

国際医療福祉大学審査学位論文（博士）

大学院医療福祉学研究科博士課程

健常高齢者における
Timed Up and Go test の運動学的分析

平成 28 年度

保健医療学専攻・福祉支援工学分野・福祉支援工学領域

学籍番号：14S3021 氏名：黒澤千尋

研究指導員：山本澄子 教授

副研究指導教員：東畠弘子 教授

健常高齢者における Timed Up and Go test の運動学的分析

黒澤 千尋

要旨

Timed Up and Go test (以下, TUG) は, 高齢者の移動能力評価として, 広く用いられている指標である. しかしながら, TUG は転倒予測の能力として限定的で, 他の情報も合わせて多角的に評価すべきとも言われている. そこで本研究は, 高齢者の移動能力をより詳細に評価するため, 健常高齢者 28 名を対象として TUG の運動学的分析を行った. その結果, 高齢者は往路区間と方向転換区間における歩行速度や歩幅の調整に支障をきたしている可能性が示唆され, 大回りの方向転換を呈することが分かった. 往路区間および方向転換区間の歩幅の変化や, 大回りの方向転換は, 観察による確認が可能な指標であり, TUG の計測と併せて簡便に評価することが可能である. 所要時間のみを評価する TUG に, 対象者の往路区間の歩行や方向転換動作の観察を組み合わせることによって, 臨床的に有用な指標となる可能性が示唆された.

キーワード

Timed Up and Go test, 健常高齢者, 歩行速度, 歩幅

Kinematic analysis of healthy elder adults during Timed Up and Go test

Chihiro Kurosawa

Abstract

Timed Up and Go (TUG) test is a widely used clinical paradigm to evaluate mobility in elder adults. However, TUG has showed limited ability to predict falls in community dwelling elderly and should not be used in isolation to identify individuals at high risk of falls in this setting. The purpose of this study was to analyze the TUG to evaluate mobility of healthy elder adults in detail. Twenty eight healthy elder adults participated in this study. Result showed that it was difficult for elder adults to adjust gait speed and step length at outward section and turn section. And, elder adults turned large radius. It is possible to observe step length and turning radius, this index can evaluate simply with TUG. To evaluate step length at outward section and turning radius at turn section, could be useful index for elder adults during TUG.

Keywords

Timed Up and Go test, healthy elder adults, gait speed, step length

目次

第一章

序論.....	1
1-1. 本研究の背景.....	1
1-2. Timed Up and Go test に関する先行研究.....	2
1-3. 本研究の仮説.....	3
1-4. 本研究の目的.....	3
1-5. 本研究の構成.....	4
1-6. 倫理的配慮.....	4

第二章

高齢者における TUG の各区間の特徴.....	5
2-1. はじめに.....	5
2-2. 方法.....	5
2-2-1. 対象.....	5
2-2-2. 計測方法.....	7
2-2-3. 計測課題.....	8
2-2-4. 算出項目と解析方法.....	10
2-2-5. 統計学的分析.....	14
2-3. 結果.....	15
2-3-1. TUG 所要時間および各区間の所要時間.....	15
2-3-2. 各区間の時間配分.....	17
2-3-3. 各区間の歩行速度, 速度変化率.....	19
2-4. 考察.....	21

第三章

TUG の往路区間および方向転換区間における高齢者の運動学的特徴.....	22
3-1. はじめに.....	22
3-2. 方法.....	22
3-2-1. 対象.....	22
3-2-2. 計測方法.....	22
3-2-3. 計測課題.....	22
3-2-4. 解析項目とデータの算出方法.....	22
3-2-5. 統計学的分析.....	27
3-3. 結果.....	28
3-3-1. 高齢者と若年者の比較.....	28
3-3-2. 高齢者における TUG 所要時間と運動学的パラメータとの関連.....	34
3-3-3. 高齢者における速度変化率と運動学的パラメータとの関連.....	40

3-3-4. 高齢者における往路区間と方向転換区間の運動学的パラメータの関係.....	46
3-3-5. 高齢者におけるステップの向きと運動学的パラメータとの関連.....	49
3-4. 考察.....	51
3-4-1. TUG の往路区間, 方向転換区間における, 高齢者の運動学的特徴.....	51
3-4-2. 高齢者における方向転換動作時のステップの向きについて.....	52
3-4-3. 小括.....	53
第四章	
結論.....	54
4-1. 本研究の統括.....	54
4-2. 本研究の限界.....	55
4-3. 今後の課題.....	55
謝辞.....	56
文献.....	58

第一章

序論

1-1. 本研究の背景

2015年10月現在、日本の高齢化率は26.7%¹⁾となり、世界最高の水準となった。さらに、社会保障給付費のうち高齢者関係給付費も年々増加¹⁾しており、高齢者の健康寿命を延長させることは我が国における重要な課題であるといえる。高齢者の健康寿命をのばし、生活の質を高めていくための取り組みとして、厚生労働省は2012年に介護予防マニュアル改訂版²⁾を公表し、今では介護予防活動が広く普及しつつある。しかしながら、65歳以上の高齢者に占める要介護・要支援認定率は2014年度で過去最高³⁾となり、より早期の介入によって要介護状態への移行を遅延することが求められている。

要支援・要介護の要因のうち「転倒・骨折」は10.2%⁴⁾を占めると報告されている。また、転倒が引き金となり日常生活に支障をきたす転倒後症候群⁵⁾も問題視されており、転倒は単に身体機能を低下させるだけでなく、日常生活動作能力 (Activity of Daily Living ; ADL) や生活の質 (Quality Of Life ; QOL) の低下につながる重要な健康問題としても注目されている。転倒の発生状況は移動中、方向転換時や歩行時に起こりやすいとの報告が多く⁶⁻⁸⁾、このことから、早期に転倒リスクを発見するため、高齢者の移動能力を客観的に評価することは重要であると考えられる。

最近では、地域住民を中心とした介護予防活動が推進されており、自主的に体操教室を実施する自治体も増えている。介護予防事業の対象は、以前のように機能低下をきたした高齢者だけでなく、健常な高齢者も含めた、幅広い身体機能の高齢者に拡大しつつある。しかしながら、早期に積極的な介入が必要な高齢者を識別するための明確な基準は今のところ見当たらず、効果的な介入方法も確立されていないのが現状である。高齢者の移動能力を客観的に評価するため、介護予防活動に携わる人々が使いやすい指標や介入方法が求められている。

1-2. Timed Up and Go test に関する先行研究

Timed Up and Go test (以下, TUG) は, 1986年に Mathias らの発表した “get-up and go” test を Podsiadlo ら⁹⁾によって改変したものである。日本における大規模調査では, 高齢者における TUG の所要時間は加齢によって増大し, さらに, 転倒, 外出頻度, 運動習慣との密接な関係が示されたことから, 地域保健活動の評価指標としての有効性が確認されている¹⁰⁾。TUG は, 転倒リスクの指標としても世界的に広く用いられており, 転倒ハイリスク者のカットオフ値は 13.5 秒とされている¹¹⁾。また, 最大努力による TUG は転倒経験との関係が報告されており, 8.5 秒以上では約 20%の転倒経験者が含まれるとされている¹⁰⁾。しかし, TUG と高齢者の転倒に関するシステムティックレビューでは, TUG は転倒予測の能力として限定的で, 転倒者と非転倒者を識別するのに有用ではないと提言しており^{12,13)}, 特に健常高齢者から転倒者と非転倒者を識別するためには, 他の情報も合わせて多角的に評価するべきと言われている¹³⁾。

通常の TUG で指標となるのは, 課題を遂行するのにかかる時間のみであるが, 実際にはカットオフ値以内に TUG を遂行する高い移動能力を有する高齢者でも, 5 人に 1 人は 1 年間に 1 回以上転倒するとの報告もある¹⁴⁾。TUG を応用し, 一連の動作を詳細に分析した先行研究では, ビデオを用いて TUG における方向転換動作中の歩数やステップパターンを分析することによって健常若年者, 健常高齢者, 虚弱高齢者の違いを特徴づける¹⁵⁾ものや, 3 軸加速度計と 3 軸ジャイロセンサを搭載した慣性センサを使用することによって TUG 課題中の動作を詳細に分析し, パーキンソン病患者の転倒リスクの早期発見へ応用しているものもある¹⁶⁾。この手法を用いることによって, 対象者の特徴を客観的かつ詳細に評価することができるが, ビデオ画像や計測機器から得られたデータを解析する必要があるため, すぐにデータが算出できず, その場で評価できない点や, 多くの慣性センサを使用する必要がある点から, 臨床で簡便に使用できるとは言い難い。

近年, 歩行や歩き始めにおいては, 1 歩行周期の変動係数やステップ時の足部位置のばらつきの大きさに加齢の影響が大きく, 転倒リスクが高いことが報告されている¹⁷⁻¹⁹⁾。さらに, 頻繁な進行方向の転換を伴う歩行課題 (Mutli-Target Stepping Test) において転倒リスクの高い高齢者は, 支持脚に対して先導脚がクロスしてしまうクロスオーバー現象が出現する²⁰⁾ことが示されており, 臨床的にもステップの方法が特徴的な高齢者を目にすることは少なくない。高齢者は, TUG 遂行時の歩行速度変化, TUG における方向転換時の姿勢やステップパターンに支障をきたすことが推測される。これらの知見から, TUG の評価に遂行時間だけでなく動作分析を組み合わせることによって, より簡便で臨床的に有用な指標を見出すことができないかと考えた。

1-3. 本研究の仮説

TUG をカットオフ値以内に遂行するような健常な高齢者であっても、潜在的に転倒リスクを有している可能性があり、若年者と同様の動作を行っているとは限らない。

TUG は方向転換動作を含んでいるが、方向転換動作は、“Performance-Oriented Mobility Assessment” (POMA) ²¹⁾や、“Berg Balance Scale” (BBS) ²²⁾に代表されるようにバランス能力の指標として用いられており、転倒リスクの高い高齢者ほど、方向転換時の所要時間が長くなることや、ステップ数が増えることが知られている ^{15,23,24)}。また、加齢に伴うバランス能力の変化として、平衡感覚に関係する前庭機能の低下が言われており ²⁵⁾、高齢者では身体運動を制御することが難しくなるため、歩行速度の低下、移動軌跡の増加、ステップ数や歩幅のばらつきが推測される。健常者では方向転換時の回転中心に向かって身体が傾斜する ^{26,27)}ことによって、身体重心（以下、COG）の移動距離が短い方向転換が可能となるが、加齢に伴うバランス能力の低下は身体の傾斜を難しくすると推測する。

1-4. 本研究の目的

本研究では、まず、TUG 一連動作のうち高齢者が時間を要している区間を調査し、方向転換区間の時間配分を明らかにする。さらに、方向転換区間について、ステップ数、移動軌跡、歩幅、前額面上の姿勢に着目し、高齢者の運動学的特徴を明らかにすることを目的とした。

これらを統括し、TUG 所要時間だけでは判別できない、臨床的な指標を見出すための基礎的研究として本研究を位置づける。

1-5. 本研究の構成

本研究は4章から構成した。

第一章では、序論を述べた。

第二章では、TUGを5つの区間に分類し、TUG一連動作のうち高齢者が時間を要している区間を調査し、方向転換区間の時間配分を明らかにすることを目的として分析を行った。

第三章では、TUGにおける方向転換区間について、ステップ数、移動軌跡、歩幅、前額面上の姿勢に着目し、高齢者の運動学的特徴を明らかにすることを目的として分析を行った。

第四章では、本研究で得られた結果をまとめ、本研究の限界と今後の課題を述べた。

1-6. 倫理的配慮

対象者には、ヘルシンキ宣言をもとに、対象者の保護・権利の優先、参加・中止の自由、研究内容、身体への影響などを口頭および書面にて説明し、同意が得られた者のみを対象として計測を行った。なお、本研究は、国際医療福祉大学倫理審査委員会（14-Ig-111）、神奈川県立保健福祉大学倫理審査委員会（保大7-36）の承認を得て実施した。

第二章

高齢者における TUG の各区間の特徴

2-1. はじめに

本章では、高齢者における TUG の運動学的特徴を明らかにするため、まず、TUG 一連動作を 5 つの区間に分類し、高齢者において若年者と異なった傾向がみられる区間を調査した。今回は、TUG 所要時間に対する各区間の時間配分を算出し、高齢者と若年者で比較することによって、年齢間における TUG の時間配分を比較した。高齢者の TUG の特徴として、先行研究では、歩行速度の低下、着座にかかる時間の延長があげられており、TUG 所要時間が長くなる要因と言われている^{28,29)}。しかし、TUG を区分けし、健常高齢者を対象として詳細に分析した報告は少ない。本研究では、起立区間、往路区間、方向転換区間、復路区間、着座区間の 5 区間に区分けし、若年者と高齢者で比較することを目的とする。

2-2. 方法

2-2-1. 対象

対象は、健常高齢者 28 名（男性 10 名、女性 18 名、年齢 71.2 ± 5.1 歳、身長 157.3 ± 8.8 cm、体重 55.9 ± 10.4 kg）と健常若年者 22 名（男性 7 名、女性 15 名、年齢 20.8 ± 0.8 歳、身長 161.8 ± 6.7 cm、体重 54.4 ± 4.8 kg）とした（表 2-1）。2 群間の身長と体重は統計解析上、有意な差を認めなかった。

健常高齢者は、65 歳以上 90 歳未満で日常生活が自立している者とし、最年少は 65 歳、最年長は 81 歳であった。また、歩行動作に支障をきたす整形外科疾患や神経疾患を有する者は除外した。対象となる高齢者の募集は、計測設備を所有する神奈川県立保健福祉大学の近隣に在住する健常高齢者に対して行い、本研究の趣旨について同意を得られた者とした。このうち、日常的に歩行補助具を使用している者や、日常生活に影響を及ぼす認知機能の低下が認められる者はいなかった。今回対象となった高齢者に対し、地域生活における行動能力を評価する Life Space Assessment（以下、LSA）の測定および過去 1 年間の転倒歴の聴取を実施したところ、LSA は平均 84 点で転倒歴を有する者はいなかった。LSA は個人の生活の空間的な広がりにおける移動を評価する指標として用いられており、最高点は 120 点である。日本理学療法士協会の開発した E-sas（高齢者のイキイキとした地域生活づくりを支援するためのアセスメントキット）³⁰⁾の基準によると、84 点以上は一般高齢者と評価され、今回対象となった高齢者も特に日常生活に問題のない健常な高齢者群と判断した。

一方、健常若年者は一般大学生とし、高齢者同様に歩行動作に支障をきたす整形外科疾患や神経疾患を有する者は除外し、本研究の趣旨について同意を得られた者とした。

表 2-1 対象者情報

	健常高齢者 (n=28)	健常若年者 (n=22)	p 値
性別	男性 10 名, 女性 18 名	男性 7 名, 女性 15 名	
年齢(歳)	71.2±5.1	20.8±0.8	<0.001**
身長(cm)	157.3±8.8	161.8±6.7	n.s.
体重(kg)	55.9±10.4	54.4±4.8	n.s.
LSA(点)	84.3±14.8	—	
転倒歴(回)	0	—	

対応のない t 検定 有意水準 5% **;p<0.01, n.s. : not significant.

2-2-2. 計測方法

計測課題動作の運動学的データの計測には、赤外線カメラ 10 台から構成される三次元動作解析装置 VICON612 (VICON-PEAK 社製) および VICON MX (VICON Motion System 社製) を用いた。赤外線カメラのサンプリング周波数は 120Hz とし、対象者の身体に貼付した直径 14 mm の赤外線反射マーカを撮影することにより運動学的データを得た。赤外線反射マーカ貼付位置は、左右前頭部 (Head)・後頭部 (TOH)・胸骨頸切痕 (CLAV)・剣状突起 (XIP)・第 7 頸椎棘突起 (C7)・第 10 胸椎棘突起 (T10)・左右肩峰 (SHD)・右肩甲骨 (BR)・左右上腕骨外側上顆 (ELB)・左右橈骨茎状突起 (WRI)・左右上前腸骨棘 (ASI)・左右上後腸骨棘 (PSI)・左右股関節中心 (HIP)・左右大腿部外側 (THI)・左右膝関節中心外側 (KNE)・左右膝関節中心内側 (KNE2)・左右外果 (ANK)・左右内果 (ANK2)・左右第 1 中足骨頭部 (MP1)・左右第 5 中足骨頭部 (MP)・左右踵骨隆起 (HEE) の合計 36 点とした (図 2-1)。なお、計測に使用する障害物 (ソフトコーン) の頂点にも赤外線反射マーカを貼付した。

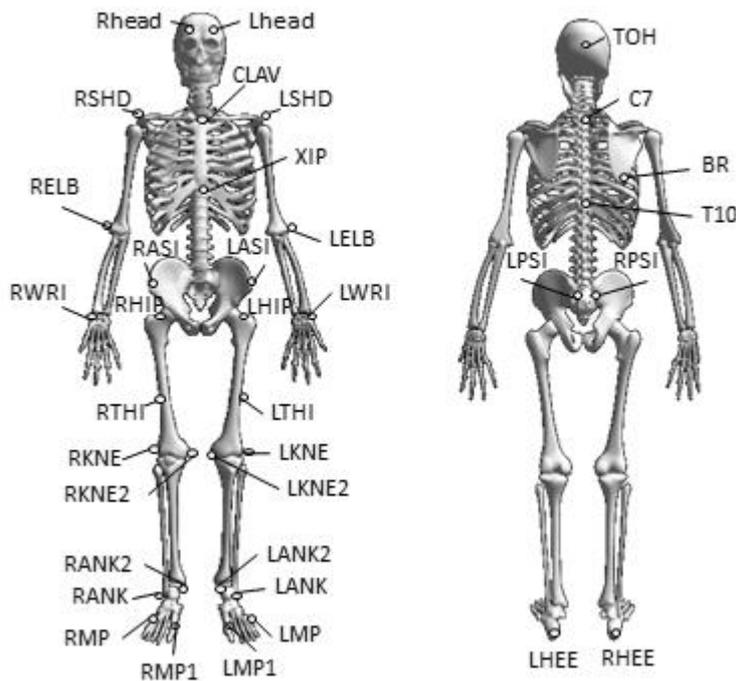


図 2-1 赤外線反射マーカ貼付位置

2-2-3. 計測課題

計測課題は開始位置から障害物までの距離を 3m に設定した TUG とし、5 試行実施した。対象者には、安静座位姿勢で待機するよう指示し、開始の合図とともに立ち上がり、3m 先の障害物（高さ 43cm のソフトコーン）を目印として方向転換した後、再び開始位置の椅子に着座するまでの一連動作を計測した（図 2-2）。計測空間上には椅子と障害物（ソフトコーン）のみ設置し、対象者には「なるべく早くコーンを回って帰ってきてください」と指示した。計測空間の床の表面には 2mm 厚のカーペットが貼られており、転倒を防ぐため、対象者はそれぞれの足のサイズに適した計測用靴（ビニール製の靴底に滑り止めの溝を有し、足背にゴムテープを通した靴：図 2-3）を使用した。課題遂行時の歩行速度は、介護予防マニュアル改訂版²⁾に記載された計測方法に基づき、計測結果の変動を避けるため、最大努力歩行で統一した。方向転換の向きに関しては、各対象者の回りやすい向きとし、5 試行間は向きを統一して実施した。

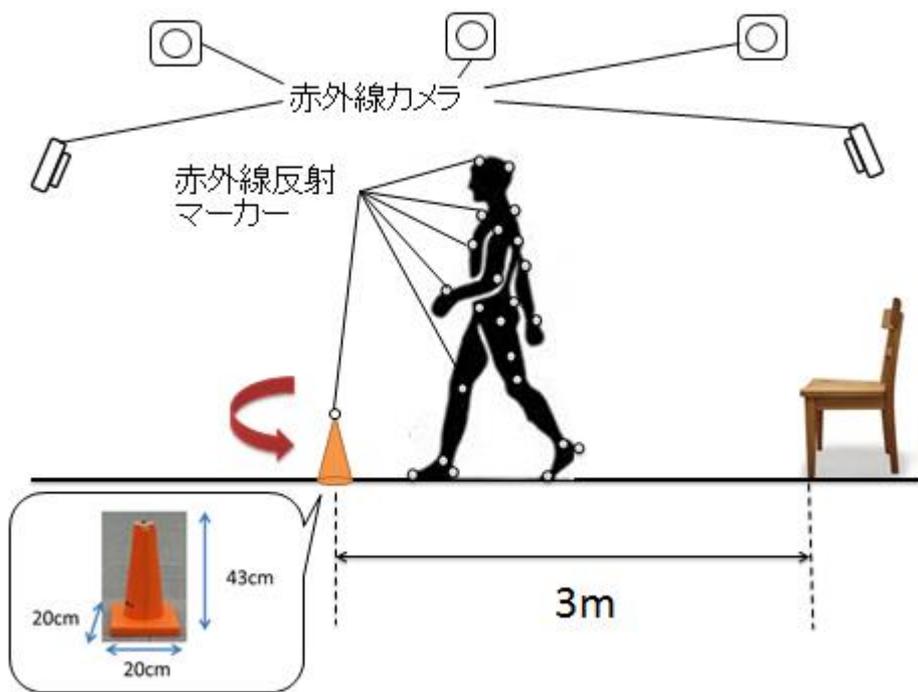


図 2-2 計測環境



図 2-3 計測用靴

2-2-4. 算出項目と解析方法

三次元動作解析装置から得られたマーカー座標データは、データ処理用ソフトウェア Nexus2 を用いて遮断周波数 6Hz のローパスフィルターをかけた。その後、座標データのテキスト出力および COG の計算をするため、モデルプログラミングソフトウェア Body Builder を用いてデータを算出した。算出データをもとに、以下の各パラメータを計算した。各パラメータは、5 試行の平均値をとり、この値を対象者それぞれの代表値として解析した。

今回、対象者それぞれの TUG 遂行時の移動軌跡を算出し、移動軌跡をもとに TUG 一連の動作を 5 つの区間に分割した。はじめに、移動軌跡として対象者の COG を用いることを試みたが、COG を算出するためには、計測中に全ての赤外線反射マーカーが赤外線カメラに映る必要があり、今回の計測環境では困難であった。そのため、今回は COG に近い、左右上後腸骨棘 (PSI) の位置座標を算出し、その中点 (CPSI) を対象者の移動軌跡として用いた。

今回は、立ち上がり後 1 歩目付近にあたる、開始位置から進行方向 60cm 地点に任意座標を設定し、往路区間の開始点とした。TUG 一連動作の区間設定には、往路区間の開始点と障害物座標を用いた (図 2-4)。安静座位姿勢から対象者の移動軌跡が任意座標を通過するまでを起立区間、任意座標通過から障害物の座標までを往路区間、障害物座標を通過後、方向転換し再び障害物座標を通過するまでを方向転換区間、障害物の座標通過から任意座標通過までを復路区間、任意座標通過から着座までを着座区間と定義した。

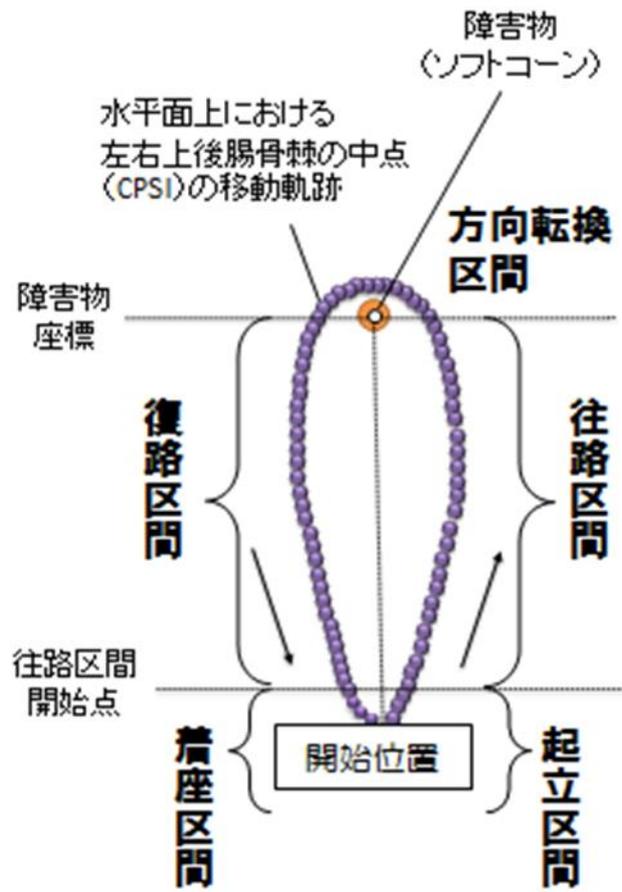


図 2-4 TUG 一連動作の区間設定

<算出パラメータ>

- TUG 所要時間 (s)

開始合図および着座時に、外部トリガ出力ボックスを用いて TTL 信号を三次元動作解析装置に入力し、2つのトリガ間の時間を TUG の所要時間として算出した。

- 各区間の所要時間 (s)

起立区間、往路区間、方向転換区間、復路区間、着座区間における各実時間を算出した。

- 各区間の時間配分 (%)

TUG 一連動作の所要時間および各区間の所要時間を算出し、TUG の所要時間を 100%としたときの各区間の所要時間の割合を算出した。

$$\text{各区間の時間配分 (\%)} = \text{各区間の所要時間} / \text{TUG 所要時間} \times 100$$

- 歩行速度 (m/s)

対象者の移動軌跡から各区間の総軌跡長を算出し、各区間の所要時間で割ったものとした。起立区間および着座区間は赤外線反射マーカが隠れてしまうことが多く、移動軌跡を全て計測することが困難であった。そのため、今回は、往路区間、方向転換区間、復路区間における歩行速度を算出した。

- 速度変化率 (%)

健常若年者では方向転換前、大きな足関節底屈モーメントを発揮することにより、歩行速度を減速させ、方向転換を行う特徴がある³¹⁾。図 2-5 に示すように、方向転換動作における若年者の歩行速度変化をみると、方向転換前の歩行速度の減速は、移動距離を最小限にし、最短距離での方向転換をするために必要な戦略であると考えられる。このことから、高齢者の方向転換における歩行速度の減速を客観的に示す指標として、速度変化率を算出した。今回は、以下の計算式で求め、往路区間の歩行速度に対する方向転換区間の歩行速度の減速率を速度変化率と定義した。なお、速度変化率の値が大きくなるほど、減速が大きいことを示す。

$$\text{速度変化率 (\%)} = 100 - (\text{方向転換区間歩行速度} / \text{往路区間歩行速度} \times 100)$$

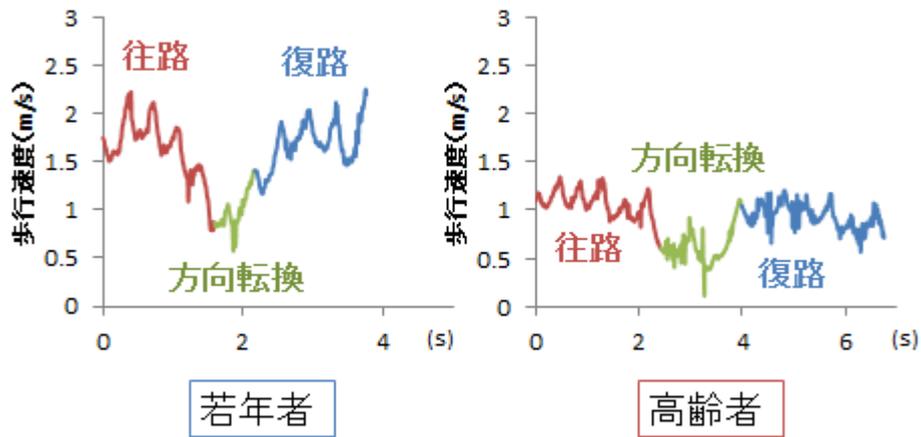


図 2-5 若年者と高齢者の方向転換時における歩行速度変化（代表例）

若年者は方向転換前に急激な歩行速度の減速がみられるが，高齢者では方向転換前の歩行速度の減速が少ない。

2-2-5. 統計学的分析

有効数字に関して、本研究では以下のように定義した。TUG 所要時間についてはストップウォッチで計ることを想定し、小数点第一位までを有効とした。その他のデータについては、小数点第二位までを有効とした。

はじめに、高齢者の対象者において性差の影響がないことを確認するため、対応のない t 検定により高齢者の TUG 所要時間を男性と女性で比較した。

対象者の TUG 所要時間および速度変化率は、対応のない t 検定により高齢者と若年者で比較した。各区間の実時間、TUG 一連動作の所要時間を 100%としたときの各区間の所要時間の割合を示す時間配分、往路区間・方向転換区間・復路区間における歩行速度について、高齢者と若年者の年齢間および高齢者と若年者それぞれの群内で比較するため、二元配置の分散分析、多重比較 (Bonferroni) を行った。

なお、統計学的処理には SPSS 22 (IBM 社) を用い、有意水準は 5%とした。また、統計解析上、有意差が認められた項目に関しては、効果量を算出した。t 検定および多重比較では Cohen's d (以下、 d) を算出し、0.20 : 効果小、0.50 : 効果中、0.80 : 効果大とした。

2-3. 結果

2-3-1. TUG 所要時間および各区間の所要時間

はじめに、健常高齢者の対象者において、性別によって人数の偏りが生じたため、性別による TUG 所要時間の比較を行った (図 2-6)。TUG 所要時間の平均値は、男性高齢者では 7.2 ± 1.4 秒、女性高齢者では 7.3 ± 1.3 秒であった。対応のない t 検定を用いて比較した結果、 $t(26) = 0.14$, $p = 0.885$ であり、有意な差はみられず、今回対象とした高齢者において、TUG 所要時間に性差の影響はないと言える。

TUG 所要時間の平均値を高齢者と若年者で算出したところ (図 2-7)、高齢者は 7.2 ± 1.3 秒、若年者は 5.4 ± 0.6 秒であった。対応のない t 検定を用いて比較した結果、 $t(38.50) = 6.79$, $p < 0.001$, $d = 1.71$ であり、高齢者に比べて若年者は有意に所要時間が少なかった。介護予防マニュアル改訂版²⁾によれば、TUG 所要時間が男性で 7.4 秒以上、女性で 7.5 秒以上が特定高齢者に該当するとされており、今回対象となった高齢者の TUG 所要時間の平均値は特定高齢者に該当せず、健常な高齢者群であった。

次に、各区間における所要時間を高齢者と若年者によって比較し、さらに高齢者および若年者の各群において起立区間と着座区間、往路区間と復路区間の所要時間を比較するため、二元配置の分散分析を行った (図 2-7)。その結果、年齢要因と区間要因の交互作用が有意であった ($F = 4.974$, $p = 0.003$)。各区間の所要時間について年齢要因の比較を行ったところ、起立区間、往路区間、方向転換区間、復路区間、着座区間の全てにおいて、若年者に比べ高齢者は有意に所要時間が長かった (起立区間 $F = 14.891$, $p < 0.001$, $d = 1.12$, 往路区間 $F = 40.362$, $p < 0.001$, $d = 1.81$, 方向転換区間 $F = 25.026$, $p < 0.001$, $d = 1.39$, 復路区間 $F = 46.743$, $p < 0.001$, $d = 1.95$, 着座区間 $F = 22.236$, $p < 0.001$, $d = 1.34$)。高齢者と若年者それぞれの群において、起立区間と着座区間、および往路区間と復路区間の所要時間を比較した結果、若年者では起立区間に比べ着座区間の方が有意に短かったのに対し ($F = 4.165$, $p = 0.047$, $d = 0.67$)、高齢者では起立区間と着座区間に有意差を認めたものの、効果量が小さく明らかな違いは見出せなかった ($F = 4.105$, $p = 0.048$, $d = 0.31$)。往路区間と復路区間を比較した結果、若年者と高齢者のどちらも復路区間の方が有意に長かった (若年者 $F = 4.358$, $p = 0.042$, $d = 0.51$, 高齢者 $F = 44.209$, $p < 0.001$, $d = 0.59$)。

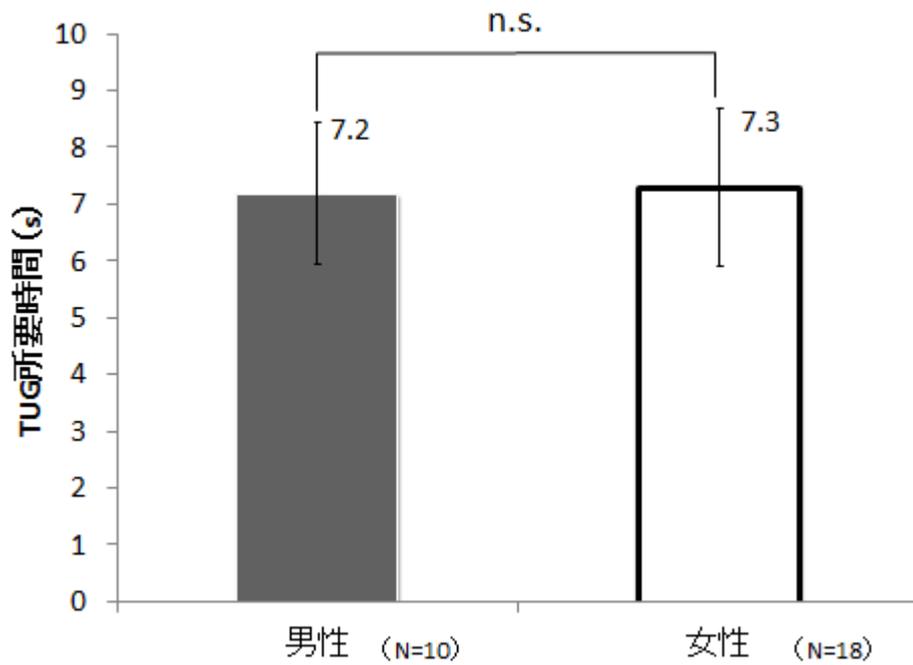


図 2-6 高齢者の対象者における TUG 所要時間の性差

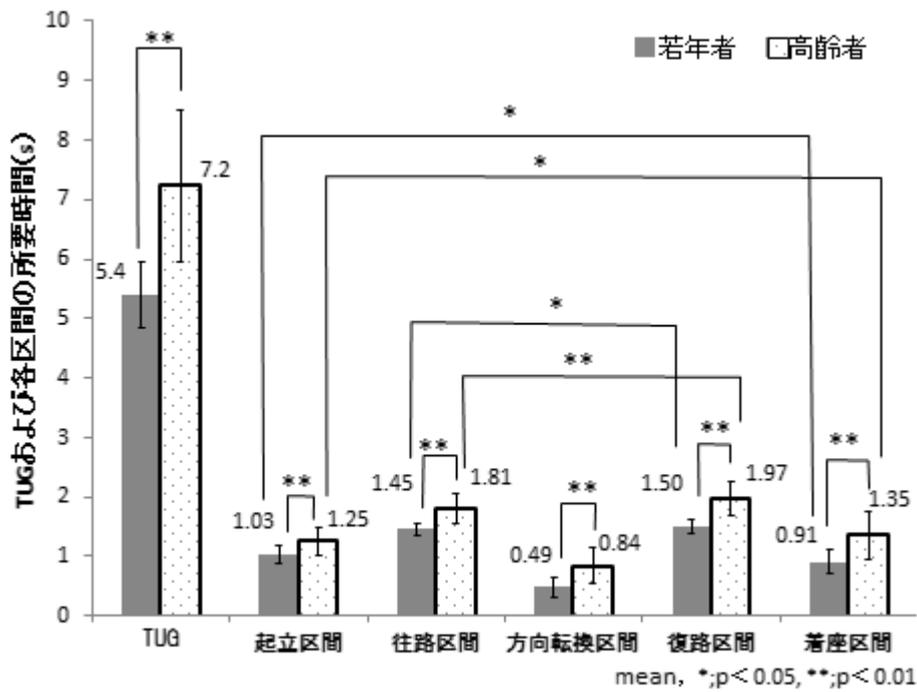


図 2-7 TUG および各区間の所要時間

2-3-2. 各区間の時間配分

各区間における時間配分を高齢者と若年者によって比較し、さらに高齢者および若年者の各群において起立区間と着座区間、往路区間と復路区間の時間配分を比較するため、二元配置の分散分析を行った(図 2-8)。その結果、年齢要因と区間要因の交互作用が有意であった ($F=7.558$, $p<0.001$)。各区間の時間配分について年齢要因の比較を行ったところ、起立区間、往路区間については、若年者に比べ高齢者は時間配分が短かった(起立区間 $F=12.388$, $p=0.001$, $d=1.02$, 往路区間 $F=7.730$, $p=0.008$, $d=0.79$)。方向転換区間、着座区間については、若年者に比べ高齢者は時間配分が長かった(方向転換区間 $F=12.145$, $p=0.001$, $d=0.99$, 着座区間 $F=4.527$, $p=0.039$, $d=0.61$)。復路区間は高齢者と若年者で有意な差を認めなかった ($F=1.280$, $p=0.264$)。高齢者と若年者それぞれの群において、起立区間と着座区間、および往路区間と復路区間の時間配分を比較した結果、若年者では起立区間に比べ着座区間の方が有意に短かったのに対し ($F=8.593$, $p=0.005$, $d=1.16$)、高齢者では起立区間と着座区間に有意な差を認めなかった ($F=2.731$, $p=0.105$)。往路区間と復路区間を比較した結果、若年者と高齢者のどちらも復路区間の方が有意に長かった(若年者 $F=6.364$, $p=0.015$, $d=0.52$, 高齢者 $F=37.157$, $p<0.001$, $d=1.04$)。

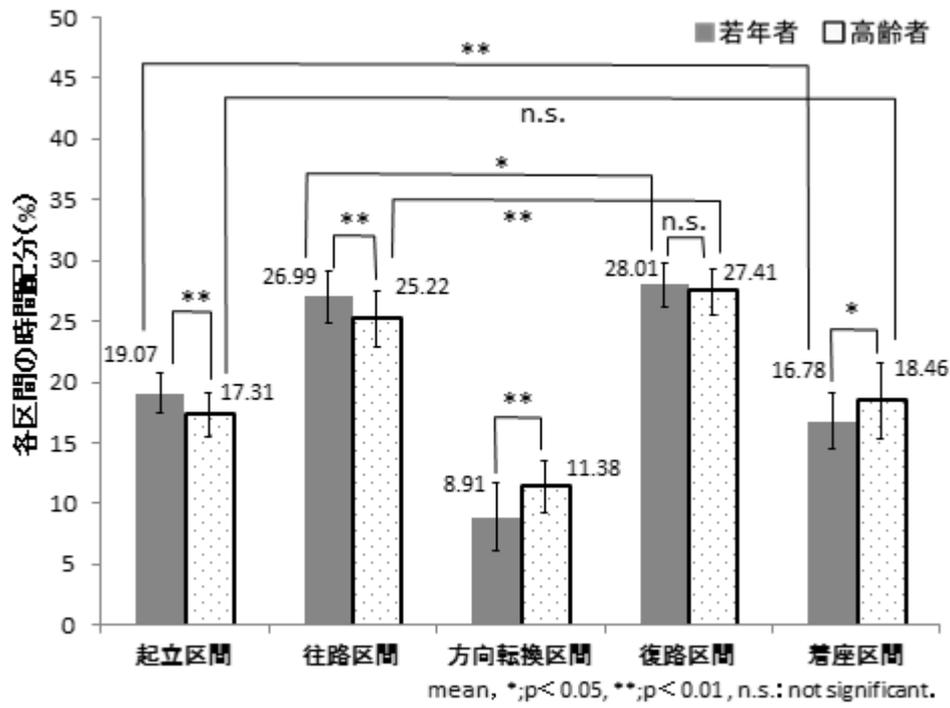


図 2-8 各区間の時間配分

2-3-3. 各区間の歩行速度, 速度変化率

各区間における歩行速度を高齢者と若年者によって比較し, さらに高齢者および若年者の各群において往路区間と復路区間の歩行速度を比較するため, 二元配置の分散分析を行った(図 2-9). その結果, 年齢要因と区間要因の交互作用が有意であった($F=36.843$, $p<0.001$). 各区間の時間配分について年齢要因の比較を行ったところ, 往路区間, 方向転換区間, 復路区間の全てにおいて, 若年者に比べ高齢者は有意に歩行速度が遅かった(往路区間 $F=45.231$, $p<0.001$, $d=2.30$, 方向転換区間 $F=6.112$, $p=0.018$, $d=0.97$, 復路区間 $F=59.653$, $p<0.001$, $d=2.70$). また, 高齢者と若年者それぞれの群において, 往路区間と復路区間の歩行速度を比較した結果, 若年者と高齢者のどちらも復路区間の歩行速度の方が有意に遅かった(若年者 $F=10.179$, $p=0.003$, $d=0.90$, 高齢者 $F=47.710$, $p<0.001$, $d=0.81$).

次に, 対応のない t 検定を用いて速度変化率を高齢者と若年者で比較した結果(図 2-10), $t(48)=-3.98$, $p<0.001$, $d=1.13$ であり, 高齢者は若年者に比べ速度変化率が有意に小さく, 方向転換区間の減速が少ないことが分かった.

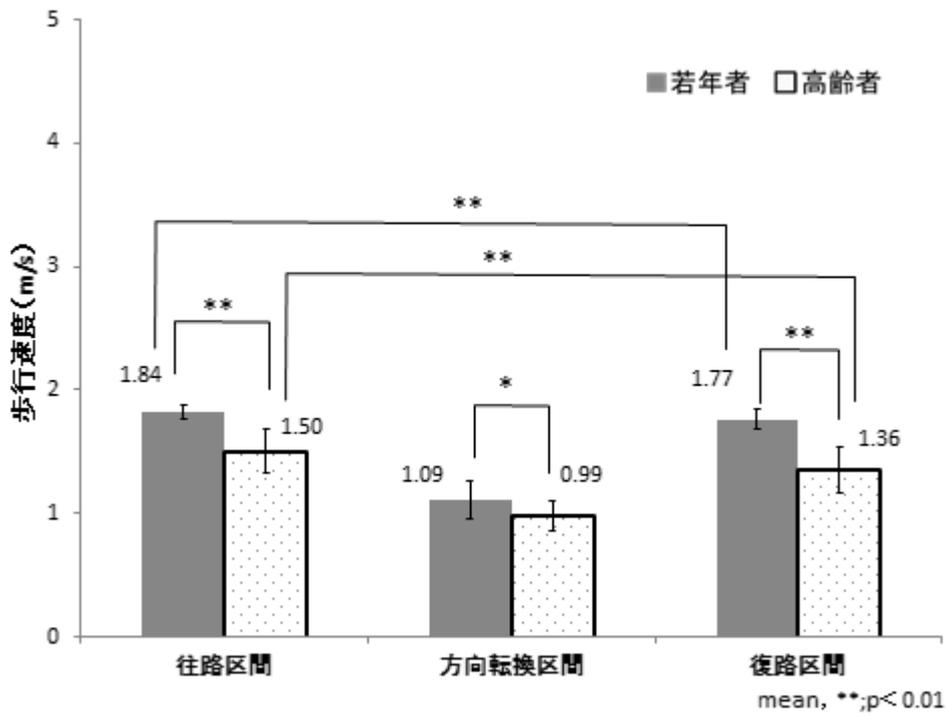


図 2-9 各区間の歩行速度

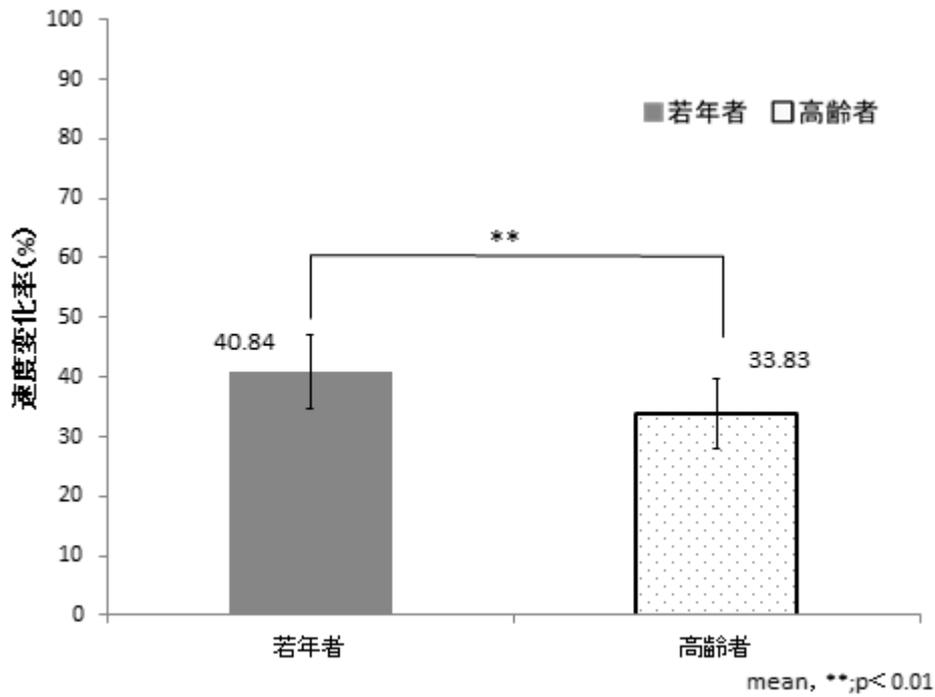


図 2-10 速度変化率

2-4. 考察

今回対象となった高齢者の TUG 所要時間の平均値は介護予防マニュアル改訂版の基準と比較して、特定高齢者には該当しない健常な高齢者であったが、それでも若年者の方が有意に TUG 所要時間は少なかった。

今回の結果では、着座区間だけでなく、方向転換区間においても、若年者に比べて高齢者の時間配分が大きくなった。方向転換区間においては、高齢者の所要時間の増加、歩行速度の低下が認められ、先行研究の報告^{15,23,24)}と一致した。一方、往路区間においても、高齢者の歩行速度の低下が認められたにもかかわらず、速度変化率は、健常若年者では方向転換区間に約 41%減速したことに對し、高齢者では約 34%の減速にとどまった。このことから、高齢者は TUG 遂行時、往路区間と方向転換区間の歩行速度の調整に支障をきたしている可能性が示唆された。

歩行中の急停止や方向転換動作では、動作に至る前の下腿三頭筋によるブレーキ^{31,32)}が特徴的である。高齢者においては前脛骨筋と腓腹筋が同時に活動する同時活動が報告されており³³⁾、姿勢制御場面での適切な同時活動は、関節の固定性を高め、姿勢制御の安定性が向上する³⁴⁻³⁶⁾とされるが、過剰な同時活動は転倒リスクにつながると言われている^{33,37)}。歩行速度の調整に支障をきたす要因を検討することは、高齢者の転倒リスクを考えるうえで重要と考える。

また、起立区間と着座区間、往路区間と復路区間を年齢ごとに比較した結果、若年者では往路区間に比べて復路区間の所要時間および時間配分が大きくなり、起立区間に比べて着座区間の所要時間および時間配分が小さくなった。さらに若年者では、往路区間に比べ復路区間の歩行速度が遅かった。これらのことから、方向転換後に復路区間で歩行速度を加速しすぎないことによって、すでに復路区間で着座へ向けた準備を開始していると思われる。そのため、着座区間の所要時間および時間配分が起立区間に比べて短くなるのではないかと推測される。これに對し、高齢者では若年者同様、往路区間に比べて復路区間の所要時間および時間配分が大きくなったが、起立区間と着座区間の所要時間および時間配分については明らかな差を認めなかった。加えて、若年者同様、往路区間に比べ復路区間の歩行速度は遅かった。これらのことから、高齢者においても、復路区間で着座へ向けた準備として歩行速度の加速を少なくしているにもかかわらず、着座に時間を要している可能性が考えられる。しかし、今回の計測環境では、起立区間および着座区間について、全ての赤外線反射マーカーを赤外線カメラに映すことが困難だったため、着座区間の詳細な分析が困難であり、時間の要素のみの解析にとどまった。

以上の結果から、本研究では、方向転換区間および方向転換に至る前の往路区間に着目し、解析を進めることとした。

第三章

TUG の往路区間および方向転換区間 における高齢者の運動学的特徴

3-1. はじめに

第二章の結果から、高齢者の TUG において、方向転換区間に着目し、運動学的分析を行うこととした。本章では、方向転換区間および方向転換に至る前の往路区間の歩行に関するパラメータ、方向転換動作中のステップのばらつきや前額面上の姿勢に着目して解析を行い、高齢者の運動学的特徴を明らかにすることを目的とする。

3-2. 方法

3-2-1. 対象

第二章で対象となった健常高齢者 28 名と健常若年者 22 名とした。

3-2-2. 計測方法

第二章と同様、計測課題動作の運動学的データの計測には、赤外線カメラ 10 台から構成される三次元動作解析装置 VICON612 (VICON-PEAK 社製) VICON MX (VICON Motion System 社製) を用いた。赤外線カメラのサンプリング周波数、マーカー貼付位置も第二章と同じ手法を用いた。

3-2-3. 計測課題

第二章の計測で得られた、TUG の計測データを解析に用いた。

3-2-4. 解析項目とデータの算出方法

今回、着目する方向転換区間は、第二章で定義した区間同様、対象者の移動軌跡が障害物座標を通過した後、方向転換し再び障害物座標を通過するまでとした。

本章では、以下の項目を算出し、各パラメータは TUG の 5 試行の平均値をとり、この値を対象者それぞれの代表値として解析した。

<算出パラメータ>

- ステップ数 (歩)

往路区間, 方向転換区間における歩数を算出した.

- 歩幅 (m)

往路区間, 方向転換区間における総軌跡長をステップ数で割ったものを歩幅として算出した.

- 総軌跡長 (m)

往路区間, 方向転換区間における, 対象者の左右上後腸骨棘の midpoint (CPSI) の水平面上の移動軌跡から総軌跡長を算出した.

- ステップ時間 (秒)

方向転換区間について, ステップの所要時間を検討するため, 方向転換区間におけるステップの所要時間を算出した. 方向転換区間におけるステップ数は 2~5 歩と, 対象者によって様々であった. そのため, 今回は方向転換区間における 1 歩目の接地から 2 歩目の接地までの時間を算出した.

- 回転半径 (m)

方向転換中の対象者の回転半径を評価するため, 対象者の CPSI から算出した移動軌跡の座標 (x_1, y_1) と水平面上の障害物座標 (x_0, y_0) との距離を, 三角関数を用いた以下の式より算出した (図 3-1). 方向転換区間における全ての移動軌跡の座標に対して, 水平面上の障害物座標との距離を算出し, この平均値を回転半径と定義した.

$$\text{移動軌跡座標と障害物座標の距離 (m)} = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$$

- 前額面上の姿勢の評価 (身体傾斜角度, 体幹傾斜角度)

方向転換区間中の前額面上の姿勢を評価するため, 身体傾斜角度と体幹傾斜角度を算出した (図 3-2). まず, COG の進行方向に対して垂直な前額面上に, 頭部セグメント (左右 Head, TOH) の中心点 (以下, 頭部中心点), 骨盤セグメント (左右 ASI, 左右 PSI) の中心点 (以下, 骨盤中心点), 左右の足関節中心点 (ANK, ANK2) の midpoint (以下, 足部中心点) を投影した. 絶対空間上における鉛直線に対する, 頭部中心点と左右の足部中心点を結んだ線, 頭部中心点と骨盤中心点を結んだ線の傾きを算出した. 方向転換区間における頭部中心点, 骨盤中心点, 足部中心点の全ての座標に対して, 頭部中心点と左右の足部中心点を結んだ線および頭部中心点と骨盤中心点を結んだ線と, 絶対空間上の鉛直線に対する傾きを算出し, この平均値をそれぞれ身体傾斜角度 ($^\circ$), 体幹傾斜角度 ($^\circ$) と定義して, 前額面上の姿勢を評価した.

- ステップのばらつき

歩行や歩き始めにおいては、1歩行周期の変動係数やステップ時の足部位置のばらつきの大きさに加齢の影響が大きく、転倒リスクが高い¹⁷⁻¹⁹⁾ことが先行研究で報告されている。このことから、往路区間と方向転換区間のステップ数、方向転換区間のステップ時間、往路区間と方向転換区間の歩幅について、5試行のTUGにおける変動係数をステップのばらつきを示す指標として算出した。

- ステップの向き

転倒リスクの高い高齢者は、支持脚に対して先導脚がクロスしてしまうクロスオーバー現象が出現する²⁰⁾と先行研究で報告されている。また、臨床的にもTUGにおける方向転換動作中、足部の向きが内向きを呈したり、外向きを呈したり、ステップの方法が特徴的な高齢者を目にすることは少なくない。そこで、方向転換区間の1歩目と2歩目について、ステップ時の足部の向きを調査した。1歩目の足部の位置で定義した局所座標系に対し、2歩目の足部座標を座標変換した(図3-3)。変換した座標に投影されたMP、MP1の midpoint と、HEE座標を結んだ線の傾きを算出し、足部の向きと定義した。外側脚が2歩目の場合、傾きが一であれば外側脚足部は内転、傾きが+であれば外転を示す。内側脚が2歩目の場合、傾きが一であれば内側脚足部は外転、傾きが+であれば内転を示す。この指標を用いて、進行方向に対し、足部が内向きで接地したか、外向きで接地したかを判別した。TUG 5試行で判別を行い、5試行のステップの向きをそれぞれカウントした。

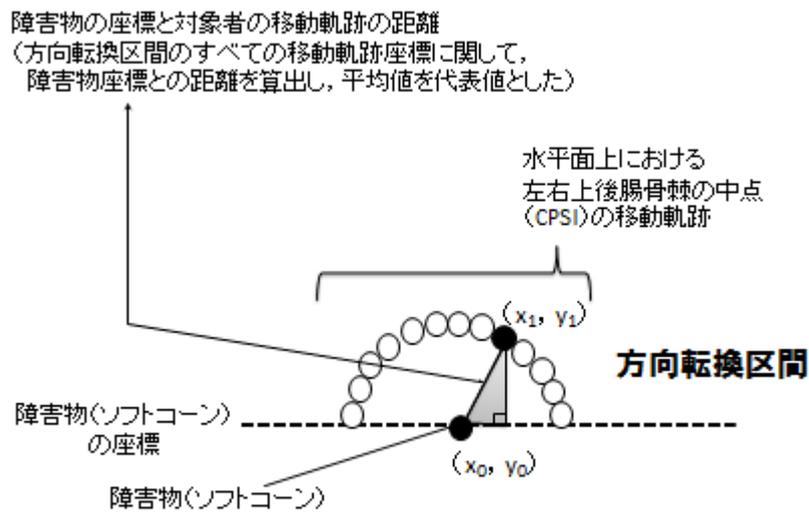


図 3-1 回転半径の算出方法

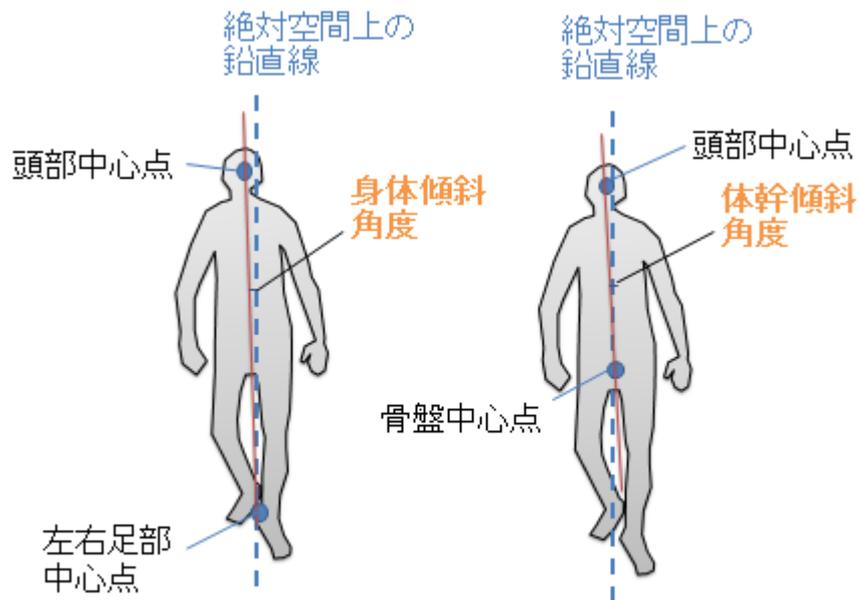


図 3-2 前額面上の姿勢 評価指標

例) 反時計回りに方向転換する場合

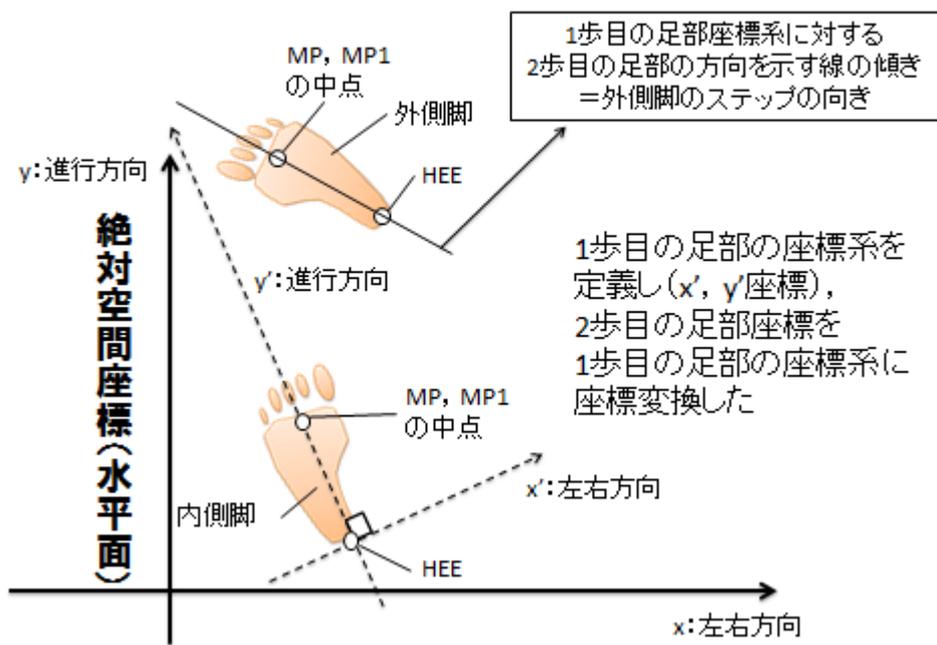


図 3-3 ステップの向き 算出方法

3-2-5. 統計学的分析

対応のない t 検定により高齢者と若年者で各パラメータを比較した。

高齢者における TUG 所要時間と運動学的パラメータとの関連、高齢者における速度変化率と運動学的パラメータとの関連、往路区間と方向転換区間の運動学的パラメータの関係をみるために相関分析を行った。相関分析には、Pearson の積率相関係数（以下、 r ）を用いた。相関係数の大きさは、 $|r| \leq 0.2$ ：ほとんど相関なし、 $0.2 < |r| \leq 0.4$ ：弱い相関あり、 $0.4 < |r| \leq 0.7$ ：中等度の相関あり、 $0.7 < |r|$ ：強い相関ありを目安とした。

また、ステップの向きによる方向転換動作の特徴を検討するため、方向転換区間の総軌跡長を比較した。高齢者を方向転換時のステップによって 2 群に分類し、若年者群も加えて計 3 群に設定した。3 群における方向転換区間の総軌跡長のデータは、Shapiro-Wilk 検定を行い、正規性を確認した後、対応のない 3 群間の一元配置分散分析、多重比較（Turkey）によって比較した。

なお、統計学的処理には SPSS 22（IBM 社）を用い、有意水準は 5% とした。効果量については、対応のない t 検定では d を、相関分析では r を用い、0.10：効果小、0.30：効果中、0.50：効果大とした。また、相関分析では決定係数（以下、 r^2 ）を算出した。一元配置分散分析では効果量として η^2 を算出し、0.01：効果小、0.06：効果中、0.14：効果大とした。

3-3. 結果

3-3-1. 高齢者と若年者の比較

i) 往路区間

高齢者と若年者で各パラメータについて、対応のない t 検定を用い比較した (図 3-4). ステップ数は若年者に比べて高齢者は有意に多かった ($t(37.92) = 5.27$, $p < 0.001$, $d = 1.37$). 歩幅は, 若年者に比べて高齢者は有意に小さかった ($t(48) = -5.27$, $p < 0.001$, $d = 1.48$). 総軌跡長は, 若年者と高齢者とで差がみられなかった ($t(48) = 0.363$, $p = 0.719$).

高齢者と若年者の変動係数について, 対応のない t 検定を用い比較した結果 (図 3-5), ステップ数および歩幅の変動係数は, 若年者と高齢者で差がみられなかった (ステップ数の変動係数 $t(35.59) = -1.23$, $p = 0.225$, 歩幅の変動係数 $t(36.09) = -1.20$, $p = 0.238$).

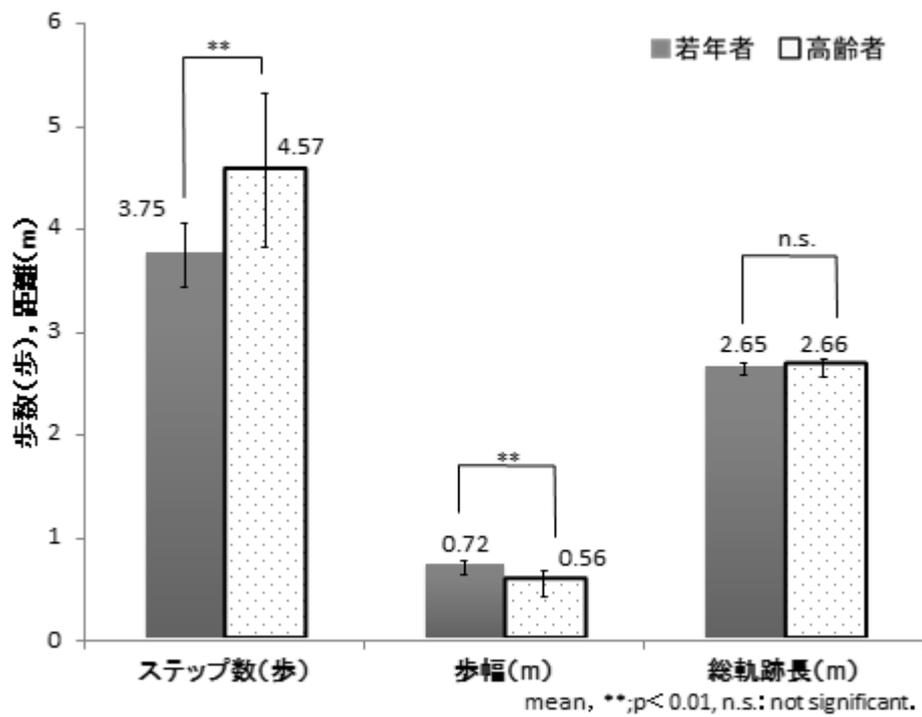


図 3-4 往路区間のパラメータの比較

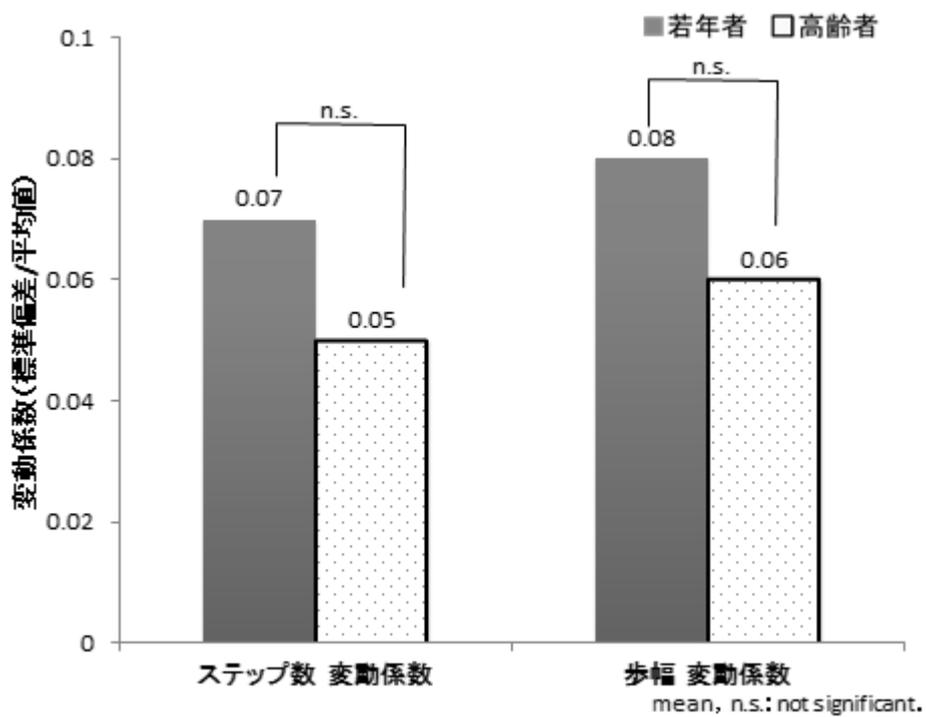


図 3-5 往路区間における変動係数の比較

ii) 方向転換区間

高齢者と若年者の各パラメータについて、対応のない t 検定を用い比較した (図 3-6, 図 3-7). ステップ時間, 歩幅, 回転半径, 総軌跡長は, 若年者に比べて高齢者は有意に長く, 大きかった (ステップ時間 $t(48) = 3.22$, $p = 0.002$, $d = 0.97$, 歩幅 $t(48) = 5.06$, $p < 0.001$, $d = 1.40$, 回転半径 $t(48) = 4.74$, $p < 0.001$, $d = 1.45$, 総軌跡長 $t(48) = 4.84$, $p < 0.001$, $d = 1.41$). 身体傾斜角度は, 若年者に比べて高齢者は有意に小さかった (身体傾斜角度 $t(47) = -3.88$, $p < 0.001$, $d = 1.12$). ステップ数と体幹傾斜角度は, 若年者と高齢者で差がみられなかった (ステップ数 $t(48) = 1.90$, $p = 0.063$, 体幹傾斜角度 $t(47) = -0.314$, $p = 0.755$).

高齢者と若年者の変動係数について, 対応のない t 検定を用い比較した結果 (図 3-8), ステップ数およびステップ時間の変動係数は, 若年者と高齢者で差がみられなかった (ステップ数の変動係数 $t(48) = 0.561$, $p = 0.577$, ステップ時間の変動係数 $t(48) = -1.05$, $p = 0.299$). 歩幅の変動係数は若年者に比べ高齢者の方が有意に小さかった ($t(46) = -2.64$, $p = 0.011$, $d = 0.80$). 歩幅の変動係数については, 両群で歩幅の標準偏差に差がみられないものの, 平均値は高齢者の方が大きいため, 有意差が生じたと考える.

方向転換区間におけるステップの向きをみると (表 3-1), ばらつきはあるものの, 若年者は内側脚, 外側脚ともに進行方向に対して内向きにステップする傾向がみられたが, 高齢者では外側脚に特徴がみられ, 28 名のうち 4 名 (5 試行のうち全て外向き: 3 名, 5 試行のうち 3 試行は外向き・2 試行は内向き: 1 名) が外向きに接地し, 若年者と異なるステップで方向転換を行う高齢者が存在することが分かった.

この結果から, 若年者と比較して高齢者は, 方向転換区間において, ステップに時間を要し, 歩幅を大きくし, 直立に近い姿勢で大回りの方向転換をすることが分かった (図 3-9, 図 3-10).

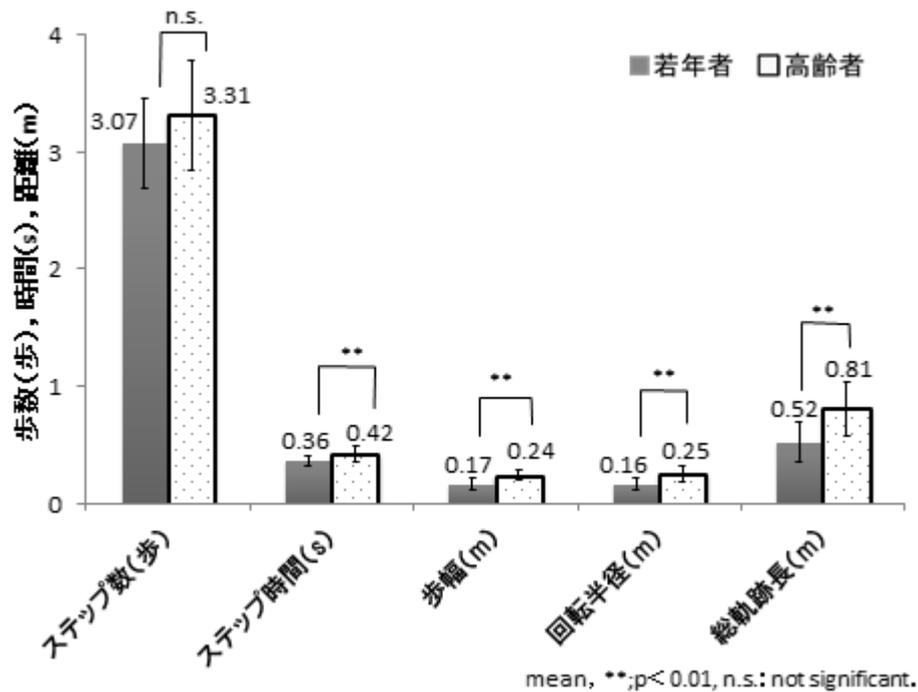


図 3-6 方向転換区間のパラメータの比較

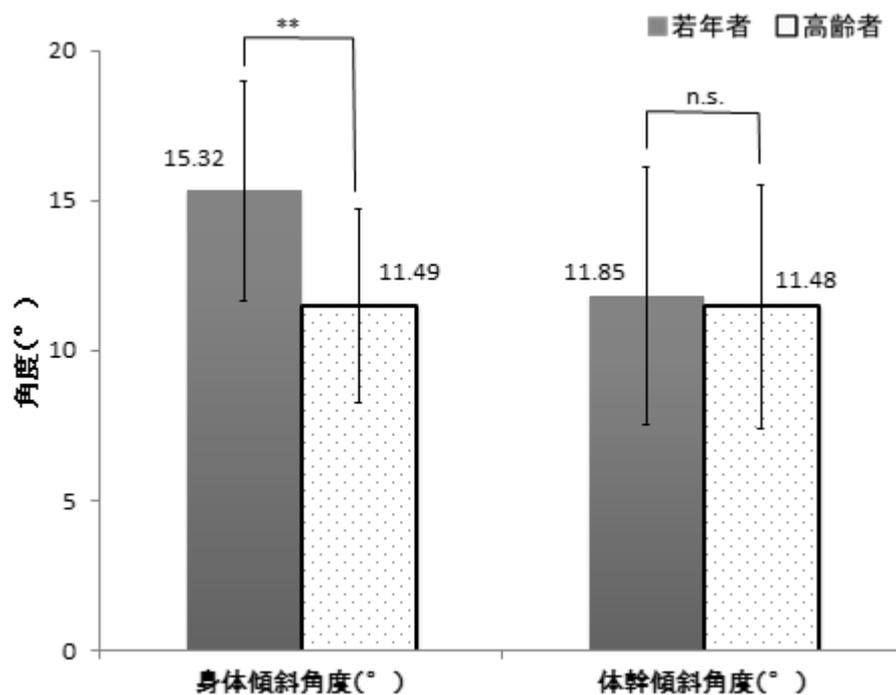


図 3-7 方向転換区間における身体傾斜角度・体幹傾斜角度の比較

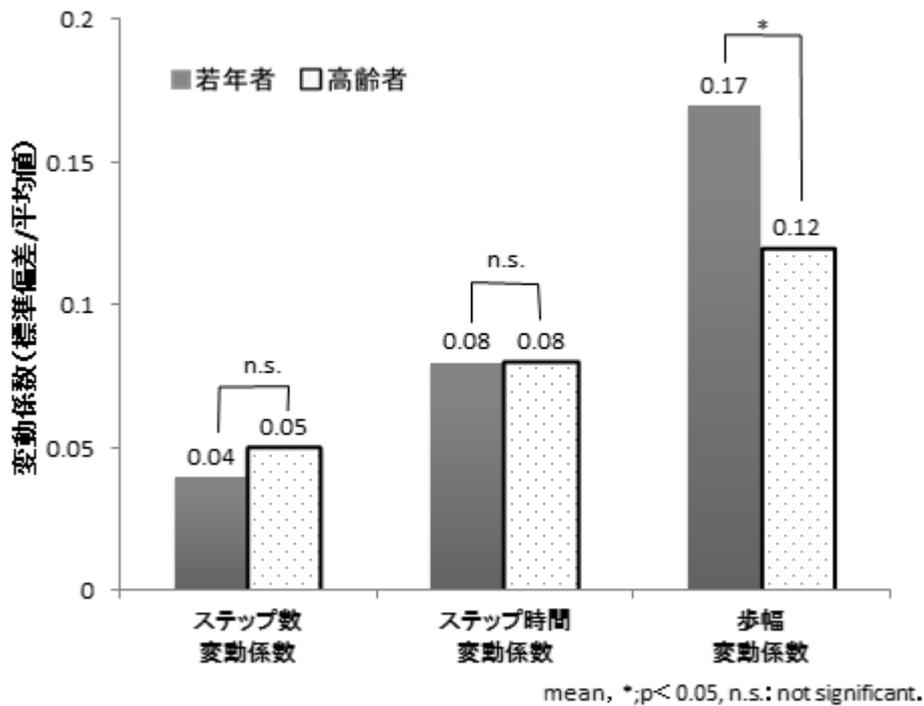


図 3-8 方向転換区間における変動係数の比較

表 3-1 方向転換区間におけるステップの向きの比較

ステップの向き	高齢者 (n=28)	若年者 (n=22)
外側脚	全て外向き : 3 名	外向き 2 内向き 3 : 1 名
	外向き 3 内向き 2 : 1 名	外向き 1 内向き 1 : 1 名
	外向き 1 内向き 4 : 2 名	全て内向き : 20 名
	全て内向き : 22 名	
内側脚	全て内向き : 28 名	全て内向き : 22 名

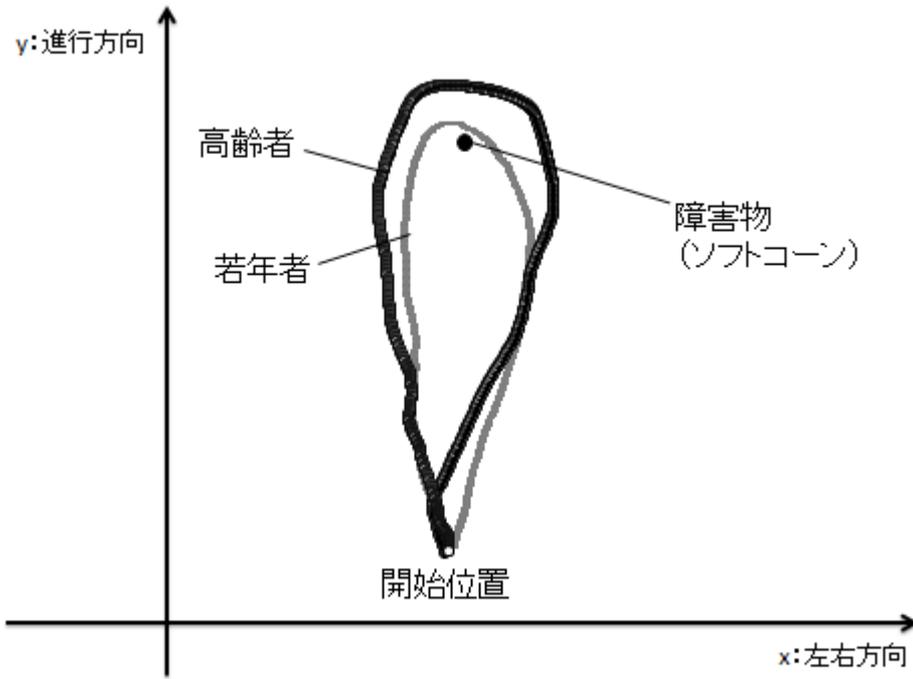


図 3-9 水平面上の移動軌跡（高齢者と若年者の代表例）

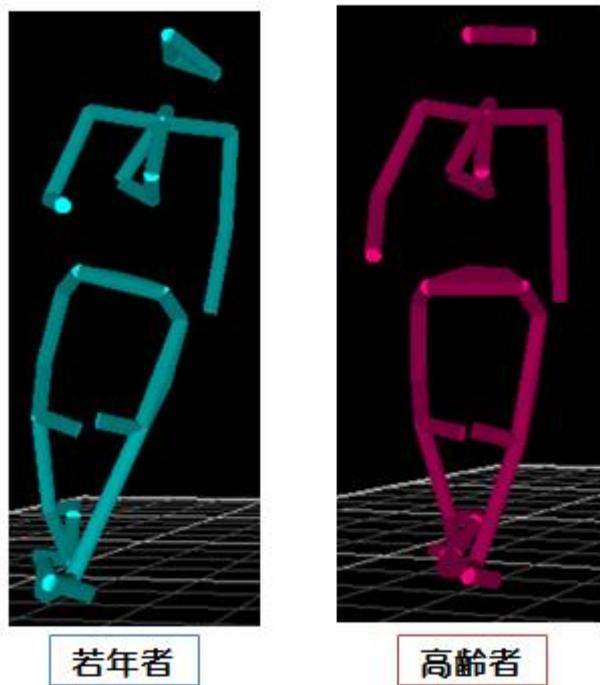


図 3-10 TUGにおける方向転換時の前額面上の姿勢（高齢者と若年者の代表例）

3-3-2. 高齢者における TUG 所要時間と運動学的パラメータとの関連

3-3-1. 項では、若年者と高齢者を比較した結果、往路区間の歩行や方向転換動作に違いがあることが分かった。次に、高齢者個々の運動学的特徴を分析することにした。

まず、高齢者の TUG 所要時間と運動学的各パラメータとの関連を明らかにするため、TUG 所要時間と各パラメータの相関分析を行った。はじめに、TUG 所要時間と年齢の影響を確認するため、TUG 所要時間と年齢を相関分析したところ、 $r=0.31$, $p=0.11$, $r^2=0.10$ であり、相関関係は認められなかった (図 3-11)。また、TUG 所要時間と速度変化率に関しても、相関分析を行った結果、 $r=-0.23$, $p=0.24$, $r^2=0.05$ であり、相関関係は認められなかった (図 3-12)。この結果から、今回の対象者において TUG 所要時間に年齢および速度変化率は関係がないことが分かった。

比較するパラメータは、第二章、第三章で得られた結果のうち、若年者と高齢者の間に差が認められた項目とし、i) 往路区間については、歩行速度、ステップ数、歩幅とした。ii) 方向転換区間については、歩行速度、ステップ時間、歩幅、回転半径、総軌跡長、身体傾斜角度とした。方向転換区間における回転半径、総軌跡長はどちらも方向転換時の移動距離を示す指標であり、3-3-1 項の結果から、どちらも同じ結果が得られたため、移動距離を示す指標として、ここでは総軌跡長を採用した。

これらの運動学的パラメータと TUG 所要時間の相関分析をした結果、方向転換区間のステップ時間 ($r=0.50$, $p=0.007$, $r^2=0.25$: 図 3-17)、方向転換区間の歩幅 ($r=0.69$, $p<0.001$, $r^2=0.48$: 図 3-18)、方向転換区間の総軌跡長 ($r=0.81$, $p<0.001$, $r^2=0.66$: 図 3-19) については、TUG 所要時間と有意な正の相関関係を認めた。往路区間の歩行速度 ($r=-0.81$, $p<0.001$, $r^2=0.66$: 図 3-13)、方向転換区間の歩行速度 ($r=-0.70$, $p<0.001$, $r^2=0.49$: 図 3-16)、身体傾斜角度 ($r=-0.80$, $p<0.001$, $r^2=0.64$: 図 3-20) については、TUG 所要時間と有意な負の相関を認めた。往路区間のステップ数 ($r=0.37$, $p=0.053$, $r^2=0.14$: 図 3-14)、往路区間の歩幅 ($r=0.04$, $p=0.577$, $r^2=0.002$: 図 3-15) については TUG 所要時間との相関関係を認めなかった。

この結果から、TUG に時間のかかる高齢者ほど、往路区間および方向転換区間の歩行速度低下、方向転換区間のステップ時間の増大、方向転換区間の歩幅の増大、方向転換区間の総軌跡長の増大、方向転換区間の身体傾斜角度の減少がみられることが分かった。

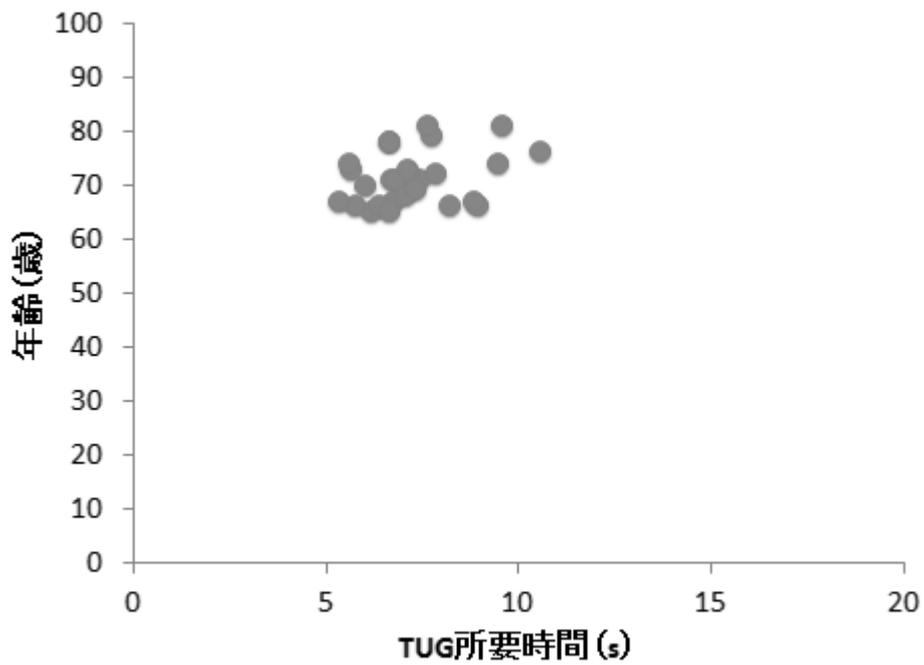


図 3-11 TUG 所要時間と年齢の関係

$r=0.31$, p : not significant, $r^2=0.10$

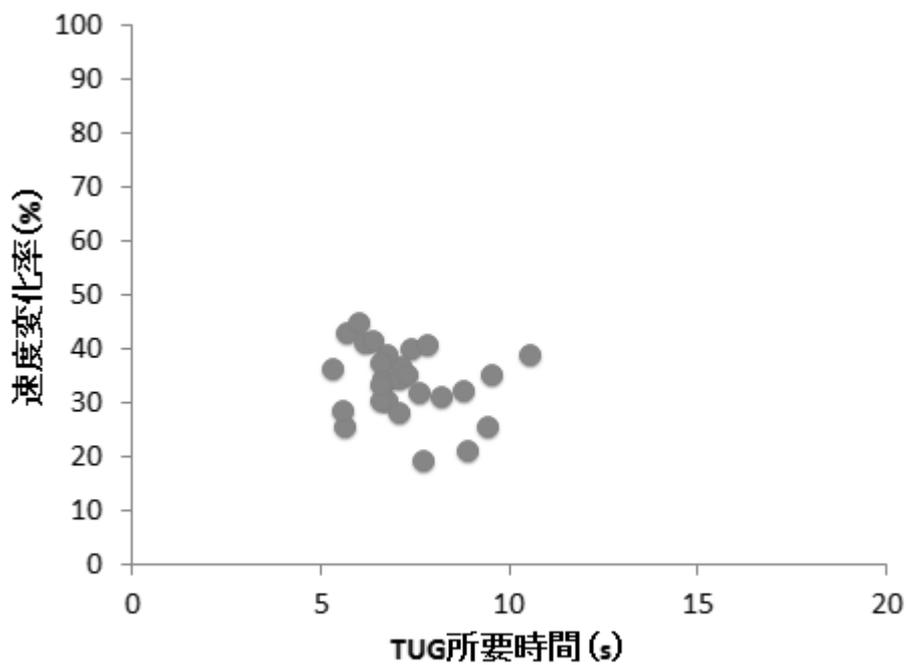


図 3-12 TUG 所要時間と速度変化率の関係

$r=-0.23$, p : not significant, $r^2=0.05$

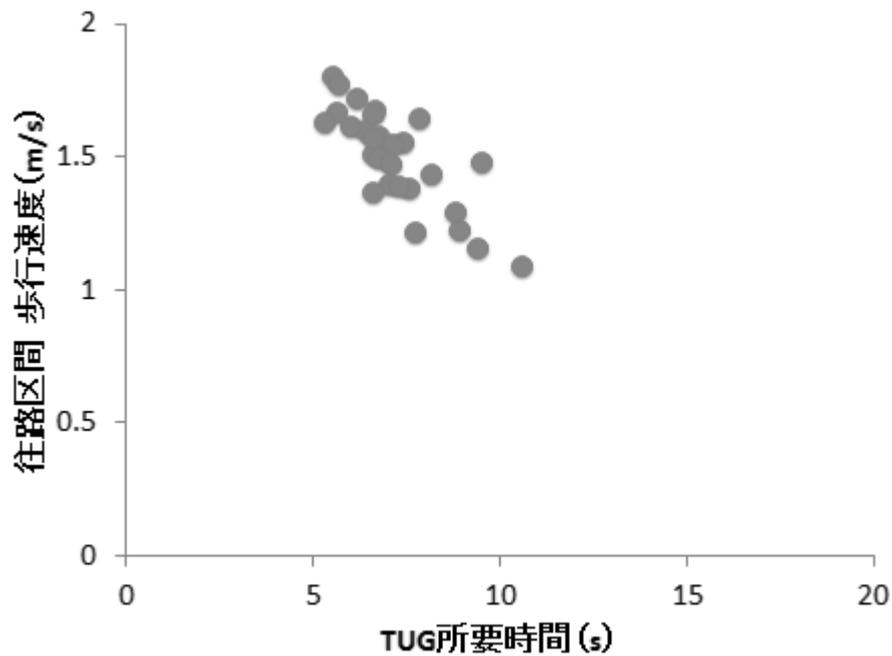


図 3-13 TUG 所要時間と往路区間の歩行速度との関係

$r=-0.81$, $p<0.001$, $r^2=0.66$

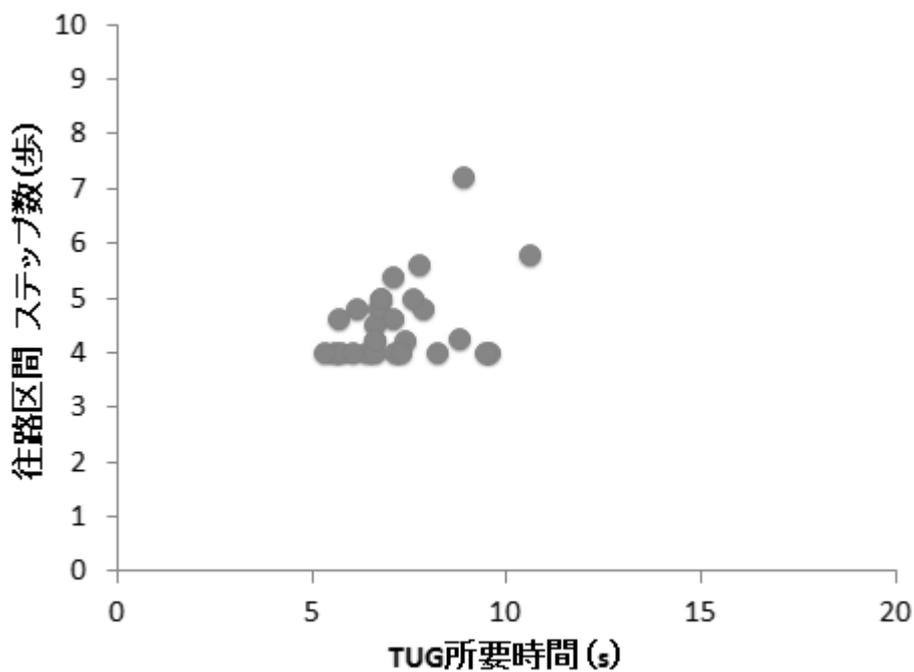


図 3-14 TUG 所要時間と往路区間のステップ数との関係

$r=0.37$, p : not significant, $r^2=0.14$

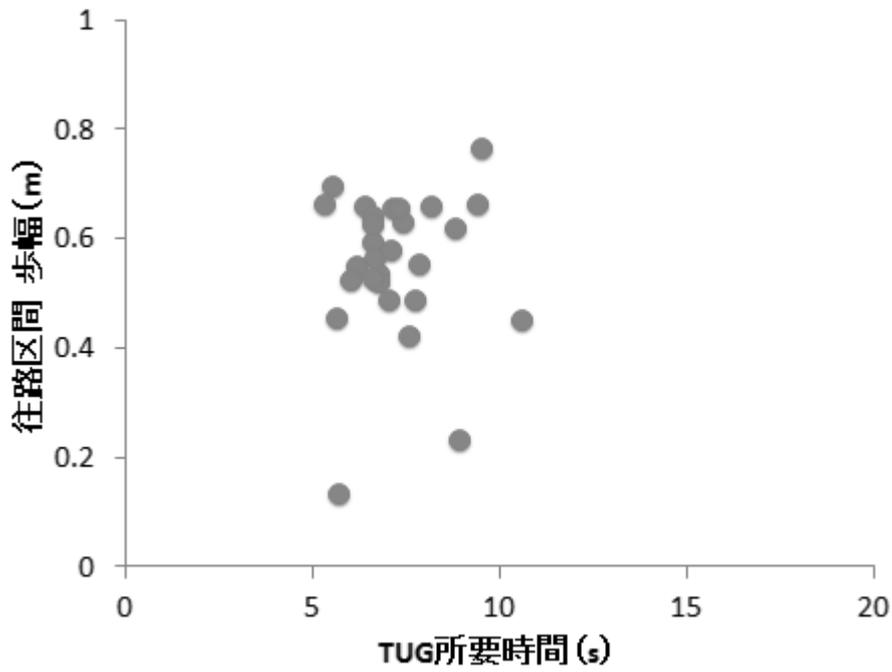


図 3-15 TUG 所要時間と往路区間の歩幅との関係
 $r=0.04$, p : not significant, $r^2=0.002$

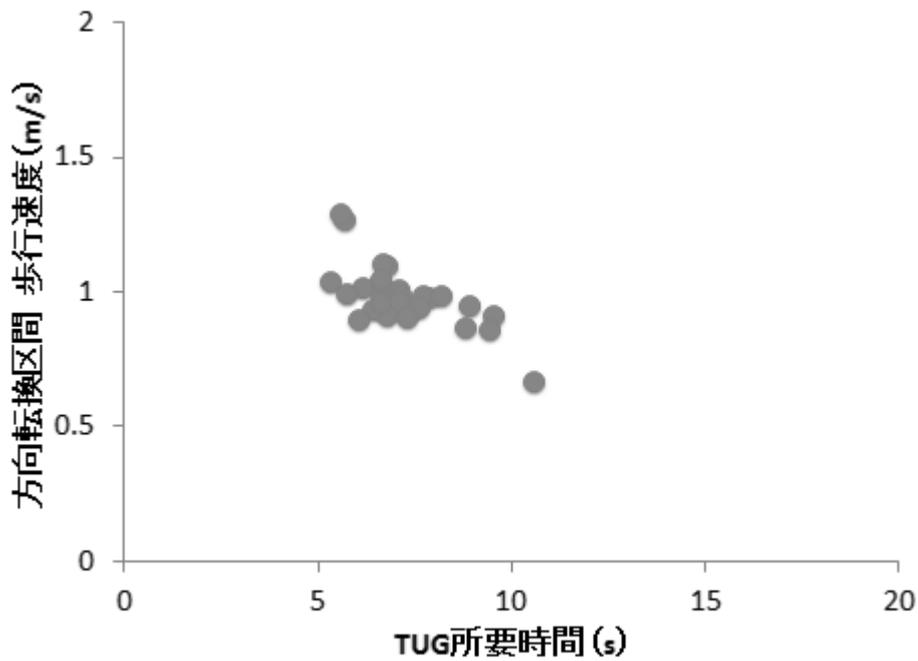


図 3-16 TUG 所要時間と方向転換区間の歩行速度との関係
 $r=-0.70$, $p<0.001$, $r^2=0.49$

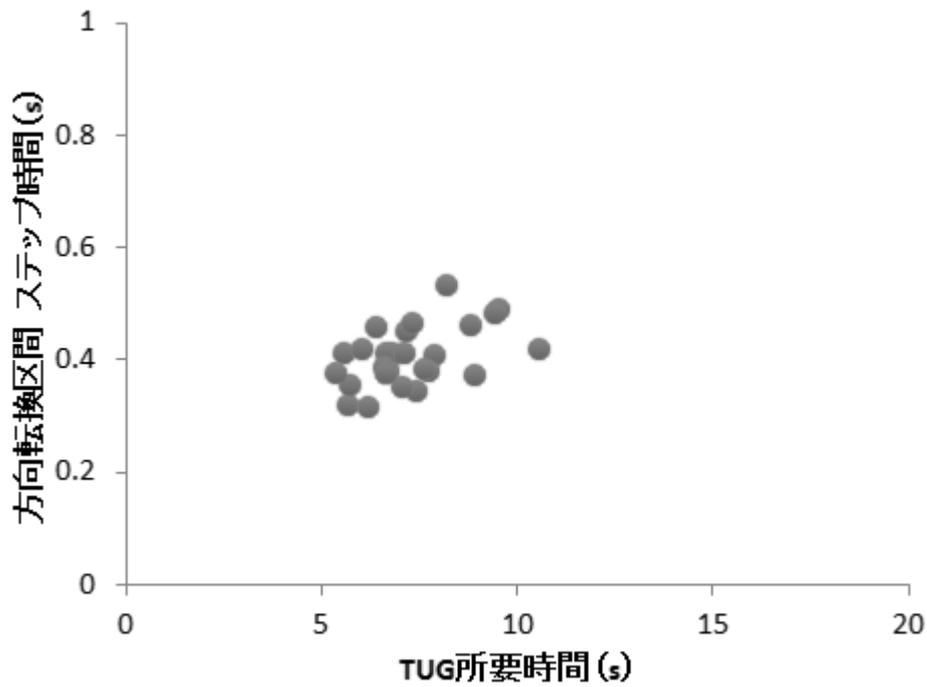


図 3-17 TUG 所要時間と方向転換区間のステップ数との関係
 $r=0.50$, $p=0.007$, $r^2=0.25$

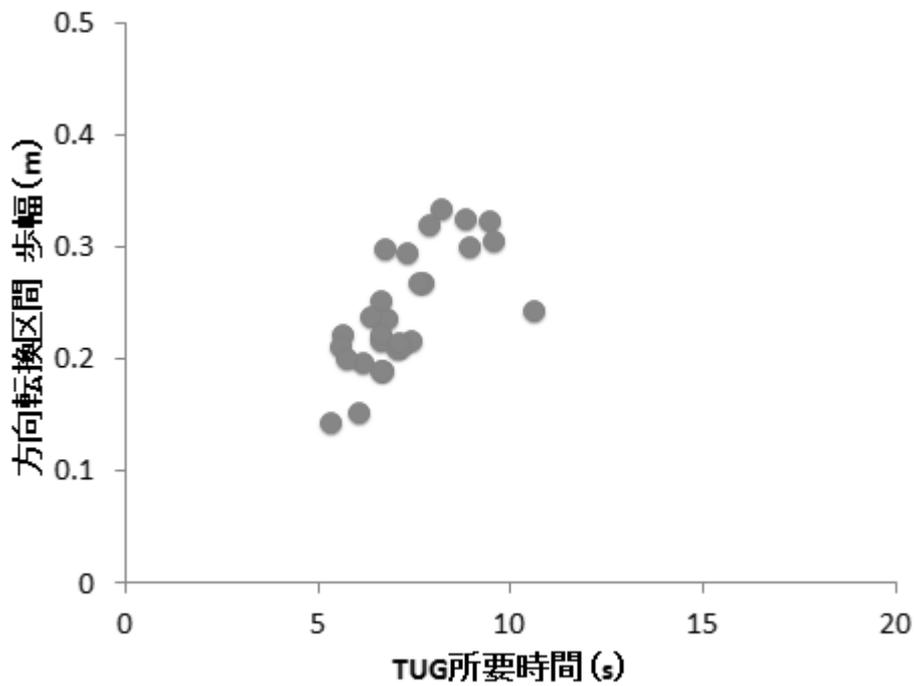


図 3-18 TUG 所要時間と方向転換区間の歩幅との関係
 $r=0.69$, $p<0.001$, $r^2=0.48$

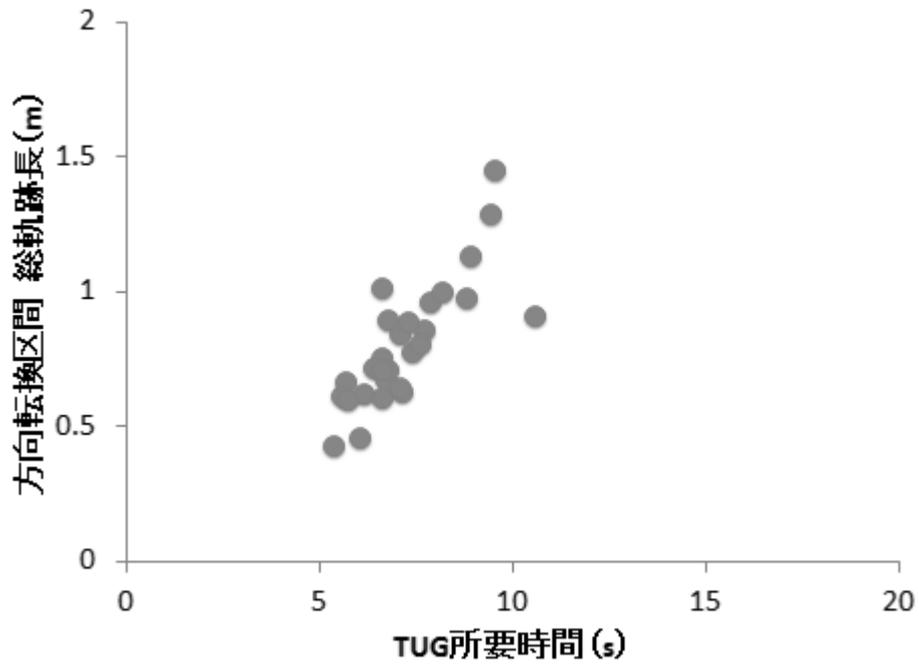


図 3-19 TUG 所要時間と方向転換区間の総軌跡長との関係
 $r=0.81$, $p<0.001$, $r^2=0.66$

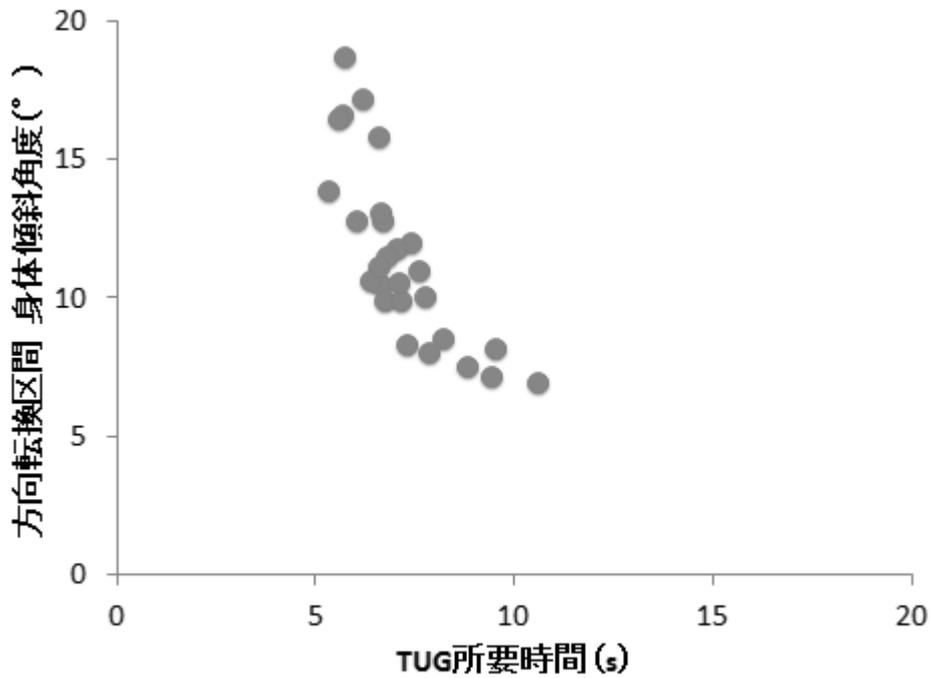


図 3-20 TUG 所要時間と方向転換区間の身体傾斜角度との関係
 $r=-0.80$, $p<0.001$, $r^2=0.64$

3-3-3. 高齢者における速度変化率と運動学的パラメータとの関連

次に、歩行速度の変化と運動学的パラメータとの関連を明らかにするため、速度変化率と各パラメータの相関分析を行った。まず、速度変化率と年齢の関係を確認するため、速度変化率と年齢を相関分析したところ、 $r=-0.17$, $p=0.402$, $r^2=0.03$ であり、相関関係は認められなかった (図 3-21)。このことから、今回の対象者においては、速度変化率に年齢は関係ないことが分かった。

3-3-2 項と同様に、運動学的パラメータと速度変化率の相関分析をした結果、往路区間の歩行速度は、速度変化率と有意な正の相関関係を認めた ($r=0.48$, $p=0.01$, $r^2=0.23$: 図 3-22)。往路区間のステップ数 ($r=-0.44$, $p=0.02$, $r^2=0.19$: 図 3-23)、方向転換区間の歩幅 ($r=-0.40$, $p=0.04$, $r^2=0.16$: 図 3-27)、方向転換区間の総軌跡長 ($r=-0.40$, $p=0.04$, $r^2=0.16$: 図 3-28) については、速度変化率と有意な負の弱い相関関係を認めた。往路区間の歩幅 ($r=0.10$, $p=0.964$, $r^2=0.01$: 図 3-24)、方向転換区間の歩行速度 ($r=0.30$, $p=0.124$, $r^2=0.09$: 図 3-25)、方向転換区間のステップ時間 ($r=0.27$, $p=0.893$, $r^2=0.07$: 図 3-26)、方向転換区間の身体傾斜角度 ($r=0.17$, $p=0.388$, $r^2=0.03$: 図 3-29) については、速度変化率との相関が認められなかった。

この結果から、速度変化率の小さい、すなわち方向転換区間での歩行速度の減速が少ない高齢者ほど、往路区間の歩行速度が低下し、方向転換区間の歩幅が大きく、方向転換区間の総軌跡長も増大することが分かった。

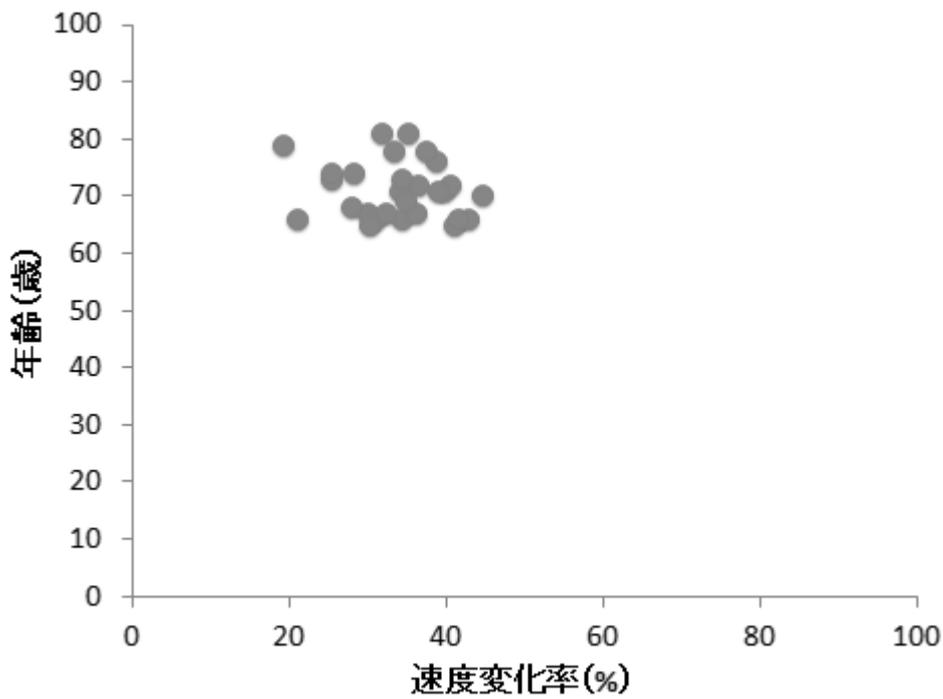


図 3-21 速度変化率と年齢の関係

$r=-0.17$, p : not significant, $r^2=0.03$

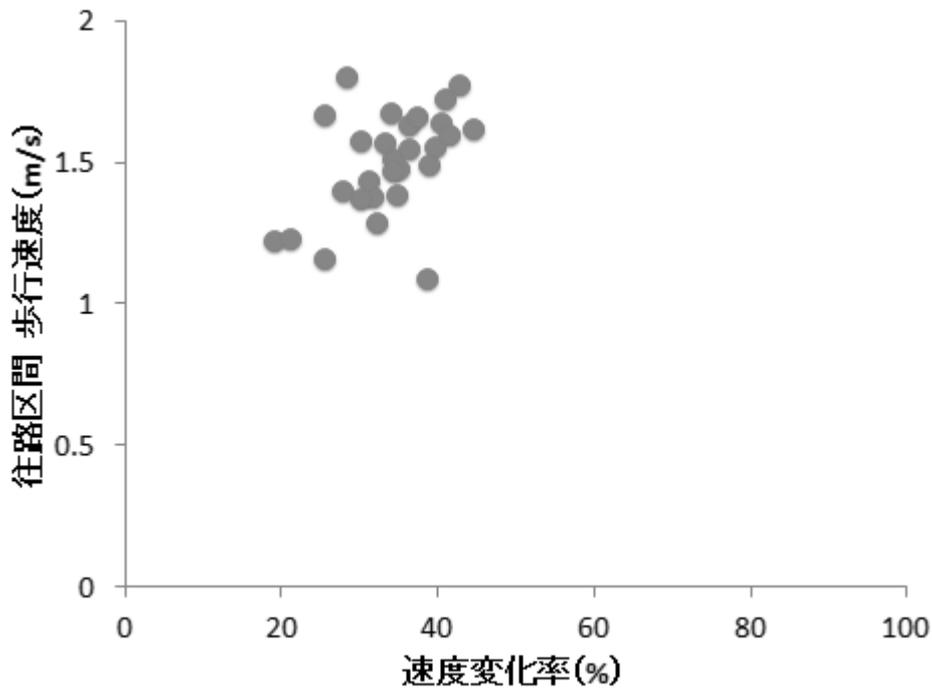


図 3-22 速度変化率と往路区間の歩行速度との関係

$r=0.48$, $p=0.01$, $r^2=0.23$

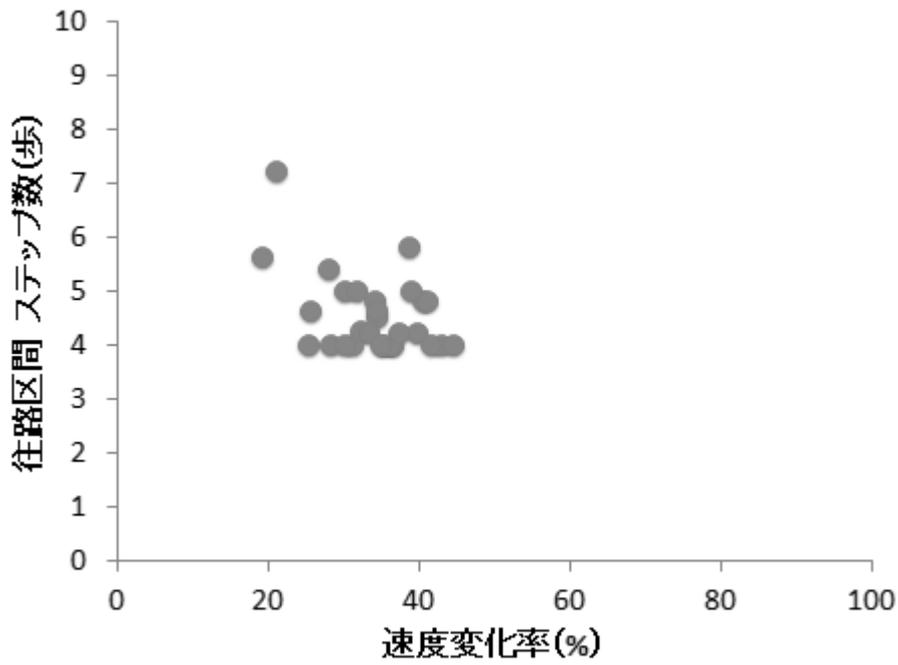


図 3-23 速度変化率と往路区間のステップ数との関係
 $r=-0.44$, $p=0.02$, $r^2=0.19$

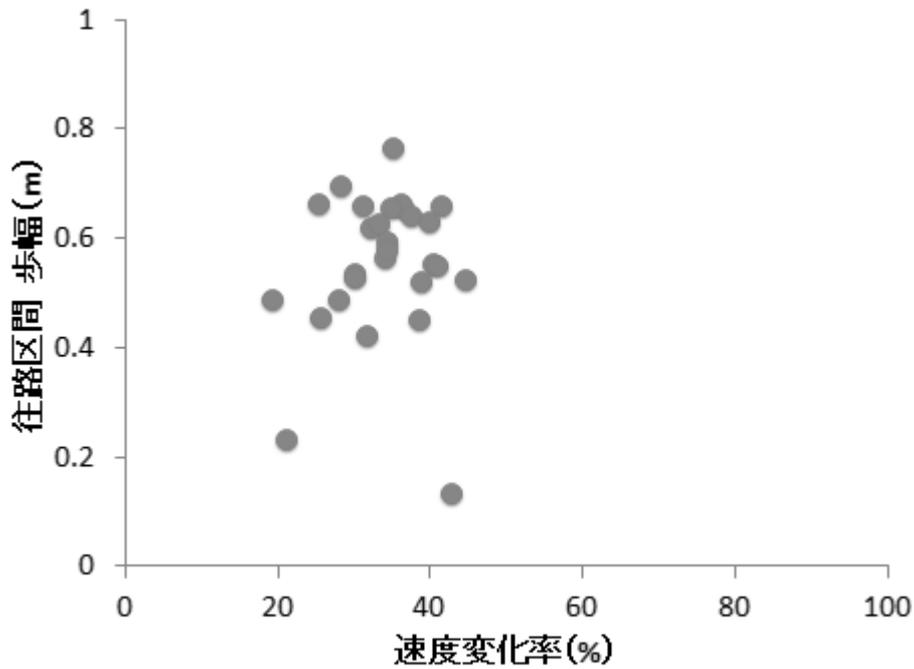


図 3-24 速度変化率と往路区間の歩幅との関係
 $r=0.10$, p : not significant, $r^2=0.01$

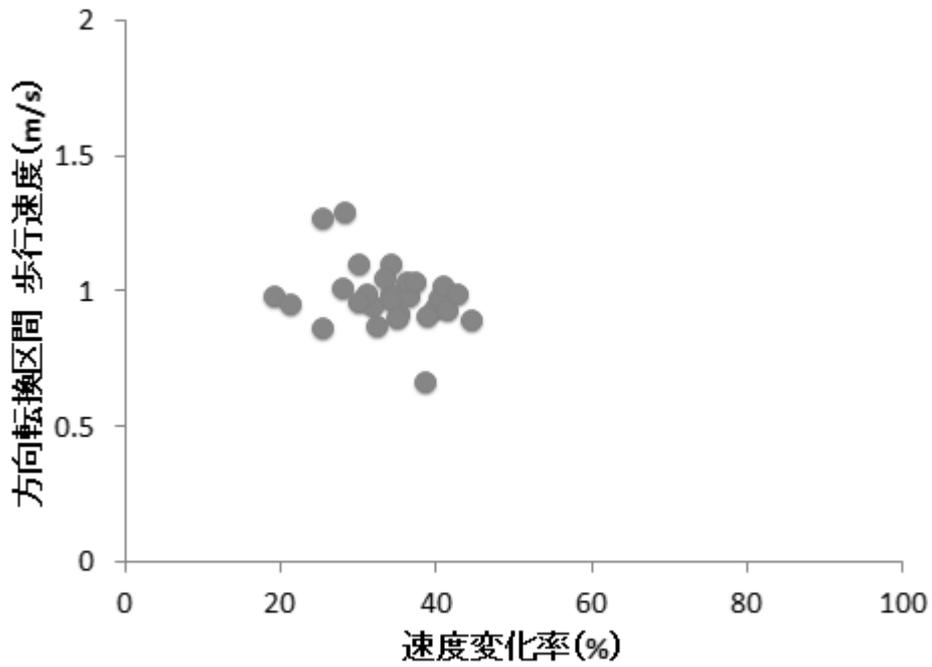


図 3-25 速度変化率と方向転換区間の歩行速度との関係

$r=0.30$, p : not significant, $r^2=0.09$

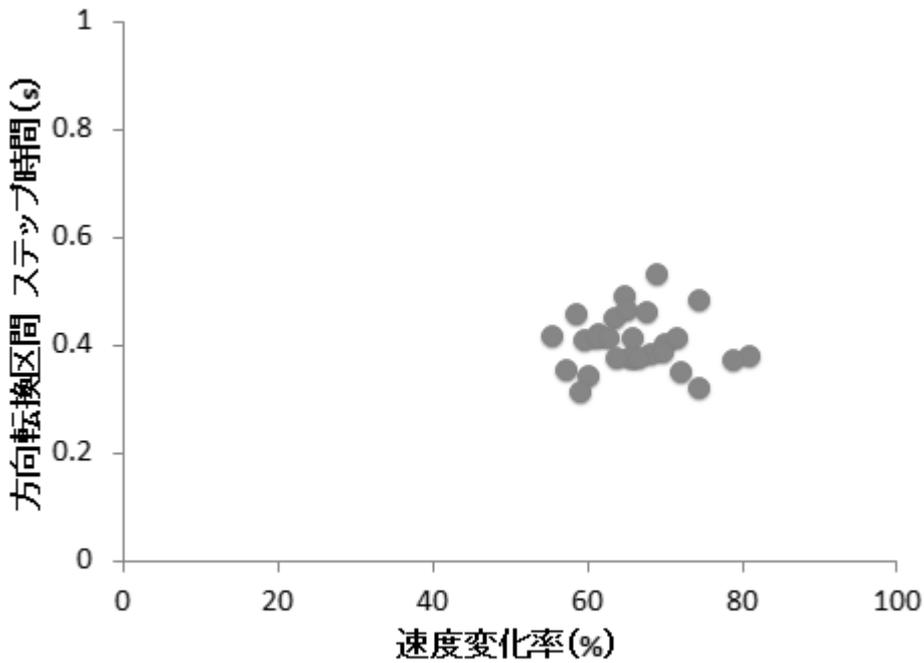


図 3-26 速度変化率と方向転換区間のステップ時間との関係

$r=0.27$, p : not significant, $r^2=0.07$

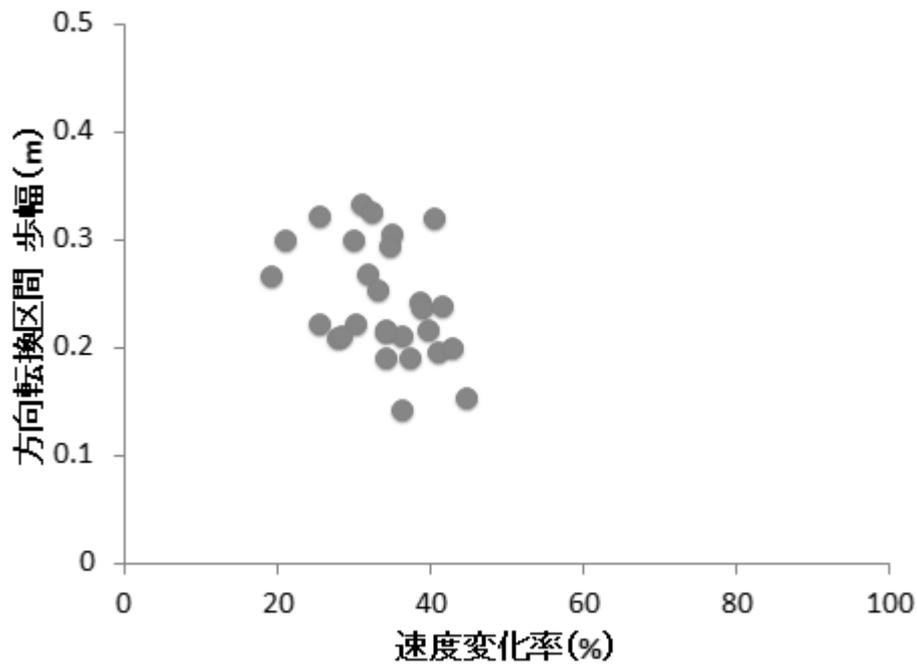


図 3-27 速度変化率と方向転換区間の歩幅との関係

$r=-0.40$, $p=0.04$, $r^2=0.16$

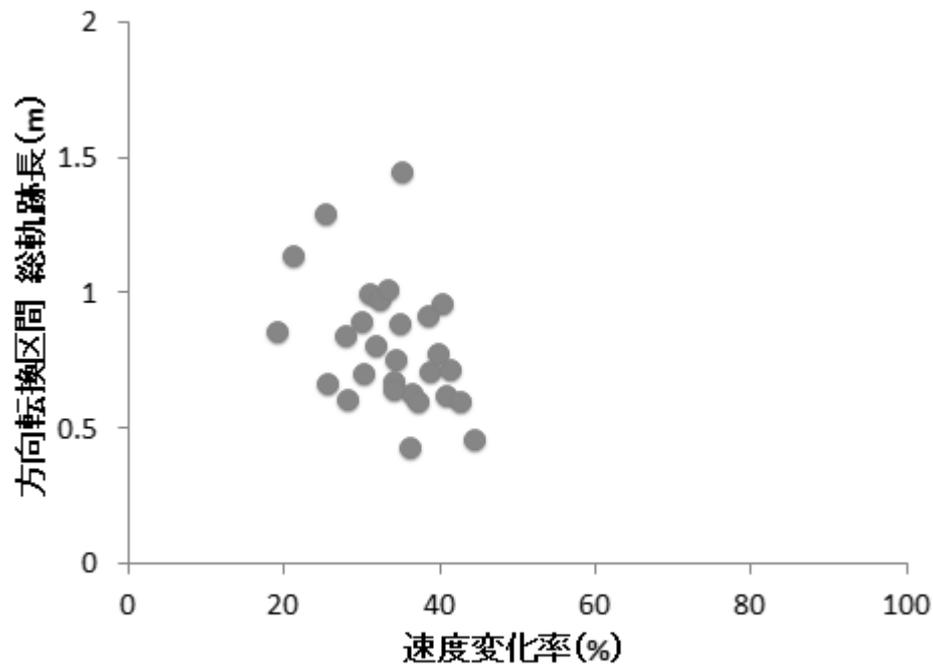


図 3-28 速度変化率と方向転換区間の総軌跡長との関係

$r=-0.40$, $p=0.04$, $r^2=0.16$

3-3-4. 高齢者における往路区間と方向転換区間の運動学的パラメータの関係

第二章において、高齢者は TUG 遂行時、歩行速度の調整に支障をきたしている可能性が示唆されたため、往路区間と方向転換区間における、歩行速度、歩幅、ステップ数について相関分析を行った。

その結果、往路区間の歩行速度と往路区間のステップ数に負の相関 ($r=-0.46$, $p=0.015$, $r^2=0.21$: 図 3-30), 往路区間の歩行速度と方向転換区間の歩行速度に正の相関 ($r=0.69$, $p<0.001$, $r^2=0.48$: 図 3-31), 往路区間の歩行速度と方向転換区間の歩幅に負の相関 ($r=-0.53$, $p=0.003$, $r^2=0.28$: 図 3-32), 往路区間のステップ数と往路区間の歩幅に負の相関 ($r=-0.58$, $p=0.001$, $r^2=0.34$: 図 3-33) が認められた。

往路区間においては、歩行速度の遅い高齢者ほどステップ数が増え、ステップ数が増える高齢者ほど歩幅が小さくなることが分かった。方向転換区間においては、方向転換区間の歩行速度が遅い高齢者ほど往路の歩行速度も遅く、方向転換区間の歩幅が大きい高齢者ほど往路の歩行速度が遅くなることが分かった。一般的には、歩行速度が速いほど歩幅も大きくなるが、高齢者の TUG 課題においては往路の歩行速度が遅い高齢者ほど、方向転換区間の歩幅が大きくなる結果となった。

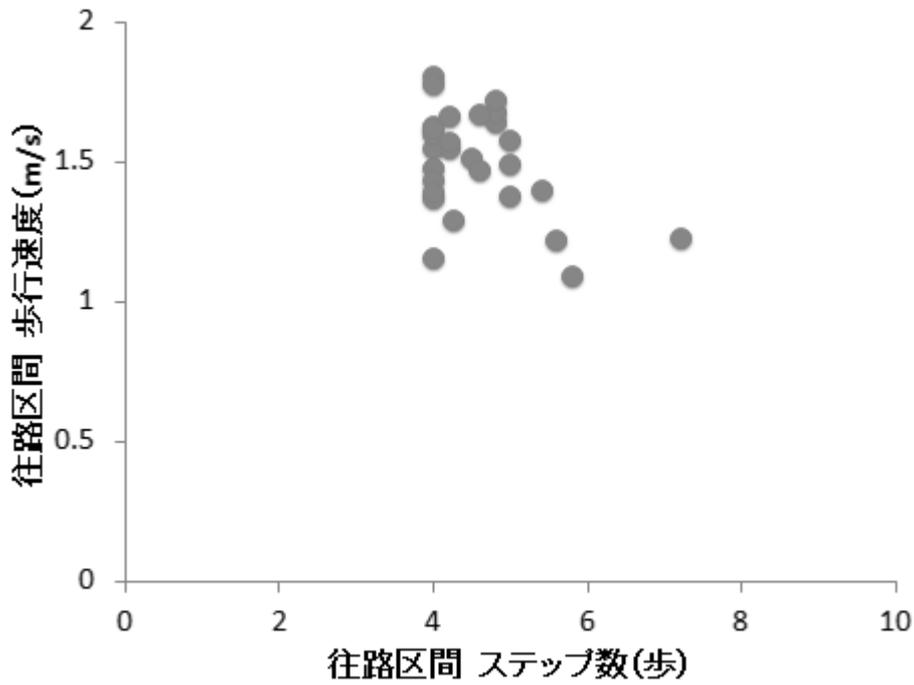


図 3-30 往路区間の歩行速度と往路区間のステップ数の関係
 $r=-0.46$, $p=0.015$, $r^2=0.21$

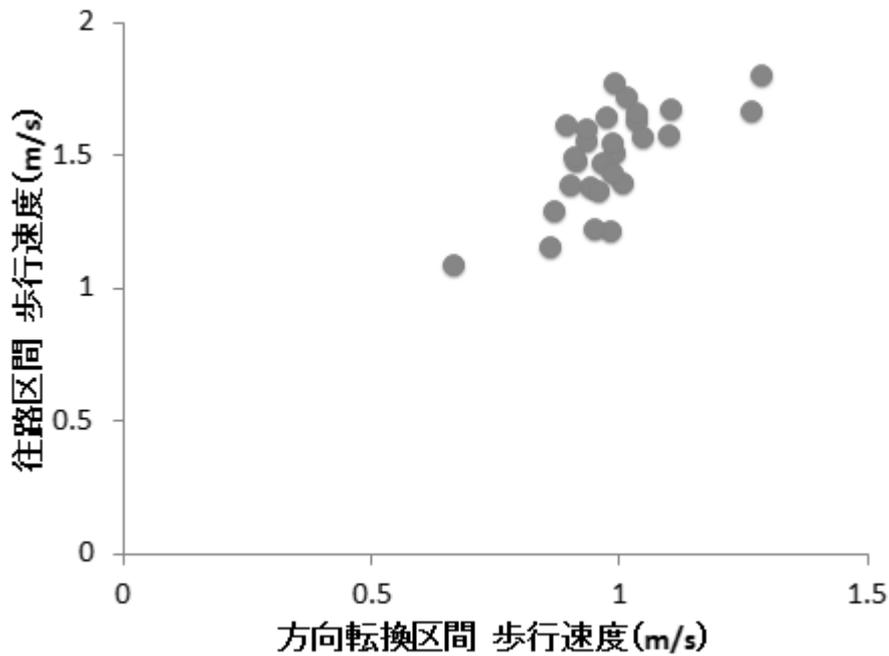


図 3-31 往路区間の歩行速度と方向転換区間の歩行速度の関係
 $r=0.69$, $p<0.001$, $r^2=0.48$

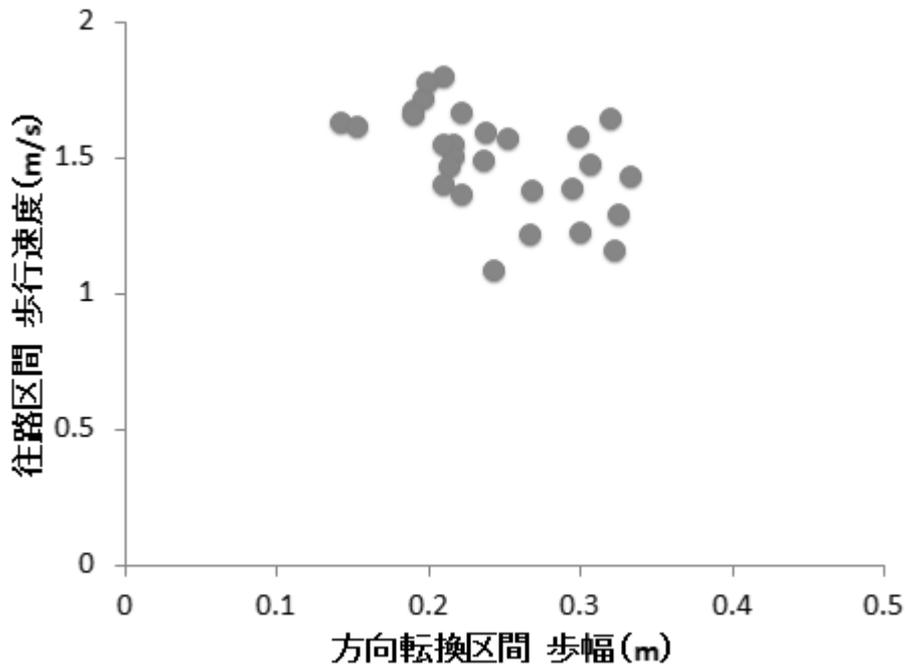


図 3-32 往路区間の歩行速度と方向転換区間の歩幅との関係
 $r=-0.53$, $p=0.003$, $r^2=0.28$

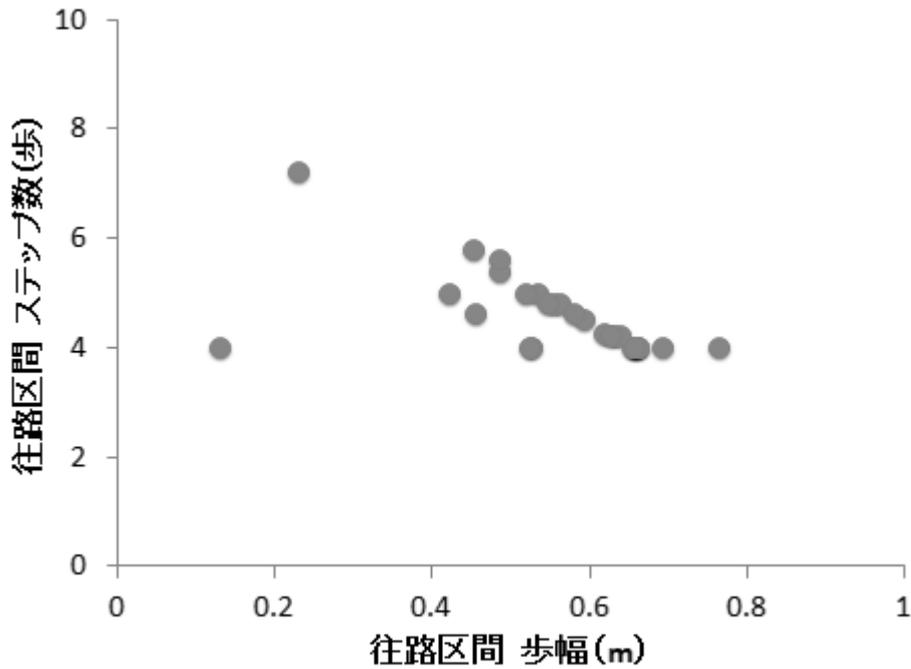


図 3-33 往路区間のステップ数と往路区間の歩幅との関係
 $r=-0.58$, $p=0.001$, $r^2=0.34$

3-3-5. 高齢者におけるステップの向きと運動学的パラメータとの関連

方向転換区間におけるステップの向きの特徴を知るため、ステップの向きごとに対象者を分類し、方向転換区間の総軌跡長を比較した。高齢者を外側脚のステップの向きが外向きを呈した者（4名）と内向きを呈した者（24名）の2群に分け、若年者群（22名）も含めて確認した。群ごとの平均値は、高齢者 内向き $0.73 \pm 0.16\text{m}$ 、高齢者 外向き $1.22 \pm 0.19\text{m}$ 、若年者 $0.52 \pm 0.17\text{m}$ であり、 $\eta^2=0.59$ だった。外側脚が外向きに接地する高齢者は、内向きに接地する高齢者に比べ、方向転換区間の総軌跡長が大きくなった ($p<0.001$: 図 3-34)。

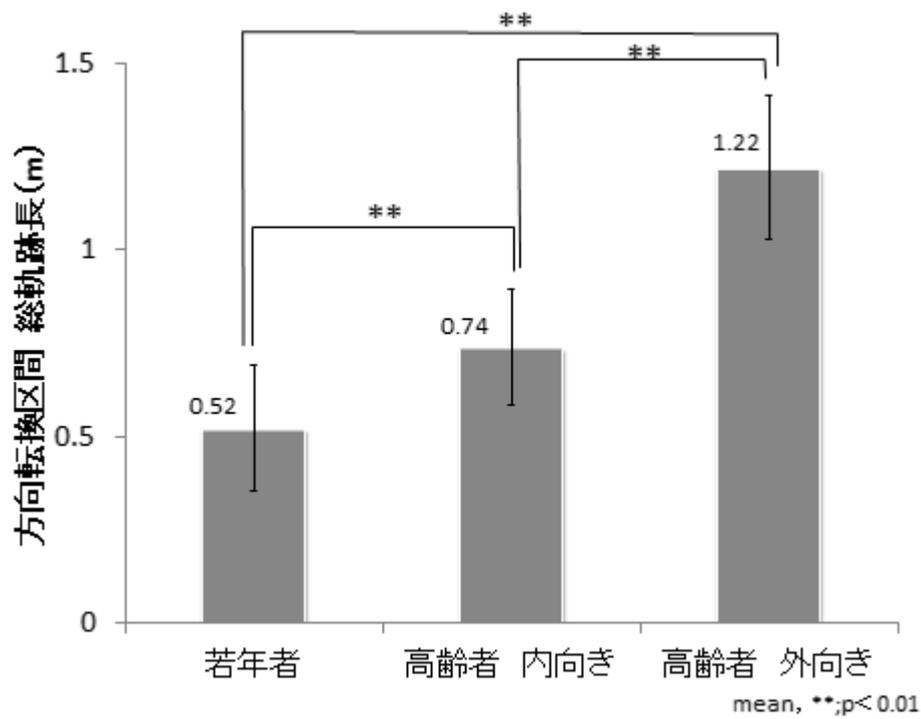


図 3-34 外側脚の向きによる方向転換区間の総軌跡長の比較

3-4. 考察

3-4-1. TUGの往路区間, 方向転換区間における, 高齢者の運動学的特徴

先行研究においては, 歩行や歩き始めのステップのばらつきが加齢や転倒リスクに影響を与えることが報告されているが¹⁷⁻¹⁹⁾, 本章の結果から, 方向転換動作時のステップのばらつきに関しては明らかな傾向が示せなかった. これは, 方向転換動作中のステップ数が平均3歩と少ないため, 動作のばらつきが大きくなり, 一定の傾向が示せなかったものと考えられる. しかし, 他の運動学的パラメータから, 高齢者の方向転換動作の特徴を確認することができた.

i) 往路区間について

若年者と高齢者で運動学的パラメータを比較し, 相関分析を行った. その結果, 往路区間で歩行速度が増大せず, ステップ数が増え, 歩幅が小さくなる傾向がある高齢者は, 方向転換区間で大きく歩行速度を減速することが難しく, TUGに時間を要していることを示唆した. これらのことから, 往路区間の歩幅や歩行速度の調整が速度変化率およびTUG所要時間と関連しており, 方向転換に至る前の段階から歩行に特徴がみられることが分かった.

ii) 方向転換区間について

若年者と高齢者でパラメータを比較した結果, 高齢者は方向転換時の身体傾斜角度が小さくなり, 方向転換区間の総軌跡長が大きくなった. また, 相関分析の結果, 方向転換区間の歩幅, 方向転換区間の総軌跡長が大きくなる傾向がある高齢者は, 方向転換区間で大きく歩行速度を減速することが難しく, TUGに時間を要していることを示唆した.

健常者の方向転換動作では, 障害物(ソフトコーン)を中心とした回転運動時の向心力を代償するため, 方向転換の回転中心に向かって身体が傾斜する²⁶⁾. この傾斜は, 歩行速度³⁸⁾と回転半径³⁹⁾に依存しており, これらを適切に調整することによって方向転換時の移動距離を最小限にした方向転換が可能になる. また, 方向転換では, スリップを防止するため, より大きな摩擦力を必要とする⁴⁰⁻⁴²⁾. これは, 直線歩行に比べ, 床と靴の間に生じる剪断力が大きくなるためである⁴³⁾. その結果, 直線歩行よりも方向転換時はスリップによる転倒の発生率は高いと言われている⁴⁴⁾. このことから, 急な方向転換時には, 身体傾斜と, 足部と床面の間に生じる大きな摩擦力が重要であると考えられる. しかし, 床面との摩擦に配慮した今回の計測条件においても, 高齢者では方向転換時の歩行速度を遅くし, 身体の傾斜を少なくすることによって, 障害物を中心とした回転運動を緩やかにし, 摩擦が小さくても済む方法として大回りを選択していたのではないかと考える. 高齢者は, 足関節戦略よりも股関節戦略を選択しやすい特徴があり⁴⁵⁾, また, 歩行や姿勢制御場面では, 前脛骨筋と腓腹筋が同時に活動する足関節の同時活動が顕著であることも報告されている^{33,37,46)}. このため, 足部機能の低下は足部と床面の間に生じる摩擦を小さくする要因と考えられる.

また, 方向転換時に身体が内側へ傾斜するとき, COGは回転運動の中心である障害物(ソフトコーン)の方向へ向かい, 床反力ベクトルも障害物に向かって大きく内側へ傾く. このとき, 進行方向に対し内側脚は, COGの近くに位置し, 回転運動を伴う歩行の推進力を生み出す^{26,47,48)}. これに対して, 進行方向に対し外側脚は, COGから離れて位置しており, 身体の回転運動を遠心性に制御する^{26,47,48)}.

この外側脚の遠心性制御には、股関節外転作用を持つ中殿筋、大腿筋膜張筋や、足部外反作用を持つ腓骨筋群の活動が必要と考えられる。しかし、加齢に伴い側方の姿勢制御で股関節の内外転筋群が同時活動すると言われており⁴⁹⁾、高齢者は股関節外転モーメントが十分発揮できない可能性がある。高齢者の姿勢制御能力は前方よりも側方において低下が著しく、転倒の危険性との関連も報告されている^{50,51)}。股関節や足部機能の低下により側方の姿勢制御で支障をきたすことは、将来的に転倒を引き起こす可能性があるのではないかと考える。

iii) 往路区間から方向転換区間に至る調節機能について

往路区間から方向転換区間に至る歩幅の変化を若年者で確認すると、往路区間の歩幅が大きく、方向転換区間の歩幅が小さくなった。一方、高齢者においては、往路区間の歩幅は若年者に比べて小さくなり、方向転換区間の歩幅は若年者に比べて大きくなった。また、相関分析の結果から、往路区間の歩行速度が遅い高齢者ほど方向転換区間の歩幅が大きくなり、方向転換区間の歩行速度も遅くなった。これらのことから、往路区間の歩行速度が遅い高齢者は、往路区間の歩幅と方向転換区間の歩幅の大きさの変化が少なくなっていると考えられる。つまり、往路区間の歩行速度が遅い高齢者では、往路区間と方向転換区間の歩幅の調整に支障をきたしている可能性があると考えた。

高齢者の中でも、転倒経験者の歩行を分析した報告⁵²⁾によれば、転倒経験のある高齢者は転倒経験のない高齢者に比べ、歩行速度が低下し、歩幅が小さく、歩調の変動が大きくなるため、不安定な歩行を呈すると言われている。TUG一連動作においても、不安定な歩行の代償として、歩行速度や歩幅の調整に支障をきたしている可能性があり、これらの要因と今後の転倒との関連を明らかにすることによって、健常高齢者の転倒リスクの把握に役立つ情報を得ることができるのではないかと考える。

3-4-2. 高齢者における方向転換動作時のステップの向きについて

ステップの向きを確認したところ、高齢者28名のうち4名は若年者と異なり、外側脚の足部を外向きにステップして方向転換を行うことが分かった。高齢者は、加齢に伴うバランス機能の低下を代償するため、歩隔を大きくし、支持基底面を大きくするが、高齢になるほど歩隔が大きくなると言われている⁵³⁾。外側脚が外向きに接地する高齢者では、加齢の影響によるバランス機能の低下を代償するため、歩隔を大きくした結果、方向転換区間の総軌跡長が増加し、よりTUGに時間を要するのではないかと考えられた。

先行研究において、転倒リスクの高い高齢者は、支持脚に対して先導脚がクロスしてしまうクロスオーバー現象が出現することが報告されており²⁰⁾、本研究では外側脚を内向きにステップする高齢者が該当すると思われた。しかし、若年者においても、方向転換時に外側脚は内向きのステップをする傾向があり、外側脚を内向きにステップして方向転換を行う高齢者は、外向きにステップする高齢者に比べ、方向転換区間の総軌跡長が短くなる傾向があった。今回の結果からは、外側脚を内向きにステップする高齢者と転倒リスクに関連するような特徴について、先行研究のように明確に示すことができなかった。

3-4-3. 小括

高齢者は、方向転換区間において、歩行速度が遅く、ステップが大きく、時間を要し、直立に近い姿勢で大回りの方向転換をする傾向があった。特に、方向転換区間の歩幅、方向転換区間の総軌跡長が大きくなる傾向がある高齢者は、方向転換区間で大きく歩行速度を減速することが難しく、TUG に時間を要している。これに加えて、往路区間の歩行速度の減少も TUG 所要時間の増加と関連しており、往路区間の歩行速度が遅い高齢者では、往路区間と方向転換区間の歩幅の調整に支障をきたしている可能性があることが示唆された。往路区間と方向転換区間の歩行速度および歩幅の調整に支障をきたし、方向転換時に大回りする高齢者は、TUG 所要時間が長くなることが明らかとなった。

第四章

結論

4-1. 本研究の統括

本研究は、高齢者の TUG の動作分析から、臨床に応用するための特徴を明らかにすることを目的とし、TUG を 5 つの区間に分けて運動学的分析を行った。

仮説として、高齢者では身体運動を制御することが難しくなるため、歩行速度の低下、移動軌跡の増加、ステップ数や歩幅のばらつきが大きくなり、方向転換時の身体の傾斜が小さくなると推測した。

高齢者の方向転換区間において、若年者と比較して時間配分が大きく、歩行速度の減速が少ない特徴がみられ、仮説を支持した。ステップのばらつき（時間、距離）、ステップパターンに関しては、先行研究で報告されているような高齢者の特徴を明確に示すことができず、仮説とは異なる結果が得られた。さらに、その他の運動学的パラメータに着目して分析したところ、TUG に時間がかかる高齢者ほど、方向転換中のステップに時間を要し、直立に近い姿勢で大回りの方向転換をする傾向がみられた。また、往路区間と方向転換区間における歩行速度の変化が少ない高齢者ほど、大回りし、往路区間の歩行速度が低下した。これらのことから、十分に歩行速度を減速することが困難な高齢者は、あらかじめ往路区間の歩行速度を遅くし、大回りであっても急激な減速をせず方向転換ができるように調整していたと推測する。高齢者においては、往路区間の歩幅は若年者に比べて小さくなり、方向転換区間の歩幅は若年者に比べて大きくなった。また、相関分析の結果から、往路区間の歩行速度が遅い高齢者ほど方向転換区間の歩幅が大きくなり、方向転換区間の歩行速度も遅くなる傾向がみられた。これらのことから、往路区間の歩行速度が遅い高齢者は、往路区間の歩幅と方向転換区間の歩幅の変化が少なくなっていると考えられる。つまり、往路区間の歩行速度が遅い高齢者では、往路区間と方向転換区間の歩幅の調整に支障をきたしている可能性が示唆された。これらの特徴は、年齢との相関はみられず、高齢者の運動能力を示す指標として用いることができると考えている。

歩行速度や歩幅の調整、方向転換時にスリップを防ぐための大きな摩擦力は、股関節や足部の機能の影響が大きいことが推測される。加齢に伴い股関節や足部の機能を十分に発揮できない要因には、姿勢制御に関与する筋骨格系、神経系、感覚系、姿勢反射機能、認知機能など様々な要因があるが⁵⁴、股関節や足部の機能を十分に発揮できない高齢者は、将来的に日常生活に支障をきたす可能性があるのではないかと考える。

往路区間および方向転換区間の歩幅の変化や、大回りの方向転換は、観察による確認が可能な指標であり、TUG の計測と併せて簡便に評価できる指標である。所要時間のみを評価する TUG に、対象者の往路区間の歩行や方向転換動作の観察を組み合わせることによって、速度調整に支障をきたす高齢者を抽出するための、臨床的に有用な指標となる可能性が示唆された。

4-2. 本研究の限界

本研究の結果から、高齢者において復路区間から着座区間に至る過程についても、円滑な着座に支障をきたしている可能性が示唆された。しかし、今回の計測環境では、起立区間および着座区間について、全ての赤外線反射マーカを赤外線カメラに映すことが困難だったため、着座区間の詳細な分析が困難であり、時間の要素のみの解析となった。方向転換区間だけでなく、着座区間に関しても、高齢者に特徴的な動作の指標が見出せる可能性がある。

計測データを分析した結果、高齢者の股関節および足関節機能の低下が推測されたが、今回は関節モーメントや表面筋電図の計測、最大筋力の測定など、対象者の筋力評価を行っていない。今後、検証が必要である。

4-3. 今後の課題

本研究では、十分な歩行速度の減速が困難な高齢者は、あらかじめ往路区間の歩行速度を遅くし、大回りであっても急激な減速をせず方向転換ができるように調整していた可能性を示唆した。今後は、長期的に高齢者の TUG を計測し、往路区間および方向転換区間の歩行速度変化を追跡調査し、継時的な変化を明らかにすることによって、歩行速度変化を評価することの実用性を検討する必要がある。そのためには、方向転換で大回りし、歩行速度や歩幅の調整に支障をきたす高齢者が、身体機能低下や転倒との関連があるか検証する必要がある。

特に、高齢者の筋機能については、トレーニングにより変化することが報告されており⁵⁵⁾、下肢関節モーメントや表面筋電図の計測を合わせて行うことにより、足関節機能と方向転換動作時の運動学的パラメータとの関連を示すことによって、歩行速度の調整に支障をきたす高齢者のための介入方法を開発することを検討したい。

これらの問題点が解決されることによって、早期に介入する必要がある高齢者を対象とする、介護予防活動に携わる人々が使いやすい指標や介入方法を構築するための一助となると考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多くの方にご支援、ご協力を賜った。周囲の方々に支えていただくことがなければ、この論文を完成させることはできなかった。

研究デザインの検討から、計測、データ分析、論文執筆に至るまで、私の指導教員である、国際医療福祉大学大学院 福祉支援工学分野の山本澄子教授には多大なご指導を賜った。研究に行き詰ると、面談の機会を作ってください、メールでも頻繁にご指導を頂いた。また、私が理解できるまで何度も説明してくださり、研究の道筋が立てられるよう、たくさんのアドバイスを頂いた。なかなか研究の方針が固まらず、迷惑ばかりかけてしまったが、いつでも質問に答えてくれ、「これが仕事ですから気にしないでください」と、たくさんの時間を割いてくださったことに深く感謝している。信頼ある指導教員に出会うことができ、修士課程も含めて5年間にわたりご指導を賜れたことは、自分にとってとても幸せなことと実感している。今後も、研究活動を通じて、山本先生から多くのことを学んでいきたい。

私の副指導教員である、国際医療福祉大学大学院 福祉支援工学分野の東畠弘子教授には、合宿や発表会を通じて、たくさんのご指導を賜った。プレゼンテーションの方法や、研究全体のまとめ方など、私が気づくことのできなかつた視点で、様々なアドバイスを頂いた。いつも温かくご指導を賜り、深く感謝している。

国際医療福祉大学大学院 福祉支援工学分野の出口弦舞講師、新潟医療福祉大学 義肢装具自立支援学科の勝平純司准教授にも、合宿や発表会を通じて、たくさんのご指導を賜った。研究デザインの検討から、計測、データ分析まで、十分に説明できていない点や、検討が必要な点について、明確で的確なご指導を頂いた。丁寧にご指導を頂き、とても感謝している。

首都大学東京 人間健康科学研究科の樋口貴広教授には、ゼミで研究指導をしていただいた。進行している研究のオリジナリティを改めて見つめなおすことができ、研究活動を後押ししていただいた。丁寧で温かいご指導を賜り、深く感謝している。

よこすか海辺ニュータウン地域運営協議会会長 安部俊一氏、神奈川県立保健福祉大学の清掃を担当している清光社 福本利夫氏には、高齢者の被験者を募集するにあたり、多大なご協力を賜った。この2人のご協力がなければ、28名もの健常高齢者の方にご協力いただくことはできなかった。心より感謝申し上げます。

神奈川県立保健福祉大学の近隣に在住している健常高齢者の方々、神奈川県立保健福祉大学リハビリテーション学科理学療法学専攻に在学中の学生たちには、被験者としてご協力を賜った。計測機器のトラブルや、計測に滞るときでも、快く計測にお付き合いいただいた。被験者のご協力がなければ、この論文を書き上げることはできなかった。心から感謝している。

現在の職場である、神奈川県立保健福祉大学リハビリテーション学科理学療法学専攻の教員たちには、博士課程の通学に関して、ご理解を頂き、多大なご支援を頂いた。特に、理学療法学専攻 専攻長の菅原憲一教授には、仕事の合間をぬってゼミへ参加することや指導教員との面談に行くことについて、ご理解を頂き、研究活動を進めることができた。島津尚子准教授には、高齢者の計測補助にご協力を頂いた。何日にも及ぶ計測にも、快くお付き合いいただき、計測を円滑に進めるうえで、本当に助けていただいた。鈴木智高助教には、データの分析にあたり、計算プログラムを作成していただいた。職場の方々にもたくさんのご協力を頂き、心より感謝申し上げます。

福祉支援工学分野の院生たちには、ゼミ、合宿、発表会でたくさんのご指摘、アドバイスを頂いた。院生同士、ざっくばらんに、厳しく、鋭い指摘を頂いたのも、大変勉強になった。また、お互いの進捗状況を報告し、励ましあって研究活動を進めることができたからこそ、論文が執筆できたと感じている。修士課程も含め5年間通学したことによって、たくさんの方と知り合うことができた。熱意ある院生たちとたくさんディスカッションをすることができ、本当に感謝している。

最後に、いつも陰で支え続けてくれた、家族に感謝したい。夜まで遅くまで職場にいたり、深夜までデータ解析や論文執筆をしたり、疲れた様子の私を察して、いつも心配してくれ、応援してくれた。いつもありがとう。

この論文に関わって下さったすべての皆様に、心より感謝の意を申し上げます。

文献

- 1)内閣府.2016. H28 年度版高齢社会白書
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/zenbun/28pdf> .2016.08.01
- 2)厚生労働省.2012.介護予防マニュアル (改訂版:平成 24 年 3 月)
<http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/tp0501-1.html>.2016.08.01
- 3)厚生労働省.2014. H26 年度 介護保険事業状況報告
http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/14/dl/h26_point.pdf .2016.08.01
- 4)厚生労働省.2010. H22 年度 国民生活基礎調査
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/4-2.html> . 2016.08.01
- 5)Murphy J, Isaacs B. The post-fall syndrome:a study of 36 elderly patients. *Gerontology* .1982;28: 265-270
- 6) Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med*. 1988;319(26):1701-1707.
- 7) Berg WP, Alessio HM, Mills EM, et.al. Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults. *Age Ageing*. 1997;26: 261-268.
- 8) Klenk J, Kerse N, Rapp K, et.al.Physical Activity and Different Concepts of Fall Risk Estimation in Older People-Results of the ActiFE-Ulm Study. *PLoS One*. 2015;10(6).
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0129098>.2016.08.01.
- 9) Podsiadlo D, Richardson S.The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142-148.
- 10) 島田裕之,古名丈人,大淵修一. 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.
- 11)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.
- 12)Schoene D, Wu SM, Mikolaizak AS,et.al. Discriminative ability and predictive validity of the timed up and go test in identifying older people who fall: systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*. 2013;61(2):202-208.
- 13) Barry.E, Galvin.R, Keogh.C,et.al. Is the Timed Up and Go test a useful predictor of risk of falls in community dwelling older adults: a systematic review and meta- analysis. *BMC Geriatrics*; 2014;14:14 <http://www.biomedcentral.com/1471-2318/14/14>.2016.08.01
- 14) Yamada M, Aoyama T, Arai H, et al. Dual-task walk is a reliable predictor of falls in robust elderly adults. *J Am Geriatr Soc*. 2011; 59: 163-164.
- 15) Thigpen MT, Light KE, Creel GL, et.al. Turning difficulty characteristics of adults aged 65 years or older. *Phys Ther*. 2000;80(12):1174-1187.
- 16) Salarian A, Horak FB, Zampieri C, et.al. iTUG, a sensitive and reliable measure of mobility. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2010;18(3):303-310.
- 17) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older

- adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001 ;82(8):1050-1056.
- 18) 新井智之,柴喜崇,角田賢史ら. 虚弱高齢者の転倒と運動機能との関連. *老年学雑誌* 2010;1:1-14.
- 19) Muir BC, Rietdyk S, Haddad JM. Gait initiation: the first four steps in adults aged 20-25 years, 65-79 years, and 80-91 years. *Gait Posture.* 2014;39(1):490-494.
- 20) Yamada M, Higuchi T, et al. Maladaptive turning and gaze behavior induces impaired stepping on multiple foot fall targets during gait in older individuals who are at high risk of falling. *Arch Gerontol Geriatr.* 2012;54:102-108.
- 21) Tinetti ME. Performance oriented assessment for mobility problems in elderly patients. *J Am GeriatrSec.* 1986;34:119-126.
- 22) Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JI, et al. Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiother Can,* 1989;41: 304-311.
- 23) Imms F, Edholm OG. Studies of gait and mobility in the elderly. *Age Ageing* 1981;10:147-156.
- 24) Lipsitz L, Johsson PV, Kelley MM, et.al. Causes and correlates of recurrent falls in ambulatory frail elderly. *J Gerontol* 1991;46(4):114-122.
- 25) Sloane P, Baloh RW, Honrubia V. The vestibular system in the elderly: clinical implications. *Am J Otolaryngol* 1989;10(6):422-429.
- 26) Courtine, G., Schieppati, M., Human walking along a curved path. I. Body trajectory, segment orientation and the effect of vision. *Eur. J. Neurosci.* 2003a;18:177-190.
- 27) Sreenivasa M N, Frissen I, Souman J L, et al, Walking along curved paths of different angles : the relationship between head and trunk turning. *Exp. Brain Res.* 2008;191:313-320.
- 28) 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.
- 29) 関根百合香, 中野佳子, 廣瀬圭子ら. 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.
- 30) 日本理学療法士会. 2007. E-sas (高齢者のイキイキとした地域生活づくりを支援するアセスメントキット) .<http://jspt.japanpt.or.jp/esas/2014.06.04>.
- 31) K. Hase, R. B. Stein. Turning Strategies During Human Walking. *J Neurophysiol* . 1999; 81: 2914 - 2922.
- 32) K. Hase and R. B. Stein Analysis of Rapid Stopping During Human Walking. *J Neurophysiol* 1998;80:255-261.
- 33) Lee LW, Kerrigan DC. Identification of kinetic differences between fallers and nonfallers in the elderly. *Am J Phys Med Rehabil.* 1999;78(3):242-246.
- 34) Baratta R, Solomonow M, et al. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med.* 1988;16(2):113-122.
- 35) Hortobagyi T, DeVita P. Muscle pre- and coactivity during downward stepping are associated with leg stiffness in aging. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(2):117-126.
- 36) Solomonow M, Baratta R, et al. Electromyogram coactivation patterns of the elbow antagonist muscles during slow isokinetic movement. *Exp Neurol.* 1988;100(3):470-477.

- 37) Hortobagyi T, Solink S, et al. Interaction between age and gait velocity in the amplitude and timing of antagonist muscle coactivation. *Gait and Posture*. 2009;29(4):558-564.
- 38) Orendurff, M.S., Segal, A.D., Berge, J.S., et al. The kinematics and kinetics of turning: limb asymmetries associated with walking a circular path. *Gait and Posture*. 2006;23:106-11.
- 39) Hollands, M., Sorensen, K., Patla, A., Effects of head immobilization on the coordination and control of head and body reorientation and translation during steering. *Exp. Brain Res.* 2001.140,223-233.
- 40) Fino, P., Lockhart, T. Required coefficient of friction during turning at self-selected slow, normal, and fast walking speeds. *J. Biomech.* 2014;47:1395-1400.
- 41) Buczek FL, Banks SA. High-resolution force plate analysis of utilized slip resistance in human walking. *J Test Eval* 1996;24:353-358.
- 42) Hanson JP, Redfern MS, Mazumdar M. Predicting slips and falls considering required and available friction. *Ergonomics* .1999;42:1619-1633.
- 43) Burnfield, J.M, Tsai, Y.J., Powers, C.M., Comparison of utilized coefficient of friction during different walking tasks in persons with and without disability. *Gait and Posture*. 2005;22:82-88.
- 44) Yamaguchi, T., Yano, M., Onodera, H. et al. Effect of turning angle on falls caused by induced slips during turning. *J. Biomech.* 2012;45:2624-2629.
- 45) Horak F, Moore S. Lateral postural responses : the effect of stance width and perturbation amplitude. *Phys Ther* 1989;69:363.
- 46) Nagai K, Yamada M. et al .Differences in muscle coactivation during postural control between healthy older and young adults. *Arch Gerontol Geriatr.* 2011; 53:338-343.
- 47) Imai T, Moore ST, Raphan T, Cohen B. Interaction of the body, head, and eyes during walking and turning. *Exp Brain Res.* 2001;136: 1-18.
- 48) Courtine G, Schieppati M. Human walking along a curved path. II. Gait features and EMG patterns. *Eur J Neurosci* . 2003b;18: 191-205.
- 49) 建内宏重, 米田稔彦, 田中貴広ら. 外側へのステップ動作開始時における姿勢制御の加齢による変化. *理学療法科学*. 2006;21(3):267-273
- 50) Brian E. Maki, Pamela J. Holliday and Anne K. Topper. A Prospective Study of Postural Balance and Risk of Falling in An Ambulatory and Independent Elderly Population. *J Gerontol.* 1994; 49 (2): 72-84.
- 51) BA McClenaghan, HG Williams, J Dickerson, et al. Spectral characteristics of ageing postural control. *Gait and Posture*. 1995;3(3): 123-131.
- 52) Guimaraes RM, Isaacs B. Characteristics of the gait in old people who fall. *Int Rehabil Med.* 1980;2(4):177-180.
- 53) 宮田英雄, 白戸弘道. 高齢者の歩行. *Equilibrium Res.* 1994;53 (4) :449- 457.
- 54) 田中繁, 高橋明 監訳. モーターコントロール—運動制御の理論から臨床実践へ—第三版. 東京. 医歯薬出版. 2011;209-231.
- 55) 市橋則明, 池添冬芽, 永井宏達. 高齢者の筋機能—同時活動と筋萎縮を中心に—. 中部リハ雑誌, 2012;7:2-9.