

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700521

研究課題名(和文) ロボットスーツを適用した脊髄損傷早期治療介入と3次元動作解析を軸とした包括的研究

研究課題名(英文) Three-dimensional motion analysis based on robotic suit for early spinal cord injury treatment

研究代表者

中原 康雄 (Nakahara, Yasuo)

東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：80595968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3次元動作分析装置を解析に取り入れることで3次元での力学的な解析を行い、ロボットスーツを装着した場合の動作への影響や効果を明らかにするため、関節角度を用いた動作の変化や筋電計を用いた筋活動の変化を調べた。その結果、着用時と非着用時で異なる関節角度の傾向が観察された。今後下肢アシストロボットの評価を行う際には、アシストをいかに行うかと並行して、ロボットを装着すること自体の影響を考慮する必要があると考えられる。筋活性度の結果からは下肢アシストロボットを装着することで筋の負担が減っているとは示されなかった。今後は対象者や対象動作の種類を増やし、さらなる検証を行っていく必要がある。

研究成果の概要(英文)：This study was designed to investigate changes in muscle activity using electromyography and changes in movements involving the joint angles in order to elucidate the influence and effect of wearing a robotic suit on movement. A three-dimensional mechanical analysis was performed by incorporating a three-dimensional motion analysis system. We consequently observed different trends in joint angles when wearing and not wearing the suit. When assessing lower extremity assistive robots in the future, it will be necessary to consider how they assist the limb in question and the effect of wearing the robot suit itself. The results of muscle activity measurements did not indicate that wearing the lower extremity assistive robot suit reduced the burden on the muscles. Therefore, future studies will require further verification with a larger sample size and increased number of target movements.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション医学 ロボットスーツ 3次元動作解析

$$E = \sum_i (q(\theta_i) - p)^2(1)$$

次に歩行動作をモデルへフィッティングし、時系列データでマーカの3次元位置情報からモデルの体節の位置を算出した。式(1)のEは評価関数、 $q(\theta_i)$ は状態変数、 p はマーカの空間座標、 θ_i は関節角度をそれぞれ表している。評価関数を最小化する関節角度を算出し、その値をその瞬間の角度とする。さらに算出した歩行は一歩行周期を100%に正規化し、右足踵接地から次の右足踵接地までを100%となるようにスプライン補間を行った。

下肢アシストでは、基本的に股関節と膝関節のトルクを補助する。本研究ではそれらの効果を調べるために、股関節と膝関節の屈曲伸展を行う筋の筋電を計測した。股関節の屈筋として大腿直筋、伸筋として大殿筋、膝関節の屈筋として大腿二頭筋、伸筋として外側広筋を計測した。得られた時系列データはMATLABを用いて処理を行った。RMSを算出後、300msの移動平均を算出し、歩容計測で算出した一歩行周期に切り取る。これを100%に正規化して、最大筋収縮時の値で割り、この値を筋活性度とした。

4. 研究成果

・歩容計測

図2は一歩行周期中の各試行条件における全被験者の平均下肢関節角度の時系列変化を示している。縦軸は関節角度を示しており、横軸は一歩行周期を100%として時の時間を示している。いずれの関節においてもCONとNAS及びASTを比較した場合、CONだけ他と異なる変化をしている。HALを装着することによって関節の使用方法が異なることが示唆されており、アシストの有無以上に影響があることが示された。

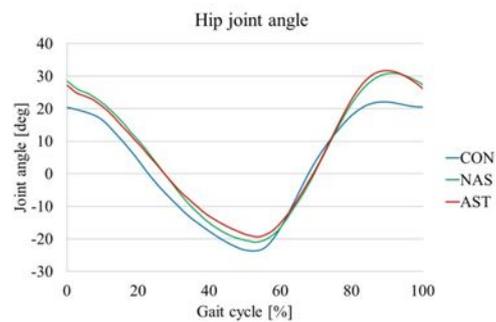
図2(a)の股関節角度は右脚立脚初期においてCONよりもNASとASTの場合で屈曲角度が大きい傾向にある。HAL装着時には、体を前進させるために股関節を大きく屈曲させていたことが予想される。

図2(b)の膝関節角度はCON、NASとASTの各条件でそれぞれ異なる変化が見られた。右脚立脚初期にCONでは存在するピークがNASとASTではなくなっている。このピークは二重膝作用という歩行時に衝撃を和らげつつ効率を高める現象だが、HAL装着時にはそれがなくなっている。HALを装着したことにより、外骨格のおかげで衝撃を吸収する必要が薄れたことが要因の一つと考えられる。右脚立脚中期において、CON、NAS、ASTの順で屈曲角度が小さくなっている。立脚中期は前方への推進力を発生させるタイミングであるため、膝関節を伸展させ、屈筋群の張力を高めることが必要となる。ASTの場合は、膝関節を曲げたままでも十分に推進力を発生させ

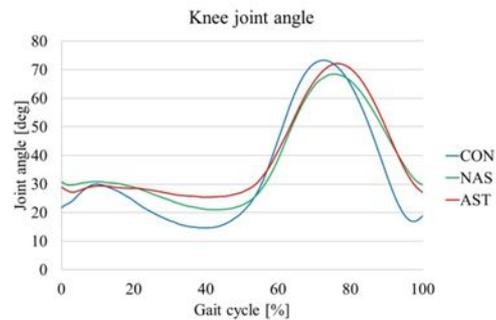
られるため屈曲角度が大きくなったと考えられる。右脚遊脚期のピークに関しては、CONがNASとASTよりもやや早いタイミングとなっている。HAL装着時の方が両脚支持期を少し長くしていると思われる。

図2(c)の足関節角度は右脚立脚後期における底屈角度がNASとASTに比べてCONで大きくなった。これはHAL未装着時には地面を蹴って推進力を出していたが、装着時にはあまり蹴っていないことを示していると思われる。その代償として、HAL装着時には股関節の屈曲を大きくして推進力を確保しているものと考えられる。

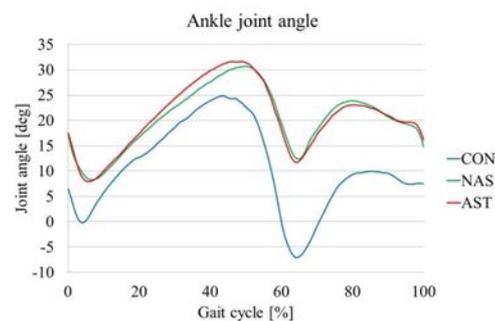
図2 各試行条件における下肢関節角度の変化
(a) 股関節角度



(b) 膝関節角度



(c) 足関節角度



・筋電図

図3は一歩行周期中の各試行条件における全被験者の平均筋活性度の時系列変化を示している。縦軸は筋活性度を示しており、横軸は一歩行周期を100%として時の時間を示している。大腿二頭筋以外の筋においてはCONに比べてNASとASTの場合の筋活性度が高い傾向が示された。

図3(a)の大腿直筋は歩行周期20%程度にピークを持っている。ピーク時の値を比較するとNASの時がCONとASTに比べて大きな値となっており、アシストがない場合に負荷が大きいことが示唆されている。NASとASTの場合は歩行周期60%以降の遊脚期においても筋活動が見られており、HALを前方に振るのに力を発揮していると考えられる。

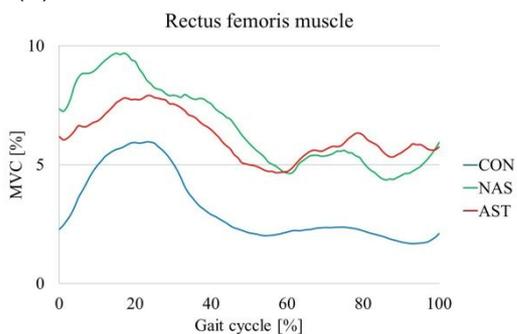
図3(b)の外側広筋は歩行周期20%程度にピークを持っている。ピーク時の値とその後の立脚期中期の値を比較するとNASの時がCONとASTに比べて大きな値となっており、アシストがない場合に負荷が大きいことが示唆されている。CONのみ歩行周期40から60%の立脚期中期において値が小さいことから、HAL装着時には余計に負荷がかかっていることが予想される。これは膝関節の関節角度においてHAL装着時は屈曲角度が大きかったため、自重を支えるための力を発揮する必要があったためと考えられる。

図3(c)の大殿筋は歩行周期20%程度にピークを持っている。このピークにおいてはCONよりもNASとASTの値が大きく、全体的にもCONよりもそれ以外の値が大きい傾向である。特に、歩行周期20%程度のピークでは筋活性度が2倍近くになっており、HAL装着時には股関節周りのトルクを使って推進力を生成していると考えられる。

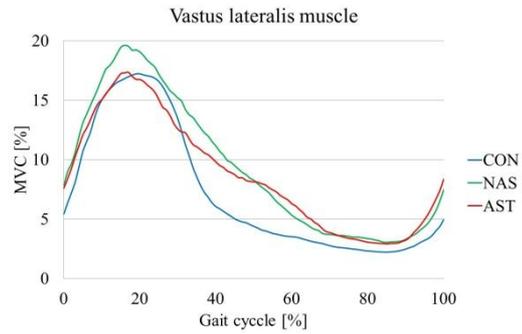
図3(d)の大腿二頭筋は歩行周期15%程度にピークを持っている。このピークにおいてはCONよりもNASとASTの値が大きいが、全体的にはその他の筋と比べて、CONとそれ以外の差が小さい。歩行周期70%前後にそれぞれ二つ目のピークを持っている。ピークが早い順にAST、CON、NASとなっており、遊脚期に移行する際の筋活性がずれていることが分かる。

図3 各試行条件における各筋の筋活性度の変化

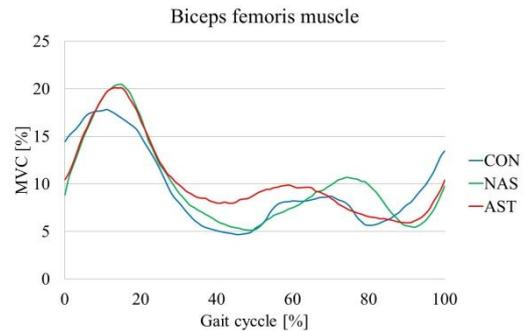
(a) 大腿直筋



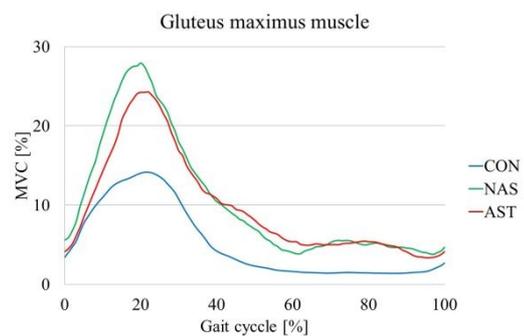
(b) 外側広筋



(c) 大殿筋



(d) 大腿二頭筋



以上の結果より、着用時と未着用時で異なる関節角度の傾向が観察された。今後下肢アシストロボットの評価を行う際には、アシストをいかに行うかと並行して、ロボットを装着すること自体の影響を考慮する必要があると考えられる。筋活性度の結果からは下肢アシストロボットを装着することで筋の負担が減っているとは示されなかった。被験者が健常者だけであったことや行った動作の負荷が小さかったことが影響している可能性はある。今後は対象者や対象動作の種類を増やし、さらなる検証を行っていく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

(1) Nakahara Y, Katagiri T, Ogata N, Haga N: ACVR1 (587T>C) mutation in a variant form of fibrodysplasia ossificans progressiva: Second report. Am J Med Genet A, 164A(1):220-4, 2014

〔学会発表〕(計7件)

(1) 戸島美智生、中原康雄、井口はるひ、石川雄己、雲野康紀、緒方直史、芳賀信彦: 三次元動作解析法を用いた両脚用ロボットスーツ着用時の起立動作解析. 第51回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2014.6.5-7, 名古屋

(2) Michio Tojima, Yasuo Nakahara, Haruhi Inokuchi, Yuki Ishikawa, Yasunori Kumono, Naoshi Ogata, Yoshiyuki Sankai, Nobuhiko Haga: Larger flexion angle of spine and hip during sit to stand in healthy volunteers wearing robotic suit for lower limb. 7th World Congress of Biomechanics, 2014.7.6-11, Boston

(3) 中原康雄、真野浩志、岡本悟士、正田奈緒子、戸島美智生、井口はるひ、野口周一、四津有人、緒方直史、芳賀信彦: 進行性骨化性線維異形成症患者(FOP)におけるADL・QOLの経時的評価. 第50回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2013.6.13-15, 東京

(4) 緒方直史、中原康雄、岡本悟士、正田奈緒子、真野浩志、芳賀信彦: 胸髄損傷後50年で脳梗塞に感染性心内膜炎を併発し弁置換術を行った1例. 第50回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2013.6.13-15, 東京

(5) 雲野康紀、戸島美智生、中原康雄、芳賀信彦: 一次的両側人工股関節全置換術後の三次元動作解析による歩行分析 - 一症例における経時的変化. 第35回国立大学法人リハビリテーション療法士学術大会, 2013.9.14, 浜松

(6) 正田奈緒子、緒方直史、中原康雄、岡本悟士、真野浩志、芳賀信彦: 当院における骨転移キャンサーボード設立の取り組み. 第50回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2013.6.13-15, 東京

(7) 吉川二葉、緒方直史、中原康雄、四津有人、田中弘志、正田奈緒子、真野浩志、芳賀信彦: 仙骨形成不全の下肢運動障害の特徴. 第30回日本二分脊椎研究, 2013.7.6, 仙台
〔図書〕(計1件)

(1) 粕谷大智、中原康雄、芳賀信彦: 大学病院における鍼灸治療の実際 - 糖尿病性神経障害に対する鍼灸治療 -. 神経内科, 78: 538-542, 2013

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中原康雄 (NAKAHARA YASUO)

東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号: 80595968