

# Timed Up and Go Test に影響を与える 立位歩行における足圧中心座標左右差

鈴木 里砂

文京学院大学 保健医療技術学部 理学療法学科

## 要旨

Timed Up and Go Test は転倒リスクの予測指標の一つである。今回、より安全・簡易に転倒リスクを予測できる可能性を探るために、健常者8名にて、立位保持と10m歩行での足圧中心座標の左右差の観点から、Timed Up and Go Testの秒数に影響を与える因子について検討した。重回帰分析とクラスター分析の結果から、Timed Up and Go Test秒数の短縮には、歩行時の右下肢のZ軸方向の加速度および立位保持時の左下肢X軸方向の足圧中心座標偏差の2つの因子の影響が強いことが示され、この2つの因子によりグルーピングが可能なが示された。本研究により、健常者において、閉眼立位、歩行、Timed Up and Go Testにおける役割の左右差が明らかとなり、特に、Timed Up and Go Test歩行へ影響を与えるのは右下肢での推進力と左下肢での調整力ではないかということが示唆された。

## キーワード

Timed Up and Go Test, 足圧中心座標, スマートインソール, 転倒予防, 足圧加速度

## 1. 序論

歩行能力・転倒リスク予測の簡易な指標の一つにTimed Up and Go Test (以下、TUG)がある。このTUGは「椅子に深く座り、背筋を伸ばした状態（肘かけがある椅子では肘かけに手をおいた状態、肘かけがない椅子では手を膝の上においた状態）からスタートし、無理のない速さで歩き、3m先の目印で折り返し、終了時間はスタート前の姿勢に戻った時点とする」という簡単なタスクであり、国際的に多く利用されているPodsiadlo & Richardson (1991) <sup>1)</sup>が考案したテストである。このTUGのテスト結果である秒数はカットオフ値が13.5秒であり、30秒以上：起居動作や日常生活動作に介助を要するという目安となっている。さらに、日本整形外科学会は運動器不安定症を判断する基準として、TUGのカットオフ値を11秒以上<sup>2)</sup>としており、高齢者の転倒リスクの予測に利用されている。また、高齢者だけでなく、多種の疾患における下肢機能と転倒リスク予測にも利用されており、その妥当性に関する報告も多く認められる<sup>3-6)</sup>。

TUGを構成する動作要素としては、立ち座り、歩行、方向変換の3つがある。TUGは非常に有用なテストではあるが、このテストの動作要素である方向転換や椅子の立ち座りは、少なからず参加者自身の転倒リスクがある動作である。とくに、バランス能力に問題のある参加者ほど、

方向変換の際には、軸足に重心移動が大きくなるため、非常にバランスを崩しやすく転倒のリスクが高い。そのため、介助方法に不慣れな施設職員などが計測を行う場合に、対象者、介助者ともにテスト実施に際して転倒してしまうのではないかと、させてしまうのではないかと不安を持つことも多い。

今回、疾患など何らかの原因でバランスに問題のある対象者の転倒リスクを、より安全に簡便に予測できる可能性を探るために、通常よく利用されており、方向変換が含まれず、転倒リスクの少ない立位保持と10m歩行、身長や性別、利き足などの基本情報から、TUGの結果が予測できないかという前提で仮説を考案した。

実際のリハビリテーションの場面では、高齢者の歩行練習において、3mなどの短距離の歩行練習を頻回に行うだけでなく、立位でのバランス保持練習や、3m以上の長い距離での歩行練習を行うことも多い。理学療法の場面では、10m歩行速度を測定することもよく認められる。そのため、通常よく利用している歩行練習の結果からTUGの結果を予測できれば、非常に効率よく安全性の高い方法でリスク管理を行うことが可能である。

また、TUGの結果から転倒リスクを予測できたとしても、得られた結果からどの要素が不足しており転倒に繋がる可能性があるのかを判断することは難しい。方向変換の際は、軸になる下肢での体重支持や、重心移動の制御が必要とな

る。しかしながら、TUGの秒数の結果からだけでは、この軸足の役割や、重心移動の変化などはいまだ明らかにすることはできていない。

さらに、立ち座り、歩行、方向変換といった複合動作を熟達させるための最小要素として、左右下肢がどのような役割を担っているかについても明確な基準は不明である。立位保持や歩行中の左右下肢能力の役割とTUGの秒数の関係性が明らかになれば、転倒予防のための立位バランス保持練習や歩行訓練時に注目すべき点が明確化できる。健常者のデータでは、先行研究にて、身長とTUG秒数に相関があることが報告されている<sup>7)</sup>。これは身長が高ければストライドが広くなり速度が速くなることを示している。

本研究では、TUGへ影響を与える因子を、身長や性差等の個体差のみでなく、立位保持と歩行時の足圧分布からも得ようとしているものである。足圧インソールから得られる足圧分布は、日常生活の歩行の中でも装置があれば容易に取得できるデータであり、立位・歩行能力の微細な変化を捉えることができる。その結果、転倒リスクの高い要素や転倒予防に必要な要素を明確化し、リハビリテーションプログラム立案に役立てることを目的としている。

## 2. 方法

### 2.1 対象者

対象者は自由意思に基づき応募した18歳以上とした。重心位置は成長とともに下方に移動するとされ、幼児は重心が高く、重心位置の影響は足圧分布に直接関連するため、運動器および神経学的に成長が完了していると予測される18歳以上に限定して募集対象とした。本研究は、文京学院大学保健医療技術学部倫理審査委員会（審査番号2018-0015）において倫理審査を受け、承認を得た。

実験に際し、全ての参加者に対して事前に本研究の目的と内容を口頭で説明し、参加の同意を得た後に測定を行った。

対象者は、8名（男性4名、女性4名）。平均年齢は $20.5 \pm 1.12$ 歳。平均身長は $167.4 \pm 2.98$ cm、平均足サイズは、 $24.8 \pm 1.27$ cmであった。参加者は全員、補装具等を用いず独力にて歩行可能であった。

### 2.2 測定方法

#### (1) 測定装置

測定は、足圧分布測定器（tool-the OpenGo Sensor Insole : MOTICON社製、以下足圧インソール）（図1）を使用した。

本研究により使用する足圧測定機器（tool-the OpenGo

Sensor Insole : Moticon社）は、靴の中敷に圧力センサが配置され、無線でPCにリアルタイムでデータ送信が可能な装置であった。靴の中敷に13個の圧力センサが配置（図2）され、センサデータはリアルタイムに無線でPCに送信された（図3）。また、足圧中心座標（Center of foot pressure : 以下、COP）、足圧中心座標での加速度（以下、加速度）についてはtool-the OpenGo Sensor Insole付属の専用ソフトにて自動計算されPCに送信された。

ボタン式電池も含めたセンサ部の大きさは $36 \times 40 \times 19$  mm、重さは80 gであり、9時間以上の連続駆動が可能であった。サンプリング周波数は50Hzであった。このtool-the OpenGo Sensor Insoleについては、既存のプレート状の足圧分布測定機器（FDM-S System :Zebris社製）との性能試験により装置の妥当性が報告されている<sup>8)</sup>。



図1. 足圧分布測定器 (tool-the Open Go Sensor Insole : MOTICON 社製、以下足圧インソール)

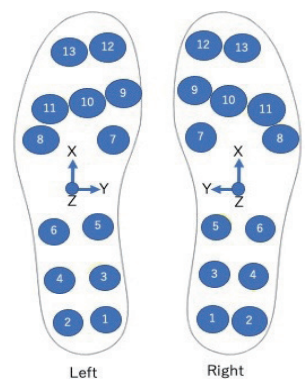


図2. 圧力センサの位置と軸方向 (Range : 0-50 N/cm<sup>2</sup>, Resolution: 0.25 N/cm<sup>2</sup>, Hysteresis : ≤ 1%)

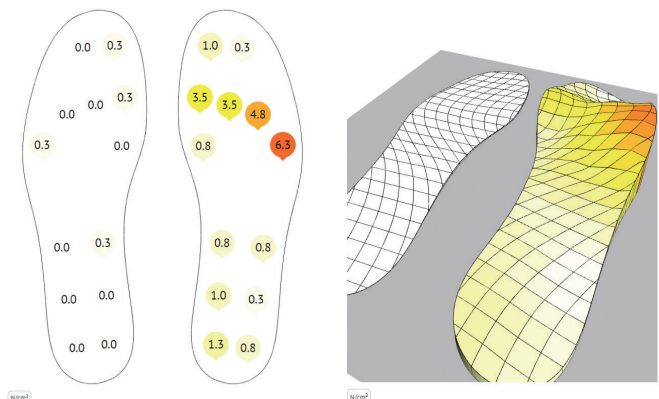


図3. 足圧測定インソール測定時のPC モニタ表示画面

## (2) 測定項目

測定項目は、性別、年齢、足のサイズ、効き目、利き足、TUG秒数、課題1-3実施時に得られたCOPと加速度情報であった。

利き足の確認については、Chapmanらの利き足テスト<sup>9)</sup>で検査し、全員が右であった。利き目については、中雄らの利き目テスト<sup>10)</sup>に則り、片手で持った鉛筆を両目で見、鉛筆と遠方の垂直線を一致させ、その後、交互に片目を閉じて両目と同じように見える目を利き目とした。その結果、1名が左、7名が右であった。

COPと加速度のデータについては、課題1においては30秒間の閉眼立位保持時に採取した。前後13.5秒間を除いた3秒間での立位保持をしている際のCOPの値を代表値として採用した。

課題2においては、10m歩行時に足圧分布と加速度のデータを採取した。右足から始めた2歩目から8歩目の値を代表値として採用した。測定した項目は、X座標、Y座標の左右COP、X座標、Y座標、Z座標の左右加速度であった。

## (3) 測定手順

研究参加者（以下、参加者）は、足の大きさに合わせた足圧インソールを挿入したサンダルを左右足部に着用した。課題1として閉眼にて両上肢を体幹の側方に置いた状態で30秒間立位姿勢を保持した。課題2として10m歩行（至適速度）を実施した。課題3として3m TUGを計測した（図4）。足圧インソールのサイズは、34/35、36/37、38/39、40/41（インチ）の4種類を用意し、参加者の足のサイズに合わせて選択をした。

TUGは、Podsiadloらの方法<sup>1)</sup>に準じて、高さ46.0cmの椅子座位から起立し、コーンまでの3m歩行、コーンで180度方向を変換し、椅子までの3m歩行、着座という一連の動作を実施し、検査者がストップウォッチを用いて手動にて測定した。計測時は参加者の至適速度を指示した。TUGは2回計測し、短い計測時間の秒数を採用した。

分析は、課題1の閉眼立位保持での左右COPのX座標、Y座標の移動平均を算出し、それぞれの計測区間での代表値の移動平均を算出した。また、COPのばらつきを明らかにする目的で、それらの偏差について算出した。課題2の10m歩行での左右COPのX座標、Y座標の平均値、偏差、左右加速度のX座標、Y座標、Z座標の計測区間での代表値の移動平均値を算出し、その偏差も算出した（以下、加速度偏差）。左右差についてはWilcoxon順位和両側検定（ $p < .05$ ）にて確認した。

TUG秒数と、性別や年齢などの参加者基礎データと今回、

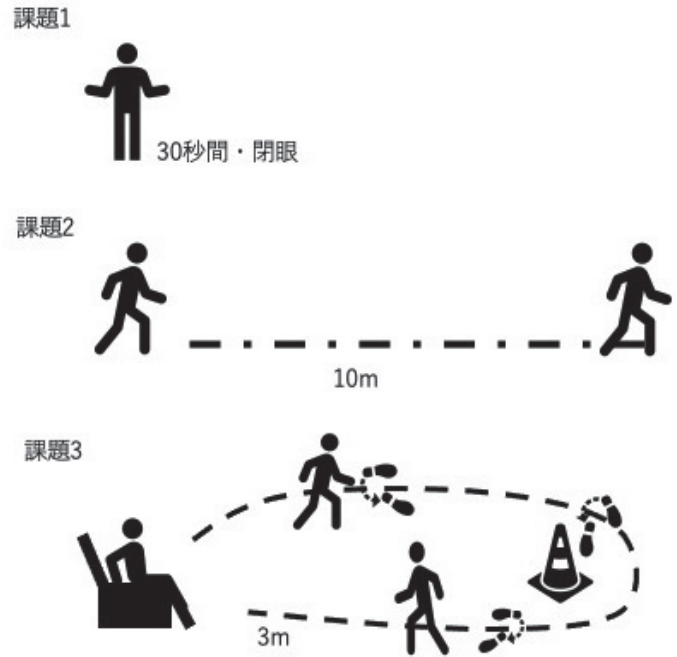


図4. 課題1、課題2、課題3の概要

計測された立位・歩行時の要因との関係性を明らかにするために、性別、身長、年齢、利き目、利き足、足サイズ、立位保持での左右COPのX座標、Y座標の移動平均偏差（課題1にて測定）（以下、COP偏差）と、10m歩行での左右COPのX座標、Y座標の移動平均偏差、左右加速度のX座標、Y座標、Z座標の加速度偏差（課題2にて測定）を説明変数とし、TUG秒数（課題3にて測定）を目的変数として重回帰分析（ステップワイズ法）を実施した。利き足は全員右であったため説明変数から削除した。

また、左右下肢から得られた足圧インソールデータの各参加者の類似度を確認するため、足圧インソールデータの各座標における移動平均偏差についてクラスタ分析（Ward法）を行った。統計ソフトは、IBM SPSS Statistics 26（日本アイ・ビー・エム株式会社）を用いた。

## 3. 結果

### 3.1 COP・加速度偏差分布の左右差

図5に、課題1での閉眼立位保持時のX座標、Y座標における左右のCOP偏差を示した。統計学的に有意差が認められなかったが、右側のCOP偏差がX座標、Y座標とも大きな傾向を示していた。図6は、課題2での10m歩行時のX座標、Y座標における左右のCOP偏差を示した。X座標での右COP偏差が左側より有意に高かった（ $p=0.03$ ）。

図7は、課題2における歩行時でのX座標、Y座標、Z座標での加速度偏差を示したものである。X座標での右加速度偏差が左側より有意に高かった (p=0.02)。

### 3.2 TUG 速度の影響を与える因子

重回帰分析 (ステップワイズ法) によるTUG速度 (課

題3) の予測検定では、標準化係数 $\beta$ にて、予測値は、右Z方向加速度 (-9.152)、左立位COP偏差 (-2.164)、定数は13.458であり (表1)、 $R=0.973$ ,  $R^2$ 乗は0.947, 調整済み $R^2$ 乗は0.926を得られ、適合度は高いと評価した。ダービー・ワトソン比は2.122であり残差はランダムである可能性が高かった。

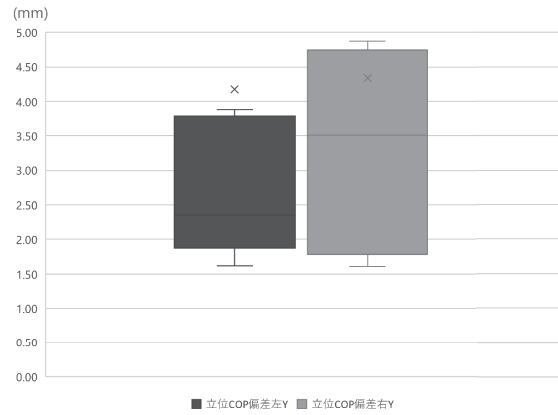
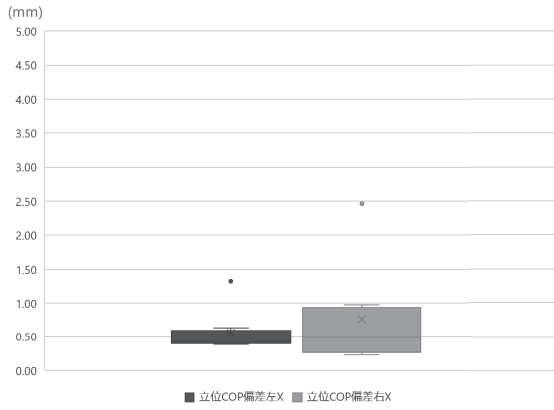


図5. 左右立位 COP 偏差 (課題1:閉眼立位)

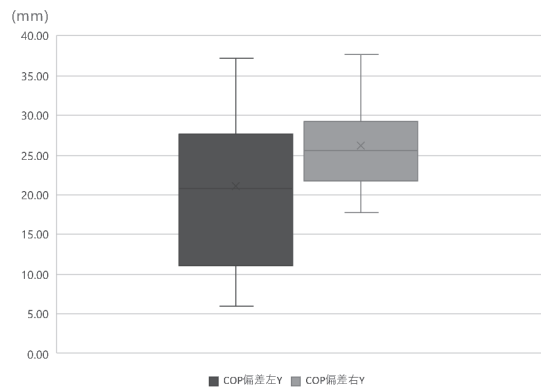
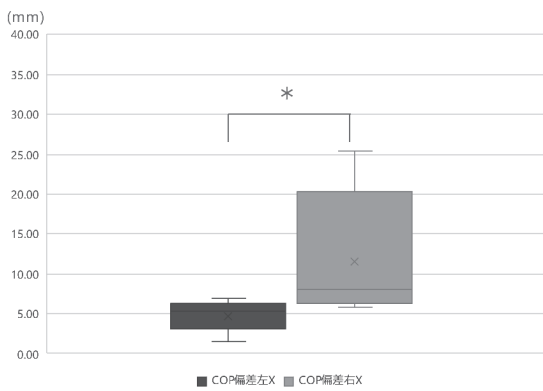


図6. 左右 COP 偏差 (課題2:10m 歩行中) Wilcoxon 順位和片側検定\* (p<.05)

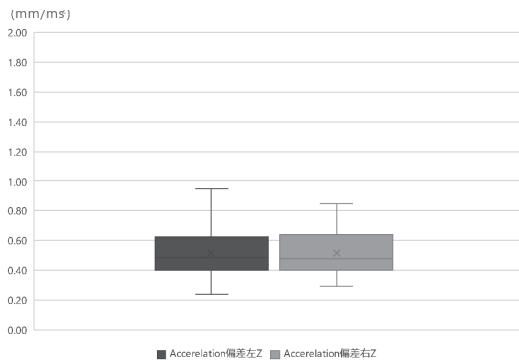
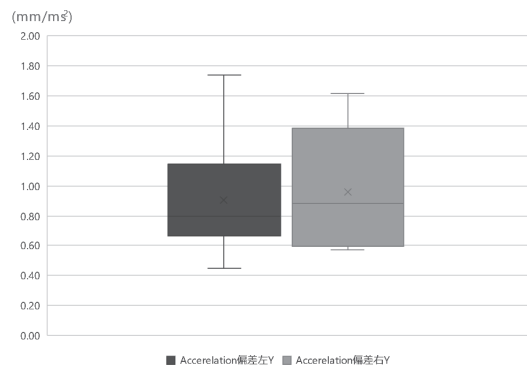
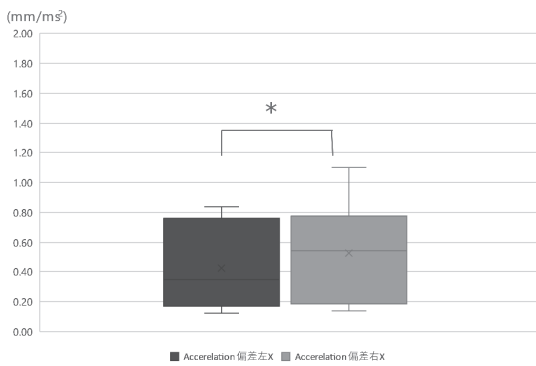


図7. 左右加速度偏差 (課題2:10m 歩行中) 図内の Acccerelation は加速度を示す. Wilcoxon 順位和片側検定\* (p<.05)

その他のパラメータ（性別、身長、年齢、利き目、利き足、足サイズ、立位保持での左右COPの左X座標、左右Y座標偏差、10m歩行での左右COPのX座標、Y座標偏差、左右加速度のX座標、Y座標、左Z座標の偏差）は、有意確率が0.05以下となり除外された。

### 3.3 各参加者のグルーピング結果

クラスタ分析（Ward法）にて分析を行った。クラスタ分析は、2つのクラスターA,Bを結合した際に移動したクラスタ重心とクラスター内の各要素との距離の2乗和U(A∪B)を算出し、結合前の2クラスター内での重心とそれぞれのサンプルとの距離の2乗和U(A),U(B)の差=U(A∪B)-U(A)-U(B)が最小となるようなクラスタ同

表1 重回帰分析による予測検定の結果

|               | 非標準化係数B | 標準化係数ベータ | 有意確率  | Bの95.0%信頼区間 |        | VIF   |
|---------------|---------|----------|-------|-------------|--------|-------|
|               |         |          |       | 下限          | 上限     |       |
| (定数)          | 13.458  |          | <.001 | 11.777      | 15.139 |       |
| 右Z<br>加速度偏差   | -9.152  | -.8941   | <.001 | -11.874     | -6.430 | 1.000 |
| 左X<br>立位COP偏差 | -2.164  | -3.716   | .014  | -3.662      | -.667  | 1.000 |

士を結合する手法である。この差を距離とし、階層構造化したものがデンドログラムである。この結果を図8に示す。クラスタ分析の結果、8名の参加者は、大きく2グループに分類できた。この8名について、重回帰分析において有意な結果が示された右Z方向加速度と左立位COP偏差の値をプロットしたところ、2グループに分類できることが確認できた（図9）。一つのグループ（参加者6,7）はTUG速度の平均は、 $8.07 \pm 0.53$ 秒であり、もう一つのグループは $7.39 \pm 1.90$ 秒であった。

## 4. 考察

本研究での閉眼立位COP偏差、歩行時のCOP偏差と加速度偏差の左右差は、閉眼立位、歩行時のX座標において有意に右側で高いことが示された。今回の参加者は全員、利き足テストの結果では右側が利き足と判定されていた。そのため、右下肢は利き足であり、左下肢は非利き足であった。立位保持、歩行課題においては、利き足である右側の偏差が大きく、足圧中心をより大きく変動させながら動作

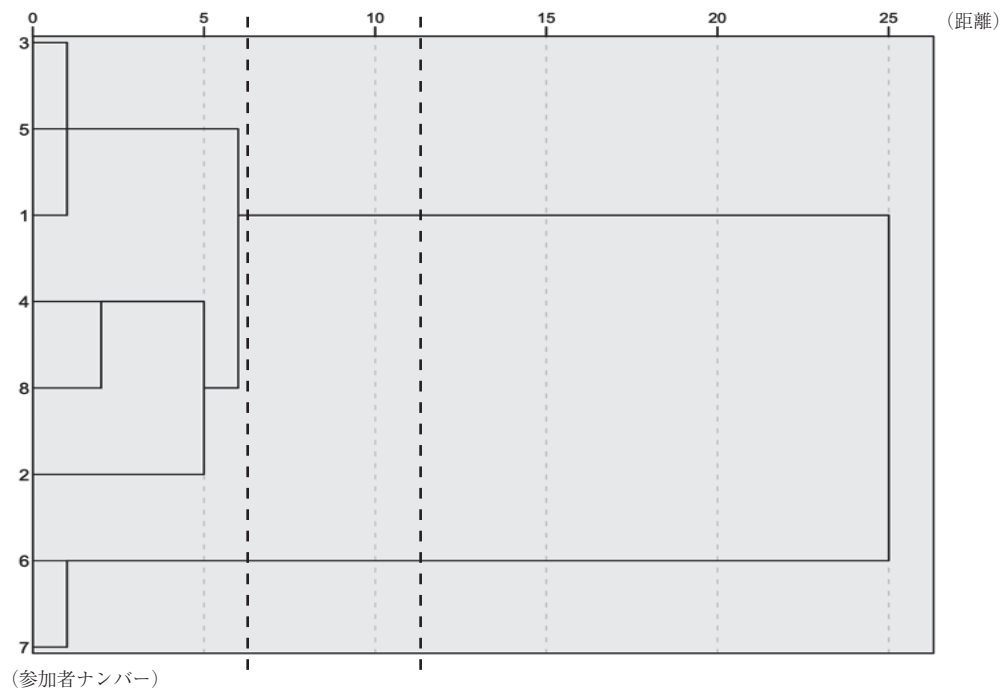


図8. クラスタ分析によるDendrogram

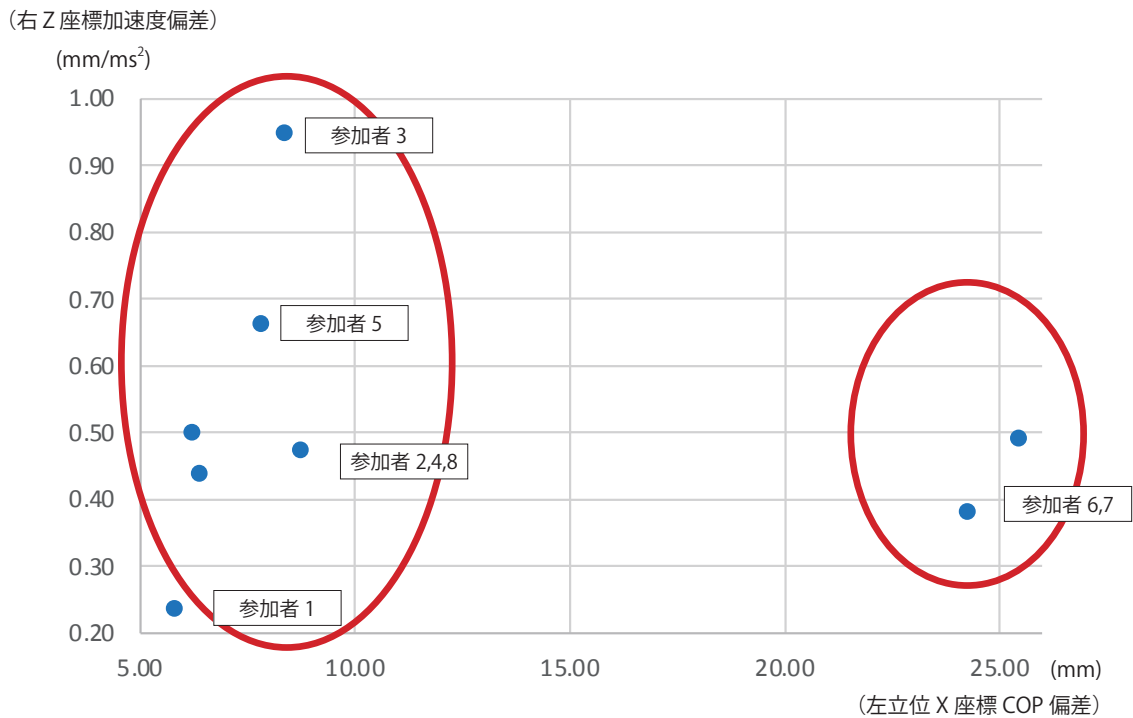


図9. 全参加者における足圧右 Z 方向加速度と左立位 X 座標 COP 移動平均偏差値のプロット

を行なっていることが明らかとなった。

TUG 速度との関連を考察すると、重回帰分析の結果より、右 Z 座標加速度、左立位 COP 偏差の 2 つの要素が TUG 速度に与える影響が大きいことが明らかとなった。この結果から、利き足の Z 方向の加速度と、非利き足の立位保持時の COP の X 方向への偏差が大きいと、TUG 歩行秒数が短縮するという、すなわち TUG 秒数が速くなることを示していた。とりわけ、閉眼立位保持時の非利き足の X 方向への重心の動きが大きいほど、TUG 歩行速度が速いということは、閉眼立位時に非利き足でバランスを取っている可能性があることを示している。また、その非利き足においてバランスを取っていくような調整能力が高いほうが、TUG での方向変換や立ち座りでの制御能も高いことが示唆された。すなわち、利き足で推進力を得ると同時に、非利き足で何らかの歩行時のバランス調整を行なっていることが予測された。

グルーピングを示したクラスタ分析の結果から TUG 歩行の特徴を考察すると、参加者を 2 グループに分類できた。一つは、右 Z 方向加速度平均偏差は小さいが、左 X 座標 COP 偏差が大きいグループ、もう一つは、左 X 座標 COP 偏差が小さいグループである。したがって、非利き足の X 方向への重心の動きが大きい場合は、利き足の Z 方向の加速度が大きく、非利き足の X 方向への重心の動きが大きい場合は、利き足の Z 方向の acceleration がもう一つのグ

ループより小さい傾向が示された。このことにより、健常者においても、非利き足の X 方向への動揺性の大小と利き足の蹴り出しの大きさにより、TUG 歩行の特徴が分類される可能性が示された。

本研究結果より、健常者において閉眼立位、歩行時だけでなく、TUG 歩行における役割の右下肢と左下肢足での差異が明らかとなった。また、TUG 歩行へ影響を与えるのは右下肢での推進力と、左下肢での調整力ではないということが示唆された。推進力と歩行での左右差下肢の役割についての先行文献には、湯ら (2016)<sup>11)</sup> は、自由歩行では右足が左足より高くあがることを示している。これは、右利き手の者において、右足が利き足であることが多いとするならば、右足での挙上が大きいかほど推進力を得ていると予測され、本研究結果と同様のことを示している。また、調整力に関しては、福山ら (2014)<sup>12)</sup> は、傾斜板の前後方向の調整課題において、利き足と非利き足の調整能力は、特に、非利き足において高齢者のほうが低いと報告している。本研究においては、立位、歩行時のような動的な場面においても非利き足において調整力を担っていることが示された。健常者を対象としたため、高齢者との比較は出来ていないが、高齢者において非利き足の調整力が低下するのであれば、転倒が高齢者において増加する原因の一つとなることが示唆される。

## 5. 結語

今回の研究結果より、TUG速度への影響は左右差があり、これは右下肢と左下肢の推進力と調整力において役割が異なっていることが示された。本研究の限界として、健常若年者での限られた検討しか実施できておらず、高齢者での検討ができていないことが挙げられる。転倒予防につながるのであれば、今回得られた知見を高齢者と比較検討することが必要であると考え。さらに、疾患等による麻痺側と利き足との関連についても検討をする必要がある。今回は、利き足が右である参加者のみでの検討であったため、左右差についてのみ結果が得られなかった。しかしながら、利き足、非利き足の観点で鑑みると、利き足が麻痺側となった場合、また、非利き足が麻痺側となった場合の影響を明らかにすることで、リハビリテーションでのトレーニング立案に役立てることができると考える。今回は、足底圧の観点からしか検討しておらず、体幹の動きが測定できていないことも研究限界として挙げられる。Christovãoら(2015)<sup>13)</sup>は、脳性麻痺児が前後方向の体幹動揺が減少するとTUG速度向上に役立ったことを報告している。高齢者や疾患による下肢能力低下をした対象者が、足圧だけでなく、体幹動揺の代償によりバランス制御しているかということが明らかにできれば、TUG速度および転倒予測に役立てられる。

本稿は、第27回バイオメカニズム・シンポジウムにて発表したものについて一部加筆・修正して投稿したものである。

## 謝辞

足圧分布測定器(tool-the OpenGo Sensor Insole : MOTICON社製、以下足圧インソール)の貸与を受けましたIoTBASE株式会社澤和寛昌様、データ分析の際にご指導いただきました文京学院大学経営学部小松香爾教授に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) Podsiadlo, D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991; 39: 142-148.
- 2) 伊藤博元. 運動器不安定症の診断基準. *CLINICIAN* 2007; 559: 587-591.
- 3) Beauchet O, Fantino B, Allali G, et al. Timed Up and Go test and risk of falls in older adults: a systematic review. *J Nutr Health Aging*. 2011; 15, 933-938.
- 4) Herman T, Giladi N, Hausdorff JM. Properties of the 'timed up and go' test: more than meets the eye. *Gerontology* 2011; 57: 203-210.
- 5) Shumway-Cook A, Brauer S, Woollacott M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther* 2000; 80: 896-903.
- 6) Greene, B. R., O' Donovan, A., Romero-Ortuno, R., Cogan, L., Scanail, C. N., & Kenny, R. A.: Quantitative falls risk assessment using the timed up and go test. *IEEE Trans Biomed Eng* 2010; 57: 2918-2926.
- 7) Khant N, Dani VB, Patel P, et al. :Establishing the reference value for "timed up-and-go" test in healthy adults of Gujarat, India. *J Educ Health Promot* [serial online]2018 [cited 2022 June 6]; 7. Available from: URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5963216/>
- 8) Cramer LA, Wimmer MA, Malloy P, et al. Validity and Reliability of the Insole3 Instrumented Shoe Insole for Ground Reaction Force Measurement during Walking and Running. *Sensors* 2022; 22: 2203.
- 9) Chapman JP, Chapman LJ, Allen JJ. The measurement of foot preference. *Neuropsychologia* 1987;25:579-584.
- 10) 中雄勇, 堤実, 吉川茂. 利き手に関する基礎的研究—利き手と利き目の関連性—. 阪南論集 人文・自然科学編. (J Hannan Univ) 1997; 32: 1-14.
- 11) 湯海鵬, 金謙樹, 豊島進太郎. 歩行・走行における下肢動作の左右差と片側優勢. *スポーツ健康科学研究*. (J Health sports sci Juntendo) 2016; 38: 43-48.
- 12) 福山勝彦, 福山ゆき江, 山崎裕美, 他. 足趾運動調節能力を用いた足趾運動覚検査の開発と年代および左右(利き足, 非利き足)差の検討. *理学療法科学(Rigakuryohoho kagaku)* 2014; 29: 759-763
- 13) Christovão TC, Pasini, H., Grecco LA, et al. Effect of postural insoles on static and functional balance in children with cerebral palsy: A randomized controlled study. *Braz J Phys Ther* 2015; 19:44-51.

## **Left and Right Difference in Center of Foot Pressure during Standing and Gait Affecting the Timed Up and Go Test**

Risa Suzuki

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science Technology, Bunkyo Gakuin University

### **Abstract**

Timed Up and Go Test is one of the indices to predict the risk of falling. In this study, to explore the possibility of a safer and simpler prediction of fall risk, we investigated the factors affecting the number of Timed Up Go Test seconds in 8 healthy subjects from the viewpoint of center of foot pressure during standing and 10-meter walking. The results of multiple regression analysis and cluster analysis showed that two factors, acceleration of the right lower extremity in the Z-axis direction during walking and deviation of center of foot pressure in the X-axis direction of the left lower extremity during standing, had a strong influence on the reduction of Timed Up and Go Test seconds and that these two factors could be used to group the participants. These two factors can be used for grouping. This study revealed differences in the roles of the left and right lower extremity in closed-eye stance, 10m-gait, and Timed Up Go Test in normal participants, and suggested that it is the propulsive force of the dominant foot and the coordination force of the left lower extremity that particularly affect Timed Up Go Test.

**Key words** —— Timed Up and Go Test, Center of Foot Pressure, Smart insole, Fall Prevention, Acceleration of Foot Pressure

Bunkyo Journal of Health Science Technology vol.15: 1-8