

FASH: 圧力センサを用いた歩行時の疲労検知

米川 賢治[†] 米澤 拓郎[‡] 由良 淳一[‡] 中澤 仁[‡] 高汐 一紀[‡] 徳田 英幸[†]
[†]慶應義塾大学環境情報学部 [‡]慶應義塾大学政策メディア研究科

1. はじめに

高齢者の年間転倒発生率は17%であり、そのうちの約33%の人が骨折することが分かっている [1]. 高齢者の治療能力の低下により、転倒による怪我が完治するまでに時間がかかり、QOL(Quality Of Life)の低下につながっている。また、転倒した際の打ち所によっては死亡する場合もあり、75歳以上の死亡原因では交通事故による死亡人数よりも転倒による死亡人数の方が多くなっている [2].

上記の背景を踏まえて、本研究では高齢者の転倒を未然に防ぐことを目的とする。転倒の原因は、静的要因と動的要因に分けられる。静的要因は体力、筋力、視力や反応速度の低下などが挙げられる [4]. 一方、動的要因は肉体的疲労によるバランス感覚の低下や運動機能の低下が挙げられる [3]. 静的要因は年をとることにより進行するため、本人が認識がしやすい。しかし、動的要因に関する疲労は、その程度の認識が難しく、問題がないと思いつづけることで、転倒事故につながるということが分かっている。そのため、本研究では歩行時の疲労を検知し、ユーザに通知することで転倒を防止する FASH(Fatigue Alerting SHoes) の設計及び実装を行う。

2. 疲労解析

本章では、取得した圧力データから疲労を解析する手法、及び疲労を数値化する手法について述べる。

2.1 疲労解析手法

疲労が歩行に与える影響として既存研究から、1) 足が上がりにくくなる [4]、2) 歩くテンポが遅くなる [5]、3) バランスが悪くなる [10] ことが分かっている。 [8] では加速度センサ、 [9] ではカメラを用いているが、本研究では圧力センサを用いる。圧力センサを靴に埋め込むことにより、ユーザができる限り意識されずに行動することを可能とし、前述の 1), 2), 3) を圧力データから解析可能であると考えられるからである。

我々は圧力センサの有用性を確認するために、事前実験を行い、30分間走った前(正常時)と後(疲労時)の圧力データを取得、比較を行った。その結果、以下に挙げられる特徴が見受けられた。

1. 最大圧力の低下
足が地面に接する際の圧力の最大値が低下する。
2. 接地時間の伸長
足が地面に接している時間が長くなる。
3. 圧力の変移
かかととつま先間の圧力が変化する。

“最大圧力の低下”とは上記の“1) 足が上がりにくくなること”に対応すると考えられる。“接地時間の伸長”は“2) 歩くテンポが遅くなること”に対応すると考えられる。“圧力の変移”は“3) バランスが悪くなること”に対応すると考えられる。これらより、圧力センサを用いることで、疲労する前と後の差異が検出可能であることが分かった。

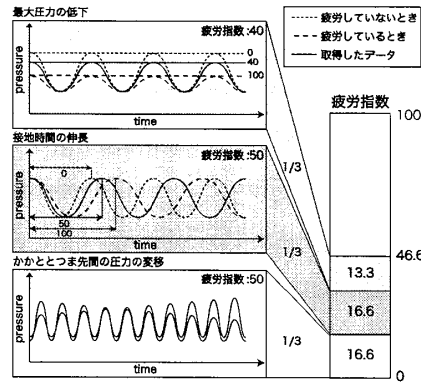


図 1: 疲労指数算出方法

なお、かかととつま先間の圧力の変移は人によって異なることが考えられ、現時点では有効な定義ができていない。これは、疲労によって圧力がつま先よりになる人もいれば、かかとよりになる人もいるためである。そのため、追加にデータを取得し、圧力の変移の解析を行い、パターンを定義することが必要である。本研究では上記の3種類の特徴を検知することでユーザの疲労の検知を行う。

2.2 疲労指数の定義

走った後に取得したデータを走る前に取得したデータと比較し、その変化の割合を初期実験のために疲労指数100と定義した。図1に疲労指数の算出方法を記す。

疲労指数は2.1で挙げた3つの疲労解析手法で得られた疲労指数の重みを等しくし、0-100の値で算出している。その後、疲労指数の判定を行い、疲労指数が一定以上に達していればユーザに通知する。ユーザに通知する閾値については、本研究で定義した疲労指数と転倒の可能性を対応付ける必要があるため、検討が必要である。

3. FASH の実装

図2にFASHのシステム構成を示す。

本システムは圧力センサ、IMote2、NUTSによって構成されている。IMote2 [6] はセンサデータを取得することができ、データを Zigbee を用いて送受信が可能なデバイスである。NUTS は Gumstix [7] を搭載し、通信手

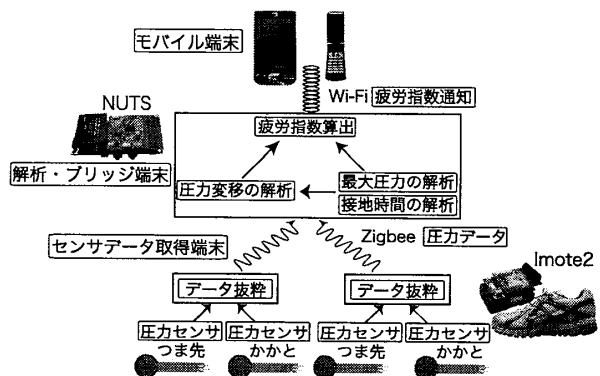


図 2: システム構成図

Fatigue Alerting SHoes
 Kenji Yonekawa[†], Takuro Yonezawa[‡], Jun'ichi Yura[‡], Jin Nakazawa[‡], Kazuki Takashio[‡], Hideyuki Tokuda[‡]
 Email: kenz@ht.sfc.keio.ac.jp

[†]Faculty of Environment Information, Keio University. SFC, Endo4322, Fujisawa, Kanagawa 252, JAPAN

[‡]Graduate School of Media and Governance, Keio University

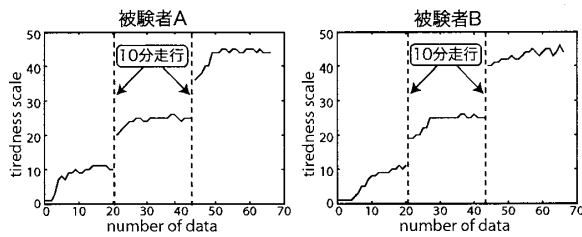


図 3: 疲労指数評価実験結果

段として Zigbee, Bluetooth 及び Wi-Fi を使用する事のできる本研究室で開発しているデバイスである。

圧力センサはデータを約 $0-100\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ の値で取得する。圧力センサは埋める場所や個人差によって取得できる圧力の値は変わる。そのため、本研究では靴を履き、足を地面につけた状態で圧力データを取得し、その平均値を閾値として足が地面に付いているか否かを判別している。これにより圧力センサの位置や、ユーザの歩き方等による誤差を軽減している。

IMote2 は左右それぞれの靴に 1 つずつ搭載され、靴の中敷きの下に埋め込まれた圧力センサに接続されている。IMote2 は取得した圧力データから必要なデータを抜粋している。データは Zigbee を用いて NUTS に送信される。

NUTS は受信したデータを用いて、最大圧力、設置時間、圧力の変移を解析し、2.1 で定義した手法を用いて算出された疲労指数は、ユーザに Wi-Fi を用いて通知される。

データに外れ値が存在すると、算出される疲労指数が的確ではなくなる。そのため、データを解析する際には、ある一瞬のデータではなく、一定数のデータをまとめて処理し、それらの平均から離れている外れ値を除外する。しかしこの方法では、ユーザが何かを見るためにゆっくり歩くなど一定時間特殊なテンポで歩行を続けてしまうと、特殊なデータが増えた際に外れ値として除外されず、算出される疲労指数に誤りが生じてしまう。一方で、歩行のテンポの変化は疲労指数を算出する構成要素のうち、接地時間にしか変化をもたらさないため、システムが算出する疲労指数への影響は軽減される。しかしいずれにせよ、少なからずの影響が及ぼされるため、ノイズ処理の方法には再検討の余地がある。

4. 評価

疲労解析手法の有効性、及び初めて履いた人に対する適用可能性、の 2 点について評価を行う。そのため、20 歳から 22 歳の 2 人の男性から次の手順でデータを取得した。

1. $2\text{km}/\text{h}$ で 1 分間歩行し、データを取得する。
2. $10\text{km}/\text{h}$ で 10 分間走行する。
3. $2\text{km}/\text{h}$ で 1 分間歩行し、データを取得する。
4. 2, 3 をもう 1 度繰り返す。

歩行、走行はランニングマシンで行い、平常時の歩行パターンは、上記の 1 で取得したデータとした。走行したことによる疲労が、検知されていることを確認するため、FASH の算出した疲労指数が上昇するかを調べた。その結果、図 3 のような疲労指数の推移が見られた。実線が歩行時の疲労指数を示しており、点線がその間に 10 分間走行したことを示している。図 3 は走行することにより、疲労指数が上昇することを示している。このことから、FASH を初めて履いた人でも疲労指数の算出が行え、疲労解析手法の有効性が確認された。

5. 関連研究

Weinberg らは、頭につけた加速度センサで傾きを検知し、それをユーザに装着したデバイスを振動させることで、バランスをとるように促すシステムを提案している [8]。しかし、加速度センサを頭部に装着するため、意識せずに使用することはできず、首をかしげる等の行為などによりデータの的確な解析が難しいと考えられる。本研究では、圧力センサを靴に埋め込むことで意識せずに使用可能とし、転倒の直接の原因である足から情報が取得できるため、信頼性のあるデータの取得が可能であると考えられる。

また、画像解析を用いて人の歩行のパターンを検出する研究 [9] も存在する。[9] ではあらかじめ取得した画像の情報を利用し、グレースケール化やエッジ抽出を用いて人の四肢が動くパターンを検出している。しかし、カメラを用いているため、外を歩いたりなど、実生活では使用できない。本研究では靴から圧力データを取得するため、実生活での使用が可能である。

6. まとめ、今後の展望

本研究では疲労による転倒を防ぐため、圧力センサを用いて歩行時の疲労を検知し、ユーザに通知するシステム FASH を提案した。また、そのプロトタイプを実装し、評価を通じて本研究の疲労解析手法の有効性を確認した。今後の課題として、ノイズ除去について適切なアルゴリズムを適用し、疲労を検出する精度を上げる必要がある。また、本研究の疲労指数と転倒可能性を対応付け、ユーザに通知する適切なタイミングの取得を実現する必要がある。

参考文献

- [1] 宮原洋八, 佐藤由紀恵, 佐竹雅子. 地域高齢者の転倒における関連要因について. 理学療法科学, Vol. 20, No. 4, pp. 259-262, 2005 年.
- [2] あいち健康プラザ. 高齢者の転倒-大腿骨頸部骨折. <http://www.ahv.pref.aichi.jp/hp/page000000400/hpg000000398.htm>, May. 10 2006.
- [3] 元重朋子, 荒木勉, 松岡克典. B114 疲労が歩行と心拍に与える影響の解析. バイオエンジニアリング学術講演会・セミナー講演論文集, Vol. 2002, No. 13, pp. 59-60, 2002 年 9 月.
- [4] 檜崎雄之. 図解高齢者・障害者を考えた建築設計. 2000 年.
- [5] 吉野公三, 荒木勉, 松岡克典. 415 ストレスと疲労がヒトの生理・歩行リズムに与える影響に関する研究. バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 2003, No. 15, pp. 113-114, 2003 年 1 月.
- [6] Crossbow. imote2. <http://www.xbow.com/>, Aug. 4 2008.
- [7] gumstix. gumstix. <http://www.gumstix.com/>, Aug. 4 2008.
- [8] III. Wall, C., M.S. Weinberg, P.B. Schmidt, and D.E. Krebs. Balance prosthesis based on micromechanical sensors using vibrotactile feedback of tilt. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, Vol. 48, No. 10, pp. 1153-1161, Oct 2001.
- [9] Jang-Hee Yoo, M.S. Nixon, and C.J. Harris. Extracting human gait signatures by body segment properties. *Image Analysis and Interpretation, 2002. Proceedings. Fifth IEEE Southwest Symposium on*, pp. 35-39, 2002.
- [10] 修一大淵. 高齢者の転倒と予防 ((特集) 高齢者のバイオメカニズム: サクセスフル・エイジングを目指して). *バイオメカニズム学会誌*, Vol. 27, No. 1, pp. 2-5, 20030201.