

## 研究報告



# 小型3軸加速度計を用いた Timed Up and Go Test における動作の円滑性の検討\*

彦坂 潤<sup>1) 2)</sup>・土屋大地<sup>3)</sup>・後藤寛司<sup>4)</sup>

## 【要 旨】

健常若年者 30 名を対象に、小型 3 軸加速度計を用いて Timed Up and Go Test (以下、TUG) と歩行時における体重心の加速度変化を計測し、動作時の円滑性を検討した。計測した 3 軸加速度波形から平均情報量を算出した。結果、平均情報量において快適速度での TUG と最大速度での TUG の間に有意差は認められなかった。歩行動作に比べ、TUG は非周期的な動作要素を含むことの影響を受けたため、個人内において動作速度の違いによる動作の円滑性に違いが認められないことが考えられた。また、健常若年者における最大速度での TUG において、快適速度での歩行および最大速度での歩行と同様に、動作時間と平均情報量との間に有意な負の相関が認められ、動作時間が短い者ほど動作の円滑性が損なわれるという特徴が認められた。歩行速度を速くすることで動作の調整がより多く必要となることに加え、歩行以外の運動要素も速く行うことで、平均情報量が大きくなったと推察された。よって、健常若年者において TUG が示す動的バランス能力は、動作自体の円滑性を必ずしも表していないことが示唆された。

キーワード：3 軸加速度計，Timed Up and Go Test，平均情報量

## はじめに

高齢者における動的バランス能力を評価する検査項目として、Podsiadlo ら<sup>1)</sup> が提唱した Timed Up and Go Test (以下、TUG) がある。TUG は椅子と 3 m 先の目標物との往復歩行動作であり、特

別な機器を用いず、簡便に計測可能であるという特徴をもち<sup>2)</sup>、臨床で多く利用されている。現在、TUG は高齢者に限らず脳卒中片麻痺患者、パーキンソン病患者、変形性関節症患者や虚弱高齢者など様々な対象に対する動的バランス評価として広く臨床に用いられている<sup>3)</sup>。また、動作遂行時間の延長にしたがって移動動作、階段昇降、屋外活動などの日常生活活動の支障、転倒頻度の上昇を引き起こすことが報告されている<sup>4)</sup>。

臨床場面において用いられている動的バランス能力評価法は、動作遂行時間や動的アライメントなどの多様な評価指標を組み合わせて構成されている。その中でも、動的バランス能力に関連する身体運動の安定性は、身体動揺や動作の円滑性の程度から判断していることが多く、身体運動課題の達成の不可およびその際の身体動揺や動作の円滑性を観察することは、動的バランス評価の一手段として有用である<sup>5)</sup>。しかし、TUG 等の動的バランス検査では動作の遂行時間により動的バランス能力を評価しており、身体動作の円滑性などのような質的な側面を反映しているかは明らかで

\* Evaluation of the Smoothness of Movement during Timed Up and Go Test using a Small Triaxial Accelerometer

- 1) 豊橋創造大学大学院 健康科学研究科  
(〒 440-0827 愛知県豊橋市池見町 19-2)  
Jun Hikosaka, RPT: Graduate School of Health Sciences,  
Toyohashi SOZO University
- 2) 特定医療法人宝美会 総合青山病院 リハビリテーション技術室  
Jun Hikosaka, RPT: Department of Rehabilitation, Aoyama  
General Hospital
- 3) 介護老人保健施設 アルテピアセト  
Daichi Tsuchiya, RPT: Geriatric health services facility  
Artepia SETO
- 4) 豊橋創造大学 保健医療学部 理学療法学科  
Hiroshi Goto, RPT, PhD: Department of Physical Therapy,  
School of Health Sciences, Toyohashi SOZO University

# E-mail: s1355106@sc.sozo.ac.jp

ない。

近年、動作時の円滑性を客観的に示す指標として、動作中の加速度変化の周波数解析結果を用いたパワースペクトル解析が提案されている。これは、動作そのものから生じる基本周波数に、動作を微調整するための高周波成分が乗っているという考え方であり、動作の円滑性が低下するほど、高周波成分が多く含まれていると考えられている。また、情報数学の分野では、情報の量を見積もる指標として、平均情報量が用いられている。これは、動作中の加速度変化における周波数解析結果を確率曲線に見立て、正規化し平均情報量を算出することにより、その動作の性質を表現することが可能となる。これにより、動作の円滑性の客観的指標となり得ると提案されている<sup>6)</sup>。

そこで、本研究では、平均情報量を動作の円滑性を示す指標として用い、体重心の加速度変化からTUGにおける動作の円滑性を検討することを目的とした。また、TUGは歩行を中心とした動作であり、歩行動作そのものを分析することにより、歩行動作との違いからTUGにおけるより詳細な質的評価を行うことを目的とした。

## 対象および方法

### 1. 対象

対象は整形外科的疾患を有さない健常若年者30名(男女各15名)とした。対象者の属性は、身長:164.6 ± 8.9 cm, 体重:58.7 ± 11.4 kg, 年齢:20 ± 0歳であった。

なお、本研究は、豊橋創造大学生命倫理委員会の審査・承認(承認番号:H2010021)を得たうえで、対象者には研究の趣旨を説明し、文書による同意を得て実施した。

### 2. 計測方法

本研究では、5 m歩行とTUGを運動項目とした。5 m歩行は高齢者に対する運動介入効果の検討に多く用いられる検査である<sup>7-9)</sup>。また、5 m歩行は、TUGとともに歩行能力を評価する指標であり、TUGへの影響が強いとされる<sup>10)</sup>。そこで、今回は5 m歩行を採用した。

5 m歩行は、助走路1.5 m、計測区間5 m、予備路1.5 mの計8 mの直線歩行路を設定し、快適速度(以下、快適歩行)と最大速度(以下、最大歩行)の2条件で各3回歩行させた。計測区間5 mにおける歩行時間と加速度を計測した。TUGはPodsiadloらが提唱した方法<sup>1)</sup>をもとに、肘掛け付き椅子と3 m先の目標物との往復歩行動作を、快

適速度(以下、快適TUG)と最大速度(以下、最大TUG)の2条件で各1回実施させた。椅子から身体の一部が離れた時点から椅子の座面に臀部が付いた時点までの動作時間と加速度を計測するとともに、計測時の動画を撮影した。

加速度計測は、小型無線ハイブリッドセンサWAA-006(ATR-Promotions社製)を用い、加速度計をベルクロにて市販のシリコンベルト(ジョイナス製)に強固に固定した。加速度計は、身体の重心点とされる第2仙骨部付近に位置するように装着した<sup>11)12)</sup>。動作中の加速度データは、Bluetooth規格にてPCへ送信し、専用のアプリケーションを用いて前後、左右、垂直軸の3軸波形を記録した。サンプリング周波数は200 Hzとした。

### 3. 解析方法

加速度データの解析は、動作時の骨盤の傾きによる各軸成分への重力加速度の混入を考慮し、3軸合成加速度を採用した。平均情報量は、専用アプリケーションにて、5 m歩行区間およびTUG動作中の3軸合成加速度データを周波数解析した。周波数解析より算出されるパワースペクトル全成分を1として各周波数成分が生じる確率を求め、その確率から平均情報量を算出した<sup>6)</sup>。なお、周波数解析は高速フーリエ変換のサイズを2048点とし、窓関数およびフィルタ類は使用していない。計測区間の開始および終了時点の同定は、加速度計測と同期して撮影した動画から同一検者によって目視にて行われた。5 m歩行は、5 m開始線を超えた一歩目が接地した時点を開始点、5 m終了線を超えた一歩目が接地した時点を終了点とした。TUGは、椅子から身体の一部が離れた時点を開始点、椅子の座面に臀部が付いた時点を終了点とした。

統計解析は、各運動条件間で多重比較検定(Scheffe's F test)を行い、有意水準は5%とした。また、各動作における計測値間の相関関係は、ピアソンの積率相関係数を用いた。相関の有意性は、有意水準を5%とした。

## 結果

各動作の動作時間は全動作条件間において最大歩行、快適歩行、最大TUG、快適TUGの順に有意に低値を示した( $p < 0.01$ )。各動作の平均情報量は、最大歩行、快適TUGと最大TUG、快適歩行の順に有意に低値を示した( $p < 0.01$ )。快適TUGと最大TUGの間に有意な差は認められなかった(表1)。

表 1. 各動作条件における動作時間と平均情報量

	快適歩行	最大歩行	快適 TUG	最大 TUG	
動作時間 [sec]	3.73 ± 0.62	2.23 ± 0.44	7.22 ± 0.76	5.02 ± 0.68	(a)
平均情報量 [bit]	2.27 ± 0.33	3.45 ± 0.60	2.83 ± 0.55	2.93 ± 0.64	(b)

(平均 ± 標準偏差)

- (a) 快適歩行 - 最大歩行, 快適歩行 - 快適 TUG, 快適歩行 - 最大 TUG  
 最大歩行 - 快適 TUG, 最大歩行 - 最大 TUG, 快適 TUG - 最大 TUG ( $p < 0.01$ )  
 (b) 快適歩行 - 最大歩行, 快適歩行 - 快適 TUG, 快適歩行 - 最大 TUG  
 最大歩行 - 快適 TUG, 最大歩行 - 最大 TUG ( $p < 0.01$ )

表 2. 各動作条件における動作時間と平均情報量との相関係数

	快適歩行	最大歩行	快適 TUG	最大 TUG
相関係数 (r)	-0.9 **	-0.95 **	0.6 **	-0.83 **

\*\* :  $p < 0.01$ 

表 3. 動作時間における各動作条件間の相関係数

相関係数 (r)	快適歩行	最大歩行	快適 TUG	最大 TUG
快適歩行				
最大歩行	0.38 *			
快適 TUG	0.54 **	0.52 **		
最大 TUG	0.44 *	0.82 **	0.67 **	

\* :  $p < 0.05$  \*\* :  $p < 0.01$ 

表 4. 平均情報量における各動作条件間の相関係数

相関係数 (r)	快適歩行	最大歩行	快適 TUG	最大 TUG
快適歩行				
最大歩行	0.58 **			
快適 TUG	-0.03	-0.09		
最大 TUG	0.60 **	0.78 **	0.05	

\*\* :  $p < 0.01$ 

快適歩行, 最大歩行, 最大 TUG において, 動作時間と平均情報量との間に有意な負の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた. また, 快適 TUG において, 動作時間と平均情報量との間に有意な正の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた (表 2).

動作時間において, 快適歩行と快適 TUG との間に正の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた. また, 最大歩行と最大 TUG との間に正の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた (表 3). 平均情報量において, 快適歩行と快適 TUG との間に相関は認められず, 最大歩行と最大 TUG との間に正の相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた (表 4).

## 考察

TUG は立ち上がる, 歩き出す, 加減速する, 方向を変える, 腰掛けるという複合的な動作で構成され, 動作遂行時間から転倒のリスクや ADL の自

立度を推定する評価方法である<sup>1)13)</sup>. 一方で, 動作の質的な評価は療法士の経験と主観に頼る部分が多い<sup>14)</sup>. 一般に, 動的バランス能力が高いことは, 円滑で安定した動作を行なっていると考えられがちであるが, 本研究ではそれとは異なる結果を示した.

平均情報量に注目すると, 5 m 歩行において, 快適速度の方が有意に小さく, より円滑な動作であることが認められた. また, TUG においては, 快適・最大速度の条件間で平均情報量に有意な差は認められなかった. 平均情報量は, 理論上, 周期性を有する限られた周波数成分を含むことで低値となり, 多様な周波数成分を含むことで高値となる. 歩行は周期的な動作であり, 快適速度よりも速い速度で歩行を行うためには, 動作の調整がより多く必要とされるため, 動作時の加速度波形に様々な周波数帯の波が含まれることで平均情報

量が大きくなったと推察された。一方、TUGは複合的な動作要素で構成され、立ち上がりや方向転換のような周期的でない動作要素を多く含むことから、個人内においては、速度を上げることによる影響よりも非周期的な動作を含むことの影響を大きく受け、速度の違いによる有意差が認められなかったと推察された。

また、最大TUGにおいて動作時間と平均情報量との間に負の相関が認められた。本結果では、快適歩行および最大歩行においても動作時間と平均情報量との間に負の相関が認められ、歩行動作そのものにおいて動作時間が短いほど円滑でない動作となっている。また、関根ら<sup>15)</sup>は、若年者ではTUGの全ての運動要素の所要時間を短縮させることでTUG動作時間を短縮させていると報告している。つまり、若年者は最大TUG動作において歩行動作の要素だけでなく、立ち座りや方向転換などの歩行以外の運動要素においても、動作を速く行うことによりそれらの動作要素での動揺性が大きくなり、結果として動作時間が短い者ほど円滑でない動作となることが考えられた。

一方、快適TUGにおいて動作時間と平均情報量との間に正の相関が認められ、最大TUGと異なる傾向を示していた。動作時間および平均情報量の結果ともに、快適歩行と快適TUGとの間に比較的弱い関係性が認められた一方、最大歩行と最大TUGとの間に強い関係性が認められ、快適速度と最大速度での動作では異なる傾向を示した。

TUGは複合要素が含まれた動作であることから、快適速度によるTUGでは、対象者個人の主観の影響をより強く受けることが考えられる。先行研究によると、快適速度におけるTUGでは、対象者によって速度のとらえ方にばらつきがある<sup>16)</sup>ことが報告されている。また、関根ら<sup>15)</sup>は、若年者における快適TUGの動作時間の平均値が高齢者と比較して高い値を示したことから、快適TUGの計測時には、特に若年者で意識的に速度を低下させている可能性があるとしている。これらのことから、本研究における快適TUGの結果は対象者の能力を直接反映したものとは考えがたく、対象者の有する動的バランス能力を評価する指標として快適TUGを用いる場合には注意を要すると考えられる。

正常なバランス能力の発揮には感覚神経系や中枢神経系、筋骨格系など身体運動にかかわる多くの要素が関連している<sup>17)</sup>とされる。今回の結果から、健常若年者においてTUGが示す動的バランス能力は、種々の身体機能を統合した上で単に動作

を速く遂行する能力が高いことを意味し、動作自体の円滑性の高さを必ずしも表してはいないことが示唆された。従って、TUGにおける動的バランス能力を動作の安定性や円滑性など質的な側面から捉える場合、特に動作の円滑性に関しては、解釈に注意を要することが示唆された。

本研究では、TUG動作全体における円滑性に着目した。今後は立ち上がり時や方向転換時などの相ごとに計測、解析を行うことにより、各相における身体重心の動揺や動作の円滑性と、筋力や平衡機能などとの関連を詳細に検討することが可能になると考えられる。さらに、性差について検討を行うことにより、筋力や体格の違いが加速度変化に与える影響について検討できると考えられる。さらに、高齢者と健常若年者では歩行様式や姿勢制御パターンが異なると言われており<sup>17)</sup>、高齢者を対象にTUGにおける加速度計測を行うことにより、動作の遂行時間による転倒リスクの判定のみでなく、動作の質的な評価を加味した転倒との関連性を明らかにすることが可能となると考えられる。

## 結論

今回、健常若年者を対象に、小型3軸加速度計を用いてTUGにおける動作の円滑性を検討した。複合的な動作要素で構成されるTUGは、歩行動作に比べ、非周期的な動作を含むことの影響により、個人内において速度の違いによる動作の円滑性に違いが認められなかったと考えられた。また、健常若年者における最大速度のTUGでは、動作時間が短い者ほど円滑性が低くなることが示唆された。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、計測に協力して下さった30名の被験者の方々に心より感謝の念を表します。また、計測および解析用アプリケーションを提供していただき、多くの技術的な助言をくださった北里大学医療衛生学部基礎医学部門医療情報学の守田憲崇先生に深く感謝いたします。

本論文に関して、開示すべき利益相反は存在しない。

## 【文献】

- 1) Podsiadlo D, Richardson S: The timed "Up and Go" a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991; 39: 142-148.

- 2) 橋立博幸, 内山 靖: 虚弱高齢者における Timed “Up and Go” Test の臨床的意義. 理学療法学. 2005; 32 (2): 59-65.
- 3) 林 裕樹, 村上三四郎・他: 維持期脳卒中片麻痺患者の TUG における方向転換動作の検討. 東北理学療法学. 2014; 26: 189-193.
- 4) 島田裕之, 古名丈人・他: 高齢者を対象とした地域保健活動における Timed Up & Go Test の有用性. 理学療法学. 2006; 33 (3): 105-111.
- 5) 奈良 勲, 内山 靖: 姿勢調節障害の理学療法. 医歯薬出版, 東京, 2004, pp 189-194.
- 6) 小島基永: 加速度計を用いた高齢者歩行の安定性評価(動作の円滑さという視点から). バイオメカニズム学会誌. 2006; 30 (3): 138-142.
- 7) 三谷弘保: 虚弱高齢者に対する乗馬シミュレータを用いた運動介入効果の検討 - クロスオーバーデザインによる検討 -. 理学療法科学. 2013; 28 (2): 157-163.
- 8) 園田真弓, 吉元洋一・他: 地域在住高齢者を対象とした運動介入の効果検証 - 鹿児島市における二次予防事業の統計分析 -. 理学療法科学. 2014; 29 (5): 739-743.
- 9) 川上真吾, 吉田 望・他: 当院における介護予防教室の効果と今後の課題. 東北理学療法学. 2013; 25: 72-77.
- 10) 村田 伸, 大田尾浩・他: 虚弱高齢者における Timed Up and Go Test, 歩行速度, 下肢機能との関連. 理学療法科学. 2010; 25 (4): 513-516.
- 11) 小椋一也, 大淵修一・他: 通常歩行時の骨盤加速度に注目した歩行分析 - 若年者における歩行時加速度の特徴的パターンの同定に関する検討 -. 理学療法科学. 2005; 20 (2): 171-177.
- 12) Neumann DA: 筋骨格系のキネシオロジー (第1版). 医歯薬出版, 東京, 2008, pp 62.
- 13) Shumway-Cook A, Brauer S, et al: Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. Phys Ther. 2000; 80: 896-903.
- 14) 東 祐二, 山越憲一・他: 脳卒中片麻痺者における Timed Up and Go Test の動作フェーズの検出に関する検討. 生体医工学. 2006; 44 (4): 739-746.
- 15) 関根小百香, 中野佳子・他: Timed Up & Go Test の所要時間の差を決定する運動要素の検討 - 若年者と高齢者の比較と測定方法の相違による比較から -. 理学療法 - 臨床・研究・教育. 2010; 17: 9-13.
- 16) 内山 靖, 小林 武, 潮見泰藏 (編集): 臨床評価指標入門 適用と解釈のポイント. 協同医書出版社, 東京, 2003, pp 109-114.
- 17) Shumway-Cook A, Woollacott MH: モーターコントロール運動制御の理論と臨床応用 (第2版). 医歯薬出版, 東京, 2004, pp 173-203, 242-258, 378-393.