転倒防止用フレキシブルワイヤ型歩行補助システムの開発

Development of flexible wire type assist system for tumble prevention

○正 深谷 直樹(都立産技高専) 正 池原 忠明(都立産技高専)

Naoki Fukaya, Medical and Welfare course, Department of Monozukuri Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Tadaaki Ikehara, Medical and Welfare course, Department of Monozukuri Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

In this paper, a dynamically controlled/powered walking support system was described. Certain requirements must be met when developing a walking assist machine; it must be lightweight and safe. Particularly, in this paper, emphasis is placed on maintaining natural appearance by a simple, small, and lightweight device. To meet the requirements of the walking assist machine using a simply designed device. Based on these results, a new walking assist machine on which a flexible wire is applied. A combination of the flexible wire with a worm gear is successfully adopted on this walking assist machine to develop its appearance simple and its size compact. Walking experiments using this machine show the walking assist machine is well fit to walking.

Key Words: AFO, power assist, walk support

1. 緒言

高齢化による背屈機能の低下が原因での躓き事故が多く報告されている。このような脚力の低下を支える手法として下肢装具が挙げられる。しかし下肢装具は基本的に動力等は搭載されておらず、高機能化・動力補助仕様の装具についても取り組まれる例は少ない^{1) - 3)}。

また近年では携帯性に優れた補装具の特性に着目し、動的に動作させる事による支援を積極的に行うパワーアシスト機能の実現が盛んに取り組まれるようになってきている³⁾。しかしながら、これらパワーアシスト機能を有する機器は対象関節近傍にアクチュエータを配しているため、慣性モーメントの影響が極めて大きくなる。これは足首に 1kg の重りを付けた場合、大腿部の筋疲労が極めて大きいことから理解できる。つまり一部の患部を支援するために、他の健康な部位に多大な負担を掛けるという本末転倒な自体が起きかねない。

よって本研究では近年増加している高齢者における転倒事故の原因の一つである躓きを防止するため、体幹近傍にアクチュエータを配することで、装着部に負担を強くないフレキシブルワイヤ型の歩行補助システムの開発を目的とする。図 1 にシステム外観を示す。

2. 前頸骨筋力の低下と膝関節疾患の影響

歩行において、前頸骨筋は足首を支え、歩行時の体重の前方移動時の保持、着地時に衝撃を吸収する役目を有する。よ

ってこれが衰退すると足首の関節そのものを痛めることにもなりかねず、新たな疾患を招く要因にもなりかねない。

また遊脚相において足底の背屈動作を行わなかった場合、地面に対しつま先から接地するため、躓き転倒が起きる。高齢者では運動関係の機能や、筋力の低下によりこのような転倒が多く生じる。これはつま先を持ち上げる前脛骨筋が腓腹筋に比べ細く、衰退の影響の度合いが大きいためと考えられる。この筋力の違いは長時間歩行の際に疲労度の違いとして現れ、前脛骨筋の疲労度は足全体の筋力の中でも高い⁴⁾。

加えて膝の疾患等を有している場合、他の関節への依存度はさらに増加する。こうした条件により与えられる疲労もまたつまずき骨折等の事故につながる事となる。このような疾患を有する場合、高齢者は歩幅を狭くして前傾姿勢を取る、杖を併用するといったケースが多い。しかしながらこのような歩行姿勢は階段・坂道の昇降運動能力の低下、姿勢の悪化、腰痛、歩行速度の低下による衝突事故、さらには外出に対し内向的となるなどの影響を及ぼしかねない。また何らかの器具で関節の動作を支援する場合、それらの外観の特徴は好奇の目を集めることとなり、結果として装着者に精神的な負担となる場合がある。

以上より、本研究では、装着部位に慣性モーメントによる負担を強くない構造に加え、膝等の関節への補助も実現すること、自然な歩行姿勢を実現すること、使用者を含め、周囲の人から見ても違和感を与えない形状を実現することを目的とする。

3. 歩行補助具の仕様

従来のアシストスーツのように、モータ等の動力源を補助部分に置くのでは足先のモーメントが増大し、左右のバランスを狂わせたり、長時間歩行時に疲労が極度に蓄積したりする恐れがある。そこで動力を腰に配置し足首へフレキシブルワイヤで動力伝達を行う方法を採用した。フレキシブルワイヤはワイヤが回転軸として伝達可能な構造をしており、ワイヤの特性により柔軟に屈曲できる。これにより伝達対象の位置が変動しても安定して動力を伝達できるため、設計自由度が高いという利点を有する。またアクチュエータ等の動力部を切り分けることができるため、装着部の形状は簡潔となり、外観もシンプルに構成可能である。着用者へのストレス軽減・補助部分の軽量化による安定性の向上が得られる。

Fig.1 flexible wire type assist system for tumble prevention

Fig. 2 Structure of flexible wire type assist system

Fig.3 Radius of rotation

4. 補助具の試作

提案する機器の有用性を確認するため、図2に示す試作機を製作し歩行・昇降実験を行うこととした。電源はニカド充電式バッテリーによるDC12Vとし、動力源としてDCギヤドモーターを採用した。可動範囲は図3のように前方に20度、後方に30度まで角度を変化させるようにした。これにより通常歩行の遊脚・立脚相を再現できる。

また重量物であるアクチュエータ、バッテリーおよびコントローラを腰のポーチ内に内蔵した。重量物を装着者の重心近傍に配し、慣性モーメントの影響を極力低減させることを目的としたものである。結果、装置全体の質量1650g、腰部に700g、下肢装具800g、フレキシブルワイヤ150gとなり、下肢に質量は集中せずに済むようになった。また、背屈時の足関節モーメントは20Nm程度である。これに対しウォームギヤの出力トルクは29.4Nmであり、背屈を実現できる。なお底屈には100Nm程度必要であるため、歩行そのものを動的に援助するには不十分である⁵⁾。

さらに同様の仕様で図5の膝補助具を製作し装着した。基本構造は市販の関節サポーターの外部にフレームを設け、膝回転支点到ギヤを直結し補助力を伝達するものである。この結果、装着感を損なうことなくヒトの膝と同様の可動範囲での補助が実現できる。また簡潔な構造のため質量は膝補助機能の追加で750gの増加で済むようになった。

なお膝部にかかるモーメントは約40Nmである⁵⁾。今回の構造では全てを補うことはできないが、本システムは主に筋疲労の低減が目的のため、そのための補助出力は十分と判断している。

Fig.4 Knee support system

Fig. 5 Walking with flexible wire type assist system

5. 実験結果

歩行実験の結果、足底の背屈動作が補助されたことかかとの着地により、つまずきがなくなったと同時に転倒の危険性も大幅に減少した。また膝部を補助することで前方へと足を押し出せるようになり、歩幅が増大した。

動力伝達に用いたフレキシブルワイヤは軽量かつ、スムーズに回転し、平地歩行における滑らかな膝の屈曲伸張動作を再現した。図5に示す。また重心近傍に重量物を分散したことで装具重量、および慣性モーメントは歩行の支障にならない程度であるという結果も得られた。

同様に階段昇降についても実験を行った。通常、前頸骨筋が衰退するとつま先が段差の角などに引掛かり転倒しかねないが、背屈機能により確実に踵から接地できるようになった。また最も負担が大きい膝部についても、駆動力を補助したことで関節への負担を軽減する効果が得られた。しかしながら階段昇降のように膝関節に多大なモーメントが加わる動作では、出力はやはり十分とはいえない。更なる出力の向上が安定感の提供に繋がるため、更なる向上が必要である。

6. 結言

本研究では高齢者および下肢麻痺者やリハビリ患者に対する下肢装具における動力による補助を念頭とした装具の試作機を製作した。

今回の試作において、補助動作の確立、外観の保持、動力伝達による補助部分の軽量化について明らかにできた。今後は膝部補助具の出力向上による膝動作の保持、速度制御、そして装具における耐久性や動作音について重点をおき、安全で快適に使用できる実用モデルの実現を目指す。

参考文献

- (1) 赤澤康史 他3名. メカトロニクスを導入した短下肢装具の開発研究 兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集 pp. 199-202, 2003
- (2) 梯大吾, 谷田惣亮 他. 船団型MRブレーキを用いたインテリジェント短下肢装具の開発～制御系の再構築および臨床実験～, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2K2-08, 2008
- (3) 李秀雄, 山海嘉之. 装着型下肢用パワーアシストシステムによる振り運動での仮想インピーダンス調整に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 71, No. 705, pp. 1686-1695, 2005
- (4) 池原忠明 他. Biodex stability systemを用いたスポーツ選手の動的平衡性の検討, 運動とスポーツの科学, 7巻1号 pp. 37-42.
- (5) 江原義弘, 山本澄子. 歩き始めと歩行の分析, 医歯薬出版, 2002