

器械運動・体操競技における幫助に関する考察

藤原 敏行

2013年10月31日受付 2013年12月18日受理

Discussion on spotting in gymnastics

Toshiyuki Fujihara

Abstract

This paper examines “spotting,” a term that describes the supporting activities performed by a third person in exercising or sports practice, which is often used in gymnastics. The main goal of spotting is twofold: to enhance safety during practice and to facilitate the gymnast’s motor learning. Although safety is essential for efficient learning of a skill in sports, safe practice does not always guarantee an effective learning experience. What is important is not how good a performance looks, but how much a gymnast can learn during training with the help of spotting. The purpose of this study is to provide useful information to help understand and perform effective spotting. Furthermore, this paper aims to encourage related research activities by discussing relevant scientific theories and data in the fields of biomechanics and motor learning. The discussion focuses on the possibilities and caveats of kinematic spotting that helps visible performance, and kinetic spotting that helps a learner perform desired muscle activities, specifically based on the notion that spotting controls the amount of performance errors and inevitably affects intrinsic feedback.

Keywords: safety, motor learning, performance, kinematics, kinetics

キーワード: 安全性 運動学習 パフォーマンス キネマティクス キネティクス

1. はじめに

器械運動・体操競技のトレーニングにおいて、ある運動の遂行のために行われる第三者による援助を「補助」又は「幫助」という。例えば、指導者や練習仲間が運動者の身体の一部を支えたり、運動の勢いの不足を補ったり、あるいは落下や万が一の事態に運動者を受け止めたりすることである。一般的に「補助」という用語が使われていることが多いが、金子（1974）や三木ほか（2006）によれば、不足を補うことが中心の「補助」という用語に対して、「幫助」という言葉には技の成功に繋げるより積極的な助力行為が含まれるという。佐藤・森（1978）によってまとめられた「体操辞典」には、幫助は「器械運動や体操競技における運動の練習過程や演技実施の際に、その演技者の運動の実

施を、他の者が直接的に、あるいは間接的に援助して、実施を助けたり、技の遂行を容易ならしめる積極的な行為」(佐藤・森, 1978, p. 216) とある。また、幫助 (spotting) はトレーニングの安全性を向上させるだけでなく、運動技能習得を積極的に促進することが重要であるという視座の指導書は多い (Boone, 1979; Brown and Wardell, 1980; George, 1980; Kruger, 1976; Turoff, 1991)。技のパフォーマンスとしてのその場での実施の成功に寄与するのか、技の学習に寄与するのかは後で議論を展開することになるが、いずれにしても実施者の運動学習に積極的に介入していくという点を考慮して、本研究においては「補助」ではなく「幫助」という用語を用いて論を進めることとする。

実際、幫助という用語で表される概念は包摂的なものであり、その運動学習援助の目的や方法は多岐に渡る。Sands (1996) は幫助の種類として、①運動に求められる身体の位置や姿勢について直接身体を用いて示すこと、②運動中の身体の位置あるいは移行局面の重要な変化について直接身体を用いて確認させること、③軽いタッチや言語的合図によって選手に技のポイントとなる手がかりを送ること、④技全体あるいは部分的な実施において力学的にその実施を援助すること、⑤恐怖心を軽減したり、自信を持たせたりすることによって意欲を喚起すること、⑥安全対策として万が一の事態に運動者を救助すること、を挙げている。佐藤・森 (1978) によれば、幫助は「①事故の防止、②精神的に安心感を与える、③正しい運動経過やタイミングを知らせ、技術の要領を把握させる、④体力筋力の不足を補ってやる」(佐藤・森, 1978, p. 216) といった目的を持っているという。また、運動実施を直接物理的に助ける直接的幫助と、聴覚や視覚に作用する手がかり、あるいは心理的なサポートで運動実施を支援する間接的幫助を区別している。これに対して、金子 (1974) や三木ほか (2006) は、技の正しい成功に導くための幫助を直接的幫助とし、主に安全面からのサポートを間接的幫助と分類している。さらに、直接的幫助と間接的幫助のどちらにも、幫助者が技の実施者の身体に直接触れるものと、ロープやその他の器具を用いて行われるものがあり、彼らの解釈によれば、ピットや分厚いマットといった安全設備の使用も間接的幫助に含まれるようである。このように、幫助という用語の意味するところは幅広く、幫助と解釈されるものは多種多様な場面で行われていると考えられる。

とりわけ非日常的な運動を多く含む器械運動・体操競技では、学習促進や安全的配慮から他のスポーツ種目以上に、幫助による指導や練習が多用される。幫助は競技の専門的トレーニングや学校体育の器械運動の授業に限らず、公園の鉄棒で親が子供に逆上がりを教える際に、自然に少し腰を押し上げて支えるというように、運動技能を伝達する場面では日常的に行われることもしばしばである。学習者にペアで倒立の幫助をさせることなどは初等教育レベルでも特別なことではないであろう。器械運動・体操競技の指導書に具体的な幫助の方法が示されていることも珍しくなく、幫助という活動は専門家に限らず非専門家によっても広く行われていると考えられる。そこでは、とりあえず怪我のないように運動者を助け、その課題となる運動ができたように見えればよいといった理解で行われても不思議ではない。幫助の一目的である安全性向上という側面に限って言えばそれで良いと言えなくもない。しかしながら、幫助は運動の学習を促進するための積極的な助力行為ということをよく考えれば、とりあえず実施者の身体を押し支えたりして技ができたように見えればよいというのは妥当性に欠ける理解である。上述したような幫助の目的を十分に達成するためには、金子 (1974) も指摘するように当然、幫助者の技能が重要となり、「誰でも簡単に幫助できるというわけではない」(金子, 1974, p. 257) のである。学習を妨げる負の幫助を行っているという危険性も十分にある。学習支援、学習促

進の手段として有効に幫助を利用するためには、幫助に対するより深い理解と適切な実践が求められることは明らかである。

しかし、幫助が重要であるという認識やその実践での使用頻度とは対称的に、幫助に関する資料は不足していると言わざるを得ない。実践から抽出されてきた幫助の具体的な方法を解説する指導書(Boone, 1979; 小清水ほか, 1983)が有用であることは確かであるが、科学的理論や客観的データに基づいて記述されているものは稀である。George (1980)が基本的な力学的法則を用いて幫助者による外力の加え方とその作用について解説しているのは特筆に値する。同じ運動を実施しているように見えても、幫助による外力が身体の中のどの部分にどれほど作用するかによって、運動者に求められる力発揮のパターンは変化する(Fujihara, 2011)。つまり幫助の仕方次第で、技の力学的状況が変化することが考えられる。幫助の目的が単なる事故防止だけでなく、運動学習を促進するためにも重要であるという認識は広くもたれている一方で、その幫助方法の違いによる力学的な影響や学習成果への影響については科学的な検証はまだ成されていないのが現状である。

そうは言っても、器械運動・体操競技の技の学習において、第三者による幫助の学習効果を科学的に評価するには課題が多い。運動学習とは、経験やトレーニングに伴う比較的永続的な身体運動能力の変化に繋がる内部プロセスであると解釈され(Schmidt and Lee, 2005, p. 302)、直接測定できるものではない。よって、目に見える運動実施の形(パフォーマンス)を基に運動学習の程度を推測することになるが、そのためにはパフォーマンスに影響すると思われる他の要因をコントロールした上での実験が求められる。実験室内で行われる単純動作に比べ、器械運動・体操競技の技において、そのような交絡変数をコントロールするのはより困難となる。また、技自体の習得も長期に渡ることが多く、発育発達なども影響してくればさらに運動学習自体の効果は推定しづらくなる。そして、人による直接幫助法とその学習効果の評価となれば、幫助自体が人のパフォーマンスであることから、独立変数のコントロールは非常に困難となる。

幫助の運動学習への影響を直接調べる科学研究が不十分な現状においても、幫助に関する理解と課題を明確にするために有益で応用可能な情報は多く見受けられる。最近では理学療法やリハビリテーションの分野において、運動制御や運動学習の研究が盛んに行われており、運動指導者にとって有益な知見が多く得られている。利用可能な科学的理論やデータを応用することで、実践知と統合しながら複雑な器械運動・体操競技指導の幫助の理解を深めることは、現在の実践レベルの向上だけでなく、今後のこの分野の科学的発展においても貴重なステップとなるであろう。本稿の目的は器械運動・体操競技トレーニングで多様な場面で用いられる幫助について、主にバイオメカニクスと運動学習の視点から関連する科学的理論や実験結果を基に考察し、より効果的な幫助の理解と実践および今後の研究促進に繋がる提言をすることである。

2. 幫助と安全性について

一つの幫助行為に複数の目的が混在する中で、主目的のウェイトに差はあるにしても、事故防止や安全性確保という点は必ず含まれているであろう。Boone (1985)は器械運動・体操競技トレーニングにおける安全確保のための幫助の重要性を強調し、「誰も一人で泳ぎに行くべきでないのと同じように、誰も幫助無しに器械運動・体操競技を教えるべきでない」(Boone, 1985, p. 20, 筆者訳)と述べる

程である。特に器械運動・体操競技は、万が一の事態において死亡事故や重大な後遺症につながる危険性が事例として多数認められるスポーツの一つと言える (Mueller and Cantu, 2012)。従って、幫助について考察する上で、安全性という観点は不可欠である。しかし、Priest (1985) の研究を参考にすれば、30%以上の怪我は幫助者がいる場合に起こっているというのは注目に値する。

Sands (1996) は予期せぬ落下から実施者を助ける幫助を「救助幫助 (rescue spotting)」と呼び、その実際の困難さについて論述している。彼が特に注目したのは、幫助者は落下という事態に反応し、適切な反応行動を選択、プログラムし、行動に移さなければならない、という情報処理プロセスの限界である。まず、落下に反応するステージにおいて、大抵の場合、救助幫助者は運動者の間近に位置しているため、運動の全体像を見渡すことができず、危険に繋がる不適切な動きが見えにくいという。また、反応行動を選択するにあたっては、反応時間は選択肢数の対数に比例するというヒックの法則を基に、仮に刺激-反応のパターンがたった8パターンという少ないものと仮定しても、約3mから落下する人がマットに叩き付けられるまでの時間 (0.79秒) の約80%の間、幫助者はまだ動けないでいるという試算をしている。実際の場面での落下までの時間、刺激と反応行動の複雑さを考慮すれば、いくら幫助者がいても救助幫助は不可能な場合も十分あると考えられ、そのことを関係者は理解しておくべきであるとしている。

それでも、救助幫助が成功するか否かで運動者の安否に大きな差が生まれることを考慮すれば、少しでも成功に近づける方策を考える価値はあるであろう。もちろん、経験や知識によって危険因子や運動を見抜く能力を高めること、あるいは落下場面を想定した幫助動作を練習することによって幫助技能を高めることが、救助幫助の可能性を高めることは言うまでもない。しかし、幫助に立つ際の心構え次第で救助幫助の肝となる反応時間を短縮し、パフォーマンスを向上することは可能かもしれない。まず、予期せぬ落下から助けるという救助幫助の定義からは矛盾するかもしれないが、救助幫助を行うつもりで幫助に立つ場合は「予期せぬ落下」を予期しておくことが何よりも大切である。空間的あるいは時間的予測の存在が反応時間を短縮することは多くの研究で明らかにされている (Schmidt and Lee, 2005, p. 74-79)。さらに救助幫助者として幫助に立つ場合は、幫助の目的の100%を事故回避に集中することである。幫助の多目的性を唱えている余裕はないと考えられる。また、反応時間や動作時間または動作修正時間などから考察すれば、野球のバッターは良いボールがくれば打つ動作を開始するのではなく、毎回打つつもりで準備し、良いボールでなければ打つ動作を中断しているという (平野・左海, 1991)。このことから、万が一運動者が落下してきた場合に助けるのではなく、運動者が必ず落下してくるということを想定し、万が一成功すれば幫助をしないという心構えの方が、救助幫助の成功確率は高くなると思われる。

このように事故防止や安全確保に100%の目的がある場合もあるが、比重の差はあれ安全性の確保と運動の学習の両方を狙った幫助が実際は多いと思われる。通常、技の成功は技を安全に終えるという意も含んでおり、技の失敗は成功よりも多くの危険を孕んでいる。そこで運動者が一人では成功できない技を幫助で実施し、見た目上成功したようにすることがよく行われる。そこには幫助で安全に技を実施しておけば、運動者はその技の動きを自然と身につけていくという根拠に乏しい期待があるように思われる。運動を効率よく学習するのに安全性は不可欠であるが、安全な練習が全て学習に有効であるとは限らない。次項では運動学習の観点から幫助について考える。

3. 運動学習と補助

ヒトが複雑な運動をどのように学習していくのかという問いに対し、一つの有力な仮説が内部モデル説である (Kawato, 1999)。この説では、脳は運動を生み出すための運動プログラムを作り出すコンピューターのような働きをし、運動中あるいは運動後にその運動や運動結果についての情報を収集する。そして、目標とした運動—入力—と、運動結果—出力—を比較し、そのパフォーマンスを評価する。もし、入力と出力の間に誤差があれば、パフォーマンスエラーとして見なし、学習者はそのエラーを少なくするように繰り返し運動プログラムを修正する。この過程が練習であるという。

器械運動・体操競技の技の練習において、補助はパフォーマンスエラーの量をコントロールすることで学習効果を高めるという見方ができる。補助の重要な特徴は運動者のレベルに応じて補助の度合いを調節することによって漸進的な学習段階過程を提供できるということである。これは Kruger (1976) によって「段階的補助 (progressive spotting)」と呼ばれている。また坂本 (2013) は補助の基本的な考え方として、「10の力がある技でその選手に7の力しか無かったとしたらコーチが3を足して10にすればいい」(坂本, 2013, p. 145) と述べている。この段階的補助という概念は力学的な側面だけでなく、心理学的な側面にも応用できるが、どちらにしてもその有効性は Guadagnoli and Lee (2004) によって主張されている“Challenge point hypothesis,” すなわち最適な学習は、課題の難易度と個人の技能レベルとの関数であるという説によって支持される。Marchal-Crespo and Reinkensmeyer (2008) は運転シミュレーション課題において、運転補助外力の度合いを調節して実験を行っている。結果として、補助外力の度合いが固定されたグループよりも、必要に応じた度合いの補助外力を受けたグループの方が、課題に対して優れた学習効果を示したことを報告している。さらに、Sanger (2004) のコンピューターモデルを用いた研究によれば、初期エラーが大きすぎれば、練習の繰り返しにも関わらず正しい運動プログラムの学習が認められにくいということである。器械運動・体操競技では非日常的な運動や常人からすれば驚異的な技の習得に挑むため、初めは何をどうすればよかわからないという状況は珍しくない。そのため、様々な工夫をこらした段階的指導は不可欠である。補助という手段は運動者のレベルに応じてその程度を調節することによって、運動結果あるいはパフォーマンスエラーの量をコントロールできる特徴があり、ある学習段階におけるステップ、あるいはより連続的なスロープを提供できると考えられる。

また、内部モデル説による運動学習においては、学習は目標と結果の間にある誤差の修正を基本として起こると考えられるので、効果的な学習には運動結果に関する情報 (フィードバック) がとても重要であることは明らかである。Schmidt and Lee (2005) はフィードバックを内在的フィードバックと外在的フィードバックに大きく二分している。内在的フィードバックは感覚器官を通じて得られる自身の運動に関する情報であり、外在的フィードバックはコーチからの言語的フィードバックなど内在的フィードバックを補足するための情報である。運動の内在的フィードバックとしては特に視覚、聴覚、平衡感覚、皮膚感覚および筋感覚といった感覚情報が脳で統合され、全体としての運動感覚を形成する。このような運動者自身が感じる身体全体の動きの感じの重要性は、運動実践者の多くが経験的に理解するとともに、マイネル運動学を発展させてきた金子明友の多くの著書 (e.g. 金子, 2002) でも力説されている。また、外在的フィードバックと運動指導の関わりは深く、学習効果を高めるためのより効果的なフィードバック方法を求めて、その形式、内容、頻度、タイミングなど様々な観点

から研究されている (Schmidt and Lee, 2005)。このようにフィードバックが運動の学習に密接に関与しているであろうということは、内部モデル説に限らず、科学的にも経験的にも妥当な考えであると思われる。

ここで肝心なことは、幫助は不可避的に内在的フィードバックに影響を与えるという点である。まず、幫助の結果として実施者は幫助のない場合とは異なる運動の形 (キネマティクスの状況)、すなわち身体的位置や速度、加速度、角度などを経験することになる。一人では実施できない運動を幫助によってその運動を行わせるなど、そのキネマティクスの状況に手を加える事自体が幫助の目的であると思われる場面も少なくないので、この影響は明らかであろう。一方で、より見落とされやすい影響は、運動の原因となる力や回転力の状況 (キネティクスの状況) に影響するという点である。目に見えるキネマティクスの状況の変化に対して、キネティクスの状況の変化は目に映らない。しかし、幫助者が運動者に外力を加えるということは、その運動者の運動系における力学的状況を変化させるということである。そして、外力の作用点、作用時間、大きさや方向によって、異なる力学的状況が生み出されている (George, 1980)。外から見れば、実施者の運動の形が同じように見えても、外力の加わり方によって実施者の力発揮はかなり異なる可能性があるということである。つまり、内在的フィードバックにおける筋感覚は目標の運動を生み出す際のものとは異なり、運動学習にも十分に影響する可能性があるということは押さえておくべきである。

このように運動学習という観点から幫助を考えれば、パフォーマンスエラー量のコントロール、そして幫助による内在的フィードバックへの影響というのは様々な目的場面に応じた幫助の課題や注意点などを考察していく上でキーポイントになると思われる。次項では実際に現場で用いられている幫助について、安全性向上と運動学習促進の点から考察する。

4. 実践における幫助

4-1. 運動の形を助ける幫助：キネマティクスの幫助

器械運動・体操競技指導で最も多用される幫助の種類の一つとして、運動の全体像を経験させるための幫助がある。例を挙げれば、ゆか運動において宙返りを実施する際に高さや回転を加えたり、他の種目でも技の実施における身体の運動方向を整えたりすることである。このような幫助によって選手は自分一人で実施できないような運動の形を経験することができる。金子 (1974) は運動にはどうしても細分化しきれない部分が存在することや運動ゲシュタルトの重要性を指摘した上で、運動指導における幫助の意義を唱えている (金子, 1974, p. 255)。

このタイプの幫助における内在的フィードバックへの影響としては、統合された全体としての運動感覚学習のために、主に目標とする運動を行う際の視覚情報と平衡感覚情報を得るために有効であることが考えられる。宙返りをしないことには宙返り時の視界やその回転感覚を体験することは難しい。特に回転を伴う技において頭部から落下する危険性を回避しながら運動を経験させられることは貴重であると思われる。Davlin et al. (2001) や Luis and Tremblay (2008) の実験では後方宙返りの着地における視覚情報の重要性が示されている。また、Heinen (2011) は熟練者と未熟練者の後方宙返り中における注視点を比較し、注視点固定や瞬きをしないことなどを技能向上のために推奨している。しかし、現在までに幫助による練習が直接学習効果を高めるといった経験的仮説を裏付けるような科学

的データは報告されていない。逆に、ピットを用いて後方宙返りを練習するグループの女性10人と補助で練習するグループの女性11人で、後方宙返りの出来映えで評価した学習効果に有意な差はなかったという報告はある (Pickett, 1987)。安全性が確保された環境においては補助の運動学習への効果は認められなかったという例である。

同じように、外力を加えて運動の全体像を経験させるための補助でも、異なる目的場面での活用はどうか。例えば、トランポリンなどでは宙返りはできるが、ゆか運動を行うフロア上では反発力の違いから宙返りに必要な高さやトルクを選手が自力では生み出せないというケースである。このような場合、回転に伴う視覚や平衡感覚を経験させることに焦点があるのではなく、技の成功に必要な力学的成分を補助によって補うことが主目的として行われていると解釈できる。本間 (1943) はこの点について、「…練習者は自分の力の不足を他人によって埋め合わせているのである。…何も手や器械の力を借りずとも、言葉の上で助け導いていくことは可能であるし、これが一番練習者のためになる補助である」(本間, 1943, p. 55) と述べ、補助不要論を主張している。それに対し、金子 (1974) はその主張する意図を十分に理解し、補助者の技能が未熟であれば技の習得や習熟を遅らせることも認めた上で、運動細分化や感覚の言語化の難しさを理由に、補助による指導の有効性を論じている。補助者の技能レベルと学習促進効果の関係に着目した研究はほとんど未開拓であり、今後の研究発展が望まれるところである。

見た目の運動の形を助ける補助の別の例としては、重力による身体への力学的な負荷を軽減するものがある。このタイプの補助は器械運動・体操競技に限らず、股関節傷害後に吊り下げ式の補助器具を用いて行う歩行のリハビリテーションなどでも用いられる (Giangregorio et al., 2009)。動的な運動だけでなく、力静止技など静的な状況での補助もある。ダイナミックな運動の補助に比べれば静止しようとしている身体は補助しやすく、ゴムチューブやつり輪練習器に代表される補助器具を用いて補助されることも多い。習得に年単位の時間がかかる力技などでは補助によって運動者のレベルに応じて力学的負荷をコントロールすることで段階的練習が行えるメリットがある。逆にデメリットとしては、運動者の状況に応じて第三者が力学的負荷をコントロールする場合は、トレーニング効果の評価が運動者または補助者の主観的評価に依存しやすいということである。Dunlavy et al. (2007) は十字懸垂の能力を簡便かつ客観的に評価する方法として、高さのある台の上にセットされたフォースプレート2台上に両前腕を乗せて十字懸垂を行うことを紹介している。運動者のレベルに応じて補助の強度を調節できるというのは、段階的指導を行う上で非常に強力な利点である一方で、学習効果の客観的評価が困難という欠点にも繋がる。補助の量が客観的に評価できるシステムとの併用ができれば補助によるトレーニングの意義は益々高まるものと考えられる。

他には、運動者の力学的負荷あるいは心理的負荷を軽減することによって、ある特定箇所への注意の集中を可能にするための補助もある。Griffiths et al. (2005) は運転シミュレーション課題において、コンピュータープログラムによる運転補助の有無の影響を調べる実験を行っている。結果、運転補助があることによって、メイン課題の運転パフォーマンスのエラーが軽減するだけでなく、音を発するスピーカーに対応するキーボードのキーを打つというサブ課題のパフォーマンスも向上したことから、運転補助がサブ課題を行うための注意を解放したということを示唆している。同様に、Reinkensmeyer and Patton (2009) はパフォーマンスを助ける補助は学習者がメイン課題以外の点に注意を向ける

ことを助けることになると述べている。このような研究成果は、器械運動・体操競技における幫助が、学習のある段階において最も重要と思われる部分に学習者が注意を集中するために役に立つことを示すものである。例えば、鉄棒で後方支持回転倒立を練習している運動者が肘関節を屈曲してしまうという欠点が見られる場合、幫助によって運動遂行を援助することは、運動者が肘関節伸展を維持することに注意をより集中できる練習環境を提供するという解釈が可能となる。

力学的な外力を加えるか否かは場面次第であるが、頻繁に行われる幫助の一つは恐怖心の軽減を目的としたものであろう。前項の情報処理負荷の軽減とも関連するだけでなく、恐怖心を減らし安心感を与えることは意欲の喚起にも繋がると考えられる。Chase et al. (2005) は幫助が段階的なステップで提供されずに、ただ幫助の有無という二択という状況では選手は恐怖心から幫助に依存してしまう可能性を議論している。つまり、幫助は様々な技能レベルあるいは運動者の自信のレベルに応じて力学的にも心理的にも段階的に行われなければならない。指導現場における利用頻度が高いこのような幫助の意義というのは科学者によっても十分認識されているが、科学的なデータと検証は不足しているのが現状である (Schmidt and Lee, 2005)。

さて、ここまでに見てきた幫助は利用場面は異なっても、そのほとんどが力学的な外力でもって運動の実施を助け、パフォーマンスエラーを軽減する、つまり運動実施の見た目は向上するタイプの幫助である。俗に幫助と呼ばれるものはほとんどこのタイプと思われる。実践現場での利用頻度からみれば器械運動・体操競技のトレーニングにおけるこのような幫助の重要性は疑う余地がないが、運動学習に効果的な幫助が行われるためには、注意しておくべきことがある。

まず、実施者によって行われている技の形、すなわちキネマティクスの状況は常に実施者の力発揮と幫助者からの外力の両方が影響した結果としての見え方であるということである。第三者による幫助ではなく器具を用いた幫助ではあるが、例えば、あん馬の両足旋回の練習では吊り下げ式の補助器具を用いた練習が広く知られている (Readhead, 1997; Karácsony and Čuk, 1998)。Fujihara and Gervais (2012a, b) はその両足旋回における吊り下げ式補助器具の影響をキネマティクスとキネティクスの両観点から研究している。その結果、吊り下げ式補助器具を用いることで、キネマティクス的にはより運動質の高い両足旋回が行われているように見えるが、キネティクスの分析によれば関節トルクの発揮パターンは補助器具を用いない場合とは全く異なることがわかっている。つまり、幫助による外力が足部にある場合とない場合では技を実施する力学的状況が異なることをデータでもって示している。さらに、Fujihara and Gervais (2012c) はその補助器具を足関節周りに固定する場合と膝関節周りに固定する場合を比較し、外力の作用点の違いによる運動への影響の違いを報告している。幫助者が運動者のどの身体部分を幫助するかで、同じ力を加えてもその影響は異なるのである。また、Bernasconi et al. (2006) の研究では、つり輪のアザリアン (伸腕逆上がり十字懸垂) を二種類の補助器具で実施した場合、運動の見た目は同じようでも、前腕部に支持点のある補助器具よりも身体質量中心に近い腰周りをベルトで吊るすタイプの補助器具の方が、幫助無しの実施の筋活動パターンに近いという。つり輪の中水平支持において複数のトレーニング方法を比較した研究では、力学的負荷を軽減するためのゴムチューブの位置によって運動者の主観的感覚も筋電図からみた力発揮パターンも異なることが示されている (釘宮ほか, 2010)。幫助者あるいは器具から外力が加えられることで運動の形は目標

に近づいても、実施者自身の力発揮の感覚は最終的に学習すべきものと同じあるいは類似しているとは限らないということである。

さらに重要なことは、運動学習分野における実験課題を用いた多くの研究が、運動の形を援助するような補助—キネマティクスの補助—の効果を否定しているという事実である。キネマティクスの補助の運動学習への効果は、その補助が取り除かれた状態で評価されなければならない (Schmidt and Lee, 2005)。キネマティクスの補助はその性質上、練習時におけるパフォーマンスエラーを減少させるが、それが効果的な運動学習を意味する訳ではないのである。実際、ロボットによるキネマティクスの補助が手に握ったハンドルの動かし方を学ぶ運動学習に効果がないと示す実験結果や (Liu et al., 2006; O'Malley et al., 2006)、運動学習に悪影響を及ぼすという研究 (Tsutsui and Imanaka, 2003; Winstein et al., 1994) がある。運動制御と運動学習にはまだまだ解明されていない部分も多いが、単に目標とする動きを外力によって経験するだけでは、目標とする運動を生み出すコマンドの生成に至らないということが示唆される。Reinkensmeyer and Patton (2009) はこのことについて、キネマティクスの補助を受けて経験する運動のキネマティクスの状況 (筋出力や関節トルク) は、実際にその運動を補助無しに生み出すためのものとは異なることが、このような実験結果を説明する一つの可能性として考えられるという。あるいは、キネマティクスの補助がパフォーマンスエラーを軽減しすぎることによって、内在的フィードバックの生成や評価に影響し、学習に悪影響を与えることも考えられる。

以上のことから、補助者の技能次第で技の習得や習熟を遅らせるという金子 (1974) の記述は理論的にも支持されよう。また、Wulf et al. (1998) や Wulf and Toole (1999) のスキーシミュレーター実験のように、課題によっては補助が学習に有効であるという結果も報告されている。Wulf and Shea (2002) は複雑な全身運動を対象にする場合、実験室課題のような単純動作から得られる実験結果の応用に注意を呼びかけている。器械運動・体操競技では全身を用いた非日常的運動が課題となることが多いので、彼らの主張するように、実験室での単純な動作で得られる実験結果がそのまま応用できるとは思われない。しかし、運動のキネマティクスの状況だけでなく、キネマティクスの状況への補助の影響を考えなければ、実際に学習すべき力発揮パターンや運動感覚の学習を妨げるような補助に陥ることは十分にあり得るであろう。さらに、運動学習がパフォーマンスエラーの修正を基本とするならば、補助がパフォーマンスエラー量をどの程度にコントロールするのも重要な点であろう。実施者がエラーを認識しなければ学習は成立しないと考えられる。練習の安全性を確保しながら如何に望ましい内在的フィードバックを与え、その不十分を外在的フィードバックで補うことができるかが、学習効果を高めるためには重要であると考えられる。そのためには、その場面における補助の目的とその行為による力学的状況への影響の理解は不可欠である。とりあえず運動実施を助けていれば良いといったでたらめな補助では、補助によって技が成功しているように見えても学習の促進には失敗しているかもしれない。

4-2. 運動に必要な力発揮感覚を助ける補助：キネマティクスの補助

前項で論じたキネマティクスの補助はパフォーマンスエラーを軽減し主に運動の見た目に焦点があったのに対し、ここではパフォーマンスエラーを増大するようにして目標とする力発揮を誘導するような補助—キネマティクスの補助—について考察する。これは、キネマティクスの補助ほど一般的ななも

のではないと思われるが、熟練した指導者によっては特に意識せずとも日常的に行われている。単純な例を挙げると、運動者が両下肢を揃えた姿勢で技を行う学習を促進するために、補助者は運動者の両下肢が互いに離れるように外力を加えるのである。学習の焦点となる箇所のパフォーマンスエラーを外力によって増大する、あるいは生み出すことによって学習者の注意をより一層高めたり、望ましい筋感覚を強調したりすることを意図している。運動の見た目、すなわちパフォーマンスは補助によって一時的に悪化する。しかし、学習者はそのような外力の存在に抵抗あるいは適応しようとして、より望ましい筋活動を強化する。そして、補助者によるその外力が不意に取り除かれると、より良いパフォーマンスが観察されることが多い。いわゆる、後効果方法である。

近年の運動適応と後効果の研究には、運動指導への可能性を示唆するものがある。Patton and Mussa-Ivaldi (2004) は後効果の現れ方が予測可能であるということを利用して、後効果によって目標とする運動を引き起こせるのではないかという仮説を立て、実験を行っている。被験者は椅子に座り、ロボットアームに付いたレバーを握って、そのレバーを目標に向かって動かすように指示を受ける。何も外力を受けない場合はレバーをほぼ直線的にターゲットに向かわせるのが通常であるが、実験ではロボットアームによってレバーに外力が加えられるので被験者はこの外力に抵抗しながらレバーをターゲットに向かわせることになる。そして、不意に外力を取り除くことで、運動軌跡は被験者の意図しないものとなる。その後効果によって生まれる運動軌跡は、実験者があらかじめ設定した曲線的な目標軌跡に近いものになるという。その目標軌跡は被験者には知らされていないので、被験者は意図せずにその目標軌跡を生み出したことになる。この研究はキネティクスの補助が運動指導に有効であるということを示唆するものの一つである。器械運動・体操競技指導の実践を考えると、体操の運動者は通常、目標とする運動軌跡を知っているということ、そしてヒトが補助をする場合はコンピュータープログラムされたロボットアームほど正確な力学的介入ではないということなどが実験とは相違する点である。残念ながら、このような条件の相違が後効果や運動適応にどのように影響するかは不明というのが現状である。それでも、後効果方法を上手く応用した他の研究例 (Milot et al., 2010; Patton et al., 2006a, b) を考慮すれば、キネティクスの補助が目標とする力発揮パターンを導出するのに有効であるという可能性が伺える。

ここで大切なことは、その後効果が一体どれほど持続するのかという問題である。後効果は外力が取り除かれてから長くは続かないというのが一般的である。これはウォッシュアウト (washout) と呼ばれる。後効果による運動が目標運動に近い場合、後効果は比較的維持されやすいという報告もあるが、後効果の持続時間に対する一般的な結論に至る程の十分な証拠はまだ得られていない (Reinkensmeyer and Patton, 2009)。それでも強調しておくべきことは、仮に後効果で生み出されたほんの一時的な目標動作であっても、それは適切な筋活動の結果として外力なしに自力で行われた運動である。これは、技ができていのように見えても、適切な運動キネティクスを保証しないキネマティクスの補助の場合とは大きく異なる。実践においては、たとえ一回きりの成功であったとしても、さらにその一回の成功が実施者にとって初めてののであればなおさら、その成功から生まれる満足感、自信、意欲、そして望ましい内在的フィードバックなど多くの正の効果が期待できるのではないだろうか。

キネティクスの補助は基本的にパフォーマンスエラーを増大するように外力を加えることになるので慎重に行われなければならない。器械運動・体操競技の技は十分に複雑で危険なものが多い。その

ような技において、パフォーマンスエラーを増大することで練習の安全性が犠牲にされることはあってはならない。さらに複雑な運動中に「邪魔」になるような外力が加えられれば、望ましくない反射や身を守る防御動作が引き起こされることになるかもしれない。従って、キネティクスの補助は、基本姿勢の強化や、技の学習の一段階として技術の鍵となる関節運動を教える際に用いられる程度であるのが通常である。しかし今後更なる応用可能性を求めて補助方法を創造していくべきであるかもしれない。Wulf and Shea (2002) は、負荷の低い状況では負荷を高めて難易度を高めることが学習に有効で、負荷が極端に高い状況ではその負荷を処理可能レベルまで引き下げることが学習に有効であるとまとめている。最適な学習は技能レベルと課題難易度の関数であるという“Challenge point hypothesis”に則れば、技能レベルの向上に伴い、課題難易度を高めるような補助が学習促進に有効になる可能性は十分に考えられる。言うまでもなく、キネティクスの補助を効果的に活用するためには、その外力の影響と後効果の予測が的確にできるようなバイオメカニクスの理論的知識あるいは経験的知識が必要となる。

5. まとめ

本論文では、器械運動・体操競技の実践において頻繁に用いられる補助について、主にバイオメカニクスと運動学習の視点から関連する科学的理論や研究データを用いて、有益な情報を提供できるように論述した。補助という用語で意味される活動は非常に幅広く、ここで中心に議論してきた事故防止や安全のための補助、キネマティクスのあるいはキネティクスの補助以外にも、補助という概念に含まれるものはあると思われる。

一例を挙げれば、Sands (1996) は、軽いタッチや言語的合図によって選手に技のポイントとなる手がかりを送ることも補助の一つとして挙げている。実際、指導者は言語的指導を伴いながら、あるいは伴わずに運動者の身体部分を軽くタッチして注意すべき点を指導することがある。接触している以上、多少の外力は加えられていても、このようなケースではその外力が運動に作用することに焦点があるのではなく、注意を向けるべき身体部分が感覚的につかめるように皮膚感覚に刺激を与えることに目的がある。そして、その外力が運動全体の動きに大きく影響を及ぼすほどのことはない。おそらく、視覚で確認することが困難な身体部分、例えば倒立姿勢における足先などへのタッチや、あるいは言語だけでは表現が困難な箇所などへのタッチは特に有効であると経験的には思われるが、このような補助と注意の集中や運動学習への影響を科学的に示すデータを見つけることはできない。

他には、運動のリズムやタイミングに関する手がかりを、かけ声や手拍子などによる聴覚への刺激を利用して伝える音響的補助と呼ばれるものがある (長谷川, 1987)。補助の辞書の定義には音響的補助は含まれていないようであるが (佐藤・森, 1978)、全く手を触れることのない安心感を与えるための心理的サポートが補助に含まれることを考慮すれば、その線引きは難しくなる。Baudry et al. (2006) は股関節屈曲角度が約20度以上になればブザーがなるような装置を開発し、あん馬の両足旋回の質向上練習に応用した結果、学習促進効果が認められたという。これはリアルタイムフィードバックの運動学習への影響として研究されているものであるが、聴覚情報も内在的フィードバックを構成することを踏まえれば、それに作用して学習を促進するための補助であるという解釈も可能である。

Okasha (2002) は大部分の科学的活動に共有される特徴はあっても、科学と解釈できる全ての活動

を包括できるように、科学という語を定義することはできないという。幫助もまた非常に多くの活動を含み得ることから完全に定義することは難しい。一つ明らかなことは、その概念を構成する中核となるのは安全性向上であるということである。他の目的を達成するために安全性を無視する幫助は考えられない。しかし、先人達および実践者の共通理解として、安全性の確保が幫助の全てという考えは否定される。救助幫助のように目的を事故防止に100%集中することが必要な幫助がある一方で、幫助は安全性を確保しながら運動学習を積極的に促進していくものであるというのが一般的な認識であるのは確かである。その学習促進のための焦点や方法が、ある時は視覚や平衡感覚といった感覚器官にあり、ある時は身体への力学的・心理学的負荷を軽減することにあり、またある時は望ましい筋活動を生じさせることである。最も大切なことは、幫助者がその幫助の目的と幫助による影響を理解した上で、幫助を巧みに遂行することである。学習段階と学習目的に応じた幫助を考えるための知識と創造力、そしてその幫助という技を巧みにさばく技能が求められる。そのことを理解して幫助を考えれば、その技能評価は学習者の運動学習がどれだけ促進されるかどうかで評価されなければならない。幫助によってどれだけ技が上手く見えるかが問題ではなく、学習者の技がどれだけ上手くなるかが問題である。安全面だけを考えた幫助であれば、その成功と失敗は明らかであるが、運動学習面から見た幫助の成功、そして失敗はもっと潜在的である。結果として、その評価も技能の向上もより難しいものと考えられる。また、本論で見てきたように、複雑な運動に複雑な幫助行為がなされ、その学習効果を評価するというのは、現パラダイムにおける科学的研究を行う上で多くの課題があることは否めない。それでも、Crick (2003) が述べているように、利用可能な科学データに対し論理的に矛盾せず、大部分が正しいと思われる方向が望ましいと言えるのではないだろうか。

文献

- Baudry, L., Leroy, D., Thouvairecq, R., and Choller, D. (2006). Auditory concurrent feedback benefits on the circle performed in gymnastics. *Journal of Sports Sciences*, 24(2), 149–156.
- Bernasconi, S. M., Tordi, N. R., Parratte, B. M., Jean-Denis, R. R., and Monnier, G. G. (2006). Effects of two devices on the surface electromyography responses of eleven shoulder muscles during Azarian in gymnastics. *Journal of Strength & Conditioning Research* 20(1), 53–57.
- Boone, W. T. (1979). *Better gymnastics: how to spot the performer*. Mountain View, CA: World publications.
- Boone, W.T. (1985). Safety, spotting, and gymnastics are synonymous. *Physical Educator*, 42(1), 18–23.
- Brown, J. R., and Wardell, D. B. (1980). *Teaching and coaching gymnastics for men and women*. New York: Wiley.
- Chase, Melissa A., Magyar, T. Michelle, and Drake, Brent M. (2005). Fear of injury in gymnastics: self-efficacy and psychological strategies to keep on tumbling. *Journal of Sports Sciences*, 23(5), 465–475.
- Crick, F. and Koch, C. (2003). A framework for consciousness. *Nature Neuroscience*, 6(2), 119.
- Davlin, C. D., Sands, W. A., and Shultz, B. B. (2001). The role of vision in control of orientation in a back tuck somersault. *Motor Control*, 5(4), 337–346.
- Dunlavy, J. K., Sands, W. A., McNeal, J. R., Stone, M. H., Smith, S. L., Jemni, M., and Haff, G. G. (2007). Strength performance assessment in a simulated men's gymnastics still rings cross. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(1), 93–97.
- Fujihara, T. (2011). *Biomechanics of circles with a suspended aid*. (Doctor of Philosophy), University of Alberta, Edmonton, Alberta.
- Fujihara, T., and Gervais, P. (2012a). Circles on pommel horse with a suspended aid: Spatio-temporal characteristics. *Journal of Sports Sciences*, 30(6), 571–581.

- Fujihara, T., and Gervais, P. (2012b). Circles on pommel horse with a suspended aid: Mass-centre rotation and hip joint moment. *Journal of Sports Sciences*, 30(11), 1097–1106.
- Fujihara, T., and Gervais, P. (2012c). Biomechanics of suspended-circles on pommel horse: what if knees are suspended? Paper presented at the 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports, Melbourne.
- George, G. S. (1980). *Biomechanics of women's gymnastics*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Giangregorio, L. M., Thabane, L., deBeer, J., Farrauto, L., McCartney, N., Adachi, J. D., and Papaioannou, A. (2009). Body weight-supported treadmill training for patients with hip fracture: a feasibility study. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(12), 2125–2130.
- Griffiths, P. G., and Gillespie, R. B. (2005). Sharing control between humans and automation using haptic interface: primary and secondary task performance benefits. *Human Factors*, 47(3), 574–590.
- Guadagnoli, M. A., and Lee, T. D. (2004). Challenge point: A framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 36(2), 212–224.
- 長谷川聖修 (1987). 体操指導者の音響的補助の実態について. 東海大学紀要. 体育学部, 16, 47–54.
- Heinen, T. (2011). Evidence for the spotting hypothesis in gymnasts. *Motor Control*, 15(2), 267–284.
- 平野裕一・左海伸夫 (1992). 打つ科学. 宮下充正編. スポーツ科学ライブラリー. 東京:大修館書店. 126–127.
- 本間茂雄 (1943). 鉄棒運動. 東京: 目黒書店. 52–57.
- 金子明友 (1974). 体操競技のコーチング. 東京: 大修館書店. 250–259.
- 金子明友 (2002). わざの伝承. 東京: 明和出版.
- Karácsony, I., and Čuk, I. (1998). *Pommel horse exercises: methods, ideas, curiosities, history*. Ljubljana: University of Ljubljana and Hungarian Gymnastics Federation.
- Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 718–727.
- 小清水英司・今野陸夫・佐藤浩司・竹内正雄・堀江繁 (1983). スポッティングテクニック器械運動の補助法. 東京: 道和書院.
- Kruger, H. (1976). Progressive spotting. *Journal of Physical Education and Recreation*, April, 31–33.
- 釘宮宗大・加納実・原田陸巳 (2010). つり輪における中水平支持のトレーニングに関する一考察. 体操競技器械運動研究, 18, 11–21.
- Liu, J., Cramer, S. C., and Reinkensmeyer, D. J. (2006). Learning to perform a new movement with robotic assistance: comparison of haptic guidance and visual demonstration. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 3, 20.
- Luis, M., and Tremblay, L. (2008). Visual feedback use during a back tuck somersault: evidence for optimal visual feedback utilization. *Motor Control*, 12(3), 210–218.
- Marchal-Crespo, L., and Reinkensmeyer, D. J. (2008). Haptic guidance can enhance motor learning of a steering task. *Journal of Motor Behavior*, 40(6), 545–556.
- 三木四郎・加藤澤男・本村清人 (2006). 中・高校器械運動の授業作り. 東京: 大修館書店. 43–44.
- Milot, M., Marchal-Crespo, L., Green, C. S., Cramer, S. C., and Reinkensmeyer, D. J. (2010). Comparison of error-amplification and haptic-guidance training techniques for learning of a timing-based motor task by healthy individuals. *Experimental Brain Research*, 201(2), 119–131.
- Mueller, F.O., and Cantu, R.C. (2012). *Catastrophic sports injury research 29th annual report*: National Center for Catastrophic Sport Injury Research.
- O'Malley, M. K., Gupta, A., Gen, M., and Yanfang, Li. (2006). Shared control in haptic systems for performance enhancement and training. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, 128(1), 75–85.
- Okasha, S. (2002). *Philosophy of science: a very short introduction*. Oxford; New York: Oxford University Press. 16–17.
- Patton, J. L., Kovic, M., and Mussa-Ivaldi, F. A. (2006a). Custom-designed haptic training for restoring reaching ability to individuals with poststroke hemiparesis. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 43(5), 643–655.

- Patton, J. L., and Mussa-Ivaldi, F. A. (2004). Robot-assisted adaptive training: Custom force fields for teaching movement patterns. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(4), 636–646.
- Patton, J. L., Stoykov, M. E., Kovic, M., and Mussa-Ivaldi, F. A. (2006b). Evaluation of robotic training forces that either enhance or reduce error in chronic hemiparetic stroke survivors. *Experimental Brain Research*, 168(3), 368–383.
- Pickett, B. A. (1987). The effects of two instructional methods for teaching the back somersault. *Journal of Applied Research in Coaching and Athletics*, 2(1), 46–56.
- Priest, J. D. (1985). Elbow injuries in gymnastics. *Clinics in sports medicine*, 4(1), 73–83.
- Readhead, L. (1997). *Men's gymnastics coaching manual* (2nd ed.). Marlborough, Great Britain: The Crowood Press Ltd.
- Reinkensmeyer, D. J., and Patton, J. L. (2009). Can robots help the learning of skilled actions? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(1), 43–51.
- 坂本周次 (2013). 補助の重要性と補助法. 行本浩人編, 女子ジュニア選手のためのトレーニングのてびき (pp. 145–155). 東京: 日本体操協会.
- Sands, W. A. (1996). How effective is rescue spotting. *Technique*, 16(9), 14–16.
- Sanger, T. D. (2004). Failure of motor learning for large initial errors. *Neural Computation*, 16(9), 1873–1886.
- 佐藤友久・森直幹編 (1978). 体操辞典. 東京: 道和書院. 216.
- Schmidt, R. A., and Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: a behavioral emphasis* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Tsutsui, S., and Imanaka, K. (2003). Effect of manual guidance on acquiring a new bimanual coordination pattern. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(1), 104–109.
- Turoff, F. (1991). *Artistic gymnastics: A comprehensive guide to performing and teaching skills for beginners and advanced beginners*. IA, US: Wm. C. Brown Publishers Trade and Direct Group.
- Winstein, C. J., Pohl, P. S., and Lewthwaite, R. (1994). Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: support for the guidance hypothesis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65(4), 316–323.
- Wulf, G., and Shea, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(2), 185–211.
- Wulf, G., and Toole, T. (1999). Physical assistance devices in complex motor skill learning: Benefits of a self-controlled practice schedule. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70(3), 265–272.