

授与番号	甲第 1839 号
------	-----------

論文内容の要旨

Gait analysis of patients with lumbar spinal stenosis using a wearable tri-axial acceleration sensor

(腰部脊柱管狭窄症における重症度の評価：ウェアラブル3軸加速度センサーを使用した歩行分析)

(金野大地, 村上秀樹, 遠藤寛興, 山部大輔, 千葉佑介, 安部悠一郎, 和田俊太郎, 千田康, 土井田稔)

(Journal of Iwate Medical Association 73 巻, 4 号, 2021 年 10 月掲載)

I. 研究目的

腰部脊柱管狭窄症(Lumbar Spinal Stenosis: LSS)患者は間欠性跛行などの特徴的な神経症状により歩行能力が障害される。保存加療に抵抗性の場合、手術加療が選択肢に挙がる。しかし、現在LSSの術後評価は患者質問票などの主観的な評価が主であり、客観的に歩行機能を定量化する評価法は確立されていない。そのため歩行解析により、LSS患者の歩行特徴量を定量化できれば、診断の一助や治療後評価判定の指標となりうる。

LSS患者に対する床反力計や三次元動作解析装置を用いた歩行解析は確立されているが、実験室環境や測定装置が必要なため近年、代替手法として加速度センサに代表されるウェアラブルデバイスを用いた歩行解析が拡大している、しかし、現時点で加速度センサから算出されるパラメータは視覚的ではなく、即座に定量化できない。そこで我々は加速度データから体幹運動の左右比を簡便に視覚的に捉えることができるLissajous figureを作成し、そこから歩行対称性を定量化できるLissajous Index(LI)値を算出した。ウェアラブルデバイスで視覚的、数値的に理解できるパラメータを確立することは、将来の臨床応用に向けて価値があると考えられる。LSS患者に対し3軸加速度センサを用いた歩行解析は散見されるものの、Lissajous figureとLI値にて視覚化・定量化した研究報告は渉猟し得た限りまだない。本研究の目的はウェアラブル3軸加速度センサを用いて歩行解析を行い、Lissajous figureとLI値が術後評価としての有用性を確かめることである。

II. 研究対象ならび方法

当院にて手術を施行したLSS患者中32名(男性15名,女性17名,平均68.7歳)を対象とした。歩行試験は術直前と、術後3か月時に施行した。ウェアラブル3軸加速度センサを

貼付し最大歩行速度で直線 25m を往復して 6 分間歩行試験を行い、その間の歩行距離 (6MWD) も測定した。尚サンプリングレートは 200Hz に設定した。測定した加速度データから、折り返し地点を除く安定した 2048 ポイントのデータを 0-1 分, 1-2 分, 2-3 分, 3-4 分, 4-5 分, 5-6 分間から各々抽出し、左右対称性の指標である Lissajous Index (LI) を算出した。LI 値は 1 に近づくほど対称性良好な歩行であることを示す。また、臨床症状との関係を検討すため日本整形外科学会腰痛疾患治療判定基準 (The Japanese Orthopedic Association's evaluation for lower back pain syndrome: JOA score) と Oswestry Disability Index (ODI) を用いた。

術前後の検討には対応のある t-検定を用い、経時的変化の検討には Analysis of variance: ANOVA を用いて検討した。LI 値と JOA score/ODI との関係性について Pearson の相関関係を用いて検討した。有意水準は $P < 0.05$ とした。

III. 研究結果

平均 6MWD は術前 395.1 ± 60.8 m, 術後 455.4 ± 64.4 m と有意に延長していた ($P < 0.001$)。術前と術後の平均 LI 値は、それぞれ 0-1 分で 33.9 ± 35.8 と 29.6 ± 17.7 , 1-2 分で 44.3 ± 37.1 と 20.3 ± 17.6 , 2-3 分で 46.8 ± 38.1 と 22.9 ± 18.9 , 3-4 分で 48.4 ± 38.8 と 26.7 ± 19.8 , 4-5 分で 55.5 ± 42.6 と 27.6 ± 17.0 , 5-6 分で 52.4 ± 36.9 と 20.7 ± 15.4 であった。術前は時系列的に LI 値の増大傾向を認めていたが、術後は増大傾向が緩徐となり、1 分以降は有意に術前より低値を示し (1-2 分: $P=0.02$, 2-3 分: $P=0.02$, 3-4 分: $P=0.04$)、さらに 4-6 分で有意に低下した (4-5 分: $P=0.004$, 5-6 分: $P < 0.001$)。加えて、5-6 分において LI 値と JOA score/ODI の変化間に相関関係を認めた (JOA score : $r=-0.52$, $P=0.002$, ODI : $r=0.36$, $p=0.038$)。

IV. 結 語

LI 値の経時的増大傾向が術後緩徐となり、徐々に術前よりも低値を示したことは手術で間欠性跛行が改善し、歩行対称性が安定したことを定量的に捉えており、術後評価としての有用性が示唆された。ウェアラブル 3 軸加速度センサを用いた歩行試験は LSS 患者の術後評価として実臨床応用が期待できる。

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 櫻庭 実 (形成外科学講座)

副査 教授 西村 行秀 (リハビリテーション医学講座)

副査 教授 土井田 稔 (整形外科科学講座)

腰部脊柱管狭窄症(Lumbar Spinal Stenosis: LSS)患者は間欠性跛行などの特徴的な神経症状により歩行能力が障害される。保存加療に抵抗性の場合、手術加療が選択肢に挙がる。しかし、現在LSSの術後評価は患者質問票などの主観的な評価が主であり、客観的に歩行機能を定量化する評価法は確立されていない。本研究においては、歩行解析により、LSS患者の歩行特徴量を定量化することで、診断の一助や治療後評価判定の指標を形成する事を目的としている。

LSS患者に対する歩行解析法としては大掛かりな装置を用いた方法が確立されているが、代替手法として加速度センサに代表されるウェアラブルデバイスを用いた歩行解析を考案した。得られた加速度データから体幹運動の左右変動を網羅的に視覚的に捉えることができるLissajous figure作成し、そこから歩行対称性を定量化できるLissajous Index (LI)値を算出し術後評価として有用であるか検討した。

当院にて手術を施行したLSS患者32名(男性15名,女性17名,平均68.7歳)を対象とした歩行試験を、術直前、術後3か月時に施行した。ウェアラブル3軸加速度センサを患者に貼付して6分間歩行試験を行い、歩行距離、LIを計測した。

6分間の平均歩行距離は術前 395.1 ± 60.8 m、術後 455.4 ± 64.4 mと有意に延長。LI値は術前には0-1分(33.9)、1-2分(44.3)、2-3分(46.8)、3-4分(48.4)、4-5分(55.5)、5-6分(52.4)と時系列に沿って増大傾向を認めた。術後はそれぞれ、29.6、20.3、22.9、26.7、27.6、20.7と増大傾向が緩徐となり、歩行開始から1分以降は術前より優位に低値を示した。臨床症状としても日本整形外科学会腰痛疾患治療判定基準と相関を示した。以上から本検査が手術により歩行対称性が安定したことを定量的にとらえることが可能であり術後評価としての有用性が示唆された。

本論文は、LSS患者に対する術後評価として新たな臨床検査法を提示し、その臨床的有用性を定量的に示した研究である。従来法に比して簡便な検査を開発した意義は大きく、今後の臨床開発に役立つ有益な知見を示した研究といえる。学位に値する論文である。

試験・試問の結果の要旨

腰部脊柱管狭窄症の疫学、臨床症状、診断、手術療法、検査方法等について試問を行い、適切な解答を得た。学位に値する学識を有していると考え。また、盗作、剽窃等が無い事を確認した。

参考論文

- 1) Quantification of metal-induced susceptibility artifacts associated with ultrahigh field magnetic resonance imaging of spinal implants. (脊椎インプラントの超高磁場MRIにおける金属アーチファクトの定量的検討) (千葉佑介、他6名と共著) JOR Spine 2 (2019) :e1064.
- 2) 示指中手節関節ロッキングの整復時に骨折が発生し手術を要した1例 (金野大地、他3名と共著) 整形外科 70 巻、11 号 (2019) : p1149-1151