

# 機能連鎖からみたスポーツ外傷・障害の リハビリテーション

Sports Rehabilitation based on functional chain.

坂田 淳\*

キー・ワード：機能連鎖，リハビリテーション，スポーツ外傷・障害

【要旨】 アスリートのスポーツ活動は、複雑なシステムの中に成り立っている。スポーツパフォーマンスには、関節や神経筋が各々の機能を適切なタイミングで果たすことが重要である。スポーツ外傷・障害のリハビリテーションを考える際には、ある部位の構造破綻や機能低下によって生じる全身のシステムへの影響を、機能連鎖の観点より考えることが重要となる。上記の概念について、下肢のスポーツ外傷・障害を例に、機能連鎖からみたリハビリテーションの実際について解説する。

## ●はじめに

機能連鎖は多様であり、エンジニアリングや化学、人工知能など様々な領域で適用される。システム内における一連の機能とその相互関係のことを指し、ある特定の機能を果たすために辿る流れともいえる<sup>1)</sup>。複雑なシステム設計や化学事象を明らかにする際に用いられ、近年では機能から構造・方法を考えるという概念の広まりも高まっている。スポーツのパフォーマンスは、単一の部位を使うのではなく、身体全体が一貫して協調的に動くことによって成り立つ。本稿では、機能連鎖を、各神経・筋・関節が相互作用し、全身の協調的かつ効率的な運動を実現する過程、と定義することとする。アスリートのリハビリテーションでは、身体の各部位が連動して動くことが重要であり、機能連鎖を理解・活用することで、パフォーマンス向上とスポーツ外傷・障害予防に直結すると考えられる。

## ●アスリートのリハビリテーション・トレーニングの共通項

予防を含めたアスリートのリハビリテーションでは、下肢では股関節屈曲動作や減速動作、上肢ではしなり動作やプル（引きつけ）動作を重視する一方、パフォーマンス向上のためのトレーニングでは、股関節伸展動作や加速動作、プッシュ（押し出し）動作が重要視される。上記は一見、相反する運動を表現しているが、強い股関節伸展動作には安定した股関節屈曲動作が重要であり、また速い加速動作後には安全な減速動作が必要不可欠であり、相互に作用する。また、リハビリテーションでは関節への負担を軽減するために、関節の回旋コントロールが重要であり、例えば膝のスポーツ外傷・障害に対しニーイン・トウアウトを抑制することがそれにあたる。トレーニングにおいても、例えば体幹や骨盤の回旋運動時や外乱負荷時の安定性向上のため、アンチ・ローテーション能力を高めることが多く行われる。リハビリテーションとトレーニングの共通項を考えた際、この回旋安定性の獲得が挙げられ、スポーツ外傷・障

\* トヨタ記念病院トヨタアスリートサポートセンター  
Corresponding author：坂田 淳 (jun10767@khaki.plala.or.jp)

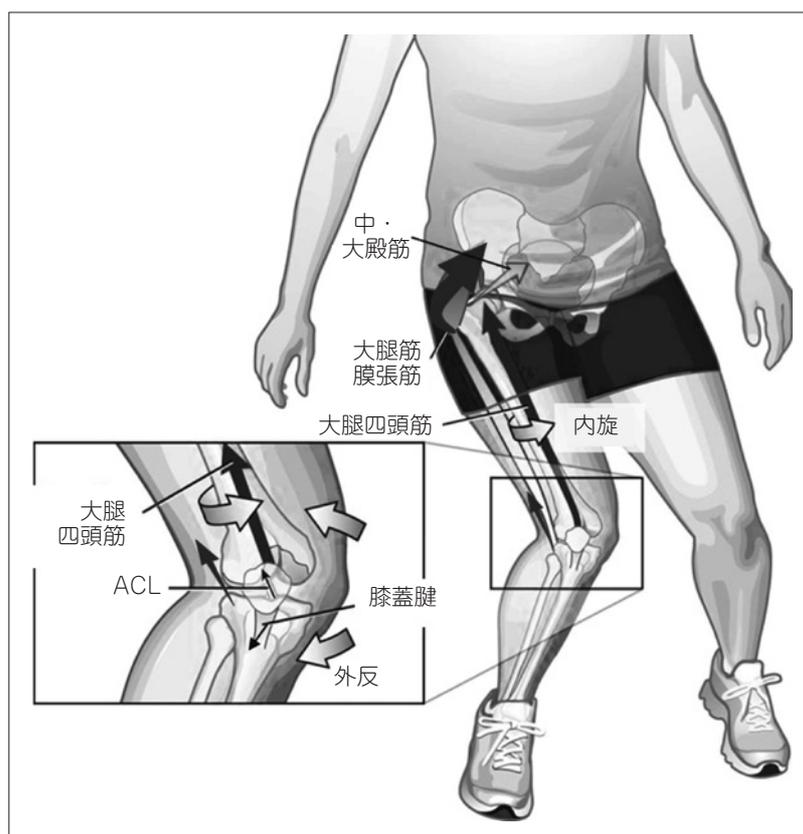


図1 GTA index 増大による股関節内旋・膝関節外反とそれに伴う ACL・膝蓋腱の伸張

害予防とパフォーマンス向上の両立を考える際に重要な視点となる。

### ●下腿回旋コントロールと股関節機能の連鎖

下腿回旋コントロールは、下肢の疾患に対するリハビリテーションにおいて重要となる。特に膝関節の外反増大は膝前十字靭帯損傷のリスクファクターであることは多く知られている<sup>2)</sup>。下腿回旋は股関節の影響を多く受け、中殿筋・大殿筋より大腿筋膜張筋の活動が相対的に高まると、股関節内旋・膝関節外反の増大が起こる<sup>3)</sup>。Selkowitz<sup>4)</sup>は、Gluteal-to-TFL muscle activation index (GTA index) を提唱し、大腿筋膜張筋に対する中・大殿筋の筋活動を指標とした。スポーツ障害の代表例でもある膝前面痛患者の GTA index を調べた報告では、股関節 Ex 中の GTA index が低下するとした<sup>5)</sup>。GTA index が低いアスリートは、股関節のコントロールが不良となり、膝関節外傷だけでなく、膝関節障害のリスクとなる可能性がある (図 1)。

GTA index の臨床的評価には、側臥位股関節伸展・最大外転位における保持動作において、股関節屈曲による代償の有無で評価する (図 2)。股関節屈曲による代償により、大腿筋膜張筋の収縮が強まり、中殿筋・大殿筋の収縮が低い場合、GTA index が低いと考えられる。このような症例には、TFL の柔軟性と走行の修正が中殿筋の賦活化に重要である。

また、図 2 の保持動作において、骨盤を同側回旋させたり、体幹を対側回旋させることで、下肢を支えようとする代償の動きがみられる場合がある。この際は、体幹・骨盤の回旋安定性の機能不全が疑われる。GTA index が高いエクササイズとして Clamshell がある<sup>6)</sup>。この際、骨盤の固定が足らず、骨盤の回旋を伴った開排運動を行うと、临床上、TFL の活動が高まる。そのような例に対し、脊柱を正中位まで持ち上げ、腹斜筋を収縮した状態で開排を行うと、股関節外旋筋や大殿筋の活動が高まる。体幹筋を賦活化した状態での股関節運動を行うことで、GTA index の改善には有効となると考えられる。

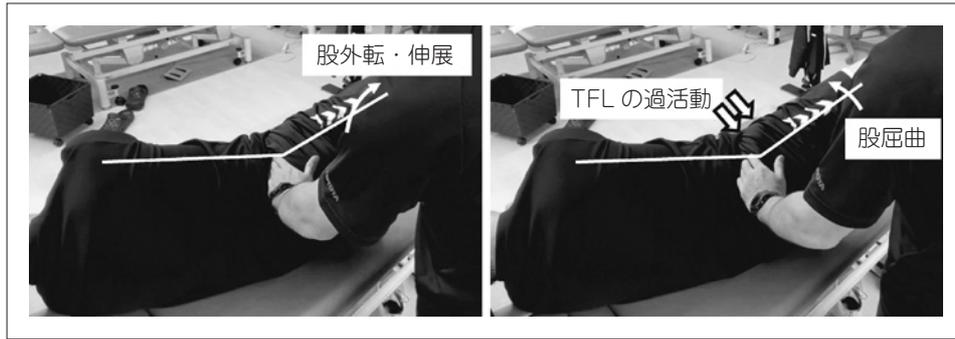


図2 GTA index の臨床的評価

右：他動的に股関節伸展・最大外転位まで他動で誘導する  
 左：肢位を保持するように指示し，股関節屈曲の代償の有無をみる



図3 側臥位中殿筋テスト

股関節伸展・最大外転位まで他動で誘導し (A)，その位置を保持させた後 (B)，股関節外転抵抗を加えた際の骨盤回旋の有無を評価する (C)

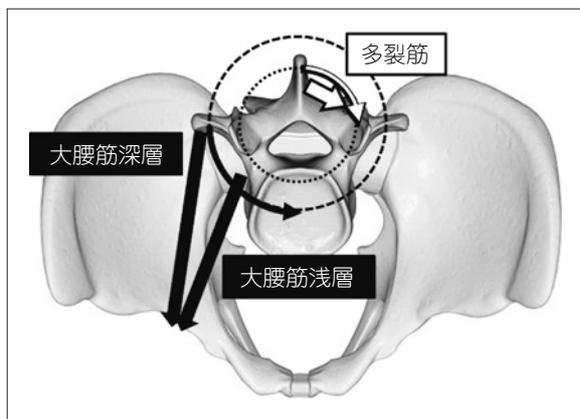


図4 多裂筋と大腰筋の腰椎回旋作用

### ●股関節機能と体幹回旋安定性の連鎖

中京大学の清水卓也教授は，体幹回旋安定性と中殿筋のリンクの評価として，側臥位中殿筋テストを用いている (図3)。すなわち，側臥位で股関節最大外転位での抵抗運動時に，抵抗に抗するこ

とができず，骨盤が固定できずに回旋してしまう場合に体幹回旋安定性が低下していると判断する。これに対し，肋骨下制の制限因子を取り除き，胸腔内圧をコントロールすることによる腹腔内圧の改善が重要であると提唱している。

体幹回旋安定性には，腹部の円周上の筋の共同収縮が重要である。内腹斜筋・下後鋸筋・多裂筋は筋膜でつながっている<sup>7)</sup>。また，脊椎のテンセグリティ構造は柔軟な形状制御が可能な可動構造を可能とさせる<sup>8)</sup>。脊椎に付着する多裂筋・大腰筋は共に腰椎の安定性に寄与し，腰椎回旋機能としては互いに拮抗筋となる (図4)。

筋長が短い筋は，筋長が長くなった際にその張力が著しく減少する<sup>9)</sup>。多裂筋は筋長が短い<sup>10)</sup>。多裂筋が正常に機能するためには，脊椎をニュートラルに保つことが重要となる。腰椎疾患においても，腰椎分離症では分離側に腰椎棘突起が偏位，つまり腰椎が対側回旋しており，椎弓部のメカニカルストレスが増加している可能性がある」と報告

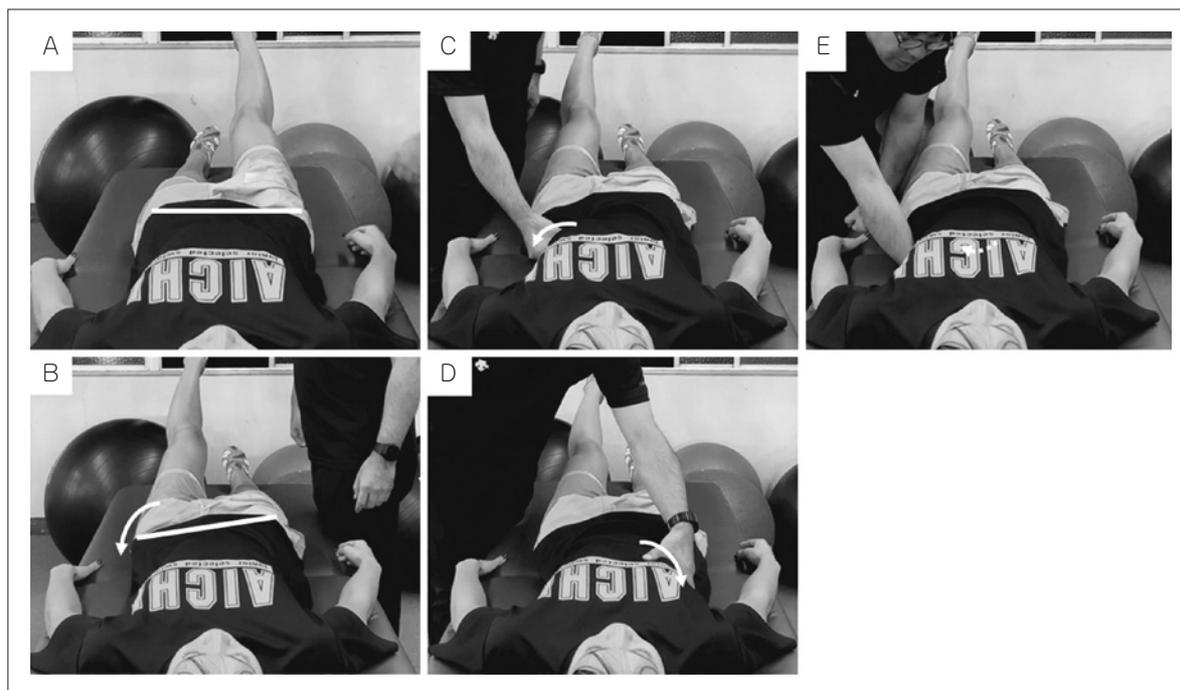


図5 Assisted Active SLRによる体幹筋機能の評価

下肢を挙上した際の自覚的重量感を左右で比較する (A・B)。骨盤回旋による代償が起きる場合もある (B)。重い側の腹斜筋の把持 (内腹斜筋：C)、対側肋骨押し込み (下後鋸筋：D)、対側腰椎支持 (多裂筋：E) による重量感の変化を評価する。

された<sup>11)</sup>。棘突起の偏位は多裂筋の機能低下を誘発し、腰椎の固定性が低下している可能性がある。また、腰椎椎間板ヘルニアでは、ヘルニア側の多裂筋の萎縮がみられるとされており<sup>12)</sup>、腰椎の固定性が低い可能性がある。

内腹斜筋・下後鋸筋・多裂筋の機能不全のスクリーニングとして Assisted Active SLR (AASLR) を行う。仰臥位で30度ほど下肢を浮かした際の自覚的な足の重量感を確認する (図5A)。自覚的な左右差がない場合には、挙上側の骨盤を回旋させ、股関節屈曲の代償を起こしていないかを確認する (図5B)。その位置でキープした際の固定力を抵抗で確認し、出力の強さやブレイクの有無を確認する。自覚的重量感が重い側 (あるいは固定できずにブレイクされてしまう側) に対し、同側の内腹斜筋を把持し収縮をアシストした際 (図5C)、対側肋骨を押し込んだ際 (図5D)、対側より脊柱を支持した際 (図5E) の改善を把握し、それぞれ挙上側の同側内腹斜筋、対側下後鋸筋、対側多裂筋の機能不全を確認する。そして機能不全がみられた筋を賦活化するようにエクササイズを行い、その機能の改善を再度 AASLR で確認する。

## ●姿勢 (胸椎・骨盤) による腰椎固定性の変化

大腰筋は椎体より起始する前部線維と横突起より起始する後部線維で機能的な違いがあり、前部線維は腰椎回旋関与少、腰椎屈曲増強であるのに対し、後部線維は腰椎対側回旋、腰椎伸展増強に関与する。また、腰椎のアライメントの影響も大きく、腰椎屈曲位では大腰筋前部線維の腰椎屈曲成分が増加し上位腰椎が屈曲する<sup>13)</sup>。この姿勢は、多裂筋を伸長位にさせ、収縮不全を引き起こす可能性がある。腰椎屈曲には、胸椎後弯と骨盤後傾の姿勢が関与するため、姿勢や骨盤可動性の評価は重要である。評価には、傾斜計を用い、第1胸椎と第12胸椎棘突起に傾斜計をあてた際の傾斜角の総和としての胸椎後弯角の測定と、最大前屈時に仙骨に傾斜計をあてての仙骨前傾角をみるとよい。胸椎後弯角の増大は、学童野球競技における投球障害の危険因子<sup>14)</sup>となる他、中学ラグビー競技における腰椎分離症の危険因子にもなる<sup>15)</sup>。また前屈時の仙骨傾斜角の減少は、大学ラグビー選手における肩・頭頸部外傷の危険因子となることも自験例で分かっている (図6)。

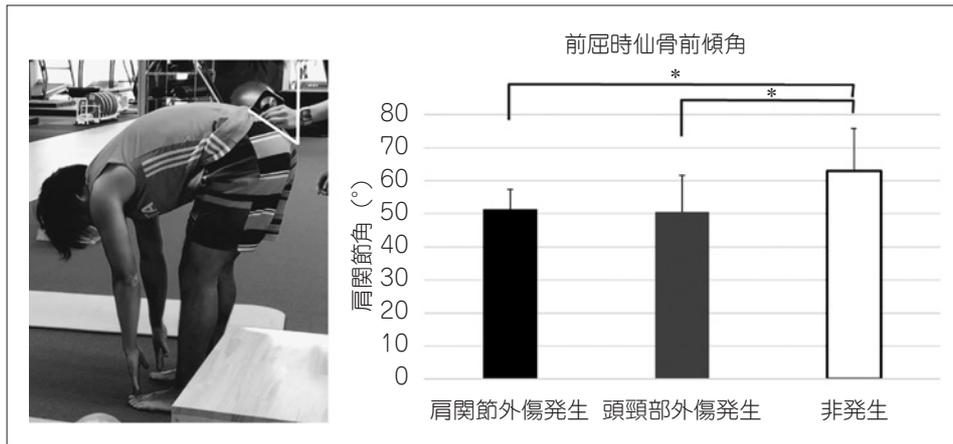


図6 前屈時仙骨傾斜角 (左) と外傷の有無による仙骨傾斜角の比較 (右)  
\* : 有意水準 P<0.05

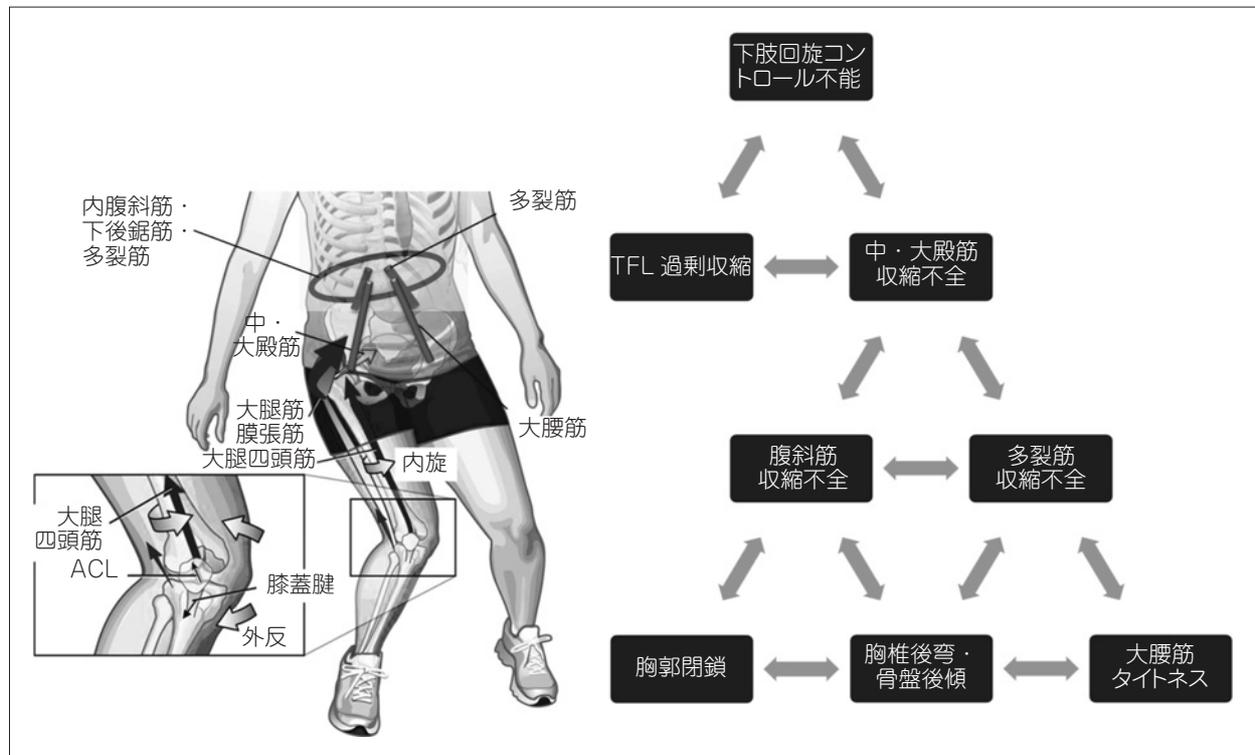


図7 下肢からの体幹までの機能連鎖

●まとめ

機能連鎖を考える際には、3つの機能以上のトライアングル関係を考えるとよい。下肢から体幹までの機能連鎖を図7に示す。下腿回旋コントロール不良は、大腿筋膜張筋過剰収縮と中・大殿筋収縮不全からなる。中・大殿筋の機能低下の背景には、腹斜筋や多裂筋の機能不全による体幹回旋安定性が原因であることが多い。また多裂筋の機能不全には大腰筋タイトネスや姿勢の悪化があ

る場合に注意する。このような機能連鎖をたどると、下腿の回旋コントロールをするためのアプローチとして、大腰筋をストレッチするといったリハビリテーションを展開する可能性も考えられる。リハビリテーションにおける「機能連鎖」のアプローチは、このように課題に近い単体の筋や関節だけでなく、その背景にある機能的な問題点を捉え、修正することで、全身の協調的な動きを取り戻すことを目指す。これにより、再発のリスクを減らし、スポーツパフォーマンスを向上させ

ることにもつながる可能性を秘めている。

## 謝 辞

発表の機会を頂いた会長の大森豪先生, 準備委員長の江玉陸明, 座長の片寄正樹先生に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Boan P. FUNCTIONAL CHAIN APPROACH FOR AVIONICS MODELLING AND SIMULATION. MBSE2021. Available at: <https://indico.esa.int/event/386/contributions/6298/attachments/4293/6403/1525%20-%20functional%20chain%20approach%20for%20avionics%20modelling%20and%20simulation.pdf> [Accessed 30 December, 2024].
- 2) Imwalle LE, Myer GD, Ford KR, et al. Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(8): 2223-2230.
- 3) Powers CM. The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010; 40(2): 42-51.
- 4) Selkowitz DM, Beneck GJ, Powers CM. Which exercises target the gluteal muscles while minimizing activation of the tensor fascia lata? Electromyographic assessment using fine-wire electrodes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013; 43(2): 54-64.
- 5) Selkowitz DM, Beneck GJ, Powers CM. Persons with patellofemoral pain exhibit altered hip abductor muscle recruitment while performing hip abductor exercises. *Physiother Theory Pract.* 2024; 40(1): 11-20.
- 6) Sidorkewicz N, Cambridge ED, McGill SM. Examining the effects of altering hip orientation on gluteus medius and tensor fasciae latae interplay during common non-weight-bearing hip rehabilitation exercises. *Clin Biomech (Bristol).* 2014; 29(9): 971-976.
- 7) Willard FH, Vleeming A, Schuenke MD, et al. The thoracolumbar fascia: anatomy, function and clinical considerations. *J Anat.* 2012; 221(6): 507-536.
- 8) 福森郁斗, 西村 督. 接線剛性行列の固有値制約による脊椎型テンセグリティーモデルの形状制御. *構造工学論文集 B.* 2024; 70B: 142-155.
- 9) Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2011; 366(1570): 1466-1476.
- 10) Ward SR, Kim CW, Eng CM, et al. Architectural analysis and intraoperative measurements demonstrate the unique design of the multifidus muscle for lumbar spine stability. *J Bone Joint Surg Am.* 2009; 91(1): 176-185.
- 11) 松澤寛大, 坂田 淳, 内田智也, 他. 片側性腰椎分離症患者における分離側と分離腰椎の回旋偏位方向との関係. *臨スポ会誌.* 2023; 31(4): S252-S252.
- 12) Naghdi N, Mohseni-Bandpei MA, Taghipour M, et al. Lumbar Multifidus Muscle Morphology Changes in Patient with Different Degrees of Lumbar Disc Herniation: An Ultrasonographic Study. *Medicina (Kaunas).* 2021; 57(7): 699.
- 13) Bogduk N, Pearcy M, Hadfield G. Anatomy and biomechanics of psoas major. *Clin Biomech (Bristol).* 1992; 7(2): 109-119.
- 14) Sakata J, Nakamura E, Suzukawa M, et al. Physical Risk Factors for a Medial Elbow Injury in Junior Baseball Players: A Prospective Cohort Study of 353 Players. *Am J Sports Med.* 2017; 45(1): 135-143.
- 15) 坂田 淳, 村田祐樹, 高橋達也, 他. 中学生ラグビー選手における腰背部傷害の危険因子に関する前向きコホート調査. *臨スポ会誌.* 2022; 30(4): S272-S272.