

足関節運動支援システムの開発

宮下 優斗[†] 眞坂 美江子[†] 石井 桂輔[‡]

帝京大学 理工学部 情報電子工学科[†] 帝京大学医学部 救急医学講座[‡]

1. 研究の背景

深部静脈血栓症(エコノミークラス症候群)は、主に下肢の静脈に血栓が生じる病気である。その血栓が肺の動脈に詰まることで肺血栓塞栓症を続発し、最悪の場合死に至ることもあることから、その発症予防が重要となる。深部静脈血栓症の予防には、水分補給、圧迫療法、足部の運動などがあるが、中でも足関節を底屈背屈させる足関節運動は予防効果の高い運動として推奨されている。足関節運動には、他動運動(他者から外力を加えて行われる運動)と自動運動(自分の力で行う運動)の2つの取り組み方がある。他動運動を支援するシステムについては、足関節リハビリ支援装置「AMS-28」^[1]や、足首及び足指用持続的関節他動訓練器(CPM)^[2]などといった先行事例がある。自動運動は、他動運動に比べて深部静脈血栓症の予防効果が高いと言われているが^[3]、自動運動を支援するシステムについての先行事例は確認されていない。また、他動運動装置においては、より深部静脈血栓症予防に効果的な運動指標を得るため、運動周期や底背屈角度等を変化させた研究が実施されているが、自動運動は、他動運動より効果が高いと言われていながら、最適な運動を促すための支援はされていない。

そこで、足関節運動の中でも自動運動を対象とした足関節運動支援システムの構築を目指す。本研究は、支援システムの主機能である運動支援機能について、他動運動で培われた運動指標を自動運動の支援に適用することで、より効果的な足関節運動を促すことを目標としてシステムを構築し、その効果を評価する。

2. システム要件

深部静脈血栓症は、飛行機などの座席に長時間座り急に立ち上がったときなどに発生しやすい。また、飛行機だけでなく、被災時など自家用車のなかで寝泊まりしている場合や、床上安静を余儀なくされ、ベッド上で長時間を過ごす

Development of the ankle movement support system

[†]Yuto Miyashita, Mieko Masaka · Department of Information & Electronic Engineering Teikyo University School of Science & Engineering

[‡]Keisuke Ishii · Department of Orthopaedic Surgery Teikyo University School of Medicine



図 1. システム構成

場合にも発症しやすくなる。他動運動を対象とした足関節運動に関する既往研究によると、足関節運動は、運動周期と底背屈角度により、深部静脈血栓症の予防効果が異なると報告されている^[4]。しかし自動運動の場合、適切な運動周期と底背屈角度での運動を自身で管理する必要があり、これらを自身の判断で取り組むのは困難である。また運動は、その持続効果から1~2時間に1回の間隔で2分程度の運動を行なう必要がある^[4]。

以上のことから、足関節自動運動は、限られたスペースにおいて、短時間間隔で複数回の運動が必要であり、システムはコンパクトであることが望ましい。また、運動検知のためのセンサの着脱等の手間をできる限り簡略化させるために、タブレットと加速度と角速度センサを内蔵した、小型無線多機能センサ(TSND151 ATR-Promotions社製)で構成した。使用者はタブレットを手で持ち、小型無線多機能センサをつま先に装着する。この状態で足関節運動を実施すると、加速度・角速度の値がBluetooth経由でタブレットに送信される。図1にシステム構成を示す。

3. 足関節運動の検知方法

足関節運動は、足首(足関節)の曲げ伸ばし(底屈と背屈)を繰り返すことにより、腓腹筋とヒラメ筋が収縮して血流を促進し血栓を予防する運動である。そこで、図2のようにつま先付近に小型無線多機能センサを装着する。使用者が足関節の運動を行なうと、底背屈方向の加速度および角速度に変化が生じるため、小型無線多機能センサから収集したこれらの情報からタブレット内で底背屈角度を推定する。杉浦らは、同一の手法により足関節運動が検知可能であると述べている^[5]。



図 2. 足関節運動の検知方法



図 3. 画面仕様

4. アプリケーションの開発

足関節運動の効果を高めるためには、特定の運動周期および底背屈角度での運動が重要である。支援システムにより最適な運動を促すためには、①運動タイミングの提示②底背屈角度のフィードバック③運動の一定時間の継続がポイントとなる。そこで本システムは、図 3 のユーザインタフェースを設けて足関節運動を支援する。画面中央には、両足の画像が表示されており、左右から流れてくる足の画像が中央にある足の方の画像と重なる。使用者は、画像が重なり合ったタイミングで、表示されている画像と同じ側の足関節を底屈する。タイミングよく規定の底屈運動が実施された場合には、図 3(右側)に示すアニメーションが表示される。他動運動に関する既往研究によると、足関節運動は、1 分間に 50 回の運動が深部静脈血栓症の予防に最も効果的であると言われていることから^[4]、このペースに合わせて、足の画像が左右から交互に中央にある足の画像と重なるように描画される設計としている。また、既往研究から底背屈の角度差は 20 度が最適と推定し、小型無線多機能センサから算定した底背屈角度が 20 度を超過すると、運動がされたとみなし図 3 のアニメーションを表示することで、適切な運動周期と底背屈角度を満たす足関節運動を支援する。

5. システム評価

開発した支援システムを用いた場合と用いなかった場合で足関節自動運動を実施した時の運動周期および底背屈角度の平均と分散の比較を表 1 および表 2 に示す。ベッド上半座位で足関節の底背屈運動を行っている様子を側面からビデオカメラで撮影した後、画像解析ソフトにより最大底屈・背屈角度とその時刻を計測した。本実験は帝京大学倫理委員会での承認を得て実施している。表 1 より、運動周期は未使用時に比べて 1 分間に 50 回(運動周期 1.2 秒)に近い値を示すことができた。しかし、底背屈角度については、使用時の方が 20 度よりも大きな値を示した。これは今回開発したシステムは、使用者

表 1. 運動周期

	アプリケーション未使用時	アプリケーション使用時
平均	1.58秒	1.21秒
分散	0.022	0.011

表 2. 底背屈角度

	アプリケーション未使用時	アプリケーション使用時
平均	33.25度	47.79度
分散	14.759	48.097

に角度の数値的なフィードバックではなく、運動検知によるアニメーションで適正角度を伝えようとしたため、使用者が理解しにくく、必要以上の底屈運動をしてしまったものと考えられる。

6. まとめ

本研究は、自動運動を対象とした足関節運動支援システムの構築を目指し、運動支援機能の試作を行った。タブレットと小型無線多機能センサを Bluetooth で接続し、センサから送られてくるデータから、底背屈角度および運動タイミングを検知するシステムを実際に構築し、適切な運動周期と運動角度の運動ができているか評価したところ、運動周期においては、システムを使用することにより、未使用時に比べて理想値に近い値を得ることができた。しかし、底背屈角度は、理想値を大きく超過していることから、今後、底背屈角度 20 度で一定して行えるよう更なる改善が必要である。

参考文献

- [1] 足関節リハビリ支援装置「AMS-28」, https://www.pioota.jp/concours/c30/post_72.html, 最終アクセス日 2019/10/16.
- [2] 池田悠樹, 小林宏: 足首及び足指用 CPM 装置の開発, JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2018.
- [3] 河野義広, 横山茂樹, 松坂誠應, 有川康弘: 他動運動と自動運動における足関節の関節固有覚の相違, 第27回九州理学療法士・作業療法士合同学会誌, 2005.
- [4] 木村悠人: 深部静脈血栓症予防法の検討, 九州理学療法士・作業療法士合同学会誌, 2009.
- [5] 杉浦樹, 眞坂美江子, 石井桂輔: 足関節運動の現状分析とより効果的な運動を目指した運動検知手法の検討, 情報処理学会第 82 回全国大会, 2020.