

1. 研究実施計画

課 題 名：高齢者の筋出力調節系における神経-筋機能の可逆性に関する研究

研究機関名：独立行政法人 産業技術総合研究所

任期付研究員氏名：木塚朝博

1. 研究の意義、目的、必要性

(1) 目的：

当該研究所では、高齢者の身体機能低下を予防するための機能維持・回復訓練システム及びその評価システムの開発を重点研究分野の一つとしている。本研究はこの一翼を担う、高齢者の「寝たきり化」予防のための革新的運動訓練機器の創出に資する指針を得ることをねらいに、筋出力調節系の神経-筋機能が、加齢に伴い低下していく実態をつかむ手法の確立と低下機序を解明することにより、比較的負荷の少ない運動パターンでも、立位姿勢保持、起立着座動作、歩行能力に深く関与している神経-筋機能を効率良く活性化させる適切な運動処方を持示することを目的とする。

(2) 必要性、意義：

わが国の急速な高齢化がもたらす深刻な問題の1つは、「寝たきり」に代表される介護問題であり、現在、介護保険法案などの議論もなされている。しかしながら、一旦要介護状態に陥ってからの対応は、経済的、人的にも負担がきわめて大きい。その対策として最も効果的と考えられるのが、要介護状態にならないための予防的な措置をいかに講ずるかである。

高齢者の多くは比較的健康ではあるが、保有している身体的な能力が若年成人に比べて低くなっているため、日常生活に要求される身体的能力水準に対する「余裕」が少ない。このため、軽度のけが等における運動量の低下や検査・手術等の短期入院などにおける安静（ベッドレスト）により、急激に身体機能が衰退し、比較的簡単に「寝たきり」状態に陥ってしまう場合が多い。ただしこのような状況では、身体機能の維持のために強い運動、速い運動を行うことが適切でないことは言うまでもない。これらのことから、最低限のトレーニングで自立した運動動作を可能にし、さらには寝たきり化を防いでいくために身体機能を維持・回復させる、あるいは低下速度を鈍らせることを目指した適正な運動処方やその効果の評価システムを構築することは重要な課題である。

寝たきり予防に資する福祉機器開発の視点から見ると、既に先端的なメカトロニクスやVRの要素技術を基にいくつかの開発が試みられているが、本来重要であるべき人間の身体特性を十分に配慮しているとは言えない。ハードウェア開発において高い能力を備えたメーカーが、身体特性、特に加齢による神経-筋機能の変化を踏まえた運動処方に関する基礎的分野に対して必ずしも強いわけではない。このままでは、社会的ニーズの高まりに推され、不十分な機能のまま類似のシステムが氾濫する恐れがあり、この時期にこそ、当該分野に高いポテンシャルを備えた国研や福祉現場を持つ大学等が共同で、関連機器の開発指針を示す必要がある。

これまでに、長期にわたる病氣療養中のベットレストや日常の運動不足による廃用により、筋力や骨密度、関節可動域、呼吸循環系能力などが低下することはよく知られている。さらに、短期間のベッドレストで離床できなくなってしまうのは、神経-筋機能の低下に大きな原因があると言われている。しかしながら、その低下機序や、これ以上機能が低下すると目的の動作遂行が不可能になるという自立可能限界レベル等は明らかになっていない。

また、これまでの一般的な運動処方（トレーニング方法）は「より強く・より速く、より長く」を基本的目標に据えたものであった。日常動作の範囲では、衰えた運動機能でも上手に使用すれば、いわゆるコツを掴めば十分に目的の動作を遂行できる。高齢者の運動機能低下を防止するための運動処方の要素として、神経-筋機能における動きの制御や力の調整等の「より巧く、より安定に」に関する能力を含んだトレーニングが極めて重要であるにもかかわらず、基礎的な知見は絶対的に不足している。

したがって、高齢者の自立した運動動作や移動運動機能の維持・回復訓練システムおよびその評価システムを開発するためにも、動きの制御や力の調整能力に深く関与する運動機能の低下機序、自立可能限界レベルの解明をターゲットとした基礎的研究が急務である。さらに、これらの知見を反映したトレーニング方法や効果の評価を医療機関や家庭においても容易に行うために、低い運動負荷・低い運動速度でも効果のある運動処方技術を早急に確立しなければならない。

2. 研究の概要

(1) 筋出力調節系における神経-筋機能変化の評価技術の確立

寝たきり予防のための福祉機器の研究開発における対象者は、一時的な病気療養中のベッドレストや日常の運動不足による廃用により、神経-筋機能を含む運動機能が低下し、日常生活における自立的な立位姿勢保持や歩行に負担を感じている高齢者であるが、筋の不使用により比較的短期間に起きる神経-筋機能の変化（低下と回復）を評価する手法は、今だ確立していない。

そこでまず、一般成人を被験者として、ギブス固定等の不活動モデルを用い、短期間の筋の不活動に伴う神経-筋機能の変化を捉える評価技術を確認する。具体的には、ベッドレスト中でも遂行可能な低負荷・低速度の筋出力を一定に調節するなど、力や動きを制御するような運動課題を設定し、その運動課題を遂行する際の筋神経生理学的情報（運動ニューロン発火頻度、筋活動電位伝導速度、周波数帯域別筋電位、誘発筋電位等）を計測する。計測された筋神経生理情報を総合的に解析することにより、短期間における神経-筋機能の微小な変化を捉える。さらに医療機関と共同で、骨折等により下肢のギブス固定を施された患者、あるいはベッドレストを余儀なくされた患者の協力を得て、神経-筋機能変化の評価技術の検証を行う。

（２）神経-筋機能の低下機序と自立可能限界レベルの解明

神経-筋機能の微小な変化を評価する手法が確立していないこともあって、加齢に伴う神経-筋機能の低下機序に関する知見はほとんどない。したがって、中高齢者から寝たきり初期高齢者までを被験者として、上記（１）で確立させた手法を用い、同一運動課題遂行時の筋神経生理情報を計測・解析し、神経-筋機能の加齢特性を明らかにする。また神経-筋機能変化の動態に、MRI（Magnetic resonance image）で得られる筋の量的変化の情報をも加味し、力や動きの調節能力の低下（老化）によって、立位保持、起立着座あるいは歩行等の動作が困難となる限界レベルも検討する。

（３）低負荷・低速度刺激を用いた神経-筋機能の低下予防技術の創出

これまでの一般的な運動処方（トレーニング方法）は「より強く・より速く・より長く」をコンセプトとしてきたため、低い運動負荷、低い運動速度でも効果のある運動処方（適性負荷範囲、トレーニング頻度、トレーニング時間等）については科学的な検討がなされていない。したがって上記（１）、（２）で明かとな

った知見を基に、低負荷・低速度の動作を用いて、力や動きの制御・調節等の「動きの巧みさや安定性」に関する機能の効果的な運動処方を明確にし、寝たきり移行期から準寝たきり期にある高齢者でトレーニング効果を検証し、よりよい高齢者福祉機器の開発スベックを提供できるようにする。

3. 研究目標

(1) 筋出力調節系における神経-筋機能変化の評価技術の確立

この研究項目での目標は以下の通りである。?ギブス固定等による不活動モデルを実施できる体制を構築する。?運動ニューロン発火頻度、筋活動電位伝導速度、周波数帯域別筋電位、誘発筋電位等の筋神経生理学的情報を計測・解析できるシステムを確立する。?医療機関において神経-筋機能変化の評価技術の検証を行う。

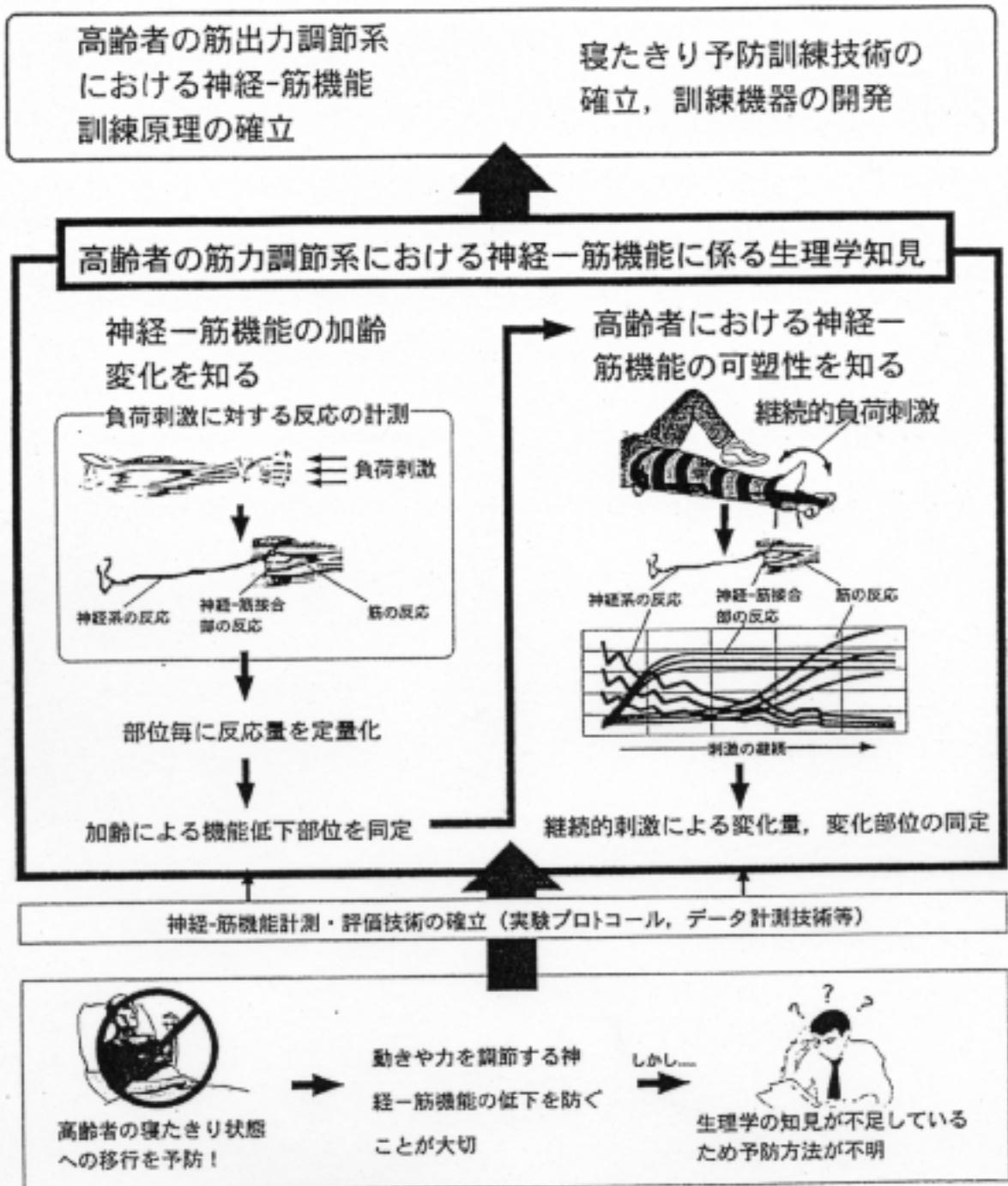
(2) 神経-筋機能の低下機序と自立可能限界レベルの解明

この研究項目での目標は以下の通りである。?調節動作遂行のための神経-筋機能における加齢特性を明らかにする。?立位保持、起立着座あるいは歩行等の目的動作遂行が困難となる自立可能限界レベルを明らかにする。

(3) 低負荷・低速度刺激を用いた神経-筋機能の低下予防技術の創出

この研究項目での目標は以下の通りである。?低負荷・低速度の動作を用いて、力や動きの調節能力の維持に寄与する効果的な運動処方を確立する。?寝たきり移行期から準寝たきり期にある高齢者においてトレーニング効果を検証する。

4. ポンチ絵



高年齢者の筋出力調節系における神経-筋機能の可塑性に関する研究

2. 研究成果の概要

①研究成果

高齢者の寝たきり予防は、急速に高齢化が進む我が国の重要課題の1つであるが、高齢者の筋出力調節系における神経-筋機能の特性に関する生理学的知見が不足しているため、寝たきり予防の訓練原理や訓練方法は、未だ確立されていない。

本研究では、高齢者の寝たきり状態への移行を予防するための訓練機器開発に資する生理学的基礎指針の提供をねらいに、高齢者の筋出力調節系における筋神経機能を解明し、筋出力調節系の低下予防をめざした運動処方示唆を目的とした。

まず初年度に、短期不活動における筋出力調節系の神経-筋機能変化を捉えるために、ギブス固定による短期不活動モデルを用いて筋活動電位の変化パターンを計測評価する技術を確立した。次年度から最終年度にかけて、構築した短期不活動モデルを用いて、短期不活動に伴う筋出力調節系の神経-筋機能変化特性に関する計測評価及びデータの信頼性向上を行なった。

これまでの研究成果を総合すると、短期間の不活動では、MRIで計測される筋量はほとんど変化しなかった。しかしながら、筋の出力系では重大な機能低下が生じた。高強度の筋出力条件では、運動神経発火頻度の低下により出力値が低下し、中枢からの運動指令に問題が生じていることが示唆された。低強度の筋出力条件では、目標出力値には到達するが、その調節能力が低下しており、その際に筋膜における神経発火後の回復力の低下、運動神経動員度の代償的増大などが認められ、神経終板、筋収縮機構、体性感覚などの末梢機能に問題が生じていることが示唆された。仮に安静を強いられる場合、高出力の低下を防ぐことは、高強度の負荷をかけなければならない現実的ではない。しかし、低出力の調節機能の低下を軽減することは安静中でも可能であり、適切な療養中コンディショニングは機能低下の予防だけでなく早期リハビリ開始にもつながる。しかしながら、高負荷の神経-筋機能のトレーニング原理はかなり理解されているが、低負荷の神経-筋機能におけるトレーニング原理はほとんど解っていない。

そこでさらに、不活動による筋出力機能の低下予防に有効な低負荷の範囲、調節動作の種類を検討にも着手した。これまでに、最大筋出力の10?30%の低負荷、それらの負荷範囲での筋出力一定、筋出力漸増減などの調節動作が有効である可能性が示された。今後は、本研究結果を基に、合理的かつ具体的な運動処方やモチベーション維持の手法を、さらに追及しなければならないと考えている。

②波及効果、発展方向、改善点等

本研究の成果を実用化することにより、加齢対応健康維持・訓練産業、自立・就労環境コンサルティング業等に資する技術を創出できる。つまり本研究は医療福祉産業を対象としているが、その中でも、高齢者を対象とした予防医学や健康産業が中心になる。現在、高齢者を対象にした健康福祉機器は、既に先端的なメカトロニクスやVRの要素技術を基にいくつか開発が試みられているが、本来重要であるべき人間側における神経-筋機能特性の生理学的な知見や運動制御特性の生体力学的な知見に基づく運動処方を組み入れたシステムは、いまだ実現のものとなっていない。この健康福祉産業分野に、神経-筋機能特性や運動制御特性に関する科学的な裏付けを与えることができれば、健康機器、予防診断機器の開発や生産を正常な産業として育成することができ、高齢化社会において大きなマーケットが期待できる。

また、これまでの「より強く・より速く」を目標としたトレーニングの手法や機器とは根本的にコンセプトの異なる「巧さ・安定性」を目指したトレーニング手法・機器の研究開発により、加齢対応の健康福祉機器産業、運動機能訓練機器産業に対して新たな観点からの開発指針を提供することができる。同様に、医療現場で使用するリハビリ機器へも新たな指針を示すことができる。さらに、健康に不安と関心を持っている廃用進行中の中高齢者は医療機関にかかる中高齢者よりはるかに多いため、新たな健康福祉機器の開発は市場の拡大につながる。また間接的ではあるが、高齢者の活動性や自立を維持することにより、介護等による社会的コスト増大を抑制し、高齢者の雇用促進等により社会全体の高い活力を適正に保つことも期待される。