©NSCA JAPAN
Volume 27, Number 4, pages 52-64

Key Words【体操：gymnastics、演技：performance、身体的決定因子：physical determinants、トレーニング：training、ユース：youth】

# 若年体操競技の生理学的要求：ストレングス＆コンディショニングへの応用

## The Physiological Demands of Youth Artistic Gymnastics：Applications to Strength and Conditioning

**Sylvia Moeskops,** [1] M.Sc., CSCS **Jon L. Oliver,** [1、2] Ph.D. **Paul J. Read,** [3] Ph.D.
**John B. Cronin,** [2] Ph.D. **Gregory D. Myer,** [4、5、6、7] Ph.D. **Rhodri S. Lloyd,** [1、2、8] Ph.D., CSCS,*D

[1]Youth Physical Development Unit, Cardiff School of Sport, Cardiff Metropolitan University, Cardiff, United Kingdom
[2]Sport Performance Research Institute, New Zealand (SPRINZ), AUT University, Auckland, New Zealand
[3]Athlete Health and Performance Research Centre, Aspetar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar
[4]Division of Sports Medicine, Cincinnati Children's Hospital, Cincinnati, Ohio;
[5]Department of Pediatrics and Orthopaedic Surgery, College of Medicine, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio
[6]The Micheli Center for Sports Injury Prevention, Boston, Massachusetts;
[7]Department of Orthopaedics, University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania
[8]Centre for Sport Science and Human Performance, Waikato Institute of Technology, Hamilton, New Zealand

**要約**

体操競技には複雑な連続的動作が含まれており、若年体操選手はかなり大きな力に曝される可能性がある。早期専門化が好まれる競技であるため、小児期から多量の競技特異的トレーニングを実施する。世界の指導的立場にある団体は、年少選手をストレングス＆コンディショニングに参加させて、強健な身体を作り、傷害の相対的リスクを低下させることを推奨している。本稿では体操競技のニーズ分析を行ない、若年体操選手という特殊なクライアントを担当するトレーニング専門職が考慮すべき重要な問題に光を当てる。

### 序論

体操には、新体操、トランポリン、タンブリング、アクロバットなどの下位区分があり、世界で5,000万人の競技者がいると見積もられている(4)。しかし、青少年の参加率からみて最も人気のある競技のひとつは体操競技である(4,5)。体操競技の要求は男子と女子で類似しているが、相違点もある。女子の体操競技では、跳馬、段違い平行棒、平均台、床運動の4種目が実施され、男子の体操競技では、床運動、あん馬、つり輪、跳馬、平行棒、鉄棒の6種目が実施される。演技の成功に必要な身体能力は、神経筋系のパワー、筋力、柔軟性、スピード、コーディネーション、バランス、エネルギー系への要求**(図1)**において、器械によってかなり異なっている(46)。青少年におけるこれらの身体特性の発達は、成長、成熟、トレーニングが相互作用して非直線的になる(112)。若年体操選手における身体的構成要素の発達は複雑である(61)。なぜなら、発達のタイミング、テンポ、程度が、同年齢であっても個人によってかなり異なるからである(61)。若年体操選手を担当する専門職は、トレーニング過程の基礎科学を知るだけでなく、子どもの発達に関する重要な原則を考慮して、様々な発達段階にある体操選手のトレーニングの可能性と適応の可能性を探る必要がある。

### 体操競技の体力要件

#### *筋力、パワー、スピード*

#### 筋力

動的で多様な組み合わせの連続的動作スキルを安全に成功させるには、上肢と下肢の高水準の筋力とパワーが必要である(5)。そのような動作に

必ず含まれるのは、伸張性筋活動と短縮性筋活動の組み合わせである。しかし、等尺性筋力と身体の緊張の重要性(body tonus)も過小評価してはならない(21)。体操選手は、動的条件下においても静的条件下においても、一連のテクニカルな姿勢の維持によって優劣を判断されるため、それに向けてコンディショニングを行なう(6)。様々な動作速度で力を発揮するため、運動単位を効率よく動員する能力は、たとえ若年であっても、体操選手のパフォーマンスの重要な決定因子であると思われる。例えば床運動の演技中では、力-速度曲線の様々な部分を利用して、あらゆるタイプの筋活動を含む動作パターンを実施することが必要である(74,78)。

床運動の後方抱え込み2回宙返りの踏み切りでは、踏み切り時における重心の垂直方向の移動速度は男性で4.2±0.46 m/s、女性で3.54±0.85 m/s(35)であるが、上水平支持(プランシェ)では高水準の等尺性筋力が要求される(50)。また、タンブリング中の後方伸身宙返りの踏み切り時に発生する力の運動力学的分析によると、垂直方向の最大筋力と最大立ち上がり速度の平均は、それぞれ6,874±1,204 Nと6,829±2,651 N/sであった(78)。さらに男子選手にとっては、上半身が優勢となる器械(つり輪、あん馬など)で、動作開始時と終了時の様々な姿勢を制御して行なうことが特に重要である(21)。また体操選手は、着地の際に多様な高さ、速度、回旋からの力に曝されることが多いため、下肢の伸張性筋力にも大きく依存する(35)。女子体操選手が平均台や段違い平行棒から降りる(0.69 m、1.25 m、1.82 mからのドロップランディング)際に経験する衝撃速度をシミュレーションすると、自重の9倍を超える垂直方向のピーク力に耐える必要があった(75)。そのような力を美しい姿勢で吸収できれば減点が減り、得点が高くなる。体操選手は、力積-運動量関係を操作してスキル実施時における筋の力発揮能力を最大化するとともに、着地の衝撃に耐えて受傷を避ける必要がある。

図1　体操競技の身体要求

## パワー

同様に、ピークパワーは体操演技を成功させる不可欠の構成要素と考えられる(46)。短縮性および伸張性の高い筋力とパワーを有する選手は、高速度で力強い筋活動を行なうことが可能であり(34)、難度の高いアクロバティックなスキルを実施することができる。研究によると、レジスタンストレーニングプログラムは、カウンタームーブメントジャンプとスクワットジャンプのピークパワーを増加させ(それぞれ46%と43%の増加)、体脂肪量を減らして除脂肪体重を増やすことによって、相対的なパワー-自重比率を向上させる。このような適応の結果、ジャンプの高さと滞空時間が増加して、高度なテクニックを用いた演技を行なうことが可能になり、高得点の可能性を高めることができる(34)。

高水準の筋パワーを発揮する能力は、実施する筋活動のタイプに大きく依存しており、短縮性筋活動の前に伸張性筋活動を行なうと、短縮性筋活動を単独で行なうよりも発揮パワーが大きくなる(54)。このように伸張性筋活動の直後に短縮性筋活動を行なうこと

を、ストレッチ-ショートニングサイクル(SSC)と呼ぶ(54)。8～15歳の若年体操選手において、上肢と下肢によるSSCの利用が重要なパフォーマンス指標であることは研究において確認されている(14,15)。例えば、跳躍板(ロイター板)で爆発的な踏み切り(ロイター板との接触が短時間で反射的であり、踏み切り速度が速い)を行なうことのできる若年体操選手は、滞空時間を延ばし、跳馬の演技で減点を減らして高得点をのぞむことができる(14)。また床運動では、爆発的なタンブリングは接地時間115±10～125±11 msの踏み切りを伴うため(73)、素早いSSC活動(接地時間<250 ms)が演技において重要な役割を果たすことになる(15)。しかし、エリートクラスの若年男子体操選手を対象として高さ30 cmからのドロップジャンプテストを実施させると、素早いSSC活動のパフォーマンスが予想外に低かった(107)。彼らがドロップジャンプを有効に実施できなかったのは、タンブリングと跳馬の練習では、ばねのあるサーフェスに過度に依存し、踏み切り時の足の接地時間が長いことによるとみられる(107)。ただし、彼らはSSC活動を要求される体操のスキルには熟練しているものの、トレーニングでばねのないサーフェスを利用してドロップジャンプを行なった経験がないことを反映している可能性もある(57)。

### スピード

最大速度に達するまでのスプリント局面は加速局面と呼ばれる。有効に加速するには、自重に対して、高い床反力合力を水平方向へ適用することが必要である(80)。若年アスリートの場合、通常15～30 mで最高速度に達し(76)、外力によってそれ以上速度が変化しなくなる。跳馬の助走では、最長25 mの素早い加速によってロイター板からの爆発的な踏み切りを促す(13)。効率的な滞空局面を達成するための高速の助走とそれに続く高いパワー発揮は、跳馬での高得点に直接関連している(15)。エリートクラスの男子体操選手の演技では最大10.9 m/sに達する(3)。国内エリートクラスの標準的な若年女子選手では、18 mの平均速度が8～10歳で6.07 m/s、11～12歳で6.31 m/s、13～14歳で6.20 m/sであった(15)。興味深いことに、11～12歳と13～14歳では体重と身長の増加に伴ってスプリント速度が低下している。青少年期を通じた自然な速度の発達は、非直線的なプロセスをたどると考えられるため(65)、この結果は「思春期のぎこちなさ(成長による運動コーディネーションの一時的な低下)」を反映している可能性がある(11)。さらに、跳馬の助走速度の速さとロイター板の踏み切り速度の速さは、床運動のタンブリング能力の強い予測因子($R^2$>0.64)であることが判明しており(15)、体操選手にとって、スプリントスピードの発達が重要であることを示している。

### バランスと安定

身体のバランスをとって安定させる能力は、前庭系、視覚系、固有受容系からの感覚情報と関連し(33)、支持基底面で身体の重心を維持しようとする複雑な過程である(43,87)。体操選手は、静的動作においても動的動作においても、上肢と下肢を介してバランスをとり、姿勢を制御し続ける能力を必要とする。若年体操選手のそのような安定させる能力に影響を及ぼす因子として、支持基底面の大きさ、重心の高さ、器械と接触する四肢の数がある(39)。さらに、体操競技に特有の因子として、器械の力学的特性が器械の安定性に影響し、課題の難度にも影響する(19)。例えば倒立は、男子選手にとっても女子選手にとっても基本的なスキルであるが、床、平均台、平行棒、つり輪など、器械によって安定維持の要件が大きく異なる(19,39)。最近の調査によると、倒立で安定性を確保するには、姿勢の維持を目的とした「手首の運動」を実施し、垂直の姿勢を保たせるとよい(39)。すなわち、重心の移動方向に応じて指や手首の圧力中心を増大させる(105)。しかし支持面が段違い平行棒よりも狭ければ、バランスを維持するには「肩の運動」が必要になるだろう(39)。

予想されたことであるが、体操選手は、対照群(2,18)や他競技の選手(22,43)と比べて優れたバランス能力を有していることが研究によって確認されている。5～14歳の子どもの大規模なデータセットを調査した結果、バランス能力を評価する「バランスエラースコアリングシステム(BESS)」のスコアは加齢とともに有意に向上した(38)。体操に特異的なトレーニングがバランスに及ぼす影響(2,18,22,43)と、子ども時代に生じる自然なバランス能力の向上(38)を考えると、若年体操選手へのストレングス＆コンディショニング(以下S&C)において、バランストレーニングに大量の時間を割くことは適切ではないかもしれない。むしろウォーミングアップと傷害予防セッションに、姿勢／体幹の制御と安定性を向上させる、質の高い(力の吸収を伴う)着地課題を重視するエクササイズを組み込むことが適切であるだろう。

### 体操のエネルギー要求

体操競技の演技時間は種目によって異なる。跳馬は約5秒、平均台や床運

動は最高90秒間続く(46)。体操競技の爆発的な性質と短い演技時間によって、アデノシン三リン酸の主な供給経路はクレアチンリン酸系と無酸素的解糖系になる。エリートクラスの男子選手と女子選手において、跳馬(2.4～2.6 mmol/ℓ)以外のすべての種目でピーク血中乳酸濃度は4 mmol/ℓを超える(68)。運動の持続時間、強度、テンポの多様性と、各種目における筋活動タイプの多様性のため、体操選手が演技中に「定常状態」に達することはない(46)。そのため、ラボテストによって、酸素摂取量と心拍数の関係からエネルギー消費を推計することは価値がないと考えられる(46)。

体操選手の有酸素性能力に関する縦断的データによると、平均的な最大酸素摂取量($\dot{V}O_2max$)は、50年前から約50 ml/kg/minで変化していない(48)。有酸素性能力は、体操選手のパフォーマンスのカギを握る決定因子ではないとみられる。演技が短時間の爆発的な動作の連続によって行なわれ、主に無酸素性代謝に依存することを考えると、これは驚くべきことではないだろう。しかしだからといって、ある水準の有酸素性能力が不要だというわけではない(46)。思春期の女子体操選手は、床運動などの演技後の$\dot{V}O_2max$が体重比85%にも達することが確認されている(68)。さらに、エリートクラスの男子選手と女子選手について、各種目の演技中の心拍数データを調査した結果(48,68)、最大心拍数は跳馬を除いて約180±11.33 bpmを超え(つり輪の心拍数は調査に含まれていない)、体操競技の強度の高さが示された。前掲のデータからもわかるように、演技中、エリートクラスの体操選手は代謝閾値近くで運動しているため(45)、高強度を基本とするコンディショニングプログラムが必要である。スキルを連続的に実施する合間や、演技の合間に効率よく回復できる体操選手は、高水準のパフォーマンスを維持しつつ、疲労による受傷リスクを相対的に低下させることができる。そのため、有酸素性コンディショニングは育成段階における一次的なトレーニング目標ではないにせよ(61)、若年体操選手のためのS&Cプログラムから、トレーニング刺激としての有酸素性コンディショニングを除外するべきではない。特に、高強度の反復運動からの回復の至適化を目的とする場合は除外してはならない。

### 子どもの生理学：高強度運動からの回復力の高さ

若年体操選手の安全を至適化するために、激しいトレーニングセッションによる疲労と、難度の高いスキルの実施能力とのバランスをとることは不可欠である(46)。疲労した状態で高度なスキルを必要とする演技を行なうことは、受傷リスクを増大させる可能性がある(97)。そのため、高強度運動からの素早い回復が重要となる。子どもは、大人よりも高強度運動からの回復が早い(31)。力学的観点からみると、子どもは大人と同程度の相対的なパワー発揮を行なうことができないため(95)、相対的な疲労度が低くなる(31)。同様に、子どものタイプⅡ筋線維の横断面積は、タイプⅠ筋線維の横断面積と同じか小さい(113)。つまり、思春期直前期はタイプⅡ筋線維の運動単位の動員が大幅に小さいと考えられる(24)。子どもは神経筋系が成熟していないため、高閾値のタイプⅡ筋線維の運動単位の動員を最大化する能力が劣っている可能性がある。つまり、エネルギー基質の素早い再合成を促して素早い回復をもたらす、低閾値のタイプⅠ筋線維の運動単位に大きく依存していると考えられる(31)。さらに、クレアチンリン酸の素早い再合成は、子どもが酸化的代謝に大きく依存し、解糖代謝への依存度が低いことに起因すると考えられる(24)。また、子どもは最大努力による運動において大人よりも乳酸産生率が低く、乳酸除去率は大人と同等であるとみられるため、乳酸の蓄積が少ない(24)。したがって、若年体操選手の無酸素性能力を発達させるには、成長と成熟がこのエネルギー系のトレーニングの可能性に及ぼす影響を考慮するべきである。さらに、競技が要求する高強度運動から回復するには、一定の有酸素性コンディショニングも必要となるだろう。そのため、無酸素性コンディショニング刺激と有酸素性コンディショニング刺激の両方を、体操選手のトレーニングプログラムに含めることが重要である。

### 柔軟性と可動性

スキルの獲得と力学的有効性をめぐって至適可動域が存在する他の競技と異なり(61)、体操は美しさを競う競技であり、高得点が得られる姿勢やテクニックを達成するには大きな可動域を必要とする(6)。例えば、しかるべき準備ののち、男子選手は高い平行棒やつり輪の上で極端な可動域を要求される後方懸垂回転を行なう(47)。さらに体操競技採点規則によれば、女子選手では、大きなジャンプ、小さなジャンプ、およびアクロバティックな動きの間に180°の開脚が実施されなければ減点となる(6)。これらの四肢の姿勢を達成する能力は可動域の広さに大きく依存する。しかしそれと同時に、可動域を通して、適切な筋力によって補助されなければならないことに留意する

べきである(21,47)。

## 若年体操選手の
## トレーニングの留意点

### *成長、成熟、トレーニング*

体操競技のコーチは、成熟の遅い選手や、(特に女子の場合は)遺伝子的に痩身低身長が予測される選手を直感的に好むかもしれない。しかし、子どもの生物学的な発達速度は多様であり、特に、成長の急速な変動を経験する思春期前後ではそれが顕著である(106)。暦年齢は、成熟状態の指標として妥当性や信頼性が高くない(7)。トレーニング処方のカギを握る決定因子はテクニック実施能力である。しかし、競技歴がほぼ同じ若年体操選手のトレーニングでは、生物学的成熟を考慮することが不可欠である。身体成熟度の予測は、選手の成長と成熟を観察する上で有用かつ利用可能な指標になりうる(62)。例えば、身長はパフォーマンスに影響を及ぼし、また、成熟の遅い選手が多いため(108)、専門職は、成人後の予測身長に照らして現在の割合を決定するとよい(52)。これは、若年者の成熟を見積もる上で実用的で十分に正確な尺度となる(52)。

若年体操選手を担当する専門職は、生物学的成熟を深く理解することによって、個人のニーズと目標に応じて、発達に適したトレーニング方法を処方し、指導することができるであろう(10,57,59)。例えば四半期ベースで基本的な形態データを収集すれば、成長のスパート期をかなり正確に特定して、それに合わせてトレーニングを調整することができる。身体的側面については、急激な成長期にある選手にトレーニングを指導する際は、可動域の低下に時間を割いて対処するだけでなく(軟部組織のフォームローリング、無負荷のストレッチング)、重心の高さの変化によるバランスの低下にも対処するべきである(静的および動的なバランス/安定化運動)。さらに、筋のアンバランスをもたらしかねない筋力の不足に狙いを定めて、プログラムを個別化する必要がある(89)。**図2**に示すように、若年体操選手の身体パフォーマンス特性を発達させる目的で、専門職が利用できるトレーニング方法は数多く存在する。成長のスパート期にある青少年にトレーニングを指導することは、若年体操選手のように、競技特異的なトレーニング負荷が高い場合に特に難しくなる(90)。成長によってバイオメカニクス的変化(四肢が長くなる、相対的筋力が小さくなるなど)が生じる時期は、蓄積される疲労の量が大きくなる。データによると、成長のスパートは筋骨格系の脆弱性をもたらし(70)、特にオーバーユース障害(17)や急性外傷性傷害(111)の点で、若年アスリートの傷害リスクを増大させる。この発達段階では傷害リスクが増加するため、定期的に基本的な形態データを収集し、動作スクリーニング(着地時の膝外反をチェックするタックジャンプ

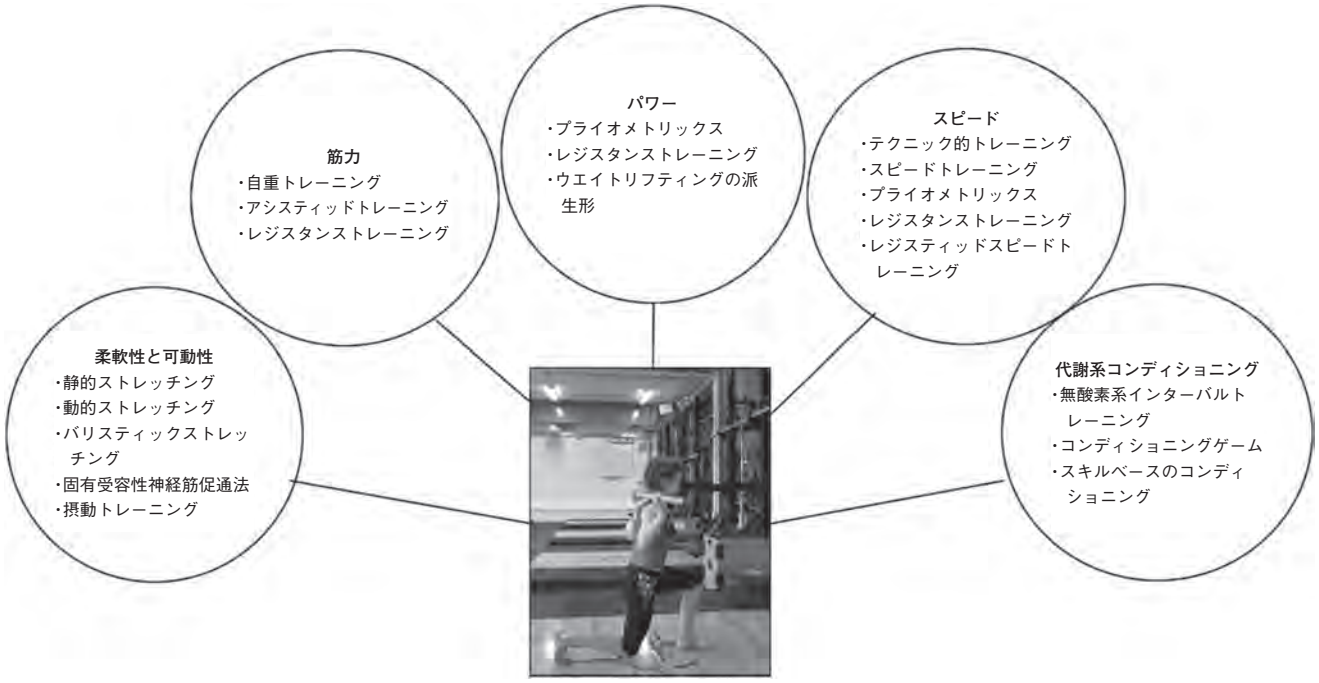


図2　若年体操選手の身体特性育成のためのトレーニング方法

評価やドロップジャンプテスト）を実施することが推奨される。同じく、健康と幸福に関する質問票を利用して、睡眠、疲労、筋痛、気分、社交水準、および筋骨格系傷害と関連している可能性のある疼痛をモニタリングすることも勧められる(57)。さらに、トレーニング負荷（量と強度）を注意深く観察して、総合的な負荷をきちんと確認する必要もある。そのためには、S&Cトレーニング、競技トレーニング、競技会の負荷を数量化して、オーバーユース障害、非機能的なオーバーリーチング、オーバートレーニング症候群、燃え尽き症候群に陥るリスクを低減させる必要がある(23)。専門職は統合的アプローチによって、内的負荷尺度と外的負荷尺度を合わせてトレーニング負荷を数量化し、アスリートにかかる総合的な負担を把握するべきである(12)。

### トレーニングに対する全体論的アプローチ

様々なスポーツに関する多くの報告を調査した結果、思春期以前に1つの競技に専門化した子どもは、のちに不利益を被る可能性のあることが示唆された(44,81,83)。体操競技のコーチは、自重エクササイズとスキル動作反復のサーキットを含む、伝統的な体操特異的コンディショニングプログラムを幼少期から優先的に実施する(9,92)。通常そのようなプログラムには、体操競技に特異的な身体特質と動作パターンの発達しか含まれていない。しかし、すべての若年アスリートは、総合的な運動能力を発達させる必要がある(57)。よって体操選手のプログラムに、一般的筋力と特異的筋力およびコンディショニング運動を組み合わせて健康とスキルにかかわる構成要素の向上を目指す、統合的な神経筋系トレーニングを追加するべきである(40)。このようにすることで、パフォーマンスを向上させるとともに競技関連の傷害リスクを低減できるであろう。若年アスリートへのトレーニングは、全体を見渡す統合的な方法で設計して、複数の身体能力構成要素と総合的な運動能力を発達させる多様なトレーニング刺激を与えるべきである(43)。

体操競技のコーチは、競技特異的要求のためにスキル重視のコンディショニングプログラムを慣習として処方してきた(49)。体操競技において、トレーニングの特異性は過小評価されるべきではなく、漸進的な負荷を与えることによって、選手に効率よく準備させることができる。しかし、幅広いS&Cを実施することは、体操選手の身体準備にさらに貢献するだろう(34,37,67,91)。実際、若年体操選手をトレーニングするS&Cコーチの任務は、競技トレーニングで経験する刺激とは異なるが、運動能力の発達に関連する、有効な刺激を安全に与えることである。若年体操選手は、タンブリングや跳馬で高い床反力を繰り返し経験する(53,103)。例えば、思春期前の女子体操選手は、床運動において、手首では自重の2～4倍、足関節では3～8倍の垂直方向の床反力に曝されることが確認されている(16)。S&Cコーチの主な役割は、疲労していてもいなくても、繰り返される床反力に安全かつ有効に耐えられるように、選手の強健さを増大させることである。力発揮の方法が変化しない特異的な動作パターンに頻繁に曝されることは、筋骨格系に過度の負担を慢性的にかける可能性がある(8,23)。早期に専門化される競技に携わるS&Cコーチは、動作の変化が運動スキルの発達に利益を与えることと、オーバーユース障害のリスクを低減させることを特に意識するべきである(8,57)。S&Cコーチは、年少者の総合的な運動能力を発達させて、体操以外のスポーツや活動への生涯参加を促す役割を担っている。体操に特異的な能力の最大化を試みるだけでなく、若年体操選手が体操をやめると決めた時に備えて、他の競技や身体活動の要求に応える身体準備をさせておくことが大切である(57)。最後に、若年体操選手に長期にわたって積極的にS&Cプログラムに参加させるには、面白く、やりがいのある、楽しいプログラムとするように心掛ける必要がある。

### 筋力とパワーのトレーニング

レジスタンストレーニングは過度の筋肥大を誘発して、体重を増加させるおそれがあるとして、特に年少の女子体操選手には実施させない競技コーチがいる(34)。しかし、思春期開始前のレジスタンストレーニングに対する適応は、神経筋系によるものであり(36)、筋横断面積の大幅な増加が起きる可能性は低い(61)。つまり、この発達段階における筋力の増加、特にトレーニング介入初期にみられるものは、筋肥大による適応ではなく、神経筋系の特質（運動単位の動員、同期化、発火頻度）が向上した結果と考えられる(59)。思春期における成長のスパート後は、トレーニングの結果として神経的適応と形態的適応の両方が現れる(61)。大多数の体操選手における目標は、相対的筋力を発達させることであると考えられる。そこで、適切なトレーニング処方（低レップ、高強度、長めの休息時間）によって、（筋形質の肥大とうまく動かすことのできない筋量の増加ではなく）筋原線維による筋肥大とうまく動かすことのできる筋量の増大を促すべきである(102)。筋成長率の男女差が

明らかになるのは思春期開始以降であり、男子は加速度的な筋力の増加を示し(65)、女子は筋力とパワーの発揮が低下する(88)。この発達段階における神経筋の筋力低下は、女子における特異的な傷害、特に膝前十字靭帯の傷害リスクを上昇させる(32,93)。これは体操競技の着地において頻繁に発生する傷害である(42)。体操競技で大きな減点を避けてパフォーマンスを至適化するには、一連のスキルや終末技ののち、着地の際に動きを止めて直立しなければならない(6)。そのため、伸張性筋力を発達させて衝撃の相殺を助ける必要がある。鍛錬された選手の伸張性筋力の増大を焦点とするプログラムは、伸張性負荷を強調しないトレーニングと比較して、パワー、速度、ジャンプの跳躍高の特性を向上させた(104)。しかし、若年アスリートにおける伸張性筋力への効果を検証した調査は不足している。膝関節と股関節の屈曲を強調した「ソフト」な着地に重点を置く、短期間の神経筋系トレーニングは、思春期の女子選手において着地時のバイオメカニクスを有意に改善した(82)。これは、終末技から着地する際に直立停止することにとって有益なトレーニング方法になりうるだろう。体操選手は、思春期前の体操に特異的なトレーニングで誘発された適応によって、膝関節伸展筋群の活動が大きい可能性がある(77)。女子選手は思春期開始後にハムストリングスの筋力が低下しやすいことを考えると(41)、思春期直前期や思春期における体操選手のプログラムには、ハムストリングスの強化を目的とする統合的な神経筋系トレーニングプログラム(84,86)を組み込むべきである。

発達段階とはかかわりなく、トレーニング歴が浅く、テクニックの実施能力が低い場合、レジスタンストレーニングは低～中強度(自重など)で複雑なテクニックを必要としないエクササイズから始めるべきである(85)。基礎的な筋力を構築し、強健な動作パターンを幅広く発達させることを焦点とする(57)。やがて自重エクササイズに習熟し、最終的には、身体に過負荷を与える新たな刺激によってさらなる適応を促すことが必要になる(99)。強度(あるいは負荷)を増加させるには、大して器具を必要としない。重力に対する姿勢を変更すればよい。レジスタンストレーニングプログラムにフリーウェイト、弾性バンド、メディスンボールなどの外的負荷を加えることは、若年アスリートの筋力向上にとって有効で安全な方法であることが認められている(57)。残念なことに、体操選手に対するレジスタンストレーニングの効果を調査した研究はほとんど存在しない。最近、エリートクラスの思春期前の女子体操選手を対象として、高強度のプライオメトリックスと高重量のレジスタンストレーニングを組み合わせた16週間のトレーニング介入が、従来のスキルトレーニングよりも、ドロップジャンプの様々なパラメータ(滞空時間、接地時間、滞空-接地時間比率、力学的パワーの推計値など)を有効に向上させることが示された(67)。研究者らは、演技と体操動作の反復練習に費やす時間を減らし、若年者用のガイドラインに従ったエクササイズ処方を利用して(26,59)、週に2～3回、強度の高いストレングス＆パワーエクササイズ(67)を含めることを推奨している。さらに、よく鍛錬された若年アスリートについてメタ分析を実施した結果、テクニックの実施能力が適切に発達している場合は、23週間超での従来のレジスタンストレーニングプログラム(1エクササイズ5セット、1セット6～8レップ、1RMの80～89%の強度)によって最も効率のよい用量反応関係が現れた(55)。これは、進行中である神経筋系の適応を確実にするには、若年アスリートにおいても漸進的な過負荷が必要であることを示している。

テクニックに習熟していることが明らかな場合、若年体操選手はより大きな外的負荷に曝される必要がある。通常は、スクワット、デッドリフト、ランジ、ウエイトリフティング(およびその派生形)などのバーベルを用いた運動を利用してさらなる適応を促す。レジスタンストレーニングは単なる付加的トレーニングではなく、体操競技トレーニングの代替セッションとして実施するべきである。定期的なレジスタンストレーニングは、若年体操選手のトレーニングプログラムの一角を担い、筋力の水準を発達／維持し、神経筋系特質のディトレーニングを回避し、高量／高強度の競技特異的トレーニングに関連するオーバーユース障害を防ぐ(23,26,28,29,59,110)。適切な休息時間と回復時間を期分け計画に組み込み、1週間に1～3回のレジスタンストレーニングセッションを若年アスリートに対して実施するとよい(59)。

体操競技のパフォーマンスは力強い筋活動が特徴であり、至適適応を促すには特異性の原理に従ってトレーニングする必要がある。そこで、素早い筋の収縮速度を含むトレーニング様式が適切である(34)。トレーニング歴とテクニック実施能力は時間とともに伸びるため、レジスタンストレーニングエクササイズとウエイトリフティングの動作を爆発的に行なうことによって神経筋系の適切な適応を促すことができる(51)。Frenchら(34)

は、エリートクラスの女子体操選手を対象としてパワー特異的なレジスタンストレーニングを実施したところ、全身の筋におけるパワー発揮能力が有意に向上した。このトレーニングには、体操のパフォーマンスにとって重要な要素である、最短時間で最大の力を適用することを重視するエクササイズが含まれていた(34)。トレーニングの結果、大きなジャンプとタンブリングが向上して(特に床運動の)得点が増加し、パフォーマンスの水準が上昇した(34)。さらに、6週間のレジスタンストレーニングプログラムによる、思春期直前の新体操選手のジャンプパフォーマンスへの影響が調査された(91)。プログラムには競技特異的介入(自重の6%のウェイティッドベルトを装着して10種類の動的エクササイズを各3レップ)と非特異的介入(ダンベルを用いた中程度の負荷/多レップのレジスタンストレーニング)が含まれていた(91)。どちらのストレングストレーニングプログラムも下肢の爆発的筋力を6～7%増大させたが、脚のスティフネスを評価するホップテストで滞空時間を有意に増大させたのは非特異的介入だけであった(91)。若年アスリートにとって、ドロップジャンプは習熟が難しい複雑な課題である(9)。しかし、漸進的過負荷を利用し、遅いあるいは素早いSSC機能の向上を目指す主要なトレーニングツールとして利用されている。ドロップジャンプで接地時間を短くすることに注意を向けさせると速いSSC活動になり、跳躍高を最大にすることに注意を向けさせると遅いSSC活動になる(64)。脚におけるスティフネスの増加は接地時間の短さをもたらし、SSCをより効率よく利用することが可能になる(1,55)。接地時間が短ければ償却局面が素早く行なわれ、再利用される弾性エネルギーが多くなる(115)。体操選手が素早いSSC活動を行なうには、脚のスティフネスを高める必要がある。しかし、脚の至適スティフネスは課題によって異なる(71)。体操競技のスキルの中には、接地時間の長さと遅いSSC活動を伴って大きな跳躍高を生む柔軟なシステムを必要とするものがある(1)。プライオメトリックスは、若年男子の脚におけるスティフネスを増大させ(58)、リバウンドジャンプやバーティカルジャンプの跳躍高、スプリント速度、力の立ち上がり速度の増大を促す(60)。これらはいずれも体操競技と高い関連性を有する能力である。

しかし、体操の競技トレーニングにはすでに多くのプライオメトリックスが含まれているため、力-速度曲線の様々な部分に焦点を合わせた代替的なトレーニング刺激、例えば筋力トレーニング(大きな力)やウエイトリフティングの派生形(大きな力で中程度の速度)を処方するほうが有益かもしれない。以上の研究から、体操に特異的な筋力プログラムにレジスタンストレーニングを統合すれば、若年体操選手に付加的なトレーニング刺激を与えることになり、パフォーマンスを向上させ、傷害リスクを低下させられると考えられる。成人の体操選手に対するレジスタンストレーニングの利益を示した研究は存在するが(34)、思春期直前期と思春期の体操選手に対する長期的なレジスタンストレーニングによる介入の影響はまだ検証されていない。

### スピードの発達

青少年期を通じた自然なスピードの発達は非直線的な過程をとり(65)、思春期直前期と思春期にスプリントパフォーマンスの変動的な向上が発生すると考えられている(112)。スプリントスピードのトレーニングにおける可能性は、成熟期に生じる自然な適応過程、すなわち「相乗的適応」に、トレーニング処方が合致している場合に至適化される(63)。例えば、思春期前にスプリントスピードを向上させるには、プライオメトリックスを実施して神経系の適応を誘発することが望ましい(27,63)。一方、筋量の自然増加や血中アンドロゲンの変化など、成熟関連の変化を経験している思春期直後の男性にとっては(65,109)、レジスタンストレーニングとプライオメトリックスを結合させることが、スプリント速度を向上させる至適刺激であるだろう(63)。コーチは、プライオメトリックスを実施する前に各選手のスクリーニングを実施して、着地課題におけるテクニック実施能力が発達しているかどうかを確かめる必要がある(56)。これは特に、選択されたエクササイズが、体操選手になじみのあるばねのあるサーフェスで行なわれない場合に重要である。しかしすでに述べたように、体操選手は競技トレーニングでプライオメトリックスを大量に行なうため、S&Cコーチがそのようなトレーニングを処方する際は注意する必要がある。体操選手のトレーニングを適切に期分けするには、量(足の接地回数)と強度(エクササイズの選択による)の調整が不可欠である。

レジスタンストレーニングとプライオメトリックスを含む、統合的な神経筋系プログラムは、(時に間接的であるが)若年アスリートのスピードを向上させることは確かである(5,25,40,60,63,94)。しかし、特異的なスピードトレーニングには、若年体操選手のスプリントスピードの適応を促進する可能性がある。跳馬の助走距離

は最大25mである。そこで、テクニック的な指導は、最大スプリント速度ではなく、加速度のメカニズムと水平方向の力発揮能力を発達させることを焦点とするべきである。最近のメタ分析によると、若年アスリートのためのスピードトレーニングの処方は週に2回とし、約20mのスプリントを最大16本、運動-休息比を1:25とするべきであるとされている(79)。さらに、ロイター板と跳馬へ向かって疾走する基礎能力は、加速能力と視覚的に助走を制御して調整する能力の両方に依存している(13,15)。高速で走りながらも跳馬の直前で失速する体操選手は、パフォーマンスが制限される(13,15)。そこでコーチは、若年体操選手が跳馬やタンブリングを行なう間のランニングスピードを発達させ、その能力を跳馬のパフォーマンスへ転移させるべきである。この転移を促すには、様々な助走距離から単純に跳馬を跳ぶなど、早期から狙いを絞った運動を若年体操選手に実施させるとよい(13)。

### *柔軟性と可動性のトレーニング方法*

体操競技のコーチは、至適水準の柔軟性を達成するために、思春期前の感受性が高いとされる時期(98)を利用する。思春期の成長スパート開始後は、特に男子の場合、可動域がプラトーに達するか減少する(30)。体操競技の採点基準では極端な可動域が評価される。そこでコーチは青少年期を通じて柔軟性トレーニングを重視し、全身の可動域を最大化しなければならない。しかしこれには但し書きがあり、極端な可動域を利用する可能性がある場合は、保護装置として適切な水準の筋力が求められる。したがって体操選手へのS&Cプログラムは、関節周りの可動域の発達、適切な筋力、神経筋系の安定性のバランスをとり、傷害リスクを減らす一方でスキル獲得の可能性を向上させるべきである。

若年体操選手の柔軟性と可動性の至適水準を達成するために利用できるトレーニング様式は数多く存在する。静的ストレッチングは、持続時間10～30秒で1つのエクササイズにつき3回実施することが最適であると考えられる。持続時間をこれ以上延ばすと、柔軟性は高まるが、結合組織を弱める可能性がある(68,98)。柔軟性の維持と向上には頻度が重要であるため、体操選手の多くは毎日ストレッチングを行なう。そして、若年アスリートにおいてこのアプローチによるマイナスの影響を示す研究は存在しない(98)。トレーニング歴の長い体操選手にとっては、制御して行なうバリスティックなストレッチングが可動域の拡大にとって効果的な方法である(98)。固有受容性神経筋促通法(PNF)は、年少者の可動域を大きく拡大させる(96,114)。多くの体操競技コーチはこの手法を利用するが、ストレッチングが選手の限界を超えると、傷害を招きかねないため注意が必要である(98)。若年体操選手の可動域を発達させる方法を選ぶにあたっては、適切な処方と監督が必要である。

最近、若年体操選手の柔軟性と可動域の向上に摂動トレーニングが有効であり(72,100,101)、一時的には最大400%、長期的には最大100%向上することが報告された(101)。摂動トレーニングは可動域を向上させうるため、柔軟性が低いほうの脚に大きな利益があると考えられる(72)。摂動トレーニングが柔軟性の大きな改善をもたらす、根本的なメカニズムについてはまだ知られていないが、疼痛の低下(72,100)、拮抗筋における活性化の抑制(20)、血流増加による組織温の上昇(98)などが考えられている。

### 結論

若年体操選手を担当するS&Cコーチは、競技特異的トレーニングによる刺激とは異なる、有効なトレーニング刺激を提供しなければならない。体操競技の要求を考えると、筋力、スピード、パワー、柔軟性／可動性、および無酸素性能力が、体操競技におけるパフォーマンスのカギを握る決定因子であるとみられる。そしてこれらの因子のいずれも、S&Cの適切な処方によって向上させることが可能である。若年体操選手のこれらの身体特性を発達させるには多くのトレーニング方法を利用することができるが、テクニック実施能力を常に最優先しなければならない。重要なことは、トレーニングプログラムを設計する際に、成長と成熟が身体能力トレーニングの可能性に及ぼす影響を念頭に置くことである。◆

**謝辞**

Gregory D. Myerは、米国国立衛生研究所／国立関節炎・筋骨格・皮膚疾患研究所グラント(U01AR067997)による支援に感謝する。

## References

1. Arampatzis A, Bruggemann GP, Klapsing GM. Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Med Sci Sports Exerc* 33: 923–931, 2001.
2. Asseman FB, Caron O, Crémieux J. Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait Posture* 27: 76–81, 2008.
3. Atikovic[Combining Acute Accent] A, Smajlovic[Combining Acute Accent] N. The relationship between vault difficulty and biomechanical parameters. *Sc GYM* 3: 91–105, 2011.
4. Available at: http://www.fig-gymnastics.com/site/about/federation/population.

Accessed: November 22, 2017.
5. Available at: http://www.welshgymnastics.org/womens-artistic/, October 20, 2016.
6. Available at: http://www.fig-gymnastics.com/publicdir/rules/files/wag/WAG CoP 2013-2016 June 2015-E.pdf, October 22, 2017.
7. Balyi I, Hamilton A. *Long-Term Athlete Development: Trainability in Children and Adolescents. Windows of Opportunity, Optimal Trainability*. Victoria, Canada: National Coaching Institute British Colombia and Advanced Training and Performance Ltd, 2004.
8. Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomech* 6: 224–243, 2007.
9. Bencke J, Damsgaar R, Saekmose A, Jergensen P, Jorgensen K, Klausen K. Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scand J Med Sci Sports* 12: 171–178, 2002.
10. Bergeron MF, Mountjoy M, Armstrong N, Chia M, Cote J, Emery CA, Faigenbaum A, Hall G Jr, Kriemler S, Leglise M, Malina RM, Pensgaard AM, Sanchez A, Soligard T, Sundgot-Borgen J, van Mechelen W, Weissensteiner JR, Engebretsen L. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med* 49: 843–851, 2015.
11. Beunen G, Malina RM. "Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt". *Exerc Sport Sci Rev* 16: 503–540, 1988.
12. Bourdon P, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley M, Gabbett T, Coutts A, Burgess D, Gregson W, Cable N. Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *Int J Sports Physiol Perform* 12: S2161–S2170, 2017.
13. Bradshaw E. Target-directed running in gymnastics: A preliminary exploration of vaulting. *Sports Biomech* 3: 125–144, 2004.
14. Bradshaw E, Sparrow W. The approach, vaulting performance, and judge's score in women's artistic gymnastics. *Biomech Symposia*: 311–314, 2001.
15. Bradshaw EJ, Le Rossignol P. Anthropometric and biomechanical field measures of floor and vault ability in 8 to 14 year old talent-selected gymnasts. *Sports Biomech* 3: 249–262, 2004.
16. Burt LA, Naughton GA, Higham DG, Landeo R. Training load in pre-pubertal female artistic gymnastics. *Sc GYM* 2: 5–14, 2010.
17. Caine D, Maffulli N, Caine C. Epidemiology of injury in child and adolescent sports: Injury rates, risk factors, and prevention. *Clin Sports Med* 27: 19–50, 2008, vii.
18. Carrick FR, Oggero E, Pagnacco G, Brock JB, Arikan T. Posturographic testing and motor learning predictability in gymnasts. *Disabil Rehabil* 29: 1881–1889, 2007.
19. Croft JL, Zernicke RF, Von Tscharner V. Control strategies during unipedal stance on solid and compliant surfaces. *Motor Control* 4: 283–295, 2008.
20. Dallas G, Kirialanis P. The effect of two different conditions of whole-body vibration on flexibility and jumping performance on artistic gymnasts. *Sc GYM* 5: 67–77, 2013.
21. Dallas G, Zacharogiannis E, Paradisis G. Physiological profile of elite Greek gymnasts. *J Phys Ed Sport* 13: 27–32, 2013.
22. Davlin CD. Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills* 98: 1171–1176, 2004.
23. DiFiori J, Benjamin H, Brenner J, Gregory A, Jayanthi N, Landry G, Luke A. Overuse injuries and burnout in youth sports: A position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Br J Sports Med* 48: 287–288, 2014.
24. Dotan R, Mitchell C, Cohen R, Klentrou P, Gabriel D, Falk B. Child-adult differences in muscle activation—A review. *Pediatr Exerc Sci* 24: 2–21, 2012.
25. Faigenbaum A, Farrell A, Fabiano M, Radler T, Naclerio F, Ratamess N, Kang J, Myer G. Effects of integrative neuromuscular training on fitness performance in children. *Pediatr Exerc Sci* 23: 573–584, 2011.
26. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJR, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, Rowland TW. Youth resistance training: Updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res* 23: S60–S79, 2009.
27. Faigenbaum AD, McFarland JE, Keiper F, Tevlin W, Ratamess NA, Kang J, Hoffman JR. Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J Sports Sci Med* 6: 519–525, 2007.
28. Faigenbaum AD, Myer GD. Pediatric resistance training benefits, concerns, and program design considerations. *Curr Sports Med Re* 9: 161–168, 2010.
29. Faigenbaum AD, Myer GD, Naclerio F, Casas AA. Injury trends and prevention in youth resistance training. *J Strength Cond Res* 33: 36–41, 2011.
30. Falciglia F, Guzzanti V, Di Ciommo V, Poggiaroni A. Physiological knee laxity during pubertal growth. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 67: 325–329, 2009.
31. Falk B, Dotan R. Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 34: 107–112, 2006.
32. Ford KR, Shapiro R, Myer GD, Van Den Bogert AJ, Hewett TE. Longitudinal sex differences during landing in knee abduction in young athletes. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1923–1931, 2010.
33. Fransson PA, Kristinsdottir EK, Hafström A. Balance control and adaptation during vibratory perturbations in middle-aged and elderly humans. *Eur J Appl Physiol* 91: 595–603, 2004.
34. French DN, Gomez AL, Volek JS, Rubin MR, Ratamess NA, Sharman MJ, Gotshalk LA, Sebastianelli WJ, Putukian M, Newton RU, Hakkinen K, Fleck SJ, Kraemer WJ. Longitudinal tracking of muscular power changes of NCAA Division I collegiate women gymnasts. *J Strength Cond Res* 18: 101–107, 2004.
35. Gittoes M, Irwin G. Biomechanical approaches to understanding the potentially injurious demands of gymnastic-style impact landings. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 4: 4, 2012.
36. Granacher U, Goesele A, Roggo K, Wischer T, Fischer S, Zuerny C, Gollhofer A, Kriemler S. Effects and mechanisms of strength training in children. *Int J Sports Med* 32: 357–364, 2011.
37. Hall E, Bishop DC, Gee TI. Effect of plyometric training on handspring vault performance and functional power in youth female gymnasts. *PLoS One* 11: e0148790, 2016.
38. Hansen C, Cushman D, Anderson N, Chen W, Cheng C, Hon S, Hung M. A normative dataset of the balance error scoring system in children aged between 5 and 14. *Clin J Sports Med* 26: 497–501, 2016.
39. Hedbávný P, Sklenaříková J, Hupka D,

Kalichová M. Balancing in handstand on the floor. *Sc GYM* 5: 69–80, 2013.
40. Hewett T, Myer GD. The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exerc Sport Sci Rev* 39: 161–166, 2011.
41. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med* 34: 490–498, 2006.
42. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train* 42: 311–319, 2007.
43. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Med* 41: 221–232, 2011.
44. Jayanthi N, LaBella C, Fischer D, Pasulka J, Dugas LR. Sports-specialized intensive training and the risk of injury in young athletes: A Clinical Case-Control Study. *Am J Sports Med* 43: 794–801, 2015.
45. Jemni M, ed. *Cardiovascular and Respiratory Systems of Gymnasts*. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2011.
46. Jemni M, ed. *Energetics of Gymnastics*. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2011.
47. Jemni M, ed. *Specific Physical and Physiological Assessments of Gymnasts*. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2011.
48. Jemni M, Friemel F, Le Chevalier JM, Origas M. Heart rate and blood lactate concentration analysis during a high level men's gymnastics competition. *J Strength Cond Res* 14: 389–394, 2000.
49. Jemni M, Sands WA, eds. *Training Principles in Gymnastics*. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2011.
50. Katrichis NE, Moca A. Sports performance series: The planche. *Natl Str Cond Assoc J* 14: 6–9, 1992.
51. Kawamori N, Newton RU. Velocity specificity of resistance training: Actual movement velocity versus intention to move explosively. *J Strength Cond Res* 28: 86–91, 2006.
52. Khamis HJ, Roche AF. Predicting adult stature without using skeletal age—The Khamis-Roche method. *Pediatrics* 94: 504–507, 1994.
53. Kochanowicz A, Kochanowicz K, Niespodziuski B, Mieszkowski J, Aschenbrenner P, Bielec G, Szark-Eckardt M. Maximal power of the lower limbs of youth gymnasts and biomechanical indicators of the Forward handspring vault versus the sports result. *J Hum Kinet* 53: 33–40, 2016.
54. Komi PV. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech* 33: 1197–1206, 2000.
55. Lesinski M, Prieske O, Granacher U. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 50: 781–795, 2016.
56. Lloyd R, Cronin J. Plyometric development in youth. In: *Strength and Conditioning for Young Athletes Science and Application*. Lloyd RS, Oliver JL, eds. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2014. pp. 100.
57. Lloyd R, Cronin J, Faigenbaum A, Haff G, Howard R, Kraemer W, Micheli L, Myer G, Oliver J. The national strength and conditioning association position statement on long-term athletic development. *J Strength Cond Res* 30: 1491–1509, 2016.
58. Lloyd R, Oliver J, Hughes M, Williams C. The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *J Strength Cond Res* 26: 2812–2819, 2012.
59. Lloyd RS, Faigenbaum AD, Stone MH, Oliver JL, Jeffreys I, Moody JA, Brewer C, Pierce KC, McCambridge TM, Howard R, Herrington L, Hainline B, Micheli LJ, Jaques R, Kraemer WJ, McBride MG, Best TM, Chu BA, Alvar BA, Myer GD. Position statement on youth resistance training: The 2014 International consensus. *Br J Sports Med* 48: 498–505, 2014.
60. Lloyd RS, Meyers RW, Oliver JL. The natural development and trainability of plyometric ability during childhood. *J Strength Cond Res* 3: 23–32, 2011.
61. Lloyd RS, Oliver JL. The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *J Strength Cond Res* 34: 61–72, 2012.
62. Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Myer GD, De Ste Croix MBA. Chronological age vs. biological maturation-implications for exercise programming in youth. *J Strength Cond Res* 28: 1454–1464, 2014.
63. Lloyd RS, Radnor JM, De Ste Croix MBA, Cronin JB, Oliver JL. Changes in sprint and jump performances after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *J Strength Cond Res* 30: 1239–1247, 2015.
64. Louder T, Bressel M, Bressel E. The kinetic specificity of plyometric training: Verbal cues revisited. *J Hum Kinet* 49: 201–208, 2015.
65. Malina R, Bouche R, Bar-Or O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004.
66. Malina RM, ed. *Growth, Maturation and Development: Applications to Young Athletes and in Particular Divers*. Indianapolis, IN: Diving, 2007. pp. 3–29.
67. Marina M, Jemni M. Plyometric training performance in elite-oriented prepubertal female gymnasts. *J Strength Cond Res* 28: 1015–1025, 2014.
68. Marina M, Rodriguez FA. Physiological demands of young women's competitive gymnastic routines. *Biol Sport* 31: 217–222, 2014.
69. McLaughlin PA, Geiblinger H, Morrison WE. Take-off characteristics of double back somersaults on the floor. 13 International Symposium on Biomechanics in Sports, Canada, 1995.
70. McKay D, Broderick C, Steinbeck K. The adolescent athlete: A developmental approach to injury risk. *Pediatr Exerc Sci* 28: 488–500, 2016.
71. McMahon JJ, Comfort P, Pearson P. Lower limb stiffness effect on performance and training considerations. *Strength Condl* 34: 94–101, 2012.
72. McNeal JR, Edgerly S, Sands WA, Kawaguchi J. Acute effects of vibration-assisted stretching are more evident in the non-dominant limb. *Eur J Sport Sci* 11: 45–50, 2011.
73. McNeal JR, Sands WA, Shultz BB. Muscle activation characteristics of tumbling take-offs. *Sports Biomech* 6: 375–390, 2007.
74. McNitt-Gray JL, Munkasy B, Welch M. External reaction forces experienced by gymnasts during the take-off and landing of tumbling skills. *Technique* 14: 10–16, 1994.
75. McNitt-Gray JL, Yokoi T, Millward C. Landing strategy adjustments made by female gymnasts in response to drop height and mat composition. *J Appl Biomech* 9: 173–190, 1993.

76. Meyers RW, Oliver JL, Hughes MG, Cronin JB, Lloyd RS. Maximal sprint speed in boys of increasing maturity. *Pediatr Exerc Sci* 27: 85–94, 2015.
77. Mitchell C, Cohen R, Dotan R, Gabriel D, Klentrou P, Falk B. Rate of muscle activation in power- and endurance-trained boys. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 94–105, 2011.
78. Mkaouer B, Jemni M, Amara S, Chaabène H, Tabka Z. Kinematic and kinetic analysis of two gymnastics acrobatic series to performing the backward stretched somersault. *J Hum Kinet* 37: 17–26, 2013.
79. Moran J, Sandercock G, Rumpf MC, Parry DA. Variation in responses to sprint training in male youth athletes: A meta-analysis. *Int J Sports Med* 38: 1–11, 2017.
80. Morin JB, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour JR. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol* 112: 3921–3930, 2012.
81. Mostafavifar AM, Best TM, Myer GD. Early sport specialisation, does it lead to long-term problems? *Br J Sports Med* 47: 1060–1061, 2013.
82. Myer G, Ford K, Paulumbo J, Hewett T. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity bio in female athletes. *J Strength Cond Res* 19: 51–60, 2005.
83. Myer G, Jayanthi N, DiFiori J, Faigenbaum A, Kiefer A, Logerstedt D, Micheli L. Sports specialization, Part II: Alternative solutions to early sport specialization in youth athletes. *Sports Health* 8: 65–73, 2016.
84. Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *Am J Sports Med* 34: 445–455, 2006.
85. Myer GD, Lloyd RS, Brent JL, Faigenbaum AD. How young is "too young" to start training? *ACSMs Health Fit J* 17: 14–23, 2013.
86. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: A meta-analysis. *Am J Sports Med* 41: 203–215, 2013.
87. Nashner LM, ed. *Practical Biomechanics and Physiology of Balance*. San Diego, CA: Singular Publishing Group, 1997.
88. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Exp Physiol* 94: 731–738, 2009.
89. Oliver J, Brady A, Lloyd R. Well-being of youth athletes. In: *Strength and Conditioning Consideration for Young Athletes: Science and Application*. Lloyd R, Oliver J, eds. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2014. pp. 214–223.
90. Pasulka J, Jayanthi N, McCann A, Dugas LR, LaBella C. Specialization patterns across various youth sports and relationship to injury risk. *Phys Sportsmed* 45: 344–352, 2017.
91. Piazza M, Battaglia C, Fiorilli G, Innocenti G, Iuliano E, Aquino G, Calcagno G, Giombini A, Di Cagno A. Effects of resistance training on jumping performance in pre-adolescent rhythmic gymnasts: A randomized controlled study. *Ital J Anat Embryol* 119: 10–19, 2014.
92. Pion J, Lenoir M, Vandorpe B, Segers V. Talent in female gymnastics: A survival analysis based upon performance characteristics. *Int J Sports Med* 36: 935–940, 2015.
93. Quatman-Yates CC, Myer GD, Ford KR, Hewett TE. A longitudinal evaluation of maturational effects on lower extremity strength in female adolescent athletes. *Pediatr Phys Ther* 25: 271–276, 2013.
94. Radnor JM, Lloyd R, Oliver J. Individual response to different forms of resistance training in school-aged boys. *J Strength Cond Res* 31: 787–797, 2017.
95. Ratel S, Bedu M, Hennegrave A, Doré E, Duché P. Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *Int J Sport Med* 23: 397, 2002.
96. Rubini EC, Souza AC, Mello ML, Bacurau RF, Cabral LF, Farinatti PT. Immediate effect of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on hip adductor flexibility in female ballet dancers. *J Dance Med Sci* 15: 177–181, 2011.
97. Sands W. Injury prevention in women's gymnastics. *Sports Med* 30: 359–373, 2000.
98. Sands W, McNeal J, eds. *Mobility Development and Flexibility in Youth*. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2014.
99. Sands W, McNeal J, Jemnic M, Delonga T. Should female gymnasts lift weights? Sportsciorg 4, 2000. Available at: http://sportsci.org/jour/0003/was.html.
100. Sands W, McNeal J, Stone M. Vibration, split stretching, and static vertical jump performance in young male gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 41: 80, 2009.
101. Sands W, McNeal J, Stone M, Russel E, Jemni M. Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term. *Med Sci Sports Exerc* 38: 720–725, 2006.
102. Schoenfeld B. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857–2872, 2010.
103. Seely MK, Bressel E. A comparison of upper-extremity reaction forces between the yurchenko vault and floor exercise. *J Sports Sci Med* 4: 85–94, 2005.
104. Sheppard J, Hobson S, Barker M, Taylor K, Chapman D, McGuigan D, Newton R. The effect of training with accentuated eccentric load counter-movement jumps on strength and power characteristics of high-performance volleyball players. *Int J Sports Sci Coach* 3: 335–363, 2008.
105. Sobera M. Maintaining body balance in extreme positions. *Sport Biol* 24: 81–83, 2007.
106. Stratton G, Oliver JL, eds. *The Impact of Growth and Maturation on Physical Performance*. Oxon, United Kingdom: Routledge, 2014.
107. Suchomel T, Sands W, McNeal J. Comparison of static, countermovement, and drop jumps of the upper and lower extremities in U.S. Junior national team male gymnasts. *Sc GYM* 8: 15–30, 2016.
108. Theodoropoulou A, Markou KB, Vagenakis GA, Benardot D, Leglise M, Kourounis G, Vagenakis AG, Georgopoulos NA. Delayed but normally progressed puberty is more pronounced in artistic compared with rhythmic elite gymnasts due to the intensity of training. *J Clin Endocrinol Metab* 90: 6022–6027, 2005.
109. Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Cozzone P, Bendahan D. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med Sci Sports Exerc* 40: 918–925, 2008.
110. Valovich McLeod T, Decoster L, Loud K, Micheli L, Parker J, Sandrey M, White C. National Athletic Trainers' Association

position statement: Prevention of pediatric overuse injuries. *J Athl Train* 46: 206–220, 2011.
111. Van der Sluis A, Elferink-Gemser M, Coelho-e-Silva M, Nijboer J, Brink M, Visscher C. Sport injuries aligned to peak height velocity in talented pubertal soccer players. *Int J Sports Med* 35: 351–355, 2014.
112. Viru A, Loko J, Harro M, Volver A, Laaneots L, Viru M. Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *Eur J Phys Educ* 4: 75–119, 1999.
113. Vogler C, Bove KE. Morphology of skeletal muscle in children. An assessment of normal growth and differentiation. *Arch Pathol Lab Med* 109: 238–242, 1985.
114. Wicke J, Gainey K, Figueroa M. A comparison of self-administered proprioceptive neuromuscular facilitation to static stretching on range of motion and flexibility. *J Strength Cond Res* 28: 168–172, 2013.
115. Wilson G, Wood G, Elliott B. Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J Appl Physiol* 70: 825–833, 1991.

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 41, Number 1, pages 1-13.

## 著者紹介

**Sylvia Moeskops**：Cardiff Metropolitan Universityの博士課程に在籍し、ユース身体育成センターのコーチ。

**Jon L. Oliver**：Cardiff Metropolitan Universityの応用小児運動科学の上級講師であり、ユース身体育成センターの共同設立者。

**Paul J. Read**：Aspetar Orthopaedic and Sports Medicine Hospitalのストレングス＆コンディショニングコーチであり臨床研究者。

**John B. Cronin**：ニュージーランドのAUT Universityのストレングス＆コンディショニングの教授であり、Edith Cowan University の非常勤教授。

**Gregory D. Myer**：Cincinnati Children's Hospital Medical Centerのスポーツ医学部 リサーチ＆人間パフォーマンス研究所の責任者であり、University of Cincinnati医学部の小児学科と整形学科で最高職位に就く。

**Rhodri S. Lloyd**：Cardiff Metropolitan Universityの小児ストレングス＆コンディショニングの上級講師であり、ユース身体育成センターの共同設立者であり責任者。

Information

# 動画販売

現在開催を見合わせているセミナー等に代わるCEUの取得機会として、以下の教育コンテンツもご利用ください。ご購入いただくことでCEUが付与されます。

**■ コーチコース**

2019年度から実施しているNSCAジャパンコーチコース「レジスタンスエクササイズ(フリーウェイト・マシーン)コース」の講習内容を動画として販売しています。講習会で実際に実技を行うことも必要ですが、こちらからエクササイズの説明、エラー動作に関するワークを確認することができます。

【C E U】
0.1(カテゴリー D)

**■ S&Cカンファレンス**

2014～16年のNSCAジャパンS&Cカンファレンスで講演いただいた海外講師の動画を、期間限定4動画セット(CEU付き)で販売しています。

【販売期間】
2020年4月7日～10月31日
【C E U】
0.6(カテゴリー D)

ご購入はウェブサイトにて
[マイページログイン]→[会員限定コンテンツ]
→[セミナー動画配信]→[動画を購入する]