

運動前のストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について—近年のストレッチング研究の結果をもとに—

山口太一¹, 石井好二郎²

¹酪農学園大学 酪農学部 食品流通学科 食・健康スポーツ科学

²北海道大学 大学院教育学研究院 応用体力科学

連絡先

山口太一

〒069-8501 北海道江別市文京台緑町 582 番地

酪農学園大学 酪農学部 食品流通学科 食・健康スポーツ科学

電話番号および Fax 番号: 011-388-4914

E-mail: taichi@rakuno.ac.jp

■ はじめに

ストレッチングは柔軟性を改善させるための手段として広く認識されている。また、運動前のストレッチングには柔軟性の改善、筋の緊張緩和あるいは血流の改善などのストレッチング本来の効果に基づくパフォーマンス向上効果ならびに傷害予防効果があると考えられている^{241,70,75,88,97)}。

ところが近年では、運動前に汎用されているストレッチング、すなわち、スタティックストレッチングについて、これらの効果を否定する研究結果が発表され、運動前におけるスタティックストレッチングの利用を疑問視する意見が散見される^{69,73,97)}。

その一方で、スポーツ現場では、現在も運動前にスタティックストレッチングが利用されている。つまり、アスリートやスポーツ現場で実施する者にとっては、スタティックストレッチングのマイナスの効果など実感できず、いささか種々の研究結果

を信じ難いと覚えざるを得ないのが現実のようだ。

では、いったい何故、スポーツ現場と研究結果との間でこのようなギャップが生じているのであろうか？本稿では、この疑問を解決すべく、運動前のストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究結果を集約し、現時点における研究結果の方向性を示すとともに、これまでの研究における問題点を挙げ、スポーツ現場と研究におけるギャップについて考えていきたい。また、このようなギャップを埋めるべく行われた幾つかの興味深い研究結果を取り上げ、スポーツ現場で実践できる運動前のストレッチングのプロトコルについて紹介していきたい。

■ 運動前のストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響

これまで運動前のストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究では、スタティック(static:静的)ストレッチング、バリスティック(ballistic)ストレッチング、proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF)の手法を用いたストレッチング(以下、語弊があるかもしれないがPNF ストレッチングとする)、ダイナミック(dynamic:動的)ストレッチングの4種類の方法が用いられてきた。

また、パフォーマンスの指標としては、筋機能の指標である筋力やパワー、瞬発的なパフォーマンスの指標であるジャンプ高、立ち幅跳び長、スプリント走のタイム、自転車スプリントパワー、メディシンボールスローの距離などが採用されてきた。

ここで分かりやすく示すために、それぞれのストレッチングの方法ごとに研究結果をまとめて記述していきたい。また、スタティックストレッチングについては研究結果が多いため、さらに筋機能に及ぼす影

響を検討した研究と瞬発的なパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究とに細分化して紹介していきたい。

①スタティクストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響

a. スタティクストレッチングが筋機能に及ぼす影響

スタティクストレッチングはゆっくりと筋や腱を引き伸ばし、関節可動域の限界あるいは限界近くで一定時間保持する方法である^{2,39,41,88)}。

ストレッチングの方法の中では最も安全で容易な方法であることから、いわゆる“ストレッチング”としてスポーツの現場をはじめ、さまざまな場面で利用されている。無論、運動前のストレッチングとしても利用されており、我々の調査⁸⁷⁾においてスポーツ実施者(n=107)の実に98%が運動前にスタティクストレッチングを行っていることが明らかとなった。

しかしながら近年、このスタティクストレッチングについて、筋力やパワー、すなわち筋機能を低下させることが報告されている(表1)。

この先駆けとなった研究が1998年のKokkonenらの研究⁴⁶⁾であり、彼らは膝伸筋群、膝屈筋群、股関節内転筋群および足底屈筋群に対する合計20分間のスタティクストレッチングによって膝屈曲および膝伸展における1回挙上重量(one repetition maximum: 1RM)がそれぞれ7.3%および8.1%低下したことを報告している。

その後も現在まで上肢や下肢の種々の筋群を対象に、等尺性、等張性および等速性(短縮性ならびに伸張性)の筋活動における筋力に及ぼすスタティクストレッチングの影響について検討が行われてきた。しかしながら、これまでにスタティクストレッチングによる筋力向上を明らかにした報告はなく、その殆どが筋力低下を確認している(表1)。

同様に、パワーについてもスタティクストレッチング後の向上を明らかにした研究はなく、我々⁸⁸⁾は膝伸筋群に対する合計20分間のスタティクストレッチングによって最大等尺性膝伸展筋力の5%、30%および60%に相当する重量を負荷した際の膝伸展パワーがそれぞれ10.4%、5.6%および8.6%低下したことを報告している。

b. スタティクストレッチングが瞬発的なパフォーマンスに及ぼす影響

一方、瞬発的なパフォーマンスに及ぼすスタティクストレッチングの影響については、筋機能への影響ほど統一した見解は得られていない(表2)。

垂直跳び、スクワットジャンプあるいはドロップジャンプなどのジャンプ高については、Cornwellらの研究¹⁵⁾のように、膝屈筋群および股関節伸筋群に対する合計5分間のスタティクストレッチングによって、垂直跳び高およびスクワットジャンプ高がそれぞれ4.3%および4.4%低下したことを示した研究がある。

一方で、Powerら⁶⁸⁾のように膝伸筋群、膝屈筋群および足底屈筋群の各筋群へそ

れぞれ6分ずつ、合計18分間のスタティクストレッチングによって膝伸展における等尺性筋力は低下したものの、スクワットジャンプおよびドロップジャンプ高が変化しなかったとする報告も多い。

しかしながら、ジャンプ高については筋機能に及ぼす影響を検討した研究と同様に、スタティクストレッチングによるパフォーマンス向上を認めた研究は我々の知る限りない(表2)。

一方で、立ち幅跳び長やスプリント走タイム、自転車スプリントパワーについては、スタティクストレッチング後に低下を示した報告もあるものの、逆に僅かではあるが向上を認めた研究もある。

McMillanら⁵⁰⁾は、上肢、体幹および下肢に対する10分間のスタティクストレッチングを含むウォームアップによって立ち5段跳び長の2.8%の増加を、Little & Williams⁵⁰⁾は、6分20秒の下肢筋群のスタティクストレッチングに準備運動を加えたウォームアップにより20mスプリント走の1.7%のタイム短縮を、O'Connerら⁶⁴⁾は、15分以上の下肢筋群のスタティクストレッチングによって自転車スプリントパワーの増大を明らかにしている。

c. スタティクストレッチングがパフォーマンスを低下させる要因

スタティクストレッチングによるパフォーマンスの低下が確認され、その要因についても検討されているが、未だ明確にはなっていない。

表1 スタティックスストレッチングが筋機能に及ぼす影響について検討した研究

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
1) Kokkonen et al. (1998)	1) SS(20分)	膝伸, 膝屈, 股内転, 足底屈	膝伸展1RM 膝屈曲1RM	1) < 2): -8.1% 1) < 2): -7.3%
	2) NS			
2) Avela et al. (1999)	1) SS(60分)	足底屈	等尺性足底屈トルク	1) < 2): -23.2%
	2) NS			
3) Fowles et al. (2000)	1) SS(30分)	足底屈	等尺性足底屈トルク	1) < 2): -28%
	2) NS			
4) Nelson et al. (2001a)	SS(10分)	膝伸	等尺性膝伸展トルク (膝関節90,108,126,144,162度)	162度: post < pre; -7.0% 上記以外: pre = post
5) Nelson et al. (2001b)	SS(15分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,90,150,210,270度/秒)	60, 90度/秒: post < pre; 60度/秒: -7.2% 90度/秒: -4.5%, それら以外: pre = post
6) Behm et al. (2001)	1) W-up+SS(20分)	膝伸	等尺性膝伸展張力	1) < 2): -12.2%
	2) W-up+NS			
7) Evetovich et al. (2003)	1) SS(9分?)	肘屈	等速性短縮性肘屈曲トルク (30,270度/秒)	1) < 2): 平均-4.6%
	2) NS			
8) Cramer et al. (2004)	W-up+SS(16分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,240度/秒)	post < pre; 60度/秒: -3.3% 240度/秒: -2.6%
9) Power et al. (2004)	1) W-up+SS(18分)	膝伸, 膝屈, 足底屈	等尺性膝伸展張力	1) = 2), 1): post < pre; -9.5%
	2) W-up+NS		等尺性足底屈張力	1) = 2), pre = post
10) Behm et al. (2004)	1) W-up+SS(26分)	膝伸, 膝屈, 足底屈	等尺性膝伸展張力	1) = 2)
	2) W-up+NS			1), 2): post < pre; 1): -6.8%, 2): -5.6%
11) Cramer et al. (2005)	W-up+SS(16.1分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,240度/秒)	post < pre; 平均-3.3%
			等速性短縮性膝伸展パワー (60,240度/秒)	pre = post
12) Weir et al. (2005)	SS(10分)	足底屈	等尺性足底屈トルク	post < pre; -7.1%
13) Knudson & Noffal (2005)	1) W-up+SS (10秒刻みで10~100秒)	掌屈	握力	40秒以上: 1) < 2): -3.8%~-8.3% 10~30秒: 1) = 2)
	2) W-up+NS			
14) Bazett-Jones et al. (2005)	1) SS(23.3分)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈	スクワット姿勢での等尺性張力	1) = 2)
	2) NS			
15) Marek et al. (2005)	W-up+SS(16.9分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,300度/秒)	post < pre; 平均-2.8%
			等速性短縮性膝伸展パワー (60,300度/秒)	post < pre; 平均-3.2%
16) Yamaguchi & Ishii (2005)	1) SS(8.3分)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈	等負荷性レッグプレスパワー (体重負荷)	1) = 2) 1), 2): post < pre; 1): -5.1%, 2): -3.6%
	2) NS			
17) Guissard & Reiles (2005)	W-up+SS(6分)	膝伸	等速性スクワット張力 (20,70cm/秒)	pre = post
18) Nelson et al. (2005)	1) SS(20分)	膝伸, 膝屈, 足底屈	膝伸展1RM 膝屈曲1RM	1) < 2): -5.7% 1) < 2): -3.6%
	2) NS			
19) Papadopoulos et al. (2005)	1) W-up+SS(4.5分)	膝伸, 膝屈	等速性短縮性膝伸展トルク (60,180度/秒)	1) < 2): 60度/秒: -4.3% 180度/秒: -4.4%
	2) W-up+NS		等速性短縮性膝屈曲トルク (60,180度/秒)	1) < 2): 60度/秒: -5.0% 180度/秒: -4.3%
20) Behm et al. (2006)	W-up+SS(24分?)	膝伸, 膝屈, 足底屈	等尺性膝伸展張力 等尺性膝屈曲張力	post < pre; -8.2% post < pre; -6.6%
21) Cramer et al. (2006)	W-up+SS(21.2分)	膝伸	等速性伸張性膝伸展トルク (60,180度/秒)	pre = post
22) Zakas et al. (2006a)	1) W-up+45秒SS(1.5分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (30,60,120,180&300度/秒)	1): pre = post 2): post < pre; 30度/秒: -5.2%, 60度/秒: -5.5%, 120度/秒: -6.5%, 180度/秒: -8.4%, 300度/秒: -12.9%
	2) W-up+5分SS(10分)			
23) Papadopoulos et al. (2006)	1) W-up+SS(25分?)	膝伸, 膝屈, 足底屈	等尺性レッグプレス張力	1) = 2)
	2) W-up+NS			
24) Young et al. (2006)	1) W-up+1分SS(2分)	足底屈	足底屈張力	1) = 2) = 3) = 4) = 5)
	2) W-up+2分SS(4分)	足底屈		
	3) W-up+2分90%SS(4分)	足底屈		
	4) W-up+4分SS(8分)	足底屈		
	5) W-up+NS			

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
25) Brandenburg (2006)	1) W-up+15秒SS(2.25分) 2) W-up+30秒SS(3分)	膝屈 膝屈	等尺性膝屈曲トルク 等速性短縮性膝屈曲トルク (120度/秒) 等速性伸張性膝屈曲トルク (120度/秒)	1), 2): <i>post</i> < <i>pre</i> ; 1): -6.7%, 2): -6.1% 1), 2): <i>post</i> < <i>pre</i> ; 1): -2.7%, 2): -3.3% 1), 2): <i>post</i> < <i>pre</i> ; 1): -5.3%, 2): -5.8%
26) Egan et al. (2006)	W-up+SS(16.8分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,300度/秒) 等速性短縮性膝伸展パワー (60,300度/秒)	<i>pre</i> = <i>post</i> <i>pre</i> = <i>post</i>
27) Yamaguchi et al. (2006)	1) SS(20分) 2) NS	膝伸	等負荷性膝伸展パワー (5%,30%,60%MVC)	1) < 2); 5%: -10.4%, 30%: -5.6%, 60%: -8.6%
28) Zakas et al. (2006b)	1) W-up+4 × 15秒SS(2分) 2) W-up+32 × 15秒SS(16分)	膝伸 膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,90,150,210,270度/秒)	1): <i>pre</i> = <i>post</i> 2): <i>post</i> < <i>pre</i> ; 60度/秒: -7.4%, 90度/秒: -5.9%, 150度/秒: -7.2%, 210度/秒: -6.5%, 270度/秒: -8.2%
29) McBride et al. (2007)	1) W-up+SS(11.5分?) 2) W-up+NS	膝伸	等尺性膝伸展張力 スクワット姿勢での等尺性張力	1) < 2); -7.9% 1) = 2), 1): <i>post</i> < <i>pre</i> ; -8.0%
30) Cramer et al. (2007a)	W-up+SS(20.3分)	膝伸	等速性伸張性膝伸展トルク (60,180度/秒) 等速性伸張性膝伸展パワー (60,180度/秒)	<i>pre</i> = <i>post</i> <i>pre</i> = <i>post</i>
31) Cramer et al. (2007b)	W-up+SS(15.6分)	膝伸	等速性短縮性膝伸展トルク (60,300度/秒)	<i>post</i> < <i>pre</i> ; -3.4%
32) Maisetti et al. (2007)	SS(?分, 伸張時間は1.25分)	足底屈	等尺性足底屈トルク	<i>post</i> < <i>pre</i> ; -9%
33) Alpaya & Koceja (2007)	1) W-up+SS 2) W-up+NS	足底屈	足底屈張力	1) = 2)
33) Ogura et al. (2007)	1) 30秒SS(2分) 2) 60秒SS(2分) 3) NS	膝屈 膝屈	等尺性膝屈曲トルク	2) < 1) = 3); 1): -6.9%, 3): -8.6%

そのうち有力な候補として挙げられているのが、スタティックストレッチングによる 1) 力学的な変化(mechanical change)および 2) 神経生理学的な変化(neurological change)である。

1) 力学的な変化については、筋や腱の弾性(stiffness)の減少により筋の収縮力が低下したり、腱から骨への力の伝達効率が低下することに由来すると考えられている他、筋の長さ-力関係(length-torque relationship)に変化を来し、最大出力が可能となる至適な筋長が変化することにより、筋出力が減少することもパフォーマンス低下の一因と推察されている。

筋の弾性の低下については、受動的トルク(passive torque)や筋音図法

(mechanomyography)により間接的に定量され、ストレッチング中の受動的トルクの低下^{31,80)}や筋力発揮時の筋音図の変化^{26,53)}が筋力の低下と同時に起こることが確認されている。

また、筋の長さ-力関係については最大筋力と最大筋力の出現する関節角度の関係(角度-力関係: angle-torque relationship)を調べた研究において、筋力の低下と関節角度の変化が共に起こることから説明されている^{20,31,89)}。

一方、2) 神経生理学的な変化については、①自原性抑制(auto-genic inhibition)、②機械的受容器(mechanoreceptor)および侵害受容器(nociceptor)からの求心性抑制(afferent inhibition)、③疲労性の抑制(fatigue induced inhibition)、④関節の圧受

容器のフィードバック抑制(joint pressure feedback inhibition)、⑤伸張反射による抑制(stretch reflex inhibition)、⑥高次脳からの疲労性の抑制(supraspinal fatigue-induced inhibition)などがパフォーマンス低下に寄与すると推察されており、筋電図法(electromyography)^{8,16,19,22,31,53,54,80)}や随意筋活動中に電気刺激を挿入する方法(interpolated twitch technique)^{8,31,68)}によって導出された活動水準の低下と筋機能およびジャンプ高の低下とが同時に起こる現象から裏付けがなされている。

表2 スタティックストレッチングが瞬発的なパフォーマンスに及ぼす影響について

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
1) Knudson et al. (2001)	1) W-up+SS(3.75分) + ジャンプ 2) W-up+NS + ジャンプ	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び速度	1) = 2)
2) Church et al. (2001)	1) W-up+SS(?分) 2) W-up	膝伸, 膝屈	垂直跳び高	1) = 2)
3) Cornwell et al. (2001)	1) SS(5分) 2) NS	膝伸, 股伸	スクワットジャンプ高 垂直跳び高	1) < 2): -4.4% 1) < 2): -4.3%
4) Young & Elliott (2001)	1) W-up+SS(10.5分) 2) W-up	膝伸, 股伸, 足底屈	スクワットジャンプ高 ドロップジャンプ速度	1) = 2) 1) < 2): -6.9%
5) Cornwell et al. (2002)	SS(6分)	足底屈	スクワットジャンプ高 垂直跳び高	pre = post post < pre: -7.4%
6) Young & Behm (2003)	1) SS(4分) 2) ジョグ 3) ジョグ+SS(4分) 4) ジョグ+SS(4分)+ジャンプ 5) 歩行+スクワット+かかとあげ	膝伸, 足底屈 膝伸, 足底屈 膝伸, 足底屈	スクワットジャンプ高 ドロップジャンプ高	2) = 4) > 3) = 1), 2) > 5) 5)は2)以外の条件とは差なし 2) = 4), 2) > 3) = 1), 2) > 5), 4) > 1), 3) = 4), 5)は2)以外の条件とは差なし
7) McNeal & Sands (2003)	1) W-up+SS(2分?) 2) W-up+NS	膝屈, 足底屈	ドロップジャンプ滞空時間	1) < 2): -9.6%
8) Koch et al. (2003)	1) SS W-up(8分) 2) W-up	膝伸, 膝屈	立ち幅跳び距離	1) = 2)
9) Siatras et al. (2003)	1) W-up+SS(4分?) 2) W-up	膝伸, 膝屈, 足底屈, 足背屈	20m走速度	1) < 2)
10) Power et al. (2004)	1) W-up+SS(18分) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈	スクワットジャンプ高 ドロップジャンプ高	1) = 2) 1) = 2)
11) Fletcher & Jones (2004)	1) W-up+受動的SS(?分, 各筋20秒) 2) W-up+能動的SS(?分, 各筋20秒)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈	20m走タイム	1): post < pre: -1.2% 2): post < pre: -1.5%
12) Unick et al. (2005)	1) W-up+SS(12.25分?) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高 ドロップジャンプ高	1) = 2) 1) = 2)
13) Nelson et al. (2005)	1) W-up+両脚にSS(16~20分) 2) W-up+スタート前脚にSS(8~10分) 3) W-up+スタート後脚にSS(8~10分) 4) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈	20m走タイム	1) = 2) = 3) < 4), 1): -1.3%, 2): -1.3%, 3): -1.6%
14) Burkett et al. (2005)	1) W-up+SS(4.6分?) 2) No W-up	膝伸, 膝屈, 股伸, 足底屈	垂直跳び高	1) = 2)
15) Wallmann et al. (2005)	W-up+SS(?分, 伸張時間は1.5分)	足底屈	垂直跳び高	post < pre: -5.6%
16) Guissard & Reiles (2005)	W-up+SS(6分)	膝伸	スクワットジャンプ高 垂直跳び高	pre = post pre = post
17) Behm et al. (2006)	W-up+SS(24分?)	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高 ドロップジャンプ高	post < pre: -5.7% pre = post
18) O'Conner et al. (2006)	1) W-up+SS(15分以上) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈	自転車スプリントパワー	1) > 2)
19) Little & Williams (2006)	1) W-up+SS(6.3分) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈	垂直跳び高 10m走タイム 20m走タイム ジグザグ走タイム	1) = 2) 1) = 2) 1) > 2): +1.7% 1) = 2)
20) McMillian et al. (2006)	1) SS W-up(10分) 2) No W-up	上肢, 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈, 体幹	立ち5段跳び距離 T字走タイム メディシンボールスロー距離	1) > 2): +2.8% 1) = 2) 1) = 2)
21) Young et al. (2006)	1) W-up+1分SS(2分) 2) W-up+2分SS(4分) 3) W-up+2分SS(90%ROM)(4分) 4) W-up+4分SS(8分) 5) W-up+NS	足底屈 足底屈 足底屈 足底屈	ドロップジャンプ高	1) = 2) = 3) = 4) = 5)
22) Woolstenhulme et al. (2006)	1) W-up+SS(8分) 2) W-up	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高	1) pre = post 2) pre = post
23) Duncan & Woodfield (2006)	1) SS W-up(5分) 2) No W-up	膝伸, 膝屈, 足底屈, 足背屈	垂直跳び高	1) < 2): -7.0%
24) Bradley et al. (2007)	1) W-up+SS(10分) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈	スクワットジャンプ高 垂直跳び高	1) < 2): 平均-4.0%

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
25) Brandenburg et al. (2007)	1) W-up+SS (9分) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高	1) = 2)
26) Behm & Kibele (2007)	1) W-up+SS (100%ROM) (20分?) 2) W-up+SS (75%ROM) (20分?) 3) W-up+SS (50%ROM) (20分?) 4) W-up+5秒SS (100%ROM)	膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈	スクワットジャンプ高 垂直跳び高 早い切り返しの垂直跳び高 遅い切り返しの垂直跳び高 ドロップジャンプ高	すべてで1), 2), 3) post < pre 1) -2.4%, 2) -3.7%, 3) -5.3% 1) -4.2%, 2) -3.9%, 3) -2.8% 1) -4.4%, 2) -5.4%, 3) -4.0% 1) -5.8%, 2) -3.0%, 3) -8.0% 1) -3.8%, 2) -8.1%, 3) -8.1% 4)はすべてで pre = post 2) < 1) -1.2%, その他には差なし 1) > 3), その他には差なし
27) Vetter (2007)	1) W-up 2) W-up+SS (4分?) 3) W-up+準備運動 4) W-up+SS (4分?) + 準備運動	膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高 30m走タイム	2) < 1) -1.2%, その他には差なし 1) > 3), その他には差なし

d. スタティックスストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究とスポーツ現場における相違点

スタティックスストレッチングがパフォーマンスを低下させることが報告され、運動前のスタティックスストレッチングの利用を中止すべきとの提言を示す研究者も増えてきた。

しかしながら、スポーツの現場においては、今もなお運動の前にスタティックスストレッチングが用いられており、スタティックスストレッチングのマイナスの効果を実感できないという声も耳にする。

このようなスポーツの現場と研究結果におけるギャップについては、双方の 1) ストレッチングの時間や 2) 実際のストレッチングを含めたウォームアップのプロトコルの相違によって生じた可能性が指摘されている。

具体的には、1) ストレッチングの時間については、先行研究における単一の筋群に対するストレッチングの時間やストレッチングと休息時間を含めたプロトコルの合計時間が一般にスポーツ現場で利用され

ている時間や推奨されている時間よりも長かった。

運動前に限らず単一の筋群に対するスタティックスストレッチングの伸張時間は 20 秒から 30 秒程度が望ましいとされている²⁴⁾。これはストレッチングの伸張時間が柔軟性に及ぼす影響を検討し、30 秒のストレッチングとそれ以上長い伸張時間のストレッチングとでは柔軟性の改善効果に差がなかったことを示した研究結果⁴⁾から導き出されている。

しかしながら、スタティックスストレッチングによるパフォーマンスの低下を認めた研究では、単一の筋群に対するストレッチングの時間が 20 秒と短いものもあるものの³⁰⁾、その大半で長く、もっとも長いものに至っては 60 分にも達していた³⁾。

このような背景をもとに、最近では単一の筋群に対するストレッチングの時間の相違がパフォーマンスにいかなる影響を及ぼすのかについても検討が行われている。

Knudson & Noffal⁴⁵⁾は 10 秒から 100 秒まで 10 秒刻みで掌屈に関わる筋群にストレッチングを行い、握力に及ぼす影響を検

討したところ、40 秒以上で握力が低下したことを報告している。また、Zakas ら⁹⁸⁾は膝屈曲筋群に 15 秒×3 セット(45 秒)のストレッチングと 15 秒×20 セット(5 分)のストレッチングを行い、等速性膝伸展トルクに及ぼす影響を比較し、5 分のストレッチングのみでトルクが低下したことを確認している。さらに、Ogura ら⁶⁵⁾も膝屈筋群に対する 30 秒のストレッチングと 60 秒のストレッチングが等尺性膝屈曲筋力に及ぼす効果を比較し、長座位体前屈を指標に測定した柔軟性の改善は同水準であったのに対し、筋力の低下は 60 秒のストレッチングのみに観察されたことを報告している。

概して、単一の筋群に対する 30 秒程度のストレッチングであれば、パフォーマンスを低下させない可能性が考えられる。この要因としては、30 秒のスタティックスストレッチング中には筋における受動的トルクや活動水準が低下するものの、ストレッチング直後には両指標がストレッチング前と同程度まで回復したことを示した研究結果^{34,52)}によって説明可能かもしれない。すなわち、パフォーマンスの低下の要因として考えられている力学的な変化や神経生理

学的な変化が 30 秒のスタティックストレッチングのみではストレッチング後まで持続せず、結果としてパフォーマンスの低下に繋がらないものと推察される。

しかしながら一方で、Brandenburg¹¹⁾は 2 種類の膝屈筋群に対するストレッチングをそれぞれ 15 秒×3 セット行う条件でも 30 秒×3 セット行う条件においても等尺性膝屈曲トルク、等速性短縮性膝屈曲トルクおよび等速性伸張性膝屈曲トルクのすべてに低下が認められたことから、単一の筋群におけるストレッチングの時間の長さに関係なくパフォーマンスが低下することを示唆している。ところが、彼らの研究におけるストレッチングのセット数は合計で 6 セットであり、前述の研究に比べれば単一の筋群に対するストレッチングの時間(90 秒および 180 秒)が長かったと言える。よって、その結果パフォーマンスが低下したことも考えられる。

したがって、現時点においてスポーツの現場にとって現実的なストレッチングの伸張時間を考慮に入れた上で、スタティ

クストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究結果をまとめると以下になるだろう。

すなわち、単一の筋群に対するストレッチングの伸張時間として推奨されている 30 秒程度のストレッチングであればパフォーマンスを低下させる可能性は低い。一方、それ以上の伸張時間でストレッチングを行うことでパフォーマンスを低下させる恐れがあるのかもしれない。

また、ストレッチングに休息时间を含めたプロトコルの合計時間についてもパフォーマンスの低下を認めた研究の多くが一般的なプロトコルの時間よりも長かった。

運動前のストレッチングのプロトコルの合計時間としては、運動で利用するすべての筋群を 8 分から 12 分かけて伸張させることが望ましいとされている。しかしながら、先行研究においては、単一の筋群を対象とした場合でも合計で 8 分以上伸張されていることも少なくなかった。興味深いことに、比較的多くの検討がなされている膝伸筋群の筋機能を対象にストレッチ

ングのプロトコルの合計時間と筋機能の変化の割合との関係をもてみると、両者の間に負の相関関係が確認される(図 1)。

すなわち、このことはストレッチングのプロトコルの合計時間が長くなれば長くなるほど、筋機能の低下が大きくなることを示している。無論、プロトコルの時間の長さは単一の筋群に対するストレッチングの時間の長さを反映しているものの、プロトコル自体が長いこともパフォーマンスを大きく低下させる要因となり得ることが示唆された。

よって、より現実的な合計時間でストレッチングのプロトコルを構成することも今後の研究において重要な課題であり、単一の筋群に対するストレッチングの時間およびプロトコルの時間がより現実的なものであれば、パフォーマンスの低下も抑えられるのかもしれない。

また、2)実際のストレッチングを含めたウォームアップのプロトコルに関しては、山本⁹²⁾が指摘するように、スポーツ現場のウォームアップは、ストレッチングがジ

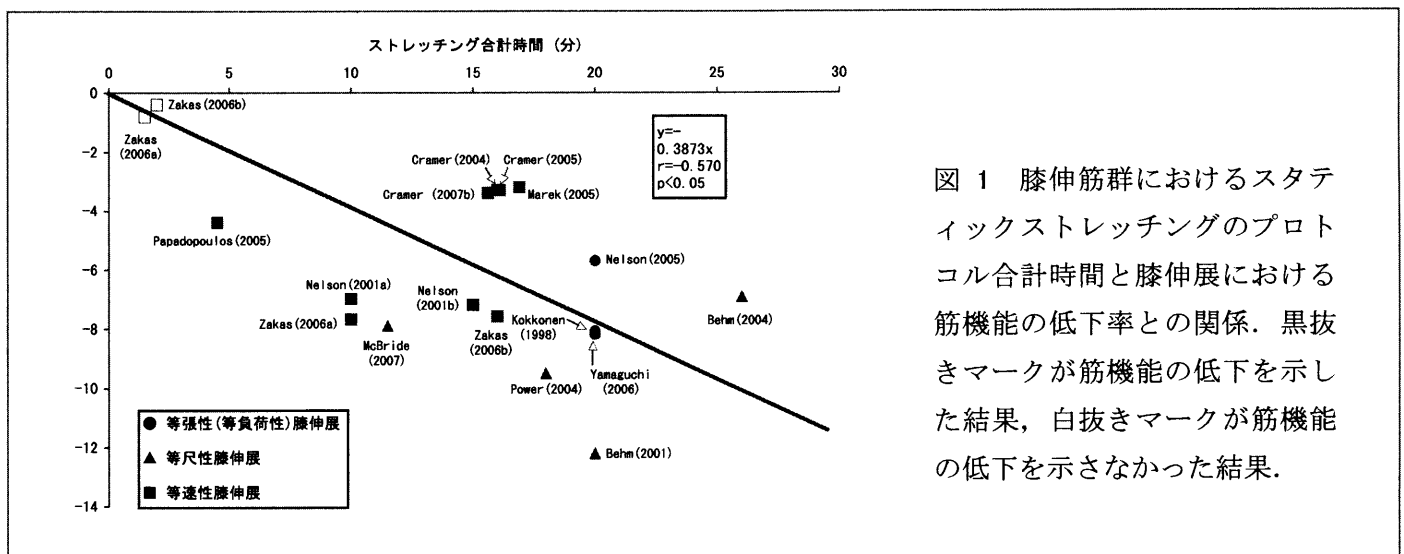


図 1 膝伸筋群におけるスタティックストレッチングのプロトコル合計時間と膝伸展における筋機能の低下率との関係。黒抜きマークが筋機能の低下を示した結果、白抜きマークが筋機能の低下を示さなかった結果。

ジョギングなどの有酸素性運動後に行われ、さらに、ストレッチ後には実際に行う運動をシミュレートした準備運動が行われることが多いのに対し、スタティックストレッチ後にパフォーマンスの低下を認めた研究の多くは、有酸素性運動をせずにストレッチのみの後にパフォーマンスを測定したり、有酸素性運動を行っていたとしてもストレッチ後に準備運動をせずにパフォーマンスを測定しており、この点でスポーツ現場と大きく異なっていた。

そこでこのような相違点を埋めるべく、山本ら⁹²⁾はスタティックストレッチ後にジャンプ練習を行うプロトコルを用いて垂直跳び高に及ぼす影響を検討し、垂直跳び高が向上したことを確認している。さらに、Little & Williams⁵⁰⁾も下肢筋群に対する6分20秒のスタティックストレッチ後に準備運動を行うことで、20m 走のタイム改善を報告している。

一方、Young & Behm⁹⁶⁾は①ジョギングを行う条件、②膝伸筋群および足底屈筋群に各2分のスタティックストレッチを行う条件、③ジョギングと同一のストレッチを行う条件、④ジョギングと同様のストレッチとジャンプ練習を行う条件、⑤ウォーキングとスクワットとかかとあげを行うコントロール条件を実施し、スクワットジャンプ高およびドロップジャンプ高に及ぼす効果を比較検討した。その結果、①と④が同程度でもっともジャンプ高が高く、次いで③と⑤が同水準、もっとも低かったのが②であったことを示し、プロトコルに

スタティックストレッチが含まれることで、ジャンプ高は低下するものの、ジョギングやジャンプ練習によって、スタティックストレッチによるパフォーマンス低下の影響を相殺できることを明らかにしている(彼らは逆にスタティックストレッチによってジョギングやジャンプ練習のパフォーマンス向上効果を相殺してしまう危険性の方を主張しているが)。さらに、Vetter⁷⁸⁾も①有酸素性運動のみの条件、②有酸素性運動と膝伸筋群、膝屈筋群および足底屈筋群へのスタティックストレッチを行う条件、③有酸素性運動と練習ジャンプなどの準備運動を行う条件、④有酸素性運動、スタティックストレッチおよび準備運動を行う条件が垂直跳び高および30m 走のタイムに及ぼす効果を比較し、垂直跳び高について①よりも②で低値を示したものの、④では他の条件と差がなく、スタティックストレッチ後に準備運動を行うことでパフォーマンスの低下を抑えられることを報告している。

つまり、スタティックストレッチ後にしっかりと準備運動を行うことで、例えば、スタティックストレッチによるパフォーマンス低下の影響があったとしてもYoung & BehmやVetterの研究のように相殺される、あるいは山本らやLittle & Williamsの研究のようにその影響を上回る準備運動のパフォーマンス向上効果が得られると言えるだろう。

e.スタティックストレッチがパフォーマンスに及ぼす影響のまとめ

スタティックストレッチが筋機能や瞬発的なパフォーマンスを低下させることが認められているが、より現実的なストレッチの時間やウォームアップのプロトコルを用いている研究では、パフォーマンスを低下させない、あるいはパフォーマンスを向上させることも明らかになっていた。したがって、スポーツの現場において感じられているスタティックストレッチがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究結果に対する違和感はあながち間違いでもなかったのかもしれない。

しかしながら、スタティックストレッチ以外のストレッチの方法の中で十分に柔軟性を向上させ、さらによりパフォーマンスの向上に適した方法があるならば、その方法を運動前のストレッチングとして推奨することが可能であろう。

②バリスティックストレッチがパフォーマンスに及ぼす影響

バリスティックストレッチは反動や勢いをつけて関節可動域の全体あるいは可動域を越えるところまで筋や腱を伸張させる方法である^{24),98)}。反動をつけて勢い良く筋や腱を引き伸ばすことから伸張反射により筋を収縮させる可能性や筋および腱に損傷を引き起こす恐れがあり、バリスティックストレッチの利用を疑問視する声もある^{2,39,41,98)}。

一方で、バリスティックストレッチは過伸張を防ぎながら伸張反射の作用をうまく利用することで運動時に頻繁にみられ

表3 バリスティックストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
1) Nelson & Kokkonen (2001)	1) BS(20分) 2) NS	膝伸, 膝屈, 股内転, 足底屈	膝伸展1RM 膝屈曲1RM	1) < 2); -5.6% 1) < 2); -7.5%
2) Unick et al. (2005)	1) W-up+BS(12.25分?) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高 ドロップジャンプ高	1) = 2) 1) = 2)
3) Woolstenhulme et al. (2006)	1) W-up+BS(8分) 2) W-up	膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高	1) pre = post 2) pre = post
4) Bradley et al. (2007)	1) W-up+BS(10分) 2) W-up	膝伸, 膝屈, 足底屈	スクワットジャンプ高 垂直跳び高	1) = 2)

る筋活動である伸張-短縮サイクル(stretch-shortening cycle)の機能を高められる可能性があることから、運動前のストレッチングとして推奨する意見もあり、実際にバリスティックストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響についても検討がなされている(表3)。

しかしながら、Nelson & Kokkonen⁶²⁾は、膝伸筋群、膝屈筋群、股関節内転筋群および足底屈筋群に対する合計 20 分間のバリスティックストレッチングによって、膝伸展および膝屈曲の 1RM がそれぞれ 5.6%および 7.5%低下したことを報告している。彼らは、スタティックストレッチングの研究⁴⁸⁾同様、筋力低下と共に長座体前屈により測定した柔軟性に改善が確認されたことから、バリスティックストレッチングにおいても力学的な変化がパフォーマンスの低下に関与していることを示唆している。また、スタティックストレッチングによる自原性抑制とは異なるものの、伸張反射に由来する自原性抑制によって神経生理学的な変化が生じ、それが筋力の低下に寄与した可能性も挙げている。

一方で、瞬発的なパフォーマンスを指

標にバリスティックストレッチングの効果を検討した研究では、パフォーマンスの低下は確認されていない(表3)。

さらに、バリスティックストレッチングにバスケットボールの練習を含めた場合において、スタティックストレッチングに練習を含めた場合、スプリントに練習を含めた場合ならびに練習のみを行った場合よりもジャンプ高が向上したことを示した報告もある⁸⁴⁾。

いずれにせよ、バリスティックストレッチングの利用を疑問視する声があるためか、バリスティックストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究は僅かであり、未だ明確な見解を示すに至っていないのが現状である。

③PNF ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響

PNF ストレッチングの代表的なテクニックにはホールドリラックス(hold relax: HR)、コントラクトリラックス(contract relax: CR)、ならびにホールドリラックスアゴニストコントラクト(hold relax agonist contract: HRAC)

がある⁴¹⁾。

HR および HRAC はターゲットとなる筋群をスタティックストレッチング後に関節可動域の最大位において等尺性に活動させ、CR は最大位から短縮性に筋活動させる。その後、HR および CR では再度スタティックストレッチングにより受動的に、HRAC ではターゲットとなる筋群の拮抗筋群を収縮させることで能動的にターゲットとなる筋群を伸張させる。

PNF ストレッチングはスタティックストレッチングやバリスティックストレッチングよりも柔軟性を大きく改善させることが報告されており、このような柔軟性の改善には等尺性あるいは短縮性筋活動後の伸張によって生じる大きな自原性抑制や相反性抑制(reciprocal inhibition)の効果が寄与していると考えられている^{225,42)}。

こういった PNF ストレッチングによって生じるターゲットとなる筋群における大きな抑制が起因するのか否かは不明ではあるが、PNF ストレッチング後のパフォーマンス低下が報告されている(表4)。

Church ら¹⁴⁾はウォームアップのみの条件、ウォームアップにスタティックストレッチ

表 4 PNF ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
1) Church et al. (2001)	1) W-up+PS (HRAC: ?分) 2) W-up	膝伸, 膝屈	垂直跳び高	1) < 2); -3.0%
2) Young & Elliott (2001)	1) W-up+PS (HR: 12分) 2) W-up	膝伸, 股伸, 足底屈	スクワットジャンプ高 ドロップジャンプ速度	1) = 2) 1) = 2)
3) Marek et al. (2005)	W-up+PS (HR: 16.9分)	膝伸	等速性短縮性膝伸トルク (60,300度/秒) 等速性短縮性膝伸パワー (60,300度/秒)	post < pre; 平均-2.8% post < pre; 平均-3.2%
4) Guissard & Reiles (2005)	W-up+PS (CR?: 6分)	膝伸	等速性スクワット張力 (20,70cm/秒) スクワットジャンプ高 垂直跳び高	pre = post pre = post pre = post
5) Bradley et al. (2007)	1) W-up+PS (HR: 10分) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈, 足底屈	スクワットジャンプ高 垂直跳び高	1) < 2); 平均-5.1%

チングを組み合わせた条件および PNF ストレッチングの HRAC を組み合わせた条件の3条件を実施し、垂直跳び高に及ぼす影響を検討した。その結果、PNF ストレッチングを行った条件において他の 2 条件よりも垂直跳び高が低値を示したことを報告している。

この他にも Marek ら⁵³⁾や Bradley ら¹⁰⁾によって、PNF ストレッチングがスタティックストレッチングと同程度、あるいはそれ以上にパフォーマンスを低下させることが報告されている。加えて、Marek ら⁵³⁾は神経生理学的な抑制の関与を示唆させる筋力測定時の筋電図の振幅量の減少を確認している。

他方、PNF ストレッチングによってパフォーマンスが低下しなかったことを示した研究もあるが(表 4)、バリスティックストレッチングと同じように、PNF ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究についても数に限りがあるため明確な見解を示すに至っていない。しかしながら、PNF ストレッチングがパフォーマンスを向上させることを示した報告はなく、理論通りに PNF ストレッチングがスタティ

ックストレッチングよりも大きな自原性抑制を引き起こすのであればパフォーマンスを低下させる危険性をはらんでいるのかもしれない。

④ダイナミックストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響

ダイナミックストレッチングはターゲットとなる筋群の拮抗筋群を意識的に収縮させ、関節の曲げ伸ばしや回旋などを行うことで筋や腱を引き伸ばしたり、実際のスポーツあるいは運動をシミュレートした動作を取り入れることでそれぞれの動きに特異的な柔軟性を向上させたり、利用される筋群間の協調性を高めることができる方法と考えられている^{32,33,39,41,86-88)}。これらのことから、近年ではパフォーマンスの向上に有効なストレッチングとして運動前に利用されるようになった。

実際に、ダイナミックストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究では、これまで挙げてきたストレッチングの方法とは異なり、パフォーマンスの低下は認められておらず、大半の研

究においてパフォーマンスの向上効果が確認されている(表5)。筋機能については、我々⁸⁹⁾が下肢筋群の 8 分 20 秒のダイナミックストレッチングを用いてレッグプレスパワーに及ぼす影響を検討し、その結果、すべての被験者でパワーが向上し、平均で 13.3%増大したことを報告している。さらに、膝伸筋群の伸張を目的としたストレッチングと膝伸展をシミュレートしたストレッチングを含む合計 8 分間のダイナミックストレッチングによって膝伸展における等尺性最大筋力の 5%、30%および 60%に相当する重量を負荷した際の等負荷性膝伸展パワーがそれぞれ 8.9%、6.0%および 8.1%増大したことも報告している⁹⁰⁾。

また、瞬発的なパフォーマンスについては、ジャンプ高、スプリント走のタイム、アジリティ走のタイム、メディシンボールスロー・トスの距離において、パフォーマンスの改善が確認されている(表 5)。

ダイナミックストレッチングは他のストレッチングに比べ、身体を十分に動かしながら実施することから、筋温ならびに深部温を上昇させる効果があると考えられる。また、これから行う運動をシミュレートした

表5 ダイナミックストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究

著者(年)	条件(ストレッチング合計時間)	伸張された筋群	パフォーマンスの指標	結果
1) Siatras et al. (2003)	1) W-up+DS(4分?) 2) W-up	膝伸, 膝屈, 足底屈, 足背屈 膝伸, 膝屈, 足底屈, 足背屈	20m走速度	1) = 2)
2) Fletcher & Jones (2004)	1) W-up+その場でDS(?分, 各筋20回) 2) W-up+移動するDS(?分, 各筋20回)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈	20m走タイム	1); post = pre 2); post > pre; +1.9%
3) Faigenbaum et al. (2005)	1) DS(10分) 2) DS(10分)+ドロップジャンプ3回 3) walk(5分)+SS(5分)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 股内転, 足底屈	垂直跳び高 立ち幅跳び距離 シャトルランタイム	1) = 2) > 3); 1); +5.8%, 2); +6.5% 2) > 3); +1.9%, 1) = 2), 1) = 3) 1) = 2) > 3); 1); +1.8%, 2); +2.7%
4) Yamaguchi & Ishii (2005)	1) DS(8.3分) 2) NS	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈	等負荷性レッグプレスパワー (体重負荷)	1) > 2); +13.3%
5) Papadopoulos et al. (2005)	1) W-up+DS(4.5分) 2) W-up+NS	膝伸, 膝屈 膝伸, 膝屈	等速性短縮性膝伸展トルク (60,180度/秒) 等速性短縮性膝屈曲トルク (60,180度/秒)	1) = 2) 1) = 2)
6) Faigenbaum et al. (2006)	1) W-up+DS(10分) 2) W-up+SS(5分)+DS(5分) 3) W-up+SS(10分)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股外転, 足底屈, 背, 胸, 肘伸 膝伸, 膝屈, 股伸, 股外転, 足底屈, 背, 胸, 肘伸 膝伸, 膝屈, 股伸, 股外転, 足底屈, 背, 胸, 肘伸	垂直跳び高 10ヤード走タイム シャトルランタイム メディシンボールスロー距離	1) = 2) > 3); 1); +3.6%, 2); +3.0% 1) = 2) > 3); 1); +2.5%, 2); +2.0% 1) = 2) = 3) 1) = 2) > 3); 1); +2.3%, 2); +1.9%
7) Little & Williams (2006)	1) W-up+DS(6.3分) 2) W-up+NS	膝伸, 股内転, 股伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高 10m走タイム 20m走タイム ジグザグ走タイム	1) = 2) 1) > 2); +2.1% 1) > 2); +1.7% 1) > 2); +1.2%
8) McMillian et al. (2006)	1) DS W-up(10分) 2) No W-up	上肢, 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈, 体幹	立ち5段階跳び距離 T字走タイム メディシンボールスロー距離	1) > 2); +5.8% 1) > 2); +2.2% 1) > 2); +3.4%
9) Duncan & Woodfield (2006)	1) DS W-up(10分) 2) No W-up	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈	垂直跳び高	1) > 2); +2.9%
10) Fletcher & Anness (2007)	1) 移動するDS(?分) 2) その場でDS(?分)+移動するDS(?分) 3) SS(7.2分)+移動するDS(?分)	膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 股伸, 股屈, 足底屈	50m走タイム	女性: 1) = 2) > 3); 1); +1.4%, 2); +1.2% 男性: 1) = 2) > 3); 1); +2.5%, 2); +1.7%
11) Vetter (2007)	1) W-up 2) W-up+DS(6.4分?) 3) W-up+準備運動 4) W-up+DS(6.4分?)+準備運動	膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈, 足底屈	垂直跳び高 30m走タイム	1) = 2) = 3) = 4) 1) > 3), その他には差なし
12) Yamaguchi et al. (2007)	1) DS(8分) 2) NS	膝伸, 膝屈, 足底屈 膝伸, 膝屈	等負荷性膝伸展パワー (5%,30%,60%MVC)	1) > 2); 5%; +8.9%, 30%; +8.0%, 60%; +8.1%

動作が取り入れられることから、実際に運動で利用される筋群の活動水準を高めた、動きをスムーズにする効果もあると考えられる。さらに、先に述べた特異的な柔軟性の改善や筋群間の協調性の高まりとも相まって、パフォーマンスを改善させることが示唆されている^{32,38,88)}。

このようなダイナミックストレッチングによるパフォーマンスの改善効果を示した研究結果を受けて、スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合

わせたプロトコルがパフォーマンスに及ぼす影響についても検討されている。

Faigenbaum ら²⁸⁾は①ウォームアップに上肢および下肢の筋群に対するダイナミックストレッチングを10分組み込んだ条件、②ウォームアップに上肢および下肢の筋群にスタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを各5分組み込んだ条件、③ウォームアップに同様のスタティックストレッチングを10分組み込んだ条件が、垂直跳び高、10ヤード走のタイム、シ

ャトルランのタイムおよびメディシンボールスローの距離に及ぼす影響を検討した。

その結果、シャトルランのタイムを除く、すべての項目で、③よりも①および②で好成績を収めたことを報告している。これはスタティックストレッチング後にダイナミックストレッチングを行うことでダイナミックストレッチングのみを行う場合と同程度のパフォーマンスの向上効果が得られることを示しているが、逆を言えば、スタティックストレッチングによる相乗効果はないこ

とを示唆している。

一方、Fletcher & Anness²⁹⁾は、①動きながらの下肢のダイナミックストレッチを行う条件、②立位を保持したまま行う下肢のダイナミックストレッチに動きながら行う下肢のダイナミックストレッチを組み合わせた条件、③下肢のスタティックストレッチと動きながら行う下肢のダイナミックストレッチを組み合わせた条件で 50m 走のタイムを比較したところ、③が①と②よりもタイムが遅かったことを報告している。したがって、Faigenbaum らの結果とは対照的に、例えば、スタティックストレッチ後にダイナミックストレッチを行ったとしても、ダイナミックストレッチによって獲得されるパフォーマンス向上効果を相殺してしまうことを示唆している。現在までスタティックストレッチとダイナミックストレッチを組み合わせたプロトコルがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究は上述の 2 つの研究のみであり、このプロトコルが運動前のストレッチングのプロトコルとして適しているのか否かについては結論を下せない。しかしながら、スタティックストレッチがダイナミックストレッチによって得られるはずのパフォーマンス向上効果に更なる好影響を及ぼさない、あるいは相殺してしまうのであれば、スタティックストレッチを組み合わせる価値は低いのかもしれない。なぜならば、スタティックストレッチを含んだウォームアップとダイナミックストレッチを含んだウォームアップによる柔軟性の改善効果に相違がない

ことが示されているからである^{23,27,67)}。

■ 研究結果を基にしたパフォーマンス向上のための運動前のストレッチングプロトコル

ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究結果をまとめると以下ようになる。

1) スタティックストレッチングによる筋機能や瞬発的なパフォーマンスの低下が確認されているものの、ストレッチングの時間やプロトコルの観点からより現実的な方法を用いた研究ではパフォーマンスを低下させない、あるいはパフォーマンスを向上させることも報告されている。

2) バリスティックストレッチングおよび PNF ストレッチングについては、未だ知見が少ないため、パフォーマンスに及ぼす影響については明言できないが、PNF ストレッチングについてはパフォーマンスを低下させる恐れがある。

3) ダイナミックストレッチングについては、パワーや瞬発的なパフォーマンスを向上させることが明らかとなっている。

4) スタティックストレッチングとダイナミックストレッチングを組み合わせたプロトコルがパフォーマンスに及ぼす影響については僅かながら検討されており、ダイナミックストレッチングによるパフォーマンス向上効果への相乗効果はないこと、相殺する可能性があることが報告されている。

これらのことから、筋機能の向上や瞬

発的なパフォーマンスの改善が成績に直接反映されるような競技種目の選手に対しては、運動前にダイナミックストレッチングの利用を勧めるべきであろう。ただし、ダイナミックストレッチングを用いる前提として、それぞれの運動に必要とされる基礎的な柔軟性が獲得されていること、傷害を有していないこと、疲労が蓄積していないこと、そして何よりダイナミックストレッチングに慣れていることが条件となる。基礎的な柔軟性を獲得していない場合、あるいは傷害や疲労の蓄積で柔軟性が欠如している場合には、パフォーマンスを低下させる可能性の低い 30 秒程度のスタティックストレッチングを利用して柔軟性を改善させた後に、可能な範囲でダイナミックストレッチングを行うと良いかもしれない。また、ダイナミックストレッチングに不慣れな場合には、はじめにゆっくりと大きく動かすことを意識してダイナミックストレッチングの動きに十分に慣れてから、徐々に速度や強度を高めていけば良いだろう。実際に我々はダイナミックストレッチング未経験者であっても、上記の方法でパフォーマンスが向上することを確認している^{85,90)}。

なお、ダイナミックストレッチングの詳しい方法やメニューについては、過去の総説^{32,38,39,41,66-68)}などを参考に実施している競技種目で利用される筋群やそれぞれの動作を十分に考慮し作成してもらいたい。

一方、筋機能や瞬発的なパフォーマンス以外の要素が競技成績に影響する運動については、パフォーマンスに及ぼす影

響を示した知見が少なく、有効なプロトコルを示すことはできない。しかしながら、スタティクストレッチングによって筋持久力⁸⁰⁾が低下すること、反応時間が遅延すること⁶⁾、バランス能力が低下すること⁸⁾が報告されている。ただし、これらの報告においても、現実的な伸張時間のスタティクストレッチングが用いられているわけではなく、スポーツ現場に直接反映できる結果ではないかもしれない。しかしながら、長い時間に渡ってスタティクストレッチングを実施することによって、筋持久力、反応時間ないしバランス能力が成績に影響する競技種目のパフォーマンスは低下する恐れがあると言えるだろう。

また、運動前のストレッチングの効果ではないが、柔軟性とランニング中のエネルギー消費量に正の相関関係があることが報告されている^{17,33,44)}。つまり、この事実には柔軟性の高いものほど、ランニング中にエネルギーを無駄遣いすることを表している。よって、持久的な運動前に過剰に柔軟性を改善させることは、エネルギーを浪費させ、結果的に持久的なパフォーマンスの低下にも繋がりがかねない、したがって、持久的な能力が必要とされる運動の前には、過剰に柔軟性を改善させる必要はない、換言すれば、ストレッチングを念入りに行う必要がないのかもしれない。

■ おわりに

本稿では、ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす効果について検討した研究を集約し、筋機能や瞬発的なパフォーマンス

の改善が成績に反映されるような競技種目については、運動前にダイナミックストレッチングを利用することの有用性を示唆した。

一方、運動前のストレッチングには、他に傷害予防という重要な効果も求められている^{241,70,75,82)}。しかしながら、運動前のスタティクストレッチングの傷害予防効果についてもパフォーマンスに及ぼす影響同様、プラスの効果を実証した研究は少なく、系統的な総説^{40,43,71,72,75,81)}において、傷害予防を目的とした運動前のスタティクストレッチングの利用が疑問視されている。

しかしながら、過剰な柔軟性の獲得が傷害に繋がるとの報告はあるものの、基本的な運動前のストレッチングが傷害の発生を増加させるという報告は我々の知る限りない。さらに、運動前にストレッチングをしなければ、全力で運動を実施できないという選手も存在する。したがって、例えば、傷害予防の効果が薄くとも運動前のスタティクストレッチングの実施が傷害を予防するという安心感を生むのであれば必要なのかもしれない。

一方で、ダイナミックストレッチングの傷害予防効果については未だ検討されておらず、その効果は不明である。しかしながら、身体を温めることや筋に対し運動の準備をさせることが傷害予防に有効であるならば、ダイナミックストレッチングは傷害予防のためのストレッチングとしても効果を発揮する可能性が考えられる。

また、運動前ではなく、運動中や運動後

のストレッチングの効能として、筋疲労をはじめとする種々の疲労を軽減する効果が挙げられる。実際に疲労が蓄積するような激運動のインターバル中にスタティクストレッチングを実施することでパフォーマンスが改善することが明らかとなっている⁹³⁾。

一方、疲労の蓄積の少ない単発の運動については、インターバル中にスタティクストレッチングを実施してもパフォーマンスを改善させないことも報告されている⁹¹⁾。したがって、運動中のストレッチングについては、運動の強度や疲労の蓄積の度合いに応じて、スタティクストレッチングを行うか否かを検討する必要があり、仮に疲労が蓄積していない状況であれば、ダイナミックストレッチングを利用しても良いのかもしれない。

また、運動後のストレッチングに関しては、運動時の利用によって高まった筋の活動水準を下げたり、収縮を繰り返し緊張した筋を元の状態に近づけるなどの効果を期待し、スタティクストレッチングを用いることは有効であると考えられる⁸⁸⁾。

加えて、ストレッチングをトレーニングとして長期間実施した場合の効果についての報告では、特別なレジスタンストレーニングを組み合わせなくとも、スタティクストレッチング^{49,83)}やPNFストレッチング³⁶⁾を長期間実施することで筋機能や瞬発的なパフォーマンスを向上させることが報告されている。

以上のように、運動前における筋機能や瞬発的なパフォーマンスの向上について

は、ダイナミックストレッチングの利用が有効と言えるが、すべての場面においてダイナミックストレッチングが効果的なわけではない。基本的にはスタティックストレッチングは調整やリラックスを図るためのストレッチングとして、ダイナミックストレッチングは準備のためのストレッチングとして考えるべきである。この点を十分に理解し、スポーツ現場に関わる人それぞれに、場面に合ったストレッチングの方法を自ら試行錯誤して考えてもらいたい。

■ 参考文献

- 1) Alpkaya, U., and Kocaja, D. The effects of acute static stretching on reaction time and force. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (2007) 47, 147-150.
- 2) Alter, M. J. *Sports Stretch*. Champaign, IL: Human Kinetics, (1997).
- 3) Avela, J., Kyrolainen, H., and Komi, P. V. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J. Appl. Physiol.*, (1999), 86, 1283-1291.
- 4) Bandy, W. D., and Irion, J. M. The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. *Phys. Ther.*, (1994), 74, 845-852.
- 5) Bazett-Jones D. M., Winchester, J. B., and McBride J. M. Effect of potentiation and stretching on maximal force, rate of development, and range of motion. *J. Strength Cond. Res.*, (2005), 19, 421-426.
- 6) Behm, D. G., Bambrury, A., Cahill, F., and Power, K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2004), 36, 1397-1402.
- 7) Behm, D. G., Bradbury, E. E., Haynes, A. T., Hodder, J. N., Leonard A. M., and Paddock, N. R. Flexibility in not related to stretch-induced deficits in force or power. *J. Sports Sci. Med.*, (2006), 5, 33-42.
- 8) Behm, D. G., Button, D. C., and Butt, J. C. Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Can. J. Appl. Physiol.*, (2001), 26, 261-272.
- 9) Behm, D. G., and Kibele, A. Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2007), 101, 587-594.
- 10) Bradley, P. S., Olsen, P. D., and Portas, M. D. The effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, (2007), 21, 223-226.
- 11) Brandenburg, J. P. Duration of stretch does not influence the degree of force loss following static stretching. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (2006), 46, 526-534.
- 12) Brandenburg, J., Pitney, W. A., Luebbers, P. E., Veera, A., and Czajka, A. Time course of changes in vertical-jumping ability after static stretching. *J. Sports Physiol. Performance*, (2007), 2, 170-181.
- 13) Burkett, L. N., Phillips, W. T., and Ziuraitis, J. The best warm-up for the vertical jump in college-age athletic men. *J. Strength Cond. Res.*, (2005), 19, 673-676.
- 14) Church, J. B., Wiggins, M. S., Moode, F. M., and Crist, R. Effect of warm-up and flexibility treatments on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, (2001), 15, 332-336.
- 15) Cornwell, A., Nelson, A. G., Heise, G. D., and Sidaway, B. Acute effects of passive muscle stretching on vertical jump performance. *J. Hum. Mov. Studies*, (2001), 40, 307-324.
- 16) Cornwell, A., Nelson, A. G., and Sidaway, B. Acute effects of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2002), 86, 428-434.
- 17) Craib, M. W., Mitchell, V. A., Fields, K. B., Cooper, T. R., Hopewell, R., and Morgan, D. W. The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1996), 28, 737-743.
- 18) Cramer, J. T., Housh, T. J., Coburn, J. W., Beck, T. W., and Johnson, G. O. Acute effects of static stretching on maximal eccentric torque production in women. *J. Strength Cond. Res.*, (2006), 20, 354-358.
- 19) Cramer, J. T., Beck, T. W., Housh, T. J., Massey, L. L., Marek, S. M., Danglemeier, S., Purkayastha, S.,

- Culbertson, J. Y., Fitz, K. A., and Egan, A. D. Acute effects of static stretching on characteristics of the isokinetic angle – torque relationship, surface electromyography, and mechanomyography. *J. Sports Sci.* (2007b), 25, 687–698.
- 20) Cramer, J. T., Housh, T. J., Johnson, G. O., Miller, J. M., Coburn, J. W., and Beck, T. W. Acute effects of static stretching on peak torque in women. *J. Strength Cond. Res.*, (2004), 18, 236–241.
- 21) Cramer, J. T., Housh, T. J., Johnson, G. O., Weir, J. P., Beck, T. W., and Coburn, J. W. An acute bout of static stretching does not affect maximal eccentric isokinetic peak torque, the joint angle at peak torque, mean power, electromyography, or mechanomyography. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, (2007a), 37, 130–139.
- 22) Cramer, J. T., Housh, T. J., Weir, J. P., Johnson, G. O., Coburn, J. W., and Beck, T. W. The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2005), 93, 530–539.
- 23) Duncan, M. J., and Woodfield, L. A. Acute effects of warm up protocol on flexibility and vertical jump in children. *J. Exerc. Physiol.*, (2006), 9, 9–16.
- 24) Egan, A. D., Cramer, J. T., Massey, L. L., and Marek, S. M. Acute effects of static stretching on peak torque and mean power output in National Collegiate Athletic Association Division I women's basketball players. *J. Strength Cond. Res.*, (2006), 20, 778–782.
- 25) Etnyre, B. R., and Lee, E. J. Comments on proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques. *Res. Q. Exerc. Sport*, (1987), 58, 184–188.
- 26) Evetovich, T. K., Nauman, N. J., Conley, D. S., and Todd, J. B. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *J. Strength Cond. Res.*, (2003), 17, 484–488.
- 27) Faigenbaum, A. D., Bellucci, M., Bernieri, A., Bakker, B., and Hoorens, K. Acute effects of different warm-up protocols on fitness performance in children. *J. Strength Cond. Res.*, (2005), 19, 376–381.
- 28) Faigenbaum, A. D., Kang, J., McFarland, J., Bloom, J. M., Magnatta, J., Ratamess, N. A., and Hoffman, J. R. Acute effects of different warm-up protocols on anaerobic performance in teenage athletes. *Ped. Exerc. Sci.*, (2006), 17, 64–75.
- 29) Fletcher, I. M., and Anness, R. The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. *J. Strength Cond. Res.*, (2007), 21, 784–787.
- 30) Fletcher, I. M., and Jones, B. The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. *J. Strength Cond. Res.*, (2004), 18, 885–888.
- 31) Fowles, J. R., Sale, D. G., and MacDougall, J. D. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J. Appl. Physiol.*, (2000), 89, 1179–1188.
- 32) Fredrick, G. A., and Szymanski, D. J. Baseball (part1): Dynamic flexibility. *Strength Cond. J.* (2001), 23, 21–30.
- 33) Gleim, G. W., Stachenfeld, N. S., and Nicholas, J. A. The influence of flexibility on the economy of walking and jogging. *J. Orthop. Res.*, (1990), 8, 814–823.
- 34) Guissard, N., Duchateau, J., and Hainaut, K. Muscle stretching and motoneuron excitability. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1988), 58, 47–52.
- 35) Guissard, N., and Reiles, F. Effects of static stretching and contract relax methods on the force production and jump performance. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, (2005), Suppl 1, 127–128.
- 36) Handel, M., Horstmann, T., Dickhuth, H. H., and Gulch, R. W. Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1997), 76, 400–408.
- 37) Hardy, L., and Jones, D. Dynamic flexibility and proprioceptive neuromuscular facilitation. *Res. Q. Exerc. Sport*, (1986), 57, 150–153.
- 38) Hedrick, A. Dynamic flexibility training. *Strength Cond. J.*, (2000), 22, 33–38.

- 39) Hedrick, A. Flexibility training for range of motion. *Performance Training J.*, (2002), 1, 13-20.
- 40) Herbert, R. D. and Gabriel, M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *Br. J. Med.*, (2002), 325, 468.
- 41) Holcom, W. R. ストレッチングとウォームアップ, ストレングストレーニング & コンディショニング, Baechle, T. R., and Earle, R. W., 編, 第2版, ブックハウスエイチディ, 東京, pp. 355-378.
- 42) Hutton, R. S. Neuromuscular basis of stretching exercises. In: *Strength and Power in Sport*. Komi, P. V. ed. Blackwell Science Publications, Oxford, (1993), pp. 29-38.
- 43) Ingraham, S. J. The role of flexibility in injury prevention and athletic performance: have we stretched the truth? *Minn. Med.*, (2003), 86, 58-61.
- 44) Jones, A. M. Running economy is negatively related to sit-and-reach test performance in international-standard distance runners. *Int. J. Sports Med.*, (2002), 23, 40-43.
- 45) Knudson, D., and Noffal, G. Time course of stretch-induced isometric strength deficits. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2005), 94, 348-351.
- 46) Knudson, D., Bennett, K., Corn, R., Leick, D., and Smith, C. Acute effects of stretching are not evident in the kinematics of the vertical jump. *J. Strength Cond. Res.*, (2001), 15, 98-101.
- 47) Koch, A. J., O'Bryant, H. S., Stone, M. E., Sanborn, K., Proulx, C., Hruby, J., Shannonhouse, E., Boros, R., and Stone, M. H. Effect of warm-up on the standing broad jump in trained and untrained men and women. *J. Strength Cond. Res.*, (2003), 17, 710-714.
- 48) Kokkonen, J., Nelson, A. G., and Cornwell, A. Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res. Q. Exerc. Sport*, (1998), 69, 411-415.
- 49) Kokkonen, J., Nelson, A. G., Eldredge, C., and Winchester, J. B. Chronic static stretching improves exercise performance. *Med. Sci Sports Exerc.*, (2007), 39, 1825-1831.
- 50) Little, T., and Williams, A. G. Effects of differential stretching protocols during warm-ups on high-speed motor capacities in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, (2006), 20, 203-207.
- 51) Maisetti, O., Sastre, J., Lecompte, J., and Portero, P. Differential effects of acute bout of passive stretching on maximal voluntary torque and the rate of torque development of calf muscle-tendon unit. *Isokinetics Exerc. Sci.*, (2007), 15, 11-17.
- 52) Magnusson, S. P., Aagaard, P., and Nielson, J. J. Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. *Med. Sci Sports Exerc.*, (2000), 32, 1160-1164.
- 53) Marek, S. M., Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., Fitz, K. A., and Culbertson, J. Y. Acute Effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *J. Athl. Train.* (2005), 40, 94-103.
- 54) McBride, J. M., Deane, R., and Nimphius, S. Effect of stretching on agonist-antagonist muscle activity and muscle force output during single and multiple joint isometric contractions. *Scand. J. Med. Sci Sports*, (2007), 17, 54-60.
- 55) McMillian, D. J., Moore, J. H., Hatler, B. S., and Taylor, D. C. Dynamic vs. static-stretching warm up: the effect on power and agility performance. *J. Strength Cond. Res.*, (2006), 20, 492-499.
- 56) McNeal, J. R., and Sands, W. A. Acute static stretching reduces lower extremity power in trained children. *Ped. Exerc. Sci.*, (2003), 15, 139-145.
- 57) Nelson, A. G., Allen, J. D., Cornwell, A., and Kokkonen, J. Inhibition of maximal voluntary isometric torque production by acute stretching is joint-angle specific. *Res. Q. Exerc. Sport*, (2001a), 72, 68-70.
- 58) Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A., and Schexnayder, I. C. Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *J. Sports Sci.*, (2005), 23, 449-454.

- 59) Nelson, A. G., Guillory, I. K., Cornwell, A., and Kokkonen, J. Inhibition of maximal voluntary isokinetic torque production following stretching is velocity-specific. *J. Strength Cond. Res.*, (2001b), 15, 241-246.
- 60) Nelson, A. G., Kokkonen, J., and Amall, D. A. Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *J Strength Cond Res.*, (2005), 19, 338-343.
- 61) Nelson, A. G., Kokkonen, J., and Eldredge, C. Strength inhibition following an acute stretch is not limited to novice stretchers. *Res. Q. Exerc. Sport*, (2005), 76, 500-506.
- 62) Nelson, A. G., and Kokkonen, J. Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res. Q. Exerc. Sport*, (2001), 72, 415-419.
- 63) Nelson, R. T., and Bandy, W. D. An update on flexibility. *Strength Cond. J.*, (2005), 27, 10-16.
- 64) O'Connor, D. M., Crowe, M. J., and Spinks, W. L. Effects of static stretching on leg power during cycling. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (2006), 46, 52-56.
- 65) Ogura, Y., Miyahara, Y., Naito, H., Katamoto, S., and Aoki, J. Duration of static stretching influences muscle force production in hamstring muscles. *J. Strength Cond. Res.*, (2007), 21, 788-792.
- 66) Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Noussios, G., Meliggas, K., and Gantiraga, E. The effect of static stretching on maximal voluntary contraction and force-time curve characteristics. *J. Sport Rehabil.*, (2006), 15, 185-194.
- 67) Papadopoulos, G., Siatras Th., and Kellis, S. The effect of static and dynamic stretching exercises on the maximal isokinetic strength of the knee extensors and flexors. *Isokinetics Exerc. Sci.*, (2005), 13 285-291.
- 68) Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M., and Young, W. An acute bout of static stretching effects on force and jumping performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2004), 36, 1389-1396.
- 69) Rubini, E. C., Costa, A. L., and Gomes, P. S. The effects of stretching on strength performance. *Sports Med.*, (2007), 37, 213-224.
- 70) Shellock, F. G., and Prentice, W. E. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med.*, (1985), 2, 267-278.
- 71) Shrier, I. Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clin. J. Sport Med.*, (1999), 9, 221-227.
- 72) Shrier, I. Does stretching help prevent injuries? In: Evidence-Based Sports Medicine. MacAuley, D., Best, T., eds. BMJ Publishing Group, London, (2002), pp. 97-116.
- 73) Shrier, I. Does stretching improve performance?: a systematic and critical review of the literature. *Clin. J. Sport Med.*, (2004), 14, 267-273.
- 74) Siatras, T., Papadopoulos, G., Mameletzi, D., Gerodimos, V., and Kellis, S. Static and dynamic acute stretching effect on gymnasts' speed in vaulting. *Ped. Exerc. Sci.*, (2003), 15, 383-391.
- 75) Smith, C. A. The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, (1994), 19, 12-17.
- 76) Thacker, S. B., Gilchrist, J., Stroup, D. F., and Kimsey, C. D. Jr. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2004), 36, 371-378.
- 77) Unick, J., Kieffer, H. S., Cheesman, W., and Feeney, A. The acute effects of static and ballistic stretching on vertical jump performance in trained women. *J. Strength Cond. Res.*, (2005) 19, 206-212.
- 78) Vetter, R. E. Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. *J. Strength Cond. Res.*, (2007), 21, 819-823.
- 79) Wallmann, H. W., Mercer, J. A., and McWhorter, J. W. Surface electromyographic assessment of the effect of static stretching of the gastrocnemius on vertical

- jump performance. J. Strength Cond. Res., (2005), 19, 684-688.
- 80) Weir, D. E., Tingley, J., and Elder, C. B. Acute passive stretching alters the mechanical properties of human plantar flexors and the optimal angle for maximal voluntary contraction. Eur. J. Appl. Physiol., (2005), 93, 614-623.
- 81) Weldon, S. M., and Hill, R. H. The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. Man. Ther., (2003), 8, 141-150.
- 82) Wilkinson, A. Stretching the truth. A review of the literature on muscular stretching. Aust. J. Physiother., (1992), 38, 283-287.
- 83) Wilson, G. J., Elliott, B. C., and Wood, G. A. Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. Med. Sci. Sports Exerc., (1992), 24, 116-123.
- 84) Woolstenhulme, M. T., Griffiths, C. M., Woolstenhulme, E. M., and Parcell, A. C. Ballistic stretching increases flexibility and acute vertical jump height when combined with basketball activity. J. Strength Cond. Res., (2006), 20, 799-803.
- 85) Yamaguchi, T., and Ishii, K. Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. J. Strength Cond. Res., (2005), 19, 677-683.
- 86) 山口太一, 石井好二郎 ダイナミックストレッチングだ! コーチングクリニック, (2005), 17(1): 10-13.
- 87) 山口太一, 石井好二郎. ストレッチングの科学 君のストレッチングは間違っている. 北海道スポーツ医・科学雑誌, (2005), 10, 27-36.
- 88) 山口太一, 石井好二郎. ストレッチングの方法と効果 からだの科学, (2005), 245, 24-31.
- 89) Yamaguchi, T., Ishii, K., Yamanaka, M., and Yasuda, K. Acute effect of static stretching on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. J. Strength Cond. Res., (2006), 20:804-810.
- 90) Yamaguchi, T., Ishii, K., Yamanaka, M., and Yasuda, K. Acute effects of dynamic stretching exercise on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. J. Strength Cond. Res., (2007), 21, in press.
- 91) 山口太一, 石井好二郎, 瀧澤一騎, 高嶋渉, 稲森謙吾. 数分間隔で繰り返される跳躍間の適切な準備運動. トレーニング科学, (2007), 19, 印刷中.
- 92) 山本利春. スタティックストレッチの利点を活用しよう. Training Journal (2006), 6 月号, 16-19.
- 93) 山本正嘉, 山本利春. 激運動後のストレッチング, スポーツマッサージ, 軽運動, ホットパックが疲労回復におよぼす効果-作業能力および血中乳酸の回復を指標として-. 体力科学, (1993), 42, 82-92.
- 94) Young, W., and Elliott, S. Acute effects of static stretching, proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and maximum voluntary contractions on explosive force production and jumping performance. Res. Q. Exerc. Sport, (2001), 72, 273-279.
- 95) Young, W., Elias, G., and Power, J. Effects of static stretching volume and intensity on plantar flexor explosive force production and range of motion. J. Sports Med. Phys. Fitness., (2006), 46, 403-411.
- 96) Young, W. B., and Behm, D. G. Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. J. Sports Med. Phys. Fitness, (2003), 43, 21-27.
- 97) Young, W. B., and Behm, D. G. Should static stretching be used during a warm-up for strength and power activities? Strength Cond. J., (2002), 24:33-37.
- 98) Zakas, A., Doganis, G., Galazoulas, C., and Varnvakoudis, E. Effect of acute static stretching duration on isokinetic peak torque in pubescent soccer players. Ped. Exerc. Sci., (2006a), 18, 252-261.
- 99) Zakas, A., Galazoulas, C., Doganis, G., and Zakas, N. Effect of two acute static stretching durations of rectus femoris muscle on quadriceps isokinetic peak torque in professional soccer players. Isokinetics Exerc. Sci., (2006b), 14, 357-362.