

우리나라 醫用生體工學의 現況과 展望

李 忠 雄

現代는 電子工學의 時代이다. 이 電子工學의 發展은 놀라와 乾電池 3~4個로 動作하는 담배갑만한 포켓용 컬러TV, 人間을 代身해서 일을 해주는 로봇등을 볼 수 있으며, 2000年代에 6世代 컴퓨터가 登場하면, 로봇은 自己 스스로 自己를 고치고, 自己 스스로 工夫하고, 人間の 諮問에도 應하는 로봇으로 變身할 것이다.

특히 最近의 電子工學은 여러 分野에서 그 偉力を 發揮하여 電子工學의 應用없이는 어느 分野이고 時代에 뒤떨어지게 되었으며, 醫學分野에서도 電子工學의 貢獻이 기초연구 및 臨床面에서 큰 것은 周知의 事實이다.

電子工學이 醫學에 利用되는 주요한 理由의 하나는 生體의 여러가지 現象이 電子工學으로 還元될 수 있는 까닭이며, 따라서 醫用生體 電子工學이란 새로운 分野가 形成되게 되었다.

初期에는 電子工學의 成果를 醫用技術속에 구체적으로 導入하는 것이 主가 되었지만, 차츰 醫學分野와 工學分野間에 知識 및 情報交流가 이루어져 광범위한 相互利用의 學術領域으로 發展하여, 電子工學과 醫學은 물론 生物學, 工學, 社會學등으로 網羅된 새로운 學問體系를 이루워 醫學과 工學의 橋梁役割을 담당하는 ME(medicine and engineering) 라는 새로운 學問이 생기게 되었다.

이 ME를 연구하는 學會는 美國, 英國, 日本등을 비롯한 先進諸國에서, 1950年代末을 前後하여 생겼다. 우리나라에서는 1977년에 大韓電子工學會에 ME專門研究會(筆者가 設立)가 생겼고, 1979

년에는 大韓醫用生體工學會가 創立되었으며, 今年에 10周年을 맞이하게 되었다. 本學會는 그동안 會員이 400名이 넘는 學會로 發展하였다. 그리고 各國의 ME學會를 網羅하는 ME의 國際聯合이 1958년에 IFMBE(International Federation for Medical and Biological Engineering)라는 명칭으로 結成되었다. 이 IFMBE에서는 3年마다 國際ME大會를 開催하여 人間이나 生物을 對象으로 하는 未知領域의 探求, 醫療保健에 도움이 되는 機器, 하드웨어 시스템 및 소프트웨어의 開發, 生體의 메카니즘의 探求를 위하여 많은 學者들이 參加하고 있다.

이 글에서 먼저 ME의 現況과 未來를 興味있는 分野의 例를 들어 斷片的으로 說明하고 未來의 ME研究分野를 紹介하고자 한다.

우선 醫學에서 使用되고 있는 여러가지 電子裝置中에서 가장 代表的인 전자장치는 CT(computer tomography)라고 할 수 있다. 이 CT는 종래의 X-線 撮影技術과 컴퓨터技術을 結合하여 發展시킨 것으로서 환자가 누워서 숨 한번 쉬는 동안에 人體의 보고싶은 움직이지 않는 部位의 斷面을 人體의 切開없이 브라운관에 비추어 볼 수 있고 사진촬영도 할 수 있다. 이 CT의 出現으로 人體의 藏器中에서도 아주 복잡한 頭腦의 보고 싶은 部分의 斷面들을 차례차례 브라운 관에 비추어 볼 수가 있다. 이 CT가 出現하기 前에는 腦專門醫도 腦의 斷面을 지금 같이 잘 볼 수가 없었다. 지금은 이 CT를 이용하여 腦의 구성구석을 切開하지 않고 자세히 볼 수 있으니 얼마나 놀라운 일인가.

이 CT는 1972年 英國의 EMI社의 Hounsfield*(初代會長에는 吳鉉禧 博士가 推대됨)

<접수: 1989년 8월 1일>

서울大學校 工科大學 電子工學科 教授

에 依해서 最初로 開發된 것으로서 17년이 지난 오늘날에는 美國, 日本, 英國 등지에서 多量生産되고 있다. 韓國에서도 KAIST의 趙長熙博士팀이 NMR CT를 開發한 것을 金星通信에서 生産하고 있다. CT의 普及狀態를 보면 美國, 日本, 英國, 歐洲諸國에서 數千대가 가동되고 있으며, 우리 나라에서는 서울大 附屬病院에 NMR CT와 X-ray CT가, 延世大 附屬病院, 慶熙大 附屬病院, 漢陽大 附屬病院, 聖母病院 등에는 X-ray CT가 設置되어 큰 成果를 내고 있다.

人體의 단면을 보는데는 X선을 이용하지 않고 人體에 전혀 無害한 超音波를 利用한 CT도 있다. 이 경우에는 畫像의 解像度가 X線의 경우보다 떨어지지만 人體에 전혀 害가 없기 때문에 임신부의 태아영상을 보는데 적합하다. 이 뿐만 아니라 腦의 作用을 살필 수 있는 positron CT도 出現되어 腦의 神秘를 버기는데 希望의이다.

人間의 머리를 비롯한 몸의 표면에는 電位가 發生한다. 胸圍의 電位를 測定함으로써 心臟의 動作狀態를 알 수 있다. 특히 머리에 나타나는 電壓波形은 잠 잘 때, 緊張했을 때, 꿈을 꿀 때, 간질병이 發作할 때 각각 다르다. 이와같이 머리의 表面에 나타나는 電氣波形을 腦波라 한다. 이 腦波는 1929年 H.Berger에 의해서 發見되었으나 電子工學의 發展에 힘입어 腦波計 및 腦波의 分析技術이 發達하였다. 이 腦波를 분석하면 그 사람의 정신적인 狀態 및 肉體의인 狀態를 알 수 있다. 人間이 완전히 死亡했다고 醫學的으로 判定할 때 心臟이나 脈搏이 멎는 것으로 하지 않고 腦波가 완전히 멎는 것으로 한다. 요사이에는 이 腦波를 이용한 정신질환의 治療가 시도되고 있다. 즉 精神病 患者에게 自己自身の 正常的인 時的 腦波와 發作時的 腦波를 同時에 보여 주면서 患者로 하여금 自己腦波의 모양이 正常的인 腦波의 模樣이 되도록 정신적으로 애를 쓰게 하는 治療法이 있다. 이와같이 하여 정신병 환자의 腦波模樣이 정상적인 모양으로 되면 精神病이 治療되며, 이 方法으로 治療하면 再發이 잘 안된다고 한다. 이와같이 환자몸에서 나온 腦波出力을 患者自身에게 보여줌으로서 患者自身の 腦波가 正常的인 腦波가 되도록 하는 治療

을 Biofeedback 治療法이라 한다.

腦波를 利用한 재미있는 實驗의 例가 있다. 즉 꿈을 꾸고 있는 사람의 腦波를 Data recorder에 記錄하여 두었다가, 그 사람이 잘 때 이 Data recorder를 돌려 記錄하여 두었던 腦波를 그 사람의 머리에 印加하면 그 前과 同一한 꿈을 다시 꾸다고 한다. 이것은 아주 흥미있는 일이다. 이 現象을 利用하면 惡夢에 시달리는 患者를 人爲的으로 安眠시킬 수도 있으며 또한 꿈을 연구하는데 크게 도움이 될 것이다.

腦波는 거짓말 探知器에도 利用된다. 거짓말 探知器는 사람의 腦波, 皮膚抵抗, 呼吸曲線, 血壓, 心搏動을 同時에 觀察하는 장치로서 이 여러가지 波形을 觀察 分析하면 거짓말 如否를 판단할 수가 있다.

그러면 將次 腦波計는 어떤 方向으로 發展될 것인가. 現在는 腦波를 보거나 記錄하려면, 電極을 頭皮에 接觸시켜야 하나 將次는 電極을 머리에 대지 않고도 腦波를 얻게 될 것이며, 患者의 腦波를 자동적으로 분석하여 處方箋까지 얻게 될 것이다. 이것이 더 發展하면 사람의 몸에 電極을 대지 않고 사람의 마음을 읽을 수 있는 時代가 올까봐 걱정이 되기도 한다.

요사이에는 人工臟器가 發達되었다. 이 人工腎臟은 腎腸機能인 喪失된 患者에게 사용되고 있다. 또 어떤 原因으로 해서 心臟의 心搏數에 異常이 생겨 충분한 血液을 驅出할 수가 없을 때, pacemaker로 心筋에 電氣刺戟(電氣의인 펄스波形)을 주어 심장搏動을 正常化 한다. 이 페이스메이커는 일종의 電子裝置로서 體內에 埋立하여 사용하기도 한다. 이 페이스메이커를 사용하고 있는 사람이 꽤 많다. 人工心臟도 많은 發展을 보아 人工心臟으로 1年 좀 넘게 살 수 있게 되었다. 그러나 2000年代에는 人工心臟을 體內에 넣어 生命을 10年以上 延長할 수 있게 될 것이다.

물론 人工關節도 사용되고 있다. 요사이에 發達된 電子制御技術을 利用한 電子義手が 있다. 사람이 팔을 구부릴 때 어떻게 하여 팔을 구부리게 되는가를 살펴보면, 먼저 팔을 구부리겠다고 마음을 먹으면 大腦에서 發生하는 神經興奮에 의해 생긴

遠心性 神經의 電氣임펄스가 팔의 근육을 收縮시켜서 팔이 구부러지게 된다. 따라서 大腦에서 오는 電氣信號를 電子義手に 印加하여 電子義手が 구부러지게 하면 되므로, 앞으로는 팔을 구부리겠다고 생각하면 電子義手が 自動적으로 구부러지게 될 것이다. 멀지않은 未來에 人工臟器는 고도로 發達되어 自動車에서 部品을 교환하듯이 老朽된 身體의 臟器를 人工臟器와 교환하여 人間의 生命이 자꾸 延長될 것이다. 電子工學 技術은 超音波 또는 마이크로波 에너지를 身體의 部分에 投入하여 癌과 같은 病든 細胞組織을 破壞하여 實効를 거두는 Hyperthermia 分野가 생겨서 큰 期待를 모으고 있다.

美國, 日本과 같은 先進國에서는 患者 監視裝置를 많이 이용하고 있다. 이 患者監視裝置는 患者의 心臟搏動狀態, 血壓, 體溫등을 測定하여 그 結果를 有線 또는 無線으로 醫師가 있는 監視센터로 보내며, 의사가 와서 볼 時間을 기다릴 수 없는 危急한 患者 에게는 自動적으로 監視裝置가 注射를 환자에게 놓기도 한다. 특히 관찰할만한 것은 心臟의 機能에 異常이 생긴 환자의 心電圖를 집에 있는 電話線을 이용하여 病院에 있는 의사에게 보낼 수가 있다. 이 遠隔測定 및 監視技術을 擴張하여, 山間僻地의 無醫村에 있는 환자를 위한 醫療 시스템이 日本등지에서 研究되었다. 즉 僻村의 무의촌에 사는 환자가 그 곳에 있는 無人 醫療센터에 가서 體溫, 血壓, 脈搏, 心電圖등을 都市에 있는 醫師에게 電送하여 처방을 얻고, 그곳 無人 醫療센터에 비치되어 있는 약을 찾아 服用하여 治療하게 한다.

지금까지 醫工學의 發展相을 몇가지 例를 들어 說明하였지만, 무엇보다도 앞으로 研究開發하여 緊要하게 쓰이게 될 것은 환자에게 投藥했을 경우에, 약이 人體內에 들어가서 作用하는 狀態를 그대로 映像出力으로 볼 수 있게 하는 電子裝置가 될 것이다. 電子工學이 1906년에 三極真空管이 發明된 이래, 不過 83년동안이 그 當時에는 想像도 못했을 정도로 눈부신 發展을 할 수 있었던 것은 여러가지 原因이 있겠지만, 그 中에서도 電子裝置內部에서 일어나고 있는 現象을 即刻 볼 수

있는 오실로스코우프가 있었기 때문이라고 하여도 過言이 아닐 것이다. 現在는 환자에게 數日分の 藥을 服用케 한 다음, 좀 어떠냐고 물어 보아서 藥의 效果를 間接적으로 不正確하게 파악한다. 萬一에 藥을 먹은 後에 人體內에서의 藥의 作用을 그대로 精確하게 볼 수 있다고 假定하면, 人力과 出力의 關係를 나타내는 傳達函數를 求할 수 있으므로 그 患者에게 맞는 약의 設計方程式을 세울 수 있을 것이며, 따라서 환자를 잘못 治療하는 경우란 있을 수가 없으며, 電子工學에 못지않은 理論體系가 서게 될 것이다.

以上 醫學側에서 工學側의 科學技術을 이용하는 것만 說明하였다. 그러면 工學側에서 生體속에 숨어있는 아이디어를 利用하는 경우는 어떨까? 오늘날 工學에서 당면한 큰 문제점은 嶄新한 아이디어의 枯渴이다.

電子工學을 비롯한 工學技術은 1960年代 以後부터는 劃期的인 發明 또는 新技術이 나오지 않고 있다. 電子工學分野의 break through 例를 들어 보면, 1906년에는 3極真空管, 1920년에는 라디오 放送의 開始, 1936년에는 TV放送開始, 1948년에는 트랜지스터 出現, 및 1959년의 IC 出現등을 생각 할 수 있다. 그러나 1960年代 以後에 브레이크 스루(break through)가 없는 理由는, 現代 科學技術이 物理 및 化學의 몇가지 안되는 基礎現象을 組合한 再創造에 근거를 두고 있는데, 1960年頃까지 이 組合에 동원되는 基礎現象을 다 써먹고 더는 基礎現象을 組合하여 새로운 技術을 만들어낼 것이 없기 때문이다. 그러나 生體는 神이 創造한 것이기 때문에 生體에는 아주 高度하고 기발한 아이디어가 숨어 있으며, 工學者는 生體에서 이 아이디어를 얻어내는데 큰 關心이 있다.

이름테면 레이다는 박쥐의 超音波 레이다로부터 着想되어 開發되었다고 볼 수 있다. 박쥐는 눈을 完全히 가려도 날아가는데 아무 지장이 없다. 그러나 두꺼운 반창고로 박쥐의 입을 막으면 장애물에 부딪혀 조금도 날지 못한다. 왜냐하면 박쥐는 입에서 發射한 超音波가 物體에 부딪쳐 反射되어 온 超音波를 受信分析하여 飛行路를 決定하기 때문이다. 아직도 人間이 만든 레이다는 性能이 박

귀의 超音波 레이더만 못하다. 박쥐는 좁은 洞窟에서 數10마리가 同時에 날아도 衝突하지 않으나, 레이더를 裝備한 飛行機는 無限히 넓은 하늘에서 가끔 衝突事故를 일으키는 일이 있다. 工學者는 이 박쥐의 機密을 알고 싶은 것이다.

우리가 照明用으로 使用하고 있는 白熱電球는 그 機能上으로 보아 電熱器라고 하는 것이 보다 適切한 이름이 된다. 왜냐하면 電球에서 나오는 스펙트럼 에너지의 10%만이 可視光線이고 나머지 90%는 우리가 보지 못하는 赤外線(熱線)이기 때문이다. 이 電球를 燈으로 생각하면, 效果이 10%이고, 히터로 보면 效率이 90%가 되는 것을 보면 재미있는 일이다.

그러나 무더운 여름밤에 반짝이며 날아다니는 개뿔벌레는 熱을 거의 내지 않고 빛을 낸다. 效率이 90% 이상이다. 그뿐만 아니라 반딧불을 꺾다 꺾다 하며 光通信을 하고 있으니 참으로 神奇한 일이다.

三伏더위에 거미는 人間보다 훨씬 效果的으로 싱싱하게 먹이를 保存한다. 즉 거미줄에 먹이가 걸리면 거미가 뛰어나와 昆蟲에 따라 다르지만 一定한 곳을 물었다 놓는다. 그러면 昆蟲은 假死狀態에 들어가기 때문에 腐敗하지 않는다. 우리 人間은 電氣冷藏庫를 만들어도 거미의 祕法은 모른다.

以上 몇가지 例를 들어 生體의 優秀性을 설명하였다. 이번에는 生體電子工學의 발달로 動物과의 대화가 가능함을 생각해 보기로 한다. 이것은 옛나 이야기에서 나오는 것이지 무슨 虛荒된 말이라고 할 것이다. 人間이 들을 수 있는 音의 周波數範圍는 20~20,000 Hz이다. 쥐나 새는 사람보다 훨씬 높은 周波數의 소리를 듣고 낸다. 새가 우는 소리의 周波數 中에서 낮은 쪽의 周波數 成分만을 우리는 듣는다. 다시 말해서 쥐나 새의 베이스(bass)나 바리톤(baritone)은 人間에게는 소프라노나 테너로 들린다. 따라서 사람이 새소리를 아무리 잘 듣고 흉내를 내어도 새는 그 소리가 자신이 내는 소리와 비슷하다고 생각하지 못한다. 왜냐하면 사람은 새 소리의 여러가지 주파수 성분중에서 낮은쪽의 一部分만을 듣고 흉내를 내는 것이기 때문

에 새가 들으면 전혀 엉뚱한 소리가 되기 때문이다. 그러나 수 많은 사람 가운데는 새나 쥐가 사용하는 音域全體를 듣는 사람이 있다. 自然에 존재하는 事物은 正規分布에 따르므로 大部分의 사람은 쥐나 새의 音域을 다 듣지 못 하지만 아주 極少數의 사람은 쥐나 새의 音域을 다 들을 수 있다. 이러한 特殊한 사람이 새의 소리를 흉내낼 경우에는 새소리를 정확히 듣고 정확한 흉내를 낼 수 있으므로, 새가 自己의 言語를 말한다라는 것을 認識할 수가 있게된다.

그러면 電子工學的으로 어떻게 하면, 새와 對話를 할 수 있을까? 우선 새소리의 모든 周波數成分을 다 정확하게 記錄하여, 새가 기쁠 때, 슬플 때, 배고플 때, 오라고 할 때 내는 소리를 電子工學의 音聲認識 技術로 정확히 인식하고, 回信하는 소리를 電子의 合成音으로 내주면 될 것이다. 새는 智能이 낮아 使用하는 單語數가 몇個 안되므로 새와의 對話는 용이하게 해결 될것이다. 人間이 동물과 對話를 하게되면 좋을지 나쁠지는 未知數이다. 動物과 대화가 되면 소나 돼지고기를 먹기 困難해질 것이고 動物사냥도 하기가 곤란하게 될 것이다.

以上 醫用生體 電子工學의 興味있는 部分을 斷片的으로 說明하였으나, 醫用生體 電子工學의 未來指向的인 研究領域의 分類를 생각해 보기로 한다. 이 ME分野는 目的으로 하고 있는 分野가 대단히 넓으므로 研究領域의 學問體系의인 分類가 어려우나 다음과 같은 分類를 할 수 있을 것이다. 즉

- (1) 工學的인 側面에서 본 分類
 - (2) 醫學的인 側面에서 본 分類
 - (3) 生體工學的인 側面에서 본 分類 등이다.
- (1)의 경우는 表1과 같이 分類할 수 있다.

표 1. 工學的인 側面에서 본 ME分類

1	生體計測工學
2	生體情報工學
3	生體모델工學
4	生體作用工學
5	生體代用工學
6	醫用系統工學
7	工學에의 醫學應用

(2)의 경우는 表 2와 같이 分類된다.

표 2. 醫學的인 側面에서 본 ME分類

1. 心臟과 循環	21. 體 育
2. 心電圖와 이와 關連된 分野	22. 生理學과 環境
3. 呼 吸	23. 人間工學
4. 麻醉와 蘇生	24. 臨床檢査技術
5. 人工臟器	25. 컴퓨터, 오토메이션(臨床)
6. 大腦와 神經系	26. 生物醫學의 研究에서의 컴퓨터
7. 腦波와 이와 關聯된 分野	27. 사이버네틱스·시뮬레이션·바이오닉스
8. 視覺과 眼球運動	28. 生物醫學의 工學 시스템과 소프트웨어
9. 聽 覺	29. 生物醫學의 工學機器와 하드웨어
10. 知覺一般	30. 電子·트랜스듀서·텔레메트리
11. 筋肉·骨髄系, 바이오메카닉스, 義肢	31. 아날로그 技術
12. 精神科學과 心理學	32. 溫寒技術
13. 放射線學과 核醫學	33. 光學과 映像技術
14. 外科와 手術室	34. 超音波
15. 産科·婦人科와 胎兒	35. 生物醫學의 工學訓練과 管理
16. 生理學	
17. 分子生物學과 生物物理學	
18. 生理學的 모니터링	
19. 病院과 健康管理 시스템	
20. 航空宇宙醫用	

(3)의 生體工學的인 分類는 表 3과 같다.

표 3. 生體工學的인 側面에서 본ME分類

1. 生體의 計測技術	5.1 生體데이터 處理
1.1 電 極	5.2 自動判讀·自動診斷
1.2 變換器	5.3 生體情報의 傳送·記錄·表示
1.3 電氣現象의 測定	5.4 OR 등
1.4 音響·機械振動의 測定	5.5 病院의 機能·自動化 시스템 工學
1.5 流量·流速등의 測定	5.6 健康管理 시스템
1.6 變位·壓力등의 測定	5.7 其 他
1.7 光·溫度·熱등의 測定	6. 生體와 機械系
1.8 化學現象의 測定	6.1 人間-機械系
1.9 其 他	6.2 生體機能·行動의 制御
2. 生體의 計測시스템	6.3 人工臟器의 制御
2.1 超音波應用計測	6.4 循環呼吸의 制御
2.2 放射線應用計測	6.5 生體內에너지의 利用
2.3 光學系·텔레비전의 應用	
2.4 텔레미터·監視裝置	

2.5 生體現象의 表示와 記錄	6.6 其 他
2.6 其 他	7. 生體工學·바이오닉스
3. 生體材料 技術	7.1 生體情報系의 解析·表現
3.1 生體의 物性	7.2 生體內의 流體·機械系의 解析·表現
3.2 成分分析	7.3 시뮬레이션
3.3 檢體檢査	7.4 바이오닉스
3.4 醫用材料	7.5 生體分子工學
3.5 其 他	7.6 其 他
4. 生體에의 作用	8. 其他分野
4.1 에너지의 生體作用機構	8.1 ME 教育
4.2 刺戟裝置	8.2 教育機械
4.3 破壞裝置	8.3 安全性
4.4 治療裝置	8.4 機器의 規格·勸告
4.5 其 他	8.5 其 他
5. 生體情報處理와 病院·健康管理 시스템	

醫用生體工學은 現在 發展 途上에 있다. 가까운 將來에 電子工學이나 機械工學등과 같이 高度의 學問體系가 確立될 것으로 豫想된다.

앞으로 ME에 의해서 具體的으로 어떠한 發展이 이루어질 것이며, 이것이 어떻게 可能해 질 것인가? 가까운 將來에 있을 ME의 發展 및 效果에 대해서 여러가지가 豫測되고 있다. 이 中에서 代表的인 것을 들어보면 다음과 같다.

(1) 이미 一部 實用化 段階에 있는 컴퓨터를 利用한 自動診斷器나 病院의 自動化가 普及段階에 들어갈 것에 있다.

(2) 情報傳送技術, 컴퓨터에 依해서, 病院間 또는 病院과 家庭을 連結하는 廣域診療 시스템化가 이루어질 것이며, 이에 따라 都市와 山間僻地의 地域差가 없는 診療를 받게 될 것이다.

(3) 醫學에서 豫防醫學의 重要性이 커짐에 따라 ME에서도 豫防醫學, 健康期待에 관한 것이 많이 研究開發되어 病에 걸리기 前에 適切한 處置를 할 수 있게 될 것이다.

(4) 治療器의 發達, 特히 人工臟器의 경우에 直接 人體속에 넣는 것의 實用化가 進展될 것이다.

(5) 시뮬레이션의 發達에 따라 電子義手나 生體의 代用에서, 從來는 制限된 單純 運動機能밖에 하지 못했던 것을 人間の 意志에 따라 움직이는

電子義手등이 보다 人間에 가까운 것으로 發展한다. 이들의 發達에 의해서 産業로봇에 依한 工場의 無人化, 海中, 其他 惡環境條件 속에서의 作業이 로봇에 의해서 行해질 것이다.

(6) 工學에서의 새로운 에너지의 發展에 따라 레이저나 플라즈마放電등이 醫學에 應用 實用化되어 새로운 診斷이나 治療法이 可能해 질 것이다.

(7) 從來에는 手術하지 않고는 볼 수 없었던 生體內部 臟器의 動態를 3次元 立體像으로 용이하게 볼 수 있게 될 것이다.

醫用生體·電子工學은 美國, 英國, 日本등의 先進國에서도 2次大戰 以後 50年代末頃에 始作된 새로운 分野이다. 모든일이 다 그렇듯이 초기에는 成果가 努力과 投資에 正比例하다가 나중에는 成果가 鈍化되고 드디어는 飽和狀態에 들어간다. 다시 말해서 모든 일의 成果는 入力の 指數函數의 으로 나타난다. 즉 正統電子工學은 이미 飽和狀態에 와 있으며, 終點도 어렵듯이 보인다. 이미 앞에서 說明한 바와 같이 60年代 以後에는 電子工學分野에서 劃期的이고 새로운 技術, 즉 breakthrough가 거이 나오지 않고 있으며, 다만 과거에 登場한

技術의 擴張이 大部分이다. 또한 電子工學은 通信技術의 發展이 根幹되고 있으며, 通信技術의 發展尺度는 取扱하는 周波數의 高低가 된다. 現代 電子通信이 使用할 수 있는 周波數中에 第1높은 것이 光波이다. 傳播의 周波數가 光波의 周波數보다 높아지면 波動性 보다 粒子性이 強해지므로 從前과 같은 波動性을 利用하는 方式으로는 通信을 할 수 없게 된다. 따라서 새로운 概念으로 通信技術을 새롭게 開發하지 않으면 안되므로 光波通信이 在來式 電子工學의 限界로 생각할 수 있다. 電子部品の 꽃인 VLSI도 IC製造時에 使用되는 照射빔의 波長보다 작은 패턴을 마스크에 넣을 수 없으므로 IC의 集積度도 限界가 있다.

醫用生體 電子工學은 아직 初期段階에 있으므로, 生體속에 숨어있는 하느님의 아이디어의 發掘 또는 기타 새로운 基礎現象을 利用하는 새로운 技術開發에 큰 힘을 기울이면, 容易하게 Nobel賞을 受賞할 만한 큰 成果를 얻을 수 있을 것이다. 이 점을 감안하여 國家的인 次元에서 노력을 집중한다면 先進國을 앞지르는 큰 成果를 他分野보다 容易하게 낼 수가 있다는 것을 確信하는 바이다.