

氏 名 : 澁川佳彦
学位の種類 : 博士(健康科学)
学位記番号 : 研博第67号
学位記授与年月日 : 令和6年3月7日
学位授与の要件 : 学位規則第4条1号該当
論文題目 : 年齢と性別が予測機構における方向転換時動作の運動戦略に及ぼす影響
論文審査委員 : 主査 神成一哉
副査 李相潤
副査 篠原博

論文内容の要旨

I. はじめに

要介護の主要な原因の一つである高齢者の大腿骨頸部骨折は受傷機転の約8割が転倒とされ、女性の骨折の危険性は男性の2.5倍である。特に方向転換動作中の転倒は大腿骨頸部骨折の危険性が直進歩行時と比較して約7.8倍と示唆されており、方向転換動作の機序の理解は転倒予防に寄与すると考えられる。方向転換動作の下肢ステップ戦略はspin turnとstep turnに分類され(図1)、頭部・体幹では体軸内にて回旋するrotation戦略と体節が同時に回転するen-bloc戦略が観察される。一方、歩行中の方向転換動作は回避行動の側面があり、視覚情報に対して一歩行周期程度の時間で反応する予測機構による姿勢制御が実行される場合がある。しかし歩行中の方向転換動作に関する先行研究では予期機構の報告が多く、予測機構の方向転換動作や性差については明らかにされていない。本研究では、予測機構と予期機構における方向転換動作の運動戦略について運動学的かつ力学的な視点から比較・検討した。また、予測機構における方向転換動作に対する年齢と性別の影響を明らかにすることを目的とした。

II. 研究方法と対象

1. 年齢に関する検討(若年者と高齢者の比較)

対象者は健康な若年男性12名(21.6±0.5歳)、健康な高齢男性6名(73.3±2.3歳)とした。

運動課題は定常歩行中に素早く90度方向転換することとした。予期機構課題は歩行開始前に進行方向(右/左/直進)を伝え、予測機構課題は歩行中にLED方向表示器で進行方向を指示した。計測方法は三次元動作解析システム(VICON MT, 床反力計, 視線計測装置)

を使用し、赤外線反射マーカ 39 個を体表面に貼付して身体を 14 リンク剛体モデルと定義した。身体モデル化は標点位置計測装置 VICON-MT のシステム制御・解析ソフトウェア Nexus2.3 の国際規格化されたモデルテンプレート Plug-In-Gait (Full Body) Ai に準拠した。

従属変数について、下肢ステップ戦略は動画を観察して判定した (図 1)。頭部・体幹の運動戦略は基準点 (視覚刺激のトリガーとなった下肢が床面に接地した瞬間) から各体節 (視線, 頭部, 胸郭, 骨盤) が回旋を開始するまでの時間 (回旋開始時間) を算出し, 差がある場合は rotation 戦略, 差がない場合は en-bloc 戦略とした。さらに, 頭部の反応時間, 軸足立脚時間, 軸足立脚時間中の各体節の水平面における回旋角度, 角速度, 角加速度および, 軸足立脚時間中の軸足股関節の運動範囲, 関節モーメント, 関節パワーを算出した。

解析は 2 種類の課題のそれぞれで年齢とステップ戦略の分割表を作成して関連性を検討した。また, 年齢が各体節の回旋開始時間に影響するかを二元配置分散分析にて検討した。また, その他のパラメータを従属変数, 年齢を独立変数とし, 比較の検定を実施した。統計ソフトは改変 R コマンダー Ver. 4.2.2 用い, 有意水準は 5% とした。

2. 性別に関する検討 (高齢男性と高齢女性の比較)

対象者は健康な高齢男性 6 名 (73.3 ± 2.3 歳), 健康な高齢女性 6 名 (71.5 ± 2.4 歳) とした。運動課題は予測機構課題を実施し, 計測方法は 1. と同様とした。解析も 1. と同様で独立変数のみ性別に置き換えて実施した。

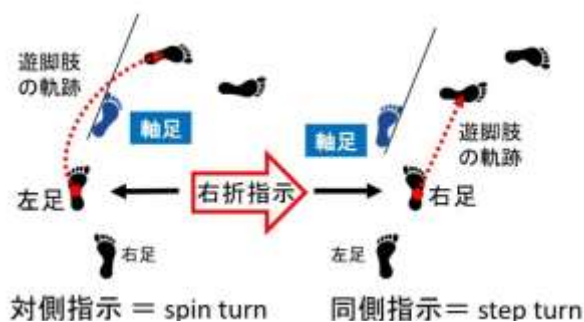


図 1. 方向転換動作の下肢ステップ戦略

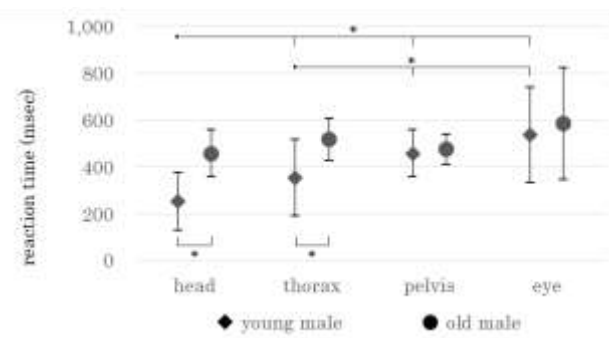


図 2. 若年男性と高齢男性の各体節の反応時間

III. 結 果

1. 年齢に関する検討 (若年男性と高齢男性の比較)

予期機構の方向転換動作の運動戦略は年齢と関連しておらず, 若年男性・高齢男性のどちらも下肢ステップ戦略は spin turn と step turn の混合戦略で, 頭部・体幹の運動戦略は

en-bloc戦略であった。一方、予測機構について若年男性は明確なspin turnとrotation戦略を示したが、高齢男性は予期機構と同様の運動戦略であった (図2)。

頭部の反応時間 (図2) は若年男性 (254.2 ± 124.9 msec) と高齢男性 (458.6 ± 102.3 msec) 間で有意な差が認められた ($p < 0.001$)。軸足立脚時間は若年男性 (684.6 ± 73.0 msec) と高齢男性 (564.7 ± 74.5 msec) 間で有意な差が認められた ($p < 0.001$)。軸足立脚時間中の各体節の回旋角度は高齢男性が有意に小さく、若年男性と比較して頭部は84.0 % ($p < 0.05$)、胸郭は74.1 % ($p < 0.001$)、骨盤は73.5 % ($p < 0.001$) であった。軸足立脚時間中の各体節の角速度は胸郭と骨盤のみ高齢男性が有意に遅く、若年男性と比較して胸郭は83.3 % ($p < 0.05$)、骨盤は83.9 % ($p < 0.05$) であった。関節パワーはX軸 (屈曲 - 伸展) のみ若年者 (4.65 ± 9.36 W/kg) と高齢者 (-3.99 ± 9.11 W/kg) 間で有意な差が認められた ($p < 0.01$)。

2. 性別に関する検討 (高齢男性と高齢女性の比較)

高齢者における性別の影響の検討では、予測機構の方向転換動作の運動戦略は性別による相違はなく、前述した年齢の検討と類似した結果を示した。一方、反応時間については頭部のみ高齢男性 (458.6 ± 102.3 msec) と高齢女性 (367.5 ± 123.5 msec) 間で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。関節モーメントについては軸足立脚時間中の軸足股関節のZ軸 (内旋 - 外旋) のみ高齢男性 (130.9 ± 59.4 Nmm/kg) と高齢女性 (87.7 ± 63.6 Nmm/kg) 間で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また、関節パワーについては軸足立脚時間中の軸足股関節のY軸 (内転 - 外転) のみ高齢男性 (-4.00 ± 6.50 W/kg) と高齢女性 (3.65 ± 9.15 W/kg) 間で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。

IV. 考 察

予測機構の方向転換動作は、先行研究と同様に年齢によって異なる運動戦略を示した。若年男性がspin turnを選択する課題において高齢男性はstep turnを選択しており、高齢男性の反応時間の遅延が関連していると考えられた。運動学的観点から若年男性では、左下肢 (1歩目) の接地時に視覚刺激で右へ方向転換を指示すると、次の右下肢 (2歩目) が軸足となり、さらに次の左下肢 (3歩目) を交叉させるように振り出すspin turnとなる (図1: 左)。一方、spin turnでは視覚刺激が発せられてから1歩目の立脚期の約500 msecの間に、2歩目が軸足となるための姿勢調節が必要となる。つまり、高齢男性は2歩目が軸足として機能する姿勢制御が間に合わず、3歩目が軸足となり、4歩目が下肢を外側に開くstep turnになると考えられた。また、高齢男性は軸足立脚時間の短縮、各体節の回旋角度・速度の低下からバランス能力の低下が示唆された。最も特徴的なパラメータは若年男性の軸足股関節の関節パワーがX軸上で推進力を発生させているのに対し、高齢男性は股関節の制動により動作を減速させていた。方向転換動作における歩行速度は体幹や骨盤の回旋角度

や角速度と正の相関が示唆されており、本研究の高齢男性は動作を安全に遂行するための安定性を第一とした戦略を選択した可能性が考えられた。

予測機構の方向転換動作の運動戦略は性別と関連していなかったものの一部のパラメータに有意な差が認められた。とくに軸足股関節の関節パワーのY軸について、高齢男性は先行研究と同様に軸足と反対側への骨盤の下制を制動していたが、高齢女性は軸足側に骨盤を傾斜されるパターンが示唆された。

これらのことから、予測機構における方向転換動作の遂行能力の評価や転倒リスクの予測について、反応時間の検討は有用な指標となる可能性が示唆された。また、日常生活において方向転換動作を検討する際には、性別の特性を考慮する必要があると考えられた。

論文審査結果の要旨

本論文において著者は、年齢、性別が歩行中の方向転換動作の運動戦略に与える影響を運動学的、力学的に検討し、若年者と高齢者において運動戦略が異なる一方で、性別の違いによって運動戦略に違いはないものの、一部の運動学的性質が異なることを明らかにし、転倒リスクの予測に反応時間が有用であること、方向転換動作の観察時に性差を考慮する必要があることを示した。実験は適切に行われており、結果の解釈と考察は基本的には納得のいくものであったが、本研究のみで性差の問題を論じるにはやや困難が感じられた。総合的に見て、本研究は方向転換動作中の転倒予防のための理学療法への応用に資する内容であり、学位論文としてふさわしいものであると判断した。