

# 運動プログラム介入が 脊柱アライメントに及ぼす即時効果：腰椎分離 症の予防を目指したパイロットスタディ

Immediate effects on lumbosacral alignment of an exercise intervention  
for preventing lumbar spondylolysis: a pilot study

筒井俊春\*<sup>1,2</sup>, 坂槇 航\*<sup>3</sup>, 塩原由佳\*<sup>3,4</sup>  
本間勇伎\*<sup>3</sup>, 鳥居 俊\*<sup>1,2</sup>

キー・ワード：Spinal alignment, MRI, exercise intervention  
脊柱アライメント, MRI, エクササイズ介入

〔要旨〕 (目的) 腰椎分離症の予防に向けて作成した運動プログラム介入が脊柱アライメントに及ぼす即時効果を検証することとした。

(方法) 対象は中学生男子サッカー・野球選手 15 名とした。運動プログラム介入の前後で腰部の MR 撮像を行い、腰椎分離症所見の評価に加えて、既報の手法に基づいて腰椎矢状面角、仙骨傾斜角、腰椎矢状面角に対する仙骨傾斜角を算出した。運動プログラムの内容はハムストリングス、股関節、胸郭の柔軟性改善、多裂筋の機能改善を目指した 4 つで構成された。介入前後での脊柱アライメントの変化を明らかにするため、反復測定による二元配置分散分析 (介入前後×腰椎分離症所見あり [n=7]・なし [n=8]) を実施した。

(結果) 腰椎矢状面角、仙骨傾斜角、さらに腰椎前弯に対する仙骨傾斜角の全てにおいて有意な交互作用を認めた ( $p<0.001$ ,  $p=0.007$ ,  $p<0.001$ )。仙骨傾斜角は両群ともに ( $p<0.001$ )、腰椎矢状面角は対照群において運動プログラムの介入前後に主効果が示された ( $p<0.001$ )。腰椎前弯に対する仙骨傾斜角に関して、腰椎分離症群において運動プログラム介入前後に主効果が示された ( $p=0.03$ )。

(考察) 腰椎分離症の危険因子として腰椎前弯に対する仙骨の過前傾が報告されている。今回作成した運動プログラムは、腰仙椎アライメントを改善し、腰椎分離症の予防に貢献する可能性がある。

## 1. 緒言

スポーツ外傷・障害予防の取り組みに関する概念として、一次予防、二次予防、三次予防が存在する<sup>1)</sup>。あるスポーツ外傷・障害の危険因子の改善を目指す一次予防、早期発見・早期治療を目指す二次予防、再発予防を目指す三次予防に大別され

る。スポーツ外傷・障害予防に関する研究は三次予防が主として行われていた一方、近年では成長期に好発する投球障害<sup>2)</sup>や足関節捻挫<sup>3)</sup>の一次予防を目的とした運動プログラム介入の有用性を示す研究も増えている。

腰椎分離症は成長期アスリートに多く発生する腰部障害の一つであり、一般人の腰椎分離症の保有率と示されている 5.9%<sup>4)</sup> よりも 2~5 倍程度高いことが知られている<sup>5)</sup>。また Tsutsui ら<sup>6)</sup> は中学生男子サッカー選手の超初期ステージかつ症候性の腰椎分離症の発生率は 26.2% であったことを報告している。他方、高校・大学サッカー選手の腰痛の発生率を調べた報告<sup>7)</sup>によると、腰椎分離症の

\*1 早稲田大学スポーツ科学学術院

\*2 早稲田大学発育発達研究所

\*3 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

\*4 慶應義塾體育會蹴球部

Corresponding author：筒井俊春 (221tharu@gmail.com)

所見を有する選手は腰痛発生率が高かったことが示されている。したがって、特に腰椎分離症の好発年齢における発症予防に向けた取り組みが急務と考えられる。

腰椎伸展と捻転時には腰椎の関節突起間部に圧縮応力が働き<sup>8)</sup>、その反復が腰椎分離症の発生に関与していることが推察されている。腰椎分離症を有する選手の特徴として仙骨傾斜角の増大が報告されており、腰椎椎弓根部への応力の増大因子となることが推測されている<sup>9,10)</sup>。また、仙骨傾斜角の増大は腰椎分離症の超初期ステージの発症のオッズ比4.3倍を示すことが明らかとされている<sup>6)</sup>。腰椎分離症と関連する身体特性を考慮すると、予防を目指す上で脊柱のマルアライメント改善が不可欠と考えられる。

そこで本研究は腰椎分離症の予防に向けたパイロットスタディとして、腰椎分離症の危険因子をもとに作成した運動プログラムの介入が脊柱アライメントに及ぼす即時効果を明らかにすることとした。なお、本研究では腰椎分離症を有する選手も対象に包含し、腰椎分離症と関連する脊柱マルアライメントを改善することができるか検証した。運動プログラムの介入によって脊柱マルアライメントを変化させ、特に仙骨傾斜角を減少させることができるという仮説を立てた。

## 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3年生の男子サッカー選手9名とポニーリーグに所属する中学2年生の男子野球選手6名であった。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:2021-218)を得ている。

### 2) 研究デザイン

研究デザインは前後比較研究とした。全15名の対象者に対して運動プログラム介入の前後にMR撮像を実施し、運動プログラム介入の即時効果を検証した。

### 3) 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撮像とした。対象者は軽装とさせ、体重の測定やMR撮像に影響がでないような服装で実施してもらった。

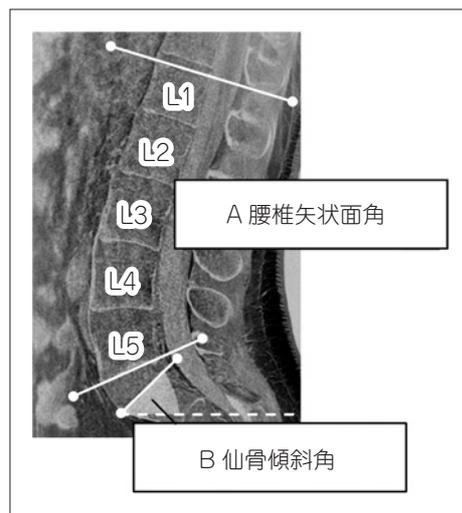


図1 腰椎矢状面角 (A) と仙骨傾斜角 (B) の計測

腰部のMR撮像には3.0TのMRI装置(SIGNA Premier, GE Healthcare)を用い、撮像条件はCT-like条件(TE = 1.1 ms, TR = 4.2 ms, thickness = 2mm, field of view = 460mm, reconstructed matrix size = 512 × 512)とSTIR条件(TE = 60ms; slice thickness = 2mm; field of view = 24cm; matrix = 320 × 224 pixels; TI = 150 ms)とした。撮像時の対象者の姿勢は仰臥位とし、撮像中は身体を脱力するよう指示した。得られた画像から脊柱の正中矢状断画像を抽出し、L1上縁とL5下縁でなす角を腰椎矢状面角(図1A)、仙骨の上縁とMR画像の水平線に直交する線でなす角を仙骨傾斜角(図1B)として計測した<sup>6,10,11)</sup>。さらに仙骨傾斜角から腰椎矢状面角を減じることで、腰椎前弯に対する仙骨傾斜角を算出した。

### 4) 運動プログラム

運動プログラムは2つのストレッチと2つのエクササイズで構成され、いずれも過去の研究で腰椎分離症や腰痛との関連因子として報告されている身体機能を改善するようにデザインされた<sup>6,9,12,13)</sup>。ストレッチの内容はハムストリングスの柔軟性改善を目指したジャックナイフストレッチ(図2A)と股関節の可動性改善を目指したフロッグストレッチ(図2B)とし、エクササイズの内容は肩甲胸郭機能改善を目指したトランクローテーション(図2C)と多裂筋の筋機能改善を目指したバードドッグ(図2D)とした。運動プログラム実施中に対象者に留意させた内容と回数・セット数を表1に示した。なお、理学療法士1名がプログ

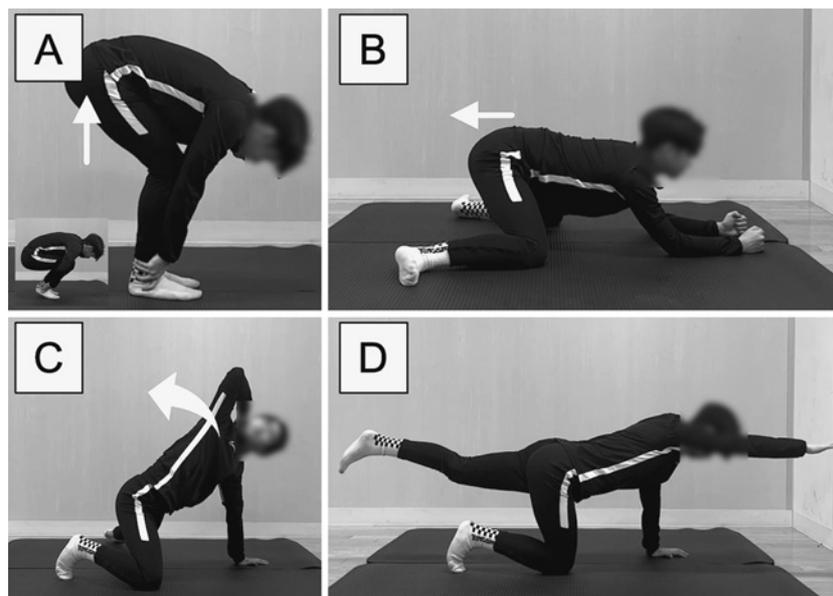


図2 運動プログラム  
A, ジャックナイフストレッチ; B, フロッグストレッチ; C, トランクローテーション; D, バードドッグ

表1 運動プログラム実施時の指示ならびに秒数・セット数

運動プログラム	留意点	秒数	セット数
ジャックナイフストレッチ	胴体と大腿部前面とが離れないようにする	10秒	5セット
フロッグストレッチ	腰椎が屈曲しないようにする	10秒	5セット
トランクローテーション	体幹回旋側と反対側に骨盤が移動しないようにする	3秒	左右各10回

ラムの指導にあたった。

### 5) 腰椎分離症の定義と群分け

腰椎分離症の有無はMR画像所見に基づいて決定された。整形外科医1名がCT-likeとSTIR条件の矢状断および水平断画像から腰椎椎弓根部の連続性と骨髄浮腫を評価し、図3に示すように正常(Normal)、超初期(Very early)、初期(Early)、進行期(Progressive)、終末期(Terminal)の5段階に分類した。MR画像上で異常所見のあった者を腰椎分離症群、異常所見のなかった者を対照群と定義した。

### 6) 統計解析

統計処理には統計ソフト(SPSS Statistics29, IBM社)を用いた。はじめに、腰椎分離症群と対照群の基本情報を比較するために対応のないt検定を行った。そして、各群における運動プログラム介入の効果を検証するため、反復測定による二元配置分散分析(運動プログラムの介入前後×腰椎分離症の有無)を実施した。なお、介入前後と

腰椎分離症の有無の主効果および交互作用の有無を検討し、交互作用が認められた場合には事後検定としてBonferroniの多重比較を行った。有意水準は5%未満に設定した。

## 3. 結果

腰椎分離症群は7名、対照群は8名であった。腰椎分離症群は全例第5腰椎分離症であり、その内訳は終末期が3名、進行期が3名、初期が1名であった。なお、プログラム実施中に疼痛を訴えた者はいなかった。対象者の基本情報に関して、2群間に統計学的な差はなかった(表2)。

図4に運動プログラム介入前後の結果を示した。腰椎矢状面角、仙骨傾斜角、さらに腰椎前弯に対する仙骨傾斜角の全てにおいて有意な交互作用があった(腰椎矢状面角,  $F[1, 13] = 21.4, p < 0.001$ ; 仙骨傾斜角,  $F[1, 13] = 10.1, p = 0.007$ ; 腰椎前弯に対する仙骨傾斜角,  $F[1, 13] = 30.4, p < 0.001$ )。腰椎矢状面角に関して、対照群において

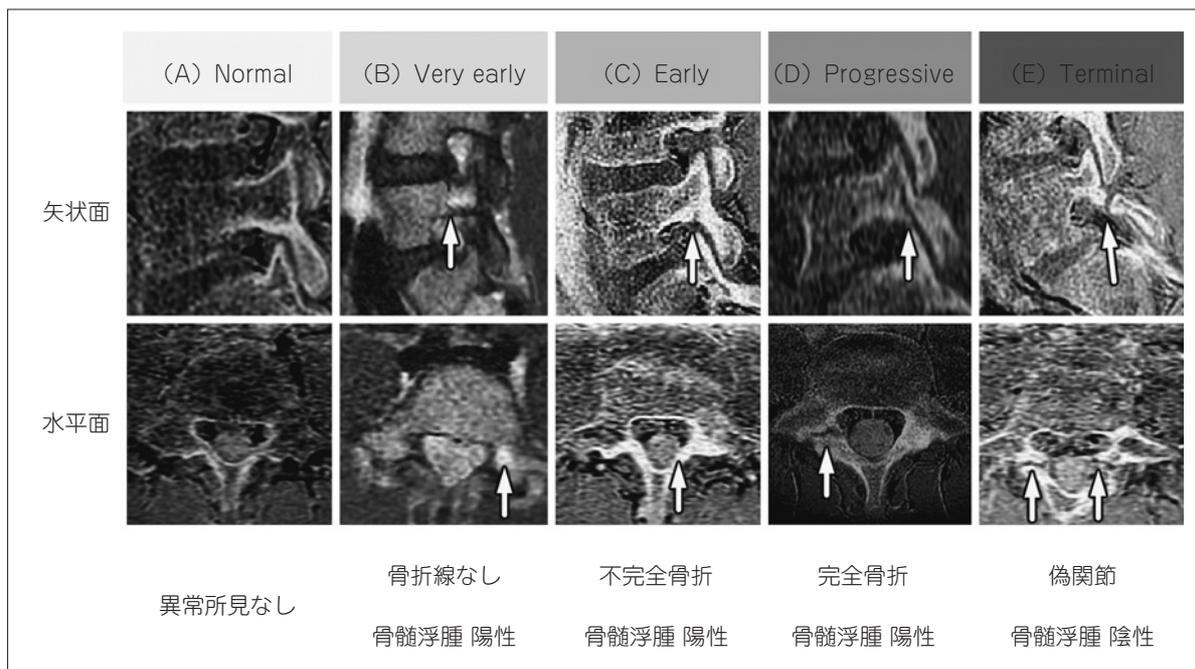


図3 腰椎分離症のステージ分類

表2 基本情報の比較

変数	腰椎分離症群 (n=7)	対照群 (n=8)	p-value
暦年齢 (years)	15.5 ± 0.3	15.5 ± 0.4	0.818
身長 (cm)	168.5 ± 5.7	170.9 ± 4.2	0.294
体重 (kg)	64.4 ± 13.6	65.9 ± 11.5	0.452

運動プログラム介入前後に主効果が示され、(F [1, 13] = 34.6,  $p < 0.001$ )、介入後に腰椎矢状面角が減少した。仙骨傾斜角については両群ともに運動プログラム介入前後に有意な主効果が示された (F [1, 13] = 77.3,  $p < 0.001$ )。腰椎前弯に対する仙骨傾斜角に関して、腰椎分離症群において運動プログラム介入前後に主効果が示された (F [1, 13] = 13.4,  $p = 0.03$ )。

#### 4. 考察

本研究は腰椎分離症の予防に向けて作成したエクササイズの実施が脊柱アライメントに及ぼす即時効果を明らかにすることを目的に実施された。運動プログラムは全4種類を約5~10分で取り組むことのできる内容であり、ウォーミングアップなどに取り入れることのできるプログラムパッケージであったと考える。なお、Okhliら<sup>14)</sup>はコレクティブエクササイズやピラティスの介入によって腰椎前弯角を1°程度であるものの有意に減少

させたことを報告している。他方、Fatemiら<sup>15)</sup>は、体幹エクササイズとストレッチを含む8週間の介入を行い、体表面から計測した腰椎前弯が約6°改善したことを示した。これらの報告を踏まえると、本研究で実施したエクササイズプログラムの即時介入効果は、十分に脊柱アライメントを変化させた可能性が考えられる。

腰椎分離症患者を対象とした運動療法の介入効果に関する報告<sup>16)</sup>によると、様々な体幹筋機能を改善する運動プログラムの実施によって骨癒合率の高さ (92%; 12名中11名) を担保しつつ、疼痛スコアや体幹機能スコアの改善に貢献することが示されている。運動療法が腰椎分離症のリハビリテーションに有用であると考えられる一方で、どのようなメカニズムで腰椎の関節突起部へのストレスを減弱できるかについて調べた報告は見当たらない。本研究より、運動プログラムの介入によって腰椎分離症群と対照群の両群ともに仙骨傾斜角を減少させる結果が得られ、下関節突起部へ

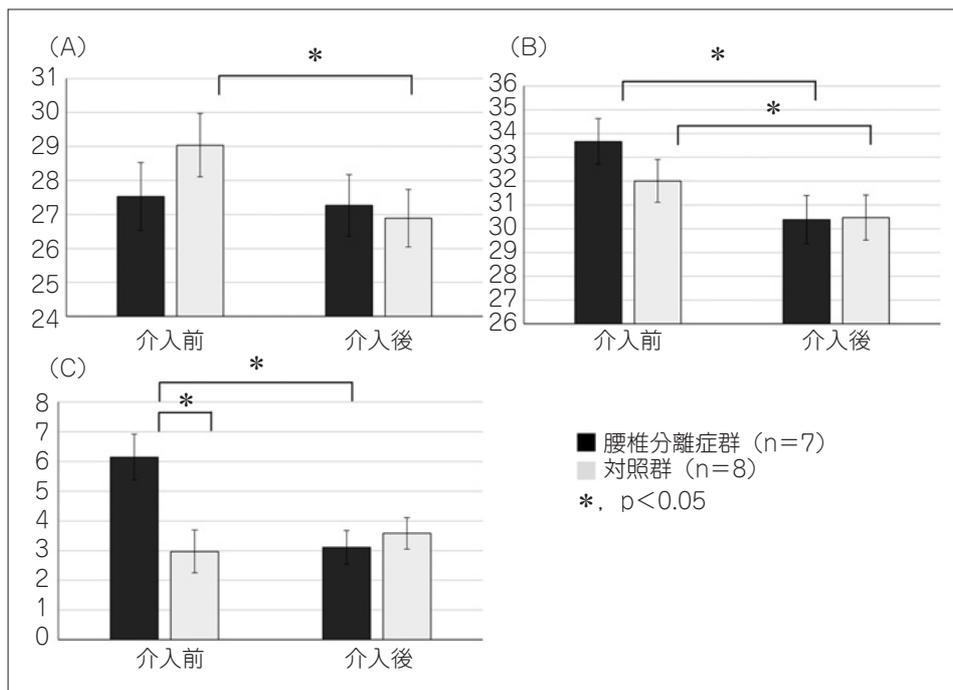


図4 運動プログラム介入前後の脊柱アライメントの変化  
 A, 腰椎矢状面角；B, 仙骨傾斜角；C, 腰椎前弯に対する仙骨傾斜  
 LL, lumbar lordosis；SS, sacral slope

かかる負荷を減らす可能性が示唆された。また、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<sup>9)</sup>ことを踏まえると、運動プログラムの介入によって腰椎分離症の続発症のリスクを抑えることに貢献する可能性も推察される。

運動プログラム介入前の脊柱アライメントに関して、腰椎前弯に対する仙骨傾斜角は腰椎分離症群が対照群よりも高値を示していた。この結果は腰椎分離症を有する選手の特徴と同様の結果を表していた<sup>10)</sup>。他方、症候性の腰椎分離症の発症の危険因子として、腰椎前弯に対する仙骨傾斜が5°以上を呈することが挙げられている<sup>6)</sup>。すなわち、腰椎・仙骨全体での前弯ではなく、仙骨の局所的な前傾が腰椎椎弓根のメカニカルストレスの増大に関連しているということである。本研究で実施した運動プログラム介入によって、腰椎分離症群の腰椎前弯に対する仙骨傾斜角が介入後に5°を下回ることが確認された。したがって、本研究の運動プログラム介入は腰椎分離症の発症リスクの低減に貢献する可能性が示唆された。4つの運動プログラムのうち、どのプログラムが特異的に脊柱アライメントの改善に貢献したかを計ることは難しいものの、ハムストリングスとフロッグスト

レッチによって仙骨の後傾が促されたものと推測する。

腰椎矢状面角は、対照群でのみ運動プログラム介入後に有意に減少が認められた。Motomuraら<sup>17)</sup>は四つ這い姿勢からの上下肢挙上（本研究のバードドッグと同義）課題中の脊柱挙動を調べた結果、hollowingの実施によって課題中の腰椎伸展角を抑制することを報告した。本研究のバードドッグエクササイズ実施中もhollowingを促すよう指示していたにも関わらず、腰椎分離症群と対照群で異なる結果となったことを踏まえると、腰椎分離症群の腹筋群の安定性が不十分であった可能性が考えられる。飛田ら<sup>18)</sup>はSahrmann Core Stability Testが発育期の腰椎分離症における腰椎一骨盤の運動制御能力の評価に有用であると述べており、バードドッグのような腰椎前弯の制動が求められるエクササイズの実施前に体幹前面に位置する大腰筋や腹筋群の機能を改善させる運動プログラムが必要かもしれない。

本研究の限界点は2つあると考える。1点目に、脊柱アライメントの評価が背臥位に留まったことにある。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>19)</sup>という報告がある一方で、脊柱変形を有する対象では3°程度の違いがある

という報告<sup>20)</sup>もあり、評価肢位が影響した可能性が考えられる。2点目に、運動プログラムの非介入群を設けることができなかつた点にある。今後は中長期的な介入を行った際の予防効果を検証し、予防プログラムの確立を目指したいと考える。

## 5. 結論

腰椎分離症の予防に向けて作成した4種類の運動プログラムの介入により、腰椎分離症を有する選手の腰椎前弯に対する仙骨傾斜角が減少することが明らかとなり、腰椎分離症の予防に貢献する可能性が示唆された。

本研究は公益財団法人ミズノスポーツ振興財団の研究助成を受けて実施された。

### 利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

### 著者貢献

筒井俊春：Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Project administration, Validation, Visualization, Writing original draft, Writing review & editing

坂模航：Data curation, Formal analysis, Investigation, Project administration, Visualization, Writing review & editing

塩原由佳：Conceptualization, Data curation, Methodology, Validation, Visualization, Writing review & editing

本間勇伎：Data curation, Investigation, Methodology, Validation, Visualization, Writing review & editing

鳥居俊：Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Project administration, Supervision, Validation, Writing review & editing

## 文 献

- 1) Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HCG. Incidence, Severity, Aetiology and Prevention of Sports Injuries: A Review of Concepts. *Sports Medicine*. 1992; 14: 82-99 doi: 10.2165/00007256-199214020-00002.
- 2) Sakata J, Nakamura E, Suzuki T, et al. Throwing Injuries in Youth Baseball Players: Can a Prevention Program Help? A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. 2019; 47: 2709-2716 doi: 10.1177/0363546519861378.
- 3) 鈴川仁人, 高橋佐江子, 永野康治. 中学生バスケットボール選手に対する下肢外傷予防プログラムの実施効果. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2015; 23: 206-216.
- 4) Sakai T, Sairyō 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.
- 5) 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.
- 6) Tsutsui T, Iizuka S, Takei S, et al. Risk Factors for Symptomatic Bilateral Lumbar Bone Stress Injury in Adolescent Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Am J Sports Med*. 2023; 51: 707-714 doi: 10.1177/03635465221146289.
- 7) 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.
- 8) Sairyō K. Spondylolysis fracture angle in children and adolescents on CT indicates the fracture producing force vector: biomechanical rationale. *Internet J Spine Surg*. 2005; 1: 1-6.
- 9) 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.
- 10) Tsutsui T, Kamikubo T, Sakamaki W, et al. Differences in Lumbopelvic Alignment in Adolescent Male Soccer Players With Bilateral and Unilateral Lumbar Bone Stress Injuries: An MRI Evaluation. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2024; 12: 23259671241229692 doi: 10.1177/23259671241229692.
- 11) Wren TAL, Ponrartana S, Aggabao PC, et al. Increased Lumbar Lordosis and Smaller Vertebral Cross-Sectional Area Are Associated With Spondylolysis. *Spine*. 2018; 43: 833-838 doi: 10.1097/BRS.0000000000002480.
- 12) Kujala UM, Taimela S, Oksanen A, et al. Lumbar Mobility and Low Back Pain During Adolescence:

- A Longitudinal Three-Year Follow-up Study in Athletes and Controls. *Am J Sports Med.* 1997; 25: 363-368 doi: 10.1177/036354659702500316.
- 13) O'Sullivan PB, Phytty GDM, Twomey LT, et al. Evaluation of Specific Stabilizing Exercise in the Treatment of Chronic Low Back Pain With Radiologic Diagnosis of Spondylolysis or Spondylolisthesis. *Spine.* 1997; 22: 2959-2967 doi: 10.1097/00007632-199712150-00020.
- 14) Okhli H, Hojjati H, Akhoundzadeh G. Comparing the Effect of the Corrective Exercises of America's National Academy of Sports Medicine and Pilates on the Correction of Lordosis among Female High School Students in Golestan Province in 2018. *INTJSH.* 2019; 6 doi: 10.30476/intjsh.2019.45883.
- 15) Fatemi R, Javid M, Najafabadi EM. Effects of William training on lumbosacral muscles function, lumbar curve and pain. *BMR.* 2015; 28: 591-597 doi: 10.3233/BMR-150585.
- 16) Selhorst M, MacDonald J, Martin LC, et al. Immediate functional progression program in adolescent athletes with a spondylolysis. *Physical Therapy in Sport.* 2021; 52: 140-146 doi: 10.1016/j.ptsp.2021.08.009.
- 17) Motomura Y, Tateuchi H, Ota M, et al. Effects of abdominal hollowing and bracing on each intervertebral angle during quadruped upper and lower extremity lift: Three-dimensional motion analysis of the spine. *Journal of Biomechanics.* 2024; 170: 112128 doi: 10.1016/j.jbiomech.2024.112128.
- 18) 飛田広大, 辰村正紀, 芋生祥之, 他. 発育期の腰椎分離症に対する Sahrman Core Stability Test による評価. *日臨スポーツ医学会誌.* 2022; 30(1): 109.
- 19) 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.
- 20) Godlewski MW, Haselhuhn JJ, Polly DW. Standing versus supine pelvic incidence in adult spinal deformity patients. *Eur Spine J.* 2024; 33(10): 3851-3856 doi: 10.1007/s00586-024-08386-4.

---

(受付：2024年12月17日，受理：2025年6月16日)

## Immediate effects on lumbosacral alignment of an exercise intervention for preventing lumbar spondylolysis: a pilot study

Tsutsui, T.<sup>\*1,2</sup>, Sakamaki, W.<sup>\*3</sup>, Shiobara, Y.<sup>\*3,4</sup>  
Honma, Y.<sup>\*3</sup>, Torii, S.<sup>\*1,2</sup>

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

<sup>\*2</sup> Institute of Human Growth and Development, Waseda University

<sup>\*3</sup> Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

<sup>\*4</sup> Keio University Rugby Football Club

**Key words:** Spinal alignment, MRI, exercise intervention

**[Abstract]** As a pilot study, this study examined the immediate effects on lumbosacral alignment of an intervention exercise program for preventing lumbar spondylolysis. Fifteen male junior high school soccer and baseball players were enrolled. Magnetic resonance imaging of the lumbar region was performed before and after the intervention exercise program to evaluate lumbar lordosis (LL), sacral slope (SS), and SS relative to LL. Four exercise programs were implemented, which consisted of exercises for improving the hamstrings, hip joint, thoracic flexibility, and multifidus muscle function. A significant interaction was found for the LL, SS, and SS angles relative to LL ( $F[1, 13] = 21.4, p < 0.001$ ;  $F[1, 13] = 10.1, p = 0.007$ ;  $F[1, 13] = 30.4, p < 0.001$ ). The changes in SS was significant in both groups ( $F[1, 13] = 77.3, p < 0.001$ ), whereas the change in LL was significant in the control group ( $F[1, 13] = 34.6, p < 0.001$ ). A significant effect was observed in the LS group before and after the exercise program for the SS relative to LL ( $F[1, 13] = 13.4, p = 0.03$ ). Our intervention exercise program may help prevent lumbar spondylolysis because it decreased the SS relative to LL in players with lumbar spondylolysis.