

完全人工光型植物工場における高齢者や障がい者の就労の可能性に関する研究

—立位と坐位作業の上肢・体幹筋の活動量の変化—

岡原 聡¹⁾²⁾, 片岡 正教¹⁾, 島 雅人¹⁾

村田 臣徳¹⁾, 谷村 広大¹⁾, 奥田 邦晴¹⁾

¹⁾大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究所

²⁾大阪府立呼吸器・アレルギー医療センター

(平成 25 年 4 月 30 日受付)

要旨：リフトロボットを活用した多層型の完全人工光型植物工場では、栽培トレー等の搬入出口を一カ所に設置できることから、坐位姿勢でも植物工場の一連の作業を遂行できる可能性があることが考えられる。これは将来的に高齢者や車椅子を使用する重度障がい者の農業における就労を可能にすることが期待できることから、本研究では、まず立位及び坐位における上肢・体幹への負荷の違いを明らかにすることを目的とする。対象は、健常男性 7 名(平均年齢 25.1±4.8 歳)とし、完全人工光型植物工場の作業「播種」「移植」「定植」「収穫」の 4 工程を立位と坐位の 2 条件で行わせた。筋活動量の計測は、表面筋電計を用い、導出筋は左腰部傍脊柱筋(LLP)、右腰部傍脊柱筋(RLP)、右僧帽筋上部(UT)、右三角筋前部、右上腕二頭筋、右橈側手根屈筋、右橈側手根伸筋とした。測定波形は整流化し、各筋の最大随意収縮を基準に正規化(%MVC)し、各姿勢における平均%MVCを求めた。

結果は、全ての作業における LLP と RLP の平均%MVC が坐位で有意に低かった。しかし、UT の平均%MVC は坐位で有意に高かった。植物栽培工程の坐位作業化により、腰部の負担が軽減できる一方で、上肢の負担を軽減する必要性が示唆された。

(日職災医誌, 62: 38—43, 2014)

—キーワード—

障がい者, 就労, 植物工場

はじめに

完全人工光型植物工場は、屋内の水耕栽培施設であり、天候に左右されず高品質かつ無農薬の植物を安定して周年生産することができる¹⁾。我国では、農地面積の狭小性や農薬問題、食料自給率低下、農業従事者の高齢化などの社会的背景があり、植物工場の普及拡大が一次産業の活性化に繋がることが期待され、農業分野における国家施策の経済成長戦略の一環に位置づけられている²⁾。また、寒冷地や水資源が貴重な砂漠地域、農地が激減した都市開発地域、被災地などにおいて需要が高まり、中東やアジア各国へ輸出する取り組みも始まりつつあり²⁾³⁾、国内外で注目が集まっている。

農業は一般的に露地栽培であり、広大な農地がない地域や大規模な産業化が難しい地域事業では採算面から作業環境の整備が難しく、過酷な労働となりやすい。農業

就労者では高齢化が進み、腰痛症を始めとする筋骨格系障害が問題となり就業の継続が難しくなることがある。一方、厚生労働省の平成 20 年度障害者雇用実態調査⁴⁾によると身体障がい者の農業就労は難しく、事業所調査では就農率が 0% となっている。

我々は、ますます需要が高まる高齢者雇用の受け皿と、就労状況が厳しい障がい者の農業就労の双方の可能性がある植物工場に注目し、「楽しく、安全に、どんな人(一般人、高齢者、障がい者)でもいつまでも働ける植物工場」をコンセプトとし、福祉型植物工場システムの実用化を目指している。まずは、坐位姿勢での作業遂行の可能性について明らかにし、従来の露地栽培における前傾姿勢での種植えや収穫物の持ち上げなどの重労働から水耕栽培における坐位姿勢での軽負荷な農作業へ大きく転換することで、高齢者や車椅子使用の障がい者が農業に関わる新しい就労環境を提案する。

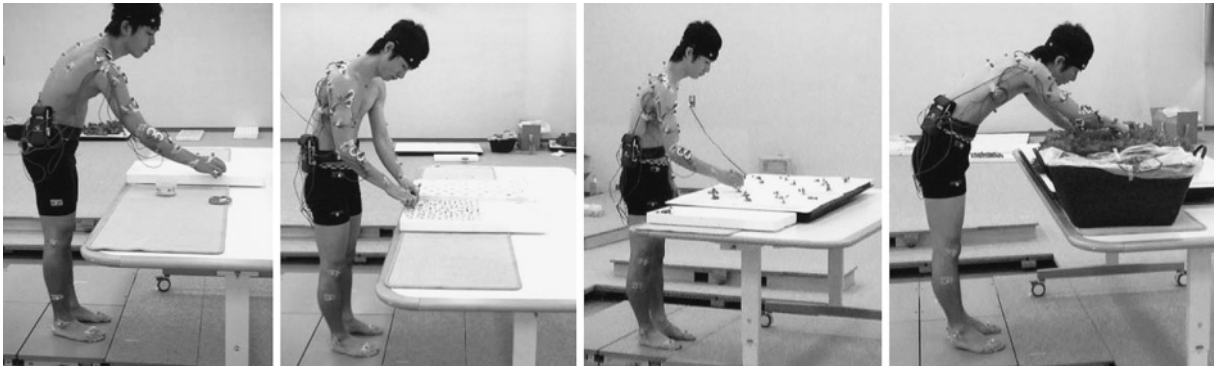


図1 「播種」「移植」「定植」「収穫」の4工程（左から順）

「播種」…育苗箱（W300mm×L600mm×H40mm）に播種用ウレタン（横12行×縦25列、23mm毎に凹みがあるもの）が詰められたものを用い、左手前から時計回りに7cm間隔で、計24個の種を蒔く。

「移植」…移植トレー（W300mm×L600mm×H65mm）を用い、左手前から時計回りに10cm間隔で、計14個の移植用苗を植える。

「定植」…定植トレー（W1,150mm×L700mm×H50mm）を用い、左手前から時計回りに17cm間隔で、計21個の定植用苗を植える。

「収穫」…定植トレー（W1,150mm×L700mm×H50mm）を用い、左手前から時計回りに17cm間隔に埋まっている計21個のレタスを、ハサミで最下部の葉を切り右側に配置した収穫箱に移す。

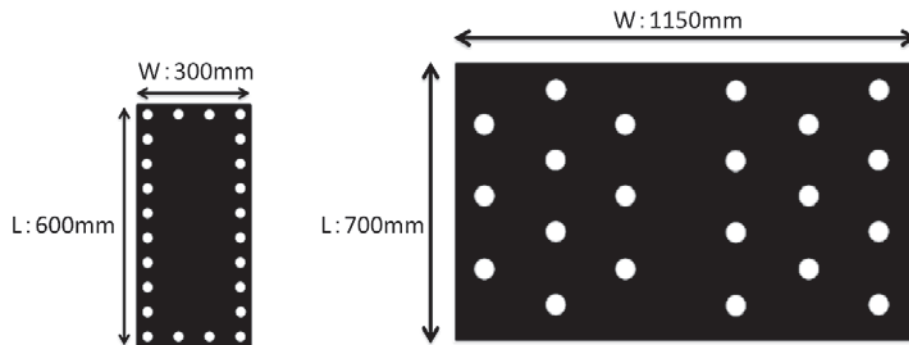


図2 各作業のトレーの模式図
（左図：育苗箱・移植トレー、右図：定植トレー）

本研究では、軽労化の設計やユニバーサルデザイン化に関わる作業環境を構築するため、植物栽培作業における立位と坐位での上肢・体幹筋の活動量を測定し、作業や姿勢の変化による身体的負担の把握と快適な環境の検討を行った。

対象と方法

1. 対象

対象は、健康男性7名、年齢 25.1 ± 4.8 歳、身長 171.8 ± 5.7 cm、体重 62.9 ± 8.1 kg、全員右利きであった。大阪府立大学総合リハビリテーション学部研究倫理委員会の承認のもと、対象者に本研究の目的および内容について十分に説明し、同意を得た上で実施した（受付番号：2011P12）。

2. 方法

1) 測定条件と作業手順

測定条件は、立位・坐位の2条件とし、ランダムに実施した。なお、立位・坐位ともに作業台の高さを75cm、

作業台と体幹の間隔を20cmに設定し、坐位では股関節・膝関節屈曲 90° で足底全体が地面に接するように坐面高を調整した。

作業手順は、「播種」「移植」「定植」「収穫」の4工程を順に行わせ（図1）、各作業間の休憩を2分に設定した。全ての作業について事前に十分な説明を行い、植物を丁寧に扱うよう指示を与え、作業速度は任意で実施させた。また、作業台やトレーでの上肢支持を行わないように指示した。

作業器材は、本学の植物工場研究センターで使用しているトレーやウレタンなどの器材と実際に育成している植物を用いた。作業ごとに横幅や奥行きが異なるためトレーの模式図を図2に示す。植物は、グリーンレタスの播種用種（約0.05g）、移植用の苗（約10g）、定植用の苗（約30g）、収穫用のレタス（約100g）を用いた。

2) 作業時間の測定

ストップウォッチを用いて、各作業の開始から終了までを計測した。

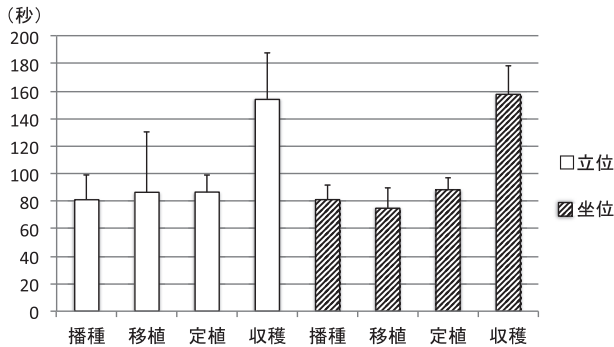


図3 各作業時間

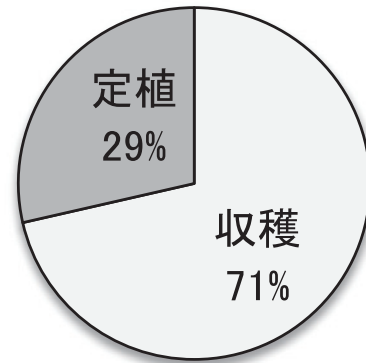


図4 一番疲れた作業の問診結果 (n=7)

3) 自覚的疲労感の問診

すべての条件の作業終了後、一番疲れた作業と条件、疲労を感じた身体部位を対象者に問診した。

4) 筋電図測定

植物工場の作業「播種」「移植」「定植」「収穫」の4工程を立位と坐位の2条件で行わせ、作業中の筋電図電位を表面電極法によってサンプリング周波数1kHzで記録した。表面筋電計は、TeleMyo 2400 G2 Telemetry System (Noraxon社)を用い、解析ソフトにはMyoResearch XP Master (Noraxon社)を使用した。記録区間は、各作業開始前の静止立位から記録を開始し、作業終了後、再び静止立位になったところで記録を終了した。解析区間は、各作業開始から作業終了までとした。

対象筋は、農作業に伴う筋骨格系疾患が腰部、肩、上肢に高頻度に出現すること^{5)~7)}から、左腰部傍脊柱筋、右腰部傍脊柱筋、右僧帽筋、右三角筋、右上腕二頭筋、右橈側手根屈筋、右橈側手根伸筋の7筋とした。

電極の貼付部位は、表面筋電図マニュアル基礎・臨床応用⁸⁾に準じて、左腰部傍脊柱筋(L3棘突起より3cm左側)、右腰部傍脊柱筋(L3棘突起より3cm右側)、右僧帽筋上部(肩峰とC7棘突起を結ぶ線の中央)、右三角筋前部(上腕の上方および前方で肩峰の約2から3cm下方)、右上腕二頭筋(上腕二頭筋筋腹中央)、右橈側手根屈筋(橈側手根屈筋筋腹中央)、右橈側手根伸筋(上腕骨外側上顆の5cm遠位)にディスプレイ型電極(Blue sensor SP, Ambu)を用い、電極間距離20mmで貼付した。アース電極は右肘頭に貼付した。

測定波形は整流化し、各筋の最大随意収縮(Maximum Voluntary Contraction: MVC)を基準に正規化(%MVC)し、立位と坐位における作業全体の平均%MVCと、各作業の平均%MVCを求めた。統計学的処理は、SPSS ver.11を用いた。立位と坐位の2条件における平均%MVCの差をWilcoxonの符号付順位検定を用いて比較し、有意水準は5%未満とした。

結果

1. 各作業時間 (図3)

立位と坐位による作業時間の違いはみられなかったが、作業別では収穫の作業時間が長かった。

2. 自覚的疲労感の問診結果 (図4)

一番疲れた作業と条件で、最も多かった回答は、坐位作業の収穫であった。疲労を感じた身体部位は、全員から右肩周囲が聴取された。

3. 作業全体における立位と坐位の上肢・体幹筋の平均筋活動量 (図5)

立位に比べ坐位では、両腰部傍脊柱筋の活動量が有意に低かった($p < 0.05$)。逆に、右僧帽筋の活動量が坐位で有意に高かった($p < 0.05$)。上腕や前腕筋群は10%MVC未満の活動量であり、立位と坐位で有意差を認めなかった。

平均%MVCは立位で左腰部傍脊柱筋 $25.4 \pm 5.2\%$ 、右腰部傍脊柱筋 $22.2 \pm 8.4\%$ 、右僧帽筋 $9.3 \pm 4.1\%$ 、坐位で左腰部傍脊柱筋 $15.2 \pm 4.3\%$ 、右腰部傍脊柱筋 $13.8 \pm 4.7\%$ 、右僧帽筋 $20.2 \pm 6.0\%$ であった。

4. 作業別の立位と坐位における上肢・体幹筋の平均筋活動量 (図6)

各筋の平均%MVCは立位と坐位ともに、作業別では「収穫」が最も高値を示した。各作業においても坐位で両腰部傍脊柱筋の活動量は有意に低く($p < 0.05$)、僧帽筋の活動量は有意に高かった($p < 0.05$)。また、上腕や前腕筋群の平均%MVCは10%未満であった。

考察

完全人工光型植物工場の屋内空間である特徴を生かし、本学の植物工場研究センターをモデルとして多層型植物工場へ栽培トレーの搬送装置を導入することで、栽培環境と作業環境を区別することが可能となり、就労対象者に快適な環境が構築できる。我々が提案するユニバーサルデザイン型植物工場は、自動搬送装置を応用・導入することで作業者が移動すること無く、且つ、作業

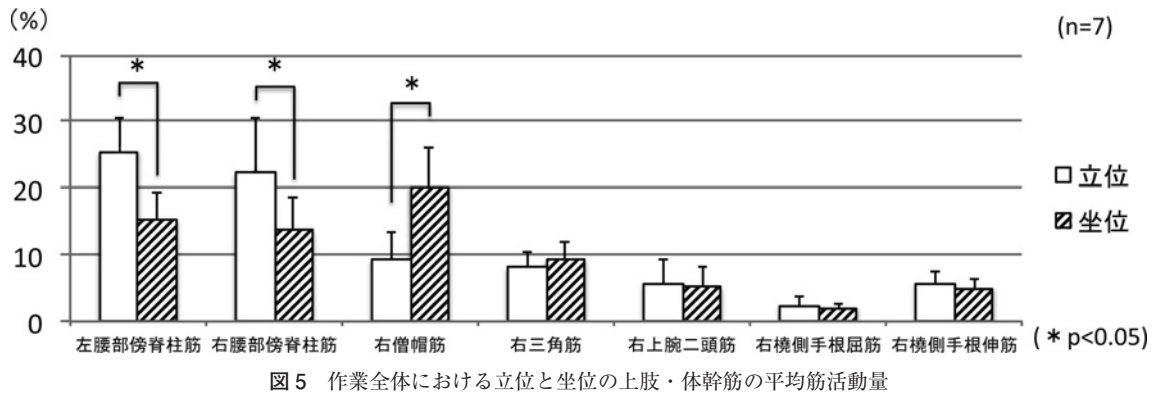


図5 作業全体における立位と座位の上肢・体幹筋の平均筋活動量

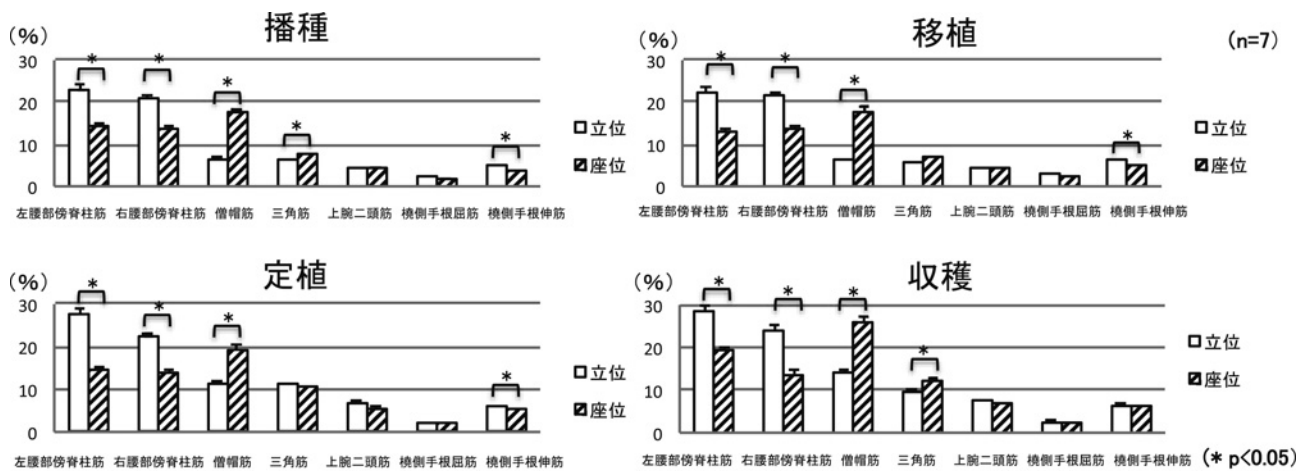


図6 作業別の立位と座位における上肢・体幹筋の平均筋活動量

の平面化や省力化、単純化を図り、高齢者や車椅子使用者や手指の巧緻性が低下した者を含む重度障がい者も快適な座位作業を行えるような就労モデルを想定している。

本研究により、座位で植物栽培作業が可能であることから、車椅子使用者が作業できることが確認できた。また、座位では腰部筋群の活動量が有意に低く、腰部の負担軽減を図れる可能性が示唆された。しかし、前腕筋群の活動量に有意差が無かったものの、僧帽筋の活動量は座位で有意に高かった。

高齢者や障がい者に適した作業環境を構築するためには、身体特性に対応した労働負荷の軽減や労働環境の整備が必要であり、神代⁹⁾は高齢労働者の不良作業姿勢を起因とする筋骨格系の負担の改善の重要性を示している。

立位に比べ座位では、肩関節を通る垂直軸に対する屈曲角が大きく、上肢重量分を支持するための抗重力活動として肩関節屈曲モーメントが大きくなり、僧帽筋の活動量が高くなっていた。座位での植物栽培の作業環境を提供する際には、上肢の負担を軽減する必要がある。

作業に注目すると作業間での筋活動量は「収穫」が最も高く、疲労の訴えも一番多いことがわかった。上肢前方挙上位での手指への0.5kgの荷重負荷は僧帽筋の筋電

位を4%MVC増加させることが報告¹⁰⁾されている。本研究では収穫用のレタスが0.1kgであり作業対象物の重量による影響は少ないと考えている。「収穫」は、成長した植物を丁寧に扱う必要があり上肢挙上位での作業時間が長く掛かること、定植トレーが横115cm×縦70cmと上肢長で届く範囲よりも広いことから上肢リーチや体幹前傾位を強いられることが要因で筋活動量が高くなっていたと考える。上肢挙上は肩関節周囲筋の筋内圧を高くして筋血流を阻害し¹¹⁾、継続するとさらに代謝を悪化させるため、上肢を挙上して保持するような作業姿勢は頸肩腕障害のリスク要因¹²⁾ともなる。

これらより座位作業での肩関節屈曲モーメントを減少でき、高齢者や体幹のバランス能力が低下した重度身体障がい者が背もたれを使用しながら上肢長の範囲で作業できる快適な作業環境の構築に向けて、以下の3点の導入を検討している。

第一に、作業範囲(トレーの広さ)を我国の30代と70代の男女533名を対象とした楽に上肢リーチが出来る範囲とされている約50cmを基準とし¹³⁾、さらに植物栽培の効率も踏まえて、新たな規格の定植トレー(縦50cm×横50cm)を作成する。

第二に、肩関節周囲筋の活動量を軽減する目的で、作

業者の至適な高さへ調整可能な作業台を用いる。

第三に、上肢を補助する目的で、スリングや上肢を挙上位に支持しつつ一定の作業範囲を自由に動かすことができる、ブドウ収穫時に使用する「グレイパー」¹⁴⁾などの機器を導入する。

さらに、手指機能が低下した重度障がい者には、植物栽培作業が円滑に行えるオプション機能の開発を検討する必要がある。

今後、障害や重症度に合わせた段階的な環境の整備を進め、ユニバーサルデザイン化された福祉型植物工場を実用化していくことで、高齢者や障がい者の潜在的な労働力が十分に発揮できる就労場所として期待できる。

結 論

完全人工光型植物工場は、本学の植物工場センターのような未来都市型の多層型植物工場にリフトロボットを活用して坐位作業化を図り、高齢者や障がい者に適した補助具やアシスト機器を導入することで、快適な就労場所として期待できる。

文 献

- 1) 農林水産省, 経済産業省: 植物工場の事例集. 2009.
- 2) 農林水産省, 経済産業省: 植物工場ワーキンググループ報告書. 2009.
- 3) 伊藤 保: 植物工場ビジネスへの参入と新しいマーケット拡大のために(特集 今, 再び注目を集める植物工場). 食品工業 53 (8): 54—64, 2010.
- 4) 厚生労働省: 平成 20 年度障害者雇用実態調査. 2008.
- 5) Davis E, Kotowski SE: Understanding the Ergonomic Risk for Musculoskeletal Disorders in the United States Agricultural Sector. *Am J Ind Med* 50 (7): 501—511, 2007.
- 6) Fathallah FA: Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. *Appl Ergon* 41 (6): 738—743, 2010.
- 7) Meyer RH, Radwin RG: Comparison of stoop versus prone postures for a simulated agricultural harvesting task. *Appl Ergon* 38 (5): 549—555, 2007.
- 8) 下野俊哉: 表面筋電図マニュアル基礎・臨床応用. 酒井医療, 2010.
- 9) 神代雅晴: 職場における高齢労働者への安全衛生—高齢労働者の身体特性と労働衛生対策—. 産業保健 21 (59): 4—7, 2010.
- 10) Antony NT, Keir PJ: Effects of posture, movement and hand load on shoulder muscle activity. *J Electromyogr Kinesiol* 20 (2): 191—198, 2010.
- 11) Jarvholm U, Palmerud G, Karlsson D, et al: Intramuscular pressure and electromyography in four shoulder muscles. *J Orthop Res* 9 (4): 609—619, 1991.
- 12) 日本産業衛生学会頸肩腕障害研究会: 頸肩腕障害の定義・診断基準・病像等に関する提案について. 産衛誌 49 (2): A13—A32, 2007.
- 13) 高齢者身体機能データベース <http://www.hql.jp/project/funcdb1993/>
- 14) 辻村裕次, 峠田和史, 北原照代: ブドウ果房管理作業における負担の実態. 日本農村医学会雑誌 60 (1): 1—17, 2011.

別刷請求先 〒583-8588 大阪府羽曳野市はびきの3-7-1
大阪府立呼吸器・アレルギー医療センター
岡原 聡

Reprint request:

Satoshi Okahara
Osaka Prefectural Medical Center for Respiratory and Allergic Diseases, 3-7-1, Habikino, Habikino city, Osaka, 583-8588, Japan

**The Possibility of the Elderly and Individuals with Disabilities Working
in a Plant Factory with Artificial Lighting**
—The Activity of the Upper Limbs and Trunk Muscles in the Standing and Sitting Positions—

Satoshi Okahara^{1,2)}, Masataka Kataoka¹⁾, Masato Shima¹⁾, Shigenori Murata¹⁾,
Koudai Tanimura¹⁾ and Kuniharu Okuda¹⁾

¹⁾Graduate School of Comprehensive Rehabilitation, Osaka Prefecture University

²⁾Osaka Prefectural Medical Center for Respiratory and Allergic Diseases

A plant factory with artificial lighting and multi-layer cultivation shelves can be setup for the removal and positioning of cultivation trays by using lift robots. In such a plant factory, it may be possible to perform a series of tasks in the sitting position. Therefore, the elderly and individuals with severe disabilities may be able to use a wheelchair to perform tasks in the plant factory and thus obtain employment in the agricultural sector. The present study assessed the amount of activity of the upper limbs and trunk muscles during work in the sitting and standing positions in a plant factory with artificial lighting. The study included 7 healthy male volunteers (mean age, 25.1 ± 4.8 years). The volunteers performed the following 4 tasks in the plant factory in both the standing and sitting positions: sowing, transplantation, planting a seedling, and harvesting. Surface electromyography (EMG) was recorded during contractions of the left lumbar paraspinals (LLP), right lumbar paraspinals (RLP), right upper trapezius (UT), right anterior deltoid, right biceps brachii, right flexor carpi radialis, and right extensor carpi radialis muscles. The measured amplitude was normalized as percentage of pretest maximal voluntary contraction (%MVC), and the average %MVC was calculated for each posture.

The average %MVC of the RLP and LLP muscles in all tasks was significantly lower in the sitting position than in the standing position ($p < 0.05$). However, the average %MVC of the UT muscle was significantly higher in the sitting position than in the standing position ($p < 0.05$). The activity of the lumbar muscles can be reduced by performing plant cultivation tasks in the sitting position. However, there is a need to reduce the load on the upper limbs in this position.

(JJOMT, 62: 38—43, 2014)