



歩行解析デバイス AYUMI EYE の 再現性の検討

Reproducibility of AYUMI EYE as an evaluation system for walking ability

伊藤 太祐

株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団
AYUMI EYE 事業部 マネジャー / 理学療法士

Taisuke Ito

Waseda Elderly Health Association Co., Ltd.

キーワード：AYUMI EYE, 加速度計, 歩行解析, 再現性

諸 言

一点の加速度計を用いた歩行分析が、床反力計や三次元動作分析装置などを用いた歩行分析と比較し簡便に、どこでも測定が可能であるという利点を有しているため、様々な方法や対象で検討がなされている¹⁻⁷⁾。しかし、加速度計を用いた歩行分析が簡便でありながら、臨床での利用が広がっていない理由の一つとして、測定値の曖昧さが挙げられる。測定された体幹加速度の示す意味の理解、データの取得には相応の知識、習熟が必要であり、ごく一部の専門家に用いられてきたと推察されている⁷⁾。

これらの背景を踏まえ、近年、簡便に活用できる加速度センサーデバイスが少しずつ普及している。その一つが、歩行解析デバイス AYUMI EYE (株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団製) である。AYUMI EYE は 3 軸加速度センサーモジュールと iOS アプリケーションを用いて、歩行時の加速度データに基づき、歩行機能をスコアリングにより可視化するデバイスである。加速度計による歩行分析について、腰椎付近に加速度計を装着した分析では良好な再現性が報告されていることを利用し^{1,7-9)}、AYUMI EYE では、採取した上下左右前後の加速度データを用いて独自のアルゴリズムで計算し、歩行パラメーターを規定している。その過程で、重力加速度の調整やフィルタリング等をアプリケーション内で自動的に行い、即時に解析を終了して歩行分析結果を算出するため、使用に際し専門的な知識を要しない。その結果、一般の

介護現場等に広く用いられ始めている一方、歩行分析機器に精通した研究者や理学療法士等においては、自動的に行われている解析過程および算出結果が適切かどうか、真値との誤差等が議論の争点となっている。

そこで本研究の目的は、歩行解析デバイス AYUMI EYE の再現性を、異なる歩行条件で比較・検討し、その臨床的有用性を検討することとした。

方 法

対象は、歩行能力に影響すると考えられる疾患を有さない健康者 41 名 (男性 31 名・女性 10 名、平均年齢 41.4 ± 11.5 歳、平均身長 167.9 ± 8.4 cm、平均体重 65.1 ± 10.9 kg) とした。なお、計測前に研究の方法や目的を説明し文書での同意を得た。歩行解析機器として、AYUMI EYE を用いた (図 1)。モジュールをゴムベルトに取り付け、Moe-Nilssen¹⁾ や大坂ら⁷⁾ の方法に準じて重心位置に近く、重心移動に近似する第 3 腰椎棘突起付近に接するよう装着した (図 2)。モジュールの重量は 18.5g (電池含む)、大きさ $62.4 \times 30.9 \times 11.8$ mm、サンプリング周波数 31.25Hz であった。モジュールにより計測された加速度信号はデジタル化され、タブレット (iPad; APPLE 社製) に Bluetooth 通信を用いて転送された。両端に 3m の予備路がある 10m を歩行するよう指示した。

あらゆる歩行条件を想定し、靴紐が緩い状態・靴紐をしっかりと締めた状態・靴紐をしっかりと締め、さらに足底挿板を挿入した 3 条件において、快適

歩行と最大速度歩行各 2 本の計 12 本測定を実施した。各条件での歩行順はランダムイズし、臨床経験のある理学療法士が各歩行方法を指示した上で練習を行い、誤りがないかを確認しながら実施した。条件統制として、来所時の各自の靴を用い、足底挿板は各被験者の足のサイズに合わせた既製品を用いた。検者は AYUMI EYE の使用方法を十分に理解した 1 名とした。

解析には、AYUMI EYE で自動算出される平均歩行速度、平均歩幅、RMS (root mean square)、歩行周期および歩行周期ばらつきを用いた。なお、RMS¹⁾ は加速度波形の振幅の程度を表し、動揺性の指標とされており、AYUMI EYE では左右加速度を用いて計算を行なっている。歩行周期ばらつきは、1 歩行周期の標準偏差¹⁰⁾を用いて歩行周期の変動性を計算している。

統計処理に関して、各解析項目の再現性について、対応のある t 検定および検者内の級内相関係

数 (Intraclass correlation coefficient, 以下 ICC) によって検討した。なお、統計解析には R-2.8.1 を用い、有意水準は 5% とした。

結 果

被験者 41 名 246 試技における 1 回目と 2 回目の平均値について、平均歩行速度 (m/s) は 1 回目 1.56 ± 0.34 , 2 回目 1.57 ± 0.35 , 平均歩幅 (cm) は 1 回目 77.48 ± 9.82 , 2 回目 77.13 ± 9.80 , RMS (1/m) は 1 回目 1.58 ± 0.33 , 2 回目 1.60 ± 0.35 , 歩行周期 (秒) は 1 回目 0.99 ± 0.12 , 2 回目 0.99 ± 0.11 , 歩行周期ばらつき (秒) は 1 回目 0.033 ± 0.024 , 2 回目 0.031 ± 0.019 であった。平均歩行速度、平均歩幅、歩行周期および歩行周期ばらつきにおいては 1 回目と 2 回目の間に有意差が認められなかったが、RMS においては認められた。また、ICC については、平均歩行速度



図 1 AYUMI EYE の基本構成



図 2 被験者への装着部位

表 1 測定値の再現性

	1回目	2回目	p値	ICC
平均歩行速度 (m/s)	1.56 ± 0.34	1.57 ± 0.35	0.64	0.960
平均歩幅 (cm)	77.48 ± 9.82	77.13 ± 9.80	0.14	0.930
RMS (1/m)	1.58 ± 0.33	1.60 ± 0.35	0.03	0.368
歩行周期 (秒)	0.99 ± 0.12	0.99 ± 0.11	0.53	0.862
歩行周期ばらつき (秒)	0.033 ± 0.024	0.031 ± 0.019	0.22	0.266

平均±標準偏差, ICC=Intraclass correlation coefficient, RMS=Root Mean Square

は 0.960, 平均歩幅は 0.930, RMS は 0.368, 歩行周期は 0.862, 歩行周期ばらつきは 0.266 であった (表 1)。

考 察

歩行分析により得られる情報は多く, 中枢神経疾患, 整形外科疾患, 認知症, 高齢者, 転倒などを対象にした研究では, 身体の状態により歩行の特徴が変化することが示唆されており¹¹⁻¹⁷⁾, 歩行分析の意義は深いと考えられる。しかし, 歩行距離と異なり, 歩行分析を客観的に行うことは容易ではない。臨床現場等においては, 理学療法士などが歩行の専門家として, 患者に適切なりハビリテーションを施すために, 知識と経験に基づき歩行分析を行なっているが, 主観的な評価に基づいているのが現状である。

臨床現場において日常的に, 理学療法士が客観的な歩行分析を行えることは, 理学療法士の評価を多面的にすることや, 評価の質を一定以上に担保すること, また特に若い理学療法士などの学習においても効果的である。しかし, 適切な計測が可能で一般に普及している機器は, ストップウォッチ以外ないのが現状である。

定量的なパラメータによる総合的な歩行分析は, 各種機器デバイスによって行われ, その種類は床反力計, 三次元動作計測システムなど多岐にわたるものが認知されている¹⁸⁾。しかしそれらの多くは高額, あるいは準備に多大な労力がかかるなど一般的に気軽に利用できるものではなく, また分析や解釈が専門的で難解であり, 研究等を積極的に行う施設を除けば, 幅広い利用層に日常的に用いられているとは言い難い。しかし, こういった機器が研究等を積極的に行う施設以外でも手軽に扱えるようになれば, 客観的な歩行分析がより身近なものになると考えられる。したがって, AYUMI EYE のようなデバイスの信頼性が一定以上保たれており, 様々な条件・シーン・測定環境における利活用方法において適切な結果が算出されているかを明らかにすることは, 多くの臨床現場にとって有用となりえる可能性があり, より詳細に検討されるべきである。

本研究の目的は, 歩行解析デバイス AYUMI EYE の再現性を, 異なる歩行条件で比較・検討し, その臨床的有用性を検討することとした。加速度計を使用した歩行分析では, 歩行動作を周期的な身体重心の移動として捉え, その律動的变化を加速

度計にて測定することにより, 歩容の異常を客観的に測定することが可能である⁶⁾。加速度信号波形を基にして得られる指標として, 変動性を示す RMS¹⁾, 規則性・対称性を示す自己相関係数 (auto-correlation coefficient: AC)²⁾, HR (Harmonic Ratio)^{2,8,9)} などが用いられている。AYUMI EYE では, 3 軸の加速度情報から自動的に算出する平均歩行速度, 平均歩幅, RMS, 歩行周期および歩行周期ばらつきを計算しており, 本研究ではこれらの再現性を検討した。

平均歩行速度においては, 41 名 246 試技における 2 回の測定値は, ICC が 0.960 であり, ICC による再現性の解釈 (0.9 以上: 優秀, 0.8 以上: 良好, 0.7 以上: 普通, 0.6 以上: 可能, 0.6 未満: 再考)^{19,20)} に基づくと, 平均歩行速度の再現性は「優秀」であった。平均歩幅の再現性については ICC が 0.930 であり, 「優秀」の判定であった。RMS の再現性については ICC が 0.368 であり, 「再考」の判定であった。歩行周期の再現性については ICC が 0.862 であり, 「良好」の判定であった。歩行周期ばらつきの再現性については ICC が 0.266 であり, 「再考」の判定であった。これらの結果から, AYUMI EYE から得られる測定値において, 平均歩行速度, 平均歩幅, 歩行周期は臨床場面で十分に使用できる再現性を有していると考えられた。RMS, 歩行周期ばらつきに関しては, 再現性のばらつきが大きかった。

RMS について, 先行研究では, 左右方向波形は複雑に変化するため, 左右足の判断に利用する程度にとどめておくべきこと, 動揺性に関する指数以外には歩行の特徴を抽出することが困難であると指摘している^{18,21)}。本研究はそれらを追認する結果となったが, これは AYUMI EYE が先行研究の示す有用性に基づき¹⁾, 動揺性の指標として RMS を採用しており, その算出に左右加速度を用いているため, 歩行動作そのものにおける左右加速度の再現性のばらつきが反映されたと考えられる。本研究の結果は, RMS の測定値を絶対的な評価ではなく, 測定時の動揺性を評価できるものとして考慮すべきであることを示唆している。

歩行周期ばらつきに関して, 本研究の結果では, その平均値に比して標準偏差が大きいことが, 再現性のばらつきを認めた原因と考えられる。加速度センサーによる高齢者の歩行周期変動を検討した先行研究では, 歩行距離 10m での歩行分析において, 歩数, 歩幅が結果に強く影響する可能性を指摘している¹⁷⁾。本研究では被験者を健常成人の

男女としたため、平均歩幅（1 回目 77.48 ± 9.82 , 2 回目 77.13 ± 9.80 ）の再現性はあるものの、その標準偏差が比較的大きくなり、歩行周期ばらつきの再現性がばらついた可能性が示唆された。参考値ではあるが、被験者の中から男性のみ無作為に 18 試技抽出したところ、ICC が 0.648 であったため、歩行周期ばらつきは被験者の特性を考慮する必要がある可能性を示している。

これらの知見から、AYUMI EYE によって、歩行能力を客観的かつ容易に測定できることが確認された。ただし、今回の結果は健常成人のみを対象としたものであり、高齢者や小児、および疾患を有する者についての検討はできていない。また、本研究は、測定値の再現性を、検者内相関を検討することによって行われたが、検者間での検討も必要である。さらには、測定値の妥当性の検討も必要である。例えば、下肢筋力やバランス能力、あるいは立位での活動能力などとの比較検討が重要であると考えられる。よって、これらの事項が本研究の限界であり、今後の課題である。このような限界点は有すものの、AYUMI EYE の再現性を検証し、新たな歩行評価ツールとして提案できたことは、意義深いと考える。今後は、横断あるいは縦断的調査によって、AYUMI EYE が持つツールとしての有用性を明らかにしていきたい。

文 献

- 1) Moe-Nilssen R: Test-retest reliability of trunk accelerometry during standing and walking. Arch Phys Med Rehabil, 1998, 79: 1377-1385.
- 2) Auvinet B, Berrut G, Touzard C, et al.: Reference data for normal subjects obtained with an accelerometric device. Gait Posture, 2002, 16: 124-134.
- 3) 山田 実, 平田総一郎, 小野 玲・他: 体幹加速度由来歩行指標による歩容異常の評価—歩容指標の変形性股関節症患者と健常者との比較, および基準関連妥当性—. 理学療法学, 2006, 33(1): 14-21.
- 4) 山田 実, 平田総一郎, 小野 玲・他: 変形性股関節症患者における歩容異常の関連要因—重回帰分析を用いた検討—. 運動・物理療法, 2005, 16(4): 298-306.
- 5) 浅井 剛, 永嶋道浩, 前川 匡・他: 小型 3 軸加速度センサを用いた変形性膝関節症患者の歩行分析. 神戸学院総合リハビリテーション研究, 2009, 4(2): 23-29.
- 6) Kavanagh JJ, Menz HB: Accelerometry: a technique for quantifying movement patterns during walking. Gait Posture, 2008, 28: 1-15.
- 7) 大坂 裕, 渡邊 進, 藤田大介・他: 歩行分析における加速度計の適切な装着部位—相互相関係数を用いた比較—. 理学療法科学, 2011, 26(6)
- 8) 田中尚文, 園田 茂, 村岡慶裕・他: 小型加速度計による歩行分析の再現性および妥当性の検討. リハビリテーション医学, 1996, 33(8): 549-553.
- 9) Henriksen M, Lunda H, Moe-Nilssen R, et al.: Test-retest reliability of trunk accelerometric gait analysis. Gait Posture, 2004, 19(3):
- 10) Maki BE : Gait changes in older adult: predictors of falls or indicators of fear. J Am Geriatr Soc. 1997;45:313-320.
- 11) Koller WC, Trimble J: The gait abnormality of Huntington's disease. Neurology. 1985;35:1450-1454.
- 12) Baltadjieva R, Giladi N. et al.: Marked alterations in the gait timing and rhythmicity of patients with de novo Parkinson's disease. Euro J Neurosci. 2000;24:1815-1820.
- 13) Schaafsma JD, Giladi N. et al.: Gait dynamics in Parkinson's disease: relationship to Parkinsonian features, falls and response to levodopa. J Neurol Sci. 2003;212:47-53.
- 14) Sheridan PL, Solomont J. et al.: Influence of executive function on locomotor function: divided attention increases gait variability in Alzheimer's disease. J AM Geriatr Soc. 2003;51:1633-1637.
- 15) Akker-Scheek IVD, Stevens M, et al.: Recovery of gait short-stay total hip arthroplasty. Arch Phys Med Rehabil. 2007;88:361-367.
- 16) Fkel-Toledo S, Giladi N, et al.: Effects of gait speed on gait rhythmicity in Parkinson's disease: Variability of stride time and awing time respond differently. J Neuro Engineering Rehabil. 2005;23:1-7.
- 17) 新井智之, 柴 喜崇, 渡辺修一郎・他: 10m 歩行における歩行周期変動と運動機能, 転倒との関連—小型加速度計を用いた測定—. 理学療法学, 2011, 38(3): 165-172.

- 18) 山崎信寿：加速度計による歩行障害の計測と評価. 第20回日本人間工学会前刷;1979. p.194-5.
- 19) 桑原洋一, 齊藤俊弘, 稲垣義明: 検者内および検者間のReliability(再現性, 信頼性)の検討. 呼と循, 1993, 41(10):945-952.
- 20) 谷 浩明: 評価の信頼性. 理学療法科学, 1997, 12(3): 113-120.
- 21) 高田耕太郎, 安保雅博: 小型三次元加速度計を用いた歩行評価の臨床的有用性の検討. 慈恵医大誌, 2004;119:31-8.

伊藤太祐 略歴

理学療法士.

京都大学医療技術短期大学部理学療学科卒.
立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科修了.
京都大学医学部附属病院リハビリテーション部,
京都下鴨病院理学療法部,
株式会社メディックメディア,
税理士法人アーチを経て, 現在は株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団AYUMI EYE事業部マネージャーとして, AYUMI EYEの開発・研究・営業等に携わり, 学会発表等も積極的に行っている.
関連書籍に, 編集指導として「クエスチョン・バンク 理学療法士・作業療法士 国家試験問題解説シリーズ」(株式会社メディックメディア).

連絡先 〒108-0074 東京港区高輪 4-24-58-2F
株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団
AYUMI EYE 事業部
Tel : 03-5447-5470
E-mail : t_ito@waseda-e-life.co.jp

歩行解析デバイス AYUMI EYE の 再現性の検討

伊 藤 太 祐

株式会社早稲田エルダリーヘルス事業団
AYUMI EYE 事業部 マネージャー / 理学療法士

要 旨

本研究では, 歩行解析デバイス AYUMI EYE から得られる計測データの再現性を検討することを目的とした. AYUMI EYE は3軸加速度センサーを用いて, 歩行時の加速度データに基づき, 歩行機能をスコアリングするデバイスである. 健常成人41名を対象に靴紐が緩い状態・靴紐をしっかりと締めた状態・靴紐をしっかりと締め, さらに足底挿板を挿入した3条件において, 快適歩行と最大速度歩行各2本の計12本測定した. ICCはそれぞれ, 平均歩行速度0.960, 平均歩幅0.930, RMS0.368, 歩行周期0.862, 歩行周期ばらつき0.266であった. 臨床場面での使用に十分に耐え得る再現性を有すること, RMSは測定時の動揺性を評価していること, 歩行周期ばらつきは被験者の特性を考慮する必要性が示唆された.

キーワード: AYUMI EYE, 加速度計, 歩行解析, 再現性

Reproducibility of AYUMI EYE as an evaluation system for walking ability

Taisuke Ito

Waseda Elderly Health Association Co., Ltd.

Abstract : The purpose of this study was to determine the test-retest reliability of AYUMI EYE that is an accelerometer-based gait evaluation system which measures 3D accelerations of the trunk. The study subjects were 41 healthy individuals. Accelerations were measured during comfortable and maximum speed walking using a triaxial accelerometer mounted on the third lumbar spinous process of the subjects under three conditions with loose shoelaces, tight shoelaces, and insole insertion. With regard to measurement reproduction, average walking speed had an ICC=0.960, average stride had an ICC=0.930, RMS had an ICC=0.368, stride time had an ICC=0.862, and stride time variability was ICC=0.266, suggesting that they have adequate reproducibility for application in the clinical setting. RMS evaluates walking stability during measurement, and stride time variability needs to take into account subject characteristics.

Key word : AYUMI EYE, accelerometer, gait evaluation, reproducibility