

高齢者のロコモ度を考慮した単一慣性センサによる歩行解析

知能メカトロダイナミクス研究室 1170166 大和 千紘

1. 緒言

現在日本は超高齢社会であり、中でも多くの高齢者はロコモティブシンドローム（以下ロコモ）と診断されている。ロコモとは運動器の機能が低下し、「立つ」「歩く」といった動作が困難になることである。ロコモの主な原因としては、関節・椎間板の変形、骨の脆弱化、筋肉・神経の機能低下が挙げられる。進行すると介護が必要となったり寝たきりになったりする危険性が高まるとされ、2007年に日本整形外科学会からロコモが提唱された。

移動機能を確認するためのテストとしてロコモ度テストがある。ロコモ度テストは生活習慣などのアンケート「ロコモ25」、段差から両足及び片足で立ちあがる「立ち上がりテスト」、大腿で2歩歩行する「2ステップテスト」の3つで構成されている。テストの結果からロコモ度が判定され、ロコモ度1は移動機能の低下が始まっている状態、ロコモ度2は移動機能の低下が進行している状態とする。ロコモ度1に達しなかった高齢者をロコモ度0とする。本研究で着目する「2ステップテスト」では歩幅を身長で割り2ステップ値を求め、ロコモ度判定を行う。同時に専門医の目視等で下肢バランス能力も判定しており、移動機能を総合的に評価するには病院などに行く必要がある。

そこで、本研究では高齢者でも病院や施設に行くことなく個人で容易に2ステップテストの定量評価が行えるシステムを提案する。現在下肢バランス能力についての定量的な指標が確立していないため、ウェアラブルかつ軽量の慣性センサを人間の重心である背側腰中央に1つ取り付け、歩幅の算出と同時に下肢バランス能力の判定を行うことを目的とする。また、成人20代男性と高齢者を被験者として歩行実験を行い、ロコモ度進行ごとの特徴が抽出可能であるか検討する。

2. 歩幅の推定⁽¹⁾

歩幅は、理論的には慣性センサから得られた進行方向の加速度を2度積分することで得ることができる。しかし実際にはローカル座標で出力されるため、慣性センサが腰の回転や取り付け時の傾きによる影響を考慮し、グローバル座標系に変換する必要がある。また、加速度を1階積分して得られる速度は、歩行開始前及び歩行終了後の停止区間の速度は0m/sであるはずだが、加速度の計測誤差や積分誤差の影響により速度が0m/sにならないため、誤差を排除する必要がある。

そのため、慣性センサから得られたデータに座標変換を行い、進行方向加速度に対して速度を補正する。停止区間の速度を0m/sとし、歩行区間の速度は誤差が一定の割合で増加すると仮定して補正を行うことで誤差を排除することができる。補正前と補正後の速度を図1に示す。補正後は、歩行前後の停止区間の速度が0m/sとなった。得られた補正後の速度を台形積分することで歩幅の推定を行い、2ステップ値を算出する。ロコモ度の進行した状態では、移動機能の低下により歩幅が減少し、2ステップ値も小さくなると考えられる。

3. 下肢バランス能力の判定

歩行時に生じる衝撃や負荷を緩和し、体重移動と力の伝達を効率よくするために重要なものとして歩行時の骨盤の動き

がある⁽²⁾。歩行時に生じる骨盤の3つの動きを図2に示す。骨盤の可動性が低下する要因としては、腰の可動性が低下することが挙げられるため、腰の動きを見ることで歩行動作が確認できると考えた。

また、バランス能力が低下している高齢者は静止時においても片足立ち保持時間が短くなることに関連付けて、歩行時の片足支持時間も短くなると考えた。

したがって、慣性センサで3軸の角速度及び加速度の取得を行い以下4項目からロコモ度別の歩行特性を評価し得るかを検討することとする。

(1) 3軸の角速度

高齢者は腰の前後動作が大きくなる傾向があるので、伸展の角速度により高齢者歩行の特徴を見いだせると考えた。

(2) 局所的な横方向加速度の極値

体重心の揺れが横方向加速度に表れると考える。横方向加速度の局所的な極値を判別し、値の大きさから重心移動の判断を行う。

(3) 回旋角度

足踏み出し時の回旋角度は慣性センサで取得した角速度を積分することで算出する。

(4) 2歩目片足支持区間の割合

踵接地及びつま先離地の判断はそれぞれ進行方向の加速度、鉛直方向の加速度から求める方法⁽⁴⁾を用いる。2歩目のつま先離地から踵接地までの時間を歩行時間で割ることで歩行区間時間を無次元化時間で算出する。

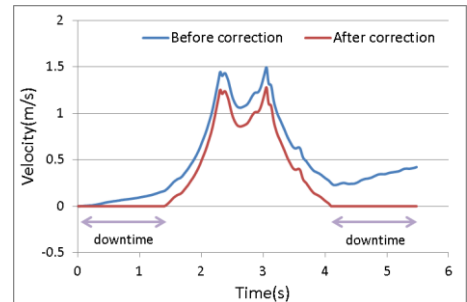


Fig.1 Before and after velocity correction

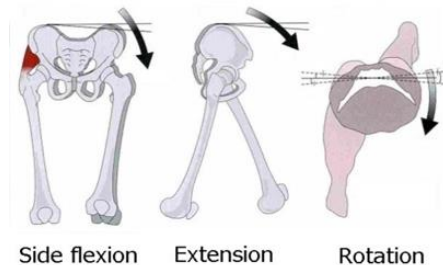


Fig.2 Three movement of the pelvis⁽³⁾

4. 歩行実験の概要

ウェアラブルな慣性センサを被験者の背側腰中央に取り付け、大腿で2歩歩行した時の歩行データの計測を行った。被

験者の年齢及び身長データの表1に示す。成人20代男性2名、高齢者10名（ロコモ度0：3名、ロコモ度1：4名、ロコモ度2：3名）の計12名に対して3回ずつ行った。また、同時に比較検証用としてモーションキャプチャ（以下MC）でも歩行時のデータを取得した。なお、被験者には実験の同意を得、高知工科大学倫理審査委員会の承認を得ている。

Table1 Subject data

Test subject	Age	Height(m)
Adult male	23.5±0.50	1.73
Old person	79.0±5.40	1.47±0.20

5. 実験結果

成人20代男性と高齢者のロコモ度ごとに比較を行い、ロコモ度別に特徴が表れるか確認する。

(1) 歩幅

ロコモ度別に平均をとった2ステップ値を図3に示す。波形及び値において、MCと慣性センサでは近い値で算出でき、被験者12名分の誤差は1.9±1.3cmと、歩幅やバランス能力の有無に関係なく精度よく算出することができた。また、ロコモ度が進行するにつれ2ステップ値が小さくなっていることがわかる。

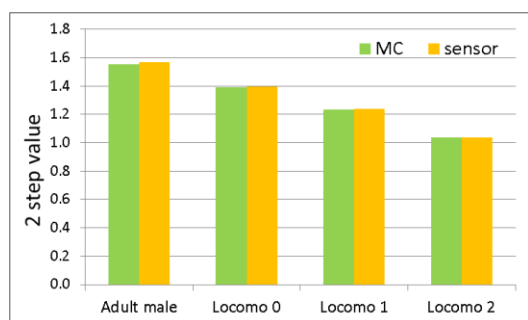


Fig.3 2 step value

(2) 3軸の角速度

結果は紙面の都合上省略するが、側屈について高齢者のみで比較を行うと、ロコモ度2は角速度の値が小さくロコモ度0は値が大きい傾向があった。伸展についても値の大小関係は側屈と同様な傾向がある。ロコモ度2の値が小さく算出されたのは歩幅と関係しているためだと考えられる。回旋については値に大きな違いはみられなかった。

(3) 局所的な横方向加速度の極値

1歩目及び2歩目の横方向加速度の極値を算出した結果を図4に示す。比較するとロコモ度0やロコモ度1は値が大きい傾向あり、成人男性やロコモ度2では値が小さい傾向が見られた。値が大きい要因としては、大股歩行が可能ではあるが筋力の衰えによって勢いよく踵をつけ、身体のバランスを崩すためと考える。値が小さい要因としては、ロコモ度2は歩幅が小さく速度を落として歩行しているためであり、成人男性では歩幅が大きく速度もあるためバランスが取れていると考える。このように値が小さい場合は要因が一つではないと考えられる。

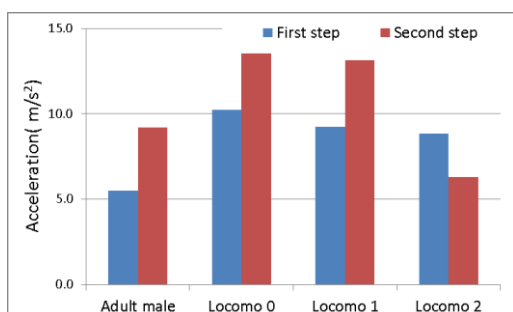


Fig.4 Local extreme value of acceleration

(4) 回旋角度

1歩目及び2歩目の回旋角度を算出した結果を図5に示す。成人20代男性の回旋角度は大きく、ロコモ度が高くなるにつれて小さくなっていることがわかる。角度が小さくなる要因として、高齢者は筋肉の衰えにより可動性が低下するためと考える。

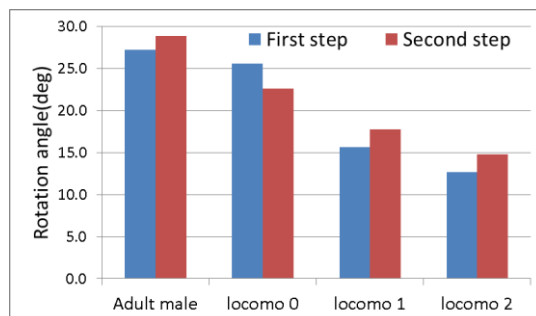


Fig.5 Rotation angle by Locomotive syndrome

(5) 2歩目片足支持区間の割合

結果を図6に示す。ロコモ度が上がると割合も減少していることから、移動機能の低下により片足支持区間が減少することがわかった。

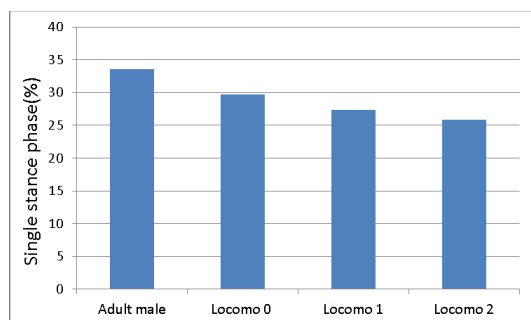


Fig.6 Single stance phase by Locomotive syndrome

6. 結言

本研究では高齢者が個人で容易に2ステップテストの定量評価が行えるシステムを提案し、歩幅及び下肢バランス能力の判定を行った。高齢者を被験者とした歩行実験からロコモ度ごとの特徴を明らかにした。

歩幅については、高齢者であっても提案法により精度高く測定可能であることが示され、またロコモ度が上がると歩幅が小さくなる、すなわち2ステップ値が小さくなる傾向が得られた。また、下肢バランスについては多少の個人差はあるもののロコモ度別の特徴が、側屈と伸展の角速度、回旋角度、2歩目片足支持区間の割合に表れる可能性が高いことが示された。

以上の結果より歩幅、側屈及び伸展の角速度、回旋角度、2歩目片足支持区間の割合の結果を合わせて検証することで2ステップテストによるロコモ度進行度合いを高齢者でも慣性センサひとつで簡易に行うことが可能な見通しが得られた。

参考文献

- (1) 橋口秋彦 他 “慣性センサを用いた積分による距離推定”, 日本機械学会中国四国学生会第45回学生員卒業研究発表講演会(2015), 講演番号 517
- (2) 藤田和広, 歩行時の骨盤3つの動きと腰痛 <http://ameblo.jp/strangedays7/entry-11393450979.html> (参照日:2017/01/10)
- (3) キルステンゲッツノイマン, 観察による歩行分析, p.36
- (4) 黒住亮太 他 “三軸加速度センサを用いた詳細歩行能力解析と歩行支援のためのリハビリテーション・トレーニング方法の検討”, 日本機械学会第24回バイオエンジニアリング講演会(2012), 講演番号 7B14