

**競技のコンディショニングにおけるスクワットエクササイズ：
ポジションステイメントと文献レビュー**

**The Squat Exercise in Athletic Conditioning: A Position Statement and Review of the
Literature**

ポジションステイメント：当協会のスクワットエクササイズの使用に関するポジションステイメントは、以下の 9 項目である。これらは、当協会の研究委員会により承認されている

1. 適切な監督の下で正確に行えば、スクワットは安全なだけでなく、膝の傷害を予防する可能性もある
2. スクワットは、膝と股関節の力強い伸展を獲得を目的とするプログラムの重要な構成要素であり、多くのスポーツのパフォーマンスを高めることができる
3. スクワットによって、過度のトレーニング、オーバユース障害、および疲労に関連した問題が起こる場合がある。このような障害や問題が起こる可能性は、プログラムデザインの原則を忠実に守ることで減少できる
4. 適切に行えば、スクワットが膝関節の安定性に悪影響を及ぼすことはない
5. スクワットを含むウェイトトレーニングは、筋、骨、靭帯、および腱などの結合組織を強化する
6. 適切なフォームは、スクワットのスタイルや筋の状態によって変わる。ボトムポジションで反動をつけて立ち上がると、膝にかかる機械的負荷が大きくなるため禁忌である(6)
7. スクワットでは背部に強い力が加わるが、適切なテクニックと監督によって傷害の可能性は低くなる
8. 形式、頻度、およびウェイトトレーニングによる傷害の重症度に関して、矛盾した報告がみられる。高い傷害発生率を報告しているいくつかの例は、バイアスがかかっている可能性がある。ウェイトトレーニング以外の要因によるものと思われる傷害も、スクワットを含むウェイトトレーニングに起因するとされている報告もある
9. スクワットによる傷害は、エクササイズそのものに起因しているのではなく、むしろ不適切なテクニック、生来的なアライメントの異常、他の身体活動、疲労、または過度なトレーニングによる可能性がある



T. Jeff Chandler, Ed.D., CSCS. Lexington Clinic Sports Medicine Center. Lexington, Kentucky

Michael H. Stone, Ph.D., CSCS. Appalachian State University. Boone, North Carolina

スクワットの安全性については、長い間議論されてきた。ストレングスコーチやこの分野の専門家の間では、スクワットは潜在的な運動能力を最大化するうえで欠かせないものであるという考えが多い(19,55)。O'Shear と Wegner は、「フルスクワットは不可欠なエクササイズとみなすべきである。なぜなら、男女ともに、全般的筋力を短期間で向上できるためである。スクワットを軽視すると、全般的な身体的発達が遅れ、最適なパフォーマンスの達成が妨げられる」と述べている(48)。しかし、コンディショニングプログラムにおけるスクワットの安全性については、なお議論が続いている(11)。関心の対象となっているのは、主に膝と背部の傷害の危険性である。1960年代初めの研究では、フルスクワット(パラレル以下までしゃがむ)により靭帯が伸張し、その結果、膝を傷めることが示された(35)。より最近の研究では、これに対する反証が得られているが(11,33,44,66)、それにもかかわらず、依然、この論を支持するストレングス&コンディショニング(以下、S&C)専門職もいる(12)。

スクワットも含めたストレングストレーニングの顕著な効果には、靭帯と腱の強度、および骨密度の増加(6,7,22,41,60);腰背部、股関節、およ

び膝における大筋群の強化(5,48,49);脚と股関節の筋組織における筋力、パワー、およびスピードの向上(53,54,55,59,61);そして、神経系機能の効率向上によるバイオメカニクスの類似した動作のパフォーマンスの向上(49,50,55; NSCA ポジションステイトメント「爆発的エクササイズとトレーニング」を参照)が挙げられる。

スクワットにはこのような論議があることから、これを扱った文献にもう一度目を通す必要がある。本稿の目的は、スクワットの影響に関する科学的報告を評価し、妥当なガイドラインを確立し、不要な恐れを取り除くことである。スクワットには種々のタイプがあり、その各々について論じるのは現実的ではない。本稿では主にバックスクワットを取り上げるが、ここで示される見解の中には、その他のタイプに該当するものもあるだろう。スクワットの各タイプには、従来のバックスクワットとの類似点と相違点、どちらも見られる。本稿でのスクワットの分類は、Chandler の定義(12)に従った。フルスクワットは、大腿上面が床と平行か、それ以下になるまでしゃがむものである。それ以外には、クォータースクワット(膝屈曲約 30°)、ハーフスクワット(膝屈曲約 60°)、ベンチスクワット(ほぼ膝の高さ



のベンチ)、パラレルスクワット(大腿裏面を床と平行に)、フロントスクワット(ウェイトを身体前面の肩の位置に持ち、大腿上面を床と平行か、またはそれ以下まで下げる)などがある。また一般にフロントスクワットは、平行よりかなり低い位置で行われる。

■ 膝への影響

Klein は、すでに 1961 年に、スクワットが膝の安定性に及ぼす影響について調査している(35)。ウェイトリフターを対象に、膝の内外側安定性を調べる標準整形外科的検査を用い、その結果、負荷のかかった状態で膝を深く屈曲させると、靭帯が伸張するという結論を出した。後に彼は、膝の内外側安定性を調べる検査器具を考案し、同様の結果を得ている(36)。この Klein の研究は、膝の安定性に関するスクワットの危険性を報告した唯一の例である。その後の研究では、スクワット動作が膝の安定性に及ぼす影響については、内外側(43,44,66)、回旋(33)、または前後にも(11)危険性は認められなかった。また Meyers は、Klein が考案した器具を用い、被験者にディープスクワットおよびハーフスクワットのバリエーションを任意で行わせたが、側副靭帯の安定性、大腿四頭筋の筋力、および膝関節の柔軟性に有意な差はみられなかったと報告している(43)。しかし断っておくべきだが、Klein が批判したのは「フルスクワット」であり、彼自身は「パラレルスクワット」を推奨していた。また、Klein の測定の実験性は、疑問視されている(52,64)。

種々の形態のエクササイズにより、靭帯の強度を高められることが示されている。例えば、動物に持久カトレーニングを行わせたところ、靭帯と骨の付着部の強度、靭帯の太さ、およびコラーゲン量の増大が認められた(62)。また Tipton らは、動物にスプリントトレーニングを行わせた結果、靭帯の重量および靭帯の重量:長さの比が増大したが、靭帯と骨の付着部の強度は向上しなかったと報告している(63)。最近の研究では、ウェイトトレーニングにより、結合組織、筋、骨、靭帯、および腱が強化されるという報告もあり(30,57,58,60)、トレーニング量が多い方が(8~12 レップで、複数セット行う)、少ない場合に比べて、結合組織の大きさと強度を増大させると考えられる(58)。

アスリートにとって膝の傷害は致命的で、選手生命を終わらせることも多い。しかし実際は、膝に適度な負荷がかかることで圧縮力が増加し、膝関節の適合性が高まる(31,65)。これによって膝の安定性が高まり、剪断力から守られる。膝関節を全可動域で動かすことで、側副靭帯や他の靭帯の安定性は、低下するどころかむしろ向上すると考えられる(11,66)。また、長期的にエクササイズを行うと、靭帯のコラーゲンの再生が増し、太さが増大する(51,62,63)。あるいは、エクササイズによって生じる微細な損傷からの回復過程を通して、靭帯線維の強度が高まることが考えられる。さらに特定のエクササイズに対する反応としては、コラーゲン線維が負荷の加わる方向と平行に並ぶという現象がみられる



(51,68)。

膝関節に関するバイオメカニクスの研究も行われている(46,47)。Noyesらは、負荷がかかるスピードも膝靭帯の傷害の一要因であることを示した。骨と靭帯の標本に、速いスピードで高い負荷と張力を加えたところ、破断した(46)。この靭帯組織の特質から、トレーニングサイクルのコンディショニング期には、比較的速いスピードでスクワット動作を行っても、傷害の危険性を高めずに済むと考えられる(靭帯が損傷するほどの負荷スピードは、スクワット動作のスピードよりもはるかに速い)。また骨も、高スピードあるいは高負荷で行うスクワットのような、力の加わる速度が速い運動に適応する(39)。

Klein は、膝がゆるいと関節への摩擦と剪断力を生じる微細運動が増すために、関節表面の変性を招きやすいとしている(37)。FitzgeraldとMcLatchieの調査では、リフティング選手の15~20%に明らかな膝関節の変性を認めたが、これは一般の高齢者の調査結果と同程度の数字であった(18)。Herrickらは、全米および国際レベルのウェイトリフティング選手とパワーリフティング選手を調べた結果、リフティングを行わない人に比べ、膝の痛みを訴えることが多いが、関節炎の臨床的症狀を持つ者は少ないことを認めた(29)。Klundらが、ウェイトリフティング選手80名を対象に、膝の傷害について調べた研究では、半月板切除も軟骨軟化症タイプの症状も、また膝のクリック音やポップ音もみられなかった(38)。

剪断力が働くと、膝関節の骨は互いにもう一方の骨の上を滑ってしまう。スクワット動作時にはこの力が生じ、それに対して主に静的な抵抗を靭帯が、また動的な抵抗は靭帯と筋の両方が行う。スクワット時に膝関節に働く剪断力の大きさは、膝関節の傷害発生率に重要な関わりを持つと考えられる。

アスリートの膝前十字靭帯(ACL)手術後のリハビリテーションにおいて、スクワットに類する動作が重視されつつあり(50)、この活用を支持する臨床報告が増えている。ここで重要なのは、オープンチェーンとクローズドチェーンのエクササイズの違いを知ることである。クローズドチェーンでは、スクワットやレッグプレスのように、足はウェイトを支えた状態にある。これに対しオープンチェーンでは、ウェイトを支えた体勢ではなく、膝には間接的に負荷が加わる。例として、レッグエクステンションやレッグカールなどが挙げられる。ほとんどのスポーツ種目において、クローズドチェーンのエクササイズの方が競技特異性に対応している。そのため、よりその種目に適応した筋力が獲得できるであろう。

スクワット動作は、かつて膝のリハビリに用いられていたニーエクステンションよりも、ACLにかかる負担が少ない(50)。スクワットではハムストリングが働くため、大腿四頭筋が脛骨を前方に引っ張る力が抑えられるためである。Lutzらは膝のバイオメカニクスの二次元的研究を行い、クローズドチェーンのエクササイズはオープンチェーンに比べ、脛骨前面および後面に働く剪断力が小さいことを示し



た(40)。この実験において、レッグプレス
のシミュレーション動作の剪断力は、
30°、60°、および90°のレッグカール
およびレッグエクステンションと比較する
と、明らかに小さかった。一方、圧縮力
は、クローズドチェーン動作の負荷がか
かる方向により、レッグプレスのほうが、
レッグエクステンションおよびレッグカール
よりも明らかに大きかった。このことから、
ACL および後十字靭帯再建手術後のリハ
ビリテーションでは、レッグエクステ
ンションよりも、スクワットやレッグプレス
のほうが望ましいと言える。Ariel の報告
では、被験者3名に重いバーベルを担
いだスクワットを行わせた結果、剪断力
が最大となったのは、下降開始時の、膝
が最初に曲げられる瞬間であった(4)。
しかし彼は、この体勢においては、膝は
解剖学的に保護された状態にあると述
べている。3名中1名は、膝を前方に移
動させる動作において最も大きな剪断
力を示した。また、筋力の強い被験者の
ほうが、弱い者よりも剪断力は小さか
った。さらに最下部の動作で弾みをつけ
ると、膝にかかるあらゆる力が急増す
ことも示された。またトレーニングによ
って剪断力は低下したが、これは筋力と
テクニクが向上したためである。

Andrews らは、バーベルおよびマシン
でのスクワットの両方とも、負荷とスピー
ドの増大に伴い、剪断力が大きくなるこ
とを報告している(3)。さらに彼らは、抵
抗を肩に置くユニバーサルのスクワット
マシンの方が、フリーウェイトよりも膝に
かかる剪断力は30~40%大きいことを示
した。またこの力は、動作の最下部で弾

みをつけず、スクワット動作の間中、下
腿を床に対してできるだけ垂直に保持す
ることで、最小限に抑えられることを示
している(3)。しかし、下腿を垂直に保持
するには上半身をより前傾させる必要が
あるため、今度は腰背部にかかる剪断
力が増す。特に第5腰椎付近にかかる
力が大きくなることが考えられる。

スクワットを行うスピードが関節トルク
に及ぼす影響についても調査されている
(28)。上昇局面を1、2、および3秒間
とし、下降局面は2秒間の一定ペース
で行った。その結果、速い上昇スピー
ドにおいて、関節トルクが大きい傾向
がみられた。Dahlkvist らは、自体重
でのスクワット動作に関与する、主働
筋と脚のモデルを考案した(13)。大
腿四頭筋とハムストリングが発揮す
る最大および平均の力は、速いスク
ワットの方が遅い場合よりも大きく、
また腓腹筋については、一般にこれ
と逆の結果がみられた。しかし、こ
の速い、遅いというスピードは明確
に限定されていない。Garhammer
は、例えばジャンプスクワットの方
のように紛れもなくスピードの速い
スクワットは、比較的軽いウェイト
のみで行うべきだとしている(20)。
トルクの大きなエクササイズは傷
害発生率を上昇させる。特に、その
エクササイズに対する身体的準備が
できていない場合には、危険性が
高いと考えられる。

■ 一般的な膝の傷害

スクワットで傷害を招く要因としては、
ウォームアップやストレッチが不十分、
不適切なテクニク、能力以上の重量
へのチャレンジ、あるいはプログラム
デザイン



の原則に従わないことなどが挙げられる。ウェイトトレーニングに関連した最も一般的な膝の傷害は、腱炎と滑液包炎である。腱炎の原因は、過度の張力、あるいは慢性的に過剰な負荷が加えられることである。膝にストレスがかかり、全可動域で行われる運動（スクワットもこの1つ）は、膝蓋腱炎がある場合、症状を悪化させる(51)。一方、滑液包炎は、圧縮力が常に、あるいは反復的に加えられることが原因である。これによって滑液包が傷つき、腫脹などの慢性的な炎症を招く(34)。スクワットによりこれらの症状が引き起こされるわけではないが、このような問題のあるアスリートにとって、スクワットは禁忌となるであろう。

膝蓋軟骨軟化症は、膝蓋骨後面の硝子質軟骨と大腿骨顆が変性し、軟化するものである(51)。これは膝蓋骨の微細な損傷を原因とすることもあり、大腿および下腿のマリアラインメントや、膝蓋骨あるいは遠位大腿骨の変形、さらにハムストリングや腸脛靭帯のスティフネスなどの解剖学的異常が関与している(34,51)。このような症状を悪化させないためには、スクワットを含め、エクササイズの修正が必要となるであろう。

膝の傷害にはもう1つ、靭帯の捻挫がある。これは一般に、直接の衝突や捻転動作が原因であるが、どちらも適切なスクワット動作では起こり得ない。衝突や捻転による傷害では、半月板も損傷する場合がある。半月板損傷の可能性は、膝屈曲位での大腿骨回旋によって高くなると考えられる。

スクワットを行う場合、関節を温め、

支持し、傷害の危険性を回避するために、ニーラップを用いることが多い。Garhammer は、関節内温度を若干上昇させると、関節内摩擦を減少させ、さらに関節支持構造の弾性を向上させる効果があると述べている(20)。しかし、関節内温度が 38.8°C を超すとコラーゲンがダメージを受けるため、関節支持構造の弾性は逆に低下すると考えられる。ニーラップでは、弾性のある素材を1層巻きつければ、通常、関節は十分に温められる。弾性ラップを膝にぴったりと巻きつけることにより、スクワットのパフォーマンスを向上させることは可能であろう(25)。しかし、非公式な調査結果ではあるが、ニーラップにより傷害の発生率が抑えられるという確証は得られていない(25)。あるいは、ラッピングを何層も行うと、膝蓋骨を圧迫して正常の動作パターンを損ない、逆に傷害の危険性を高める恐れもある(20)。スクワット時に何層ものラッピングを仰々しく、きつく巻きつけるのは、避けた方が賢明である。

膝に関する見解をまとめると、ほとんどの研究において、スクワットを適切なテクニックで適度な強度と負荷を用い、プログラムデザインの原則に従って行う限り、膝関節への悪影響はないことが示されていると言えるであろう。一般に、スクワットを適切に行う限り膝の傷害は引き起こされないが、損傷の種類や症状によっては悪化するものもある。

■ 背部への影響

スクワットでは負荷を上背部と肩に乗せるため、脊椎に圧縮力が加わる。パラ



レルスクワットにおいて各関節に加わる力が算出されており、腰仙関節で最も大きく、続いて股関節、膝、足関節の順になっている(45)。熟練した被験者の場合、上半身をより直立させた姿勢が保持されるため、上半身にかかるトルクが最小限に抑えられることが報告されている(42)。椎間板にかかる力は、脊椎の正常な前弯を保持することで低減できる。またこの姿勢によって、拳上の間、脊椎を安定させ、神経筋による上半身のコントロールが促進されることになる(26)。

Cappozzo らは、被験者に体重の 0.8 ~1.6 倍のバーベルでハーフスクワットを行わせ、その際の第 3、第 4 腰椎における圧縮力を測定した(10)。第 3、第 4 腰椎にかかる圧縮力は体重の 6~10 倍にもなり、脊柱起立筋が発揮する力の計算値は、公表されている最大等尺性筋力の 30~50%であった。ピークフォースは、膝の最大屈曲時、またはその付近で発揮された。Garhammer は、スクワットにおいて上半身の直立姿勢を保持するためには、膝、股関節、脊椎の柔軟性が重要であり、これによって脊椎にかかる圧縮力と剪断力を低減させることができると強調している(20)。

これまでスクワットは、椎間板の変性を招く要因の 1 つと考えられてきた(1)。White は、オリンピックリフティング時に、腰仙椎間板にかかる動的な力の算出を試みている(67)。先行研究において算出された平均負荷は 6,000~8,000N だったが(32)、White の実験では、60,000N にも達した。しかし White は、測定値のデジタル化に誤りがあった可能

性を示唆している。また彼の計算には、腹腔内圧による身体前面の支持力が含まれていないが、これによって、圧縮力は約 30%減少すると考えられる(1)。Day らは、椎間板の障害を持つ大学フットボール選手 12 名についての報告において(16)、このうち 3 名において、腰痛および脚への放散痛の原因は、スクワット以外のウェイトリフティング・エクササイズに関連していた。しかし椎間板の障害は、通常、複数の要因から成る問題で単独の活動に特定されないため、この場合についても因果関係は確定されなかった。

ウェイトトレーニング、特にウェイトリフティング競技は、脊椎分離症の発生に関連があると考えられてきた(14,17)。脊椎分離症とは、通常、第 5 腰椎椎弓の棘突起付近が疲労骨折するという症状である。脊椎すべり症は、椎体の 1 つがその下の腰椎に対して前方にすべり込むもので、通常、脊椎分離症を伴う。腰背部への反復的な過負荷は、仙骨に対して腰椎が前方に移動する原因になることが示されている(34)。椎体が前方にすべり込むと、脊椎への剪断力が増すと考えられる。ウェイトトレーニングでかかる力は、これらの障害両方の原因になり得る。しかし、その可能性は、体幹の前傾を抑え、腹腔内圧を高めて脊椎を安定させることで、最小限にすることができる。上半身の筋が弱い場合には、リフティングベルトの着用も効果的であろう(21,24)。すでに脊椎すべり症や脊椎分離症のあるアスリートについては、スクワットのプログラムを修正する必要がある。



背部の挫傷や捻挫は、ウェイトトレーニング、特にスクワットが原因である傷害の一般的な例である。この挫傷や捻挫のほとんどは、過大な負荷を用いたり、背部の筋の準備や強化が不十分な場合に、脊椎を急激に伸展したときに起こる。特に回旋を伴う場合に発生率が高い(9)。Davisは、ウェイトリフティングでは他のスポーツよりも傷害の発生率が高く、体幹が屈曲した状態で高重量を頭上に持ち上げると(誤ったテクニック)、腰椎に大きな剪断力がかかるとしている(15)。米小児医学会は、ウェイトリフティングは傷害発生率が高い競技スポーツで、思春期前の子供は行うべきではないとして、これを推奨していない(2)。しかし研究者の中には、この主張を支持していない者もいる(58)。

Klundらの報告では、ウェイトリフティング選手の背部の傷害発生率は比較的低く、調査対象80名中、背部の痛みの経験者は8名のみであった(38)。Klundは、脊柱起立筋の筋力と脊椎の柔軟性、さらに背中をまっすぐに保持したリフティングスタイルが、背部の痛みを回避させると考察している。また、GranhedとMorelliも同様の報告をしている(23)。彼らは、引退したレスリング選手(39~62歳)、ウェイトリフティング選手(40~61歳)、非鍛錬者(40~47歳)を対象に、腰痛発生率を横断的に比較した。その結果、腰痛発生率はレスリング選手が最も高く(50%、n=32名)、次いで非鍛錬者(31%、n=記載なし)であり、ウェイトリフティング選手は最も低かった(23%、n=13名)。さらに、レス

リング選手はウェイトリフティング選手よりも、脊椎骨折の発生率が高かった(88%)。

■ スクワットとマシンエクササイズの違い

当然のことだが、スクワットのみが下半身の筋力強化に用いられているわけではない。いくつかのマシンも広く用いられている。一般に、フリーウェイトに対するマシンの利点は、手軽さや、動作によっては特定の筋群を個別に鍛えることができるという点である。一方、フリーウェイトの利点は、費用がかからないことや、動作特異性が強化されることである。トレーニングで獲得した筋力が、それぞれのスポーツの機能的動作に活かされるのであれば、トレーニングの特異性は重要である。

さらに、トレーニングに対する神経系の適応も、各エクササイズによって異なる。プログラムの初期段階では、筋力の向上は主に神経系の適応による(56)。すなわち、主働筋を最大限に動員する一方、拮抗筋の働きを抑制し、さらに運動単位を同機的に動員させる能力が高まるためである。このような神経系の適応は、エクササイズの特異性に依りて、大きく異なるものとなる。

スクワットを行う方が、レッグエクステンションとレッグカールを行うよりも利点がある。スクワットはクローズドチェーンのエクササイズであり、ほとんどのスポーツ動作に対して、より特異的なエクササイズとなるためである。前述したように、レッグエクステンションとレッグカールは、スク



ワットよりも膝にかかる剪断力が大きい(50)。また多くの場合、スクワットはレッグプレスやヒップスレッドよりも、機能的により特異性が高い。

■ その他の要因

スクワット時に膝と背部に傷害が発生する危険は確かにあるが、しかし、ウェイトトレーニングで起こる傷害の多くは、その他の動作に原因があると考えられる。Billingsらは、腰痛のあるアスリート100名を調査した結果、傷害の発生時には、通常、回旋あるいは回旋と屈曲の両方が起こっていることを認めた(8)。これは、スクワットでは行われない動作である。またHerrickらは、トレーニングにランニングを取り入れているウェイトリフティング選手とパワーリフティング選手には、これを行わない選手よりも膝の痛みを訴える例が多いことを認めた(29)。さらに、ウェイトリフティング選手とウェイトトレーニングのみを行う人には、体操やアメリカンフットボールなどの他のスポーツ選手よりも、膝と背部の傷害を含めて、傷害発生率が低いことを示す研究報告もある(58,59)。従って、スクワットが原因とされてきた傷害の多くは、複数の要因によるものと考えるのが妥当であろう。さらに、スクワットも含めたウェイトトレーニングは、筋、靭帯、腱、および骨を強化するため、逆に傷害発生率を低下させるということを示す実証例もある(6,7,22,49)。

傷害の多くは、スクワット自体よりも、疲労をその原因とするべきであろう。Hattinらは、ハーフスクワットを行う間に、

疲労によりすべての関節にかかる力が増し、特に脛骨大腿骨関節前面および後面にかかる剪断力に、最も大きな影響が及ぶことを認めた(27)。この実験では、被験者は2種類のペース(1秒および2秒のインターバルで行う)、および3つの負荷設定(1RMの15、22、30%)で、ハーフスクワットを50レップ行った。その結果、速いペースでは明らかな筋疲労が現れ、膝の内外側にかかる剪断力と圧縮力が増した。同様に、疲労が傷害を引き起こす隠れた原因であるという説は、脊椎を初めとする他の関節についてもいえるであろう。Garhammerは、Maloneが被験者1名に対して行った未発表研究の中で、90%1RMで8レップのスクワットを行かせたところ、最初の2レップと比べて、最後の2レップでは疲労による影響が認められたことを報告している(20,28)。このように、スクワットに関連する傷害の多くは、実際の原因はエクササイズ自体にではなく、疲労、すなわち過度のトレーニングにあると考えられる。

■ 適切な動作の重要性

スクワットのすべてのバリエーション(フロントスクワット、バックスクワット、ローバー・スクワット、ハイバー・スクワットなど)の適切なフォームを示すことは、本稿の目的を越えているが、少なくともスクワットに関連する傷害の発生を減らすために、一般的なガイドラインを示す。

- 両足はほぼ肩幅に開く



- 下降局面では動作スピードをコントロールする。上昇局面は、様々なスピードで行うことができるが、速いスピードで行う場合には、不適切なテクニックにならないよう注意する
- 体幹を保持するには適切な呼吸が重要である。下降開始から、上昇局面のスティッキングポイントを通過するまでは息を止めておく
- ボトムポジションでバウンドしたり、体幹を捻ってはならない
- 挙上中は体幹をできるだけ垂直に保ち、脊椎の自然な前弯を保持する
- 一般に、典型的なバックスクワットとフロントスクワットでしゃがむ深さは、大腿前面が床と平行か、それより若干低くなる位置までとする。しかし、それより低い体勢が要求されるスポーツについては、この限りではない
- 常に足裏全体を床につけておく
- 下腿を前傾させると、膝への剪断力が増す。一方、下腿を垂直に保持すれば体幹が前傾するため、背部への剪断力が増すと考えられる。例外はあるが、一般には、膝への剪断力を低減させるために、下腿はできるだけ垂直に保持する。膝は最大限に前方へ移動しても、つま先より若干前方の位置までとする。スクワットの動作速度は、トレーニング量と強度が増大しないように、アスリートの適応能力を越えない程度に抑える
- すべてのレップを安定した一定のパターンで行い、筋にコンスタントに負荷を与え、同時に傷害を避ける

■ Reference

1. Alexander, M.J.L. 1985. Biomechanical aspects of lumbar spine injuries in athletes: a review. *Canadian Journal or Applied Sports Science*. 10(1):1-20.
2. American Academy of Pediatrics.1983. Weight training and weight lifting: Information for the pediatrician. *Physician and Sportsmedicine*. 11(3):157-161.
3. Andrews, J.G., Hay, J.G. and C.L.Vaughan.1983.Knee shear forces during a squat exercise using a barbell and a weight machine. *Biomechanics*. VIII (4B):923-927.
4. Ariel, E. G. 1974. Biomechanical analysis of the knee joint during deep knee bends with heavy load. *Biomechanics*. IV (1):44-52.
5. Atha, J. 1981.Strengthening muscle. *Exercise and Sports Science Reviews*. 7:163-172.
6. Block, J. E., Genant, H. K and D. Black.



1986. Greater vertebral bone mineral mass in exercising young men. *Western Journal of Medicine*. 145(July):39-42.
7. Block, J. E., Friedlander, A. L., Brooks, G. A., Steiger, P., Stubbs, H. A. and H. K. Genant. 1989. Determinants of bone density among athletes engaged in weight-bearing and non-weight-bearing activity. *Journal of Applied Physiology*. 67 (3):1100-1105.
 8. Billings, R. A., Burry, H. C. and R. Jones. 1977. Low back injuries in sport. *Rheumatology and Rehabilitation*. 16:236.
 9. Cantu, R. C. 1980. Lumbar spine injuries: In *The Exercising Adults*. Lexington, MA: Collamore Press.
 10. Cappozzo, A., Selici, F., Figura, F. and F. Gazzani. 1985. Lumbar spine loading during half squat exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 17 (5):613-620.
 11. Chandler, T. J., G. D. Wilson and M. H. Stone. 1989a. The effect of the squat exercise on knee stability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 21 (3):299-303.
 12. Chandler, T. J., G. D. Wilson and M. H. Stone. 1989b. The squat exercise: attitudes and practices of high school football coaches. *NSCA Journal*. 11 (1):30-34.
 13. Dahlkvist, N. J., Mayo, P. and B. B. Seedhom. 1982. Forces during squatting and rising from a deep squat. *Engineering in Medicine*. 11(2):69-76.
 14. Dangles, C. J. and D. L. Spencer. 1987. Spondylolysis in competitive weightlifters. *Journal of Sports Medicine*. 15:624-625.
 15. Davies, J. E. 1980. The spine in sports injuries, prevention, and treatment. *British Journal of Sports Medicine*. 14B:18-20.
 16. Day, A. L., Friedman, W. A. and P. A. Indelicate. 1987. Observation on the treatment of lumbar disk disease in college football players. *American Journal of Sports Medicine*. 15(1):72-75.
 17. Duda, M. 1987. Elite lifters at risk for spondylolysis. *Physician and Sports Medicine*. 15:57-59.
 18. Fitzgerald, B and G. R. McLatchie. 1980. Degenerative joint disease in weightlifters. *British Journal of Sport Medicine*. 14:97-101.
 19. Fleck, S. J. and W. J. Kraemer. 1987. *Designing Resistive Training Programs*. Champaign, IL: Human Kinetics.
 20. Garhammer, J. 1989. Weight lifting and training. In: *Biomechanics of Sport, chapter 5*, C. L. Vaughan, ed. Boca Raton, FL: CRC Press. pp.169-211.
 21. Garhammer, J. 1990. Safety equipment in weightlifting. *United States Weightlifting Federation Safety Manual*, J. Chandler and M. Stone, eds. Colorado Springs, CO: USWF. pp.57-64.
 22. Granhed, H., Jonson, R. and T. Hansson. 1987. Loads on the lumbar spine during extreme weightlifting. *Spine*. 12 (2):146-149.
 23. Granhed, H. and B. Morelli. 1988. Low back pain among retired wrestlers and



- heavy-weight lifters. *American Journal of Sports Medicine*. 16(5):530-533.
24. Harman, E. A., Rosenstein, R. M., Frykman, P. N. and G. A. Nigro. 1989. Effects of a belt on intra-abdominal pressure during weight lifting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 21(2):186-190.
25. Harmam, E. A. and P. Frykman. 1990. The effects of knee wraps on weightlifting performance and injury. *NSCA Journal*. 12(5):30-35.
26. Hart, D. L., Stobe, T.J. and M. Jaraiedi. 1987. Effect of lumbar posture on lifting. *Spine*. 12(2):138-145.
27. Hattin, H. C., Pierrynowski, M. R. and K. A. Bali. 1989. Effect of load, cadence, and fatigue on tibiofemoral joint force during a half squat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 21(5):613-618.
28. Hay, J. G., Andrews, J. G. and C. L. Vaughan. 1981. Load, Speed, and equipment effects in strength training exercises. Paper presented at the VIII International Congress of Biomechanics, July 1981, Nagoya, Japan.
29. Herrick, R. T., Stone, M. H. and S. Herrick. 1983. Injuries in strength-power activities. *Power Lifting USA*. 7(5):7-9.
30. Holloway, J. B., and T. R. Baecle. 1990. Strength Training for female athletes. *Sports Medicine*. 9(4):216-228.
31. Hsieh, H. and P. S. Walker. 1976. Stabilizing mechanisms of the loaded and unloaded knee joint. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 58A(1):87-93.
32. Kapandji, I. A. 1974. *The Physiology of the Joints, Vol.3: The Trunk and the Vertebral Column*. New York, NY: Churchill Livingstone.
33. Karpovich, P. V, Singh, M. and C. M. Tipton. 1970. Thee effect of deep knee squats upon knee stability. *Teor Praxe tel Vvch*.18:112-122.
34. Klafs, C. and D. Anlheim. 1981. *Modern Principles of Athletic Training, 5th ed*. St.Louis, MO: C. V. Mosby.
35. Klein, K.K. 1961. The deep squat exercise as utilized in weight training for athletes and its effect on the ligaments of the knee. *Journal of the Association for Physical and Mental Rehabilitation*. 5(1):6-11
36. Klein, K. K. 1962. Squats right. *Scholastic Coach*. 32(2):36-38, 70-71.
37. Klein, K. K. 1972. The effect of parturition on ligament stability of the knee in female subjects and its potential for traumatic arthritic change. *American Corrective Therapy Journal*. 26(March/April):43-45.
38. Kulund, D. N., Dewey, J. B., Brubaker, C. E. and J. R. Roberts. 1978. Olympic weightllifting injuries. *Physician and Sportsmedicine*.6(11):111-119.
39. Lanyon, L. E. 1987. Functional strain in bone tissue as an objective and controlling stimulus for adaptive bone remodeling. *Journal of Biomechanics*. 2:1083-1093.
40. Lutz, G. E., Palmitier, R. A., An, K. N. and E. YS. Chao. 1991. Closed kinetic chain exercises for athletes after reconstruction of he anterior cruciate ligament (abstract) . *Medicine and*



- Science in Sports and Exercise*. 24 (4):S69.
41. MacDougall, J. D., Sale, D. G., Alway, S. E. and J. R. Sutton. 1984. Muscle fiber number in biceps brachii in body builders and control subjects, *Journal of Applied Physiology*. 57: 1399–1403.
42. McLaughlin, T. M. Lardner, T. J. and C. J. Dillman. 1978. Kinetics of the parallel squat. *Research Quarterly*. 49 (2):175–189.
43. Meyers, E. J. 1971. Effect of selected exercise variables on ligament stability and flexibility of the knee. *Research Quarterly*. 42(4):411–422.
44. Morehouse, C. A. 1970. Evaluation of knee abduction and adduction: the effect of selected exercise programs on knee stability and its relationship to knee injuries in college football. *Final project report RD-2815-M*, U. S. Department of Health, Education and Welfare. Pennsylvania State University.
45. Nisell, R. and J. Ekholm. 1986. Joint load during the parallel squat in powerlifting and force analysis of in vivo bilateral quadriceps tendon rupture. *Scandinavian Journal of Sports Science*. 8(2):63–70.
46. Noyes, F. R., Delucas, J. L. and P. J. Torvik. 1974. Biomechanics of anterior cruciate ligament failure: an analysis of strain rate sensitivity and mechanism of failure in primates. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 56A(2):236–253.
47. Noyes, F. R., Grood, E. S. and P. A. Torzilli. 1989. Current concepts review: the definition of terms for motion and position of the knee and injuries of the ligaments. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 71A (3):465–473.
48. O’Shea, J. P. and J. Wegner. 1981. Power weighttraining and the female athlete. *Physician and Sportmedicine*. 9 (6):109–120.
49. O’Shea, J. P. 1985. The parallel squat. *NSCA Journal*. 7(1)4–6.
50. Palmitier, R. A., Kainan, A., Scott, S. G. and E. Y. S. Chao. 1991. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sport Medicine*. 11 (6):402–413.
51. Shankman, G. 1989. Training guidelines for strengthening the injured knee: basic concepts for the strength coach. *NSCA Journal*. 11(4):32–42.
52. Starr, B. 1963. Letter to the editor. *Strength and Health*. August: 9, 58.
53. Stoessl, L., Stone, M. H., Keith, R., Marple, D. and R. Johnson. 1991. Selected physiological, psychological, and performance characteristics of national caliber United States women weightlifters. *Journal of Applied Sport Science Research*. 5(2):87–95.
54. Stone, M. H., Johnson, R. L. and D. R. Carter. 1979. A short term comparison of two different methods of resistance training on leg strength and power. *Athletic Training*. 14(3):158–160.
55. Stone, M. H., Byrd, R., Tew, J. and M. Wood. 1980. Relationship between anaerobic power and olympic weightlifting performance. *Journal of Sports Medicine*



- and Physical Fitness.20(1):99-102.
56. Stone, M. H. and H. S. O'Bryant. 1987. *Weight Training: A Scientific Approach*. Minneapolis, MN: Bellwether Press.
57. Stone, M. H. 1988. Implications for connective tissue and bone alterations resulting from resistance exercise training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20(5):S162-S168.
58. Stone, M. H. 1990a. Muscle conditioning and muscle injuries. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22(4):457-462.
59. Stone, M. H. 1990. Physical and physiological preparation for weightlifting. *United States Weightlifting Federation Safety Manual*, J. Chandler and M. Stone, eds. Colorado Springs, CO:USWF. pp.79-101.
60. Stone, M. H. 1991. *Connective tissue (and bone) response to strength training*. In: *Encyclopedia of Sports Medicine: Strength and Power*, P. V. Komi, ed. In press.
61. Stowers, T, McMillian, J., Scala. D., Davis, D., Willson, D. and M. H. Stone. 1983. The short term effects of three different strength-power training methods. *NSCA Journal*. 5(3):24-27.
62. Tipton, C. M., James, S. L., Mergner, W. and T. Tchong. 1970. Influence of exercise on strength of medial collateral knee ligaments of dogs. *American Journal of Physiology*. 218(3):894-982
63. Tipton, C. M., Matthes, R. D., Maynard, J. A. and R. A. Carey. 1975. The influence of physical activity on ligaments and tendons. *Medicine and Science in Sports*.7(3):165-175.
64. Todd, T. 1984. Karl Klein and the squat. *NSCA Journal*. 6(3):26-31,67.
65. Uhl, T. L. and P. V. Loubert. 1990. Axial compression effect on anterior displacement of the in vivo tibiofemoral joint. *Master's thesis*, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
66. Ward, L. 1970. The effects of the squat jump exercise on the lateral stability of the knee. *Unpublished master's thesis*, Pennsylvania State University. University Park, PA.
67. White, S. C. 1977. The Olympic lifts: A kinetic model analysis of intervertebral stress. *Master's thesis*, University of Western Ontario, London, Ontario.
68. Woo, S. L-Y. and L. V. Tkach. 1990. The cellular and matrix responses of ligaments and tendons to mechanical injury. In: *Sports-induced Inflammation*, W. B. Leadbetter, J. A. Buckwalter, S. L. Gordon, eds. Park Ridge, IL: American Academy of Orthopedic Surgeons. pp.189-204.
69. Zemper, E. D. 1990. Four-year study of weight room injuries in a national sample of college football teams. *NSCA Journal*. 12(3):32-34.