

### 1. 緒言

高齢者や下肢に障害を有する患者の立ち上がりの機能を強化するための訓練機として、可能なかぎり患者が自立できるよう、立ち上がり時における筋力の不足分を吊り機構で最低限補助するシステムが、訓練と言う意味では効果的であると考えられる。また、立ち上がる動作は足首、膝、股の3つの関節のモーメントにより駆動されるが、能力的には膝関節への負荷が大きくなり、訓練機による軽減が必要となってくる。

そこで、本研究では、まず、訓練機なしで立ち上がる場合に、立ち上がりの姿勢の各関節モーメントに対する影響を高齢者によく見られる静的な立ち上がりに関して調べ、膝に負担が小さい立ち上がりかたについて検討する。さらに、そのような立ち上がりかたを吊り上げ型の立ち上がり訓練機で実現するためには、どのような制御をすればよいかをマルチボディシステムの動作シミュレーションにより検討する。

### 2. 膝に負担のかからない姿勢

静的な立ち上がりであれば、各関節のモーメントは力のつりあいより、以下の式で計算できる。

$$M_1 = g_1 \times (407 \times 0.43 \times \cos \theta_1) \quad (1)$$

$$M_2 = g_2 \times (423 \times \cos \theta_2 - 423 \times 0.43 \times \cos \theta_2) \quad (2)$$

$$M_3 = g_3 \times (423 \times 0.43 \times \cos \theta_2 - 622.5 \times 0.4 \times \cos \theta_3) \quad (3)$$

$$M_4 = g_4 \times ((622.5 + 112) \times \cos \theta_3 - 423 \times 0.43 \times \cos \theta_2) \quad (4)$$

$$M_5 = g_5 \times (622.5 \times \cos \theta_3 + 778 \times \cos \theta_4 - 423 \times 0.43 \times \cos \theta_2) \quad (5)$$

$$M = M_2 + M_3 - M_1 - M_4 - M_5 \quad (6)$$

下腿の質量の影響を無視すれば、膝関節モーメントは、膝と重心の水平距離が遠いほど大きくなると考えられる。そのためには、重心ができるだけ前方であることが有利である。そのことから、上肢の前傾度、腕の位置、椅子の座面の高さなどが膝関節モーメントに大きい影響があることが分かった。

### 3. シミュレーションによる制御方法の検討

シミュレーションでは Pro/ENGINEER を用いて平均的な日本人の成人男性<sup>(2)</sup>の人体モデル (図1) を作成、そのモデルを MSC.visualNastran4D (以下 vN4D) により、各関節にトルクを加える場合、関節角度を指定し回転させる場合、ロープで吊り上げる場合等の様々な立ち上がりを行う。今回は立ち上がり支援機での立ち上がりを考慮し、イスの高さは変化させず、腕は下ろしたままでの立ち上がりを行ない、その時に膝関節に発生する負荷トルクを計測して、膝への負担が最もかからない立ち上がりを理想と定義し、肩上方のポイントから天井2箇所への前後ロープの長さ変位を導出する。

また、vN4D の妥当性を検証するため静姿勢で膝の関節モーメントが0となる姿勢を理論値より導出した姿勢 (図2) と各関節角度の比較を行う。

### 4. 解析結果および考察

vN4D と理論値の比較は平均的に 1~2° の誤差で収まったため vN4D は信頼できるものである。

足を引き上体を傾け手は真下に下ろした姿勢から 3.6 秒かけ立ち上がる時の膝関節トルク (図3上) の絶対値は約 105Nm となり、この立ち上がりかたが立ち上がり支援機で制御を行なう事を考慮した場合、最も負荷のかからない立ち上がりかたと定義する。また、その時のロープの変位は図3下の様になる。

図3での 0.2 秒(縦線 1)より腰が浮き始め、その時最大の正のトルクが発生し、1.2 秒(縦線 2)よりバランスをとり、静止できる姿勢となり、立ち上がる勢いで前に倒れていかないように最大の負のトルクが発生する。

### 5. 結言

vN4D による検討により、膝にかかる負荷を軽減させた立ち上がりかたを明らかにすることができ、その時のロープ変位を導出することができた。

### 文献

- (1) 国立社会保障・人口問題研究 <http://www.ipss.go.jp/> 将来推計人口データベース
- (2) 生命工学工業技術研究所 編、“設計のための人体寸法データ集” 1996

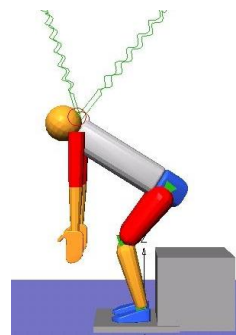


図1 シミュレーションモデル

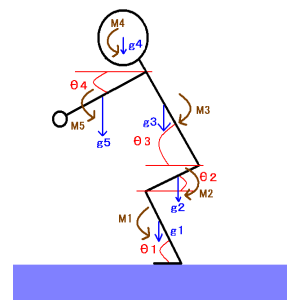


図2 理論式対応図

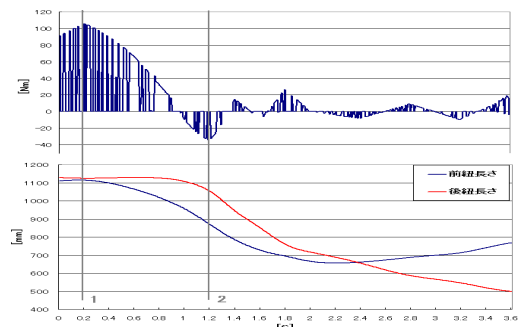


図3 上:トルク変化 下:ロープ変化