

# 感覚器フィードバックを用いた起立動作誘導システムの設計

## Design of Guidance System of the Standing-up Motion based on Sensory Feedback

○学 安 琪 (東大院) 学 石川 雄己 (東大院)  
正 山下 淳 (東大院) 非 岡 敬之 (東大院)  
正 浅間 一 (東大院)

Qi AN, The University of Tokyo, anqi@robot.t.u-tokyo.ac.jp  
Yuki ISHIKAWA, The University of Tokyo  
Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo  
Hiroyuki OKA, The University of Tokyo  
Hajime ASAMA, The University of Tokyo

Many elderly people suffer from decreased motor functions. The elderly might refuse to move beyond their ability due to fear-avoidance in physical therapies. To improve the situation, a training system of the standing-up motion is proposed. The system can measure state of the elderly and provide sensory feedback according to measured state. The system enables users to know their current and target state. This paper shows a design of the system and required parameters to utilize it effectively.

**Key Words:** Sensory Feedback, Standing-up Motion, Rehabilitation

### 1. 序論

現在我が国では 65 歳以上の高齢者が人口に占める割合は 23%を超え、世界でも最長寿国となっており、高齢化社会が問題となっている。高齢者の増加は医療福祉費の増大を招くだけでなく、寝たきりの人の介護による介護者への精神的・身体的負担も増している。特に加齢による身体機能の衰弱は、平成 19 年度国民生活基礎調査において、脳卒中、認知症に次いで要介護の原因の第 3 位を占めており[1]、また身体機能が衰えることで日常動作が阻害され、高齢者の生活の質 (QoL) が低下してしまうため、超高齢化した我が国において、高齢者の身体機能の低下を予防すること (介護予防) は喫緊の課題である。

我々はこれまでに高齢者の QoL を向上させるために、日常動作の起点であり、日常動作 (ADL) の向上に大きな役割を果たしている起立動作に着目した研究を行ってきた [2]。一般人と高齢者の筋肉の協調発揮に基づいて解析を行った結果、特に高齢者においては、起立時の椅子から腰を持ち上げる前屈動作と起立後の姿勢の安定化制御を担う筋協調が弱まっていることが明らかとなった。しかしこれらの機能を改善する上で、高齢者の「恐怖回避行動」が障壁となっており、介護予防は達成されていない [3][4]。特に上記の 2 つの動作は、座位から立位への動的な変化を含み、重心を臀部から足部に移動させる際に身体は不安定になってしまうため、転倒への恐怖が生じ、十分な訓練が行えないという問題がある。理学療法場面では、高齢者の様子を観察し、適宜激励や支援をすることで恐怖回避行動の克服が図られているが、具体的な方法論は確立しておらず、医療者の経験に依存してしまう。

現在これらの問題を解決する上で、ロボティクスへの需要が高まっている。ロボティクスが有する測定技術と、医療者の経験に依らない計測に応じた適応的な介入を繰り返し行えるという利点があり[5][6]、高齢者の身体機能を高めることができるシステムの開発が望まれている。

そこで本研究では、高齢者の恐怖回避行動を緩和し、身体機能を高めるシステムを提案する。本システムは使用者の状態を実時間で計測し、使用者が達成すべき目標状態までの差を視覚・聴覚・触覚に対してフィードバックすることで、高齢者の動作を適切に誘導する。

### 2. 提案システムの構築

#### 2.1 計測システム

本研究が構築するシステムでは、人の身体軌道、臀部・足部からの反力、筋肉活動電位の同時計測を行う。図 1 に計測システムの全容を示す。身体軌道は、モーションキャプチャシステム[HMK-200RT; Motion Analysis]を用い、8 台のカメラを使って計測を行う。床反力は、Nitta 社製の 6 軸の力覚センサを用いて自作したフォースプレートを 2 枚使用し、足部と臀部に置いて計測することとする。筋活動位の計測には追坂電子社製の Personal-EMG を 2 つ使用して 16 か所の筋肉の活動筋電位の測定を行う。

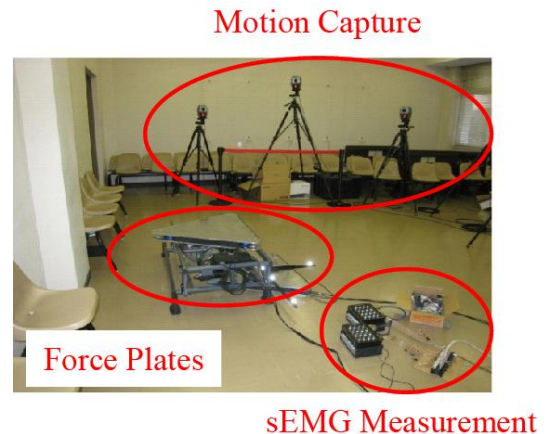


Fig. 1 Measurement System

#### 2.2 フィードバックシステム

本研究では、高齢者へフィードバックする情報として、視覚・聴覚・触覚を用いる。視覚フィードバックの際には図 2 に示す画面をプロジェクターで表示する。白いバーの高さが測定した現在の状態を示しており、図中の点線はシステムの使用者が追従すべき目標状態を表しており、白いバーを点線に合わせるようにしてもらう。

聴覚フィードバックでは、スピーカーにより Beep 音を生成し、目標状態との差を音量の大小を用いてフィードバックす

る。具体的には、目標状態に近づけば近づくほど音量が小さくなるもので、システムの利用者は音量を小さくするように動くように指示を与える。

触覚フィードバックには触覚振動デバイスである C2 Tactor [Engineering Acoustics, Inc.]を用いる。本デバイスは直径約 3.0 cm で、振動の強度を実時間で指定することができ、人体に付着させて使用することが可能である。聴覚フィードバックと同様に、目標状態からの差が大きくなると振動強度が強くなるように設計し、利用者には自身がなるべく振動を感じないように動作を行ってもらおう。

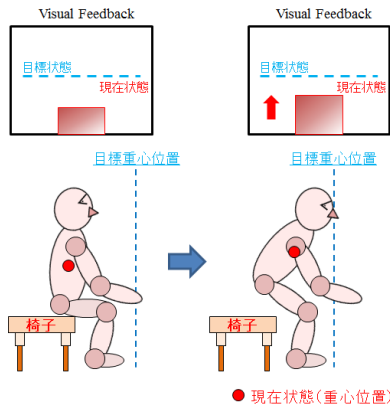


Fig. 2 Suggested Visual Feedback

### 3. 提案システムの設計

#### 3.1 フィードバック情報の決定

起立動作が複数の筋肉の協調によって生成されていることは分かっているが、高齢者の運動を誘導する際の教示信号として何をフィードバックすべきなのかは解明されていない。特に人が運動する際には、各筋肉が活性化し、個々の関節にトルクが生じ、実際の身体運動が生成されるが、目標とする運動を効果的に達成するために、どの情報をフィードバックすべきか検討する必要がある。

本研究が構築するシステムでは、これらの情報は全て計測及び計算が可能であり、各筋肉の発火度合、動作生成に必要な関節トルク、追従すべき身体軌道の 3 種類の指標を実際のシステムの目標状態にして、視覚・聴覚・触覚にフィードバックを行う被験者実験をし、人の動作を効果的に誘導するために有効な情報を調べる。

#### 3.2 感覚マッピングの決定

本研究では目標状態と現状の差に応じた刺激をシステムの利用者にフィードバックする。人の感覚刺激に対する応答をよくし、動作の誘導を適切に行うために、目標状態との差を指数としてどのような関数（感覚マッピング）でフィードバックを返すか調べる必要がある。

図 3 に示されるように、目標状態からの差に対して、線形にフィードバックの強度を増加させるか、対数や指数的に増加させるかで、フィードバックに対する応答が変化すると考えられる。被験者実験を通じて、これらの関数を実際に試すことで、最適な感覚マッピングの同定を行う。

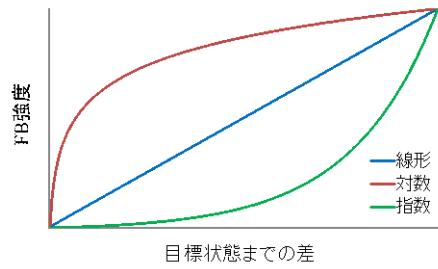


Fig. 3. Examples of Sensory Mappings

#### 3.3 複数フィードバックの組み合わせ効果

3.1 で説明したシステムが与えるフィードバック情報によっては、複数チャンネルのフィードバックを与える必要が生じる（複数の関節トルクや筋肉活動電位など）。

視覚フィードバックでは、表示するバーの個数を増やすことや、触覚では使用する触覚振動デバイスを増やすことで対応が可能であるが、各フィードバックを組み合わせることで効果的な動作の誘導が実現される可能性が高い。そこで本提案システムでは、各フィードバックを単一で使う場合、2つのフィードバックを使用する場合、3つのフィードバックを使用する場合の各組み合わせを試し、特に高齢者の複数の外部刺激に対してどのように応答するかを調べ、効果的に運動を誘導するためのフィードバック方法を解明する。

### 4. 結論と展望

本研究では、高齢者の恐怖回避行動を緩和し、正常な起立動作を誘導するためのシステムの提案を行った。提案システムでは、人の動作中の身体軌道・床反力・筋活動位を同時に計測し、システムが有する目標状態との差に応じて、視覚・聴覚・触覚に実時間でフィードバックを行う。外部刺激によって高齢者は自らの状態と達成すべき目標の状態を知ることができ、安心感を持ってシステムが提示する追従すべき起立運動を達成することができる。

今後の展望として、システムを有効に機能させ、効果的に高齢者の運動を誘導するために、フィードバックする情報の検討、各感覚器の刺激に対する応答（感覚マッピング）の調査、複数の外部刺激をフィードバックすることでの組み合わせ効果を被験者実験を通じて決定する予定である。

### 文献

- [1] 厚生労働省平成 19 年国民生活基礎調査 (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/20-19-1.html>) 2012/03/04)
- [2] An, Q., Stepp, C.E., Matsuoka, Y., Asama, H., "Uncontrolled Manifold Analysis of Standing-up Motion for Development of an Assistance System", Proceedings of the IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics 2011, Jun 2011, Zurich, Switzerland
- [3] E. Taub, "Overcoming Learned Nonuse: A New Approach to Treatment in Physical Medicine," in Clinical Applied Psychophysiology, J. G. Carlson, A. R. Seifert, and N. Birbaumer, Eds. New York: Plenum Press, pp. 185-220, 1994
- [4] A. Bandura and D. Cervone, "Differential Engagement of Self-reactive Influences in Cognitive Motivation," Organizational Behavior and Human Decision Processes, vol. 38, pp. 92-113, 1986.
- [5] C.G. Burgar, P.S. Lum, P.C. Shor, H.F. MachielVan der Loos, "Development of Robots for Rehabilitation Therapy": the Palo Alto VA/Stanford experience, Journal of Rehabilitation Research, vol. 37, pp. 663-673, 2000
- [6] H.I. Krebs, B.T. Volpe, M.L. Aisen, N. Hogan, Increasing Productivity and Quality of Care: Robot-Aided Neuro-rehabilitation, Journal of Rehabilitation Research, vol. 37 pp. 639-652, 2000