

論文名

階段や坂を歩ける大腿義足膝継手に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科専攻 二宮 誠

全国に概ね1万人いるといわれている大腿切断者は、現在、坂道や階段の歩行において、不自然な歩行を強いられている。膝折れする不安で、曲がった膝に体重をかけることができないため、一般には手すりを使って、膝を伸展させたままでの1歩1歩の昇降である。そこで大腿義足にて階段、坂道を交互歩行で昇降ができるように、上りでは任意の角度で膝を止めることができ、下りでは適度な抵抗がかけられるNAL-Kneeの開発研究を行った。これは外部動力を一切用いず、膝継手に設けた油圧シリンダーの抵抗を、本人の意志により制御するものである。

第1章では、大腿義足の説明として、歴史や製作手順、構造について述べ、また従来の膝継手部品の役割や種類を説明した。そして階段を昇降する技術研究として他者の過去の取り組みを紹介した。

第2章として、切断者の歩行分析を行い、現在の大腿義足装着者は膝を曲げて階段昇降できないこと、股関節の筋力である程度膝を伸展させることができることを示した。また膝に任意の角度で屈曲制限を設ければ、交互歩行で階段を上れることが分かった。この任意の角度で膝を止める方法として、ソケット内の圧力を考えてみた。大腿義足のソケット内の使われていない筋肉の随意的な収縮によりソケット内圧を変化させ、それを空気袋センサーで読み取り、膝継手摩擦を随意に変化させようとするものである。そのためのソケット内圧測定の前準備実験を行い、ソケットの近位と遠位の差圧を本人の意志として用いることにした。

第3章では、ソケット内に空気袋センサーを作って、膝継手システムを考えてみた。ソケット内の近位と遠位の空気圧力差によって、ダイヤフラムによりポペットバルブを作動し、膝に用いた油圧シリンダーの屈曲抵抗を変化させるシステムである。しかし空気漏れや、筋収縮力が必要、ソケット適合などの問題から、空気袋センサーを断念した。

第4章では、空気袋に変わり、電気式圧力センサーとソレノイドバルブによってシリンダーの抵抗制御が行えるようにした。また歩行速度追随性を高めるために、歩行スピードによって油圧抵抗が変わるように速度検出センサーを設けるなどの工夫をした。しかし、ソケット内センサーにおいては、ソケットの製作に手間がかかることやソレノイドのシール性の問題などから、この方法を断念した。

第5章では、新しい制御方法(NAL-Knee)を考えた。膝継手の下部に4軸リンク機構(バウンサー機構)を設け、踵が接地する場合とつま先が設置する場合にわけ、上りではつま先接地となり、その体重の係り具合によりロックバルブを閉じ、下りでは踵接地となり、あらかじめ抵抗を設定したイーリングバルブを閉じるようにリンクカムを設定した。その機構で、平地でのつま先接地のときはロックせずスムーズに歩けるように、バイパスピストン(特許申請)を設計した。ロックバルブとイーリングバルブは簡略化と確実

性のために、一体化して1本バルブとした。この制御方法では、膝継手だけの研究開発であり、モジュラー式（骨格構造）の大腿義足であれば、膝継手パーツの交換だけでこの機能を獲得することができる。カーボンフレームにより軽量コンパクトにして、シリンダーと合わせて1250gの膝継手とした。さらに階段において義足の膝を伸ばしながら上るように、NAL-Kneeの動力化も試みた。

第6章では、性能確認としてまずNAL-Kneeの階段昇降の歩行分析を行った。階段を下りる場合は健側と同じような膝の角度変化であったが、上りの場合は角度変化がかなり違うことが分かった。義足を持ち上げて次の段に足を載せるときに、NAL-Kneeでは膝角度が足りずにつま先がぶつかる可能性がある。次にNAL-Kneeがどれだけ効果があるか、酸素摂取量を調べてみた。下りでは明らかにNAL-Kneeの方がスピードも効率も優れていたが、上りでは慣れによる個人差と慣れの問題がある。しかし交互歩行に限って言えば、筋肉を使って交互歩行で上るよりは、NAL-Kneeを使って交互歩行した方が効率の良いことが分かった。さらに耐久テストとして、坂道下りイーエルディング連続耐久、および歩行連続10万回耐久を行った結果、油温も45℃程度であり問題のないことが分かった。

第7章は考察である。本研究では、活動的な大腿切断者に平地を歩いたり走ったりするのみならず、動力なしに階段、坂を交互歩行で昇降でき、膝を曲げて立って仕事ができるなど付加価値の高い膝継手を開発研究した。この膝継手は充電も必要なく、製作コストも低い。このNAL-Kneeにより大腿切断者の日常生活の自由度が格段に広がると考えられる。