

『スポーツ科学研究』実践報告
早稲田大学スポーツ科学部授業報告－演習「身体運動のメカニズム」

川上泰雄¹⁾

受講生(レポート作成): 阪口正律・清水美奈

¹⁾早稲田大学スポーツ科学学術院

キーワード: 授業、ゼミ、レポート、ストレッチング、ウォームアップ

スポーツ科学研究, 3, 30-47, 2006年, 受付日:2006年3月17日, 受理日:2006年6月19日
連絡先: 川上泰雄 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 早稲田大学スポーツ科学学術院
04-2947-6784 ykawa@waseda.jp

演習「身体運動のメカニズム」の授業に際して

本稿は、スポーツ科学を専攻とする大学学部の演習授業を例に、受講学生の授業への取り組みについて紹介したものである。スポーツ科学の「実践」の場は数多くあるが、授業での取り組みも重要な側面であろう。大学における授業の中でも実践色の濃いもののひとつとして本稿では「演習」をとりあげた。

2004 年度より開講の早稲田大学スポーツ科学部演習(ゼミ)、「身体運動のメカニズム」は、筆頭著者が担当の学部2年生(演習 IA、IB; それぞれ春学期、秋学期)、3年生(演習 IIA、IIB; 同左)を対象とした科目である。演習 IA、IB は各学期に週1コマ、演習 IIA、IIB は各学期週2コマが割り当てられている。

スポーツ・身体運動の仕組みを理解するために、実験実習を中心とした教育指導を行っている。学部生がスポーツ・身体運動に対する科学的アプローチの視点を身につけることを大きな目的としているが、身体組成や筋機能、呼吸循環機能などの

計測を通じて、仮説の立案、実験での検証、プレゼンテーション、という自然科学の一般的な方法論を身につけさせることを目指している。受講者は3年生が19名、2年生が14名(2005年度現在)である。

実習は以下の計画で行われている。それぞれの項目について基本的に3-4週を使って、実験計画、実験実施、(分析・レポート提出)、レポート発表、という流れで授業を進めている。

- ・ オリエンテーション
- ・ 形態計測(身長、体重、体肢長、体肢周径囲)
- ・ 身体各部位の筋厚・皮下脂肪厚計測(超音波法)
- ・ 筋機能の計測(関節トルク、多関節運動のパワー)
- ・ 全身持久力の測定(走速度一心拍数一血中乳酸濃度の関係)
- ・ 各種動作分析
- ・ グループ毎に実験計画を立案・実施・発表

本稿では、このうち、3年生の受講学生が立案し、実施した実験に関するレポートを2点紹介したい。これは、ストレッチングが身体運動のパフォーマンスに及ぼす効果を明らかにすることを目的としたものであり、2005年度の秋学期に行われた。スポーツの現場では、本運動前のウォームアップ・コンディショニングを目的として各種ストレッチングが行われる。ともすると確固たる目的意識のないまま、漫然と行われることが多いストレッチングであるが、受講学生はこの点に焦点を当てて、それまでに培った知識や技術を用いて、そして事前の調査を十分に行ったうえで、実験を計画し、役割分担を決め、実験を行った。結果はレポートに記された通りであり、ストレッチングの方法によってもたらされる効果が異なるなど、興味深い知見が得られている。文中の表現方法やデータの取り扱いに関して不十分な点はあるものの、学生独自のアイデアが随所に盛り込まれた、非常に読みごたえのあるレポートに仕上がっている。ゼミでのこうしたトレーニングが充

実した卒業研究として結実することを期待している。大学授業におけるこうした取り組みは、学部学生の教育効果にとどまらず、スポーツ科学研究におけるアプローチの裾野を広げる効果も期待できる。

なお、実験を行う前に、実験の目的や方法について、指導教員、受講学生、ティーチングアシスタントの間で綿密に打ち合わせを行った。検者および被験者については受講学生の間で役割分担したが、被験者となった学生からは事前に実験参加に対する同意を得た。実験は指導教員の監督のもと行い、ティーチングアシスタントの補助を受けながら、安全性に十分配慮した。

授業準備および授業補助、分析用のデータ作成などに関して、ティーチングアシスタントとして早稲田大学人間科学研究科、大学院生の永吉俊彦さん、加藤えみかさん、小林海さん、光川眞壽さん、三好裕介さんには大変お世話になった。この場を借りて感謝したい。

ストレッチングの急性効果が柔軟性及び跳躍動作に及ぼす影響

1K03A091-3 阪口正律

I. はじめに

スポーツにおいて柔軟性 (suppleness) はスタミナ (stamina)、スピード (speed)、筋力 (strength)、スキル (skill) とともに「スポーツの5S」に数えられる重要な要素となっている。ストレッチングは、筋肉・腱などの組織を伸ばすことにより緊張を和らげ、柔軟性・関節可動域 (range of motion : ROM) の改善を図り、パフォーマンスの向上、傷害の予防を目的とし、ウォーミングアップの一環としてスポーツ現場で広く取り入れられている。その主な手法として、スタティック・ストレッチング、ダイナミック・ストレッチング、バリスティック・ストレッチング、固有受容性神経筋促通法 (proprioceptive neuromuscular facilitation : PNF) を用いたストレッ

チング (以下、PNF ストレッチング) の4種がある。しかし、昨今の研究では柔軟性を向上させることにより、スポーツパフォーマンスに負の影響を及ぼすといった報告もある。

Shrier I. (2004)⁶⁾ はストレッチングがパフォーマンスを向上させるという仮説について、ストレッチング効果を検証した文献を用いてまとめ、23の論文のうち22の論文において等尺性運動における力、等速性運動におけるトルク、そして跳躍高には利益がないと記されていたと報告した。

Marek et al. (2005)⁴⁾ はスタティック・ストレッチングとPNFストレッチングの急性効果がパフォーマンス (peak torque, mean power, active ROM,

passive ROM) に及ぼす影響を検討し、いずれの手法も実施後に peak torque, mean power は低下し、active ROM, passive ROM は増大したと報告している。

しかしながら、先述した 4 種のストレッチングの効果を同条件下で比較した報告はほとんど見られない。そこで本研究では 4 種のストレッチング (スタティック、ダイナミック、バリスティック、Contract Relax 法の PNF) の前後でその急性効果が柔軟性とパフォーマンスにどのように影響するか、2 種のジャンプと長座体前屈、関節角度変化から観察する。

II 方法

1. 被験者

被験者は健康な男性 4 名、女性 1 名の計 5 名。被験者の年齢及び体重の平均値 (±標準偏差) は 21.2±0.4 歳、65.1±8.2kg であった。

2. 実験内容

1) ストレッチング

ストレッチングをした部位はハムストリングス・大腿四頭筋・下腿三頭筋の 3 部位で、大腿四頭筋→ハムストリングス→下腿三頭筋の順に各部位 30 秒間ストレッチングし、それを 2 セットずつ繰り返した。

2) 試行

跳躍試行はストレッチング前に Counter Movement Jump (以下 CMJ)、Repetitive Jump (3 回連続ジャンプ、以下 RJ) を 2 回ずつ、ストレッチング後に CMJ、RJ 2 回ずつ行った。その際、被験者には最大努力で行うように指示した。この跳躍試行の際に、男性は全員同じ靴を着用した。また、ストレッチング効果を除くために、各ストレッチング間

に 50 分間の休憩を設けた。

3. 測定項目

各跳躍試行中の鉛直方向の床反力をフォースプレートを用いて計測し、跳躍試行終了後にストレッチング前後の CMJ、RJ 各 2 試行のうちどちらが高跳べたか、主観のデータも計測した。長座体前屈はストレッチング前後の跳躍試行前に 2 回ずつ計測した。

速度は、鉛直方向の床反力データから体重を減じることにより、加速度を算出した。

加速度 $a_i = (Fz_i - mg) / m$

a_i : i 番目の加速度 (m/s^2)

Fz_i : i 番目の鉛直方向床反力 (N)

m : 被験者の体重 (kg)

g : 重力加速度 ($9.8m/s^2$)

速度は加速度を積分することにより求めた。

速度 $v_i = \int a_i \cdot dt$

v_i : i 番目の速度 (m/s)

a_i : i 番目の加速度 (m/s^2)

このうち、離地時 (T_{off}) の速度を v_{off} とした。

今回の実験で得られた床反力データから求めた速度は、ノイズの混在した床反力データの影響で着地後安静状態で 0 (m/s) になるはずの速度が以下のグラフ (補正前) のようにズレが生じてしまった。これはフォースプレートが持つドリフト (減衰) の影響によるものと考えた。そこで私はその試行ごとに一定の割合で減衰していると考え、その減衰分の一次式を足し合わせることにより以下のグラフのように補正した。各種データはこのように補正したデータから求めた。

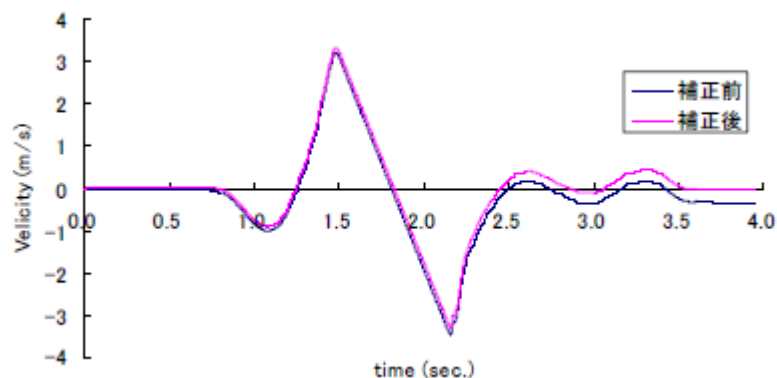


図 1. 速度補正例

跳躍高は次式より求めた。

$$1/2 \times m \times v_{\text{off}}^2 = m \times g \times H$$

$$\therefore \text{跳躍高 } H \text{ (m)} = v_{\text{off}}^2 / 2g$$

$$\text{跳躍高 } H \text{ (cm)} = v_{\text{off}}^2 / 2g \times 100$$

v_{off} : 跳躍初速度 (m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

さらにパワーは次式より求めた。

$$\text{Power} = Fz \times v/m$$

Fz : 鉛直方向床反力

v : 身体重心速度

m : 被験者の体重 (kg)

ここで求めたパワーのうち、離地前の最大パワーを

P_{max} とした。

各試行は被験者の左方よりデジタルビデオカメラで撮影した。この際、跳躍動作を矢状面上の二次元動作と仮定し、被験者の大転子、膝関節中心、外果、つま先にマーカーを付け、Physicalsoft 社製 MVPro-Free を用いてデジタイズを行い、膝・足関節角度を算出した。計測時点は離地前の関節角度最小時・着地後の関節角度最小時とし、離地前の関節角度最小時を T2、着地後の関節角度最小時を T3 と定めた。また、T2 の関節角度を Active Angle (以下、AA)、T3 の関節角度を Passive Angle (以下、PA) とした。

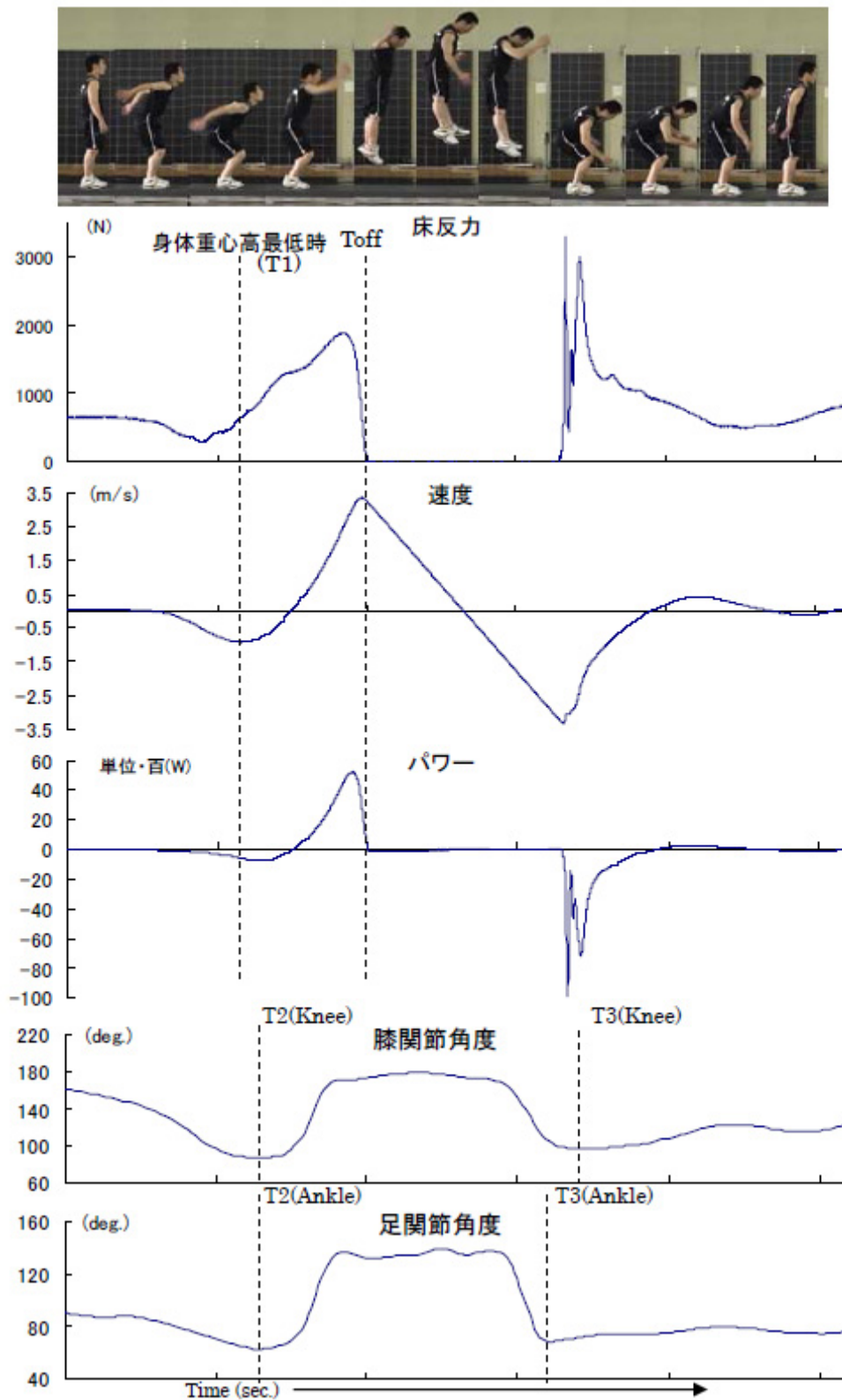


図 2. 測定項目の典型例
 (連続写真は時間軸と方向を合わせるため、左右反転)

4. 統計処理

結果は平均値±標準偏差で示した。また、各項目においてそれぞれのストレッチング前後の結果について対応のある t 検定を行った。その際、危険率 5%未満をもって有意とした。

III. 結果

各データのストレッチング前後の平均値±標準偏差を以下の表に示した。表 1 に示したストレッチング前後での長座体前屈長の変化については、PNF ストレッチングにおいてストレッチング前よりもストレッチング後のほうが有意に高い値を示し (p<0.05)、他のストレッチング方法においても増加する傾向にあった。

表 2 に CMJ における膝・足関節角度変化について示した。膝関節 AA において PNF ストレッチングはストレッチング前より有意に小さい値を示し (p<0.01)、ダイナミック・ストレッチングにおいてもストレッチング前に比べ有意に小さい値となった (p<0.05)。また、足関節 AA ではダイナミック・ストレッチング、バリスティック・ストレッチングにおいて有意に小さく (p<0.05) なり、足関節 PA ではダイナミック・ストレッチングでのみ有意に小さくなる (p<0.05) という結果を得た。

表 1. ストレッチング前後での長座体前屈長変化

長座体前屈 (cm)	
Static stretching	
Prestretching	40.9±4.7
Poststretching	43.7±6.2
Dynamic stretching	
Prestretching	43.1±5.0
Poststretching	43.2±5.3
Ballistic stretching	
Prestretching	38.9±5.6
Poststretching	40.4±6.0
PNF stretching	
Prestretching	38.2±4.9
Poststretching	43.1±5.2

*: p<0.01

床反力データから算出した跳躍高のストレッチング前後での変化 (表 3) については、いずれのストレッチング方法についても有意差はみられず、同様に、ピークパワー及びパワーの区間別の発揮時間 (T1-Toff、T1-Pmax、Pmax-Toff) についても比較したが、いずれのストレッチング方法についても有意差はみられなかった。

表 2. CMJ におけるストレッチング前後での各関節角度変化

CMJ Knee Joint	AA (deg.)	PA (deg.)	CMJ Ankle Joint	AA (deg.)	PA (deg.)
Static stretching			Static stretching		
Prestretching	71.6±5.4	79.0±8.7	Prestretching	62.9±1.7	64.8±6.0
Poststretching	67.5±4.8	75.4±10.2	Poststretching	62.5±4.7	62.6±4.0
Dynamic stretching			Dynamic stretching		
Prestretching	72.6±8.1	74.3±8.8	Prestretching	64.0±3.2	64.5±5.1
Poststretching	69.5±8.1	75.0±10.3	Poststretching	59.9±3.8	62.8±5.6
Ballistic stretching			Ballistic stretching		
Prestretching	76.6±6.0	81.9±6.0	Prestretching	60.9±2.9	60.7±4.4
Poststretching	73.0±10.2	78.3±7.0	Poststretching	58.2±4.4	65.5±5.4
PNF stretching			PNF stretching		
Prestretching	76.3±6.7	89.5±9.9	Prestretching	59.9±2.3	63.2±2.9
Poststretching	70.5±7.3	82.4±12.9	Poststretching	58.0±3.6	65.0±8.8

*: p<0.05, **: p<0.01

*: p<0.05

表 3 CMJ、RJ の跳躍所速度から求めた跳躍高

(RJ の連続 1 回目～3 回目を 1st～3rd と表示)

跳躍高 (cm)	CMJ	RJ 1st	RJ 2nd	RJ 3rd
Static stretching				
Prestretching	47.1±7.1	44.9±6.0	44.9±7.0	44.3±7.5
Poststretching	47.9±7.0	47.2±6.3	46.5±6.4	45.4±6.6
Dynamic stretching				
Prestretching	47.1±6.3	44.9±6.5	44.9±5.8	43.7±6.1
Poststretching	49.0±7.4	46.6±6.1	46.6±6.7	45.7±6.1
Ballistic stretching				
Prestretching	50.4±7.7	50.5±7.8	46.2±9.2	44.2±7.9
Poststretching	51.0±8.4	50.3±7.1	47.5±9.0	44.5±8.3
PNF stretching				
Prestretching	48.2±7.4	47.9±7.7	44.0±6.6	42.7±7.3
Poststretching	48.1±7.6	47.6±7.7	44.0±8.1	41.8±7.3

表 4. ピークパワー及び区間別パワー発揮時間

CMJ Power	Pmax (W/kg)	CMJ Power-Time	T1-Toff	T1-Pmax	Pmax-Toff
Static stretching					
Prestretching	64.0±9.23	Prestretching	0.415±0.035	0.351±0.038	0.063±0.006
Poststretching	63.8±7.6	Poststretching	0.478±0.074	0.414±0.072	0.063±0.008
Dynamic stretching					
Prestretching	64.1±8.9	Prestretching	0.435±0.088	0.369±0.088	0.066±0.006
Poststretching	66.2±10.7	Poststretching	0.426±0.071	0.363±0.070	0.063±0.006
Ballistic stretching					
Prestretching	66.8±10.43	Prestretching	0.419±0.045	0.359±0.045	0.061±0.005
Poststretching	68.0±11.2	Poststretching	0.432±0.049	0.370±0.048	0.062±0.007
PNF stretching					
Prestretching	64.5±10.4	Prestretching	0.449±0.047	0.389±0.049	0.060±0.005
Poststretching	61.8±10.2	Poststretching	0.442±0.062	0.374±0.064	0.067±0.005

表 5. ストレッチング前後の CMJ、RJ における主観データ

	Static-pre		Static-post		Dynamic-pre		Dynamic-post	
	CMJ	RJ	CMJ	RJ	CMJ	RJ	CMJ	RJ
sub.1	2回目	2回目	2回目	2回目	2回目	2回目	2回目	2回目
sub.2	1回目	2回目	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目
sub.3	2回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
sub.4	1回目	1回目	2回目	2回目	1回目	1回目	2回目	1回目
sub.5	2回目	1回目	1回目	2回目	2回目	2回目	2回目	1回目

	Ballistic-pre		Ballistic-post		PNF-pre		PNF-post	
	CMJ	RJ	CMJ	RJ	CMJ	RJ	CMJ	RJ
sub.1	2回目	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目	2回目	2回目
sub.2	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目	1回目
sub.3	2回目	2回目	2回目	2回目	2回目	1回目	1回目	2回目
sub.4	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	2回目	1回目	2回目
sub.5	1回目	2回目	2回目	2回目	2回目	2回目	1回目	2回目

IV 考察

1. ストレッチングが主観に及ぼす影響について

表 6 は速度から求めた跳躍高と主観のデータを重ねたものである。Repetitive Jump については3

回のジャンプの平均値で比較した。青が正答、赤が誤答である。(sub.3 バリスティック後の黄色の部分はデータ計測忘れ)

表 6. 主観データと実際の結果の比較

CMJ	sub.1		sub.2		sub.3		sub.4		sub.5	
単位:(cm)	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
スタティック前	55.17	57.05	43.90	43.67	37.89	37.36	49.49	49.14	46.99	47.38
スタティック後	49.65	56.40	41.17	43.68	37.96	38.48	49.19	51.92	48.97	47.99
ダイナミック前	55.11	54.79	43.93	42.63	38.63	37.35	49.52	50.47	47.46	47.58
ダイナミック後	55.38	59.51	46.34	39.90	39.49	35.61	50.30	51.78	45.34	47.93
バリスティック前	58.82	57.57	45.40	44.05	40.12	38.94	54.04	56.07	50.64	51.45
バリスティック後	57.96	60.91	47.86	48.14	39.05	39.17	56.72	55.55	50.00	49.76
PNF前	56.96	55.93	45.02	46.44	37.15	34.76	50.97	52.65	44.37	47.76
PNF後	53.50	54.91	46.43	43.73	35.70	34.92	49.24	53.13	48.24	50.20

RJ	sub.1		sub.2		sub.3		sub.4		sub.5	
単位:(cm)	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
スタティック前	51.52	45.37	37.00	38.48	37.07	37.47	45.80	45.63	50.19	49.18
スタティック後	48.91	53.13	39.22	40.52	39.13	34.81	46.68	47.73	51.36	48.88
ダイナミック前	50.34	47.82	38.16	40.15	34.84	36.34	46.31	44.31	47.35	49.20
ダイナミック後	53.37	52.47	42.88	39.13	37.16	37.29	49.75	42.51	48.16	47.07
バリスティック前	58.11	55.60	43.24	43.27	35.84	33.87	50.53	50.43	47.11	46.62
バリスティック後	55.23	57.47	44.03	43.98	35.77	34.66	51.03	50.89	48.86	48.60
PNF前	53.08	52.94	43.06	40.70	32.94	34.22	47.64	49.40	44.55	44.67
PNF後	52.98	53.33	42.54	42.59	32.66	32.72	48.15	47.43	45.07	45.68

このように見ると、RJ における sub.4、sub.5 の結果は他の被験者に比べ正解率が高い。その理由は彼らがジャンプ動作に長けているバスケットボール選手である為と考える。RJ において sub.4 の誤答は PNF ストレッチング後の 1 つのみであり、ストレッチ前のすべての試行において正解している。また sub.4 よりもバスケットボールの経験は劣るが、バスケットプレーヤーである sub.5 もストレッチ前の 4 回のうち 3 回を正解した。主観というものは当てにならないといわれるが、競技特性としてジャンプが挙げられる競技を長期間行うことにより、筋紡錘やゴルジ腱器官などの固有受容器の感度が高まる、または中枢における受容器からの求心性入力の処理能力が高まることによって、主観の精度を上げることができるのではないかと考える。固

有受容器は三次元的な身体各部の位置を認知するために必要な情報を中枢神経系に送る役割を果たし、これにより身体各部の位置関係は無意識のうち認知することができ、円滑な動作の遂行、筋緊張の調節などが可能になる。以上から運動を学習することにより、主観の精度も高まるのではないだろうか。

しかし、CMJにおいて5人中4人がストレッチング前よりもストレッチング後のほうが正解率は低いことからストレッチングが主観の精度を低下させる可能性があるのではないかと予想する。その原因について考えてみる。今回行ったジャンプという動作は伸張-短縮サイクル (stretch-shortening cycle : SSC) における増強効果を用いて行う運動である。この増強効果は短縮性筋活動の直前の伸張を指

し、これが筋の発揮張力を高めるといものである。大築 (2005)⁵⁾ は、垂直跳びと立幅跳びの最大跳躍距離を 100%として、20%ごとの等間隔主観的強度で跳び分けるという実験を行った際、被験者から主観的強度を膝関節の屈曲量で調節したとの内省を受けたと報告している。このことから、今回の実験においても 2 回の試行のうち、どちらがより高く跳べたかというのは膝関節角度の感覚を頼りにしているのではないかと予想する。これが、跳躍動作に使われる筋群をストレッチすることにより、筋の伸張による長さ変化に対し筋紡錘の感度が鈍くなったために、膝関節角度の感覚も鈍くなり、結果として主観の精度低下ということにつながったといえるのではないだろうか。

2. ストレッチング効果とパフォーマンスの関係について

今回の実験では“ストレッチングがパフォーマンス＝ジャンプにどのように影響するか”をできるだけ実際のスポーツに近い状態でストレッチング効果を観察するため、跳躍試行は被験者の任意最大強度で行った。まずは 4 種のストレッチング方法の違いと危険性について、山口と石井 (2005)⁸⁾ を参考に調べた。

スタティック・ストレッチングの場合はターゲットとなる筋群を反動をつけずにゆっくりと関節可動域の限界まで伸張させ、限界のところ数秒間保持するというもので、このストレッチングにおける柔軟性の改善には腱に存在するゴルジ腱器官がセンサーとして重要な働きを果たし、筋が伸張し、筋と骨とを結合する腱も伸張されると、ゴルジ腱器官が伸張される張力を感知して、脊髄を介して筋を伸張させるように指令を出すことによって筋が伸張するという自元性の原則に基づいてこのストレッチングは行われる。

ダイナミック・ストレッチングは、歩行やジョギングなどを行いながらターゲットとなる筋群を伸張させるために反対側にある拮抗筋群を意識的に収縮さ

せることによりターゲットの筋群を伸張させるというものである。この時に脳の上位中枢は拮抗筋群を収縮させるのと同時にターゲットの筋群に相反抑制の指令を出すことによってストレッチするものである。

バリスティック・ストレッチングは反動を用いてリズミカルにターゲットとなる筋群を伸張させるというものである。

PNF ストレッチングには数種の方法があるが、今回の実験で行った Contract Relax 法は、パートナーが反動をつけずにゆっくりと関節可動域の限界まで筋群を伸張させ、さらに筋群を伸張させる方向に力を加える。ストレッチングをされている者はその力に反発するようにターゲットとなる筋群を等尺性に活動させる。これは拮抗筋の活動が次に起こる主導筋支配の α 運動ニューロンを促通し、促通を得て活動した主動筋は、逆に拮抗筋に対して相反抑制を及ぼすという機構に基づく。これに加えてスタティック・ストレッチングと同様に自原性の原則にも基づく。

これらのストレッチングのなかで問題視されているのはバリスティック・ストレッチングである。バリスティック・ストレッチングは反動を用いてターゲットとなる筋群を伸張させるため、筋が関節可動域を超えて急激に伸張されることも少なくないようだ。この時、筋では急激な伸張に伴って伸張反射を引き起こす。筋中の筋紡錘が筋を収縮させるように指令を出してしまうことが原因で、ストレッチングという目的に反して筋を収縮させてしまう可能性があるからである。これが起こった状態で筋をさらに伸張させようとするれば、より大きな伸張反射が生じて筋に損傷を引き起こすおそれがある。ダイナミック・ストレッチングも素早い動きで筋を伸張させるために筋の損傷を引き起こす可能性があるが、方法をよく理解して行えば、安全に柔軟性を高めることができる。

運動前のストレッチングには柔軟性を高めて筋の傷害リスクを低下させという目的だけでなく、筋のパフォーマンス向上もその目的である。一般にウォ

ームアップにおけるストレッチングは筋のパフォーマンス（筋力やパワー）を高め、パフォーマンスの向上につながると考えられている。しかし、ウォーミングアップの一環として一般的なスタティック・ストレッチングが筋のパフォーマンスを向上させるということを示した報告は見当たらない。これはバリスティック・PNF においても同様で、むしろパフォーマンスの低下につながるという報告が散見される。しかし、ダイナミック・ストレッチングにおいては筋のパフォーマンス向上につながるものが多く報告されているようだ。その要因としては、動作のなかでストレッチングすることにより、筋温が上昇し、筋の興奮性が高まるためと考えられる。

ストレッチングの効果が上記の通りであれば、ストレッチング後にパフォーマンスが上がるのはダイナミック・ストレッチングのみで、スタティック、バリスティック、PNF ストレッチングにおいては、パフォー

マンスは低下するはずである。また、ダイナミック・ストレッチングは正しく行われていればPNF ストレッチングと同程度の柔軟性の向上が見られるはずである。しかし、柔軟性について長座体前屈長で比較したところ、確かに PNF ストレッチングはストレッチング前に比べ有意に高い値を示したが、ダイナミック・ストレッチングにおいてはストレッチング前と比較して殆ど変化はなく、逆に負の効果が現れてしまう被験者もあり、PNF ストレッチングとダイナミック・ストレッチングが柔軟性に同程度の効果が得られるという証明にはならなかった。

パフォーマンスにおける比較も行った。下表は、各ストレッチングの前後で行った 2 試行のうちパフォーマンスが高かった、つまり跳躍高の高かった試行を比較したものである。RJ においては 3 回のジャンプの平均値で比較した。

表 7. ストレッチング前後のパフォーマンス比較

CMJ	sub.1	sub.2	sub.3	sub.4	sub.5	RJ	sub.1	sub.2	sub.3	sub.4	sub.5
跳躍高(cm)						跳躍高(cm)					
Static stretching						Static stretching					
Prestretching	57.05	43.90	37.89	49.49	47.38	Prestretching	51.52	38.48	37.47	45.80	50.19
Poststretching	56.40	43.68	38.48	51.92	48.97	Poststretching	53.13	40.52	39.13	47.73	51.36
Dynamic stretching						Dynamic stretching					
Prestretching	55.11	43.93	38.63	50.47	47.58	Prestretching	50.34	40.15	36.34	46.31	49.20
Poststretching	59.51	46.34	39.49	51.78	47.93	Poststretching	53.37	42.88	37.29	49.75	48.16
Ballistic stretching						Ballistic stretching					
Prestretching	58.82	45.40	40.12	56.07	51.45	Prestretching	58.11	43.27	35.84	50.53	47.11
Poststretching	60.91	48.14	39.17	56.72	50.00	Poststretching	57.47	44.03	35.77	51.03	48.86
PNF stretching						PNF stretching					
Prestretching	56.96	46.44	37.15	52.65	47.76	Prestretching	53.08	43.06	34.22	49.40	44.67
Poststretching	54.91	46.43	35.70	53.13	50.20	Poststretching	53.33	42.59	32.72	48.15	45.68

このように見ると、CMJ においてはたしかに筋のパフォーマンス向上につながるとされているダイナミック・ストレッチング後はストレッチ前に比べて被験者全員の記録が向上し、他のストレッチングにおいては被験者の記録に一貫性はみられず、ストレッチ後に被験者の記録が上がった人数順にストレッチングを並べるとダイナミック>スタティック=バリスティック>PNF となり、報告されているものに近い順になった。

また、RJ においてはスタティック・ストレッチングが予想に反し、全員のパフォーマンスが向上するという結果になった。また、ダイナミック・ストレッチングも CMJ と同様にパフォーマンスが上がる人が多く見られた。これらから、パフォーマンスの向上を狙うならばダイナミック・ストレッチングが有効であるという報告については支持できる結果となった。また、柔軟性の改善に最も効果があるとされている PNF ストレッチングは、確かに長座体前屈長を向上させ

たが、パフォーマンスが向上した人数が最も少ないことから、柔軟性の改善には効果があるが、パフォーマンスの向上については負の影響を及ぼすという報告について支持できるものとなったのではないだろうか。これらから、柔軟性を高めるにはPNFストレッチング、運動前に行うストレッチングはブラジル体操などのダイナミック・ストレッチングが効果的であると言えると思う。

発揮パワーについて見ると、Marek et al (2005)⁴⁾ はスタティック、PNF ストレッチング後に平均パワーが低下したと報告し、本研究においてはスタティック、PNF ストレッチング後に有意差はなかったがピークパワーが低下した。これらから、この2種のストレッチングはパワー発揮について有益ではないと言える。また、パフォーマンスが向上したダイナミック・ストレッチングは有意差はないもののピークパワーは増加したことから、パフォーマンスを向上させるのに有益であるといえるのではないかと。

V まとめ

本研究の目的は、4種のストレッチングの急性効果が柔軟性とパフォーマンスにどのように影響するかであった。その結果をまとめると以下ようになった。

- ストレッチングの急性効果は、跳躍動作中の膝・足関節角度に影響を及ぼしたが、跳躍高・ピークパワー・パワーの発揮時間において統計学的に有意な変化はなかった。
- パフォーマンスの向上に有利であるとされているダイナミック・ストレッチングは、ストレッチング実施後に跳躍高が増加する被験者が多かった。
- 長座体前屈長においては、柔軟性の向上に最も効果的であると報告されているPNFストレッチングにおいて、ストレッチング後に有意に増加した。

これらの結果から、ストレッチングの急性効果がパフォーマンスの向上に有用であるとは言い難い

が、柔軟性が増加することによりスポーツ傷害を予防できることから、スポーツにおけるストレッチングは有益であると言える。

VI. 参考文献

- 1) 阿江通良, 藤井範久 (2002) 数値計算の基礎 スポーツバイオメカニクス 20 講, 朝倉書店, pp.165-172
- 2) 淵本隆文 (2000) 運動力学変数の測定 (キネティクス) -外力の測定 (フォースプレート, フォーストランジューサ) - スポーツバイオメカニクス, 深代千之, 平野裕一, 桜井伸二, 阿江通良編著, 朝倉書店, pp.95-98
- 3) Gary A. Dudley, Robert T. Harris (1999) 神経系コンディショニングへの適応. NSCA 決定版ストレングストレーニング & コンディショニング, Thomas R. Baechle 編, 石井直方 総監修, ブックハウスHD, pp.13-19
- 4) Marek SM, Cramer JT, Fincher AL, Massey LL, Dangelmaier SM, Purkayastha S, Fitz KA, Culbertson JY (2005) Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. J Athl Train. , 40 (2) , 94-103
- 5) 大築立志 (2005) 主観による物理的出力の制御特性 - つもりと実際の対応関係 -, バイオメカニクス研究, 9 (3) , 149-160
- 6) Shrier I (2004) Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. Clin J Sport Med. , 14 (5) , 267-273
- 7) 魚住廣信 (2005) ストレッチングと競技パフォーマンス からだの科学, 日本評論社, 245 (11) , 41-44
- 8) 山口太一, 石井好二郎 (2005) ストレッチングの方法と効果 からだの科学, 245 (11) , 日本評論社, 24-31

ストレッチングの急性効果がジャンプパフォーマンスに及ぼす影響

スポーツ科学部 スポーツ文化学科

1k03b099-9 清水 美奈

I. 緒言

いわゆるストレッチングは筋や腱などの結合組織を伸ばして関節可動域の改善や身体の柔軟性を高める方法であり競技力の向上や傷害の予防に効果があるといわれている。そのため、スポーツの現場ではウォーミングアップやクーリングダウンの一環として各種のストレッチングが幅広く取り入れられている。しかし、ストレッチングの研究をした文献にはスポーツ傷害の予防効果がないことや、パフォーマンスを低下させる恐れがあるという報告をしているものもみかける。ストレッチングの名称や実施方法については統一されておらず様々だが、代表的なストレッチングとして、①反動をつけずに静かにゆっくり行うスタティック・ストレッチング②反動を使って行うバリスティック・ストレッチング③反動はつけずにリズムカルに関節を曲げ伸ばしするダイナミック・ストレッチング（ブラジル体操などとも言われている。）④PNF（固有受容器神経筋促通法）理論を用いて行うPNFストレッチングの4種類がある。今回はこの4種類の異なったストレッチングを対象とし、各種ストレッチングがジャンプパフォーマンスに及ぼす影響について調べることにした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は20歳から22歳までの健康な成年男性4名と成年女性1名の計5名。

体重は、実験1日目が 65.3 ± 8.3 kg、実験2日目が 64.9 ± 8.9 kg（平均値±標準偏差）であった。

2. ストレッチングした部位とその方法

大腿四頭筋・ハムストリングス・下腿三頭筋の3箇所をスタティック、バリスティック、ダイナミック、

PNFの四種類の方法でストレッチングした。大腿四頭筋→ハムストリングス→下腿三頭筋の順に各筋群とも30秒間ずつストレッチングし、それを2セット繰り返した。被験者には事前にストレッチングの方法や違いを説明し、実験前に実際に練習してもらった（PNFストレッチングだけは事前練習なし）。PNFストレッチングに関しては、現在埼玉ブロンコス（バスケットボール）でトレーナー活動をして日常的にPNFストレッチングを施している金子さんにコントラクトリラックスの手法でストレッチングをしてもらった。各試行の間隔は50分以上あけて前に実施したストレッチングの効果が残らないように配慮した。なお、実験はスタティック・ストレッチング、ダイナミック・ストレッチングの実験を行う日とバリスティック・ストレッチング、PNFストレッチングの実験を行う日の2日にわけて行った。

3. ジャンプ測定の方法

ジャンプの試行は、任意最大強度のCounter Movement JumpとRepetitive Jump（以下CMJとRJ）の2種類を各2回ずつフォースプレート上で行い、1秒当たり100コマの床反力計のデータをデジタル化しコンピュータに取りこんだ。被験者間での跳び方の統一はしなかった。また、どちらがよく跳べたか主観データもあわせて記録した。長座体前屈計により、ストレッチング前後で2回ずつ長座体前屈を計測した。

4. データ処理の方法及び分析項目

1) データ処理の方法

床反力計で得られた垂直方向成分のデータをもとに体重を除することによって加速度を算出し、それを積分することで身体重心速度を算出した。また今回の実験で得られた床反力データから求めた速

度は、本来ならば着地後安静状態には 0 (m/s) になるはずが、着地安静状態後もマイナス方向に減少を続けた。そのため、ジャンプ終了後の垂直成分が 0 に収束するようデータの補正を行った。

身体重心速度とデータから得られた床反力の垂直成分を掛け合わせることで機械的パワーを算出し体重で除して標準化した。

2) 分析項目

- ①. CMJ の跳躍高 (跳躍初速度をもちいて H_t (跳躍高) $=v^2/2g$ の式より算出した)
 - ②. CMJ の正の最大パワー (※補足1)
 - ③. CMJ の正の最大パワー発揮から離地までの時間 (※補足 2)
 - ④. RJ の跳躍高 (跳躍初速度をもちいて H_t (跳躍高) $=v^2/2g$ の式より算出した)
 - ⑤. 長座体前屈の伸び率
- なお、対応のある T 検定を実施し有意水準を 0.05 未満とし統計を実施した。

● 分析項目についての補足

※補足 1 各ストレッチングと正の最大パワー

床反力から算出された正の最大パワーは跳躍高と優位な正の相関関係 ($r=0.928$) があることが報告されている。(Lydia Vamos ら、1993) そこで跳躍高だけでなく、正の最大パワーも分析項目に取り入れた。

※補足2 CMJ の最大パワーから離地までの時間床反力から算出された正の最大パワーとの相関関係と比べるとかなり精度は劣るが、跳躍高と負の相関関係があることが報告されている。($r=-0.406$) (Lydia Vamos ら、1993) そこで、最大パワー発揮から離地までの時間も分析項目にした。

III. 結果

1. 各ストレッチング前後での CMJ 跳躍高比較

2 回の試行のうちより高く跳べた記録を採用した。統計的に有意な差は認められなかった。どのストレッチング前後の跳躍高も個人差がみられた (表1)

表 1. 各ストレッチング前後での跳躍高比較 (単位 m)

被験者	Static		Dynamic		Ballistic		PNF	
	pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	pre	post
A	0.54	0.54	0.52	0.56	0.53	0.52	0.52	0.49
B	0.44	0.47	0.44	0.45	0.45	0.43	0.43	0.47
C	0.34	0.35	0.37	0.37	0.35	0.34	0.35	0.35
D	0.41	0.37	0.42	0.45	0.40	0.42	0.42	0.42
E	0.47	0.49	0.48	0.48	0.48	0.49	0.48	0.51
平均	0.44	0.44	0.45	0.46	0.44	0.44	0.44	0.45
標準偏差	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

2. CMJ での正の最大パワー

各ストレッチング前後の CMJ の正の最大パワーの平均を (図 1) にまとめた。ダイナミック・ストレッチング後のみストレッチング前と比較してパワーが

有意に増加した。正の最大パワーは、スタティック、PNF ストレッチング後に減少し、バリスティック・ストレッチング、ダイナミック・ストレッチング後に増加する傾向がみられた。

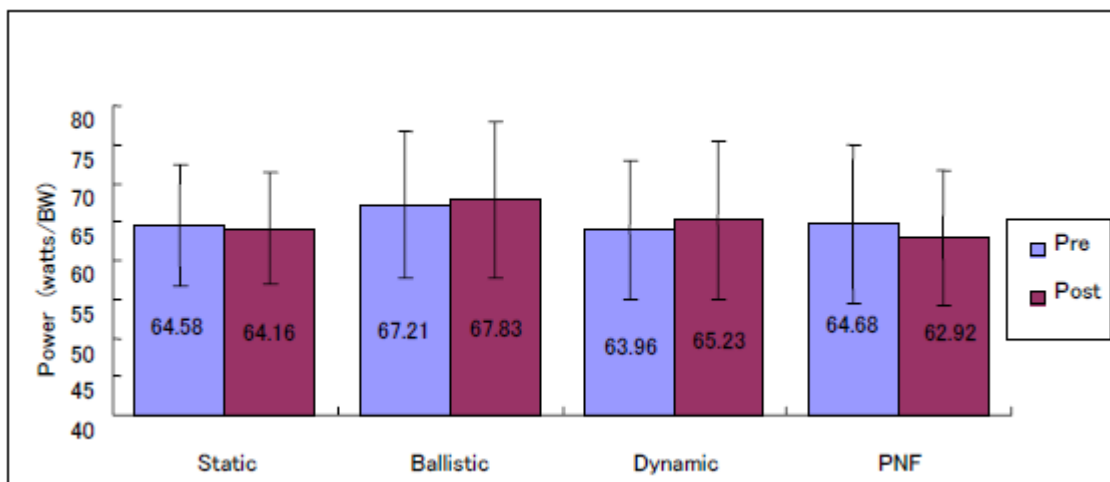


図 1. 各ストレッチング前後の CMJ の正の最大パワー比較

3. CMJ の正の最大パワー発揮から離地までの時間

CMJ における正の最大パワー発揮から離地までの時間を (図 2) にまとめた。どのストレッチング

前後の最大パワー発揮から離地までの試行においても統計的に有意な差を認められなかった。バリストック・ストレッチングは、ストレッチング前後でほとんど値に差がなかった。

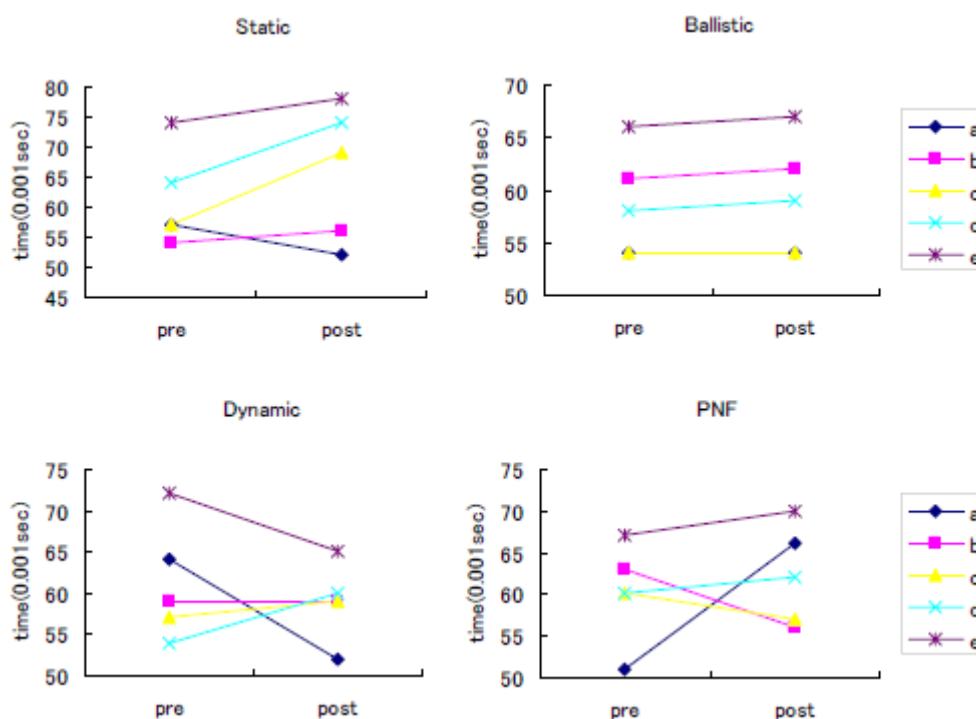


図 2. CMJ の正の最大パワー発揮から離地までの時間

4. 各ストレッチング前後での RJ 跳躍高比較

(表2) 統計的な有意さはどの試行においてもみられなかった。

ストレッチング前後の RJ 跳躍高の比較をした。

表 2. 各ストレッチング前後での RJ 跳躍高比較 単位 m

static	a-1回目	a-2回目	b-1	b-2	c-1	c-2	d-1	d-2	e-1	e-2	平均	標準偏差
pre1	0.48	0.53	0.56	0.56	0.36	0.41	0.37	0.37	0.54	0.55	0.47	0.08
2	0.54	0.37	0.55	0.53	0.33	0.39	0.37	0.38	0.50	0.50	0.45	0.08
3	0.56	0.49	0.58	0.48	0.32	0.37	0.38	0.39	0.44	0.49	0.45	0.08
post1	0.56	0.53	0.55	0.50	0.44	0.39	0.40	0.41	0.49	0.51	0.48	0.06
2	0.50	0.53	0.54	0.50	0.42	0.33	0.38	0.42	0.46	0.47	0.46	0.06
3	0.46	0.51	0.50	0.48	0.40	0.37	0.38	0.39	0.47	0.49	0.45	0.05

ballistic	a-1回目	a-2回目	b-1	b-2	c-1	c-2	d-1	d-2	e-1	e-2	平均	標準偏差
pre1	0.62	0.60	0.52	0.52	0.40	0.39	0.29	0.33	0.53	0.54	0.47	0.11
2	0.60	0.56	0.45	0.46	0.35	0.32	0.30	0.29	0.49	0.50	0.43	0.11
3	0.54	0.53	0.44	0.43	0.35	0.32	0.26	0.28	0.48	0.48	0.41	0.10
post1	0.60	0.59	0.54	0.54	0.40	0.40	0.31	0.30	0.54	0.54	0.48	0.11
2	0.57	0.59	0.49	0.48	0.35	0.33	0.28	0.29	0.53	0.51	0.44	0.11
3	0.51	0.59	0.45	0.44	0.33	0.32	0.27	0.28	0.49	0.49	0.42	0.10

dynamic	a-1回目	a-2回目	b-1	b-2	c-1	c-2	d-1	d-2	e-1	e-2	平均	標準偏差
pre1	0.52	0.56	0.47	0.49	0.41	0.40	0.42	0.40	0.51	0.50	0.47	0.05
2	0.55	0.53	0.48	0.47	0.38	0.37	0.44	0.37	0.51	0.42	0.45	0.06
3	0.52	0.51	0.46	0.45	0.37	0.38	0.44	0.40	0.50	0.42	0.45	0.05
post1	0.56	0.49	0.50	0.53	0.39	0.40	0.37	0.40	0.50	0.48	0.46	0.06
2	0.56	0.50	0.48	0.52	0.35	0.39	0.36	0.42	0.50	0.42	0.45	0.07
3	0.52	0.47	0.47	0.50	0.35	0.38	0.41	0.40	0.49	0.44	0.44	0.05

PNF	a-1回目	a-2回目	b-1	b-2	c-1	c-2	d-1	d-2	e-1	e-2	平均	標準偏差
pre1	0.57	0.57	0.48	0.49	0.36	0.37	0.46	0.45	0.51	0.53	0.48	0.07
2	0.52	0.53	0.42	0.45	0.32	0.34	0.42	0.40	0.46	0.48	0.43	0.07
3	0.51	0.50	0.40	0.41	0.31	0.33	0.42	0.40	0.47	0.48	0.42	0.06
post1	0.53	0.55	0.49	0.50	0.35	0.35	0.44	0.46	0.52	0.53	0.47	0.07
2	0.54	0.54	0.44	0.45	0.31	0.32	0.43	0.42	0.47	0.46	0.44	0.07
3	0.52	0.50	0.42	0.42	0.31	0.31	0.40	0.39	0.47	0.46	0.42	0.07

5. 長座体前屈の各ストレッチング後の伸び率

ストレッチング後の長座体前屈の伸び率を(表3)にまとめた(100%未満のものは太字)。PNF ストレッチング後に全員長座体前屈の記録が向上し

た。また、各ストレッチング前後の平均長座体前屈の値を表3にあらわした。PNF ストレッチング後の長座体前屈の値はストレッチング前に比べ有意に増加した。

表 3. 長座体前屈の伸び率

	Static	dynamic	ballistic	PNF
A	114%	95%	115%	113%
B	104%	102%	99%	116%
C	113%	100%	104%	110%
D	93%	95%	100%	113%
E	110%	104%	101%	113%

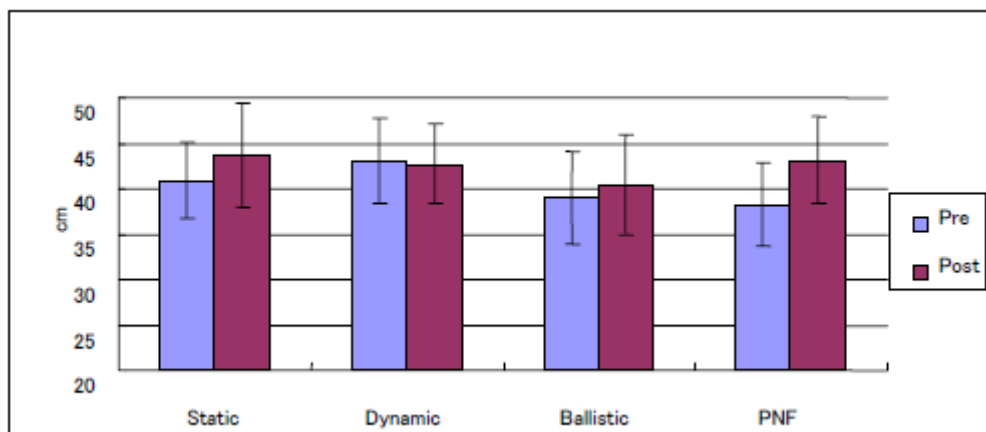


図 3. 各ストレッチング前後の平均長座体前屈比較

IV 考察

ダイナミック・ストレッチング後で、垂直方向のデータから得られた力と速度を掛け合わせたパワーが有意に増加した。この要因としてダイナミック・ストレッチングは他の3つのストレッチングと比べ実際のパフォーマンスに近い形でのストレッチングであることが挙げられる。反動をつけずに筋肉の興奮や緊張を抑えておこなう、つまり、 α 運動ニューロンの働きを抑えて行うスタティック・ストレッチング、結果的に α 運動ニューロンの活動を抑えておこなう PNF ストレッチングとは違い、ダイナミック・ストレッチングは α 運動ニューロンの活動を抑制せずに筋の興奮・緊張させたまま、実際の運動により近いかたちで収縮ストレッチングを交互に繰り返しているといわれる。この方法で筋に刺激を加えることで神経系の興奮が高まったために、結果としてストレッチング後のパワーが増加したのではないだろうか。

一方、柔軟性に関しては、PNF ストレッチ後に有意に長座体前屈の記録が伸び、ダイナミック・ストレッチング前後では柔軟性にあまり変化がみられなかった。PNF ストレッチングは神経機構の特性を利用して、神経の働きを抑制することで、他のストレッチングよりもより筋肉を伸ばすことができたと考えられる。反対にダイナミック・ストレッチングは、神経系の興奮は高まったために、十分に筋肉やそ

の他の結合組織がストレッチングされず、柔軟性にはあまり変化がなかったと考えられる。

各ストレッチングのどの分析項目にもおいても個人差があり、どのストレッチングがジャンプパフォーマンスを向上させるかは一概にはいえない結果となった。その原因としてまずフォースプレートから得たデータやその処理過程での測定誤差の増大が考えられる。本実験においては測定誤差を軽減するためにデータの補正を行ったが、より正確なデータを得るためには、映像とフォースプレートの両方のデータから跳躍高や離地、着地の時間を算出するべきであった。

2つめに被験者のストレッチング前段階でのコンディショニングの違いが考えられる。

例えば、関節の可動域に制限があつてうまくジャンプできない被験者には、PNF ストレッチングによって可動域を広げることはパフォーマンス改善に有効だが、もともと十分な関節可動域を持っている被験者が、PNF ストレッチを行うことは、逆に筋や腱に不具合を生じさせパフォーマンスを低下させる可能性があることがあげられる。このことは、PNF ストレッチング以外での、他のストレッチングに関してもあてはまる。

今回の実験は、実際のスポーツ現場に近いかたちでストレッチング（時間・強度・部位）を行い、さらに単関節での筋発揮などとは異なりジャンプ動

作という実際の運動に近いかたちの運動を測定項目とした。しかし、その結果ストレッチングの種類があいまいになったり（特にスタティック・ストレッチングとバリスティック・ストレッチング）、被験者間でストレッチングの強度が統一できなかった。次に実験を行うときは、ストレッチングの方法・時間・強度・部位について再検討する必要がある。パフォーマンスの評価指標についても同様である。制限をほとんどもうけない全身ジャンプだったので、ジャンプパフォーマンスの変化がストレッチングによるのか、他の要因によるものなのか区別がつかなくなった。したがって、ストレッチングの影響を確かめるためにジャンプの動きを制限したり、ジャンプの再現性を考慮するといった改善が必要である。柔軟性の評価指標は、長座体前屈だけでなく、足関節の柔軟性の評価指標となる測定項目も取り入れるべきであった。

また、各ストレッチング試行の間に 50 分以上間隔を置いたが、50 分という時間に根拠はなく、前のストレッチング効果がなくなっていたかどうか疑問がのこる。実験をやって、改善すべき点がたくさ

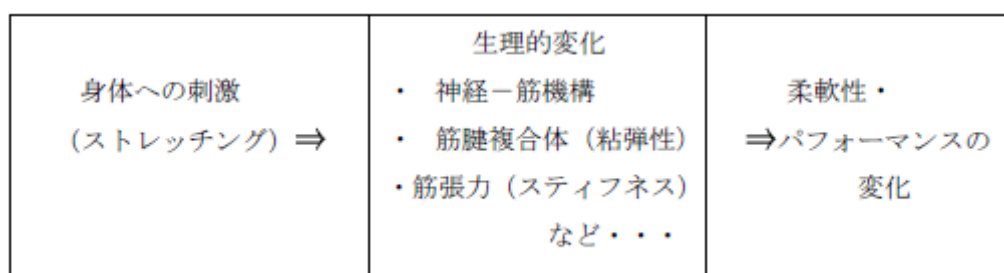
んあることに気づいた。それを少しでも減らしていくには、実験前のストレッチングについての知識を学んでおくことと、プレ実験を重ねて、実験方法を決定する必要がある。

V まとめ

- 柔軟性の改善は PNF ストレッチングを実施できる者がいれば PNF ストレッチングが一番有効である。
- 各ストレッチング前後の跳躍高の記録には個人差があり、どのストレッチングがパフォーマンス向上につながるのか今回の実験からは一概に決めることはできない。
- 再現性や普遍性のある方法を用いて実験を行うことでさらに充実した研究を行うことができる。

VI. 私見

今回の実験で、ストレッチングによって、わずかだが身体が生理的変化を起したといえる結果が得られた（下図参照）。



鈴木は、運動・物理療法 (1999) の論文の中で、「過去の文献を見ると、ストレッチングのやり方とその効果についての報告は多いが、その効果を裏づける基礎的機構についての詳細な報告は少ない。」と述べている。ストレッチングは、運動前後のウォーミングアップやクールダウンとしてだけでなく、健康、リハビリテーションなどの目的で、多くの人々が行っている身体活動である。ストレッチングの目的は、実施する

個人によってさまざまである。

したがって、さまざまな場面でストレッチングの理論を応用するために、今回のようにストレッチングが身体に及ぼす生理的影響を間接的な方法（跳躍高、柔軟性など）で考察するだけでなく、超音波や筋電も利用して、筋や腱、その他の結合組織を伸ばすことや、伸ばし方の違いで起こる身体内部の変化を直接的に調べていくことも重要であると考える。

また、今回実験を自ら計画、実施したことによって自分の実験に対する考え方が大きく変わった。今までは、即現場（特に競技スポーツ）にフィードバックできるのがよい実験だと思っていたが、そうとも限らないということ。実際のスポーツ現場の状況に近づけようとするほど、様々な条件を制限できないので実験の精度は下がってしまう。また、スポーツ現場（特に競技スポーツ）にすぐにフィードバックできるというのは、逆に言えば他の分野での応用が利かないということでもある。だから、一見現場で使えないような身体の根本的な事をつきつめていくのも（例えば、筋の形状とその特性について・・・など）大変意味あることだと思うようになった。

参考文献

- James J. Dowling and Lydia Vamos, (1993) Identification of kinetics and temporal factors related to vertical jump, Journal of Applied Biomechanics , 9, pp 95-110
- 木越清信, 岩井浩一, 島田一志, 尾懸貢 (2004) ドロップジャンプにおける姿勢と下肢関節キネティクス, 体育学研究, No5, pp 435-445
- 瀧澤一騎, 石井好二郎 (2005) しっかり走って温めるべき！競技パフォーマンスを上げるためのウォームアップの科学, コーチングクリニック 2005年1月号, ベースボールマガジン社 pp 6-9
- 山口太一, 石井好二郎 (2005) ダイナミックストレッチングだ！ウォームアップにおけるストレッチングの科学と実際, コーチングクリニック 2005年1月号, ベースボールマガジン社 pp 10-13
- 鈴木秀次 (1999) ストレッチング運動における神経筋機構, 運動・物理療法, 10(4) pp 368-374