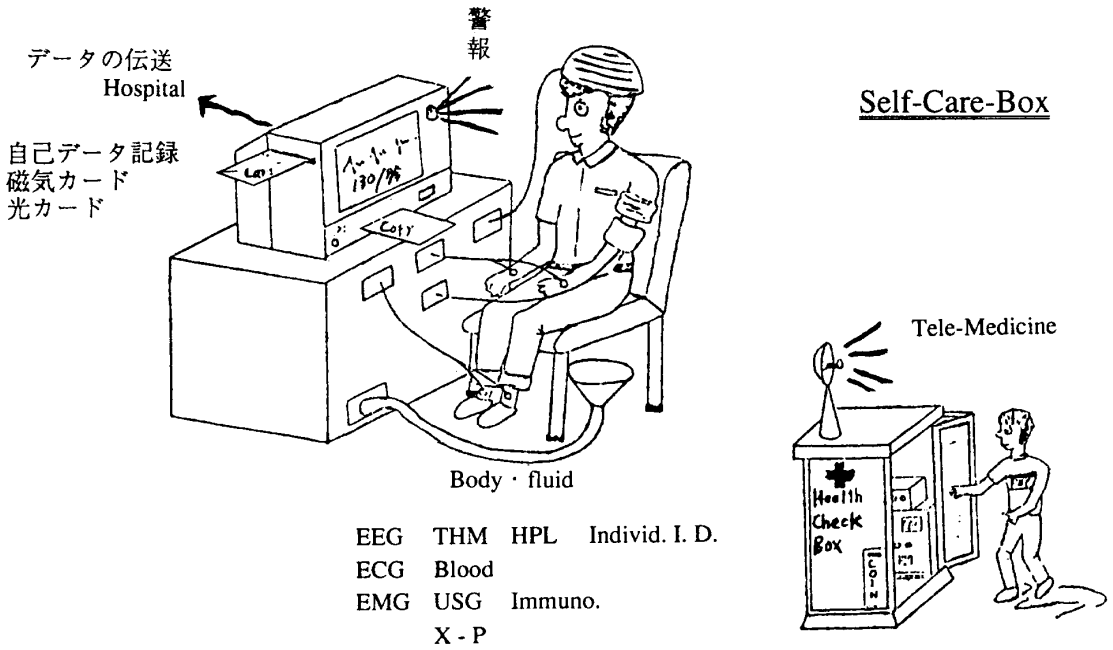


図3. 街角設置コイン式セルフ・ケア・ボックス(桜井)

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

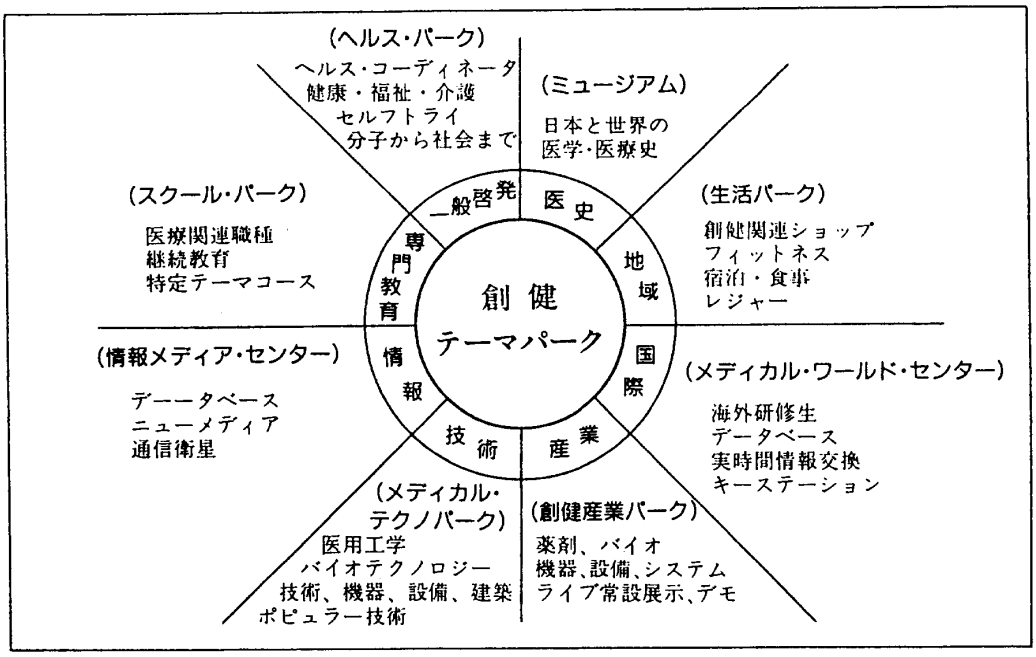


図4. 創健パークのコンセプト曼陀羅

かって，MIT(マサチューセッツ工科大学)のM. ジョロフ教授は，未来のMITは限りなくディズニーランドに近づき，ディズニーランドはMITに近づくであろう，と述べている．大学を一つのテーマパークとして考えるのも興味深い発想である．医療マンパワーの拡大再生産，すなわち教育，訓練，さらにいえば躾けは，医療をよくするための最大のインフラである．

創健パークでは，ヘルスケアーというテーマのもとに，仮想現実感を駆使した世界の医史博物館，マルチメディア，シミュレーター，ロボット，模擬訓練などの新しい教育工学技術を取り入れた医学教育と啓蒙，多種の医療機器が自由自在に操作し試行できる常設展示場，通信衛星を媒介とした国際的実時間双方向映像化情報交換システム，などが設備される．分かりやすいネーミングでいえば，メディカル・ディズニーランドである(図4)．このような施設は，いまのところ世界に存在しない．国内の小中高校生の修学研修，医学生，医師，看護婦等の医療スタッフの生涯教育，海外からの研修生の受け入れによる国際貢献・・・・．創健パークの世界の健康に対する波及効果はきわめて大きいのである．



桜井靖久（さくらい やすひさ）
昭和33年東京大学医学部卒，同外科，医用電子研究施設を経て，現在，東京女子医科大学医用工学研究施設教授．人工心臓など人工臓器，バイオマテリアル，DDS(薬物送達システム)，医用工学の研究に従事．ヘルスケアの将来を考える未来医学研究会会長，日本ME学会，日本バイオマテリアル学会，日本DDS学会，等の会員．著書に「入門人工臓器」など．

NII-Electronic Library Service