

# 傾斜計を用いた 腰仙椎角の精度評価 —MR 撮像による仙骨傾斜角評価を基準とした 比較より—

Validation of the evaluation accuracy regarding lumbosacral angle  
by the inclinometer with sacral slope on MR images  
as a comparison standard

筒井俊春\*<sup>1</sup>, 坂模 航\*<sup>2</sup>, 上久保利直\*<sup>2</sup>  
前道俊宏\*<sup>1</sup>, 武井聖良\*<sup>3,4</sup>, 鳥居 俊\*<sup>1</sup>

キー・ワード : Spine alignment, MRI, clinical assessment  
脊柱アライメント, MRI, 簡易評価

〔要旨〕 (目的) Magnetic resonance imaging (MRI) を用いた仙骨傾斜角評価を基準とし, 傾斜計を用いた腰仙椎角の計測の精度を検証すること, 予測回帰式を探索することを目的とした。

(方法) 中学生の男子 70 名を対象とし, 腰部の MR 撮像および傾斜計を用いた腰仙椎アライメント測定を実施した。得られた MR 画像から脊柱の正中矢状断を抽出し, 仙骨の上縁と画像の水平線をなす角を仙骨傾斜角として算出した。また, 腰仙椎角の測定には傾斜計を用い, 腰仙椎部に傾斜計の 0° の軸が通る位置で計測を行った。そして Bland-Altman プロットを用いた両測定法の一致度の検証に加え, MR 撮像による仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角との関係を線形回帰分析によって検討した。

(結果) MRI を用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角との差で求められる固定誤差は  $10.06 \pm 3.29^\circ$  を示した一方で, 比例誤差および偶然誤差は小さかった。MRI を用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角の間には有意な関連が見られ, 予測回帰式は  $y=0.85x+13.49$  が得られた。

(結論) 傾斜計を用いた腰仙椎角の評価は MRI を用いた仙骨傾斜角と比べて計測値が過小評価されやすい可能性がある。しかしながら比例および偶然誤差は小さく, 傾斜計で得られる数値を基に仙骨傾斜角の予測が可能となると考える。

## 1. 緒言

腰椎分離症は青年期アスリートに多く発生する腰部障害のひとつで, 日本人の腰椎分離症の保有率は 5.9% であることが明らかにされている<sup>1)</sup>。Rossi と Dragoni<sup>2)</sup> は, 思春期アスリートは日常的

に運動を実施しない者と比較して約 2 から 5 倍の腰椎分離症の保有率を示すと報告している。また, 青年期以降の高校および大学サッカー選手の腰痛の発症率を調べた報告<sup>3)</sup>によると, 腰椎分離症の所見があった選手は X 線で異常所見がなかった選手と比較して腰痛発症率が高かったことが示されている。したがって, 青年期アスリートに好発する腰椎分離症を未然に防ぐための取り組みが重要な課題であると考えられる。

腰椎分離症の発症要因は腰椎伸展や回旋などの腰椎椎弓根にかかる機械的応力の繰り返しが関連

\*1 早稲田大学スポーツ科学学術院

\*2 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

\*3 東京大学スポーツ先端科学連携研究機構

\*4 早稲田大学発育発達研究所

Corresponding author : 鳥居 俊 (shunto@waseda.jp)

表 1 対象者の基本情報

| 変数                        | 平均±SD         | 95%CI           |
|---------------------------|---------------|-----------------|
| 暦年齢 (歳)                   | 13.40 ± 0.62  | 13.26 - 13.55   |
| 身長 (cm)                   | 161.10 ± 8.63 | 159.04 - 163.10 |
| 体重 (kg)                   | 50.80 ± 9.92  | 48.47 - 53.13   |
| BMI (kg/cm <sup>2</sup> ) | 19.43 ± 2.41  | 18.86 - 19.99   |

SD, standard deviation ; BMI, body mass index

していると考えられている<sup>4,5)</sup>。身体特性との関連を示した報告では Hanke<sup>6)</sup>は後ろ向き研究により、腰椎すべり症を有する高校生アスリートの仙骨傾斜角は健常者と比較して大きいことを明らかにした。また Tsutsui<sup>7)</sup>は腰椎分離症の初期段階と考えられる症候性の腰椎椎弓根骨髄浮腫で評価される腰椎の bone stress injury の発症には、腰椎前弯に対する仙骨傾斜角の増大が関連することを報告した。すなわち、静的な腰仙椎の前弯増大が腰椎椎弓根への応力の増大に影響を及ぼしていることが考えられる。他方、これらの腰仙椎アライメントの評価はしばしば X 線や Magnetic resonance imaging (以下、MRI) が用いられてきた<sup>8)</sup>ものの、健常な青年期アスリートに対して画像検査を実施することは、時間的かつ経済的制限を多く伴うことが容易に想像される。しかしながら、スポーツ現場や臨床場面において簡易的に腰仙椎アライメントを計測する手法は確立されていない。短時間での腰仙椎アライメントの評価や予測が可能になることで、腰椎分離症を含む青年期に好発する腰部障害のリスクとなる要素の抽出に貢献できると考える。

そこで本研究は、MRI の画像から算出される仙骨傾斜角を基準とし、傾斜計を用いた腰仙椎角の評価に関する妥当性を検証すること、さらに仙骨傾斜角を基準とした予測回帰式を探索することの 2 点を目的とした。

## 2. 方法

### 1) 対象

対象は地域サッカークラブに所属する中学 1～2 年生の男子 70 名とした。対象者の暦年齢、身長、体重、ならびに body mass index (以下、BMI) の平均値および標準偏差を表 1 に示す。測定にあたって対象者には事前に質問紙を配布し、日常生活を制限しうる障害や疼痛を有しているかどうかの確認を行った。なお、対象者は全員未成年者で

あったため、保護者にも本研究の意図を十分に説明し、同意を得た上で測定に参加してもらった。本研究の実施にあたっては早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認 (承認番号 : 2021-208) を得ている。

### 2) 測定方法ならびにデータ解析

測定項目は身長、体重、腰部の MR 撮像、ならびに傾斜計を用いた腰仙椎アライメント測定であり、全ての測定は同日内に実施された。対象者は軽装とさせ、体重や MR 撮像、傾斜計による計測に影響がでないような服装であることを事前に確認した。

腰部の MR 撮像には 3.0T の MRI 装置 (SIGNA Premier, GE Healthcare) を用い、撮像が撮像条件は 3D LAVA-Flex (TE : 1.1ms, TR : 4.2ms, thickness : 2mm, field of view : 460mm, reconstructed matrix size : 512 × 512) として撮像を行った。なお、対象者の姿勢は仰臥位とした。得られた画像から脊柱の正中矢状断を抽出し、仙骨の上縁と画像の水平線をなす角を仙骨傾斜角として算出<sup>7)</sup>(図 1)し、2 回の分析によって得られた結果の平均値を代表値として算出した。なお、仙骨傾斜角の分析に関する検者内信頼性 (ICC : intraclass correlation coefficients) は 0.92 (95%CI, 0.87-0.96) と高い信頼性があることを確認している。

腰仙椎角の測定には傾斜計 (Bubble Inclino-meter ; Baseline Inc) を用い、立位にて計測を実施した。検者は対象者に対して自然な立位姿勢を取るよう説明し、2m 先かつ対象者の身長に合わせて設置した印に目線を向けるよう指示した。測定は理学療法士の資格を有する検者 1 名が実施し、対象者ごとに 1 回の計測を行った。なお、両側の上後腸骨棘の midpoint と第 5 腰椎棘突起とを結ぶ線の midpoint を腰仙椎部と定義し、傾斜計の 0° を示す軸が腰仙椎部を通る位置で計測を実施した (図 2)。そして傾斜計の示す傾斜角と水平軸とがなす角を腰仙

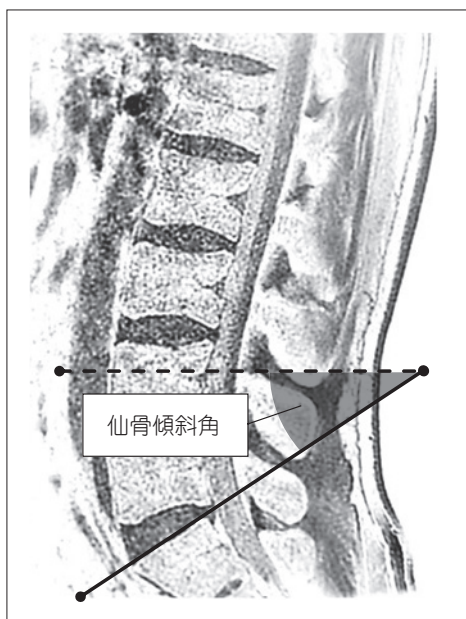


図1 MRIによる仙骨傾斜角の分析  
実線：仙骨上縁，点線：画像上の水平線

椎角として算出し、数値の読み取りを $1^\circ$ 単位で行った。本対象とは別に19名の小学生を対象に実施した同様の計測において、検者内信頼性は0.89 (95%CI, 0.82-0.95)を示した。

### 3) 統計解析

統計処理には統計ソフト (SPSS Statistics29, IBM社)を用いた。Bland-Altmanプロットを用いて、MRI撮像によって得られた仙骨傾斜角と傾斜計によって得られた腰仙椎角の2つの測定値の一致度を評価した<sup>9)</sup>。はじめにMRIを用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角との差に対して1変量のt検定を用いて固定誤差の分析を行った。なお、固定誤差の有無は95%信頼区間内に0を含むかどうかを判別基準に設けた。次に、比例誤差の存在を検証するため、MRIを用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角との差を従属変数、MRIを用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角と平均値を独立変数とする一変量の回帰分析を行った。さらに偶然誤差については仙骨傾斜角と腰仙椎角の差の平均値から $\pm 1.96SD$ の誤差範囲にデータプロットが集約されるかどうかをプロットの分布から判断した。その後、従属変数をMRI撮像によって得られた仙骨傾斜角、独立変数を傾斜計によって得られた腰仙椎角とする線形回帰分析を強制投入法にて実施した。なお、身長、体重、およびBMIは独立変数と従属変数の両方に関連

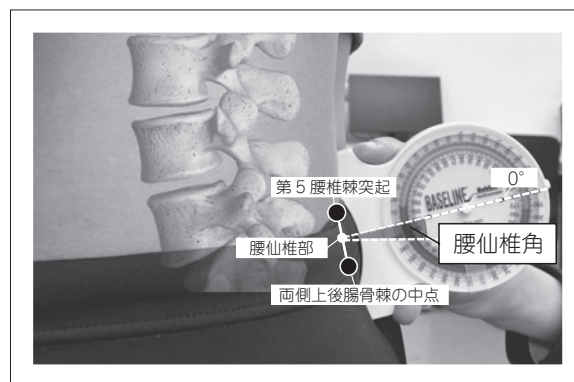


図2 傾斜計を用いた腰仙椎角の測定

している可能性を考え、線形回帰分析の交絡因子として独立変数としてそれぞれ投入された。なお、線形回帰分析のモデルのあてはまりの良さは $R^2$ の大きさを判断した。有意水準は5%未満に設定した。

## 3. 結果

Bland-Altmanプロットの結果を図3に示した。MRIを用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角との差は $10.06 \pm 3.29^\circ$  (95%CI: 9.27-10.84)を示し、信頼区間内に0を含まないことが確認された。また、MRIを用いた仙骨傾斜角および傾斜計による腰仙椎角の差と平均値の間には有意な関連は認められなかった ( $R^2=0.052$ ,  $p=0.058$ )。仙骨傾斜角と腰仙椎角の差の平均値から $\pm 1.96SD$ 内の誤差範囲に70名のうち68名 (97.14%)が含まれた。

表2にMRIを用いた仙骨傾斜角を従属変数とする線形回帰分析の結果を示した。MRIを用いた仙骨傾斜角と傾斜計による腰仙椎角の間には有意な関連が見られ、予測回帰式は $y=0.85x+13.49$ が得られた ( $R^2=0.48$ ,  $p<0.001$ )。また、両者の関係に身長、体重、BMIのそれぞれを交絡因子として投入した線形回帰分析においては、全てのモデルで有意な関連が認められた ( $p<0.001$ )のもの、モデルのあてはまりに顕著な差は見られなかった ( $R^2=0.49, 0.48, 0.49$ )。

## 4. 考察

本研究は脊柱アライメント評価のゴールドスタンダードとされる画像評価を基準に、傾斜計を用いた腰仙椎角評価の精度を検証すること、さらに予測回帰式を作成することの2点を目的に実施さ

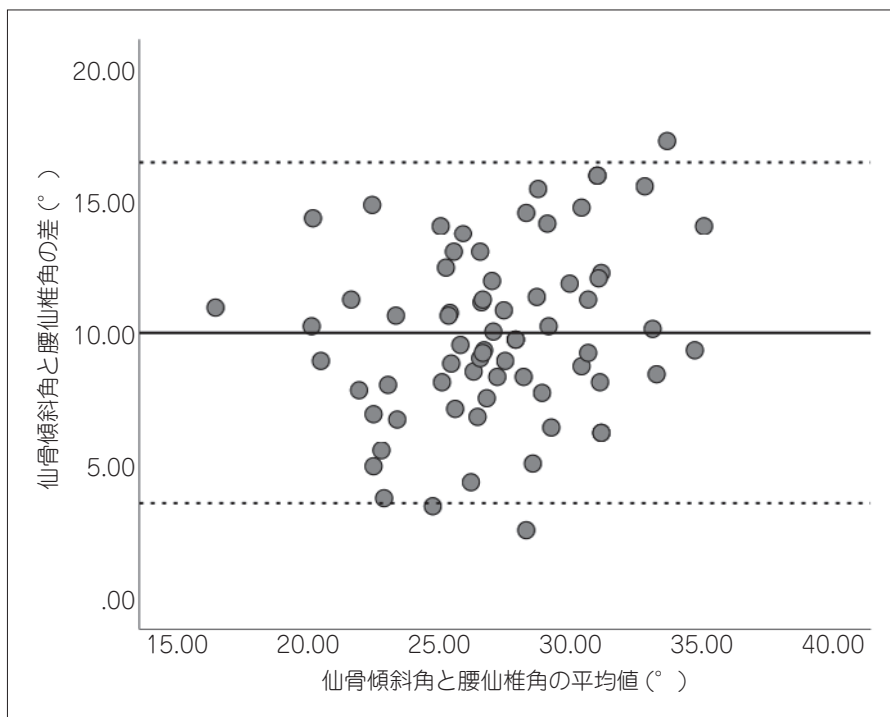


図3 Bland-Altman 法による信頼性の検討  
 実線：仙骨傾斜角と腰仙椎角の差の平均値  
 点線：仙骨傾斜角と腰仙椎角の差の平均値±1.96SD

表2 MRI を用いた仙骨傾斜角を従属変数とする線形回帰分析

| 変数                        | B      | 標準化β   | 95%CI        | R <sup>2</sup> | p-value |
|---------------------------|--------|--------|--------------|----------------|---------|
| 腰仙椎角 (°)                  | 0.85   | 0.69   | 0.64 - 1.06  | 0.48           | <0.001  |
| 腰仙椎角 (°)                  | 0.85   | 0.69   | 0.63 - 1.06  | 0.49           | <0.001  |
| 身長 (cm)                   | -0.53  | -0.99  | -1.14 - 0.39 |                |         |
| 腰仙椎角 (°)                  | 0.85   | 0.69   | 0.63 - 1.07  | 0.48           | <0.001  |
| 体重 (kg)                   | -0.001 | -0.002 | -0.08 - 0.08 |                |         |
| 腰仙椎角 (°)                  | 0.82   | 0.67   | 0.60 - 1.04  | 0.49           | <0.001  |
| BMI (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.18   | 0.93   | -1.66 - 0.52 |                |         |

れた。

Bland-Altman プロットの結果から、仙骨傾斜角と腰仙椎角の差の平均値は 10.06° を示し、信頼区間内に 0 を含まなかったことから、傾斜計を用いた腰仙椎角の評価は固定誤差が大きいことが伺えた。すなわち傾斜計を用いた腰仙椎角は過小評価となる可能性が示唆される。この要因として腰椎表層に存在する皮下組織の厚さが関与している可能性が考えられる<sup>10)</sup>。Hunter ら<sup>11)</sup>は傾斜計を用いた胸椎後弯角測定と X 線画像から算出される角度と強い関連があることを報告している。胸椎は後方に凸であることに加え、棘突起を触知しやすい部位であることを踏まえると、皮下組織厚の影

響が画像評価との一致度を決定し得る重要な要素であることが推察される。しかしながら、MRI を用いた仙骨傾斜角および傾斜計による腰仙椎角の差と平均値との間には有意な関連が認められず、比例誤差は少ないことが示された。このことから、傾斜計を用いた計測は各個人の腰仙椎角の大小に依存せず適応可能であると考えられる。

一方、Bland-Altman プロットは仙骨傾斜角と腰仙椎角の差の平均値±1.96SD で示される誤差範囲内にデータプロットの大部分が集約されており、偶然誤差は非常に少ないことが示された。固定誤差は認められるものの、比例誤差と偶然誤差が少なかったことを踏まえると、MRI を用いた仙

骨傾斜角を傾斜計による腰仙椎角評価から予測することが可能であると考えられる。線形回帰分析の結果、「MRIによる仙骨傾斜角=0.85×傾斜計による腰仙椎角+13.49」という回帰式が得られ、決定係数は48%と極めて高くはないものの有意な関連が認められた。青年期は身体の発育が急激に生じる時期<sup>12,13)</sup>であるため、体格の要素が予測回帰式の交絡因子になり得ると考えられたが、身長、体重、BMIのどの変数を投入した場合にも決定係数の向上は見られなかった。すなわち、発育スパート期にあたる青年期であっても体格の大きさに左右されずに傾斜計を用いた計測が適応できると考えられる。ただし、決定係数の改善の余地があることに加え、腰椎表層に存在する皮下組織厚がMRIと傾斜計によって計測された腰仙椎アライメントの誤差に関連している可能性を考慮すると、腹囲や体脂肪量など腰部周囲の組織に関連しう身体プロフィールを交絡因子に含めた更なる回帰式の改善が望まれる。しかしながら、傾斜計の計測に要する時間は1分にも満たないため検者・被験者ともに時間的負担が少ないことが挙げられるだけでなく、侵襲やコストのかからない手法によって腰仙椎アライメントの簡易的なスクリーニングが可能であることが示された点、本研究の計測手法はスポーツ現場や臨床現場の青年期アスリートに対して有用であると考えられる。

本研究のMR撮像と傾斜計による計測の測定姿勢が仰臥位と立位とで異なっていたことは両者の一致度に関連したと推測される点で限界にあたると思われる。しかしながら、姿勢の違いによって腰仙椎アライメントは大きく変化しない<sup>14,15)</sup>という報告を踏まえると、その程度は不明であるものの本研究の結果に与えた影響は大きくないことが推測される。他方、側弯症を有する青年期を対象とし、腰椎前弯の計測を傾斜計とX線とで比較した報告<sup>16)</sup>によると、傾斜計の計測における妥当性は低いことが示されている。MRIの撮像範囲が第1腰椎から仙骨下端までに限定されたことから、対象者の側弯症の有無や程度を詳細に検討することができなかったことも本研究の限界にあたると思われる。なお、本研究の対象のBMIは $19.43 \pm 2.41$ と過度な肥満ややせ型体型を示す者が含まれなかった。傾斜計の適応時には測定対象の体型に依存する可能性も考慮しておく必要があるかもしれない。

## 5. 結論

本研究はMRIを用いた仙骨傾斜角評価を基準とし、傾斜計を用いた腰仙椎角の計測の精度を検証すること、予測回帰式を探索することを目的に実施され、以下の2点が明らかとなった。

1. 傾斜計を用いた腰仙椎角の評価はMRIを用いた仙骨傾斜角と比した際に、比例誤差および偶然誤差は小さかったものの固定誤差は大きかったことから、計測値が過小評価されやすい特徴を認識した上で適用する必要がある。
2. 「MRIによる仙骨傾斜角=0.85×傾斜計による腰仙椎角+13.49」という回帰式が得られ、青年期アスリートの仙骨傾斜角の予測に用いることができる考える。

## 利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

## 文 献

- 1) Sakai T, Sairyo K, Suzue N, et al. Incidence and etiology of lumbar spondylolysis: review of the literature. *Journal of Orthopaedic Science*. 2010; 15: 281-288 doi: 10.1007/s00776-010-1454-4.
- 2) Rossi F, Dragoni S. The prevalence of spondylolysis and spondylolisthesis in symptomatic elite athletes: radiographic findings. *Radiography*. 2001; 7: 37-42 doi: 10.1053/radi.2000.0299.
- 3) Iwamoto J, Abe H, Tsukimura Y, et al. Relationship between Radiographic Abnormalities of Lumbar Spine and Incidence of Low Back Pain in High School and College Football Players: A Prospective Study. *Am J Sports Med*. 2004; 32: 781-786 doi: 10.1177/0363546503261721.
- 4) Sairyo K, Goel VK, Masuda A, et al. Three dimensional finite element analysis of the pediatric lumbar spine. Part II: biomechanical change as the initiating factor for pediatric isthmic spondylolisthesis at the growth plate. *Eur Spine J*. 2006; 15: 930-935 doi: 10.1007/s00586-005-1033-0.
- 5) Sairyo K, Katoh S, Sasa T, et al. Athletes with Unilateral Spondylolysis are at Risk of Stress Fracture at the Contralateral Pedicle and Pars Interarticularis: A Clinical and Biomechanical Study. *Am J Sports Med*. 2005; 33: 583-590 doi: 10.1177/03635465

- 04269035.
- 6) Hanke LF, Tuakli-Wosornu YA, Harrison JR, et al. The Relationship Between Sacral Slope and Symptomatic Isthmic Spondylolysis in a Cohort of High School Athletes: A Retrospective Analysis. *PM&R*. 2018; 10: 501-506 doi: 10.1016/j.pmrj.2017.09.012.
  - 7) Tsutsui T, Iizuka S, Maemichi T, et al. Risk factors for symptomatic bilateral lumbar bone stress injury in adolescent soccer players. *Am J Sports Med*. 2023; 51: 707-714 doi: 10.1177/03635465221146289.
  - 8) Been E, Kalichman L. Lumbar lordosis. *The Spine Journal*. 2014; 14: 87-97 doi: 10.1016/j.spinee.2013.07.464.
  - 9) Martin BJ, Altman DG. Statical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 1986; 327: 307-310 doi: 10.1016/S0140-6736(86)90837-8.
  - 10) Mannion AF, Knecht K, Balaban G, et al. A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. *European Spine Journal*. 2004; 13: 122-136 doi: 10.1007/s00586-003-0618-8.
  - 11) Hunter DJ, Rivett DA, McKiernan S, et al. Is the inclinometer a valid measure of thoracic kyphosis? A cross-sectional study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2018; 22: 310-317 doi: 10.1016/j.bjpt.2018.02.005.
  - 12) Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, Maturation, and Physical Activity. 2nd ed. *Human Kinetics*; 2004.
  - 13) 鳥居 俊, 岩沼聡一郎, 飯塚哲司. 日本人健康男子中学生における身長, 除脂肪量, 骨量の最大増加時期. *発育発達研究*. 2016; 70: 11-16.
  - 14) Hirasawa Y, Bashir WA, Smith FW, et al. Postural changes of the dural sac in the lumbar spines of asymptomatic individuals using positional stand-up magnetic resonance imaging. *Spine*. 2007; 32: E136-E140 doi: 10.1097/01.brs.0000255202.94153.ca.
  - 15) Madsen R, Jensen TS, Pope M, et al. The effect of body position and axial load on spinal canal morphology: An MRI study of central spinal stenosis. *Spine*. 2008; 33: 61-67 doi: 10.1097/BRS.0b013e31815e395f.
  - 16) Tabard-Fougère A, Bonnefoy-Mazure A, Dhouib A, et al. Radiation-free measurement tools to evaluate sagittal parameters in AIS patients: a reliability and validity study. *Eur Spine J*. 2019; 28: 536-543 doi: 10.1007/s00586-018-05875-1.

---

(受付 : 2022 年 12 月 9 日, 受理 : 2023 年 2 月 7 日)

## Validation of the evaluation accuracy regarding lumbosacral angle by the inclinometer with sacral slope on MR images as a comparison standard

Tsutsui, T.<sup>\*1</sup>, Sakamaki, W.<sup>\*2</sup>, Kamikubo, T.<sup>\*2</sup>  
Maemichi, T.<sup>\*1</sup>, Takei, S.<sup>\*3,4</sup>, Torii, S.<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University

<sup>\*2</sup> Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

<sup>\*3</sup> University of Tokyo Sports Science Initiative

<sup>\*4</sup> Institute of Human Growth and Development, Waseda University

**Key words:** Spine alignment, MRI, clinical assessment

**[Abstract]** The purpose of this study was to determine the accuracy of lumbosacral angle using MRI and an inclinometer, and to examine predictive regression of these two methods. Seventy adolescent boys experienced MR imaging of the lumbar region and lumbosacral alignment measurement using an inclinometer. Sacral slope was calculated as the angle between the top of the sacrum and the horizontal line. The lumbosacral angle was defined as the angle between the lumbosacral joint and the horizontal axis. Statistical analysis was performed using linear regression analysis to determine whether sacral slope can be predicted by the lumbosacral angle, and Bland-Altman method was used to evaluate the agreement between the two measurement methods. The fixed error calculated as the difference between the sacral slope by MRI and the lumbosacral angle by inclinometer was  $10.06 \pm 3.29^\circ$  (95%CI: 9.27-10.84), with small proportional and random errors. The regression equation was  $y=0.85x + 13.49$ . Although the results of this study indicated that the inclinometer underestimated the lumbosacral angle, if fixed error is taken into account, the measurement by inclinometer may be useful in predicting the lumbosacral angle in adolescent athletes.