

コーチングのツールとしてのスポーツ科学の活用

尾 縣 貢
筑波大学体育系

1. はじめに

競技者育成にとって，“スポーツ科学の活用”は一つのキーワードになる。わが国のスポーツに関する研究は、先進を誇り、その気になれば、いつでもどこでも誰もが多くの情報を入手できる環境にある。しかしながら、コーチング現場でスポーツ科学の知見が十分に活用されているかという点、そうとは言えない。このような現状を鑑みてか、2011年施行のスポーツ基本法には、「国がスポーツに関する諸科学を総合して、実地的及び基礎的な研究を推進し、これらの研究の成果を活用してスポーツに関する施策の効果的な推進を図る」ことが謳われている。

このスポーツ基本法施行後の2012年あたりから高校運動部における体罰、柔道女子日本代表チームにおける暴力行使などの問題が次々と明るみになり、スポーツ現場の混乱が深刻な社会問題にまで発展した。2013年2月5日、下村博文文部科学大臣は、この状況を「国のスポーツ史上最大の危機」であると憂い、「スポーツ指導における暴力根絶へ向けてのメッセージ」を国民に対して発信した（文部科学省、2013）。ここでは、「暴力を根絶すること」に加え、「新しい時代に相応しいスポーツの指導法を確立すること」を訴えた。結果的に、一連の不祥事に対する危機感が引き金になり、スポーツ界の改革の実際のスタートが切られたことになる。これは、スポーツ界史上最大の「危機」がスポーツ界の改革のための「好機」に転じたと言える。

このような背景もあり、スポーツ科学は、体罰・暴力に代わるコーチングのツールとしての注目が高まっている。なかでも自然科学的研究から得られる知見は、競技者の“技術”“体力”を効率良く高めることに役立つ。本稿では、スポーツ科学のコーチングへの導入について体力トレーニングに着目して論じる。

2. 体力トレーニングの基本的な考え方

体力トレーニングは、生体に負荷された運動刺激とその反応の関係を利用して、体力を高めていく行為であると定義できる。そのため、期待するトレーニング効果を得るためには、行う運動の選択とその行い方が重要になる。すなわち、運動の種類、強度と継続時間、密度などのトレーニング条件の設定が鍵となるのである。

体力トレーニングにおけるこの刺激-反応の過程は、技術トレーニングの場合と比べるとシンプルである。図1は、技術と体力の2要因が変化していく過程である（図子、2013）。技術トレーニングでは、模倣運動やドリル等を繰り返す試行錯誤の段階で神経に刺激を与え、動きの感覚やコツを習得させることで運動の習熟を導いていくために、突然に動作が変容して即時的に効果が表れたり、逆にトレーニングを継続していてもなかなか効果が出ないこともある。一方、体力トレーニングでは、適切なトレーニング刺激を与えた後に適切な休息を取りながら疲労の回復を図れば、かなり規則的に超回復現象が生じる。すなわち、計画的に実践すれば、期待する成果をあげやすいのが体力トレーニングなのである。しかしながら、その一方で“非科学的トレーニング”

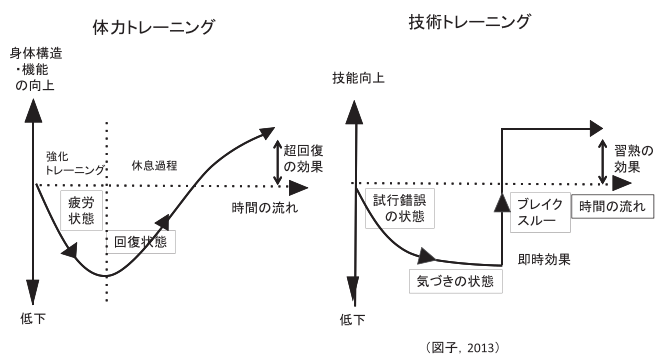


図1 体力トレーニングと技術トレーニングにおける効果の表れ方

がまかりとおり、体罰や暴力を生み出す温床となるのも体力トレーニングである。このようにスポーツ科学の導入が比較的容易である体力トレーニングで成果をあげることが、旧態依然としたコーチングを変えるための突破口になり得るのではないだろうか。

3. トレーニングの条件を考える

挙上重量、反復する回数、走る距離、スピード、本数、休息の時間など、トレーニングを実施するにあたり、決めなければならないトレーニング条件(変数)は数多ある。同じエクササイズを選択しても、これらの変数を変えることで、トレーニング効果が変わってしまうので細心の注意が必要となる。トレーニング条件を決定するための根拠は、スポーツ科学の知見に見つけることができる。

ここでは、陸上競技のトレーニングとして頻繁に用いられる筋力トレーニングとランニングにおけるトレーニング条件を決める際のヒントをあげてみよう。

1) 筋力トレーニング

バーベルなどを用いたトレーニングでは、挙上する重量と回数により、その効果は異なる。図2は、重量と反復回数を変えてアームカールを行った場合の効果を示している(Schmidtleiher and Buehrle, 1983)。MAXは最大筋力の90%以上の負荷で反復回数が3回以上、パワーは最大筋力の45%で8回を全速で反復、MRは最大筋力の70%で12回の反復という設定であった。最大筋力における効果に大差はないものの、力の立ち上がり(筋力発揮の集中性)では、MRはほとんど効果がなく、Maxで大きな改善が見られた。逆に筋肥大ではMRが大きな効果を得たが、Maxとパワーはその半分程度の効果であった。この結果は、筋肉のどの機能を改善するかを明確にしたうえで、条件を設定する必要のあることを示している。例えば、投てき選手では、“冬季の鍛錬期で筋肥大を課題とし、競技会期前の準備期で肥大した筋を合目的に動かすために神経系に刺激を与える”というトレーニングの流れを考え、重量と回数を設定することが多い。

また、セット間の休息時間も効果に影響を及ぼす変数となりうる。図3は、Kreamer et al. (1990)の報告の一部である。これは、大筋群のトレーニングにおいて、10RM (Repetition maximal) で休息を1分としたセットと3分としたセットの間で、筋などの発育に関係する成長ホルモンの分泌量を比較し

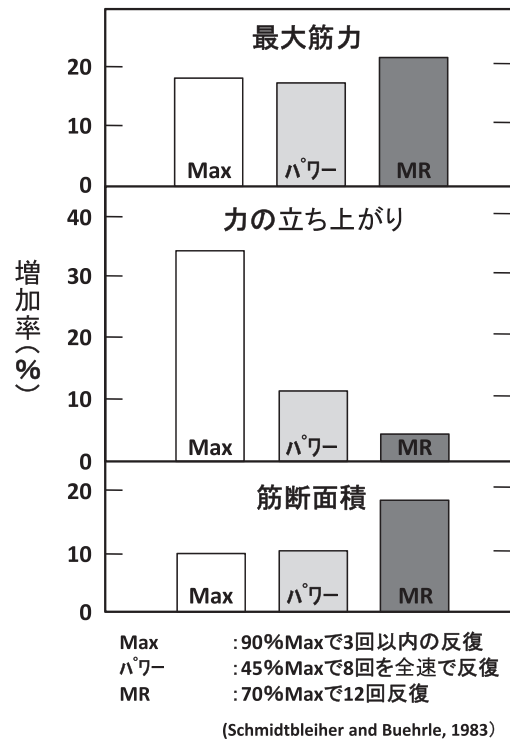


図2 筋力トレーニングの強度・反復回数と効果の関係

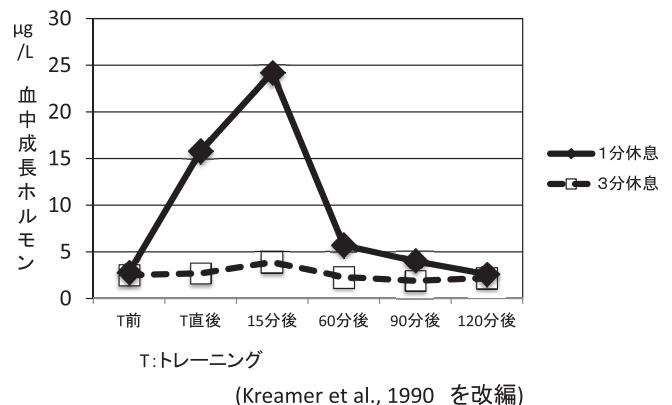


図3 筋力トレーニングにおけるセット間の休息時間と血中成長ホルモンの分泌量の関係

たものである。セット間1分では、3分に比較するとホルモン分泌量が顕著に高いことが結果として得られている。この知見は、筋肉がつきにくい女性競技者が筋肥大を課題とするようなケースでは、上記の重量と回数のみならず、セット間の休息を適切に設定することの重要性を示唆するものである。

2) ランニング

ランニングは、いろいろなトレーニング目的も持って利用される。マラソンのように長い距離を比較的低いスピードで走れば、主に全身持久力を高めることができ、400m走のように乳酸産生が最大になるようなスピードで走れば筋持久性を高めることができる。また、スタートダッシュを爆発的なス

表1 運動の強度・持続時間とエネルギー供給との関係

区分	持続時間	強度水準	エネルギー供給系	エネルギー供給 (%)	
				無酸素性	有酸素性
1	1~15秒	最大限界	ATP-PC系	100~95	0~5
2	15~60秒	最大限界	ATP-PC系と乳酸系	90~80 ※	10~20
3	1~6分	最大下	乳酸系と有酸素性	70~ (40~30)	30~ (60~70)
4	6~30分	中	有酸素性	(40~30) ~10	(60~70) ~90
5	30分以上	低	有酸素性	5	95

(ボンパ, 2006)

※30秒程度で疲労困憊に至る運動の約65%, 60秒で疲労困憊の約50%が無酸素性エネルギー供給系に依存しているという報告 (Medbo and Tbata, 1993) もある。

ピードで走れば、筋力・パワー、敏捷性などが改善される。これらの例のように、ランニングによるトレーニング刺激は、そのスピードと継続時間の関係により変化する。ランニングの強度は、エネルギー供給系に基づいても評価することもできる。表1は、持続可能時間と動員されるエネルギー供給系との関係を示している (ボンパ, 2006)。区分1は15秒以内で終了する短時間に最大限界の活動を行う運動 (100m 走) であり、ATP-PC系によりほとんどのエネルギーが供給される。ちなみに100m 走中の酸素負荷量は80-90%にも達する。区分2は、最大強度の活動を15-60秒間持続する運動 (200m 走, 400m 走) であり、ATP-PC系と乳酸系が主たるエネルギー供給源になる。区分3は、1-6分間の運動 (800m 走, 1500m 走) であり、乳酸系と有酸素系が主たるエネルギー供給系になる。活動後の乳酸の蓄積は著しく、生体内はアシドーシスの状態になる。区分4は、最大30分前後持続する運動 (3000mSC, 5000m 走, 10000m 走) であり、有酸素系からのエネルギー供給が優位になる。区分5は、強度は低い長時間継続する運動 (マラソン, 20km 競歩, 50km 競歩) であるため、エネルギーの消費量は大きくなる。

「専門とする種目がどのような割合でそれぞれのエネルギー系に依存しているのか」「どのエネルギー供給系によるエネルギー生成を強化するのか」などを十分に理解したうえで、トレーニングにおけるランニングの強度と距離を決定する必要がある。

4. PDCAサイクルの活用

1) 評価への科学の導入

PDCA サイクルとは、企業が行う生産管理や品質管理などの管理業務を円滑に進める方法の一つであり、Plan (計画) → Do (実行) → Check (評価) → Act (改善) の4段階を繰り返しながら業務を改善していく (図4)。この考え方は、近年、コーチングにおいても採択され、成果をあげている例も

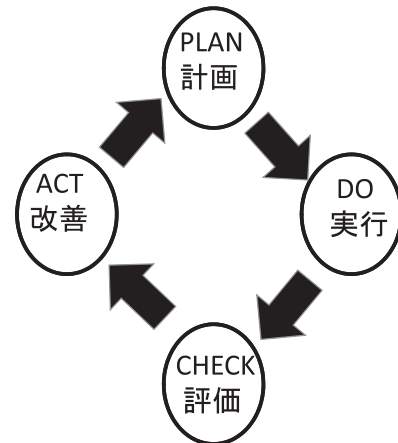
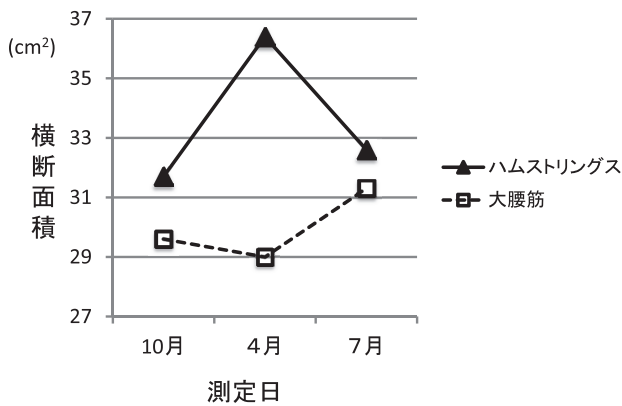


図4 PDCAサイクル

ある。

このサイクルの4段階のうちでも、特にCheck (評価) において科学的手法の活用を推奨したい。具体的には、評価において信頼できる指標を用いて定期的に測定を行い、その変化をモニターすることで、その後のAct, Plan, Doも効果的になっていくのである。

評価にスポーツ科学を活用した研究例をあげてみよう。日本の女子トップスプリンター2名を対象に、形態、体力、動作面の評価を1年間にわたり実施し、スプリントパフォーマンスのレベルと動作との関係、トレーニング内容と体力レベルの推移との関係などを明確にした報告 (新井ほか, 2004) がある。図5は、その成果のうちの一つである。このグラフは、MRIにより測定した大腰筋、ハムストリングスの横断面積の変化である。重点的に下肢の筋力トレーニングに取り組んだ冬季トレーニング後の4月に大腰筋に肥大が見られていない。ところが、大腰筋はハイスピードのスプリントが多い競技会期に肥大していることが示されている。この理由として、ハイスピードのスプリントでは、後方への素早く力強いキックを行い、勢い良く後方へ移動する脚を前方へ切り返す局面で、大腰筋に大きなエキセンリックな負荷がかかることがあげられている。そ



(新井ほか, 2004 から作成)

図5 トレーニングに伴う女子スプリンターの筋肉量の推移

して、この課題を解決する対策として、①冬季でも高いスピードのスプリントを入れる、②大腰筋に負荷がかかる筋力トレーニングの手段をトレーニングに採用する、という2点が提案された。

これは、評価をトレーニングの改善および計画に効果的に活用できた例である。

2) コントロールテストの実施

PDCA サイクルにおける Check (評価) は、先にあげた研究例のように大学や研究機関の実験室で行うことで高い精度が約束されるが、そのような恵まれた環境にいない競技者の方が圧倒的多数である。そこで、フィールドでのコントロールテストの実施を勧める。フィールドでのコントロールテストを表2にあげている条件を見たとすように計画する。次に、コントロールテストの項目として、各々の専門競技に要求される体力要因を測定できる項目を選ぶ。表3は、陸上競技の種目に求められる主な体力要因、表4は、それらの体力要因を測定することができる測定項目を示している。

コントロールテストを繰り返し、多くのデータを蓄積していくことで、実施している評価の妥当性、信頼性、客観性などを検証することができ、実験室のテストにも勝るような効果的な評価法を確立することができると思う。

5. トレーニング効果をあげる休息

1) トレーニングと休息の関係

「休息もトレーニングのうち」と考えることが大切である。「毎日やらないと落ち着かない」「休んでしまうと効果が落ちるのではないかと不安になる」という声は良く聞くが、この気持ちが過剰なトレーニングにつながり、トレーニング効果を下げるばか

表2 コントロールテストが備えるべき条件

- その種目に必要な体力を評価できること
→テスト項目を適切に選ぶ必要がある
- 特別な器具を必要とせず短時間でできること
→トレーニングの一環として行える
- 高度な(難しい)技術が要求されないこと
→テストへの慣れによって記録が左右されない
- 再現性が高いこと
→1回1回の誤差が小さい

表3 各種目に求められる体力要因

種目	優先順位				
	1	2	3	4	5
100m, 200m, 100mH, 110mH	スピード	パワー	最大筋力・筋持久力		
400m, 400mH	スピード	筋持久力	パワー	全身持久力	最大筋力
中距離	筋持久力	スピード・全身持久力	パワー		
長距離	全身持久力	筋持久力	スピード	パワー	
走高跳	パワー	最大筋力	スピード	筋持久力	
走幅跳	パワー	スピード	最大筋力	筋持久力	
棒高跳・三段跳	パワー	スピード・最大筋力	筋持久力		
砲丸投・円盤投 ハンマー投	最大筋力	パワー	スピード	筋持久力	
やり投	パワー	最大筋力	スピード	筋持久力	

H: ハードル

表4 各体力要因を測定することができる項目

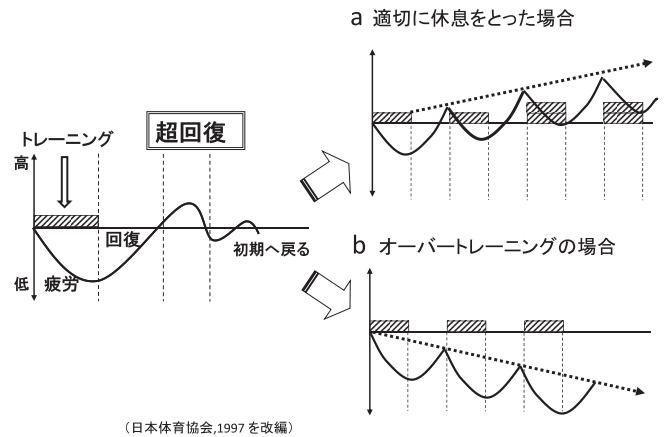
体力要因	測定項目		
スピード	30mダッシュ	30m加速走	
パワー	立幅跳	立三・五段跳	30mバウンディング
	リバウンドジャンプ	砲丸フロント投	砲丸バック投
最大筋力	ベダリング		
	ウエイト種目 (ベンチプレス, スクワット, クリーンなど)		
筋持久力	40・60秒間走	30秒間ベダリング	
全身持久力	12間走分		

りか、スポーツ障害を招いたり、心理面での疲労を蓄積してバーンアウトに陥ることもつながる。

トレーニング効果を最大のものにするためには、休息を計画的に組み込んだトレーニングプランを作成し、それを柔軟に実践していくことが肝要である。このトレーニングプランの基礎となるのが、トレーニングと回復の組み合わせである。トレーニングで行うオーバーロードの運動は、生体へのストレスになり、ストレスを受けるとホメオスタシスが一時的に崩れ、その後には身体的には防衛的に戻ろうとする修復過程が見られる。そして、再びホメオスタシスを取り戻すと、以前と同じ種類・強度のストレスでは、ホメオスタシスが崩れることは無く、より強い運動

ストレスに耐えることができるようになる。

これがトレーニングにより体力が改善されていくメカニズムであるが、Yakovlev (1975) は、これを超回復 (super-compensation) の原理としてトレーニングに応用したのである。図6は、これを模式的に示している (日本体育協会, 1997)。トレーニングというストレス (負荷) が与えられると、身体は疲労状態に陥り、一時的にその機能は低下する。その後、休息 (回復) を取ると、ある時間に達した時点で低下していた機能がトレーニング前のレベルを超える状態にさしかかる。これを超回復現象と呼んでいる。超回復の状態では、次の適切なストレスとなるトレーニングを行えば、更なる超回復を迎えることができるのである。このように、負荷と回復をうまく配置したトレーニング計画を実践すれば、身体の機能は、aのように右肩上がりに改善されていく。もし、回復が不十分な場合には、bのようにトレーニング前の水準に達しないまま、次のストレスを受けることになるので、機能は右肩下がりになってしまう。



(日本体育協会, 1997 を改編)

図6 超回復現象の説明

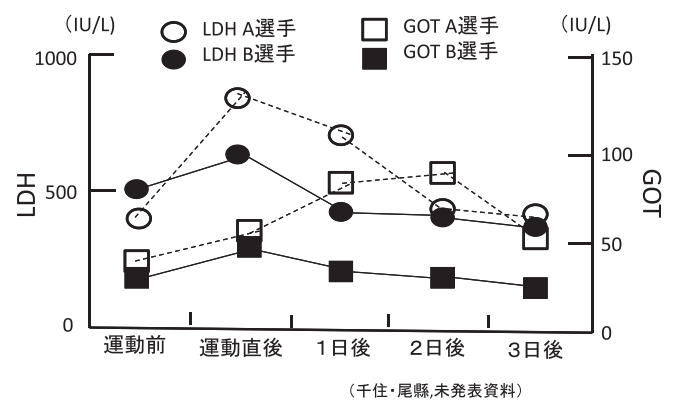
2) トレーニングからの回復過程における個人差

超回復理論からは、休息の大切さを知ることができる。とは言いつものの、適切に休息を設定することは簡単なことではない。なぜなら回復の様相は、負荷となるトレーニングの種類や強度、競技者のレベルや年齢などの様々な要因によって異なるからである。ここで興味深い報告を紹介しよう。

図7は、2名の長距離ランナーが30km タイムトライアルという高強度のトレーニングを行った後の回復過程における乳酸脱水素酵素 (LDH) とグルタミン酸 - オキサロ酢酸トランスアミラーゼ (GOT) の変動を示している (千住・尾縣, 未発表)。30km 走という同じストレスをかけた場合においても、血清酵素活性から評価できる回復程度には、大きな差が生じている。A選手は、筋などの組織炎症や損傷の指標となるLDH、心臓や肝臓に多く分布し激運動後に活性値が急激に上昇すると考えられているGOTの両方とも、B選手に比較して、運動後の上昇が顕著であり、しかも遅い回復を示している。これは、回復の過程には個人差が見られ、休息の取り方は個に応じる必要のあることを示している。このようにトレーニングと回復の関係は未知なる部分が多いため、さらなる研究の遂行が求められる。

3) 回復状況を把握するための簡易な指標

十種競技の競技会8日前から競技会後6日のコンディションを全身疲労度や遅発性筋痛といった主観的指標と、血液性状などの客観的指標により調査



(千住・尾縣, 未発表資料)

図7 30km 走後のLDH (lactate dehydrogenase) とGOT (glutamic oxaloacetic transaminase) の回復

した報告 (森ほか, 2012) がある。この報告では、競技会前のピーキング期後半と競技会後の回復期において、主観的指標が客観的指標を反映していることから、より簡便な主観的指標 (全身疲労度、遅発性筋痛) による評価で十分にコンディションを把握出来る可能性があることが明らかになった。すなわち、これらを毎日測定し、その変化をモニターすることにより疲労をかなりの確に把握することができ、その状態に応じて休息の取り方も検討できるということである。このように普段から自分の状態を内省しておき、コンディションをコントロールすることを習慣化することを勧める。

4) 有用な指標となる筋肉痛

伸張反射を用いて爆発的に大きな力を発揮するプライオメトリックスの代表的な運動である高強度ジャンプは、筋のダメージが大きく、強い筋肉痛が長く残る場合がある。しかしながら、トレーニング実施に際して筋肉痛は考慮されないことが多いのである。筋肉痛は、トレーニング実践にマイナスの効果や及ぼさないのだろうか、という疑問が生じ

表 5 高強度ジャンプトレーニング前 (Pre), トレーニング 4 時間後 (Post 8), 24 時間後 (Post 24), 72 時間後 (Post 72) の筋肉痛, ジャンプパフォーマンス, キネティクスおよびキネマティクス

項目	Pre	Post 4	Post 24	Post 72	分散分析	多重比較
筋肉痛	0±0	2.78±1.39	4.11±1.36	2.11±1.27	***	Pre<P4・P24・P72, P4・P72<P24
ドロップジャンプ指数 (m/s)	2.772±0.326	2.446±0.252	2.271±0.200	2.679±0.456	***	Pre・P72>P4・P24
ジャンプ高 (m)	0.420±0.047	0.399±0.057	0.386±0.041	0.409±0.053	*	Pre・P72>P24
接地時間 (s)	0.152±0.007	0.163±0.011	0.171±0.024	0.154±0.014	*	Pre・P72<P24
重心低下量 (m)	0.059±0.009	0.070±0.017	0.081±0.017	0.067±0.014	*	Pre・P72<P24
関節の動作範囲 (deg)						
足関節屈曲	14.0±3.2	17.3±5.9	18.4±4.6	15.9±3.9	*	Pre<P4・P24
膝関節屈曲	3.9±3.0	7.7±4.3	10.7±7.2	6.4±6.3	*	Pre<P24
スティッフネス (N/kg/m)	860.7±226.6	688.8±243.6	564.0±205.5	773.9±273.4	*	Pre・P72>P24

*** p<0.001 * p<0.05 < > p<0.05

(尾縣ほか, 2015)

る。

尾縣ほか (2015) は, 高強度のジャンプトレーニングの 4 時間後, 24 時間後, 72 時間後に筋肉痛の程度, ジャンプのパフォーマンス, 下肢動作, キック力の回復程度を調査した. その結果の一部が表 5 である. この結果からは, ジャンプのパフォーマンスは筋肉痛に影響を受けていることが明らかである. 特に筋肉痛の顕著なトレーニングの 24 時間後では, 有意な跳躍高の低下および接地時間の増大がみられ, その結果, ドロップジャンプ指数は顕著な低下を示した. このことから, 「短時間で高く跳ぶ」というプライオメトリックジャンプの課題が達成できない状況に陥っていたことが分かった. このパフォーマンスの低下は, エキセントリック局面での膝関節および足関節の動作の変化, 下肢 stiffness の低下などのジャンプ中の脚動作の変容と関係があったのである.

これらの変化を, どう解釈するかが問題である. 筋肉痛による動作変容が生じ, プライオメトリックジャンプとしての質が低下しているため, 他のトレーニングに切り替えるなどの対応する, といった柔軟な考えが必要であろう. ちなみに, この報告では, 【筋肉の痛みを感じますか? 0: 全く感じない, 1: 少しは感じる, 2: やや感じる, 3: ある程度感じる, 4: かなり感じる, 5: 非常に感じる】というスケールを用いており, 24 時間後の筋肉痛の平均値は 4.11 ± 1.36 であった. これは, 主観的筋肉痛は「かなり感じる」に該当し, このレベルに達した場合には, ジャンプトレーニング実施の是非を考えなければならないであろう. このように, トレーニング後の筋肉痛は, 次のトレーニングを遂行するにあたって回復の程度を判断する指標になると考えられる.

おわりに

本稿では, 体力トレーニングに焦点を当て, 研究で得られた知見をコーチングに活かすヒントをあげていった. しかしながら, 研究の数だけ応用できる科学的知見もあるため, それらを幅広く活用するには, コーチ自身の学ぶ姿勢が求められる. 「学ぶことをやめたら, 指導することもやめなければならない」という元フランスチーム監督のロジュ・ルメール氏の言葉のように, 常に学び続け, 経験則だけに基づいたコーチングから脱却し, スポーツ科学を応用した効果的なコーチングを実践したいものである. この取り組みが「新しい時代にふさわしいコーチング (文科省, 2013)」の構築に役立っていくであろう.

文献

- 新井宏昌, 渡邊信晃, 高本恵美, 真鍋芳明, 前村公彦, 岩井浩一, 宮下 憲, 尾縣 貢 (2004) 国内一流スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化. 体育学研究, 49: 321-334.
- ボンパ: 尾縣 貢・青山清英監訳 (2006) 競技力向上のトレーニング戦略. 大修館書店: 東京.
- < Bompa, T. O. (1999) Periodization: Theory and Methodology of Training. Human Kinetics Publication: Champaign. >
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D. and Fleck, S. J. (1990) Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise. J. Appl. Physiol., 69: 1142- 1450.

- Medbo, J. and Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J. Appl. Physiol.* 75 : 1654 - 1660.
- 森 健一, 荒井 謙, 大山卞圭悟, 尾縣 貢 (2012) コンディション評価に対する主観および客観的指標の関係性：十種競技者に着目して. *陸上競技研究誌*, 10 : 17-24.
- 文部科学省 (2012) スポーツ基本法. http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/kihonhou/attach/1307658.htm, (参照日 2016 年 1 月 16 日).
- 文部科学省 (2013a) スポーツ指導における暴力根絶へ向けて～文部科学大臣メッセージ～. http://www.mext.go.jp/b_menu/daijin/detail/1330634.htm, (参照日 2016 年 1 月 16 日).
- 文部科学省 (2013b) スポーツ指導者の資質能力向上のための有識者会議 (タスクフォース) 報告書. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/017/toushin/1337250.htm, (参照日 2016 年 1 月 16 日).
- 日本体育協会 (1997) ジュニア期のスポーツライフマネジメント.
- 尾縣 貢, 木越清信, 遠藤俊典, 森 健一 (2015) 高強度ジャンプエクササイズ後の回復過程：筋肉痛とパフォーマンスとの関連に焦点を当てて. *体力科学*, 64 : 117-124.
- Schmidtbleiher, D. and Buehrle, M. (1983) Neural adaptation and increase of Crosssectional area studying different strength training methods. *Biomechanics X-B, Human Kinetics Publishers : Champaign*, pp. 615 - 620.
- 千住泰之・尾縣 貢 : 未発表資料.
- Yakovlev, N. N. (1975) Biochemistry of sport in the Soviet Union : beginning development and present status. *Med. Sci. Sports*, 7 : 237-247.
- 図子浩二 (2013) トレーニング理路と方法論. 日本体育協会 (編) 公認スポーツ指導者養成テキスト 共通科目Ⅲ. pp. 104-117.