肢体不自由克服の新しい技術と長寿社会

○半田康延（東北大学大学院・医学系研究科）、星宮 望*（東北大学大学院・工学研究科）

New technology for restoring motor function of the disabled
in the forthcoming aged society

Yasunobu Handa (Tohoku Univ. Graduate Sch. of Med.),

Nozomu Hoshimiya (Graduate Sch. of Eng., Tohoku Univ.)

はじめに

医学のルネッサンスともいえる近年の医療技術の進歩に伴い、旧来であれば死に至る疾病でも救命しうようになった。しかし反面、これによって、人口動態と疾患構造に変化が生じ、急速な高齢化社会の到来と心身障害者の人口に占める割合の増加の一因となっている。

このような高齢化社会を迎える一方で、少子化も本邦では急速に進んできており、21世紀初頭は世界に類を見ない「高齢少子化社会」になることが予想される。これは、高齢化に伴って介護を必要とする老人が増加するのに対し、少子化によって、それを介護するべき年齢層が減少することを意味している。ことに老人では、脳血管障害や骨関節疾患などで、直接的に身体の運動機能が障害される場合のみならず、呼吸・循環器疾患やその他の疾患で臥床を余儀なくされた場合でも、容易に運動器の障害を生じることが多い。このような運動機能障害は、高齢者では容易に日常生活行為や家事における能力低下につながり、ひいては社

会的不利をもたらすことになる。また、そのような肢体不自由による不動化は、知的能力の低下をもたらすことも多く、いわゆるボケ老人を作ってしまうことにも通じる。

したがって、早期に運動機能障害を軽減させ、家庭生活や社会生活をできるだけ早く復活させることが、老人では必須である。また、肢体不自由が改善の見込みがない場合でも、種々のインターフェース技術を駆使して、介護量を軽減させたり、日常生活を早期に開始することも、高齢少子化社会では極めて重要なことと思われる。

今回は、運動機能障害を克服するためのインターフェース技術と来るべき高齢少子化社会に対する対応について述べてみたい。

運動機能障害について

脳梗塞や脳出血など脳血管障害や骨折、変形性関節症などといった骨関節疾患では、神経・筋・骨・関節といった運動器の障害によって、運動機能障害が直接的かつ不可避免的に生じる。このよう

な運動機能の一次的障害に対しては、脳循環の改善、血腫除去などの神経内科・脳外科の治療や整形外科的治療が施される。

このような一次的運動機能障害や他の疾患による長期臥床の結果として、高齢者においては、二次的な運動機能障害が高頻度に生じてくる。その第1は、筋が使われないことによる廃用性萎縮（disuse atrophy）である。これによって、筋繊維の直径は急速に減少し、筋力も筋持久力も低下する。そして、そのこと自体が日常生活動作をしにくいものにし、なおさら筋を使わなくなり、筋萎縮が進行するという悪循環に陥る。

また、筋活動の低下やギプスによる関節固定などによって関節運動が制限されると、局所的な循環障害が生じ、関節や筋の拘縮が起こってくる。また、骨にも、体重負荷や筋収縮による機械的刺激が減少することによって、萎縮性の変化が生じ、骨粗鬆症が見られるようになる。

このように、肢体の運動機能障害は、その病因が何であれ、ほぼ共通の病態を呈してくるのが一般的である。このような病態の改善には、薬物療法や外科的手法ではすでに限界があり、理学療法や作業療法などのリハビリテーション医学的手法が用いられている。

運動機能障害とインターフェース技術

a. 神経筋の電気刺激

運動機能障害の一次要因は、

- ① 筋収縮の減弱ないしは欠如
- ② 筋収縮パターンの異常

である。従来のリハビリテーション医学では、筋力増強訓練や神経生理学的アプローチと呼ばれる運動パターンの正常化を目指すテクニックが用いられる。

これに対し、神経・筋系が興奮性を維持しているならば、電気刺激を末梢運動神経に与えることによって筋収縮を惹起させ、障害された運動機能を1)改善あるいは2)再建しようとする試みが行われている。1)は、筋力の増強と異常筋収縮パターンの正常化を目的としたもので、治療的電気刺激（therapeutic electrical stimulation: T E S）と呼ばれ、2)は、プログラムされた電気刺激によって、失われた運動機能を再建しようとする機能的電気刺激（functional electrical stimulation: F E S）である。

a-1. 刺激電極

電気刺激においては、生体と装置間のインターフェースとして刺激電極が大きな役割を演じている。これらT E S、F E Sでは、従来、表面電極が用いられてきたが、刺激時の不快感、疼痛、電極装着の困難さや煩わしさの観点からすると、高齢少子化社会で適用していくには限界があると思われる。

この点、埋め込み電極は、電極埋め込みのための手術は必要なものの、一旦埋め込まれれば、刺激装置のスイッチを操作するだけで、疼痛もなく再現性のある刺激が可能である。しかも、装置が超小型化し、術式も非常に簡便なものとなってきたため、高齢者にも安全に適用できるようになると考えられる。

a-2. T E S の効果と高齢肢体不自由者への応用

電気刺激は、筋に直接分布する末梢運動神経（筋枝）に与えられる。この筋枝には、筋を収縮させる遠心性の神経線維と、筋紡錘などから脊髄に至る求心性の神経線維が混在しており、筋枝への電気刺激は、双方の神経線維を刺激することとなり、それぞれ異なった効果が得られる（図1）。すなわち、遠心性線維の刺激は、筋容積の増大・筋力増強などの効果を期待することができ、求心性の刺激は、脳卒中などによる中枢性運動ニューロン障害患者の筋緊張異常を軽減させ、運動パターンの改善を図ることができる。

T E S は、主に脳血管障害によって不全麻痺を呈した高齢肢体不自由者に適用されている。このような患者の多くは、上下肢の筋の緊張異常、筋収縮パターンの異常が前面に出てきていることが多い。このような患者へのT E S の基本は、患者にとってやりにくい動作を補助するような電気刺激を、一日数回訓練として与えることである。すなわち、手の開きにくい場合には、指伸筋に刺激を与えて手を開かせるように訓練し、足首が上がりにくい場合には、前脛骨筋と腓骨筋群に刺激を与えて足首が上がるように訓練するものである。

長期臥床によって筋力低下を来した高齢者では、ことに両下肢の麻痺を起こしやすく、下肢を折り曲げた状態で関節が固まってしまう、いわゆる屈曲拘縮状態になることが多い。この状態になると、もはや起きあがることも、座ることも、立ち上がることもできなくなり、全くの寝たきり状態に移行してしまう。また、寝たきりであっても、関節

拘縮がなければ、介護は比較的楽であるが、拘縮ができてしまうと、介護量が急速に増大する。

したがって、そのようなことが予想される場合には、あらかじめ電極を埋め込み、T E S 訓練を行って筋力低下を防ぐと共に、筋収縮による関節運動を起こすことによって、関節拘縮を予防することができる。また、T E S には循環改善作用もあり、寝たきり老人では褥創の予防にもつながるものである。また、陰部神経の刺激をおこなうと、尿失禁の改善も見込むことができる。このような予防的T E S は、現在まだ行われていないが、将来的に十分可能性のある方法であろう。

a-3. F E S の高齢肢体不自由者への応用

F E S は、プログラムされた刺激パターンで、健常者と同様の運動を再建する方法で、不全麻痺状態では補強的に電気刺激を加え、完全麻痺では電気刺激のみで運動機能を再建するものである。したがって、F E S は第一に日常生活動作の自立を促すことが目的であるが、介護の質的・量的軽減を目指すこともその重要な目的の一つである。

たとえば、車椅子からベッド、あるいは車椅子からトイレなどへの移動（transfer）に、F E S による起立動作制御を補助的に加えることによって、介護者の腰部への力学的負荷が軽減する事が判明している。

また、寝たきり老人の場合、体位変換を定期的に行う必要がある。現在、介護者、看護婦などが用手的に行っているのが現状であり、電動ベッドに代表される自動体位変換装置は、高額の

ためなかなか普及していないのが現状である。これに対し、FESによる体位変換制御が試みられようとしている。まだ基礎研究の段階であるが、筋力増強、関節拘縮の予防、循環の改善効果も併せ持つので、その研究成果の臨床応用が期待されるところである。

b. その他のインターフェース技術

TES、FESは、機能障害および能力障害に対する一つの有力なアプローチとして捉えることができた。しかし、それら電気刺激によって障害が完全に克服されることは極めて困難であり、高齢者が能力障害を乗り越え、社会的ハンディキャップを克服するには、その他のインターフェース技術を含めた多方面からのアプローチが必要である。

現在、重度の肢体不自由者に対する代表的インターフェース技術としては、コンピュータ技術を応用した環境制御装置があげられる。また、障害の部位やその程度に応じて、様々なコンピュータ技術を駆使したインターフェースが開発されている。これらは、ことに能力障害を克服する上で大いに力を発揮する有力な手段といえよう。

さらに、マルチメディアやインターネットの高度な発達により、情報化社会が確立し、知的能力が低下さえしなければ、重度の肢体不自由者でも、社会活動に積極的に参加することができるようになるものと思われる。これは、肢体不自由者の社会的ハンディキャップを取り除く上で欠くことのできないものとなろう。

おわりに

超高齢少子化社会および高度情報化社会が21世紀初頭に現実化すると予想される現在、それら双方を念頭に入れた人間工学的アプローチが必要とされている。長寿社会にやさしい技術とはいっても、やさしすぎて身体を使わなくても良いものだけが開発されると、肢体不自由を克服する上で阻害要因となる可能性も秘めている。ヒトは、体を動かすことによって、社会活動を含めたあらゆる活動を遂行し、心身の健康を維持しているといえる。その意味では、高齢者が人間らしさを失わずに長寿を謳歌するには、運動機能を可能な限り保持することが必要不可欠と思われる。体を動かすインターフェース、その観点からの技術開発があってもよいのではないか。