

歩行機能が低下した高齢者のために提案した4輪型足漕ぎ電動アシスト 移動支援機器に関する検討

A study on four-wheel type leg rowing power-assisted personal mobility which proposed for the walking function degraded elderly people

○李虎奎 (福まち研) 米田郁夫 (西九州大) 赤澤康史 (福まち研) 原良昭 (福まち研)

北川博已 (福まち研) 高橋良至 (東洋大) 河合俊宏 (埼玉リハ) 米田隆志 (芝工大)

Hokyoo LEE, Yasushi AKAZAWA, Yoshiaki HARA, Hiroshi KITAGAWA, The Hyogo Institute of Assistive Technology
Ikuo YONEDA, Nishikyushu University
Yoshiyuki TAKAHASHI, Toyo University
Toshihiro KAWAI, Saitamaken Sogo Rihabiriteshon Center
Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology

Abstract: In order to cope with the unprecedented aging society, elderly persons need to support themselves and maintain their health. Although there are many electric vehicles such as electric wheelchairs or senior cars, few of them maintain the health of elderly person. They sometimes restrict elderly person sphere of activity of daily living. From such a background, we suggest a four-wheel type electric power-assistant personal mobility for care prevention. In order to check the performance of mobile support equipment, we have experimented for twenty healthy elderly people (male 8 and female 12) subjects using this equipment. The purpose of this experimental is to evaluate the physical load of user by the oxygen uptake values while they are running a flat road course and an 8% slope course respectively. Our conviction that the new personal mobility is useful for persons of advanced age was confirmed on the basis of utility evaluation and measurement of load in operating the new personal mobility. These results can be used for the development of mobility support equipment and evaluation methods.

Key Words: Personal Mobility, Lower-limb Motor impairment, Physical Load, Exercise Therapy

1. はじめに

高齢化社会が急速に進行する中で、高齢者の健康維持・推進は自立や生活の質を維持していくことにおいて重要である。高齢者における運動は、健康維持・増進を図るうえで、成人病の予防だけではなく、日常生活活動を自立して積極的に社会参加を促し、生活の質を高める因子として重要な意義を有する。適切な運動は、高齢者における心理的变化を加えて社会的自立や主観的満足感に有意に影響を及ぼす¹⁾。

高齢者における健康維持・増進を図るために運動療法が効果的であることが一般的にも知られている。運動処方による運動療法は、各個人の身体機能、健康・体力状態、用いる運動の種類、持続時間や頻度によって異なる。例えば、運動耐容能の改善を目的とした運動療法では、歩行やサイクリングやエルゴメーターなど大きな筋群を用いる動的な有酸素運動が用いられ、酸素摂取量の低強度および中強度の運動が推奨されている²⁾。この強度の有酸素運動を1日20~40分間行い、週3回以上の頻度で継続した場合に安定した効果が得られる³⁾。このような個人の運動能力および病態に応じた運動処方による運動療法の安全性は確立されており⁴⁾、運動中の心事故や他の有害事象の発生を増すことはなく⁴⁾、また長期の運動による心機能の増悪を来さないことが明らかにされている⁴⁾。

一方で、慢性疾病あるいは危険因子保有者の不適切、過度あるいは高度の運動は健康を害し、疾病の発症・増悪に関与し、体を支える運動器の障害が増え、介護を受ける原因ともなる⁴⁾。

このよう危険因子を有する人や運動機能が低下し、歩行

が困難になった人のために筆者らは、高齢者の健康維持・増進を図りながら日常生活を円滑に営んで、生活の質を高めることに大いに関与する移動の自由に寄与することが可能な4輪型足漕ぎ電動アシスト移動支援機器を提案した⁵⁾。本装置の走行性を検討するために、健常者による屋外走行試験を行い、使用評価をした。さらに操作負担の面から、高齢者の外出支援機器として使用に耐えうるか否かを検証するために、走行操作時の酸素摂取量(以下、VO₂)を計測し、機器の安全性および有効性に関する評価を行った⁶⁾。

本論文では、高齢者を対象に呈示したタスク(平坦路および勾配が8%のスロープ)遂行する際、乗員の身体的負担(VO₂)の変化を調べ、運動療法で推奨している身体負担との関係および乗員が呈示したタスクを安全に走行可能か否かについて検討し、高齢者の移動支援機器および運動療法機器としての検討を行った。

2. 対象者

本実験を遂行するために、兵庫県立総合リハビリテーションセンター福祉のまちづくり研究所の倫理審査会の承認を得た。実験に参加を希望して応募した被験者には実験内容を十分に説明し、インフォームド・コンセント(informed consent)に同意した20名を対象とした。

被験者は病歴がない高齢男性8名、女性12名(平均年齢73.6±6.3歳、平均体重56.4±10.4kg、平均身長155.7±8.7cm)である。

3. 実験方法

1-1 実験装置



Fig. 1 Four-wheel electric power-assisted personal mobility

本実験に用いた足漕ぎ電動アシスト4輪車を Fig.1 に示す。この装置は加齢により、筋力が衰えて歩行能力が低下したり運動感覚機能や瞬発力などが低下したりした高齢者が安全で楽に移動・外出できるように支援するため開発した機器である。通常の自転車のように足を使って駆動しながら走行する方式にしている。

装置のサドル高がペダリング運動時の被験者の生体に及ぼす神経・生理学的な影響や関節に及ぼす力学的な影響について考慮すべきである。サドル高は、各被験者の体型や姿勢に違和感がないように調整を行った。

1-2 走行実験

走行実験は、走行距離 1.22km の平坦路を時速 6km で、走行距離 120m の勾配 8% のスロープを時速 4km で走行してもらう。平坦路の走行時間は 12 分 30 秒であり、スロープは 1 分 50 秒である。走行速度を一定とするために、ハンドル型電動車いす (SUZUKI LT4F) を先導させ、追走するよう被験者に口頭で指示した。

この条件のもとで、ペダル回転力に対して 2 倍アシスト力を付加するモード (アシスト力ありモード: 以下、A モード) とアシスト力なしモード (以下、N モード) の 2 種類について実験を行った。

1-3 身体負担の計測

本実験で、被験者の身体負担を計測するために酸素摂取量の計測器を用いた。計測は携帯型呼吸代謝測定装置 (MedGraphics® VO2000) である。酸素分析計の計測精度 $\pm 0.01\%$ 以内で、10 秒毎の平均酸素摂取量を計測した。酸素摂取量は、各実験とも、走行実験前後 5 分間の安静時のデータも収集した。

4. 実験結果

本実験に参加した被験者 20 名に対して呈示したタスクの遂行の有無および遂行した際、経過した時間を Table 2 に示す。平坦路の A モード、N モードともに被験者全員が遂行できた。スロープの A モードは 19 名の被験者が走行可能であったが、被験者 H は 60m を走行した後、身体的な違和感があるとのことで実験を中断した。N モードでは、被験者 H は A モードときに中断したため走行しなかった。被験者 E は 8m を走行した後に実験中断、被験者 I は 90m を走行した後に中断したが、それ以外の被験者 17 名はアシスト力がなくても走行が可能であった。

被験者の操作負担を経時にモニタリングするため、1 名を代表に、平坦路を走行した時の VO_2 の経時的変化を Fig. 2 に示す。A モードを Fig. 2(a) に、N モードを Fig. (b) に示

Table 1 Experimental result of subjects'

| Subject | Sex | Age | Level course | | Slope course | |
|---------|-----|-----|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | | | Non -assistance (time) | Assistance (time) | Non -assistance (time) | Assistance (time) |
| A | F | 70 | 12:23 | 12:21 | 2:08 | 2:03 |
| B | M | 87 | 12:22 | 12:20 | 2:03 | 2:01 |
| D | M | 72 | 12:20 | 12:19 | 1:52 | 1:51 |
| E | F | 75 | 12:25 | 12:28 | -(8m) | 12:05 |
| F | F | 75 | 12:28 | 12:27 | 2:01 | 2:59 |
| G | M | 70 | 12:29 | 12:28 | 2:07 | 2:02 |
| H | F | 84 | 12:38 | 12:34 | - | -(60m) |
| I | F | 75 | 12:30 | 12:29 | -(90m) | 2:05 |
| J | F | 79 | 12:26 | 12:25 | 1:58 | 1:56 |
| K | F | 68 | 12:27 | 12:27 | 1:55 | 1:52 |
| L | F | 66 | 12:25 | 12:23 | 1:53 | 1:51 |
| M | F | 75 | 12:23 | 12:22 | 1:55 | 1:54 |
| N | F | 67 | 12:29 | 12:28 | 1:57 | 1:55 |
| O | M | 67 | 12:28 | 12:26 | 1:55 | 1:53 |
| P | M | 71 | 12:27 | 12:26 | 1:50 | 1:49 |
| Q | F | 65 | 12:28 | 12:27 | 1:52 | 1:51 |
| R | F | 66 | 12:27 | 12:27 | 1:49 | 1:48 |
| S | M | 82 | 12:29 | 12:28 | 1:53 | 1:52 |
| T | M | 80 | 12:22 | 12:22 | 1:48 | 1:47 |
| U | M | 79 | 12:23 | 12:22 | 1:47 | 1:47 |

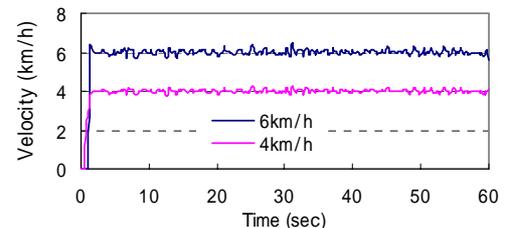
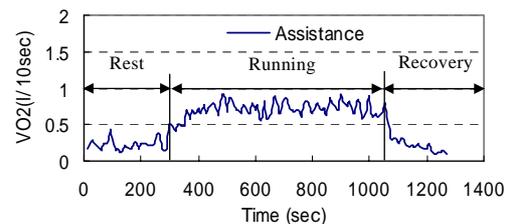
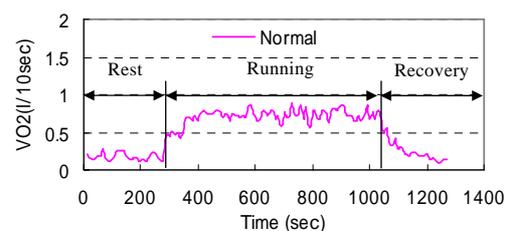


Fig. 7 Running velocity of level and slope



(a) Assistance mode



(b) Normal (non-assistance) mode

Fig. 8 Oxygen uptake on level course

す。安静時のアシスト力の有・無モードによる被験者の身体的負荷を示す VO_2 はおよそ 0.3 (ml/10sec) を示しており、

走行を始めた同時に 0.8 (ml/10sec) 上昇し、走行が終わるまでほぼ一定の VO_2 を示した。走行後から安静時の VO_2 に戻るときの時間もほぼ同じである。

Fig. 3 に勾配が約 8% のスロープを 4km/h で走行した時の VO_2 を示す。A モードを Fig. 3(a) に、B モードを Fig. (b) に示す。A モードは、走行開始とともに VO_2 が漸増し約 40 秒後(走行距離約 45m) に安静時の VO_2 の 2 倍程度になったが、平坦路を走行した際とほぼ同じ程度まで増大することが見られた。安静時の VO_2 に戻るのに要する時間は平坦路を走行した時とほぼ同じである。

N モードの VO_2 は走行開始時から直線的かつ急激に増加し、120m を完走するまで増大し続けた。N モードの VO_2 は走行開始時から直線的かつ急激に増加し、120m を完走するまで増大し続けた。完走した時の VO_2 は安静時の VO_2 の 3 倍を超えるほど増大した。安静時の VO_2 に戻る時間は A モードのほぼ 2 倍になった。

被験者 17 名分の平坦路およびスロープ走行実験における VO_2 の平均値と標準偏差の計算結果を Table 2 に示し、それをグラフ化したものが Fig. 10 である。Table 2 に示した安静時の VO_2 平均値・標準偏差が 1.37 ± 0.4 (l/min) である。平坦路を A モードで 6km/h で走行したときの VO_2 は 2.96 ± 0.7 (l/min)、B モードのときの VO_2 は 3.25 ± 0.6 (l/min) であり、平均値は N モードのほうがわずかに大きい値になった。スロープ走行の場合は、N モードの VO_2 が有意に増大することが明らかである。 VO_2 は 1.6 倍に増大している。

Table 2 Subjects' oxygen uptake (n=17)

| Experimental condition | | Oxygen uptake |
|------------------------|------------|----------------|
| Rest | | 1.37 ± 0.4 |
| Level course | Assistance | 2.96 ± 0.7 |
| | Normal | 3.25 ± 0.6 |
| Slope course | Assistance | 2.72 ± 0.4 |
| | Normal | 4.31 ± 0.6 |

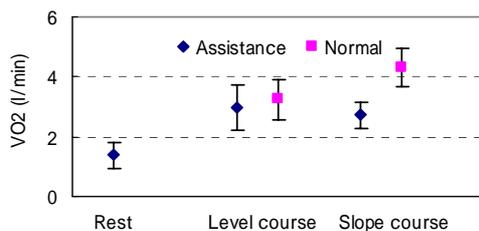


Fig. 10 Oxygen uptake on rest, level course and slope course

5. 考察

収集した VO_2 データをもとに、65~87 歳の男・女性健康高齢者が、移動支援機器を用いて、平坦路や勾配 8% のスロープを走行するときの身体的な負担について検討した。

Table 2 に示した 17 名の安静時の VO_2 平均値・標準偏差が 1.37 ± 0.4 (l/min) であったが、A モードで平坦路を 6km/h で走行したときの VO_2 は 2.96 ± 0.7 (l/min) であり、N モードのときの VO_2 は 3.25 ± 0.6 (l/min) であった。平坦路では、A モードと N モードとで VO_2 の平均値についてはわずかな差があるものの有意差 (危険率 5%) はない。

勾配 8% のスロープ走行実験においては、A モードは、走行開始から約 45m 走行まで VO_2 は漸増し、安静時のほぼ 2 倍になり、その後は緩やかに増大する傾向を示した

(Fig.3(a)). 単位距離あたりのペダル回転数は平坦路を 6km/h で走行したときの 66% であることを考慮すれば、 VO_2 の増大は、身体の内部的な仕事によるものより外部的な負荷による影響⁷⁾に起因したと考えられる。運動強度が一定で、均一速度で走行することは一定負荷になり、安定域に達するまでは VO_2 が連続かつ直線的な増加傾向を示したと考えられる。

一方、N モードは、走行距離 120m を完走するまで VO_2 は直線的に増加し続け (Fig.3(b)), 最終的に、 VO_2 は安静時の 3 倍にまで増大した。勾配 8% 程度のスロープを移動支援機器で走行するとき、アシスト力がないと、身体的な負荷が非常にハードなレベルまで到達すると考えられ、高齢者や心血管系疾患を有する人の場合は、安全性の面から考えると好ましくない⁸⁾と考えなければならない。

A モードでのスロープ走行は、平坦路を走行するのと同程度の負担であることから、低強度の有酸素運動になると推測することができる。有酸素運動トレーニングは、健康維持・増進または心血管系疾患や脳血管障害者の歩行能力を向上させるという強い根拠があり⁸⁾、また有酸素能力を向上させる有益な訓練法である⁷⁾。高齢者が日常生活活動を営みながら身体活動量を増やすことで、生活習慣病等及び生活機能低下のリスクを下げることや疾病等に対する予防効果をさらに高めることが期待できる。特に高齢者においては、積極的に体を動かすことで生活機能低下のリスクを低減させ、自立した生活をより長く送ることができる。一方で、身体活動不足は、肥満や生活習慣病発症の危険因子であり⁹⁾、高齢者の自立度低下や虚弱の危険因子でもある¹⁰⁾。加齢による高齢者に本装置を用いた場合は、移動支援機器及び運動療法機器として期待できる。

高齢者や心血管系疾患を有する人の身体運動とトレーニングの運動処方では、生理学的根拠に基づいて個人に適した運動の種類、運動強度、頻度、持続時間を決定する必要がある¹¹⁾。運動強度は危険因子の保有者、心血管系疾患の疑いのある者、身体性の低い者、虚弱な高齢者などの運動の危険度の高い者に対しては、 VO_2 および心拍数を用いた身体負担の 40% 程度の低強度の運動負荷が適切である³⁾。

本研究で提案した移動支援機器は、勾配 8% のスロープにおいても利用者の身体的負担が少なく円滑な走行が可能であることが走行実験によって客観的に示された。さらに、歩行機能が低下した高齢者、脳血管障害等による運動機能障害を有する人たちの日常的な外出支援機器として有効である。また、運動療法機器としても足腰の適度な運動になり、身体機能の維持・向上に寄与することが期待できる。

6. おわりに

本実験で呈示した平坦路走行は、被験者全員が安全に遂行できたが、勾配 8% のスロープでは 3 名の被験者が身体的違和感により実験を中断した。以下に得られた結果をまとめる。

- 1) 平坦路を 6km/h で、走行距離 1.2km を 12 分 30 秒間走行するときの VO_2 は、A モード・N モードで有意差はなかった。
- 2) 勾配 8% スロープにおいても利用者の身体的負担が少なく円滑な走行が可能である。
- 3) 歩行機能が低下した高齢者、心機能や脳血管障害等による運動機能障害を有する人たちの日常的な外出支援機器として有効であることが示唆された。
- 4) 高齢者における慢性疾患あるいは危険因子保有者も適切に使用すれば、身体機能の維持・向上のために用

いられる運動療法機器としても寄与することが期待できる。

参考文献

- (1) 安永明智, 谷口幸一, 徳永幹雄, 高齢者の主観的幸福感に及ぼす運動習慣の影響, 体育学研究, vol. 7, no. 2, pp. 173-183, 2002.
- (2) Buchfuhrer, M.J, Hansen, J.E, Robinson, T.E, Sue, D.Y, Wasserman, K. and Whipp, B.J., Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment, J. Appl. Physiol., vol. 55, no. 5, pp. 1558-1564, 1983.
- (3) American College of Sports Medicine Position Stand. The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults., Med. Sci. Sports Exerc., vol. 30, no. 6, pp. 975-991, 1998.
- (4) European Heart Failure Training Group: Experience from controlled trials of physical training in chronic heart failure. Protocol and patient factors in effectiveness in the improvement in exercise tolerance. European Heart Failure Training Group, Eur. Heart J., vol. 19, no. 3, pp. 466-475, 1998.
- (5) 李虎奎, 米田郁夫, 繁成剛, 高橋良至, 河合俊宏, 橋詰努, 北川博巳: 下肢機能が低下した移動困難な高齢者のための新しい外出支援機器の提案, 福祉のまちづくり研究, vol. 15, no. 1, pp. 1-12, 2013.
- (6) 李虎奎, 米田郁夫, 橋詰努, 繁成剛, 高橋良至, 鈴木哲郎, 河合俊宏: 介護予防を含んだ高齢者および運動機能障害者のためのパーソナル・モビリティの開発, 実験力学, vol. 13, no. 1, 80-87, 2013.
- (7) Minetti, A.E., Pinkerton, J. and Zamparo, P.: From Bipedalism to Bicyclism: Evolution in Energetics and Biomechanics of Historic Bi-cycles, Proc. Biol. Sci., 269-1474, pp. 1351-1360, 2001.
- (8) Ministry of Health. Labour and Welfare of Japan: Exercise and Physical Activity Guide for Health Pro-motion 2006, Exercise Guide 2006.
- (9) Haskell, W.L., Lee, I.M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D., Bauman, A.: Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Circulation, vol. 116, no. 9, pp.1081-1093, 2007.
- (10) Stuck, A.E., Walthert, J.M., Nikolaus, T., Büla, C.J., Hohmann, C., Beck, J.C.: Risk Factors for Functional Status Decline in Community-living Elderly People: a Systematic Literature Review, Soc Sci Med., vol. 48, no. 4, pp. 445-469, 1999.
- (11) Yun, J.Y.: Exercise Testing and Prescription, Hanyang Medical Reviews, vol. 29, no.1, pp. 20-27, 2009.