

令和元年6月11日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01771

研究課題名(和文) 運動器検診のための腰椎分離症の簡易的な検出システムの開発

研究課題名(英文) Development of vibrational analysis for detecting early-stage spondylolysis in adolescent.

研究代表者

渡邊 裕之(Watanabe, Hiroyuki)

北里大学・医療衛生学部・講師

研究者番号：40348602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：腰椎分離症を早期に発見するための診断補助システムとして、腰椎棘突起へ叩打した振動信号の解析アルゴリズムを開発し、システムの有効性を検証した。対象は腰椎分離症の早期例(MRIにて高輝度像)を示す男子サッカー選手32名と健常選手113名とした。早期例を示した選手は健常選手と比較して隣接腰椎への振動信号の伝達時間が遅延し、叩打した棘突起で受波した信号は高周波帯域へと変化し、隣接棘突起において受波した信号は低周波帯域へと変化を示した。本研究にて開発した腰椎分離症の検出システムは原理的に小型化することが可能であり、運動器検診などに導入すればより効果的に分離症の早期発見が可能と考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

腰椎分離症は脊椎のスポーツ傷害の一つであり、第2次性徴期にあたる14才前後に多く発生する。腰椎分離症は早期に発見されれば保存療法による治癒が期待できるが、発見が遅れ分離が残存した場合には、生涯を通じ腰痛のリスクを持つことになる。したがって、早期発見による適切な治療は、成人期の腰痛予防への一助となることが考えられる。しかしながら、腰椎分離症を早期に発見するためには、画像診断装置が必要であるため、近年小学校で実施されている運動器検診やスポーツ現場において適切な診断を行うことは困難である。本研究によって得られた結果は腰椎分離症を早期に発見するための簡便な機器の開発の可能性を示している。

研究成果の概要(英文)：Lumbar spondylolysis refers to a fracture of the vertebral pars interarticularis in adolescent athletes. Bone fractures can be detected by analyzing vibrational signals following bone stimulation. This study aimed to investigate whether vibrational analysis can be used to detect spondylolysis. In this study, 145 adolescent male football players were recruited from a football team. Participants were divided into two groups: a normal group and a group with a high intensity area of the fifth lumbar vertebra (L5) identified using MRI (high group). Spondylolysis detection was performed twice on the L5 spinous process and the vibrational signals were measured using an accelerometer on the instrument and L4 spinous process. In the high group, the mean power frequency of L5 increased, the mean power frequency of L4 decreased, and the conduction time was delayed. We conclude that analysis of vibrational signals in vivo is useful to support in the diagnosis of lumbar spondylolysis.

研究分野：スポーツ傷害の予防

キーワード：腰椎分離症 成長期 骨伝導音 周波数解析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

腰椎分離症は脊椎のスポーツ傷害の一つであり、第2次性徴期にあたる14才前後に多く発生する。腰椎分離症は早期に発見されれば保存療法による治癒が期待できるが、発見が遅れ分離が残存した場合には、生涯を通じ腰痛のリスクを持つことになる。したがって、早期発見による適切な治療は、成人期の腰痛予防への一助となることが考えられる。しかしながら、腰椎分離症を早期に発見するためには、画像診断装置が必要であるため、近年小学校で実施されている運動器検診やスポーツ現場において適切な診断を行うことは困難である。我々は2015年より人工骨を用いた腰椎分離症モデルを作成し、棘突起叩打による腰椎分離症判別のための信号処理アルゴリズムの開発を行った。人工骨では正常例と分離モデルとの間に振動信号の平均周波数の増大が認められ、判別の可能性が示された。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は人工骨モデルを用いた腰椎分離症判別を可能とする予備実験の結果を踏まえて、同システムによる生体への適応の可能性について検証することとする。

### 3. 研究の方法

対象は男子中学生を対象とするサッカークラブチームとした。対象学年は中学1～3年生のべ285名で事前に問診表にてサッカー経験年数、他のスポーツ経験有無、腰痛を含む外傷・傷害の既往の有無、現在のサッカーのポジションを採取した。なお、本研究は北里大学医療衛生学部研究倫理審査委員会にて承認(2016-036)を得ている。2016～2018年に実施されたメディカルチェックの際に腰部MRIを撮影し、椎弓の走行に平行に撮像された画像から関節突起間部ならびに椎弓根部の輝度変化を観察した。理学所見は左右 Kemp sign、腰部を中心とする傍脊柱起立筋・腰方形筋・広背筋・棘突起の圧痛、骨盤周囲の圧痛を確認した。振動分析は生体への叩打装置 Activator (Activator Instrument Ltd) 本体に加速度センサー (G1: DPM-711B: 共和電業) を取り付け、第5腰椎棘突起を叩打時に脊椎を介して伝搬された振動信号を第4腰椎棘突起に設置された加速度センサー (G2) から受波した。叩打後は得られた加速度信号は、アンプにて増幅し、ADコンバータを介しサンプリングレート 10000Hz にてパーソナルコンピュータに取り込んだ。

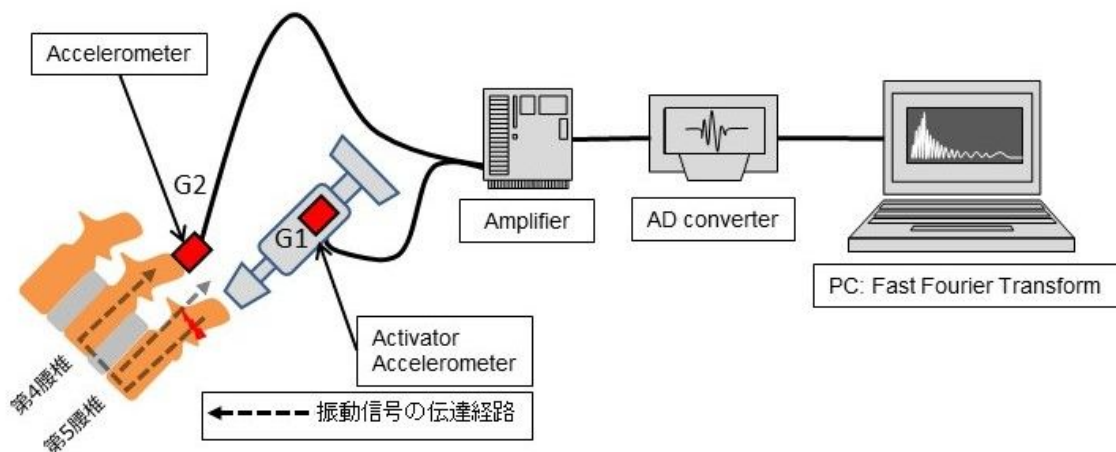


図1 計測システム

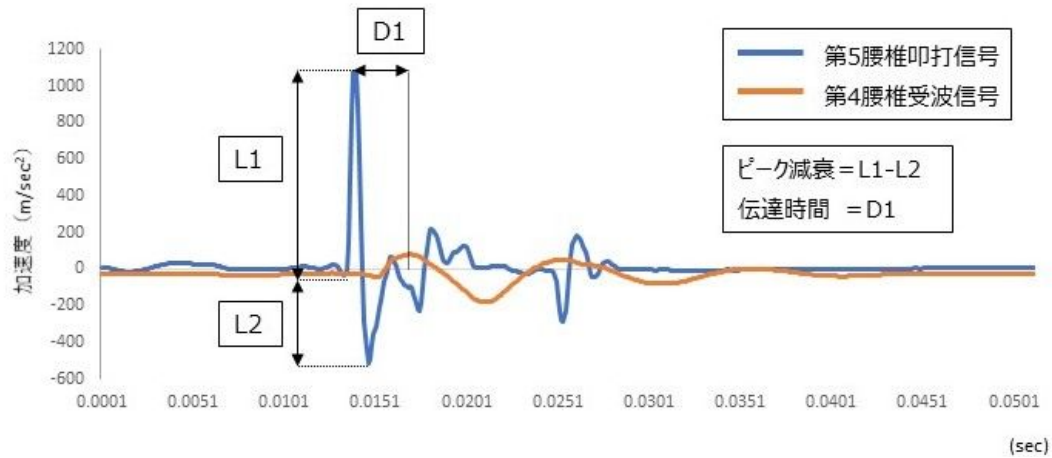


図2 加速度信号波形

青色は第5腰椎を叩打した際の Activator 本体に取り付けた加速度センサーが受波した信号。橙色は第4、5腰椎を介して伝搬した信号を第4腰椎棘突起から受波した信号。

得られた加速度信号の解析にはMATLAB(R2017b)を用い、G1より得られた信号の第1ピーク(L1)と第2ピークの強度(L2)の減衰(ピーク減衰)、G1の第1ピークとG2の第1ピークの時間差(伝達時間: D1)を算出した。また振動信号を高速フーリエ変換し、得られた周波数スペクトルの最大ピーク周波数と平均パワー周波数を算出した。統計学的処理は腰椎関節突起間部あるいは椎弓根部に高輝度変化の見られた選手を高輝度群、輝度変化の見られなかった選手を正常群として、ピーク減衰、伝達時間、最大ピーク周波数、平均パワー周波数について平均値の差の検定を行った。有意水準は5%未満とした。

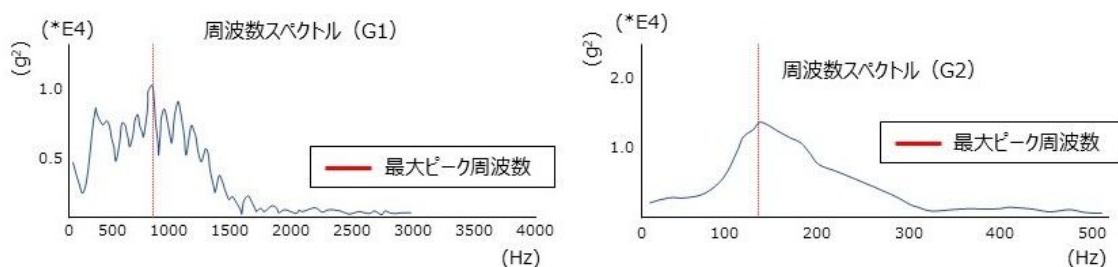


図3 周波数解析による各信号の周波数スペクトル

左図: Activator 本体に取り付けた加速度センサーが受波した信号の周波数スペクトル。右図: 第4腰椎棘突起から受波した信号の周波数スペクトル。

#### 4. 研究成果

解析対象はMRIの撮影ができなかった場合と脊椎へ叩打が適切にできなかった140例を除いた145例となった。平均年齢は13.23歳、平均身長は158.92cmそして平均体重は48.09kgであった。関節突起間部あるいは椎弓根部に高輝度像の得られた選手は32名(高輝度群)であり、腰椎分離症の出現頻度は約22.1%であった。高輝度像を示さなかった113例を正常群とした。また、高輝度像の得られた選手32名の内、理学所見の認められた選手は18名(56.3%)であり、高輝度変化の認められなかった選手の中にも14例の理学所見陽性者が存在した。

振動信号の処理ならびに周波数解析の結果を表1に示す。伝達時間は高輝度群において有意に増大し、ピーク出現の遅延が観察された。平均パワー周波数は高輝度群において有意に増大し、人工骨による予備実験と同様の結果を示した。しかしながら、脊椎を介して受波した信号

表 1 解析結果

正常群と高輝度群において、パワー減衰、伝達時間、最大パワー周波数、平均パワー周波数(第5腰椎)そして平均パワー周波数(第4腰椎)について比較した。

		正常群	高輝度群	p value
パワー減衰	(g <sup>2</sup> )	790.76 ± 252.06	939.38 ± 198.51	n.s.
伝達時間	(msec)	850.27 ± 217.37	1074.64 ± 155.17	<0.05
最大パワー周波数	(Hz)	562.31 ± 84.67	480.79 ± 176.58	n.s.
平均パワー周波数(第5腰椎)	(Hz)	789.12 ± 81.90	847.47 ± 51.98	<0.05
平均パワー周波数(第4腰椎)	(Hz)	385.95 ± 27.46	338.17 ± 37.40	<0.05

mean±SD

では平均パワーの減少が認められ、Activaator 側の加速度センサーとは異なる結果となった。先行研究では長管骨を骨折した際に骨の伝導音は減衰することが報告されている。本研究では長管骨とは異なり脊椎の構造が複雑であること、隣接椎対を介する際に椎間板を経由する可能性があるため長管骨とは大きく異なることが考えられる。しかしながら、骨傷や分離の存在が伝導音を大きく減速へと導く可能性が考えられた。また、平均パワー周波数は第5腰椎で受波した信号において高周波帯域への変調が示された。人工骨による分離モデルにおいても同様に平均周波数の増大が見られたことから、生体においても同様の特徴を示すものと考えられた。一方、第4腰椎において受波した信号は逆に低周波帯域への変調を示した。第5腰椎ならびに第4腰椎において受波した振動信号はそれぞれ異なる生体内情報を内包させている可能性が考えられ、第5腰椎で受波した信号と第4腰椎で受波した信号では大きく異なるものと考えられた。腰椎分離症の診断補助システムとしても骨折の情報を効果的に取り込むために更なる信号処理の改善が必要である。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

1. Watanabe H, Fujii M, Yoshimoto M, Kuratsubo R, Higashiyama R, Takahira N. Development of a Taping Method to Prevent Osgood-Schlatter Disease Onset in Adolescent Male Soccer Players. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. Peer review, 2019;13(1): 9736-40.
2. Watanabe H, Tahara N, Sakai R, Takahira N, Torii S, Matsunaga A. Vibration Signal Analysis for Detecting Early-Stage Lumbar Spondylolysis Using Synthetic Bone. J Biomed Sci Eng. Peer review, 2018;11(12):338-47.

〔学会発表〕(計2件)

1. 渡邊裕之(代表), 高平尚伸, 鳥居俊, 腰椎分離症および腰椎疲労骨折の簡易的な検出システムの開発 骨叩打による振動検査の応用, 第44回日本整形外科スポーツ医学会学術集会, 2018.
2. Watanabe H, Takahira N, Torii S, Matsunaga A., Development of vibrational analysis for detecting early-stage spondylolysis in adolescent male football players. 2018 Sports Medicine Australia (Perth), 2018.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：鳥居 俊、田原 直裕

ローマ字氏名：(TORII, suguru) (TAHARA, naohiro)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。