

## 発育期サッカー選手におけるオスグッドシュラッター病の発症に関係するキック動作特性と身体要素の縦断的検討

武井聖良<sup>1,3</sup>, 戸島美智生<sup>2</sup>, 鳥居俊<sup>3</sup>

1: 東京大学大学院医学系研究科外科学専攻感覚運動機能医学講座整形外科

2: 東京国際大学人間社会学部

3: 早稲田大学スポーツ科学学術院

### 1. はじめに

近年、成長期のオーバーユースによるスポーツ障害が多く報告されている。成長期サッカー選手のスポーツ障害も多く、キック・ジャンプ・ダッシュなどの動作に伴い、Osgood-Schlatter病（以下 OSD）、腰椎分離症、鼠径部痛症候群などが発生する<sup>1)</sup>と報告されている。特に OSD は発生頻度が高く、海外の報告では15歳での発生率は17.3%であり、運動群の発生率は非運動群の2倍であった<sup>2)</sup>。これまで、OSDの発生要因として、脛骨粗面が力学的に弱い apophyseal stage と epiphyseal stage の時期での大腿四頭筋の牽引力が大きく影響すると考えられており<sup>3)</sup>大腿四頭筋タイトネスの予防として大腿四頭筋ストレッチを行うことが推奨されてきた。しかしそれらの予防法を行っても OSD を発症する例は少なくなく、OSD の患者すべてに大腿四頭筋のタイトネスが見られるわけではない。

先行研究で、蹴り脚よりも軸脚の膝の OSD 発生が多い<sup>4)</sup>ことがわかっており、キック動作時（片脚で立位）の軸脚の膝にかかる負担が OSD と関係していると予測できる。四頭筋タイトネス以外の OSD 発生要因として、OSD 群は膝の伸展筋力が有意に強い<sup>5)</sup>ことや、膝関節のマリアライメントが認められる<sup>6)</sup>ことが報告されてきたが、最近注目されているのがキック動作と OSD の関係である。

キック動作において、蹴り脚よりも軸脚の大腿四頭筋が過活動になることが報告<sup>7)</sup>されており、OSD を発症する選手はボールインパクト時の重心位置が後方化しており軸脚の膝関節伸展モーメントが増加している可能性を指摘した報告もある<sup>8)</sup>。ボールインパクト時の重心が後方化する要素として、骨盤の後傾や軸脚接地位置の後方化、あるいは軸脚接地時の膝関節の屈曲角度が異なることなどが予測される。しかし、キック動作時の各関節の詳細な角度と OSD 発症との関係性について前向きに検討した研究はこれまでにない。

そこで本研究の目的は、OSD を発症しやすいキック動作の特徴を明らかにすることとした。3次元モーションキャプチャーを用いて中学生男子サッカー選手のキック動作における身体重心位置、軸脚の接地位置、ボール最大速度、キック動作時間、軸脚および蹴り脚の下肢（股膝足）関節の角度及び骨盤・胸腰椎の角度を測定し、半年後の軸脚の OSD 発生との関連性を前向きに検討した。

### 2. 研究方法

#### 2.1 研究対象

地域サッカークラブに所属する中学1年生サッカー選手57名（年齢  $12.1 \pm 0.3$  歳，身長  $151.5 \pm 7.6$ cm，体重  $42.1 \pm 8.0$ kg）を対象とした。全ての被験者及びその保護者に対して研究の内容を十分に説明し、事前に同意を得て実施した。本研究は東京大学及び早稲田大学の倫理委員会に承認を得て実施した。

## 2.2 測定方法

### 2.2.1.測定項目

中学1年生の春に身長・体重測定、角度計を用いた両下肢の大腿四頭筋タイトネス測定、BIODEXを用いた蹴り脚の膝伸展・屈筋筋力測定を行った。脛骨粗面エコー検査(図1)を行い、脛骨粗面の発育段階(cartilage stage, apophyseal stage, epiphyseal stage, boney stage)<sup>9)</sup>を確認し、脛骨粗面に圧痛がある選手をOSDと診断した。OSDを発症していない選手のキック動作を、三次元動作解析法を用いて測定した。半年後の中学1年生の秋に再度、身長・体重測定、角度計を用いた両下肢の大腿四頭筋タイトネス測定と、脛骨粗面エコー検査による脛骨粗面の発育段階の確認と軸脚のOSDの診断を行った。

### 2.2.2 キック動作測定

3次元モーションキャプチャー(Oqusカメラ10台, Qualisys社)を用い、Tojimaらの報告(図2)<sup>9)</sup>に従って身体の各ランドマーク65箇所(セグメント構成:頭、上腕、前腕、胸郭、骨盤、胸腰椎移行部、大腿、下腿、足部)に赤外線反射マーカを貼付し、240Hzで撮影した(図3)。ゴールから14mの位置にボールを設置し(図3)、キック動作の助走距離は被験者の自由としたが全力のインステップキックで行うように指示し3回測定した。3回のキック動作のうち最大ボール速度が最も大きかった試技を解析に用いた。得られたマーカ位置情報から、身体重心位置、軸脚の接地位置、股・足関節角度、骨盤の地面に対する傾きをヘレンヘイズ法<sup>10)</sup>、膝関節角度をポイントクラスタ法<sup>11)</sup>、腰椎・胸椎角度をTojimaらの方法<sup>12)</sup>を用いて算出し、動作を8つのphaseに分割した時間軸(図4)で検討した。8つのphaseは、キック動作開始から順にPhase1. 蹴り脚接地(Foot contact: FC)、Phase2. 蹴り脚離脚(Toe off: TO)、Phase3. 蹴り脚股関節最大伸展(Max hip extension: MHE)、Phase4. 軸脚接地(Support foot contact: sFC)、Phase5. 蹴り脚膝関節最大屈曲(Max knee flexion: MKF)、Phase6. 軸脚膝関節最大屈曲(Support foot max knee flexion: sMKF)、Phase7. ボールインパクト(Ball impact: BI)、Phase8. 蹴り脚股関節最大屈曲(Max hip flexion: MHF)とした。

## 2.3 統計処理

測定項目の基本統計量は、正規分布のデータに関しては平均値(mean)±標準偏差(SD)、非正規分布のデータに関しては中央値(median)と最小値、最大値(min-max)により示した。1年生の春にOSDを発症していた選手、退会した選手、半年後の測定に参加しなかった選手を除き、半年後に軸脚のOSDを発症した選手をOSD群、発症しなかった選手をN群とした。OSD群とN群の1年生春における暦年齢、蹴り脚の膝伸展・屈曲筋力、半年間の身長増加量、秋における身長・体重・Body mass index(BMI)を、単変量解析を用いて比較した。また、両群間の1年生の春と秋における大腿四頭筋タイトネス及び半年間のタイトネス変化量を、単変量解析を用いて比較した。1年生の春に測定したキック動作データは、各8phaseにおける身体重心位置の移動距離、軸脚の足部の移動距離、ボール最大速度、キック動作時間、軸脚および蹴り脚の股関節、膝関節、足関節の角度・角速度・角加速度、骨盤、胸椎、腰椎の角度・角度変化量について、単変量解析を用いて両群間の比較を行った。身体重心位置は身長補正、軸脚の足部の移動距離は脚長補正を行った。単変量解析は、正規分布のデータに関しては対応のないt検定を用い、非正規分布のデータに関してはMann-Whitney U検定を用いた。すべての統計処理は、統計処理ソフトIBM SPSS Statistics 24(IBM社製)を用いた。なお、すべての検定において有意水準を5%未満とした。

### 3. 結果

対象 57 名のうち、1 年生の春に OSD と診断した 8 名、退会者 1 名、半年後の測定不参加者 1 名を除外した 47 名について解析を行った。OSD 群は 19 名で、軸脚のみの発症例が 12 名、両側発症例が 7 名おり、脛骨粗面の発育段階は apophyseal stage が 9 名、epiphyseal stage が 10 名だった。N 群(28 名)の脛骨粗面の発育段階は cartilage stage が 2 名、apophyseal stage が 8 名、epiphyseal stage が 18 名だった。

両群間で、1 年生春における暦年齢、蹴り脚の膝伸展・屈曲筋力、半年間の身長増加量、秋における身長・体重・BMI、1 年生の春と秋における軸脚の大腿四頭筋タイトネス及び半年間のタイトネス変化量に有意差はなかった。(表 1,2) また、キック動作時間、キック動作における各 8phase の動作時間が全体の所要時間に対する割合、ボール最大速度も有意差がなかった(表 3)。

キック動作を比較すると、Phase1.FC からボールにインパクトする直前で軸脚の膝が最大屈曲する Phase6.sMKF において OSD 群は N 群よりも重心移動が有意に小さく ( $p<0.05$ )、Phase1.FC から軸脚が接地する Phase4.sFC までの重心移動距離と、蹴り足のバックスイング Phase3.MHE から Phase6.sMKF までの重心移動距離も OSD 群は有意に小さかった ( $p<0.05$ )。

(表 4) そして、OSD 群は Phase3.MHE から Phase6.sMKF までの軸脚の移動距離が有意に小さかった ( $p<0.05$ )。(表 4) 胸椎と骨盤の動作では、軸脚接地後に蹴り脚の膝関節伸展が開始する phase5.MKF からボールにインパクトする phase7.BI までの胸椎の屈曲角度変化が OSD 群は有意に小さく ( $p<0.05$ )、同 phase 間の骨盤の伸展角度変化が OSD 群は小さい傾向があった ( $p<0.1$ )。(表 5) また、Phase3.MHE から Phase6.sMKF と Phase3.MHE から Phase4.sFC の間までの骨盤回旋角度変化も OSD 群は有意に小さかった。(表 5) 一方で軸脚は、ボールにインパクトする Phase7.BI において、両群ともに軸脚の膝関節を伸展させながらボールを蹴っているが(図 5)、OSD 群は Phase7.BI における軸脚の膝関節の伸展角速度が N 群よりも速かった ( $p<0.05$ )。(表 6)

OSD 群と N 群のキック動作の違いをまとめると、OSD 群はボールにインパクトする前までの準備期において、重心移動距離、軸脚の移動距離、胸椎の屈曲角度変化が有意に小さく(図 6)、骨盤の回旋角度変化も小さい一方で、ボールにインパクトする瞬間の軸脚の膝関節が伸展する速度は N 群よりも有意に速かった。(図 7)

### 4. 考察

本研究では、半年後に軸脚の OSD を発症した成長期サッカー選手のキック動作の特徴を検討した。キック動作とパフォーマンスに関する研究については、前後方向の推進力・重心移動とボール速度に相関関係があるという報告<sup>14)</sup>や未熟練者は熟練者よりも前後方向のモーメントが小さいと報告<sup>15)</sup>されており、前後方向の重心移動はキック動作のパフォーマンスに重要である。本研究の OSD 群は、N 群と比較して重心移動が有意に小さかったことから、N 群よりも未熟なキック動作となっていた可能性がある。軸脚を踏み込むまでの移動距離やボールインパクト前の胸椎の屈曲角度変化も小さく、前後方向の推進力を生み出すには不利なキック動作となっていたと考えられる。さらに、ボールインパクト前の大きな骨盤回旋は蹴り脚の加速に貢献し、熟練者ほど骨盤回旋角度が大きい<sup>16)</sup>と報告されているが、本研究の OSD 群はボールインパクト前の骨盤回旋角度も N 群と比べて有意に小さかった。しかし、OSD 群は前述の不

利なキック動作にも関わらず、ボール速度は両群間に差がなく、キック動作のパフォーマンスには影響していなかった。蹴り脚の膝伸展・屈曲の筋力にも両群間に差はみられず、身長・体重など身体要素にも差はなかった。

一方でキック動作中の軸脚の役割について、先行研究より、ボールインパクト時に軸脚の膝関節を伸展させることで体幹を上方に持ち上げ、軸脚の膝関節の伸展の角速度が蹴り脚及びボールの加速に貢献していることが明らかになっている<sup>17,18)</sup>。本研究の OSD 群はボールインパクト時、軸脚の膝関節が伸展する速度が N 群よりも有意に大きく、軸脚の膝関節の伸展が OSD 群のボール速度に大きく寄与していた可能性がある。つまり、前後方向の重心移動や骨盤の回旋が小さい一方で、軸脚の膝関節の伸展により依存したキック動作になっていたと考える。

サッカー中の軸脚の膝関節にかかる負担について、Inoue<sup>19)</sup>らはサッカー中の様々な動作の中で膝関節の伸展モーメントが最大となる動作は走行やストップ動作ではなく、ジャンプから片脚で接地する動作であると報告し、Brophy ら<sup>20)</sup>は、キック動作中の蹴り脚と軸脚の筋電を測定し、軸脚が接地してボールにインパクトにいたるまでの軸脚の大腿四頭筋の活動が最も大きいことを報告している。これらのことから、キック動作の中でも軸脚で全体重を支えながら軸脚の膝関節を伸展させるボールインパクトの段階において、脛骨粗面には大腿四頭筋の牽引力による大きな負担が生じていると考えられる。本研究の OSD 群は、ボールインパクト時の軸脚の膝関節が伸展する速度が大きく、N 群より大きい牽引力が脛骨粗面に繰り返し生じた結果、OSD を発症した可能性がある。本研究の OSD 群と N 群の間には、先行研究で OSD のリスク因子と報告されている大腿四頭筋タイトネス<sup>3)</sup>や膝伸展筋力<sup>5)</sup>に有意差はなく、前後方向の重心移動や骨盤の回旋が小さく、ボールインパクト時の軸脚の膝関節伸展に依存したキック動作が、OSD の発症に関係していると考えられる。

本研究の限界として、軸脚接地位置の指定を避けるため動作測定時に床反力系を用いておらず、膝の伸展モーメントの数値を算出できなかったという点がある。今後は、膝関節の伸展機構にかかる負担を定量化し、その数値を比較検討する必要がある。また、サンプルサイズが小さく、単独のコホートにおける前向き研究であるため、複数のコホートで再現性を検討する必要がある。

## 5. まとめ

中学生男子サッカー選手において、半年後に OSD を発症した選手のキック動作の特徴を 3 次元モーションキャプチャーを用いて前向きに検討した。軸脚の OSD を発症した選手のキック動作は、ボールにインパクトする前までの準備期において、重心移動距離、軸脚の移動距離、胸椎の屈曲角度変化、骨盤の回旋角度変化が小さい一方で、ボールにインパクトする瞬間の軸脚の膝関節が伸展する速度が速かった。成長期サッカー選手の OSD の発症には、ボールインパクト時の軸脚の膝関節伸展に依存したキック動作が関与している可能性がある。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成を賜りました財団法人ミズノスポーツ振興財団に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) Suzue N, Matsuura T, Iwame T, et al. Prevalence of childhood and adolescent soccer-related overuse injuries. *J Med Invest.*2014,61(3-4):369-73.
- 2) de Lucena GL, dos Santos Gomes C, Guerra RO. Prevalence and Associated Factors of Osgood-Schlatter Syndrome in a Population-Based Sample of Brazilian Adolescents. *Am J Sports Med.*2011,39(2):415-20.
- 3) Hirano A, Fukubayashi T, Ishii T, et al. Magnetic resonance imaging of Osgood-Schlatter disease: the course of the disease. *Skeletal Radiol.*2002,31(6):334-42.
- 4) 阿部平, 鳥居俊. 成長期サッカー選手は軸足へのオスグッド・シュラッター病発症リスクを抱えている. *日本成長学会誌.*2015,21(2):92.
- 5) Nakase J, Goshima K, Numata H, et al. Precise risk factors for Osgood-Schlatter disease. *Arch Orthop Trauma Surg.*2015,135:1277-1281.
- 6) 水島健太郎, 立原久義. オスグッド・シュラッター病における膝関節柔軟性と下肢アライメントの特徴. *日本整形外科スポーツ医学会.* 2016,36(1):60-63.
- 7) Brophy RH, Backus SI, Pansy BS, et al. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007,37(5):260-268.
- 8) Watanabe H, Fujii M, Yoshimoto M, et al. Pathogenic Factors Associated With Osgood-Schlatter Disease in Adolescent Male Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Orthop J Sports Med.* 2018,6(8):1-8.
- 9) Omodaka T, Ohsawa T, Tajika T, et al. Relationship Between Lower Limb Tightness and Practice Time Among Adolescent Baseball Players With Symptomatic Osgood-Schlatter Disease *Orthop J Sports Med.* 2019, 7(5) :2325967119847978.
- 10) Tojima M, Torii S. Difference in kick motion of adolescent soccer players in presence and absence of low back pain. *Gait & Posture.* 2018,59:89-92.
- 11) Burnett DR, Campbell-Kyureghyan NH, Topp RV, et al. Biomechanics of Lower Limbs during Walking among Candidates for Total Knee Arthroplasty with and without Low Back Pain *Biomed. Res. Int.*2015, 2015:142562.
- 12) Alexander EJ, Andriacchi TP. Correcting for deformation in skin-based marker systems. *J Biomech.*2001, 34(3): 355-361.
- 13) Tojima M, Ogata A, Yozu M, et al. Novel 3-dimensional motion analysis method for measuring the lumbar spine range of motion: repeatability and reliability compared with an electrogoniometer. *Spine.*2013,38(21): E1327-1333.
- 14) Orloff H, Sumida B, Chow J, et al. Ground reaction forces and kinematics of plant leg position during instep kicking in male and female collegiate soccer players. *Sports Biomechanics.* 2008,7(2): 238-247.
- 15) 中村康雄, 齊藤稔, 林豊彦, ほか. 熟練者・未熟練者におけるインステップキック動作解析. *バイオメカニズム.* 2010,20: 53-64.
- 16) Lees A, Asai T, Andersen TB, et al. The biomechanics of kicking in soccer: a review. *J Sports Sci.* 2010, Jun;28(8): 805-17
- 17) Inoue K, Nunome H, Sterzing T, et al. Dynamics of the support leg in soccer instep kicking. *Journal of Sports Sciences.* 2014,32(11): 1023-1032.

18) Augustus S, Mundy P, Smith N. Support leg action can contribute to maximal instep soccer kick performance: an intervention study. *Journal of Sports Sciences*. 2017,35(1): 89-98.

19) Ito G, Ishii H, Kato H, et al. Risk assessment of the onset of Osgood-Schlatter disease using kinetic analysis of various motions in sports. *PLoS ONE*. 2018,13(1): e0190503.

20) Brophy RH, Backus SI, Pansy BS, et al. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007,37(5): 260-268.



図1 脛骨粗面エコー検査

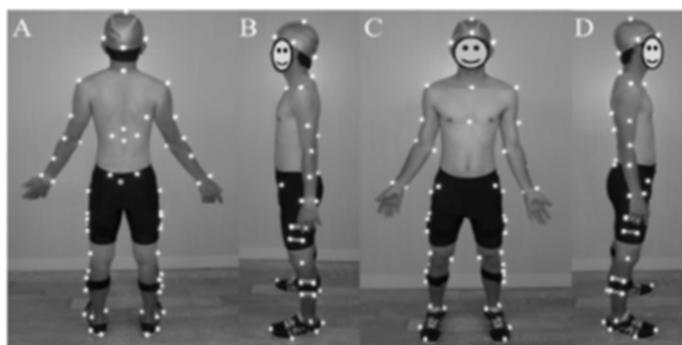


図2 マーカー貼付位置



図3 キック動作測定

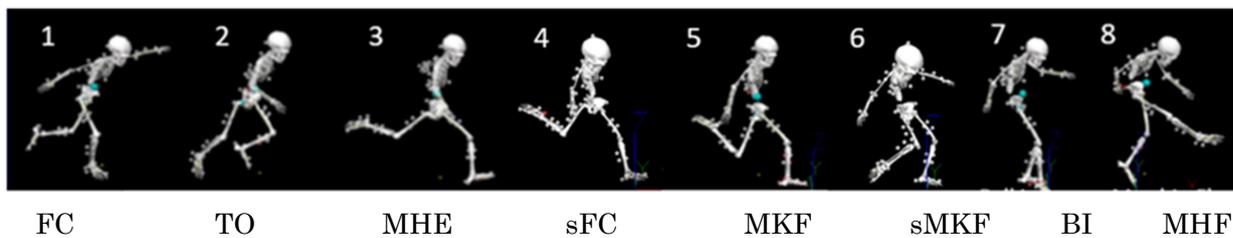


図4 キック動作の8つの phase

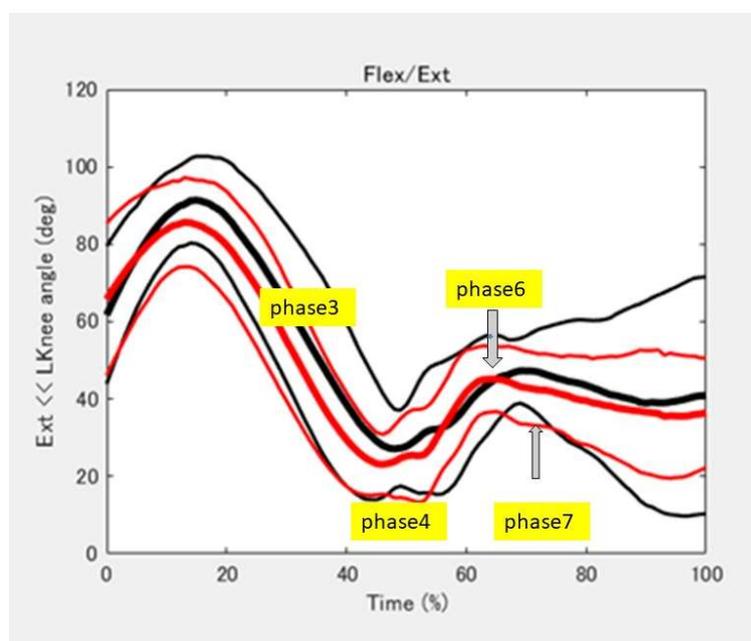


図5 軸脚の膝関節屈曲角度

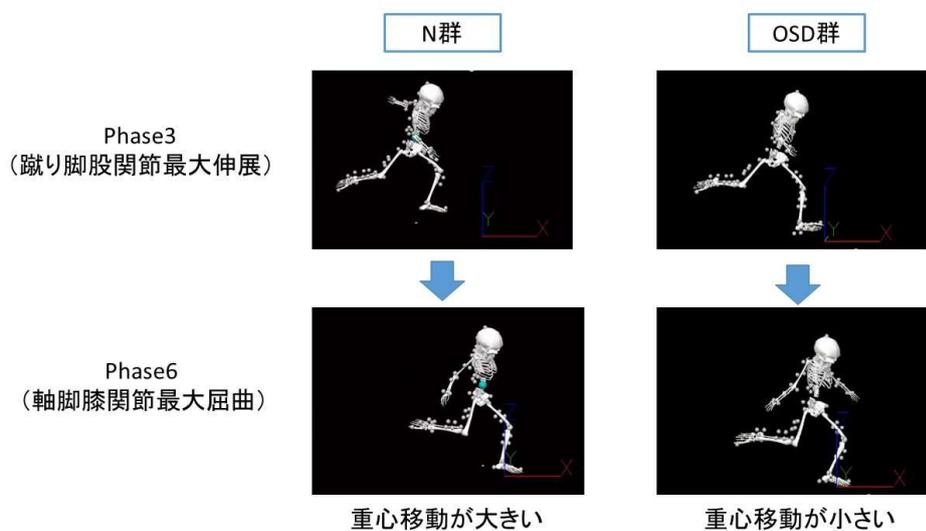


図 6 OSD 群と N 群のキック動作の違い

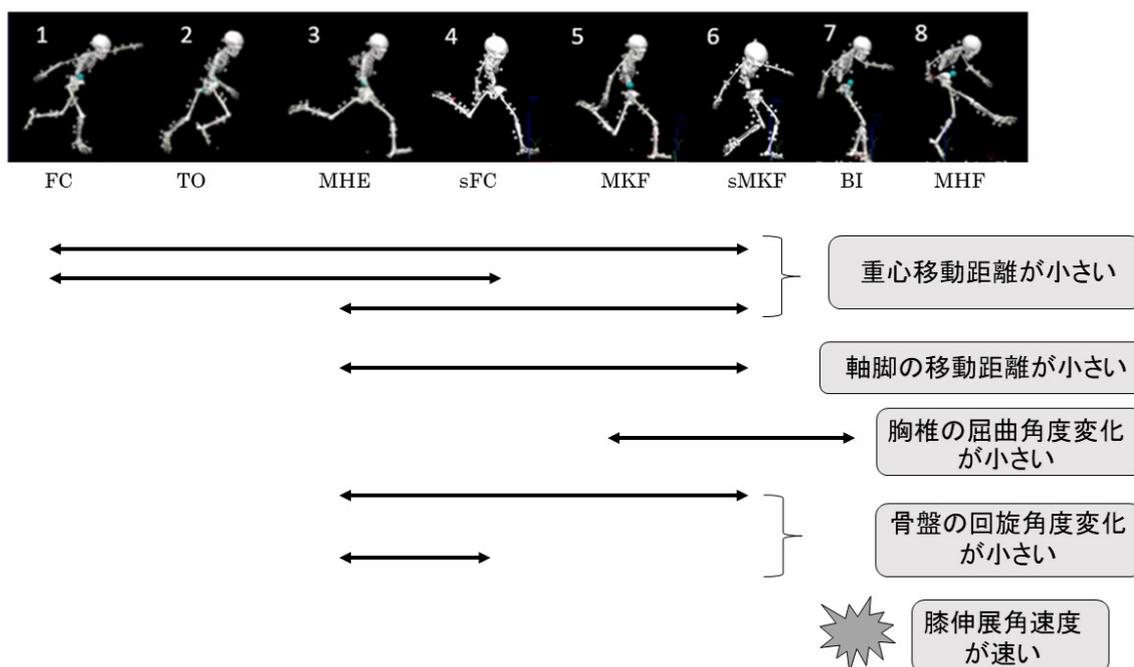


図 7 OSD 群のキック動作特性

表 1 身体要素の比較

	N 群 (n=28 名)		OSD 群 (n=19 名)		p
	mean	± SD	mean	± SD	
<b>身長・体重・BMI</b>					
1 年春 年齢 (歳)	12.0	± 0.2	12.2	± 0.4	0.102
1 年秋 身長 (cm)	153.9	± 6.8	156.9	± 7.9	0.168
半年間の身長増加量 (cm)	3.33	± 1.4	3.48	± 1.4	0.735
1 年秋 体重 (kg)	44.1	± 6.9	47.7	± 9.2	0.132
1 年秋 BMI <sup>†</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	18.5	± 1.5	19.2	± 2.3	0.209
<b>BIODEX (N・m/kg)</b>					
1 年春 キック膝 屈曲体重比	94.9	± 22.8	102.1	± 26.1	0.333

1年春 キック膝 伸展体重比  $178.7 \pm 37.9$   $186.5 \pm 41.9$  0.513

BMI<sup>†</sup>:Body mass index, p value : obtained with unpaired t test, \*p<0.05.

表2 大腿四頭筋タイトネスの比較

	N群 (n=28名)		OSD群 (n=19名)		p
	mean	± SD	mean	± SD	
<b>軸脚大腿四頭筋</b>					
1年春 タイトネス(°)	35.4	± 6.9	38.3	± 7.2	0.183
1年秋 タイトネス(°)	34.4	± 7.2	35.7	± 8.5	0.595
半年間のタイトネス増加量(°)	-1.0	± 6.4	-2.6	± 6.3	0.42

p value : obtained with unpaired t test, \*p<0.05.

表3 キック動作時間, ボール速度の比較

	N群 (n=28名)		OSD群 (n=19名)		p
	mean	± SD	mean	± SD	
Toe off (%time)	28.0	± 4.1	28.1	± 6.8	0.965
Hip extension (%time)	44.2	± 4.0	45.8	± 4.9	0.412
Support foot contact (%time)	52.5	± 6.6	52.4	± 4.5	0.98
Knee flexion (%time)	59.4	± 5.5	58.7	± 4.1	0.746
Support foot knee max flexion (%time)	64.6	± 5.3	64.7	± 3.7	0.966
Ball impact (%time)	72.2	± 6.4	71.8	± 4.8	0.885
ボール最大速度 (m/s)	22.4	± 2.3	22.5	± 2.7	0.953
キック動作時間 (ms)	571.7	± 87.9	569.5	± 80.9	0.931

p value : obtained with unpaired t test, \*p<0.05.

表 4 身体重心の移動距離, 軸脚の移動距離

	N 群 (n=28 名)		OSD 群 (n=19 名)		<i>p</i>
	Phase	mean ± SD	mean	± SD	
身体重心	1 →	60.84 ± 0.1	0.75	± 0.1	<b>0.005*</b>
移動距離 (m)	1 →	40.69 ± 0.07	0.61	± 0.09	<b>0.003*</b>
	3 →	60.25 ± 0.05	0.22	± 0.04	<b>0.023*</b>
軸脚移動距離 (m)	3 →	60.29 ± 0.13	0.18	± 0.22	<b>0.038*</b>

p value : obtained with t test, \**p*<0.05.

表 5 胸椎の屈曲角度変化, 骨盤の伸展角度変化

	N 群 (n=28 名)		OSD 群 (n=19 名)		<i>p</i>	
	Phase	median (min-max)	median	(min-max)		
胸椎屈曲角度変化 (°)	5 →	7-15.6	(-21.8- -5.0)	-12.8	(-18.7- 7.5)	<b>0.006*</b>
骨盤伸展角度変化(°)	5 →	725.4	(17.3-35.7)	22.8	(0.7-30.1)	0.099
骨盤回旋角度変化(°)	3 →	42.9	(-0.6-30.1)	1.3	(-1.6-10.8)	<b>0.006*</b>
	3 →	622.0	(2.8-41.3)	13.2	(2.4-30.8)	<b>0.013*</b>

胸椎) 伸展 : + / 屈曲 : -

骨盤) 伸展 : + / 屈曲 : -

p value : obtained with Mann-Whintney U test, \**p*<0.05.

表 6 軸脚の膝関節伸展角速度

	N 群 (n=28 名)		OSD 群 (n=19 名)		<i>p</i>
	Phase	median (min-max)	median	(min-max)	
軸脚膝関節角速度 (° /Hz)	7	-0.39 (-1.81-0.65)	-0.91	(-1.63-1.87)	<b>0.025*</b>

膝関節) 屈曲 : + / - : 伸展