

Key Words【伸張性筋力：eccentric strength、高速度ランニング：high-speed running、多面的取り組み：multifaceted approach、予防：prevention】

ハムストリングスの筋挫傷：発生率、メカニズム、危険因子およびトレーニングの提案

Hamstring Strain Injuries: Incidence, Mechanisms, Risk Factors, and Training Recommendations

Chris Wing,¹ M.Sc. Chris Bishop,² M.Sc.

¹South Fremantle Football Club and Peel Regional Academy of Sport, Perth, Australia

²London Sport Institute, Middlesex University, Allianz Park, London, United Kingdom

要約

ハムストリングスの筋挫傷(HSI: hamstring strain injury)は、最も多く報告されるスポーツ傷害のひとつである。そのため、アスリートがHSIを経験する危険性を高める因子の特定を目指す研究が大幅に増加している。危険因子を特定することにより、専門職はHSIの発生率や重症度の低下を目的とした介入プログラムを計画できる。複数の因子がHSIの危険性を高める要因になっているため、介入は本来多面的でなければならない。このレビューではHSIの発生率、メカニズムおよび危険因子を概説し、併せて、HSIの発生率と重症度を低下させるために、エビデンスに基づくトレーニングを提案する。

はじめに

ハムストリングスの筋挫傷(HSI)は発生率と再発率が高く、多種目の競技全体を通して最も報告の多い下肢の傷害である(12,16,26,29,31,76,77,79,102,114)。これらの傷害は、急性(痛みを伴う突発的な衝撃または外傷性イベントの直接の結果として起こる)、オーバーユース(長期間にわたり不適切な高負荷/多量のトレーニングに曝露する)、または慢性ないし再発性(機能低下および適切な治療やリハビリテーションの不足による反復傷害で、急性傷害の形をとる場合がある)とみなされる(18)。HSIは時として実際に重症となる場合もあり、かつては回復に28日間以上かかる傷害と定義されていた(29)。多くの場合、HSIはアスリートの出場時間の大きな減少をもたらし、チームパフォーマンスに悪影響を与え、スポーツ団体にとって財政的な損失を招く可能性がある(41,44)。オーストラリアンフットボール(AFL)の2012年シーズンの報告によると、HSIがクラブに与えた損害は245,842ドルに上ったと推定される(44)。これは2003年シーズンに報告された数字と比較すると、71%増加

したと考えられる(44)。

このため、アスリートがHSIに苦しむことになる危険因子を特定することを目的として、非常に多くの研究が行われてきた。これらの危険因子は2つに大別される。修正可能な危険因子と修正不可能な危険因子である(56)。修正可能な危険因子はトレーニング介入による変更が可能であり、その中には、伸張性筋力の低下、疲労、柔軟性の低下、高速度ランニングの負荷、不十分で不適切なウォームアップなどが含まれる。しかし、HSIの原因となるいくつかの危険因子が特定されているにもかかわらず、HSIの予防プログラムを評価する研究のうちかなり多くが、単にハムストリングスの伸張性筋力だけに焦点を当てている。それらの予防プログラムには、多くの場合、ノルディックハムストリングスカールの利用が含まれる(2,90,107)。いくつかの例では、このような性質の介入により、HSIの発生が65%減少しただけでなく(2)、HSIによる時間損失も大きく減少した(90)。

このように進んでいるHSI研究とその後でのトレーニングの提案にもかかわらず、プロサッカー(31)、陸上競技

(72)、トゥエンティ 20 形式(各チーム 20 オーバー限定の試合。1 オーバーは 6 球なので合計 120 球となる。試合の進行ペースが速く、短時間で終わる)を導入後のクリケット(77)において、HSIは年々増加が報告されている。完全に説明することは困難であるが、これはHSI予防プログラムが他の修正可能な危険因子を重視していないことが原因かもしれない。さらに、受傷後のアスリートは、単にハムストリングスの筋力低下に苦しむだけでなく(25,50,54,64,73,74)、柔軟性の低下にも悩まされ(50,64)、それが再発の危険因子になると考えられる。したがって、HSI予防プログラムの中で、ハムストリングスの伸張性筋力だけではなく、その他の因子にも特別な注意を払う必要があると思われる。これらの介入プログラムが成功するためには、専門職がHSIの様々な種類、HSIの発生メカニズムおよび潜在的な危険因子について十分な理解をもつ必要がある。したがって本稿のレビューの目的は、傷害のメカニズム、傷害発生率、HSIに関する危険因子に関して概説することであり、併せて、多面的な傷害予防プログラムのためのエビデンスに基づくガイドラインの提供にも焦点を合わせる。

このレビュー全体を通じて重要なことは、この種の研究を比較する際に、当該研究内で用いられているそれぞれ異なる定義を尊重することである。例えばOrchardら(76)は、アスリートの試合への出場時間が失われるような傷害だけを傷害と定義する。対照的にEkstrandらは(29)、トレーニングや試合への参加を妨げるすべての傷害を含めている。これらの方法論における相違は、報告されたHSIの有病率や重症度にも影響を及ぼすと思われる。

ハムストリングスの解剖学

ハムストリングスの基本的な解剖学的構造と機能を理解することは、HSI

の危険性を理解することに有益となる。ハムストリングスの筋群は大腿部後面の3つの主要な筋で成り立っている。すなわち半腱様筋、半膜様筋および大腿二頭筋(長頭と短頭)である(18,108,113)。大腿二頭筋長頭、半腱様筋および半膜様筋は、膝関節と股関節の両方にまたがる二関節構造をもつ。この二関節構造が、ハムストリングスが2点で引き伸ばされる原因であり、しばしば高いHSI発生率の要因であると仮定される(114)。大腿二頭筋長頭は近位の腱により坐骨結節の内側小関節面に起始し、遠位で腓骨頭側面に停止する(18,108,113)。半腱様筋も同様に坐骨結節で起始し、遠位で脛骨粗面内側に停止する(18,108,113)。半膜様筋の近位の腱は坐骨結節の外側から起始し、脛骨内側顆関節丘の後面に停止する(18,108,113)。大腿二頭筋短頭は膝関節だけをまたぐ単関節筋で、大腿骨で起始し腓骨頭に停止する(18,108,113)。ハムストリングス単独の機能としては、短縮性筋活動により膝関節の屈曲と股関節の伸展を担う。より統合的で動的な筋活動(ジャンプ、スプリント、方向転換など)の間、ハムストリングスは腰椎骨盤股関節複合体と膝関節の安定化を助ける(51,86)。

HSIに関して特に興味深いことは、筋腹長を下降する筋内または中心の腱についてである(17,55)。筋内(中心の)腱は、筋線維が付着する支持構造として作用する(17)。この腱が傷害または損傷すると一層重症であるとみなされ、トレーニングや試合に復帰するまでの時間が長くなる(17,22,55,82)。これはCominら(22)の研究により強調されている。この研究では、45 件の大腿二頭筋傷害を確認し、そのうち 12 件には、中心腱の損傷が含まれていた。これらの外科的介入を必要としないが中心腱が関与する傷害からの回復時間(71 日)は、中心腱を含まない回復日数(21 日)よりも有意に長かった($p <$

0.01)(22)。したがって、傷害予防とリハビリテーションのために筋内の腱は重要な意味をもつ。

身体パフォーマンスにおけるハムストリングスの機能的役割

スポーツパフォーマンスにおけるハムストリングスの主な役割は、しばしば高速度ランニング中の機能を中心に論じられる。この間のハムストリングスの主要な役割は、遊脚期(フライト局面ともいう：ランニング周期の中でいずれの下肢も地面に接していない段階)の後期に膝の伸展速度を落とすことである。その結果、足は身体重心の真下に着地でき、その後ハムストリングスは能動的な股関節伸展筋としての役割を果たす(86,87)。遊脚期後期に、大腿二頭筋長頭、半腱様筋および半膜様筋はピークの歪力と筋力を発揮し、より大きなマイナスエネルギーを吸収する(86)。一般的な理論では、この時点でハムストリングスに与えられる追加の仕事が多数のHSIの原因であるといわれる(21,86,87)。

さらに、ハムストリングスは加速スプリントのメカニクスにおいて水平方向の力の発揮に重要な役割を果たすと思われる(68)。遊脚期後期に高レベルの股関節伸展トルク(伸張性ハムストリングス筋力)と最高レベルのハムストリングス筋電図(EMG)活動を示すアスリートは、より大きな水平方向の地面反力を生み出すことができると仮定される(68)。ランニングパフォーマンスにおけるハムストリングスの重要な役割は、Kyrolainenら(53)によってさらに裏付けられた。彼らは、ランニングスピードが上昇するにつれて発揮筋力も増すが、それは部分的にハムストリングスの筋活動によるものであると示唆した(53)。したがって、ハムストリングスはスピードの向上に顕著な役割を果たしていると思われるため、専門職は、アスリートの健康とパフォ

ーマンスの両方を最適化するための適切なトレーニング方法を理解することが基本的に重要である。

ハムストリングスの筋挫傷

HSIは最もよく報告されるスポーツ傷害のひとつである(12,16,18,26,29,31,76,77,79,102,114)。HSIは通常、重症度に応じてⅠ～Ⅲ型に分類される(18)。Ⅰ型の挫傷では、通常損傷される筋線維の数は少ない。Ⅱ型では相当数の筋線維が損傷される。さらにⅢ型では、筋が完全に断裂する(18)。同様の分類を用いて、Ekstrandら(30)は、プロのサッカー選手が、プレーに復帰できる時間に基づき、 17 ± 10 日(Ⅰ型)、 22 ± 11 日(Ⅱ型)、 73 ± 60 日(Ⅲ型)とした。さらに最近では、特異性を高め、プレーへの復帰時間に関して一層明確な情報を提供するために、補足的な傷害分類システムが提案された(20,69,81)。Pollockら(81)は、傷害の重症度の分類と合わせて、さらに接尾語を加えることで(筋膜、筋腱、または腱内)傷害部位を示すことにした。同様にChanら(20)は新しい分類システムを提案した。それは、損傷部位(近位の筋腱接合部、筋、または遠位の筋腱接合部)と損傷箇所(近位、中央、または遠位)と解剖学的部位(筋内、筋膜、筋膜／筋膜周辺、筋腱間または混合)の2つの追加の接尾語をもつ筋損傷を伴う。傷害分類内のこのような情報を含めることが、傷害予防とリハビリテーションの実践で専門職に役立つことが提案されている(20,69,81)。

ハムストリングス筋挫傷の種類

Ⅰ型の挫傷は通常、スプリント関連の挫傷といわれ、ラグビー、陸上競技、各種フットボールなどのスポーツで典型的に報告される(5,16,26,29,76,79,114)。これらの挫傷は、ハムストリングス筋群が、高速度のランニングの遊脚期後期に下肢の速度

を落とし膝伸展をコントロールするために、伸張性筋活動を行なう必要がある際にしばしば発生する(21,42,57,88)。このような傷害のメカニズムは、Heiderscheitら(42)およびSchacheら(88)の研究によりすでに裏付けられている。著者らはランニング中のハムストリングスの傷害が起こる時間枠を調査し、傷害が遊脚期後期に起こるとの結論を得た。Schacheら(88)はさらに、この傷害局面中に、大腿二頭筋は直立姿勢で見られる長さより12%も長いピーク筋長に達すること、また内側ハムストリングスの標準的なピーク筋長を超えると推定されることを報告した。さらにHigashiharaら(45)の報告によると、ランニングスピードがアスリート個人の最大速度の85～95%まで増加すると、ハムストリングスの筋活動が増大する。よくあることだが、大腿二頭筋はⅠ型の挫傷が起こる主要部位であり、Asklingら(5)は、研究対象の18名の一流スプリンターが苦しんだ18件のハムストリングスの傷害において、大腿二頭筋(長頭)が主要な損傷部位であったと述べている。さらに8名のスプリンター(44%)は追加の傷害も負ったが、7名は半腱様筋で1名は大腿二頭筋短頭であった(5)。

Ⅱ型のHSIは、通常、筋を伸ばすことに関連した傷害とみなされる(18)。これらの傷害が最もよく発生するのは、組み合わせた過度な筋の伸長中で、股関節屈曲と膝関節伸展を行なっている最中である(6)。Asklingら(6)の報告によると、この種の傷害は、いくつかのスポーツ(サッカー、ダンス、柔道、体操、スプリント走など)の様々な競技活動中に異なる運動動作(高く脚を上げたキック、筋を伸ばす動作、矢状面でのスプリントおよび側方への開脚など)で起こる可能性がある。しかし、最も頻繁にハムストリングスの傷害がみられるのはダンサーで、Asklingら(3)によると、急性HSIの66%が矢状面のス

プリントで、12%が側方への開脚で発生した。これらの傷害は、通常は半膜様筋に影響を及ぼす。Asklingら(6)の報告では、挫傷のうち83%はこのⅡ型の挫傷であり、すべての半膜様筋挫傷では、その近位の遊離腱(腱内に筋線維が挿入されていない部分)が関与している。専門職は、指導中のアスリート集団においてどの種のHSIが起こる可能性が最も高いか理解し、一層特異的なリハビリテーションプロトコルを実践できるようにすることが重要である。

Ⅰ型の挫傷を負ったアスリートは、Ⅱ型の挫傷に比べ、より大きな機能障害を示すことが多いが、回復時間はより早いと報告されている(4)。Asklingらによる研究(4)は、Ⅰ型とⅡ型の挫傷の両方を負ったアスリートは、患側において傷害発症後6週間で非患側の脚部の筋力と柔軟性の90%以上の評価を得たことを明らかにした。しかし自己報告によると、受傷前のパフォーマンスレベルまで回復した時間には著しい差が認められ(Ⅰ型：平均16週間[範囲=6～50週間]およびⅡ型：平均50週[範囲=30～76週間])、リハビリテーションの期間に、主観的な情報と客観的な情報の両方が必要であることが確認された(4)。注目すべきは、Asklingらの研究(4)において、HSIのこれらの2つの異なる分類は、2つの異なるスポーツ集団を代表していることであり(Ⅰ型：スプリンター、Ⅱ型：ダンサー)、それが回復時間の違いに影響を与えた可能性もある。

ハムストリングスの筋挫傷の発生率、時間損失、発生時間、および典型的重症度

各種スポーツにおけるHSIの発生率と時間損失は表1に要約されている。プロサッカーにおけるHSIの発生率は広く報告されてきた。Petersenら(79)によると、1シーズン中に1クラブ

当たり平均3.4件(範囲=1~5件)のHSIが報告されている。Woodsら(114)は1クラブ当たりの傷害発生件数はさらに高く、平均値5件(範囲=0~16)であると報告した。またEkstrandら(29)は、クラブは各シーズンに約7件のHSIを予想できると主張した。これは、AFLに関して報告された件数に類似している。Orchardら(76)の報告によると、1995年のシーズン中に6件の傷害が発生した。より最近では、2018年のAFLにおける傷害報告によると、HSIのシーズン中の発生件数は1クラブ当たり6.35件と際立っている(1)。これら2件の研究において、各クラブのシーズン当たりのHSIの件数が類似しているということは、AFLにおけるHSIの発生は23シーズンにわたり一貫しているというエビデンスを提供している(1,76)。さらに、AFLの傷害報告は、同一シーズン中のHSIの種類と同側の発生率が20%であることも明らかにした(1)。傷害発生率はラグビーユニオン(1,000選手時間当たり5.6件)(16)、クリケット(1チーム1,000日当たり22.5件)(77)、全米大学体育協会(NCAA)の広範囲な競技(10,000回の参加につき3.05件)(26)などが報告されている。最後に、学生ダンサーの集団内では、レトロスペクティブ(後ろ向き)分析により、アスリートの51%が、大腿部後面の痛みを経験したことがあると報告した(3)。したがって、HSIは多数のスポーツ集団全体で広まっていると思われる。

ハムストリングスの傷害による時間損失は、傷害発生そのものよりも重要な因子とみなされている。究極的には、アスリートが参加できない時間の量がチームのパフォーマンスと試合結果に直接影響を与える可能性があるからである(41)。この点は2018年のAFL傷害報告書で強調されていて、22試合のシーズン中に、HSIによって、選手が出場できない試合数の合計がの

べ25.19試合になることが予想され、究極的にチームの戦術やメンバー起用に有害な影響を与えた可能性があることを指摘した(1)。時間損失の報告は、プロサッカーチームにおいて、かなり一貫していると思われる。Woodsら(114)(18日)、Ekstrandら(31)(17日)、およびPetersenら(79)(21.5日)であり、傷害当たりの平均時間損失はすべて類似の値が報告されている。Woodsら(114)はさらに、この18日間の時間損失期間中に、アスリートは3回の試合出場機会を逃す可能性が高いと報告した。NCAAのアスリートにおいては、HSIの37.7%が<24時間の時間損失、6.3%が>3週間の損失(26)であった。また、ハムストリングス傷害の重症度がEkstrandら(29)によりさらに明らかにされた。重度(時間損失>28日)に分類された傷害のうち12%がハムストリングスの傷害であった。

HSIの発生(31,79,114)と発生率(26)は、トレーニング中よりも試合中により多く見られることが報告されている。これは試合中の強度が増していることを示唆しているだけでなく、アスリートの試合の要求に対してトレーニングによる準備が十分ではないことも示唆している(29)。この見解は、さらにEkstrandら(29)により支持されている。著者らは、HSIはシーズン前に比べシーズン中に一層頻繁に起こり、これは、アスリートの能力向上プログラムの中で、1年を通して、絶えずハムストリングスの筋群のトレーニングを行なうことの重要性を強調している。さらに、プロサッカーでは、HSIの47%が前半と後半の最後の1/3で起きているとの報告があり、これは疲労が一因である可能性を示唆している(114)。

磁気共鳴映像法(MRI:magnetic resonance imaging)によるハムストリングスの傷害の研究によると、プロサッカーでは2007年に207件の傷害が明らかとなり、そのうち13%が0型

(MRIが微小で目に見える病変は発見されない)、57%が1型、27%が2型、3%が3型であった(30)。プロサッカーを調査した2つ目の研究でも類似の結果が得られ、1,614件のハムストリングス傷害が報告されたうち、10%が最小限で、21%が軽症、54%が中等症、15%が重症に分類された(31)。これらの研究内の結果によると、サッカー選手の間では、大多数のハムストリングスの傷害は本質的に軽症から中等症、すなわち0型からⅡ型に分類されることを示唆すると思われる。

傷害のメカニズム

表1で示した研究の中で、ランニングとスプリントがハムストリングスの傷害の主要なメカニズムであることが示された(16,26,30,36,114)。Ekstrandら(30)は、サッカー選手の間でのハムストリングス傷害の70%はスプリント走と高速度ランニングが原因であると強調している。同様にGabbeら(36)も、AFLの一流選手のハムストリングス傷害は、73%がランニングまたはスプリントに起因することを明らかにした。これらの数値は、Woodsら(114)が報告した値よりはるかに大きい。彼らは、ハムストリングスの傷害の57%がランニングが原因であると主張した。NCAAのアスリートの研究においては、ランニングやスプリント走が原因のHSIの割合は、他のチームスポーツでは、アメリカンフットボール(48.4%)、ラクロス(男性35.64%、女性48.5%)、バスケットボール(男性25%、女性35.1%)、そして屋外陸上競技などの個人競技(男性58.3%、女性46.9%)であるとの報告がある(26)。さらに、ラグビーユニオンの選手の中では、「バック」のプレーポジションはより高い頻度でハムストリングスの傷害を負うことが示されたが、おそらくこのグループの選手に対しては高速度ランニングに対する要求がより大きいためである

う(16)。

研究に含まれる他のハムストリングス傷害のメカニズムとして報告されているのは、ストレッチング(6,30,114)、スライディング(30)、ターン(30,114)、ツイスト(30,114)、キック(6,30,114)、オーバーユース(26,30)、ジャンプ(30,114)およびレスリングなどのスポーツにおけるエスケープ／スパリーング／テイクダウンなどの技である

(26)。以上をまとめると、これらの活動はチームスポーツのアスリートにみられるスプリント関連の傷害ほど発生率は高くないが、その重要性を過小評価すべきではない。キック動作は、対象がボールであれ対戦相手であれ、研究内でHSIのメカニズムとして強調されている(6,15,37)。かつてAskling(6)は、バレーやテコンドー、サッカーで行なうハイキック中のHSIを確認した。

ラグビーユニオンの選手では、Brooksら(15)が、HSIの約10%はキックが原因であり、時間損失(36日)に関して最も重要であると説明した。さらにGabbeら(37)は、地方レベルのAFLでは、HSIの19.2%がボールキックが原因であったと報告した。さらに、プロサッカーでは、HSIの55%がキックの利き脚で起きたと報告された(30)。さらにLordら(59)は、傷害を負った研究

表1 各種スポーツにおけるハムストリングスの傷害による時間損失

著者	被験者	研究期間	ハムストリングス傷害の定義	傷害発生件数	時間損失
Brooksら(16)	ラグビーユニオンのプロ選手546名	2シーズン	すべてのトレーニングまたは試合への全面的な参加または出場が>24時間妨げられたすべての傷害事例	5.6件／1,000選手時間	合計1,176日 151日／1,000選手時間
Ekstrandら(29)	23のUEFAサッカークラブ	7シーズン	トレーニングまたは試合への全面的な参加または出場が妨げられた傷害事例	選手25名中7名でHSIが発生	重症事例(>28日喪失)のうち12%がHSI
Orchardら(76)	AFLのプロ選手37名	1シーズン	臨床的に診断され、また選手の試合出場時間が失われた傷害、ただし練習時間だけが失われた軽度の傷害は含まない	6件	平均2.5試合の損失 範囲1～6日
Orchardら(77)	一流クリケット選手	20年	医療従事者による診断	試合の傷害発生件数22.5件／チーム出場日1,000日	報告なし
Ekstrandら(31)	36のサッカークラブ	13シーズン	トレーニングまたは試合への全面的な参加または出場が妨げられたすべての傷害事例	合計傷害発生件数1,614件 1.2件／1,000選手時間	平均時間損失17日
Daltonら(26)	25のNCAAのスポーツチーム	5年度分	NCAA公認の練習または試合中に発生し、アスレティックトレーナーにより確認された傷害	合計傷害発生件数1,142件 3.05／10,000時間	37.7%時間損失<24時間 6.3%時間損失>3週間
Woodsら(114)	91のプロのサッカークラブ	2シーズン	通常のトレーニング中または試合中に負傷し、正規のトレーニングや試合に48時間以上参加できなかった傷害	ハムストリングスの傷害の合計発生件数は796件(749件が挫傷)、全傷害件数の12%を占める 平均5件／1クラブ1シーズン	傷害1件当たり平均18日および3試合の損失、クラブの時間損失は1シーズン当たり90日および15試合と予想
Petersenら(79)	一流サッカー選手374名	12ヵ月	トレーニングまたは試合で生じた大腿部後面の痛みの自己報告	ハムストリングスの傷害は3.4件／1チーム1シーズン	傷害1件当たり平均21.5日
Asklingら(3)	学生ダンサー98名	レトロスペクティブ研究：無期限	大腿部後面の痛みの自己報告	51%が負傷していると報告	損失の範囲は2週間～80ヵ月まで
Gabbeら(36)	オーストラリアンフットボール選手222名	1シーズン	少なくとも1試合に出場できなかった傷害	14%が負傷していると報告	報告なし
Oparら(72)	陸上競技選手48,473名	3年	大腿部後面の急性痛により試合に出場できなかった傷害、経過観察の臨床検査で陽性	118件、全傷害件数の24.1%	報告なし

HSI＝ハムストリングスの筋挫傷

対象者の100% ($n=20$)が、キックの利き脚でHSIを起こしたと報告した。その理由はまだ十分に確定されていないが、Rahnamaら(83)は、キックの利き脚の膝関節屈曲筋群は2.09 rad/sで測定した際に反対側の脚より筋力が弱く、テストに参加したアスリートの68%は両脚間の筋力の差が $>10\%$ であったことを明らかにした。したがって、筋力不足がHSIの危険因子のひとつとして強調されているように、パフォーマンス中にキックする脚部に過大な負荷がかかる可能性と合わせると、利き脚の劣った筋力が傷害の起こりやすさの増加に一定の役割を果たすと想定することは合理的である(83)。

筋を伸ばす動作、側方への開脚、矢状面のスプリットなどを行なうことは、バレエ、ダンス、ロッククライミング、テニス、サッカー、柔道、アイスホッケーおよび体操など、様々なスポーツにおける傷害のメカニズムとして報告されている(6)。この種の傷害は、ダンサーの中で広く報告されている。実際、Asklingら(3)は、学生ダンサーの集団内で、急性HSIの88%がスプリットや開脚など、ゆっくりとした活動中に起きていると述べた。プロサッカーなど他のスポーツにおいては、頻度はより低くHSIの約5%ではあるが、筋を伸ばす動作とスライディング関連のHSIがEkstrandらにより報告された(30)。さらに、13件のHSIがNCAAのレスリング選手の集団において報告されたが、スパarring、テイクダウンおよびエスケープなどの活動を行なう際に受傷し、HSI全体のそれぞれ15.4%の原因であると報告された(26)。ランニングとスプリント走がHSIの最も一般的な原因として報告されているが、他の可能なメカニズムを確認することも重要である。それは、専門職がHSIの危険性を理解し、担当スポーツにとって適切な傷害予防計画を作成するための重要な情報である。

傷害の危険因子

ハムストリングスの傷害と再発に関連したいくつかの危険因子が研究の中で報告された。これらは2つの明確に異なるグループに分類できる。すなわち修正可能な危険因子と修正不可能な危険因子である。修正可能と分類された危険因子は、目標(アスリートの筋力増大など)を定めたトレーニング介入を通して、多くの場合、危険性を低減できる因子とみなされる。修正不可能な因子は、アスリートや専門職のコントロールが及ばない(アスリートの年齢など)。これらの因子はしばしば、それぞれのスポーツに特異的な場合がある。例えば、高速度ランニングの負荷はレスリングでは危険因子ではないが、サッカーでは危険因子になりうる。レスリングでは、例えば筋力レベルが未熟であるというような、すべてのアスリートに包括的に当てはまる危険因子もある。これらの危険因子とそれらがトレーニングに対してもつ意味を次節で論じる。

修正可能な危険因子 疲労

前述のように、ハムストリングスの傷害はしばしば試合の終盤で起こることから、おそらく疲労が寄与因子であると想定できるだろう。なかには、疲労が膝関節屈曲筋の伸張性筋力、したがって、ハムストリングスが力を発揮し力に耐える能力など、すでに確定されている危険因子に果たす役割を調査した著者もいる。Smallら(95)およびGreig(39)は、どちらもサッカーに特異的な疲労プロトコルを用いて、それぞれ 60° 、 120° 、 180° および 300° /sの等速ダイナモメータによる筋力測定を通して、トルクに対する疲労の影響を測定した。この研究の中でSmallら(95)は、疲労を誘発するプロトコル中に、ハムストリングスの伸張性ピークトルクおよび機能的なハムストリングス：大

腿四頭筋トルク比(H:Q)(伸張性ハムストリングス対短縮性大腿四頭筋)が有意に低下することを明らかにした(95)。さらに著者らは、ハムストリングスも大腿四頭筋とともに、短縮性ピークトルクには疲労による有意な変化はみられないことに気付いた(95)。またGreig(39)は、すべての収縮速度において、短縮性膝関節屈曲筋と伸張筋のピークトルクに有意な変化は認められないこと、しかし、ハムストリングスの伸張性トルクの有意な減少が示されたことを明らかにした。それはより高速での活動中に一層明白であった。これは、疲労時に高速で力を産生しなければならないと、ハムストリングスがより大きな影響を受けることを示唆している。これは高速度ランニングとHSIの関係を考慮する場合に特に重要であると思われる(39)。

力を発揮するハムストリングスの能力が疲労により低下することは、Lordら(58,59)も支持している。彼らの最初の研究では、非電動式トレッドミル上での 10×6 秒の反復スプリントテスト中に、以前HSIを経験した脚部において、水平方向の平均発揮筋力が有意に減少したことが強調された(58)。2番目の研究は、同じ 10×6 秒の反復スプリントのプロトコルを完遂後に、 180° /sの等速性テスト中の膝関節屈曲筋と膝関節伸張筋の短縮性ピークトルクを測定した(59)。著者らは、ハムストリングスの傷害経験のある脚部だけに、膝関節屈曲筋の等速性トルクと短縮性H:Q比の有意な低下を見出した(59)。さらに、膝関節屈曲筋のトルク低下により、100%正確に、以前負傷した脚部を特定することができた(59)。したがって、疲労状態では、負傷経験のある脚部はより大きく機能が低下すると思われるため、疲労はハムストリングスの傷害再発にも顕著な役割を果たす可能性があると思われる(58,59)。Coratellaら(23)もまた、疲労誘発プロトコルの

実施後、短縮性と伸張性の両方の筋活動において、ピーク関節トルク角度の有意な増加を明らかにした。このプロトコルは、Loughborough間欠的シャトルテスト(20 mのシャトルランで、スプリント走、ウォーキングおよび各自の最大有酸素性速度[MAS: maximal aerobic speed]の55 ~ 95 %でのランニングを含む)からなる。著者らの仮定では、これらの疲労によって誘発された変化(ハムストリングスがより短い筋長でより大きな力を発揮する)は、膝がほぼ最大伸展中、すなわちハムストリングスが引き伸ばされた位置にある時、大腿四頭筋に対抗して力を発揮する能力が損なわれることを強調している(23)。しかし、これらの測定が座位で行なわれたこと、したがってスプリント走の運動を示してはいないことに注意が必要である(23)。

ハムストリングスが長い筋長での力発揮能力が低下すること、そしておそらくさらに重要なこととして、拮抗する力を吸収する能力が減少することは、傷害の危険因子としての疲労への理解促進に役立つと思われる。スプリント走中に、ハムストリングスは、遊脚期後期に脚部の振り出しの慣性に対抗して膝関節伸展の速度を落とすために伸張性筋活動を行なう。また能動的な股関節伸展筋として短縮性筋活動もする(57,78)。大腿二頭筋と半腱様筋と半膜様筋の歪力、力そしてエネルギー吸収のすべてがピークに達するのはこのとき(最終の振り出し)である(86)。一旦疲労すると、ハムストリングスのエネルギーの吸収と力の産生の両能力が低下し、次の課題を行なう能力が損なわれる可能性が高く、大腿四頭筋の優位(H: Q比の低下により示される)が伴う時、ハムストリングスの傷害の危険性は高まりやすい(21,23,57,86,95)。さらに、(疲労すると)ハムストリングスの活性パターンが変わることも、潜在的な傷害の原因として提起された

(80,110)。Pinnigerら(80)の説明では、疲労下では筋の活性化がより早く開始するため、ハムストリングスのEMG活動の持続時間が有意に延長される。これは、ハムストリングス筋群の低下した力発揮能力を克服するメカニズムであるかもしれないと示唆された(80,110)。

大腿二頭筋の筋束長

大腿二頭筋の筋束長は、HSIの発生と再発の原因であると諸研究で論じられている(9,34,101,102)。一流サッカー選手を対象とした、Timminsら(102)によるプロスペクティブ(前向き)研究では、10.56 cm未満の短い大腿二頭筋の筋束長は、HSIの危険性を4.1倍高めると報告された。さらに、Timminsら(101)によるレトロスペクティブ(後ろ向き)研究では、傷害後、筋の厚みに相対的な筋束長が、負傷していない対側の脚部に比べて有意に減少した($p < 0.001$)ことを明らかにした。

短い筋束長が傷害の危険性の増加に寄与するメカニズムは、一連のサルコメアの数減少に起因すると思われ、それらが伸張性筋活動中に過度に引き伸ばされると仮定される(9,102)。これはさらに瘢痕組織の存在と形成により、傷害後にはさらに悪化する可能性があり、過剰に引き伸ばされる際に筋束にかかる負担を増大させられると思われる(34,52,93)。したがって、短い大腿二頭筋の筋束長は、最初のHSI発生と傷害後の再発の両方で影響を与える可能性があり、傷害予防とリハビリテーションの両プログラムで検討すべき因子である。

高速度ランニングの負荷

高速度ランニングすなわちスプリント走は、ハムストリングスの傷害メカニズムとしてすでに特定されている。アスリートに対する負荷の急上昇が軟部組織傷害の危険性を増大させるこ

と、また適切に計画された精力的なトレーニングが傷害の危険性を低減することは十分に報告されている(38,48)。Maloneら(63)は、ゲーリックフットボール(アイルランドの国民的スポーツ)の一流選手37名における高速度ランニングへの曝露を調査し、この活動への曝露が不足しても多すぎても傷害の危険性が高まることを見出した。具体的には、最大速度運動を週6 ~ 10回行なっているアスリートは、5回以下または11回以上完遂する選手に比べ傷害の危険性が低かった(63)。著者らはさらに、最大速度の95%を超えるランニングに曝露されたアスリートは、トレーニングの保護作用から利益を得たと説明した(63)。Maloneら(61)による補足的な研究では、高速度ランニング(>14.4 km/h)で351 ~ 455 mおよびスプリント速度(>19.8 km/h)で75 ~ 105 mという週ごとの大きな変化が傷害の危険性を高めたことを報告した。さらに、中程度の距離(高速で701 ~ 750 m、スプリント速度で201 ~ 350 m)を完走したアスリートは、比較的少ない量(高速で <674 m、スプリント速度で <165 m)を完走したアスリートに比べ傷害の危険性が低かった(61)。

これらの結果はDuhigら(28)によってある程度支持される。その報告によると、傷害発生前4週間の標準的な平均値(各アスリートの2年間のセッションの平均値)より速い高速度ランニング(>24 km/h)の距離が、アスリートがハムストリングスの傷害を負う可能性をより高めた。さらに、Ruddyら(85)が行なったAFLの一流選手220名が参加した研究では、 >24 km/hでのランニングの完走距離をHSIとの関係においてモニタリングすることを支持している。彼らの報告によると、 >24 km/hで完走した週間絶対距離(>653 m、相対的リスク[RR]=3.4)、 >24 km/hで完走した絶対距離の週ごと

の変化(> 218 m, RR=3.3)、>24 km/hで完走した距離の相対的变化(> 2.00, RR=3.6)、さらに>24 km/hで完走した距離と>10 km/hで完走した距離との割合(>2.5%, RR=6.3)が、次週にHSIが起こる最大の有意な危険因子とされた(85)。しかし、有意なRRの値にもかかわらず、著者らは、その後負傷したアスリートと負傷しなかったアスリートとの間には、完走距離に大きな重複があると報告した(85)。したがって、>24 km/hで完走した距離とHSIとの関連性は示されたものの、各アスリートレベルでHSIを予測することはできなかった。さらに強調すべきは、ランニングの絶対的変数のいずれも、感度も特異性とともに0.6以上の値は示さなかった(85)。前述の研究はすべてがハムストリングスの傷害に特化した研究ではないが、不適切な高速および全速力のランニングは軟部組織の傷害増加に結びつくように思われる。したがって、高速度ランニングとスプリント走はハムストリングスの傷害メカニズムとして報告されているため、これらの種類の活動への曝露に対しては、HSIの危険因子として特定の注意を払う必要がある。

筋力および下肢間と下肢内の非対称性

ハムストリングスの筋力と非対称性は、修正可能な危険因子として広く指摘されている(12,19,25,75,76,100,102,116)。非対称性は2つの形式で存在する。すなわち下肢間(左右の脚部間の差)(12,25)と下肢内(同脚の大腿四頭筋とハムストリングスの差)(116)である。下肢内の差はしばしば比率として報告される(116)一方、下肢間の差は百分率(%)で表示される(12,25)。多くの場合、短縮性筋活動のH:Qはハムストリングスと大腿四頭筋の間の筋力差を明らかにするために調査が行われてきた。研究によると、その後負傷した下肢では、負傷

しなかったアスリートや負傷しなかった下肢に比べ、H:Q比の大幅な低下が明らかであることが強調された(19,76,116)。実際、Yeungら(116)の説明では、 180° /sの角速度で短縮性筋力を測定した際、0.6より低い値は傷害の危険性を17倍まで高めた。しかし、4年間の競技シーズンを通して一流サッカー選手614名を調査した研究では、著者はH:Q比の測定値とその後のHSIとの間に相関関係は報告せず、H:Qが将来のHSIの潜在的危険因子であるとの裏付けは得られなかった(109)。 60° と 300° /sで測定した短縮性H:Qでは、負傷した下肢と負傷していない下肢の間に有意差は指摘されなかった($n=167$)(109)。さらに複数のロジスティック回帰分析後、オッズ比は 60° と 300° /sの両速度で有意ではないことが報告された($n=563$)(109)。したがって、研究のサンプル数と時間経過を条件とすると、HSIの予測におけるH:Qの値値には疑問が残る。

前述のハムストリングス筋群における主要な役割(遊脚期後期に膝の伸展速度を落とす伸張性機能)により、H:Q比のより機能的な評価は、ハムストリングスの伸張性筋活動対大腿四頭筋の短縮性筋活動を評価することである(23,24)。この方法はCroisierら(24)のレトロスペクティブ研究で採用された。彼らは以前ハムストリングスを負傷した被験者の中で、負傷した下肢(0.73 ± 0.24)と負傷していない下肢(0.90 ± 0.16 , $p < 0.01$)の間の機能的比率に有意なアンバランスを発見した。しかし、Bennellら(11)によるプロスペクティブ研究では、機能的H:Q比の比較を含め、等速性テストに予測的な利益は認められなかった。同様にVan Dykら(109)は、機能的H:Q比を調査した際、負傷経験のある下肢と負傷経験のない下肢の間の有意差は見出さなかった。しかし、伸張性トルクは 60° /sで測定し、大腿四頭筋の短縮性トルク

は 300° /sで測定したことに注意が必要である。さらにハムストリングスは、(大腿四頭筋のような)より高速の伸張性筋活動に関して測定は行われなかったが、高速でのテストが一層高速度ランニングに示唆的であると思われる(109)。前述したように、多方向へのサッカーに特異的な疲労誘発プロトコルの実施中に、Smallら(95)は機能的H:Q比の有意な低下に気付いた。よって、疲労状態で求めたこれらの比率は、傷害予測に一層感度が良いことが示唆される。しかしSmallら(95)が傷害とのいかなる関係も報告していないことに注目すると、この分野のプロスペクティブ研究がさらに必要である。

ハムストリングスの傷害がしばしば弱いほうの下肢で起こることが複数の研究で報告されているが、これは、下肢間の筋力の違いが考慮すべきHSIの因子であることを示唆している(25,76,100)。Sugiuraら(100)の研究は、等速性テストにおいて、負傷した下肢と負傷していない下肢の間には、ハムストリングスの伸張性筋活動と股関節伸筋群の短縮性筋活動においても、下肢間の有意な非対称性が存在することを説明した。さらにOrchardら(76)は、あるアスリートのハムストリングスと対側との比率が < 0.92 の場合には、傷害の危険性が有意に増加することに気付いた。これは有益な知見であるにもかかわらず、この値が両下肢間の割合(%)の差として報告されれば、現場の専門職にとって一層実用的で役立つ、十分に理解されると思われる。この結果は、サッカー選手462名を被験者としたCroisierら(25)の研究によりさらに裏付けられている。彼らは、下肢に有意なアンバランスがあると(短縮性または伸張性のハムストリングス筋力において左右の脚部の差が $> 15\%$ の場合)傷害を負う危険性が4~5倍高く(25)、このアンバランスを $< 5\%$ に下げるとは、傷害リスクを有意

に低下させ、RR比4.66～1.43の傷害の危険性が減少したと報告した(25)。

筋力のアンバランスは、ノルディックハムストリングスエクササイズ中にテストした際に危険因子としてさらに強調された(12)。プロスペクティブ研究において、その後負傷した下肢は負傷しなかった下肢よりも有意に弱く、左右の筋力に $\geq 15\%$ の差または $\geq 20\%$ の差があると、傷害の危険性はそれぞれ2.4倍と3.4倍に増加した(12)。ノルディックハムストリングスエクササイズのパフォーマンス中にさらに行なわれた測定では、筋力が危険因子であることの裏付けを提供している。Oparら(75)とTimminsら(102)はどちらも、より筋力の弱い側の下肢でアスリートが傷害を負う危険性が高まることを報告した。AFLの一流選手210名の集団において、プレシーズン開始時の伸張性筋力が256 N以下だった選手と、プレシーズンの最後に279 N以下だった選手は、それぞれ2.7倍および4.3倍危険性が高かった(75)。この結果はさらにTimminsら(102)により支持されている。著者らは膝関節屈曲筋の伸張性筋力が10 N増大するごとに、傷害の危険性は8.9%低下することを見出した。最後に、負傷していない下肢/被験者と比べると、ハムストリングスの傷害後には、ハムストリングスの筋力が低下することが研究間で広く報告されている(50,54,73,74)。この結果自体によりプロスペクティブな予測的価値が加わるわけではないが、筋力の低下が以前の傷害に原因があるのか、または筋力の弱さが以前の傷害の結果であるのかは不明である。したがって、過去に傷害を負ったアスリートをテストすることには一定の価値があるだろう。筋力不足と以前の傷害が危険因子として確認されているため、筋力のアンバランスの正常化が危険性を低下させる役割があることと合わせて(25)、以前の傷害後になお危険性のある個人を特定

することは、目標を定めたトレーニング介入を計画する際に役立つと思われる。

不十分／不適切なウォームアップ

多くの場合、アスリートをトレーニングや試合中のプレーに十分に備えさせるために適切に計画されたウォームアップが、傷害を減らすために推奨される(32,70,97,99)。しかしHSIに関して、この理論を裏付ける実証的エビデンスは少ない。Fradkinら(32)による系統的レビューは、傷害の発生を減少させるために、エクササイズ前のウォームアップを推奨するか抑止するかのエビデンスは、どちらも十分ではないことを明らかにした。このレビューに含まれる5件の研究の中で、3件はウォームアップを取り入れることが傷害を有意に減らしたことを明らかにしたのに対し、2件は傷害発生になんら有意な効果は見出さなかった(32)。著者らは、傷害を防ぐためにウォームアップを実施するか抑制するかはどちらのエビデンスも不十分ではあるが、エビデンスの重みは、ウォームアップの対策を実行することを支持していると結論づけた(32)。

最近では、例えば国際サッカー連盟(FIFA)の11+(FIFA Medical Assessment and Research Center 11+ともいわれる)のような構造化されたウォームアッププロトコルが、下肢の傷害発生を減らすことを目的に実施されている(40,94,97)。Soligardら(97)は、統計的に有意には達しないものの、構造化されたウォームアップ介入により、総合的な下肢の傷害の減少が認められたと報告した。特にハムストリングスをみると、介入群($n=1,055$)で発生した傷害は5件であったが、コントロール群($n=837$)の傷害発生件数は8件であった(97)。しかし、プレー1,000時間当たりの発生件数は、介入群では0.1件であったが、コントロール群

は0.2件で、有意差が認められなかった(97)。介入前のハムストリングスの傷害発生率は報告されなかったことに注意する必要がある。それがわかれば、この介入の有効性について、より良い比較が可能となったであろう。

Silvers-Granelliら(94)およびGroomsら(40)による報告はともに、1シーズン全体を通して、アスレティックトレーニング内のFIFA 11+プログラムがコントロール群および準拠集団と比較して、それぞれハムストリングスの傷害を有意に減らしたことを明らかにし、その価値を支持している。報告によると、コントロール群と介入群のHSIはそれぞれ55件と16件で、介入により傷害の危険性が2.74倍減ったという結果を得た($p<0.001$)(94)。しかし、これらのHSIの発生を介入前の期間に経験したHSIと比較すれば、介入の成功のさらに良い理解が得られたかもしれない。Groomsら(40)による研究では、FIFA 11+のプログラムを週5～6回実施した介入群では、コントロール群の5件に比べ、わずか1件のHSIが報告されたのみであった。しかし、FIFA 11+のプログラムにはノルディックハムストリングスカールエクササイズが含まれていることは注目に値する。このエクササイズはハムストリングスの傷害を減らすことが広く報告されている(2,90,107)。したがって、ノルディックハムストリングスカールを取り入れることにより達成された筋力の増加は、FIFA 11+プログラムの中でHSIの減少をもたらす最大の因子であり、総合的なウォームアップを実施する全プロセスではないことが示唆される。ウォームアップの潜在的な利益は、本稿で提示する研究により完全に支持されたわけではないが、適切に計画されたウォームアップが傷害の減少に役立つ可能性があることを示唆する若干のエビデンスがある。

柔軟性／動的ストレッチングエクサ

サイズは、ウォームアップルーティンの一部に含まれることが多い(49)。しかし、全研究を通して、柔軟性のレベルの変化がハムストリングス傷害の危険因子であることを示唆するエビデンスに一貫性はない。Bennelら(10)はAFL選手67名を対象に、のちに傷害を負った選手と傷害を負うことがなかった選手の間にハムストリングスの柔軟性に有意差はなかったと結論づけた。同様にOrchardら(76)は、AFL選手集団において、傷害とシット&リーチテストで測定したハムストリングスの柔軟性の間に相関関係は見出さなかった。しかし、注意すべき点として、シット&リーチテストでは脊椎を曲げるため、ハムストリングスの柔軟性に特異的なテストとはいえず、その結果はしばしばアスリートにおける股関節の可動性と脊椎の屈曲能力により悪化する可能性がある(76)。またこのテストは下肢間の差を識別することができないこと、したがって存在するかもしれないアンバランスを覆い隠す可能性があることも指摘する価値がある(76)。これらの知見は、さらにHennessy & Watson(43)およびYeungら(116)により裏付けられた。彼らもまたハムストリングスの柔軟性と傷害の間における相関関係は明らかにできなかった。

対照的に、Witvrouwら(12)はプロスペクティブ研究において、プロサッカー選手146名を対象にハムストリングスの柔軟性とハムストリングス傷害との関係を調査した。その報告によると、負傷していない下肢との比較において、負傷した下肢は有意に柔軟性レベルが低下していることが示された(受動的ストレートレッグレイズ $<90^\circ$ 、 $p=0.02$)(112)。本稿で提示された結果の違いは、部分的にはハムストリングスの柔軟性を確認するために用いた方法が異なることが原因であると思われる。しかし、Witvrouwら(112)とYeungら(116)はどちらも柔軟性を受

動的ストレートレッグレイズで測定したが、反対の結果を報告した。研究間でみられるこのような相違により、特にいくつかの因子がハムストリングス傷害の原因になっている場合には、ハムストリングス傷害における柔軟性の役割を慎重に見極める必要がある。

Jonhagenら(50)が行なったレトロスペクティブ研究において、かつて傷害を負ったスプリンターは、受動的なストレートレッグレイズ中に、負傷経験のないスプリンター群と比較して、ハムストリングスの柔軟性が有意に低下していることが示された(平均可動域 $=67.2^\circ$ 対 74.1° 、 $p<0.05$)。傷害後のハムストリングスにおける柔軟性が低下することは、Maniarら(64)によりさらに裏付けられている。そのメタ分析によると、負傷後最長40日はハムストリングスの柔軟性が低下した。したがって、以前HSIを被ったことのあるアスリートは、さらなる傷害の危険性を減らすために、柔軟性を危険因子とみなすことが重要であると思われる。

腰椎-骨盤・股関節のコントロール

現在のエビデンスは比較的少ないにもかかわらず、腰椎-骨盤・股関節コントロールはHSI潜在的危険因子として考慮すべきである。スプリント走中に骨盤前傾が増すことにより、ハムストリングスは引き伸ばされた位置となり、ハムストリングスにかかる歪力は増大する(47,96)。これは遊脚期後期に特に重要であり、特に大腿二頭筋長頭がすでに大きく引き伸ばされている時であり、骨盤の前傾によりさらに悪化する(21,47,96)。これはHSIを負う機会の増加をもたらす可能性がある。しかし、このような理論の完全な確証を得るためには、さらなる研究が必要である。

さらに、股関節における矢状面の運動制限は、修正版トーマステストを使って測定されるように、殿部の筋活

動を減少させることが知られている(67)。これはHSIの危険性にとって重要である。Schuermansら(89)の研究が、HSIのもうひとつの危険因子として近位の神経筋コントロールを強調しているからである。彼らは表面EMGを通してアマチュアサッカー選手62名の集団において、スプリント走中の筋活動を調査した(89)。1.5シーズンの追跡期間中に、彼らはHSIを経験していないアスリートの遊脚期前期により大きな殿筋の活動が($p=0.027$)、また遊脚期後期により大きな体幹の筋活動が($p=0.042$)示されたことを報告した(89)。したがって、股関節の運動制限により、殿部の筋活動とそれに続く近位の神経筋コントロールが抑制され、その結果、HSIを負う危険性が増加すると仮定される(67,89)。

修正不可能な危険因子

過去の傷害

過去のHSIは将来のHSIの危険因子であることが確認されている(12,26,31,36,77,79,102,114)。再発率は通常12~13%と報告されているが(26,31,114)、Petersenら(79)はより高い25%と報告した。しかし、Petersenらの研究は方法論的な取り組みが大きく異なることに注意することが重要である(79)。彼らは時間損失に関係なく、HSIを自己申告による大腿部後面の痛みと定義しているので、それが再発率の増加の原因になっている可能性がある。Gabbeら(36)は、AFL選手の間で、過去12ヵ月以内に持続していたHSIは将来の傷害の最も強力な独立予測因子である(オッズ比 $=4.3$ 、 $p=0.003$)ことを明らかにした。国際レベルのクリケット競技者の間でも、HSI後のアスリートは同一シーズン中に負傷する危険性が3.7倍高く、次のシーズンにおいては2.7倍高いと報告された(77)。この危険因子は、ラグビーユニオンの選手(4.1倍)(12)やAFL選手(4.9倍)(110)

の報告に比べるといくらか低い。過去の膝関節($p=0.039$)と鼠径部($p=0.015$)の傷害も将来のHSIの有意な危険因子として報告された(110)。

過去の傷害は修正不可能な危険因子とみなされるが、以前に傷害を負ったアスリートは、ノルディックハムストリングスエクササイズを行なう際に、ハムストリングスにおける伸張性筋力の低下(102)と下肢間の非対称性(12)が強調される(12)。さらに、大腿二頭筋の筋束長が短いことも、複数回のハムストリングス傷害の原因として報告された(102)。したがって、これらの身体的な属性を改善することは、HSIの再発予防に役立つ可能性があると推測できるだろう(12,102)。

年齢

Gabbeら(35)の研究により、ハムス

トリングス傷害の発生率は、 ≥ 25 歳のアスリート(19.2%)のほうが ≤ 20 歳のアスリート(6.9%)より高いことが確認された。Gabbeら(37)の行なった別の研究でも、 ≥ 23 歳のアスリートは、ハムストリングス傷害の危険性がより高いことが明らかになった。かつての傷害とは無関係に評価すると、年齢が1歳増えるごとにハムストリングス傷害の危険性が1.3倍増加することも報告されている(110)。また、大規模な陸上競技選手の集団においても、マスターズの選手(>40 歳)は高校生や大学生のアスリートに比べ、HSIを経験する可能性が有意に高いことも報告された(72)。傷害の危険性増大に果たす年齢の役割は、体重の増加、股関節屈曲筋の柔軟性低下(35)、ハムストリングスにおける伸張性筋力の低下、および大腿二頭筋の短い筋束長(102)に起因す

ると仮定される。したがって、至適な身体組成を維持し、ハムストリングスと股関節筋構造の柔軟性を保ち、ハムストリングスの伸張性筋力を維持することは、高齢のアスリートの間でハムストリングスの傷害を予防する上で有益であると思われる。

現場への応用：傷害予防プログラム

HSIと再発の原因となるいくつかの因子が研究により強調されたように、傷害予防プログラムは本来多面的で、可能性のあるすべての変更可能な危険因子に取り組む必要がある。概説されたプログラム(図1)は、(スプリント走に関連して)I型の挫傷を負う危険性が最も高いチームスポーツアスリートのトレーニングを目的としている。プログラムは、4段階に分けられ、段階1～3はプレシーズンのトレーニング

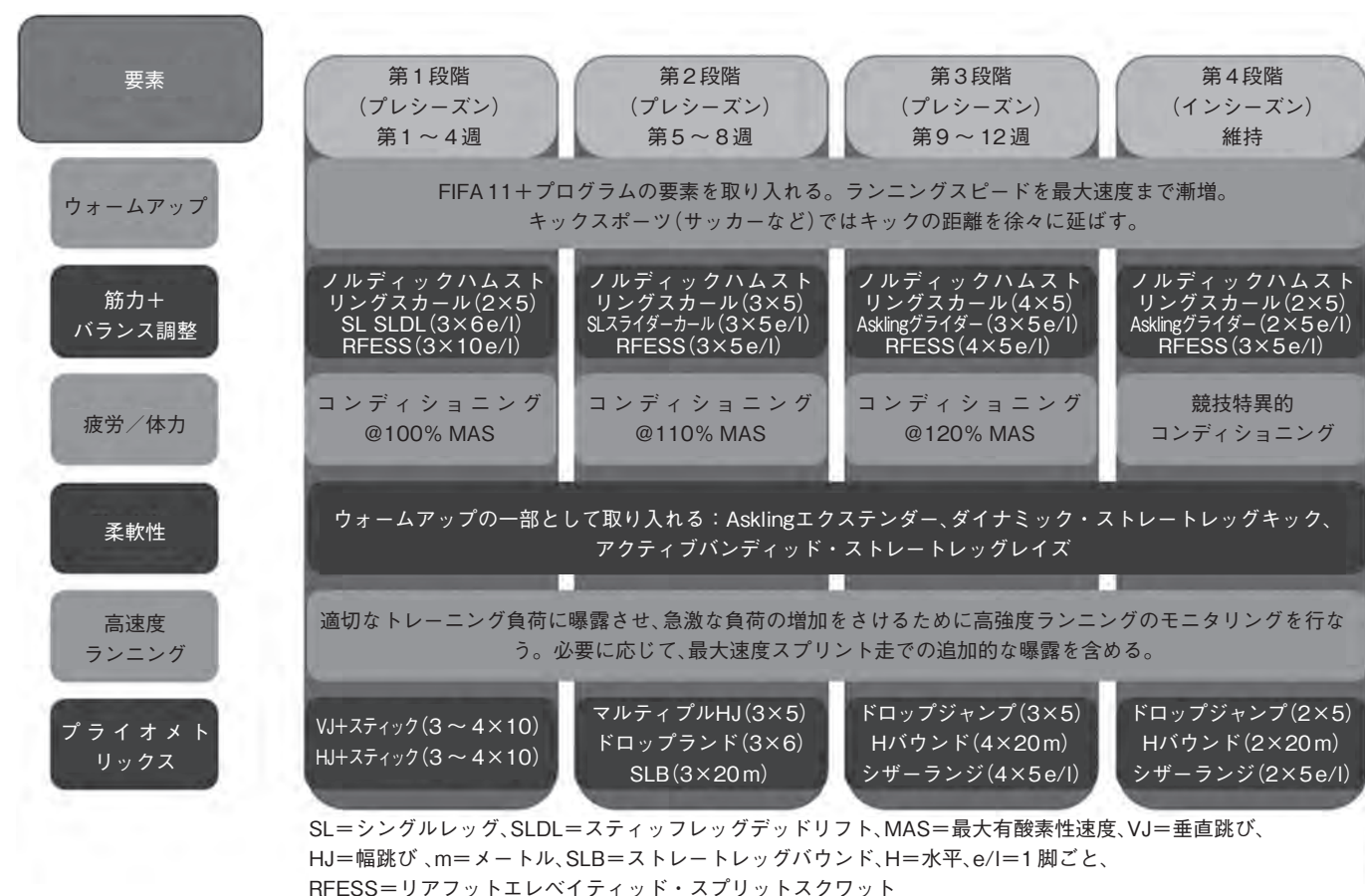


図1 I型の挫傷に焦点を合わせたエビデンスに基づくHSI予防プログラムの提案
HSI=ハムストリングスの筋挫傷

で、段階4はパフォーマンスレベルを維持するために実施するインシーズンのプログラムを表す。図2に概説されたプログラムは(ダンサーや格闘技選手のように)Ⅱ型の挫傷を負う危険性がより高いアスリートを対象としている。このプログラムは漸進的な3段階に分けられ、試合まで、他のトレーニング前に実施することができる。これらの傷害予防プログラムはどちらも単独で行なうべきではない。むしろより幅広いアスリートのパフォーマンス向上計画に統合することを意図して作成されている。

ウォームアップ

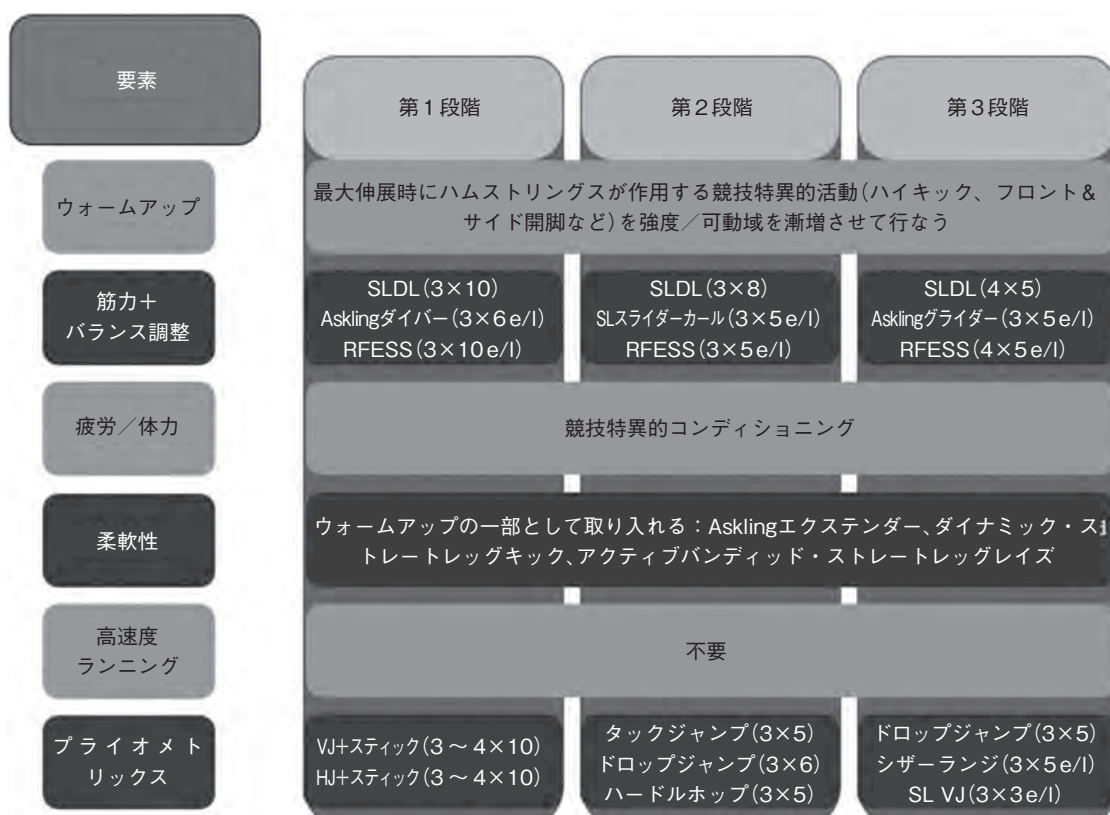
構造化されたウォームアップがHSIの減少に有益であることを示唆する圧倒的なエビデンスはないが、ウォームアップは、精神的にもまた身体的にも、

アスリートが活動の準備を整えることを目的として、スポーツパフォーマンスでは一般的である(49)。この準備段階の間、チームスポーツの選手は徐々に最大速度の運動(主観的な最大速度の65、75、85、95、100%での40mスプリント)に曝露され、また(該当するスポーツのために)キックの距離を次第に長くする(10、20、30、40m)。これは特にこれらの活動が集団内の傷害メカニズムとして強調されているためである(6,15,16,26,30,36,37,114)。同様に、Ⅱ型のHSIが一層起こりそうなスポーツにおいては、強度と範囲を徐々に増大させながら、競技特異的な運動(ハイキック、矢状面のスプリントおよび側方開脚)を行なうことをウォームアップの準備段階に取り入れることができる。

またウォームアップは、単に競技パ

フォーマンスに役立つだけではなく(49)、傷害予防にも有益な(40,94,97)トレーニングプロトコルを実施する時間を専門職に与える。FIFA 11+はHSIを予防するためにノルディックハムストリングスカールを構造化されたウォームアップの一部として統合することを推奨している(40,94,97)。さらに、アスリートのパフォーマンスプログラムにおける全体的な時間効率を改善するために、柔軟性を高める役割を果たす他のエクササイズも構造化されたウォームアップに含まれると思われる。

柔軟性レベルの低下がHSIの危険性の増大に大きな役割を果たすことを示唆するエビデンスは少ないが(10,43,76,112,116)、柔軟性トレーニングが大腿二頭筋の筋束長にプラスの効果を与える可能性があることは明らかとなっている(33)。Freitasら(33)に



SL=シングルレッグ、SLDL=スティッフレッグデッドリフト、VJ=垂直跳び、HJ=幅跳び、e/l=1脚ごと、RFESS=リアフットエレベイティッド・スプリットスクワット

図2 Ⅱ型の挫傷に焦点を合わせたエビデンスに基づくHSI予防プログラムの提案
HSI=ハムストリングスの筋挫傷

よる研究は、8週間におよぶ多量のストレッチ介入の効果を説明した。この介入には、週5回450秒ずつ、大腿二頭筋の筋構造に関してハムストリングスを最大可動域までストレッチすることが含まれ、超音波断層撮影により測定したところ、大腿二頭筋における筋束長の有意な増加が報告され(+12.3mm、 $p=0.04$)、またさらに受動的な膝関節伸展可動域の有意な向上も認められた(+14.2°、 $p=0.04$) (33)。大腿二頭筋の短い筋束長はHSIの潜在的危険因子として強調されているため(102)、HSI予防プログラムに柔軟性トレーニングの要素を取り入れることは賢明であると思われる。時間効率を増大させるために、このようなエクササイズは構造化されたウォームアップルーティンに取り入れることができるだろう。

伸張性筋力

筋力、具体的には伸張性筋力が、以前からHSIの原因となる危険因子として強調されてきたが、この事実、HSI予防プログラムに伸張性筋力エクササイズを取り入れる必要性を示唆している。筋力に基づくエクササイズを選択する際、どの種類のHSIをアスリートが経験する可能性が高いか、したがって、どの筋群が損傷する可能性が高いか(I型：大腿二頭筋とII型：半膜様筋)に注意することが重要である(5,6,14)。これにより、専門職は、ハムストリングスの特定の筋に焦点を合わせたエクササイズプログラムを計画できるようになる(14)。Bourneら(14)によるこの研究は、HSI予防プログラム内で最も適切なストレングスエクササイズを選択するための枠組みを提供する。

チームスポーツの選手(図1)は、I型のHSI(スプリント走に関連する挫傷)を負う可能性が最も高い。しかしキック動作などではII型の挫傷を経験する可能性もある(5,6)。これらの集

団内では、傷害予防プログラムにノルディックハムストリングスカールエクササイズを取り入れることが研究の中で十分に効果があると報告されている(2,90,107)。Arnasonら(2)は、アイスランドとノルウェーの一流サッカー選手の間で、柔軟性トレーニングとハムストリングスのストレングストレーニングの介入を実施した。その結果、柔軟性トレーニングだけを行なった群では、傷害の減少に効果はないことが明らかとなった($p=0.22$) (2)。しかし、プログラムにノルディックハムストリングスカールを含めると、ハムストリングスの傷害はコントロール群に比べ65%減少した(2)。これらの結果は、Van der Horstら(107)によりさらに確証が得られた。彼らは、13週間のトレーニングプログラムにノルディックハムストリングスカールを取り入れることにより、アマチュアサッカー選手の大規模集団内で、コントロール群に比べ有意にハムストリングスの傷害発生が減少したことを明らかにした(1,000選手時間当たり介入群=0.25件、コントロール群=0.8件、 $p=0.005$)。さらに介入の前年、24件と20件のHSIが介入群とコントロール群でそれぞれ報告された(107)。HSIは、52週間の観察期間(13週間の介入期間を含む)に、介入群では11件に減少したが、コントロール群では25件に増加した(107)。野球選手の集団内でも、ノルディックハムストリングスカールによる介入は、2012年のシーズンを通して実施され、成功が認められた(90)。報告によると、介入群ではハムストリングスの傷害が0であったのに対し、コントロール群と非順序群(ノルディックカールの実施が週<3.5回)では、10名がハムストリングスの傷害を負った(90)。さらに、ノルディックハムストリングスカールを実施した場合、前年、前々年のシーズン中におけるHSIによる時間損失は273日と309日であ

ったのに比べ、時間損失が136日まで減少した(90)。

これらの研究内におけるノルディックハムストリングスカールエクササイズの成功は、大腿二頭筋長頭の筋量、筋サイズ、および筋力に対するプラスの効果に起因すると思われる。Seymoreら(92)は、単にストレッチングエクササイズだけを行なったコントロール群と比較して、ノルディックハムストリングスカールとストレッチングを組み合わせた効果を研究した。介入は6週間のノルディックハムストリングスカールプログラムで構成され、頻度(1~3)と量(2×5レップを3×8~12レップに漸増)を徐々に増加させた(92)。ストレッチングに加え、ノルディックハムストリングスエクササイズを行なった介入群は、大腿二頭筋長頭の生理学的横断面積($16.08 \pm 6.43 \text{ cm}^2$ 対 $18.05 \pm 7.33 \text{ cm}^2$)および筋量($131.46 \pm 43.32 \text{ cm}^3$ 対 $145.2 \pm 46.42 \text{ cm}^3$)がベースラインに比べ有意に増加したことが認められた($p < 0.05$) (92)。さらにBourneら(13)は、ノルディックハムストリングスカールのトレーニングを含むセッションを週2回、10週間実施したところ、大腿二頭筋長頭の筋束長が長くなり、また大腿二頭筋長頭、短頭、および半腱様筋の筋量が増加したことが明らかになった。しかし同研究内で、ヒップエクステンションエクササイズが、大腿二頭筋長頭と半膜様筋の筋量のより大きな変化を促進したこと(ノルディックハムストリングスカールはコントロール群との有意差はなし)に、注意が必要である(13)。

図2はII型挫傷の発生と重症度を低減することを目指すHSI予防プログラムに焦点を当てている。このアスリート集団内では、最も多い傷害部位は通常は半膜様筋であり、したがってエクササイズはそれに応じて選択すべきである(6,14)。これは、「ルーマニアン」デッドリフトまたは「スティッフレッ

グ」デッドリフトを取り入れることが必要であり、それらは大腿二頭筋と半腱様筋よりも半膜様筋の活性化レベルが有意に高い($p < 0.01$)ことが報告されている(71)。Onoら(71)の研究はさらに、スティッフレッグデッドリフト後に、MRIによる横緩和時間(T2)の値と半膜様筋の横断面積がどちらも有意に増加したと説明した。

筋力のアンバランス

ハムストリングスにおける伸張性筋力の向上に加えて、HSI予防プログラムの中では、下肢内(同一脚における大腿四頭筋とハムストリングス間との差)と下肢間(左右のハムストリングス間の差)の筋力のアンバランスに対処することが必要である。Ruasら(84)による先行研究は、伸張性筋力トレーニングが、6週間の介入後に機能的H:Q比を有意に増大させたことを明らかにした($p \leq 0.05$) (介入前H:Q=0.73±0.092、介入後H:Q=0.87±0.098)。さらにHolcombら(46)の報告によると、6週間のハムストリングスを強調したストレングスプログラムが、機能的H:Q比を0.96±0.09から1.08±0.11に有意に増加させた($p < 0.05$)。機能的H:Q比の最適化を目指すストレングスプログラムに、ノルディックハムストリングスカールを取り入れることは、Delestratら(27)によりいくらか支持される。その報告によると、6週間のトレーニングプログラム後、機能的H:Q比が27.8%に有意に増加した($p < 0.05$)(27)。しかし、比較において、ノルディックハムストリングスカールよりも伸張性レッグカールのほうがより大きく改善(38.3%)を促進したこと、また両エクササイズに関して、これらの結果は利き脚とは反対側の脚でのみ明白であったことは指摘する必要がある(27)。これは、下肢間における筋力のアンバランスの調節に取り組むことを目指すHSI予防プログラムに、一側性

のストレングストレーニングを加えるべきであることを示唆している。

主要なエクササイズ(ノルディックハムストリングスカールやスティッフレッグデッドリフトなど)と並んで、**図1と2**に概説されている両プログラムには、一側性の補助エクササイズが含まれている。シングルレッグ・スティッフレッグデッドリフト、シングルレッグスライダークール、Asklingダイバーおよびグライダーエクササイズなどである。これらのエクササイズの間目標は、筋力のアンバランス(下肢内と下肢間)を修正すること、および関節の安定性を促進することの両方である。先行研究によると、HSIの危険性を有意に減少させるためには、下肢間の筋力のアンバランスを<5%に低下させる必要がある(25)。これを達成するために、**図1**にはシングルレッグ・スティッフレッグデッドリフトが含まれているが、Tsaklisら(103)が述べているように、このエクササイズではハムストリングスEMGは比較的低いにもかかわらず、以前はハムストリングスのトレーニングプログラムに推奨されていた(60,66)。しかしこの研究では、エクササイズは外部負荷なし(体重のみ)で行なわれたので、それが結果に影響を与えた可能性があることに注意が必要である(103)。Tsaklisら(103)はまたシングルレッグカールも調査した。著者らは10種類のハムストリングス中心のエクササイズにおけるEMGを測定して、スライダークールが大腿二頭筋と半腱様筋のEMG活動を最も高めることを見出した。しかし、この結果は注意深く検討する必要がある。20名の参加者全員が同じ順序で同じエクササイズを5分間の休息時間を挟んで実施し、ランダム化は行なわれなかった(103)。さらに、彼らの研究は筋活動のタイプ(短縮性と伸張性)を区別せず、ただ結合された収縮筋活動の結果だけを提供した。これらの方法的要因が

どちらも研究結果に影響を及ぼした可能性がある(103)。

ハムストリングスに対するリハビリテーションにおいて成功が知られているダイバーとグライダーは、AsklingのL-プロトコルの一部を構成する(7)。この研究の中でL-プロトコルは、プレーに復帰するまでの時間が従来のハムストリングストレーニングプログラム(平均51日、範囲12~94日)と比較して有意に短いことが報告された(平均28日、範囲8~58日)(7)。これら2種類のエクササイズにおけるEMG研究は、ハムストリングスが高速度ランニング中の遊脚期に近い作用点で伸張性収縮を行なっていることを示したが(91)、このことは、これらのエクササイズを予防とリハビリテーションプログラムにおいて利用することを支持している。

ストレングストレーニングの要素は、より幅広いストレングストレーニングプログラム(アスリートは総合的な競技パフォーマンス向上のために他のエクササイズも行なう必要がある)の一部に含めることが必要である。総合的な運動能力を開発する中で、リアフットエレベイティッド・スプリットスクワット(RFESS)を計画することは専門職にとって賢明であると思われる。McCurdyら(65)の研究によると、被験者がそれぞれ85% 3RMで行なったRFESSと伝統的なバックスクワットエクササイズのEMG測定を比較し、HSI予防に関して運動競技トレーニングプログラムの中に、このエクササイズを含めることを支持している。彼らの研究は、RFESSはハムストリングスの筋活動の平均値およびピーク平均値が有意に大きいこと($p < 0.01$)を示した。一方伝統的なバックスクワットは平均すると大腿四頭筋の動員が有意に大きく($p < 0.05$)、平均ピークおよび平均H:Qがより大きいことを示した($p < 0.01$)(65)。RFESSは、バックスクワ

ット(大腿四頭筋により重点を置く)よりもハムストリングスに大きな要求を課すと思われるため、ハムストリングスのコンディショニングの必要性が強調される場合には、アスリートに対するプログラムにおいて伝統的なバックスクワットエクササイズに代わる選択肢とみなされるだろう(65)。

疲労と体力

HSIが試合の終盤に近づくにつれて起こりやすくなることが報告されていることにより、従来、疲労がHSIの発生と結びつけられてきた。おそらく膝関節屈曲筋における伸張性筋力の低下に疲労が影響を及ぼすためと思われる。さらに、有酸素性能力の衰えているアスリートは、優れた有酸素性能力を有するアスリートに比べると(1kmのタイムトライアルにより測定)、傷害が増加する可能性が高い(オッズ比=1.5～2.5)ことも以前から明らかになっていた(62)。このエビデンスを念頭に置くと、総合的な体力レベルの向上を図り、疲労がハムストリングスに課す負担を減らす目的で、適切に計画されたコンディショニングを傷害予防計画に含めるべきである。チームスポーツ選手のためには、MASトレーニングを含めることができる(8)。これは段階1～3の全体にわたり、各クライアントのMASの割合を増加させて処方するが(概要は図1を参照)(8)、シーズン中に競技特異的なコンディショニング(サッカーではミニゲームなど)後に実施することができる。ランニングが中心ではないスポーツでは、競技特異的なコンディショニングを通して体力を向上させることができる。例えばダンサーは、適切な運動：休息比でダンスの動作を用いることにより、心肺機能を高めることが推奨される(115)。

高速度ランニング

HSIの予防に関して一層重要なこと

として、ランニング負荷と高速度ランニングの負荷のモニタリングが挙げられ、これらはスポーツにおいてよく行なわれる(28,38,48,61,63,85)。すべてのランニングに基づくトレーニング、特に ≥ 24 km/hの速度トレーニングは、注意深くモニタリングすることが必要である。それは、トレーニング負荷の急激な増加を避けるためであり、また、HSIの発生に対する予防策を提供するだけの適切なトレーニング負荷に曝露することを保証するためでもある(28,38,48,61,63,85)。このモニタリング過程から集められたデータにより、コンディショニングベースのドリルと補助的な最大速度トレーニングを取り入れるための情報が提供されるはずである。

プライオメトリックス

アスレティックトレーニングプログラムには、プライオメトリックスが含まれていることが多い。しかしそれらのHSI予防における潜在的役割は、しばしば見落とされている。従来から、プライオメトリックスに基づくエクササイズ、一側性または両側性の矢状面でのハードルホップ、前額面のハードルホップ、180°ホップ、スプリットスクワットジャンプなどがハムストリングスの筋構造を動員することが示されてきた(98)。さらに、プライオメトリックスエクササイズの本質ゆえに、それらは伸張-短縮サイクル全体で高速でのハムストリングスの筋活動をもたらす可能性が高い(105)。したがってそれらのエクササイズは、高速度ランニングに関連した傷害のメカニズムで報告された類似の筋活動を刺激する可能性がある(105)。

Tsang&DiPasquale(104)は、6週間のプライオメトリックトレーニングプログラムを実施した。被験者は週3回介入トレーニングを実施した。著者らが知見で強調したのは、大腿四頭筋

の筋力の維持とともにハムストリングスの筋力増加である(104)。さらにVissingら(111)は、12週間のプライオメトリックトレーニングによる介入後、ハムストリングスの横断面積の有意な増加を明らかにした($6.7 \pm 1.8\%$ 、 $p < 0.001$)。しかし彼らの結果は、被験者が「非鍛錬者」に分類されていたため、注意してみる必要がある。どのようなトレーニング刺激でもプラスの効果が得られた可能性も仮定できるだろう。

図1における段階2のドロップランドと同じく、段階1に含まれるプライオメトリックスエクササイズは両方とも予防プログラムであるが、どちらも最適な着地のメカニズムを習得することを目指している。正確な着地は、さらに高強度で複雑なエクササイズに進む前に確立すべきである(106)。図1の追加のエクササイズは高速度ランニング中によく似た運動ベクトルを再現するために、水平方向の力の発揮に偏って計画されている。図2の追加のエクササイズは、総合的なプライオメトリックス能力の向上に重点を置いているが、それぞれのスポーツに適合するように変更してよい。

おわりに

スポーツパフォーマンスにおいて、HSIはきわめて頻繁にみられる傷害であり、再発率も高い。したがって、HSIによりアスリートは競技シーズン中の長期間を棒に振ることとなり、競技団体のパフォーマンスにも財政にも有害な影響を与える可能性がある。HSIは高速度ランニング中に起こることが多いが、専門職は様々な傷害メカニズムが存在することを認識すべきである。さらに研究では、HSIに関して多数の可能性のある危険因子がこれまで十分に証明されているが、それは本来多面的であるべき傷害予防プログラムの必要性を強調している。

これらのプログラムには適切なウォ

ームアップを含める必要があり、そこで傷害予防計画(柔軟性など)の他の基本要素を含めることもありうる。伸張性筋力のトレーニングは、両側性(ノルディックハムストリングスカールとスティッフレッグデッドリフト)と一側性(シングルレッグ・スティッフレッグデッドリフト、シングルレッグ・スライダークール、Asklingスライダークールおよびダイバー)の両方をハムストリングスの筋力向上と筋のアンバランスを減らすために取り入れることが必要である。これと並んで、RFESSはハムストリングスの動員に有益であることが報告されているため、HSI予防プログラム内への導入を考慮すべきである。コンディショニングドリルは、MASまたは競技特異的なコンディショニングのどちらかの形式で、総合的な体力レベルを高め、疲労を軽減するために取り入れることが必要である。ランニング中心のアスリートの場合、高速度ランニングの負荷を注意深くモニタリングすることから始め、その情報を、アスリートが適切なトレーニング量に曝露されることを保証するためにトレーニング負荷の決定に利用することが重要である。最後に、高速でのハムストリングスの筋活動を活性化する可能性のあるプライオメトリックスを導入に取り入れるべきである。これらは正しい着地のメカニズムに焦点を合わせることから始め、その後、より高速のエクササイズに漸進すべきである。ランニング中心のアスリートの場合には、アスリートが水平方向の力を発揮することが必要なエクササイズに焦点を合わせるものが賢明であると思われる。◆

References

1. Australian Football League. *2018 AFL Injury Report*. Victoria, Australia: AFL, 2018.
2. Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: An intervention study. *Scand J Med Sci Sports* 18: 40-48, 2008.
3. Askling C, Lund H, Saartok T, Thorstensson A. Self-reported hamstring injuries in student-dancers. *Scand J Med Sci Sport* 12: 230-235, 2002.
4. Askling C, Saartok T, Thorstensson A. Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *Br J Sports Med* 40: 40-44, 2006.
5. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during high-speed running: A longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *Am J Sports Med* 35: 197-206, 2007.
6. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Proximal hamstring strains of stretching type in different sports: Injury situations, clinical and magnetic resonance imaging characteristics, and return to sport. *Am J Sports Med* 36: 1799-1804, 2008.
7. Askling CM, Tengvar M, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite football: A prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med* 47: 953-959, 2013.
8. Baker D. Recent trends in high-intensity aerobic training for field sports. *Prof Strength Cond* 22:3-8, 2011.
9. Behan FP, Timmins RG, Opar DA. The architecture of a hamstring strain injury. *Aspetar Sport Med J* 8: 40-43, 2019.
10. Bennell K, Tully E, Harvey N. Does the toe-touch test predict hamstring injury in Australian Rules footballers? *Aust J Physiother* 45: 103-109, 1999.
11. Bennell K, Wajswelner H, Lew P, et al. Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br J Sport Med* 32: 309-314, 1998.
12. Bourne M, Opar DA, Williams M, Shield A. Eccentric knee-flexor strength and risk of hamstring injuries in rugby union: A prospective study. *Am J Sports Med* 43: 2663-2670, 2015.
13. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: Implications for injury prevention. *Br J Sports Med* 51: 469-477, 2017.
14. Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, et al. An evidence-based framework for strengthening exercises to prevent hamstring injury. *Sports Med* 48: 251-267, 2018.
15. Brooks JH, Fuller CW, Kemp SP, Reddin DB. Incidence, risk and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med* 34: 1297-1306, 2006.
16. Brooks JH, Fuller CW, Kemp SP, Reddin DB. Epidemiology of injuries in English professional rugby union: Part 1 match injuries. *Br J Sports Med* 39: 757-766, 2005.
17. Brukner P, Cook JL, Purdam CR. Does the intramuscular tendon act like a free tendon? *Br J Sports Med* 52: 1227-1228, 2018.
18. Brukner P, Khan K. *Clinical Sports Medicine* (3rd ed). New Zealand, Australia: McGraw-Hill Medical, 2009.
19. Cameron M, Adams R, Maher C. Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Phys Ther Sport* 4: 159-166, 2003.
20. Chan O, Del Buono A, Best TM, Maffulli N. Acute muscle strain injuries: A proposed new classification system. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20: 2356-2362, 2012.
21. Chumanov ES, Schache AG, Heiderscheit BC, Thelen DG. Hamstrings are most susceptible to injury during the late swing phase of sprinting. *Br J Sports Med* 46: 90, 2012.
22. Comin J, Malliaras P, Baquie P, Barbour T, Connell D. Return to competitive play after hamstring injuries involving disruption of the central tendon. *Am J Sports Med* 41: 111-115, 2013.
23. Coratella G, Bellin G, Beato M, Schena F. Fatigue affects peak joint torque angle in hamstrings but not in quadriceps. *J Sports Sci* 33: 1276-1282, 2015.
24. Croisier JL, Forthomme B, Namurios MH, Vanderthommen M, Crielaard JM. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med* 30: 199-203, 2002.
25. Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *Am J Sports Med* 36: 1469-1475,

- 2008.
26. Dalton SL, Kerr ZY, Dompier TP. Epidemiology of hamstring strains in 25 NCAA sports in the 2009-2010 to 2013-2014 academic years. *Am J Sports Med* 43: 2671-2679, 2015.
27. Delextrat A, Bateman J, Ross C, et al. Changes in torque-angle profiles of the hamstrings and hamstrings-to-quadriceps ratio after two hamstring strengthening exercise interventions in female hockey players. *J Strength Cond Res*, 2019 [Epub ahead of print].
28. Duhig S, Shield AJ, Opar D, et al. Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *Br J Sports Med* 50: 1536-1540, 2016.
29. Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *Br J Sports Med* 45: 533-538, 2011.
30. Ekstrand J, Healy JC, Walden M, et al. Hamstring muscle injuries in professional football: The correlation of MRI findings with return to play. *Br J Sports Med* 46: 112-117, 2012.
31. Ekstrand J, Waldén M, Häggglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: A 13-year longitudinal analysis of the UEFA elite club injury study. *Br J Sports Med* 50: 731-737, 2016.
32. Fradkin A, Gabbe BJ, Cameron PA. Does warming up prevent injury in sport? The evidence from randomised controlled trials? *J Sci Med Sport* 9: 214-220, 2006.
33. Freitas S, Mil-Homens P. Effect of 8-week high-intensity stretching training on biceps femoris architecture. *J Strength Cond Res* 29: 1737-1740, 2015.
34. Fyfe JJ, Opar DA, Williams MD, Shield AJ. The role of neuromuscular inhibition in hamstring strain injury recurrence. *J Electromyogr Kinesiol* 23: 523-530, 2013.
35. Gabbe BJ, Bennell KL, Finch CF. Why are older Australian football players at greater risk of hamstring injury? *J Sci Med Sport* 9: 327-333, 2006.
36. Gabbe BJ, Bennell KL, Finch CF, Wajswelner H, Orchard JW. Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scand J Med Sci Sport* 16: 7-13, 2006.
37. Gabbe BJ, Finch CF, Bennell KL, Wajswelner H. Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football. *Br J Sports Med* 39: 106-110, 2005.
38. Gabbett TJ. The training injury prevention paradox: Should athletes be training harder and smarter? *Br J Sports Med* 50: 273-280, 2016.
39. Greig M. The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. *Am J Sports Med* 36: 1403-1409, 2008.
40. Grooms DR, Palmer T, Onate JA, Myer GD, Grindstaff T. Soccer-specific warm-up and lower extremity injury rates in collegiate male soccer players. *J Athl Train* 48: 782-789, 2013.
41. Häggglund M, Walden M, Magnusson H, et al. Injuries affect team performance negatively in professional football: An 11-year follow-up of the UEFA Champions league injury study. *Br J Sports Med* 47: 738-742, 2013.
42. Heiderscheid BC, Hoerth DM, Chumanov ES, et al. Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: A case study. *Clin Biomech* 20: 1072-1078, 2005.
43. Hennessy L, Watson AWS. Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. *Br J Sports Med* 27: 243-246, 1993.
44. Hickey J, Shield AJ, Williams MD, Opar DA. The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League: 729-730, 2014.
45. Higashihara A, Ono T, Kubota J, Okuwaki T, Fukubayashi T. Functional differences in the activity of the hamstring muscles with increasing running speed. *J Sports Sci* 28: 2007-2014, 2010.
46. Holcomb W, Rubley M, Lee H, Guadagnoli M. Effect of hamstring-emphasized resistance training on hamstring:quadriceps strength ratios. *J Strength Cond Res* 21: 41-47, 2007.
47. Hoskins W, Pollard H. The management of hamstring injury—Part 1: Issues in diagnosis. *Man Ther* 10: 96-107, 2005.
48. Hulin BT, Gabbett TJ, Lawson DW, Caputi P, Sampson JA. The acute: Chronic workload ratio predicts injury: High chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *Br J Sports Med* 50: 231-236, 2016.
49. Jeffreys I. Warm up revisited—The “ramp” method of optimising performance preparation. *Prof Strength Cond* 6: 15-19, 2007.
50. Jonhagen S, Nemeth G, Eriksson E. Hamstring injuries in sprinters. The role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility. *Am J Sports Med* 22: 262-266, 1994.
51. Jonkers I, Stewart C, Spaepen A. The complementary role of the plantarflexors, hamstrings and gluteus maximus in the control of stance limb stability during gait. *Gait Posture* 17: 264-272, 2003.
52. Kääriäinen M, Järvinen T, Järvinen M, Rantanen J, Kalimo H. Relation between myofibers and connective tissue during muscle injury repair. *Scand J Med Sci Sports* 10: 332-337, 2000.
53. Kyrolainen H, Komi PV, Belli A. Changes in muscle activity patterns and kinetics with increasing running speed. *J Strength Cond Res* 13: 400-406, 1999.
54. Lee MJ, Reid SL, Elliott BC, Lloyd DG. Running biomechanics and lower limb strength associated with prior hamstring injury. *Med Sci Sports Exerc* 41, 1942-1951, 2009.
55. Lempainen L, Kosola J, Pruna R, et al. Central tendon injuries of hamstring muscles: Case series of operative treatment. *Orthop J Sport Med* 6: 4-9, 2018.
56. Liu H, Garrett WE, Moorman CT, Yu B. Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *J Sport Health Sci* 1: 92-101, 2012.
57. Liu Y, Sun Y, Zhu W, Yu J. The late swing and early stance of sprinting are most hazardous for hamstring injuries. *J Sport Health Sci* 6: 133-136, 2017.
58. Lord C, Blazeovich AJ, Drinkwater EJ, Ma'ayah F. Greater loss of horizontal force after a repeated-sprint test in footballers with a previous hamstring injury. *J Sci Med Sport* 22: 16-21, 2019.
59. Lord C, Ma'ayah F, Blazeovich AJ. Change in knee flexor torque after fatiguing exercise identifies previous hamstring injury in football players. *Scand J Med Sci Sport* 28: 1235-1243, 2018.
60. Malliaropoulos N, Mendiguchia J, Pehlivanidis H, et al. Hamstring exercises for track and field athletes: Injury and exercise biomechanics, and possible implications for exercise selection and primary prevention. *Br J Sports Med* 46: 846-851, 2012.
61. Malone S, Owen A, Mendes B, et al. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *J Sci Med Sport* 21: 257-262, 2018.
62. Malone S, Roe M, Doran D, Gabbett T, Collins KD. Protection against spikes in workload with aerobic fitness and playing experience: The role of the Acute:Chronic Workload Ratio on injury risk in elite Gaelic Football. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 393-401, 2017.
63. Malone S, Roe M, Doran DA, Gabbett

- TJ, Collins K. High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic Football. *J Sci Med Sport* 20: 250–254, 2017.
64. Maniar N, Shield AJ, Williams MD, Timmins RG, Opar DA. Hamstring strength and flexibility after hamstring strain injury: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 50: 909–920, 2016.
65. McCurdy K, O'Kelley E, Kutz M, et al. Comparison of lower extremity EMG between the 2-leg squat and modified single-leg squat in female athletes. *J Sport Rehabil* 19: 57–70, 2010.
66. Mendiguchia J, Martinez-Ruiz E, Morin JB, et al. Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. *Scand J Med Sci Sports* 25: e621–e629, 2015.
67. Mills M, Frank B, Goto S, et al. Effects of restricted hip flexor muscle length on hip extensor muscles activity and lower extremity biomechanics in college-aged female soccer players. *Int J Sports Phys Ther* 10: 946–954, 2015.
68. Morin JB, Gimenez P, Edouard P, et al. Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Front Physiol* 6: 404, 2015.
69. Mueller-Wohlfahrt HW, Haensel L, Mithoefer K, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *Br J Sports Med* 47: 342–350, 2013.
70. O'Sullivan K, Murray E, Sainsbury D. The effect of warm-up, static stretching and dynamic stretching on hamstring flexibility in previously injured subjects. *BMC Musculoskelet Disord* 10: 37, 2009.
71. Ono T, Higashihara A, Fukubayashi T. Hamstring functions during hip-extension exercise assessed with electromyography and magnetic resonance imaging. *Res Sport Med* 19: 42–52, 2011.
72. Opar DA, Drezner J, Shield A, et al. Acute hamstring strain injury in track-and-field athletes: A 3-year observational study at the Penn Relay Carnival. *Scand J Med Sci Sport* 24: 254–259, 2014.
73. Opar DA, Piatkowski T, Williams MD, Shield AJ. A novel device using the Nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: A reliability and retrospective injury study. *J Orthop Sport Phys Ther* 43: 636–640, 2013.
74. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Dear NM, Shield AJ. Rate of torque and electromyographic development during anticipated eccentric contraction is lower in previously strained hamstrings. *Am J Sports Med* 41: 116–125, 2013.
75. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, et al. Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Med Sci Sports Exerc* 47: 857–865, 2015.
76. Orchard J, Marsden J, Lord S, Garlick D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med* 25: 81–85, 1997.
77. Orchard JW, Kountouris A, Sims K. Risk factors for hamstring injuries in Australian male professional cricket players. *J Sport Heal Sci* 6: 271–274, 2017.
78. Petersen J, Hölmich P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med* 39: 319–323, 2005.
79. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Hölmich P. Acute hamstring injuries in Danish elite football: A 12-month prospective registration study among 374 players. *Scand J Med Sci Sport* 20: 588–592, 2010.
80. Pinniger GJ, Steele JR, Groeller H. Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function. *Med Sci Sport Exerc* 32: 647–653, 2000.
81. Pollock N, James SL, Lee JC, Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: A new grading system. *Br J Sports Med* 48: 1347–1351, 2014.
82. Pollock N, Patel A, Chakraverty J, et al. Time to return to full training is delayed and recurrence rate is higher in intratendinous (“c”) acute hamstring injury in elite track and field athletes: Clinical application of the British athletics muscle injury classification. *Br J Sports Med* 50: 305–310, 2016.
83. Rahnama N, Lees A, Bambaecichi E. Comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics* 48: 1568–1575, 2005.
84. Ruas C, Brown L, Lima C, Costa P, Pinto R. Effect of three different muscle action training protocols on knee strength ratios and performance. *J Strength Cond Res* 32: 2154–2165, 2018.
85. Ruddy JD, Pollard CW, Timmins RG, et al. Running exposure is associated with the risk of hamstring strain injury in elite Australian footballers. *Br J Sports Med* 52: 919–928, 2018.
86. Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, Brown NA, Pandy MG. Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Med Sci Sports Exerc* 44: 647–658, 2012.
87. Schache AG, Dorn TW, Wrigley TV, Brown NA, Pandy MG. Stretch and activation of the human biarticular hamstrings across a range of running speeds. *Eur J Appl Physiol* 113: 2813–2828, 2013.
88. Schache AG, Wrigley TV, Baker R, Pandy MG. Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait Posture* 29: 332–338, 2009.
89. Schuermans J, Danneels L, Van Tiggelen D, Palmans T, Witvrouw E. Proximal neuromuscular control protects against hamstring injuries in male soccer players: A prospective study with electromyography time-series analysis during maximal sprinting. *Am J Sports Med* 45: 1315–1325, 2017.
90. Seagrave RA, Perez L, McQueeney S, et al. Preventive effects of eccentric training on acute hamstring muscle injury in professional baseball. *Orthop J Sport Med* 2: 1–7, 2014.
91. Severini G, Holland D, Drumgoole A, Delahunt E, Ditroilo M. Kinematic and electromyographic analysis of the Askling L—Protocol for hamstring training. *Scand J Med Sci Sports* 28: 2536–2546, 2018.
92. Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol* 117: 943–953, 2017.
93. Silder A, Reeder SB, Thelen DG. The influence of prior hamstring injury on lengthening muscle tissue mechanics. *J Biomech* 43: 2254–2260, 2010.
94. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, et al. Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *Am J Sports Med* 43: 2628–2637, 2015.
95. Small K, McNaughton L, Greig M, Lovell R. The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *J Sci Med Sport* 13: 120–125, 2010.
96. Small K, McNaughton LR, Greig M, Lohkamp M, Lovell R. Soccer fatigue, sprinting and hamstring injury risk. *Int J Sports Med* 30: 573–578, 2009.
97. Soligard T, Myklebust G, Steffen K, et al. Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: Cluster randomised controlled trial. *BMJ* 337: a2469, 2008.
98. Struminger AH, Lewek MD, Goto S, Hibberd E, Blackburn JT. Comparison of

- gluteal and hamstring activation during five commonly used plyometric exercises. *Clin Biomech* 28: 783–789, 2013.
99. Subasi SS, Gelecek N, Aksakoglu G. Effects of different warm-up periods on knee proprioception and balance in healthy young individuals. *J Sport Rehabil* 17: 186–205, 2008.
100. Sugiura Y, Saito T, Sakuraba K, Sakuma K, Suzuki E. Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters. *J Orthop Sport Phys Ther* 38: 457–464, 2008.
101. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Biceps femoris long-head architecture: A reliability and retrospective injury study. *Med Sci Sport Exerc* 47: 905–913, 2015.
102. Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, et al. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): A prospective cohort study. *Br J Sports Med* 50: 1524–1535, 2016.
103. Tsaklis P, Malliaropoulos N, Mendiguchia J, et al. Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: Implications for exercise selection during rehabilitation. *Open Access J Sport Med* 6: 209–217, 2015.
104. Tsang KK, DiPasquale AA. Improving the Q:H strength ratio in women using plyometric exercises. *J Strength Cond Res* 25: 2740–2745, 2011.
105. Turner AN, Cree J, Comfort P, et al. Hamstring strain prevention in elite soccer players. *Strength Cond J* 36: 10–20, 2014.
106. Turner AN, Jeffreys I. The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength Cond J* 32: 87–99, 2010.
107. Van der Horst N, Smits DW, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJ. The preventive effect of the Nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: A randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 43: 1316–1323, 2015.
108. Van der Made AD, Wieldraaijer T, Kerkhoffs GM, et al. The hamstring muscle complex. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 23: 2115–2122, 2015.
109. Van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, et al. Hamstring and quadriceps isokinetic strength deficits are weak risk factors for hamstring strain injuries: A 4-year cohort study. *Am J Sports Med* 44: 1789–1795, 2016.
110. Verrall GM. Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: A prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med* 35: 435–439, 2001.
111. Vissing K, Brink M, Lonbro S, et al. Muscle adaptations to plyometric vs resistance training in untrained young men. *J Strength Cond Res* 22: 1799–1810, 2008.
112. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players: A prospective study. *Am J Sports Med* 31: 41–46, 2003.
113. Woodley SJ, Storey RN. Review of hamstring anatomy. *Aspetar Sport Med J* 2: 432–437, 2013.
114. Woods C, Hawkins RD, Maltby S, et al. The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football—Analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med* 38: 36–41, 2004.
115. Wyon M. Cardiorespiratory training for dancers. *J Danc Med Sci* 9: 7–12, 2005.
116. Yeung SS, Suen AM, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: Preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med* 43: 589–594, 2009.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 42, Number 3, pages 40-57.

著者紹介



Chris Wing :

ウェスタンオーストラリア州のバースにおいて州レベルのスポーツを指導している認定ストレングス&コンディショニングコーチである。



Chris Bishop :

英国ロンドンにあるMiddlesex Universityのロンドンスポーツ研究所の上級講師で、ストレングス&コンディショニングの理学修士コースのプログラムリーダーを務める。