

二重課題歩行時の計算課題による負担と 歩行パラメータとの関係

Relation between calculation task load and gait parameter during dual-task

津嶋優太* , 柴田真奈美* , 佐川貢一*

Yuta Tsushima* , Manami Shibata* , Koichi Sagawa*

*弘前大学大学院理工学研究科

*Hirotsaki University graduate school science and technology studies graduate course

キーワード： 二重課題 (dual-task) , 計算課題 (calculation task) , 歩行パラメータ (gait parameter) ,
加速度 (Acceleration) , 角速度 (Acceleration)

連絡先： 〒 036-8561 弘前市文京町 3 番地 弘前大学大学院 理工学研究科

津嶋優太, Tel./Fax.: (0172)39-3691 , E-mail: h11gs622@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. 研究背景

現在,日本は高齢社会を迎えており、高齢者の転倒が問題になってきている。高齢者にとっての転倒は、骨折や日常生活に見守りや支援を必要とする要支援者、脳血管疾患、体の衰弱につながる恐れがある¹⁾。そのため、転倒の要因や予防に関する調査、研究が行われている。高齢者の転倒を研究する方法には加速度計、反応時間、動作解析装置などが利用されている²⁾。Lundin-Olssonらは、歩行中に話しかけられて立ち止まってしまう対象者では、転倒のリスクが高くなることを報告した³⁾。それ以後、二重課題 (dual-task : DT) と転倒の要因や予防に関する調査、研究が注目されるようになってきた。高齢者で計算や語想起などの課題を行いながらの歩行では、歩行速度が遅くなることや歩行時の姿勢が不安定になることが報告された⁴⁻⁸⁾。臨床現場における歩行分析の主な目的は、歩行障

害の診断、評価に有効と考えられる定量的データの収集を行うことである。定量的データには、重複歩距離 (踵が地面または床から離れて再び同脚の踵が接地するまでの距離)、爪先と床との高さなどの距離因子、歩行周期、歩行速度などといった時間因子、爪先の角度、角速度といった運動学的所見などが挙げられる⁹⁾。爪先に装着可能な慣性センサでは、爪先の加速度、角速度といった運動に関連するパラメータが測定可能であり、二重課題歩行時の歩行パラメータの測定が可能であると考えられる。しかし、二重課題条件下での歩行において、歩行中の歩行パラメータがどのように変化するのは不明である¹⁻⁹⁾。そこで本報告では、スマートフォンを用いた計算課題を歩行中に実施して、そのときの歩行に関するパラメータを爪先に装着可能なセンサで測定し、歩行中のスマートフォンの操作が歩行特性に与える影響を評価するととも

に，高齢者の転倒要因解決に有用な特性の抽出を試みる。

2. 実験方法

2.1 実験装置

本研究で使用した爪先装着型センサ (以下 3D センサ) は，3 軸加速度センサ (Freescale Semiconductor, MMA7260Q, $\pm 6[G]$)，2 軸ジャイロセンサ (Invensense IDG-300, $\pm 500[\text{deg/s}]$)，1 軸ジャイロ (Analog Devices, ADXRS300, $\pm 300[\text{deg/s}]$) とレギュレータによって構成されている。各センサから出力される加速度 (Acceleration: $\text{Acc}[\text{m/s}^2]$)，角速度 (Angular Velocity: $\text{AV}[\text{deg/s}]$)，回答時の音声情報の電圧をデータ取得するためにデータロガーを用いる。また，データロガー (Logomatic ver.1.0, Sparkfun Electronics)(Fig.2) を使用し 3D センサの出力電圧を SD カードへ記録する。スマートフォン (SHARP IS05) は，計算課題を提供するために使用する。サンプリング周波数は $100[\text{Hz}]$ である。実験装置の概略図を Fig.1 に示す。右足の爪先に 3D センサを装着し，計測した加速度と角速度を用いて歩行パラメータを 1 歩ごとに推定する。今回の報告では，高齢者の転倒要因解決に有用な特性の抽出を試みるため音声情報は使わない。スマートフォンから提供される計算課題は「計算カトレーニング」(採点・符号) というアプリを使用する。採点 (Rating) は画面に表示される計算の正誤を \times で解答する。符号 (Sign) は画面に表示される式の計算が成り立つように，式中の符号を $+$ ， $-$ ， \times ， \div で解答する。この計算課題には easy normal hard の 3 種類の難易度がある。easy では 1 桁同士の計算を行うことが多い。normal では easy で行った 1 桁同士の計算の他に 1 桁と 2 桁の 2 つのタイプの計算を行う。そして hard では 1 桁同士，1 桁と 2 桁，2 桁同士の 3 つのタイプでの計算を行う。今回の報告では，難易度を easy と hard にして実験を行った。計算課題

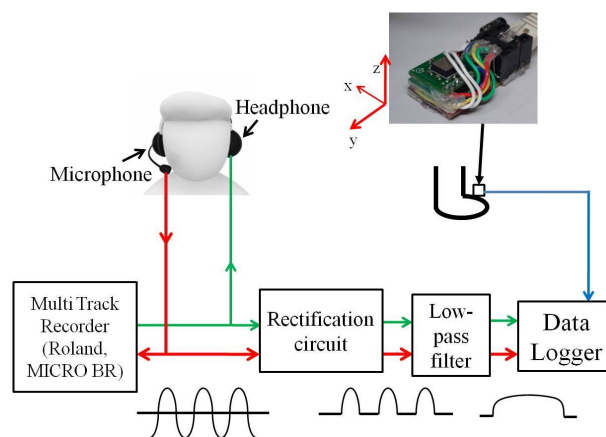


Fig. 1 Flow chart of verbal signal.

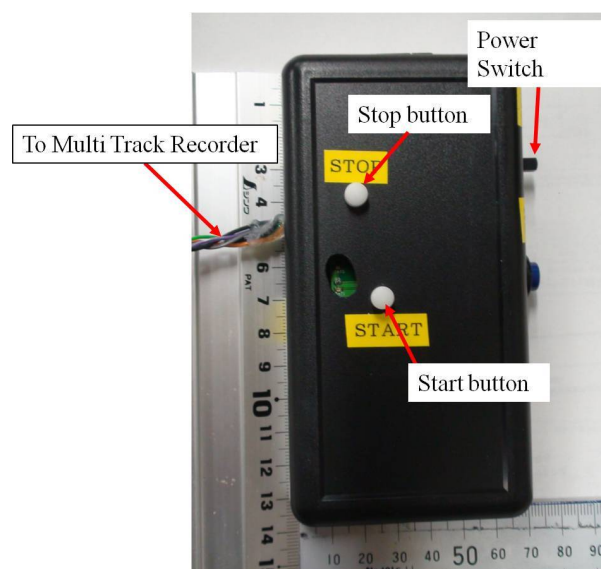


Fig. 2 Data logger

をスマートフォンを用いて操作するときは Fig.3 のように画面上に表示される。

2.2 実験方法

実験は，健常男性 5 名 (平均年齢 22.00 ± 1.22 歳) を対象に実験を行った。実験は，被験者に実験内容を説明した後に同意を得た上で実施した。はじめに，スマートフォン操作と計算課題の解き方に慣れてもらうため，練習として以下で述べる手順 (1) を 1 回ずつ行ってもらった後に，歩行実験を実施した。また，出題する計算課題の順番は，ランダムにした。これは，スマートフォン操作による慣れや計算課題の慣れによっ

て歩行パラメータへの影響を最小限にするためである。以下に実験の手順を示す。

(1) はじめに、歩行せずにどのくらいの計算問題が解けるのか、また計算のみを行った際に要した時間を評価するため、着席してスマートフォンで計算課題を与えた (Calculation Task: CT)。その際、計算結果 (正解数、解答時間) を記録した。

(2) 100[m] の直線経路を自由歩行する (Single-Task: ST)。歩行実験では、右足の爪先に 3D センサを装着する。歩行パラメータの測定は、右足爪先に装着した 3D センサから重複歩距離 (SL: Stride Length[m])、歩行周期 (WC: Walking Cycle[s])、歩行速度 (V: Velocity[m/s])、爪先高さ (Peak: Tiptoe height[m])、爪先が上下に向いたときの角度 (Deg.max [deg], Deg.min [deg]) の 6 つである (Fig.4)。

(3) (2) と同様の直線経路を歩行しながら、計算課題を行う (Dual-Task: DT)。このとき、(2) で使用した 3D センサの他に、スマートフォンを用いる、最初の 20 歩程度はスマートフォンを操作せずに歩いて (Before Answer: BA)、その後計算課題を行うためにスマートフォンを操作しながら歩き (During Answer: DA)、課題を解き終わったらスマートフォン操作を終えて 20 歩程度歩き (After Answer: AA)、停止する。

被験者は、測定者に「スタート」と声をかけられたら歩きだし、「ストップ」と言われたら停止する。また、二重課題歩行時では歩いている最中に「回答はじめ」と言われたらスマートフォンを操作して計算課題を行い、計算課題が終わったら、被験者が「計算終わり」と言う。そして、被験者が計算課題を終えてから 20 歩程度数えたら「ストップ」と言って被験者は停止する。その後、被験者が計算課題を行った結果 (正解数、解答時

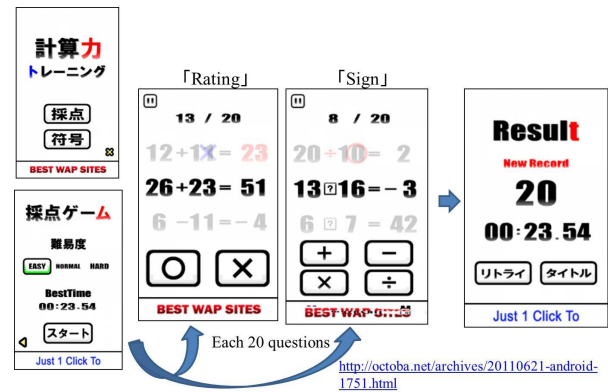


Fig. 3 Calculation application

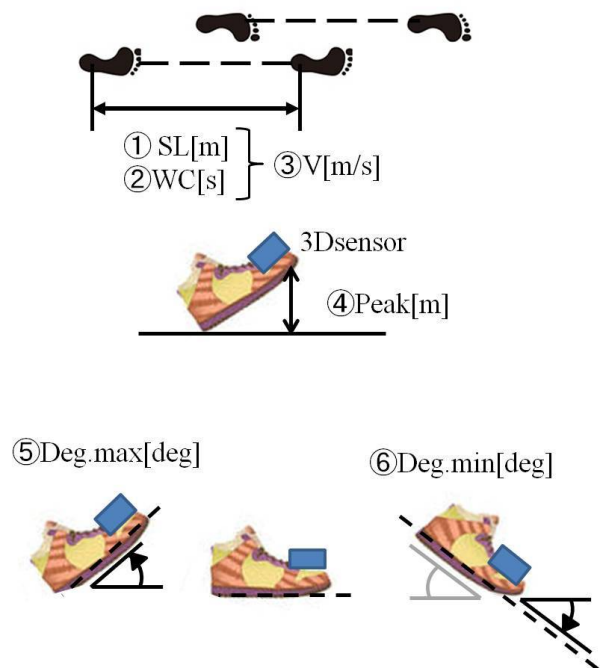


Fig. 4 Gait parameters

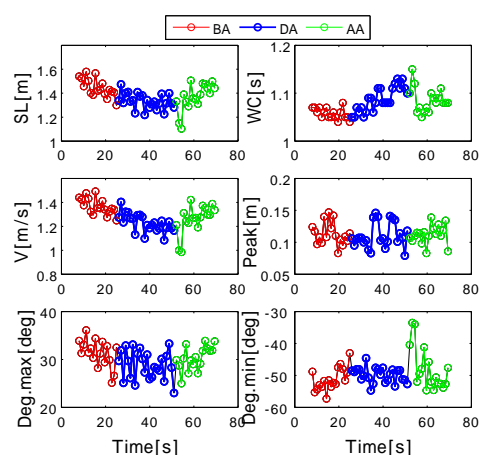
間) を記録する。そして実験後、歩行解析プログラムを用いて、測定された Acc, AV, SL, WC, V, Peak, Deg.max, Deg.min を Excel ファイルに保存する。V は、測定データ SL, WC を用いて次のように求めた後に Excel ファイルに保存する。

$$V = SL/WC[m/s] \quad (1)$$

そして、1 歩ごとに DT 時の BA, DA, AA の区間での歩行パラメータの変化について考察する。

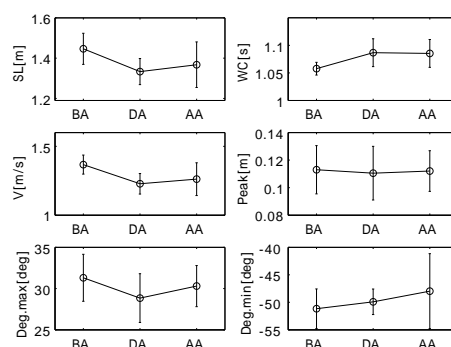
3. 実験結果

被験者1名がスマートフォンを操作しながら歩いているときの、BA, DA, AA に分けた1歩ごとの歩行パラメータの変化を Fig.5 に示す。このときの計算課題は符号の Easy である。また、歩き始めと歩き終わりには歩調などが乱れるため、歩行開始と終了の3歩分以外のパラメータをグラフに表している。Fig.5 のグラフから、DA の区間で歩行パラメータは BA や AA と比較して増加したり減少したりしていることがわかる。次に、被験者の BA, DA, AA での歩行パラメータの平均を算出した結果を Fig.6 に示す。Fig.6 より、SL, V, Deg.max は DA のときに低下していることがわかる。また、WC は、BA と比較して DA のときに長くなっており、DT により歩行特性が低下していると考えられる。これは、被験者が計算課題を解くことに集中し、歩行に対する集中力が低下したためであると思われる。また、計算課題の難易度によって DA の間での歩行パラメータの変化に違いが生じる可能性がある。そこで、各計算課題の難易度の違いと DA での歩行パラメータとの関係を調査する。ここでは、各計算課題の解答時間を計算課題の難易度とする。各歩行パラメータと難易度について求めた近似直線と相関係数 R を Fig.7 から Fig.11 に示す。また、被験者の計算課題の正解数と解答時間を Table1, Table2 に示す。Fig.7 の被験者1の例では、解答時間が長くなると、Deg.max を除く歩行パラメータが低下する傾向があることがわかる。特に SL, V, Peak が低下するのは、計算課題を解くことを歩行中に行っていたため、歩行バランスを保とうとしているためであると考えられる。一方、今回の実験では、解答時間が長くなると、V が遅くなるという結果となった被験者が3名いた。これは、より速い計算を行うことが高い難易度として作用している可能性があることを示している。被験者2, 4, 5 は、採点の Easy について CT よりも DT の成績が良い。これらの被験者は、V の



BA: Before Answer, DA: During Answer, AA: After Answer

Fig. 5 Example of gait parameters during dual-task walking of calculation for 1 subject.



BA: Before Answer, DA: During Answer, AA: After Answer

Fig. 6 Example of gait parameters during dual-task walking of calculation for 1 subject.

傾きがプラスとなっており、速い計算に対して難易度があがっていると考えられる。

4. 結言

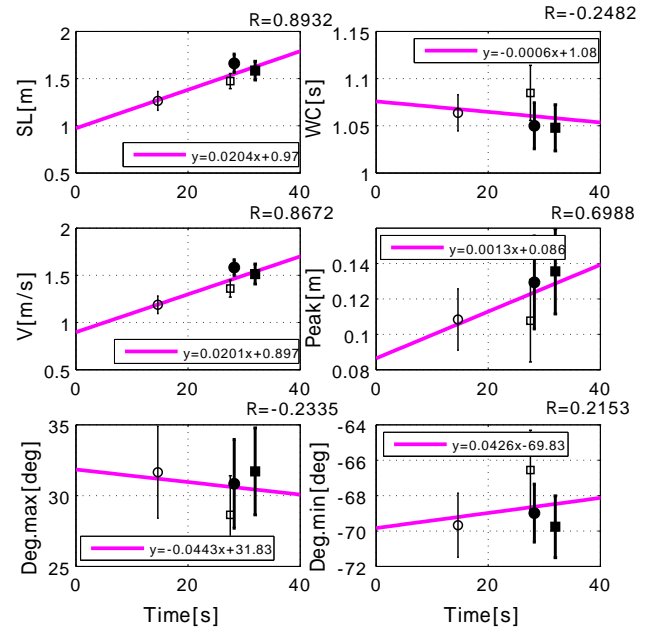
本報告では、3D センサを使用してスマートフォンで回答しているときの歩行パラメータと難易度を変更したときの歩行パラメータの平均と近似直線をグラフにして、歩行中のスマートフォンの操作が歩行特性に与える影響を評価するとともに、高齢者の転倒要因解決に有用な特性の抽出を試みた。その結果、解答時間が長く

Table 1 Result of easy calculation

Easy	Calculation task while seating				Calculation task while walking			
	Rating		Sign		Rating		Sign	
Subject	Number of correct answers	Time [s]	Number of correct answers	Time [s]	Number of correct answers	Time [s]	Number of correct answers	Time [s]
1	20	14.43	19	19.88	17	16.86	17	27.99
2	17	21.82	17	28.66	20	14.61	18	27.54
3	19	17.68	20	22.81	20	19.31	18	24.90
4	18	17.00	15	23.98	19	15.24	19	28.46
5	20	17.25	20	22.34	20	13.43	20	22.54

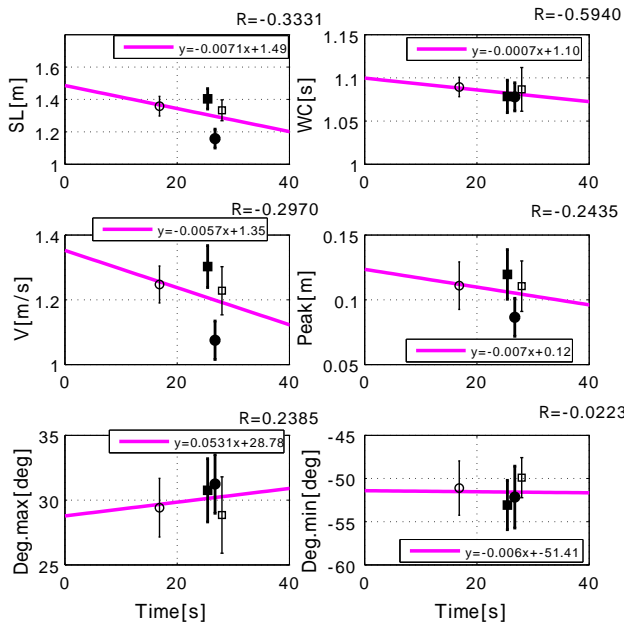
Table 2 Result of hard calculation

Hard	Calculation task while seating				Calculation task while walking			
	Rating		Sign		Rating		Sign	
Subject	Number of correct answers	Time [s]	Number of correct answers	Time [s]	Number of correct answers	Time [s]	Number of correct answers	Time [s]
1	16	17.96	19	28.63	17	26.76	15	25.43
2	20	21.05	18	28.75	16	28.23	19	31.98
3	18	29.61	18	26.11	19	31.45	20	26.62
4	18	19.04	19	25.77	18	26.64	18	25.26
5	19	21.45	20	23.62	20	20.58	20	24.84



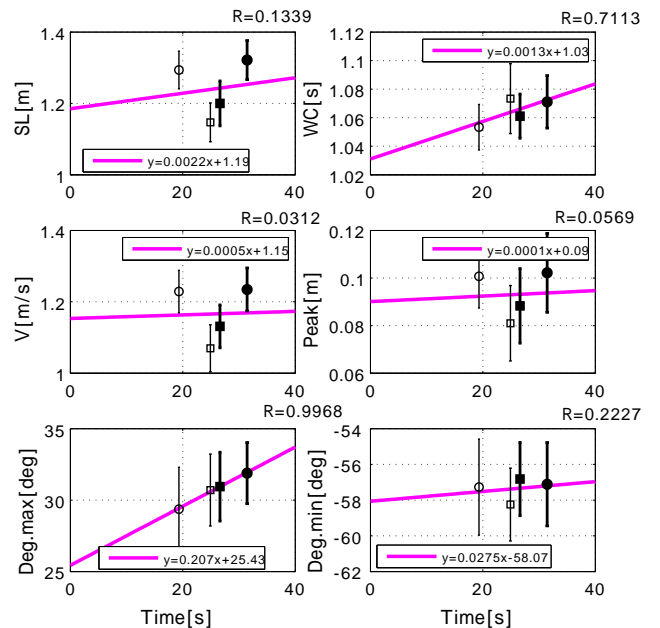
○ : Rating • Easy, □ : Rating • Hard,
 ○ : Sign • Easy, □ : Sign • Hard

Fig. 8 Gait parameters and answer time of subject 2.



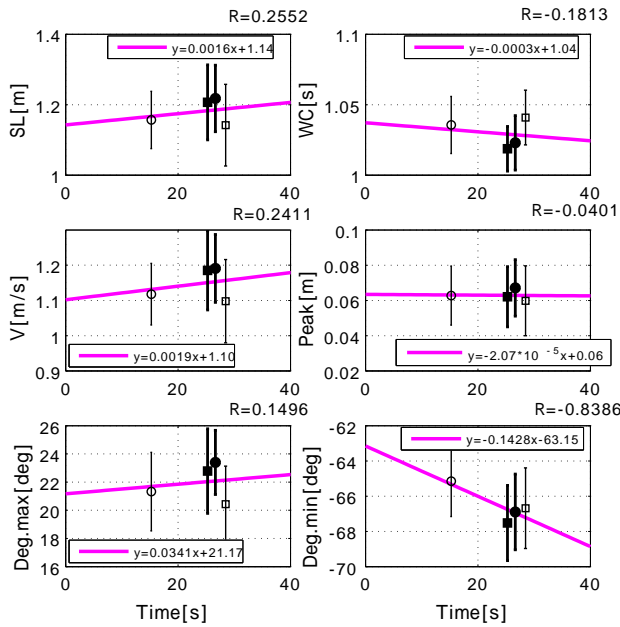
○ : Rating • Easy, □ : Rating • Hard,
 ○ : Sign • Easy, □ : Sign • Hard

Fig. 7 Gait parameters and answer time of subject 1.



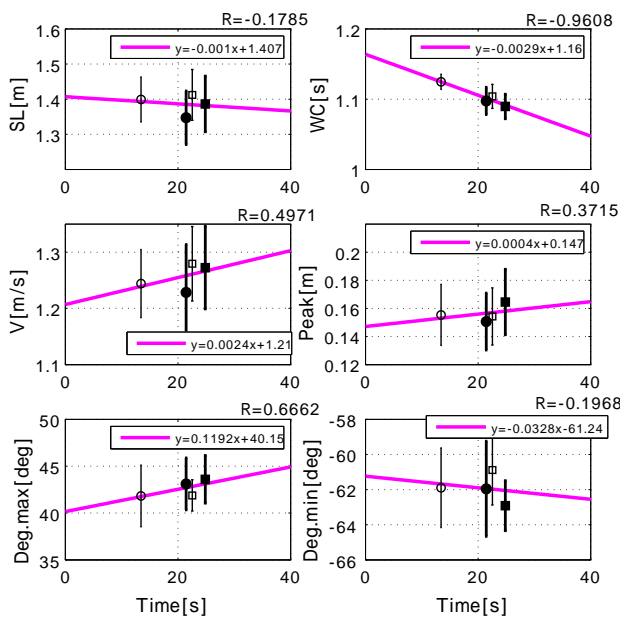
○ : Rating • Easy, □ : Rating • Hard,
 ○ : Sign • Easy, □ : Sign • Hard

Fig. 9 Gait parameters and answer time of subject 3.



○ : Rating · Easy, □ : Rating · Hard,
 ○ : Sign · Easy □ : Sign · Hard

Fig. 10 Gait parameters and answer time of subject 4.



○ : Rating · Easy, □ : Rating · Hard,
 ○ : Sign · Easy □ : Sign · Hard

Fig. 11 Gait parameters and answer time of subject 5.

なると、SLが長くなり、WCが短くなると、Vが遅くなるという結果となった。これは、SLが短くなり、WCが長くなると、Vが速くなるというこれまでの結果とは違う傾向がみられた。今後は、このような異なる結果となった理由についてさらに考察するとともに、年齢層を広くして、被験者を増やして歩行実験を行うことで、考え事などの負荷に対する歩行パラメータの傾向を明らかにしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 山田実、村田伸、大田尾浩、村田潤：“高齢者における二重課題条件下の歩行能力には注意機能が関与している - 地域在住高齢者における検討”，理学療法科学、第23号3巻、435-439、2008
- 2) 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の左右動揺 - 歩行者の動作解析を用いた検討 - ”、日本生理人類学会誌.Vol15、No.1、9-16、2010
- 3) Lundin-Olsson L, Nyberg L, Gustafson Y: "Stops walking when talking as a predictor of falls in elderly people", 1997, 349,617
- 4) Beauchet O, Dubost V, Fonhner R: "Dual-task-related gait changes in transitionally frail older adults: the type of the walking-associated cognitive task matters", Gerontology, 2005, 51, 48-52
- 5) Hollman JH, Kovash FM, Kubin JJ: "Age-related difference in stride-to-stride variability during dual task walking: a pilot study", J Geriatric Physical Therapy, 2004, 27, 83-87
- 6) Schrodt LA, Mercer VS, Giuliani CA: "Characteristics of stepping over an obstacle in community dwelling older adults under dual-task condition", Gait Posture, 2004, 19, 279-287
- 7) Woolacott M, Shumway-Cook A: "Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research", Gait Posture, 2002, 16, 1-14
- 8) 山田実、上原稔章：“二重課題条件下での歩行時間は転倒の予測因子となりうる - 地域在住高齢者を対象とした前向き研究”，理学療法科学、2007、22、505-509
- 9) 佐川貢一、三島啓太：“爪先装着型センサを用いた歩行分析システムの開発”，第48回日本生体医工学会大会プログラム・論文集 (CD-ROM)、49/54(2007)