



## 寄 稿

# 運動発達に基づくスポーツリハビリテーションの展開

粕山 達也

**要旨：**スポーツリハビリテーションの展開においては、筋力や柔軟性、角度や速度などの運動力学的側面から問題が考察されることが多い。一方で、2000年代に入ってから筋シナジーなどの神経科学分野の研究が盛んに行われ、神経の仕組みからスポーツ外傷・障害を考えることができるようになった。神経科学の知見を含めた運動発達的側面からスポーツリハビリテーションの展開について解説する。

**キーワード：**基本的運動能力、筋シナジー、障害予防

## I. はじめに

様々なスポーツ動作において、新生児期の反射・発達動作や幼少期の基本的な運動パターンが根底に存在し、各動作に影響を与えることを理解しておく必要がある。

ヒトの身体は無数の筋肉の活動を関節運動に反映させることで、複雑な運動を可能にしている。環境に適応して自由な運動を表現するために、複数の筋肉が筋シナジーと呼ばれる一定の筋肉群のグループを形成し、それらが効率的に活動することで動作が遂行される。これらの筋シナジーの形成は幼少期に無意識的に行われるため、環境や課題に伴う身体の適応的反応と考えられる。そのため、幼少期に様々な体験を通じて、専門的な競技活動に向けて基本的な運動パターンを構築することは、効率的な筋シナ

ジーを形成することを意味しており、スポーツリハビリテーションを展開する上で重要な視点となる。

## II. 筋シナジーの神経生理学的理論

筋シナジーに関する研究は2000年代以降急激に報告数が増加しており、これまで個々の筋肉の活動に焦点を当てていた時代から、複数の筋肉をグループ単位で捉えて、筋シナジーとして解析していく方法へと変化している。筋シナジー解析の優れている点は、目的とする動作において、どの筋群の活動が必要で、どのタイミングで活動するのが最適化を客観的に示すことができる点にある。つまり、“動作のコツ”を可視化することができるるのである。

体操競技の大車輪を例に示す<sup>1)</sup>。体操競技における鉄棒の大車輪という技は、鉄棒競技の基本的な技であり、鉄棒を中心にヒトが回転する基本的な動

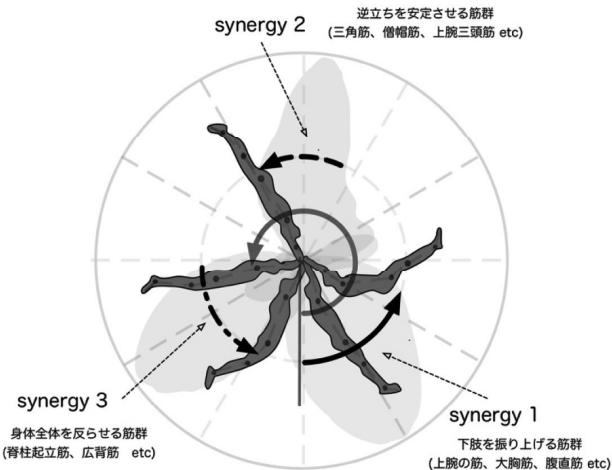


図1 鉄棒の大回転における筋シナジーの概要  
(文献1より作成)

作である。大車輪の動作は大きく分けると3つの筋シナジーで構成されることが明らかになってい る。Synergy1では下肢を重力に逆らって大きく振り上げるための筋肉グループ、Synergy2では鉄棒の頂上付近で逆立ち姿勢を安定して保つ筋肉グループ、Synergy3では、鉄棒の下降期に身体を反らせて、振り上げの準備をする筋肉グループ、の活動が観察される(図1)。シナジー解析の利点は、ある動きを作るためには、個々の筋肉の活動ではなく、複数の筋肉をグループとして捉えることができるため、治療や指導の方法に幅をもたせることができる。例えば、大車輪の動作では、下肢を振り上げるために腹直筋だけを鍛えれば良いという問題ではなく、上腕や胸部の筋肉も利用して腹直筋を使うことが、効率のよい下肢の振り上げにつながることを示している。また、活動のタイミングも分かるため、身体を反らせた動き(Synergy3)から下肢を振り上げる動き(Synergy1)への切り替えのタイミングが重要であることも可視化できるのである。動作全体を通じて、筋活動のバランスをみたり、活動のタイミングを理解したりすることで、動作分析の精度が高まると考えられる。

### III. 運動発達と筋シナジーの関係

運動発達における動きの変化は、筋シナジーの構成

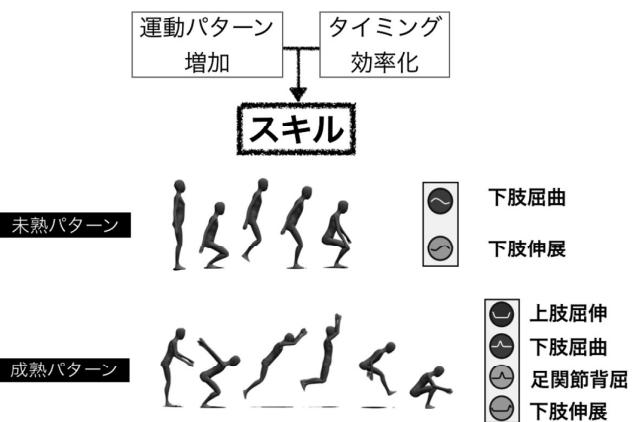


図2 跳動作と筋シナジーの概要

が変化することを意味する。筋シナジーの構成が変化するというのは、筋シナジーの数が増えたり、筋シナジーの活動のタイミングが変化したりすることを示す。歩行を例に示すと、成人の歩行は4~5つの筋シナジーで構成されているが、歩行を獲得する前の乳児では筋シナジーが2つ(下肢の屈曲・伸展のみ)しかないと歩行ができない<sup>2)</sup>。この筋シナジーに加えて、体重を支持する筋シナジーや足部を蹴り出す筋シナジーを加えることで歩行に必要な活動を獲得していく。筋シナジーの追加とともに、足底面への荷重感覚が入力されることで活動のタイミングを学習し、歩行が成り立っていると考えられる。立ち幅跳びなどの跳動作も同様で、2~3歳頃の幼児は上肢の振りを行わずに跳動作を行うが、4~5歳頃には上肢の振りを獲得し、5歳頃から上肢の振りと下肢の屈伸を連動させることで動作を成熟させる。上肢の振りの獲得はシナジーの獲得による運動パターンの増加を意味し、上肢の振りと下肢の屈伸の連動は、活動のタイミングの学習を意味している(図2)。スキルを学習によって培われた能力であると考えると、運動発達的には、運動パターンを増加させ(使えるシナジーの数を増やす)、同時に各シナジーをタイミング良く効率的に活動させ、円滑な動作を生み出すことがスキルを高める重要な要素となる。

## IV. 基本的運動能力の獲得

走る、投げる、跳ぶといった基本的運動能力は、その後のスポーツ動作に必要な専門的運動能力の基礎となり、土台となる能力の獲得を無視して専門的な運動能力の発展は望めない。この基本的運動能力が獲得されるのが10歳頃までであり、走・投・跳動作の基本的な動作を習得することが必要である。基本的運動能力は、幼少期の身体活動量と相関があるため<sup>3)</sup>、必然的に身体活動量を高めることが、基本的運動能力を高めるだけでなく、肥満や運動器障害、スポーツ障害の予防においても重要となる（図3）。

“投げる”という動作を例に挙げて考えてみると、ボールを投げる基本的な運動は上肢の振りと体幹の回旋、下肢の支持性が必要な動きである。投げる動作に関連する上肢の振りや体幹の回旋動作は、野球やソフトボールなどの投球動作だけでなく、テニスやバドミントンのスマッシュ動作、バレーボールのアタック動作に応用することができる。専門的な競技の能力を上げるために、基本的運動能力の底上げを図るリハビリテーションプログラムを組み入れていくことが重要である。

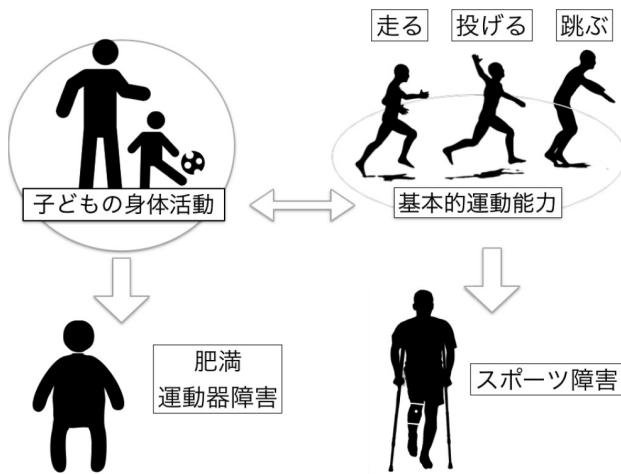


図3 身体活動・基本的運動能力と障害との関連

## V. 運動発達と環境

運動発達を促し、基本的運動能力を獲得するためには、まずはその動作を行う環境（機会）が必要である。ヒトの投球動作が進化したのは、類人猿が石を投げつけ外敵から身を守るためにあり、それから何百万年もかけて、石器時代に棒に石の刃をつけ狩猟を行うことで、槍投げ様の動作を行っていったことが影響している<sup>4)</sup>。また、身体骨格についても進化の過程で投げる動作に適応している。類人猿の肩甲骨の骨格は、木登りに最適化されており、関節面が上方を向いた形態をしているが、ヒトの骨格は肩甲骨の関節面が横方を向いており、体幹の回旋の力を上肢に伝えやすい構造をしている。物を投げるのに適した骨格を有し、投擲物によって動物を捕獲して生き延びる環境が、投球動作を発達させた要因と考えられる<sup>5)</sup>。“投げる”という動作を発達させるためには、投げる機会が確保されている必要があり、投げるための動機付けが不可欠である。

現代の子どもたちにおいては、投動作の発達が昭和の時代と比較して遅れていることが明らかになっている。これは、三間の減少が要因である考えられ、全力で投げる場所がなく（空間）、ボールを投げる相手が存在しない（仲間）、ボールを投げる機会がない（時間）、といった根本的な問題が存在している。子どもたちの運動発達を促す環境の整備は、予防的リハビリテーションの観点から重要なのである。

## VI. 外傷・障害予防プログラム

スポーツ外傷・障害を予防するために、予防プログラムの実施が求められている。幼少期は予防プログラムの効果も高く、実際に国際オリンピック委員会の声明においても、発達の早い段階からプログラムに取り組みことが推奨されている<sup>6)</sup>。具体的な内容に関しては、前十字靱帯損傷やハムストリングスの筋損傷、足関節捻挫など下肢の障害に関する実施報告が多い。現在の障害予防プログラムの中心は、

神経筋協調トレーニング（Neuromuscular training）を主体にしたものが多く、筋力や柔軟性などの個々の機能だけでなく、不安定な状態（バランスディスクや不安定パッド）でスクワット動作やジャンプ動作を行い、神経と筋肉の働きを促進し、強化する内容が取り入れられている。神経筋協調トレーニングプログラムでは、成長期のスポーツにおける損傷率を約40%低下できることが、システムティックレビューによって報告されており<sup>7)</sup>、世界的なスポーツリハビリテーションの現場で利用されている。

予防プログラムは、急性の外傷は予防することができるが慢性的なオーバーユース障害の予防には効果がないと報告されている<sup>8)</sup>。効果的なプログラムの目安としては、週2～3回、1回あたり10～15分程度の短いセッションで行い、週合計で30～60分程度のトレーニング量によって傷害予防効果が最大になると考えられている。プログラムの実施期間としては6か月未満で、20～60回のトレーニングセッションの実施で効果があるとされるが、効果を継続させていくためには継続的な取り組みが必要である<sup>9)</sup>。予防プログラムは、特にリスクが高い群において効果的であることが示唆されており<sup>10-12)</sup>、基本的運動能力の低い高リスク群に対して積極的な外傷・障害予防プログラムを取り入れていく必要がある。

## VII. まとめ

幼少期の様々な課題や環境を経験することによって、筋シナジーを効率化させ、基本的運動能力を育むことが、予防的なスポーツリハビリテーションの礎となる。外傷・障害予防は研究として世界的に取り組まれているが、現場のレベルにおいては十分に活用されていない。神経科学に関する最新の知見を取り入れながら、現場に応用していくことが今後のスポーツリハビリテーションに求められている。

## 参考文献

1) Frère J, Hug F: Between-subject variability of muscle

synergies during a complex motor skill. *Front Comput Neurosci.* 2012; 6: 99.

- 2) Dominici N, Ivanenko YP, Cappellini G, et al.: Locomotor primitives in newborn babies and their development. *Science*, 2011; 334(6058): 997–999.
- 3) Jones D, Innerd A, Giles EL, et al.: Association between fundamental motor skills and physical activity in the early years: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*, 2020; 9: 542-552.
- 4) Young RW: Evolution of the human hand: the role of throwing and clubbing. *J Anat*, 2003; 202(1): 165-174.
- 5) Roach NT, Venkadesan M, Rainbow MJ, et al.: Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in Homo. *Nature*, 2013; 498(7455): 483-486.
- 6) Ardern CL, Ekås GR, Grindem H, et al.: 2018 International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries. *Br J Sports Med*, 2018; 52(7): 422-438.
- 7) Rossler R, Donath L, Verhagen E, et al.: Exercise-based injury prevention in child and adolescent sport: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 2014;44(12): 1733-1748.
- 8) Åkerlund I, Waldén M, Sonesson S, et al.: Forty-five per cent lower acute injury incidence but no effect on overuse injury prevalence in youth floorball players (aged 12–17 years) who used an injury prevention exercise programme: two-armed parallel-group cluster randomised controlled trial. *Br J Sports Med*, 2020;bjspor-2019-2011.
- 9) Steib S, Rahlf AL, Pfeifer K, et al.: Dose-response relationship of neuromuscular training for injury prevention in youth athletes: A Meta-Analysis. *Front Physiol*, 2017; 8: 920.
- 10) Lopes TJA, Simic M, Myer GD, et al.: The Effects of Injury Prevention Programs on the Biomechanics of Landing Tasks: A systematic review with meta-analysis. *Am J Sports Med*, 2018; 46(6): 1492-1499.
- 11) Fox AS, Bonacci J, McLean SG, et al.: Exploring individual adaptations to an anterior cruciate ligament injury prevention programme. *Knee*, 2018; 25(1): 83-98.
- 12) De Ste Croix M, Hughes J, Ayala F, et al.: Efficacy of injury prevention training is greater for high-risk vs low-risk elite female youth soccer players. *Am J Sports Med*, 2018; 46(13): 3271-3280.