

介助用電動アシスト車椅子使用時の身体負担の主観評価

Sensory Evaluation of Body Load on Using Electric Power-Assisted Wheelchair for Caregivers

麻植 雄樹^{*1}, 酒井 宣年^{*2}, 神品 淳^{*3}
OE Yuki, SAKAI Nobutoshi and KOJINA Jun

抄 録

本研究では、車椅子の介助者が坂道走行する際にパワーアシストが可能な電動アシスト車椅子を対象とし、パワーアシストの有無、路面の傾斜角及び要介助者の重量の違いの条件下で、介助者の身体の負担感についての主観評価を行った。その結果、前進上り、後進下りにおいて、パワーアシスト有の腕の負担感、下肢の負担感、パワーアシスト無に対して、有意に減少することが示された。また、前進下りにおいて、勾配角条件とパワーアシストの有無条件の間で、交互作用が見られた。さらに、前進上り、後進下りにおいては、下肢の負担感が総合的な負担感に影響することが示された。

1 はじめに

近年、少子高齢化の進行に伴い、介助者の身体的負担は増大することが予想されている¹⁾。介助用車椅子に着目すると、特に、屋外移動において車椅子を押し進める場面において、介助者の負担的負担が大きく、転倒事故のリスクが増大する。

このため、共同研究企業は、電動の歩行アシストロボット²⁾の技術を活かし、車椅子を押す介助者にアシスト力を付加することで、身体負担を軽減することを目的とする電動アシスト車椅子の開発を行っている。電動アシスト車椅子の開発において、路面や要介助者の重量などの実際の使用条件を考慮したアシスト力の設定を行うため、実際の使用条件とアシスト力の違いが介助者の負担感に与える影響について明らかにすることが必要となっている。

これまでに、車椅子の搭乗者の身体負担に関する評価^{3) 4)}や要介助者を車椅子へ移乗する際の介助者の身体負担に関する評価は行われている。しかし、電動アシスト車椅子を対象とし、路面状況や要介助者の重量の違いが介助者の身体の負担感に及ぼす影響について、定量的な検証はされていない。

本研究では、電動アシスト車椅子を対象に、介助者が最適に感じるアシスト力の設定するための手がかりを得るために、パワーアシストの有無、路面の傾斜角及び要介助者の重量の違いの条件下で、介助者の身体の負担感についての主観評価を行った。

2 方法

2・1 実験に用いた電動アシスト車椅子

本実験に用いる電動アシスト車椅子は、共同研究企業が試作したものをを用いた。試作した電動アシスト車椅子を図1に示す。試作品のハンドルには、圧力センサーが搭載されており、介助者が車椅子を握るとアシスト力、またはブレーキ力が付与される。登り坂では、介助者にアシスト力を付与し、下り坂ではブレーキ力を付与するように車体の制御を行っている。また、座席の下には静電容量型近位センサーが搭載されており、要介助者の体重により生じるシートへのひずみにより、静電容量の変化を検出している。静電容量の変化量をモータ制御にフィードバックすることにより、要介助者の体重に応じたアシスト力とブレーキ力を出力することが可能である。



図1 試作品の外観

*1 電子・情報技術担当 *2 企画総務担当

*3 RT. ワークス (株)

2・2 主観評価

本実験において、実験参加者が行うタスクは、介助者が上り坂で車椅子を前に進める（以下、前進上り）、下り坂で車椅子を前に進める（以下、前進下り）、下り坂で車椅子を保持しながら後進する（以下、後進下り）の計3パターンとし、移動距離は1.8mの坂とした。実験要因は、パワーアシストの有無、要介助者の重量および坂の勾配角の3要因とした。車椅子には、要介助者が乗車していることを想定した錘を積載し、錘の質量は56.4 kg（高齢者男性50パーセンタイル値）と74.1 kg（高齢者男性95パーセンタイル値）⁵⁾の2水準とした。坂の勾配については、3 deg、8 degの2水準とした。パワーアシストに関しては、上り坂でアシスト力、下り坂ではブレーキ力を付与した。アシスト力は、要介助者の重量および坂の勾配角によらず、一定とした。ブレーキ力は、要介助者の重量が56.4 kgの場合、中程度（4段階中2）、要介助者の重量が74.1 kgの場合、強程度（4段階中4）とした。これらを組み合わせ、計8水準で実験を行った。実験参加者は10名（20代～50代の健全な男性）とした。実験参加者には、タスクを行ってもらい、各条件のタスク終了後に、負担感についてのアンケートに回答してもらった。評価法は、評定尺度法とし、負担感を数値尺度で評価してもらった。評価項目は、腕の負担感、下肢の負担感、総合的な負担感の3項目とし、7段階（1:非常に弱い、2:かなり弱い、3:やや弱い、4:どちらでもない、5:やや強い、6:かなり強い、7:非常に強い）とした。任意で自由記述のアンケートに答えてもらった。

主観評価のアンケートの解析に際しては、水準間に有意差があるか判定するため、各評価項目に対して、パワーアシストの有無、要介助者の重量および路面の傾斜角を被験者内要因とした3元配置分散分析（Three-way ANOVA）を行った。分散分析の結果に応じて、多重比較（Bonferroni法）を行った。また、腕の負担感、下肢の負担感の総合的な負担感への寄与度を調べるため、総合的な負担感を目的変数、腕の負担感、下肢の負担感を独立変数とした重回帰分析を行い、偏回帰係数について比較した。腕の負担感、下肢の負担感、総合的な負担感の評価尺度のスケールは同じであったため、非標準化偏回帰係数で評価を行った。

3 結果と考察

3・1 分散分析の結果

まず、各タスク（前進上り、前進下り、後進下り）における腕の負担感、下肢の負担感についての主観評価の評点の比較を行った。図2にタスク毎の腕の負担感、図3にタスク毎の下肢の負担感の主観評価の結果を示す。図中において、横軸は各水準、縦軸は全実験参加者の評点の平均値を示している。本研究では、有意確率 p が5%未満を有意とした。なお、主効果が認められた要因に対し、多重比較を行った結果、要因内の水準間において、全て有意差が認められた（ $p<0.05$ ）。

腕の負担感に関して、図2の(a)前進上りに示されるように、勾配角条件（ $F=48.87, p<0.001$ ）、パワーアシストの有無条件（ $F=30.60, p<0.001$ ）において主効果が認められたが、要介助者の重量条件（ $F=0.61, p=0.164$ ）において主効果が認められなかった。全ての要因間に交互作用が認められなかった（ $p>0.05$ ）。

同図の(b)前進下りについて、パワーアシストの有無条件（ $F=31.62, p<0.001$ ）において主効果が認められたが、勾配角条件（ $F=1.92, p=0.20$ ）、要介助者の重量条件（ $F=0.37, p=0.56$ ）において主効果が認められなかった。また、勾配角条件とパワーアシストの有無条件との間に交互作用が認められた（ $F=15.20, p=0.04$ ）。すなわち、勾配角条件が8 degの場合に、パワーアシストの有無条件において有意差が認められた（ $p<0.001$ ）。

同図の(c)後進下りについて、パワーアシストの有無条件（ $F=154.056, p<0.001$ ）において主効果が認められた。要介助者の重量条件（ $F=12.60, p=0.006$ ）において主効果が有意傾向であった。要介助者の重量条件とパワーアシストの有無条件の間に交互作用は認められなかった（ $p=0.30$ ）。

下肢の負担感に関して、図3の(a)前進上りに示されるように、勾配角条件（ $F=47.01, p<0.001$ ）、要介助者の重量条件（ $F=7.88, p=0.02$ ）、パワーアシストの有無条件（ $F=30.78, p<0.001$ ）に主効果が認められた。全ての要因間に交互作用が認められなかった（ $p>0.05$ ）。

同図の(b)前進下りについて、勾配角条件（ $F=10.07, p=0.01$ ）、パワーアシストの有無条件（ $F=36.64, p<0.001$ ）において主効果が認められたが、要介助者

の重量条件 ($F=2.30, p=0.16$) において主効果が認められなかった。勾配角条件とパワーアシストの有無条件の間に交互作用が認められた ($F=24.05, p<0.001$)。勾配角条件が 8 deg の場合に、パワーアシストの有無条件において有意差が認められた ($p<0.001$) ことから、腕の負担感の結果と同等であった。すなわち、勾配角が 3 deg の場合、パワーアシスト有による腕及び下肢の負担感の軽減効果は小さいが、8 deg の場合、パワーアシスト有による負担感の軽減効果が顕著であったことがわかる。このため、勾配角が小さかった 3 deg において、本実験で設定したブレーキ力では負担感の軽減が得られ難かったと考えられる。

自由記述のアンケートにおいて、「緩やかな下り坂におけるパワーアシスト有の条件は、ブレーキが強くて、車両を強く押さないといけなかった。」「急な下り坂におけるパワーアシスト有の条件では、引っ張らなくてよくなって楽になった。」「急な下り坂におけるパワーアシスト有の条件では、車両の自重を支えなくてよくなり、楽になった。」というコメントが得られた。

従って、前進下りの場合、勾配角が大きくなると、前進方向と同じ向きの車椅子の重力に起因する力に抗して、腕で車椅子のハンドルを引く力、歩行速度を抑制しつつ、着地するのに必要な下肢の力は大きくなると考えられる。そこで、勾配角の大きさに応じて、適切なブレーキ力を付与し、腕及び下肢の発揮力が小さくなった結果、交互作用が認められたと考えられる。

同図の(c)後進下りについて、パワーアシストの有無条件において主効果が認められた ($F=165.87, p<0.001$)。要介助者の重量条件において主効果が有意傾向であった ($F=12.31, p=0.007$)。要介助者の重量条件とパワーアシストの有無条件の間に交互作用は認められなかった ($p=0.73$)。

以上より、前進上り、後進下りにおいて、パワーアシスト有の腕の負担感、下肢の負担感、パワーアシスト無に対して、有意に減少することが示された。また、前進下りにおいて、要介助者の重量条件とパワーアシストの有無の条件の間で生じる交互作用により、腕の負担感及び下肢の負担感に差異が生じることが示された。

3・2 重回帰分析の結果

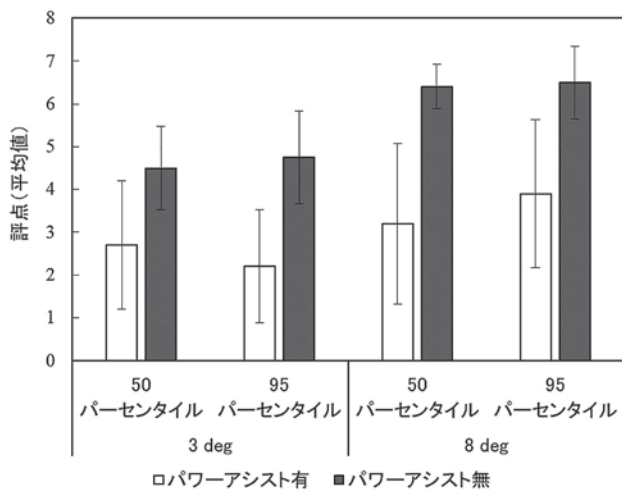
重回帰分析においては、前進上り、前進下り、後進下りのそれぞれで、以下のモデル式が成立しないという帰無仮説の下で行った。

総合的な負担感 =

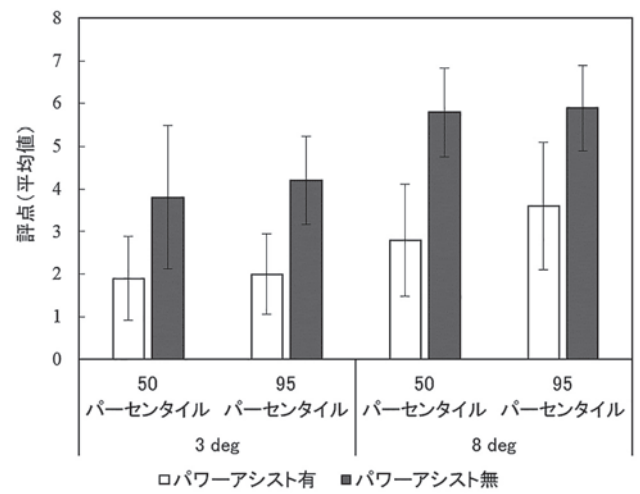
$$a_1 \times \text{腕の負担感} + a_2 \times \text{下肢の負担感} + e \dots (1)$$

なお、 a_1 、 a_2 は偏回帰係数、 e は定数である。各タスクにおいて、モデル式の成立の有無についての分散分析を行った結果、有意確率 p が 0.05 未満であり、帰無仮説は棄却され、モデル式は成立することが示された。表 1 に各タスクにおける偏回帰係数を示す。偏回帰係数 a_1 、 a_2 の絶対値が大きいほど、総合的に負担感への寄与度が大きいことを示している。前進上りにおいて、 a_2 は a_1 よりも 2 倍以上大きくなっており、腕よりも下肢の負担感が総合的な負担感に影響していることがわかる。一方で、前進下りにおいて、 a_2 は a_1 とほぼ同程度の値となっている。後進下りにおいて、前進上りと比較すると程度は小さいものの、 a_2 は a_1 よりも大きくなっており、腕よりも下肢の負担感が総合的な負担感に影響していることがわかる。以上より、前進上り、後進下りにおいては、下肢の負担感が総合的な負担感に影響することが示された。

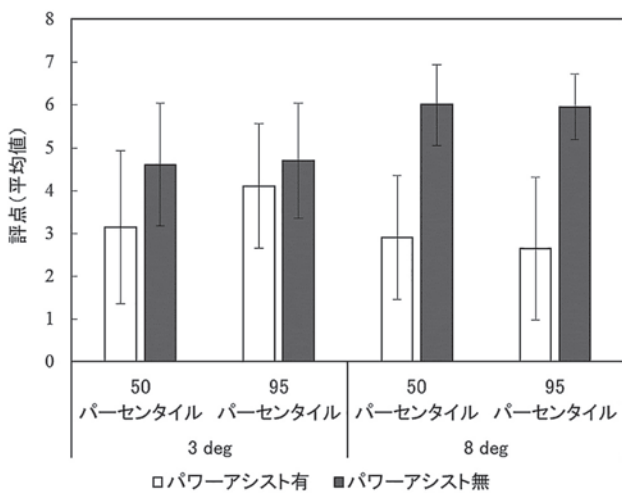
高野倉らの先行研究⁶⁾において、歩行車のアシスト力の有無の条件、ハンドルタイプの条件、勾配角の条件の下で、動作に寄与する筋肉から生じる筋電位の評価がなされている。電動アシスト車椅子のハンドルタイプは、アームレストタイプよりもハンドグリップタイプの歩行車に近い。ハンドグリップタイプの歩行車の評価結果によると、上り坂は、下り坂に対して、下肢の被験筋の相対 RMS 値（平地走行時における筋電位を基準）が上肢の被験筋よりも大きくなっていることから、本研究の結果と概ね一致していると考えられる。ただし、先行研究⁶⁾と車両の仕様や設定したアシスト力のなどの実験条件が完全に一致していない。このため、本研究における実験条件において、腕及び下肢の負担感について、より詳細なメカニズムを把握するためには、動作姿勢の評価や動作に寄与する被験筋の筋電位の評価を行う必要があると考えられる。



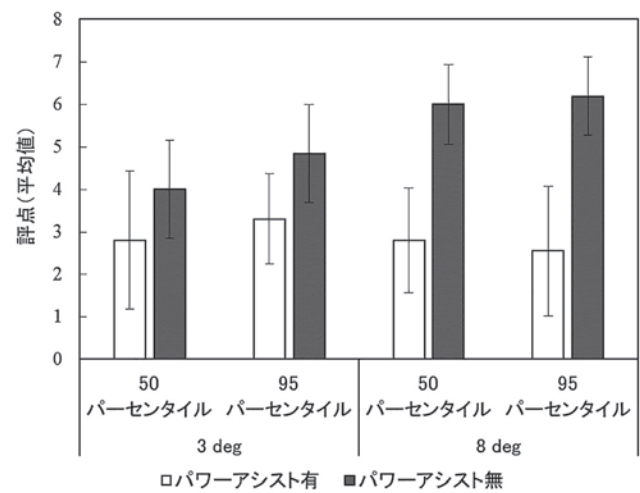
(a) 前進上り



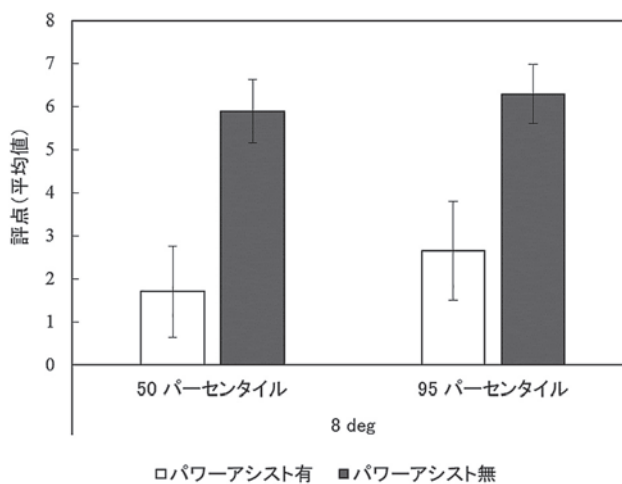
(a) 前進上り



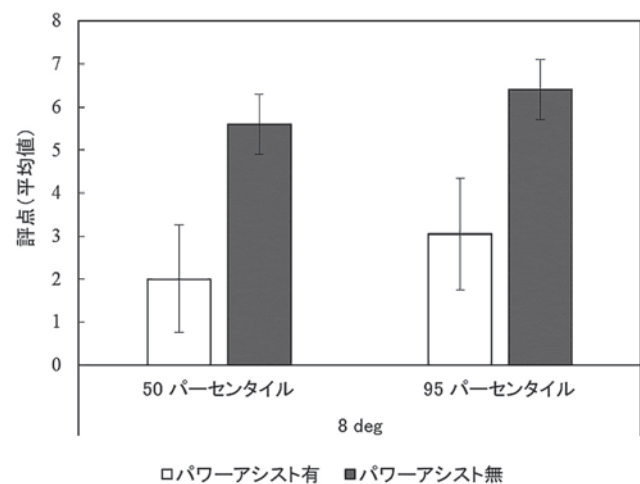
(b) 前進下り



(b) 前進下り



(c) 後進下り



(c) 後進下り

図2 腕の負担感の結果

図3 下肢の負担感の結果

表 1 偏回帰係数

	前進上り	前進下り	後進下り
腕の負担感 a_1	0.297	0.506	0.458
下肢の負担感 a_2	0.718	0.496	0.594
定数 c	0.023	0.064	-0.166

4 まとめ

本研究では、車椅子の介助者が坂道走行する際にパワーアシストが可能な電動アシスト車椅子を対象とし、パワーアシストの有無、路面の傾斜角及び要介助者の重量の違いの条件下で、介助者の身体の負担感についての主観評価を行った結果、以下の事項が示された。

(1) 前進上り、後進下りの全ての水準において、パワーアシスト有の腕の負担感、下肢の負担感は、パワーアシスト無に対して有意に減少した。

(2) 前進下りにおいて、勾配角条件とパワーアシストの有無条件の間で、交互作用が見られた。

(3) 前進上り、後進下りにおいては、腕より下肢の負担感が総合的な負担感に影響している。

参考文献

- 1) 内閣府. “高齢化の状況及び高齢化社会対策の実施状況”. 平成 30 年版高齢社会白書, 2018, p.3.
- 2) 藤井仁, 河野誠. “ロボットアシストウォーカー RT.1 の開発”. 日本ロボット学会誌, 2016, Vol.34, No.4, p.254-259.
- 3) 村木里志, 三星昭宏, 松井祐介, 野村貴史, 沓澤圭一, 小笠原雄二, 西村信三. “車いすによるスロープ走行時の身体負担の定量化”. 土木学会論文集 D, 2006, Vol.62, No.3, p.401-416.
- 4) 廣瀬浩昭, 中迫勝, 鈴木俊明. “車椅子介護作業に関するアンケート調査(第 1 報) : 車椅子の特徴, 作業頻度および身体負担の状況”. 理学療法学, 2000, Vol.27 Suppl.No.2, p.128.
- 5) 一般社団法人人間生活工学研究センター. “日本人の人体寸法 データブック 2004-2006(第 3 版)”. 2009.
- 6) 高野倉雅人, 三田博也, 峯垣淳平, 戸塚健一. “ロボット技術搭載歩行車による歩行アシスト効果”, 日本経営工学会論文誌, 2016, Vol.67, No.3, p.261-271.