

論文の要旨

題 目 空気圧人工筋を利用した軽量柔軟な動作支援ウェアの開発

(Development of a Lightweight Flexible motion Assist Suit Using Pneumatic Artificial Muscles)

氏 名 小川 和徳

近年、日本の国策として健康寿命を伸ばそうという取り組みが始まっている。健康寿命とは、健康上の問題がない状態で日常生活を送れる期間のことである。健康寿命が損なわれると、生活の質（QOL：quality of life）が落ち、本人にとって不利になるだけでなく、支える家族の負担も大きくなり、国としては介護・医療費の増加に繋がる。現在、日本では男女ともに平均寿命も健康寿命も延びているが、健康寿命は平均寿命の延びに追いついておらず、要介護の期間が延びているというのが現状で、平均寿命と健康寿命の間には、男性で約9年、女性で約13年の差がある。このような事態を抑制するために、いつまでも自分の足で歩き続けていくことで、運動器を長持ちさせ、健康寿命を延ばしていくことが必要とされている。

ロコモティブシンドロームは、メタボリックシンドロームや認知症と並び、健康寿命の短縮、ねたきりや要介護状態の3大要因のひとつである。これらの加齢や運動不足に伴う身体機能の低下や運動器疾患による痛みや易骨折性など、多様な要因があいまって負の連鎖により、バランス能力、体力、移動能力の低下をきたし、ついには立って歩く、衣服の着脱やトイレなど、最低限の日常生活動作さえも自立して行えなくなり健康寿命の短縮、閉じこもり、廃用症候群や寝たきりなどの要介護状態になっていく。「ロコモ」と「メタボ」や「認知症」を合併する方も多いという報告もある。健康寿命の延伸の為には幅広い対応策が必要であり、予防、早期発見、早期治療が重要とされている。

運動器自体の疾患や加齢による運動器機能不全により運動器の機能が低下すると、怪我・事故が発生する可能性が大きくなる。その為、運動や外出が億劫になり、さらなる運動器の機能低下を招くという悪循環が発生する。健康寿命の延伸の為には、この悪循環を断ち切る必要がある。そこで我々は、無理やり運動をさせるのではなく、ユーザーのモチベーションを上げることが重要で対象者が進んで運動がしたくなるような、手軽で楽しい動作支援装置が必要になると考えた。本研究では、低圧で駆動する空気圧人工筋を新たに開発し、これを応用することで、電力の外部供給が不要でありながら装着者の動きに合わせてアクティブに支援を行うことが可能な動作支援装置を開発した。

第2章では、軽量柔軟なアクチュエータである空気圧ゴム人工筋と衣類素材の組み合わせで内骨格タイプの動きを妨げにくい支援装置と装着部を設計し、PWM制御により安価な電磁弁で基本動作に対して自動的に追従支援可能な制御システムに加えて、突発的な動作変化に対し顎の嚙締力により発生する筋電をトリガーにして複雑な建設作業の変化に対し装着者の意図を反映して支援を調整できる制御方法を開発した。本章では実際に5名被験者で建設作業動作の計測を行い、支援有無での平均筋電位の%MVCをボンフェローニ法を用いて多重比較を行ったところ、有意差が検出された。本装置で脊柱起立筋の負担軽減が確認できた。一方で、使用した従来型の人工筋を駆動させ支援力を発生させるには0.3MPa程の供給圧力が必要であり、大型大重量のコンプレッサが必要であった。その為、装着者はコンプレッサと配管で接続された範囲内でしか活動することができない。そこで、3章以降では、低圧で駆動可能な空圧人工筋を開発することで、空圧源が小型軽量化され、構造が簡便で低コストでの実現が可能な、動作支援装置を提案した。

第3章では、マッキベン型人工筋の構造を見直し、低圧で駆動が可能な人工筋（以下PGM）を開発しその機能特性について評価した。さらに、既存の低圧型人工筋と比較し、収縮率、発生力共に開発品が上回ることを確認した。

第4章では、PGMを利用して無電力供給でありながら、歩行時の股関節屈曲動作における大腿直筋の負荷

を減少させつつ、股関節伸展動作における大腿二頭筋の活動への影響が少なくなるように、必要な時だけ支援力を発生させることができる無電源歩行支援装置を開発し効果について述べた。本章では実際に9名の被験者で歩行動作計測を行い、支援効果について支援有無それぞれの筋電位の%MVCの差を検証し、支援有の場合、歩行遊脚期に主に働く大腿直筋の%MVCが有意に減少することを確認した。

第5章では、低圧駆動型人工筋を利用して開発した、超人テニス用の無電源動作支援装置とその効果について述べた。本章では低圧での駆動特性が良いというPGMの特徴を活用して、ポンプを装着した靴を履いてテニスをプレイすることでプレーヤー自重を利用して空気圧供給を行う手法を採用した。これにより電源もコンプレッサも使わずに、テニスプレイ中のプレーヤーの動きによってPGMを駆動させるための空気圧を蓄積することができる。また強打が必要なタイミングをプレーヤー自身が判断し、メカニカルバルブのスイッチをおすことでフォアハンドのスウィングを支援する力を得る機構とした。実際に8名の被験者でテニススウィングの計測を行い、支援効果について筋電位の%MVCとスウィングスピードで評価した。支援有の場合、スウィングスピードは有意に上昇し、%MVCは有意に減少することが確認できた。

第6章では、運動補助パーツ配置が運動補助効果に与える影響を筋骨格シミュレータにより評価を行った。歩行遊脚期の股関節屈曲を補助する目的で開発された歩行補助ウェアを対象に、作成した筋骨格シミュレータで推定評価した結果、股関節屈曲に優位に働く大腿正面筋の補助効果が確認でき、正面筋の拮抗筋に相当する股関節伸展に優位に働く大腿背面筋には負荷になっていること、どちらの場合もサポートパーツ上端の装着位置を外側上方にずれるほど影響が大きくなるが、背面筋の改善率の低下より正面筋の改善率の増加の方が大きいことが確認できた。また筋電計測により実際にウェアを装着した状態で再現評価したところ同様の傾向が確認できシミュレーションの妥当性が示唆された。