

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

1. 研究開始当初の背景

ロボットスーツは人間の身体能力の補助、強化の役割を果たす装着型のロボットである。開発されてからも徐々にデザインの工夫がなされ、より一層人間の形態に近づきつつあるだけでなく、装着者の運動情報及び生体情報をモニターする性能も向上している。そういった点を踏まえ、以前は実現するにはいくつもの壁のあったロボットスーツの臨床への応用が医療の面、特に実際に運動機能の障害などを訓練によって取り戻していくリハビリテーション医学の分野において徐々に始まってきている。リハビリテーションは実際に運動機能などに障害を有する方々に最も適した生活水準の達成を可能にすることによって、各人が自らの人生を変革していくための手段を提供していくことを目指しており、昨今の高齢化社会の基、その需要は年々増加している。そのため現状でのリハビリテーションに加え、ロボットスーツを取り入れた訓練を導入していくことは今後のリハビリテーションにおける更なるブレークスルーの一つになり得る。

国内外におけるロボットスーツ研究の進歩は著しく、この分野における日本の研究は世界をリードしている。ロボットスーツの臨床への応用もここ数年徐々に始まってきており、リハビリテーションの現場へのロボットスーツ導入検討の時期から、過度な訓練や適切でない運動などによる副作用を減らし、より適切で効果的な訓練の検討が必要な時期を迎えている。障害を有する方々の残存している身体機能を最大限活用していくという点においてロボットスーツを適切に使用していくことは十分な効果を期待できるが、その訓練は人間の生理的な姿勢、動作により近づいたものであることが望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自動アシストモードを搭載するロボットスーツを用いた訓練をリハビリテーションに取り入れていくにあたり、動作解析にて評価、分析することで、今後のリハビリテーション医療に繋げていくことである。解析に3次元動作分析装置を取り入れることで3次元での力学的な解析を行い、健常人がロボットスーツを装着して訓練した場合の姿勢や運動の状態を解析することで生理的な運動の状況との相違点を検討した。

3. 研究の方法

・対象

体格や症状、入院期間などの点から期間中に脊髄損傷患者での訓練にロボットスーツを適用することが困難であったため、健常人の計測を行い、健常男性6人(平均30.7歳、標準偏差8.0歳)を被験者とした。実験を行

う前に、本研究の概要目的を十分に説明し、同意を得た。本研究は東京大学医学部倫理委員会の承認を受けて行った。

・計測環境

アシストロボットとして HAL®(CYBERDYNE社)を用いた。計測装置としては、3次元動作解析装置としてモーションキャプチャカメラ7台(VICON motion analysis)、床反力計4枚(AMTI×2、Kistler×2)と表面筋電計8チャンネル(Noraxon社製)を用いた。

・計測動作

約5メートルの歩行動作を各条件にそれぞれに対して5試行を行った。試行条件として HAL を装着しない状態(CON)、HAL を装着しアシストは与えない状態(NAS)、HAL を装着しアシストを与えた状態(AST)の3つの条件で計測した。HAL 装着時の試行順序がNASの後ASTを行う被験者が3人、ASTの後NASをやる被験者が3人となるようにし、HAL 装着への慣れの影響をなくすようにした。

・解析

歩容の変化を調べるために、歩行時の関節角度の変化を調べることにし、関節角度の算出を行うために SIMM (MusculoGraphics社)を用いた。まず、図1(a)に示すような静止立位のデータからモデルのスケールを行った。フィットさせるモデルは下肢筋骨格モデルを使用し、このモデルの自由度は股関節3、膝関節2、足関節2となっている。光学モーションキャプチャカメラからマーカの空間座標を計測する。マーカセットは Plug in Gait marker set (図1(b))に両脚の膝と足関節の内側を加えたものを使用した。各体節の特徴を示すマーカ間の距離を用いて、モデルのスケールを調整した。

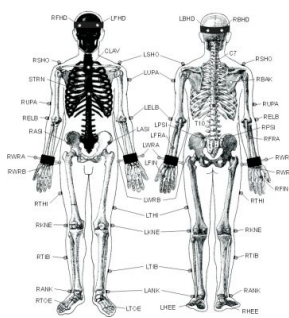


図1(a) 静止立位



図1(b) Plug in Gait marker set

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

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。

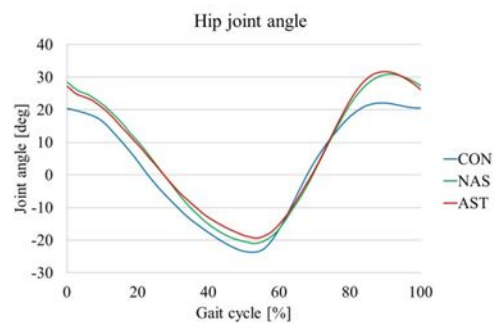
図2(a)の股関節角度は右脚立脚初期においてCONよりもNASとASTの場合で屈曲角度が大きい傾向にある。HAL装着時には、体を前進させるために股関節を大きく屈曲させていたことが予想される。

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

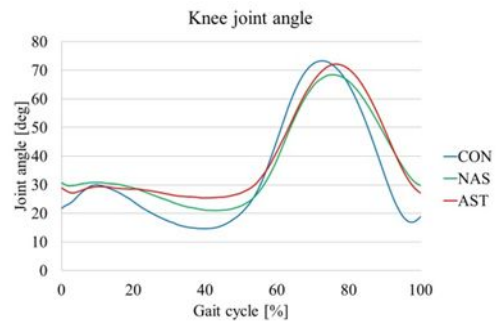
られるため屈曲角度が大きくなったと考えられる。右脚遊脚期のピークに関しては、CONがNASとASTよりもやや早いタイミングとなっている。HAL装着時の方が両脚支持期を少し長くしていると思われる。

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。

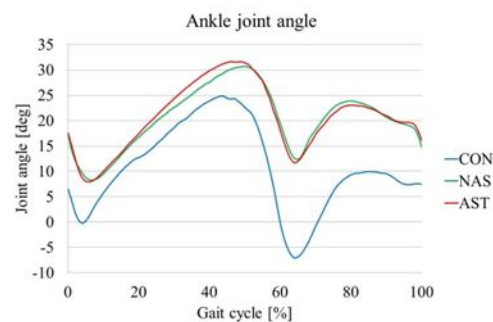
図2 各試行条件における下肢関節角度の変化
(a) 股関節角度



(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。

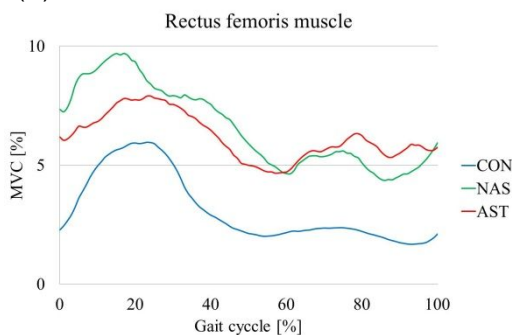
図3(b)の外側広筋は歩行周期20%程度にピークを持っている。ピーク時の値とその後の立脚期中期の値を比較するとNASの時がCONとASTに比べて大きな値となっており、アシストがない場合に負荷が大きいことが示唆されている。CONのみ歩行周期40から60%の立脚期中期において値が小さいことから、HAL装着時には余計に負荷がかかっていることが予想される。これは膝関節の関節角度においてHAL装着時は屈曲角度が大きかったため、自重を支えるための力を発揮する必要があったためと考えられる。

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。

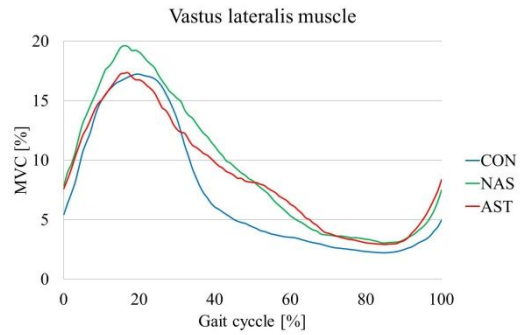
図3(d)の大腿二頭筋は歩行周期15%程度にピークを持っている。このピークにおいてはCONよりもNASとASTの値が大きいが、全体的にはその他の筋と比べて、CONとそれ以外の差が小さい。歩行周期70%前後にそれぞれ二つ目のピークを持っている。ピークが早い順にAST、CON、NASとなっており、遊脚期に移行する際の筋活性がずれていることが分かる。

図3 各試行条件における各筋の筋活性度の変化

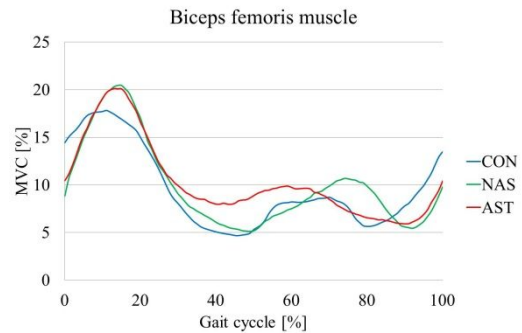
(a) 大腿直筋



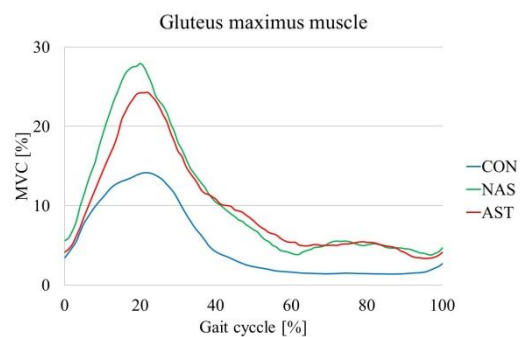
(b) 外側広筋



(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