

高齢者疑似体験装具を用いて練習した若年成人の高齢者模擬歩行

上田博之, 荒木雅之, 村上千おり*, 増田智恵**

要約

高齢者の上半身着衣の熱水分移動特性に及ぼす歩行動作の影響について検討することを最終目的に, 本研究では高齢者疑似体験装具を用いて練習した若年成人による模擬歩行実験の可能性を探った。高齢者疑似体験装具を用いて歩行練習を行った若年成人女性 6 名がトレッドミル上で高齢者模擬歩行した時の背, 左肩峰, 左肘, 左手首の動きを 3 次元解析し, 通常的自由歩行時と比較した。若年成人被験者は高齢者模擬歩行時に円背で頭を前に出す屈曲型姿勢を維持できた。そして, 通常の歩行に比べて歩幅の短縮と歩行率低下による速度低下, 腕振りの減少, 躯幹の左右動揺増大が見られた。これらは高齢者の歩容特性に見られるものであることから, 若年者による高齢者模擬歩行によって衣服の熱水分移動特性に及ぼす歩行動作の影響について検討できると考えられた。

Keywords : 高齢者疑似体験装具, 高齢者, 歩行動作

緒言

高齢者の快適で安全な日常生活を確保するためには, 加齢に伴う身体的機能低下の把握と生活におけるその対応について検討することが重要である。加齢に伴う体温調節機能の低下により, 高齢者は日常生活において温熱的快適性を維持するために若年者と異なる着衣行動をとる。日常生活における高齢者の快適な衣服内温度は特に下肢部で若年成人に比べて高く, その季節変動や日内変動は小さい傾向にある¹⁾。また, 熱中症の多発する晩春から夏季において, 高齢者は若年者に比べて高温の居室で過ごし, 衣服内は高湿に保たれる傾向にある^{2,3)}。着衣の熱抵抗は, 素材の繊維間や衣服各層間や皮膚と衣服間に形成される空気・水分層に大きく左右される。一般に皮膚と衣服間に形成される衣服内気候の温度は, 外層から内層に近づくにつれて高くなり, 相対湿度は低くなる。快適に着衣した衣服気候は, $32\pm1^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 $50\pm10\%$ といわれている。この衣服内に形成された空気・水分が外部環境と交換されること, すなわち衣服換気が着衣時の熱水分移動に大きな影響を与えることは明白である。したがって, 変動する体内環境に応じて温熱的快適性を保持するための熱放散調節法として衣服換気量の調節は有効な手段である⁴⁾。体温調節機能に低下がみられる高齢者において, この衣服換気を効果的に調節することが望まれる。衣服内に形成される空気層であるゆとりは, 素材とともに動きやすさなど運動対応機能や形態の審美性の要素であるとともに, 着衣の熱水分移動を調節する重要な要素である。これらを踏まえて, 高齢者の日常生活における快適で安全な着衣を提案するためには,

高齢被験者を対象とした観察・調査・実験を行って, 日常の動作要因を含めた衣服の熱水分移動特性の検討が重要である。加齢による姿勢や歩容の変化は身体皮膚面と着衣の関係, 例えば衣服のゆとり量, 動作による着衣の変形や動きなどに影響を及ぼすため, 動きやすさや熱水分移動特性が高齢者と若年者で異なることが予想される。このような差異を明らかにするためには, 高齢者と若年者を対象とした着衣実験を行って比較することが望まれる。しかし, 2020 年は COVID-19 感染により, 高齢者を対象とした実験を行うことが極めて難しい状況となった。そこで, 高齢者疑似体験装具を用いて若年者が歩行動作を練習し, 高齢者の歩行実験を代行する可能性を検討した。生活行動の基本である歩行動作が高齢者の上半身着衣の熱水分移動特性に及ぼす影響について検討することを最終目的に, 本研究では若年者による代行実験の可能性を探った。そのため, 歩行中の上半身の動作に着目した。

方法

1) 被験者

女子学生 6 名 (年齢 19.5 ± 0.5 歳, 身長 $156.2\pm9.0\text{cm}$, 体重 $49.3\pm3.5\text{kg}$) を被験者とした。なお, 各被験者には事前に書面と口頭で実験の目的, 条件および測定内容を説明し, 実験参加への承諾を得た。さらに, 実験当日においても実験内容を口頭で説明し, 実験参加に同意することを再度確認した。本研究の内容は, 大阪信愛学院短期大学研究倫理委員会で倫理面の審査を受けて承認された (申請番号: R2-01)。

*広島大学 大学院人間社会科学研究科

**三重大学 教育学部

2) 歩行練習

被験者は、トレッドミルで歩行練習を行い、通常姿勢で歩行しやすい速度を自由に決定した（以降、若年者歩行とする）。次に、関節の動きを低減するための膝サポーター・肘サポーター、手足の動きを低減するための手首用おもりバンド（500g）・足首用おもりバンド（1kg）、前傾姿勢で固定して視線を制限する前かがみ姿勢体験ベルトとおもり付きベストからなる装具（高齢者疑似体験教材、株式会社三和製作所）を着装して、25mの廊下で休憩をいれて 30 分程度の歩行練習を行った。なお、これら装具を含む教材には視聴覚を制限する視障害ゴーグル・イヤーマフと手指拘束具が含まれるが、被験者への指示が伝わらない可能性があることや歩行に直接影響しないことから、それらは用いなかった。各被験者は歩行練習の後、高齢者疑似体験装具を取り外して、トレッドミル上で同じ姿勢で歩行練習を行い、歩行速度を決定した（以降、高齢者模擬歩行とする）。

3) 動作測定

被験者はスポーツブラとスウェットジャージを着用したのち、LED マーカー（縦 2.1mm 横 2.5mm 高さ 6mm, 6.8g）を背（第 6 胸骨）、左肩峰、左肘（腕尺関節外側）、左手首（橈骨手根関節外側）の 4 か所に両面接着テープで貼付した（Fig. 1）。各被験者は、先に行われた歩行練習において自由な姿勢と高齢者模擬姿勢で歩きやすいと感じた歩行速度に設定して、若年者歩行と高齢者模擬歩行を各 10~15 分間、連続して行った。各歩行中に歩行が安定していることを確認し、任意のタイミングで 15 秒間歩行動作を撮影した。3 次元動作解析には KinemaTracer™（キッセイコムテック株式会社）を用いた。KinemaTracer™は 6 台のカメラと 3 つのソフトウェアで構成され、MotionRecorder™とカメラで動作の録画、3DCalculator™で貼付したマーカーの座標決定、KineAnalyzer™で座標やマーカー間ベクトル角度の解析を行う。分析は、安定歩行で撮影された映像からランダムに連続した 6 歩の歩行を抜き出し、背、肩峰、肘、手首の時系列座標を解析した。上腕と前腕の腕振り状態を比較するために、垂直下向きベクトルに対する肩峰から肘に向けたベクトルの角度変位と肘から手首に向けたベクトルの角度変位を解析した。

3) 分析

若年者歩行時と高齢者模擬歩行時の姿勢や歩行状態を比較するために、背と肩峰の高さ（cm）、速度（m/min）、歩行率（step/min）、歩幅長（cm）、上腕角度変異（deg）、前腕角度変異（deg）、上半身軀幹部の左右揺れ範囲（cm）と回旋角度（deg）について各平均値を用いて 2 つの歩行条件間で Paired-t 検定を行った。背と肩峰の高さは各マーカーの垂直座標を用いた。歩行速度は各被験者

が設定した速度で、歩幅は設定速度と歩行率から算出した。肩峰から肘に向けたベクトルの垂直下向きベクトルに対する前方への最大角度と後方への最大角度の合計を上腕角度変位とし、上腕の振り状態の指標とした。同様に、肘から手首に向けたベクトルの垂直下向きベクトルに対する前方への最大角度と後方への最大角度の合計を前腕角度変位とし、前腕の振り状態の指標をした（Fig. 1）。上半身軀幹部の左右揺れ範囲は背部マーカーの前頭面水平左右方向座標の最大幅から、上半身軀幹部の回旋は背から肩に向けたベクトルと前頭面水平左右方向に対する角度変位からそれぞれ推定した。測定値および推定値は平均値±標準偏差で表す。統計解析には SPSS Statistics Ver. 24（IBM 社製）を用い、有意水準は 5%に設定した。

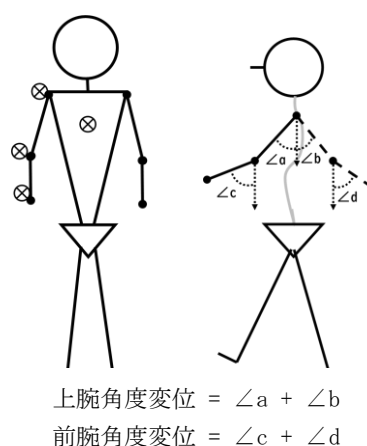


Fig 1 LED マーカー（⊗）の貼付位置と上腕・前腕角度変位の算出法

結果

若年者歩行時と高齢者模擬歩行時の姿勢について、背と肩峰のマーカーの垂直方向座標の位置を比較した。背の高さは、若年者歩行中と高齢者模擬歩行中に有意な差は認められなかったが（対応サンプルの差： -0.5 ± 3.2 cm, $p > 0.05$ ），肩峰の高さは若年者歩行中に比べて高齢者模擬歩行が有意に低くなった（対応サンプルの差： -7.2 ± 4.7 cm, $p < 0.01$ ）。

若年者歩行時と高齢者模擬歩行時の速度（m/min）、歩行率（step/min）、歩幅長（cm）を Table 1 に示した。各被験者が歩行練習により決めた若年者歩行の速度は 61.7 ± 9.6 ，高齢者模擬歩行の速度は 35.0 ± 1.9 であり、若年者歩行に比べて高齢者模擬歩行が有意に低速であった（ $p < 0.01$ ）。若年者歩行の歩行率は 113.0 ± 7.3 ，高齢者模擬歩行の歩行率は 88.0 ± 7.5 であり、若年者歩行に比べて高齢者模擬歩行が有意に少なかった。

Table 1 若年者歩行と高齢者模擬歩行の歩容（平均値±標準偏差）

	若年者歩行	高齢者模擬歩行	t値
歩行速度（m/min）	61.7 ± 9.6	35.0 ± 1.9	t(5)=7.77 **
歩行率（step/min）	113.0 ± 7.3	88.0 ± 7.5	t(5)=6.91 **
歩幅長（cm）	54.3 ± 5.3	39.9 ± 3.2	t(5)=6.35 **

** p<0.01

Table 2 若年者歩行時と高齢者模擬歩行時の上腕と前腕角度変位（平均値±標準偏差）

	若年者歩行	高齢者模擬歩行	t値
上腕角度変位（deg）	31.6 ± 5.8	18.2 ± 7.1	t(5)=2.58 *
前腕角度変位（deg）	39.6 ± 6.6	22.6 ± 3.7	t(5)=4.27 **

* p<0.05 ** p<0.01

Table 3 若年者歩行時と高齢者模擬歩行時背の前頭面左右移動範囲と背・肩峰ベクトル角度変位（平均値±標準偏差）

	若年者歩行	高齢者模擬歩行	t値
左右移動範囲（cm）	6.0 ± 1.5	11.3 ± 3.2	t(5)=5.02 *
背・肩峰ベクトル角度変位（deg）	14.8 ± 6.6	15.8 ± 7.8	t(5)=.485

* p<0.05

た（ $p<0.01$ ）。若年者歩行の歩幅長は 54.3 ± 5.3 、高齢者模擬歩行の歩幅長は 39.9 ± 3.2 であり、若年者歩行に比べて高齢者模擬歩行の歩幅長が有意に少なかった（ $p<0.01$ ）。

高齢者模擬歩行時の腕の振りを若年者歩行時と比較するため、各歩行時の上腕角度変位（deg）と前腕角度変位（deg）を推定した（Table 2）。その結果、上腕角度変位は、若年者歩行時に 31.6 ± 5.8 、高齢者模擬歩行時に 18.2 ± 7.1 であり、若年者歩行時に比べて高齢者模擬歩行時が有意に小さかった（ $p<0.05$ ）。前腕角度変位については、若年者歩行時に 39.6 ± 6.6 、高齢者模擬歩行時に 22.6 ± 3.7 であり、若年者歩行時に比べて高齢者模擬歩行時が有意に小さかった（ $p<0.01$ ）。若年者歩行と高齢者模擬歩行の躯幹部の動きを比較するため、左右の揺れと回旋について検討した。背の左右揺れ範囲（cm）と背・肩峰ベクトルの角度変位（deg）を Table 3 に示す。背の左右揺れ範囲は、若年者歩行時に 6.0 ± 1.5 、高齢者模擬歩行時に 11.3 ± 3.2 であり、若年者歩行時に比べて高齢者模擬歩行時が有意に大きかった（ $p<0.05$ ）。背・肩峰ベクトル角度変位は、若年者歩行時に 14.8 ± 6.6 、高齢者歩行時に 15.8 ± 7.8 であり、両条件間に有意な差はみられなかった。

考察

高齢者に顕著に見られる姿勢変化は円背とそれに伴う骨盤の後傾である。仲田⁵⁾は高齢者の姿勢変化について、立位側面写真やX線脊椎画像から伸展型、S字型、屈曲型、手膝上型に分類している。高齢者模擬歩行時の映像から、いずれの被験者も、背部を曲げて、頭部を前に出して、膝関節を屈曲させていることから、屈曲型姿勢に近いと考えた。高齢者では脊柱変形による体幹の前傾に対する代償として骨盤の後傾、股関節伸展、膝関節屈曲が見られる。この場合、通常の立位より肩や背の位置が低くなるが、本研究では高齢者模擬歩行時の肩峰マーカーは低くなったものの、背部マーカーの垂直座標は若年歩行時と同レベルであった。このことから、高齢者模擬歩行を行った被験者は、通常の若年者歩行時の姿勢に比べて胸椎を曲げて頭部を前に出し、膝関節を曲げる姿勢となったが、骨盤の後傾と股関節伸展はほとんどなく、膝関節屈曲も大きくない限定的な角度であったと考えられる。本実験に参加した健康な若年被験者は、高齢者模擬歩行中の円背姿勢を保つための筋力があったために、頭部を前に出す円背姿勢を補う骨盤の後傾と股関節伸展をとることなく、高齢者疑似体験装具によって練習した姿勢を維持できたと考えられる。

歩行動作は健康度や体力低下を反映するため、歩容

特性は高齢者の運動機能や体力の低下に伴う転倒リスクの評価や特定疾患のスクリーニングなどにも使われている⁶⁻¹⁰⁾。若年者に比べて高齢者は、歩幅の短縮、遊脚期の足挙上の低下、歩隔の増大、歩行周期の延長、腕振りの減少などが特徴とされ、結果的に歩行速度が低下する¹¹⁾。加えて、重心の動揺、歩行中のバランス、歩行周期のバラツキなどから転倒危険因子が検討されている^{12,13)}。これまでの報告に見られる平坦な床で測定された歩行速度、例えば、Murry ら¹¹⁾の20~87歳64名の年代別平均速度 70~90 m/min や具志堅ら¹⁴⁾の65歳以上の女性50名の姿勢分類別平均速度77~94 m/min、に比べると、本研究における歩行速度は高齢者模擬歩行時平均値 35m/min、若年歩行時平均値 62m/min と低速であった。一般に安全かつ安定した歩行を求めた場合に平地歩行に比べてトレッドミル歩行の方が速度は遅くなる¹⁵⁾。先の平地歩行で行った報告^{10,14)}と比べて歩行速度は遅かった。本測定に先立ち負担なく自然な歩行ができるように練習したが、いずれの被験者もトレッドミル歩行は初めてで、慎重に歩行したと考えられる。その結果、歩幅長短縮と歩行率低下により高齢者模擬歩行時の歩行速度は若年者歩行時に比べて60%程度になり、平坦な床を歩く時よりもかなり低速になったと考えられる。いずれにせよ、本実験で見られた歩行率低下や歩幅短縮は、両脚支持時間が長い立脚期延長と遊脚期短縮を特徴とする高齢者の歩行^{11,16)}を模擬できたと考えられる。

歩行中の上肢運動については、山岸らの報告¹⁷⁾と同様に、若年成人に比べて高齢者の角度変位が上腕、前腕共に小さくなった。この高齢者と若年者を対象にした報告では、前腕の振り歩行速度に相関が認められており、本実験結果でも有意な相関が認められた($r=0.79$, $p<0.05$)。また、歩行中の背・肩ベクトルでみた躯幹部の回旋に差はみられなかったが、背の左右揺れ範囲が大きくなって高齢者模擬歩行時の躯幹の左右動揺の増大が示唆された。高齢者は歩隔を広げることに伴い重心の左右動揺を抑えるが、若年者に比べて一般に動揺範囲は大きくなると考えられる¹⁸⁾。本研究では、歩隔の測定は行わなかったが、歩行映像からいずれの被験者も高齢者模擬歩行時の歩隔は若年者歩行時に比べて明らかに広がっていた。若年者で体幹筋力があるとともに歩隔を取ることに伴い躯幹の回旋は小さかったと考えられ。しかし、腕振りの減少や円背姿勢の歩行における左右動揺の出現などから、高齢者疑似体験装具の練習により若年者が高齢者に近い歩行を模擬できると考えられる。

衣服内に形成された空気・水分を衣服外に移動させるポンピング効果¹⁹⁾は、日常生活の基本動作である歩行でも起こり、着衣の熱水分移動に大きく影響す

る。着衣のポンピング効果は衣服換気量で捉えることができる。衣服内に形成される空気層であるゆとり量と衣服換気量の関係から高齢者の快適な衣服を考える場合には、加齢に伴う体型、姿勢、動作の影響を考慮しなければならない。本結果は、若年者による高齢者模擬歩行実験で衣服換気量に及ぼす歩行動作の影響について検討可能であること示唆する。その際、遅い歩行速度や躯幹の小さい回旋により、高齢者の平面床歩行時より衣服換気量に及ぼす影響の程度は小さくなる可能性がある。

まとめ

加齢による姿勢や歩容の変化は、皮膚面と着衣の関係を変化させ、ひいては着衣の熱水分移動特性に大きな影響をもつ。歩行動作による着衣の熱水分移動特性は高齢者と若年者と異なることが予想され、比較着衣実験が望まれる。本研究では、高齢者疑似体験装具を用いて若年者が歩行動作を練習し、高齢者の歩行実験を代行する可能性を検討した。若年者は高齢者疑似体験装具を用いた練習により、円背で頭を前に出す屈曲型姿勢を維持して歩行できた。この時、歩幅の短縮と歩行率低下による速度低下、腕振りの減少、回旋はみられなかったものの躯幹の左右動揺増大が見られた。これらのことから、衣服の熱水分移動特性に及ぼす歩行動作の影響について、若年者による高齢者模擬歩行によって検討が可能であることが示唆された。

謝辞

本研究は2018-2020年度科学研究費補助金基盤研究(B)(JSPS 科研費 18H00964 代表：三重大学・増田智恵)の一環として実施したものである。本研究に際し、ご協力を頂いた被験者の皆さまに深く感謝いたします。

引用文献

- 1) Ueda H, Inoue Y, Araki T, Matsudaira M: Clothing microclimate temperatures during thermal comfort in boys, young and older men, *International Journal of Biometeorology*, 39(3), 127-132 (1996)
- 2) 井上芳光, 東海美咲, 宮川しおり, 戸谷真理子, 一之瀬智子, 上田博之: 夏季日常生活下における高齢者の温熱環境, *日本生理人類学会誌*, 21, 11-16 (2016)
- 3) 上田博之, 山崎彩佳, 坂東沙耶, 戸谷真理子, 一之瀬智子, 井上 芳光: 高齢者の熱中症予防に向けた夏季日常生活下における温熱環境の月別調査, *日生氣誌*, 4(4), 135-145 (2018)
- 4) Ueda H, Inoue Y, Matsudaira M, Araki T,

- Havenith G : Regional microclimate humidity of clothing during light work as a result of the interaction between local sweat production and ventilation, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 18(4), 225-234 (2006)
- 5) 仲田和正：老人姿勢の研究，日整会誌，62，1149-1161 (1988)
- 6) 中原凱文，北川淳，樋口雄三：歩行速度に関する検討，*デサントスポーツ科学*，16，160-170 (1995)
- 7) 田井中幸司，青木純一郎：高齢女性の歩行速度の低下と体力，*体力科学*，51，245-252 (2002)
- 8) 齋藤 誠二，江上 弘孝，村木 里志：高齢者の転倒予防を目的とした膝上げ歩行に関する基礎的研究 膝の高さが歩容および主観的有用性に及ぼす影響，*障害者スポーツ科学*，4(1)，53-61 (2006)
- 9) 新井智之，柴喜崇，渡辺修一郎，柴田博：10m 歩行における歩行周期変動と運動機能，転倒との関連—小型加速度計を用いた測定—，*理学療法学*，38(3)，165-172 (2011)
- 10) 鳥羽研二，大河内二郎他：転倒リスク予測のための「転倒スコア」の開発と妥当性の検証，*日老医誌*，42(3)，346-352 (2005)
- 11) Murray MP, Kory CP, Carlson BH : Walking patterns in healthy old men, *Gerontol*, 28(2), 169-178 (1969)
- 12) 高橋隆宜，山田富美雄，宮野道雄：高齢者と若年者の歩行動作時の左右動揺—歩行の動作解析を用いた検討—，*日本生理人類学会誌*，15(1)，9-16 (2010)
- 13) 高橋隆宜，山田富美雄，宮野道雄：高齢者の歩容および身体活動量と転倒危険因子の検討，*日本生理人類学会誌*，16(3)，115-122 (2011)
- 14) 具志堅敏，大井直往，飛松好子，岩谷力：高齢者における立位姿勢と歩行機能の関連性の研究，*運動・物理療法*，14(3)，241-248 (2003)
- 15) 森彩子，酒井孝文，坂本竜司：健常高齢者における平地歩行とトレッドミル歩行の歩行速度変化について，*理学療法科学*，33(5)，783-786 (2018)
- 16) 大平洋平，里宇明元：高齢者の姿勢と歩行，*老年精神医学誌*，16(8)，992-928 (2005)
- 17) 山岸豪，徳田哲男：老人歩行—上肢の運動について—，*リハビリテーション医学*，13(1)，67-76 (1976)
- 18) 高橋隆宜，山田富美雄，宮野道雄：高齢者と若年者の歩行動作時の左右動揺—歩行の動作解析を用いた検討—，*日本生理人類学会誌*，15(1)，9-16 (2010)
- 19) 山崎和彦，鳥山菜穂，永倉由貴，前田亜紀子：衣服内気流に及ぼす煙突効果とポンピング効果，*日本生理人類学会誌*，22(3)，121-128 (2017)
-
- 受理 2021 年 2 月 26 日
公開 2021 年 3 月 11 日
<連絡先>
上田博之
〒538-0053 大阪府大阪市鶴見区鶴見 6-2-28
大阪信愛学院短期大学
E-mail : ueda@osaka-shinai.ac.jp