

東海大学

第16号 **スポーツ医科学雑誌** 2004

The Tokai Journal of Sports Medical Science

東海大学スポーツ医科学研究所



Mo. Mizuki

イラスト 東 恵子

人は何処より来り何処に行かんとするか
それはありし日の少年に身生えたはのかな疑問であつた
しかし搖籃より墓場まで
それは生ける人々にとつてまきれもなき生の現実である

この現実の上人々は喜び且つ哀しむ
そこに勝利と敗残の人々の生涯がある

人々よ

生命の現實に人生を肯定しよう

不屈の精神と逞しき体軀をつくらう

精神と肉體との調和に生命を開拓しよう

かくして希望と勝利の人生の街道を暴進しよう

されどありし日の少年の疑問は残る

人々よ

見よ人体構造の神秘を

見よこの作品の微妙さを

見よ造られたるもの限りなく人の力に越ゆるを

見よこの偉大なる造物主の力を

人々よ

自然を支配する思想がある

大自在と支配する思想がある

われら蕭然として襟を正し現實を正視しよう

昭和四十八年四月 初春 松前重義

人は何処より来り何処に行かんとするか

それはありし日の少年に身生えたはのかな疑問であつた
しかし搖籃より墓場まで
それは生ける人々にとつてまきれもなき生の現実である

この現実の上人々は喜び且つ哀しむ
そこに勝利と敗残の人々の生涯がある

人々よ

生命の現實に人生を肯定しよう

不屈の精神と逞しき体軀をつくらう

精神と肉體との調和に生命を開拓しよう

かくして希望と勝利の人生の街道を暴進しよう

されどありし日の少年の疑問は残る

人々よ

見よ人体構造の神秘を

見よこの作品の微妙さを

見よ造られたるもの限りなく人の力に越ゆるを

見よこの偉大なる造物主の力を

人々よ

身体製膚これを父母にうく敢て毀傷せざるは孝の始めなり

人の生命は父母の手によつてなれりと言ふ

されどその前に創造の神秘がある

大自然を支配する思想がある

われら蕭然として襟を正し現實を正視しよう

昭和四十八年四月 初春

松前重義

【特集】

モータースポーツ研究プロジェクト活動レポート

—レーシングドライバーを対象としたスポーツ医科学サポート—

有賀誠司・湯浅康弘・池田道生・恩田哲也
真下一策・目加田優子・加藤暁子・密山祥吾 7

スポーツ医科学研究所のデータベースシステム開発について

諏訪正典・堀江 繁・山村雅一・寺尾 保
中村 豊・有賀誠司・恩田哲也・麻生 敬 25

【研究論文】

柔道選手における片脚スクワットについて

有賀誠司・芝本幸司・中西英敏・山下泰裕
白瀬英春・恩田哲也・麻生 敬・生方 謙 34

大学女子柔道選手の体組成における研究—右組と左組を比較して—

恩田哲也・麻生 敬・有賀誠司・中村 豊
寺尾 保・中西英敏・松本秀夫 45

等速性筋力測定装置による国内一流陸上競技者の力発揮特性の評価

山田 洋・金子公宏・木塚朝博・塩崎知美・横井孝志 54

肥満者に対する低圧低酸素環境下の歩行運動が運動終了後の末梢血液循環に及ぼす影響

寺尾 保・小澤秀樹・桑平一郎・三田信孝
恩田哲也・中村 豊・山並義孝・堀江 繁 61

BALB-DTNB 法の改良によるラットの各種リパーゼ活性の測定

河乃建仁・岩垣丞恒・叶 順美
新居利広・大崎 栄・山村雅一 69

皮質骨の破壊じん性に及ぼすひずみ速度の影響に対する一考察

菊川久夫・浅香 隆・粕谷平和・中村 豊 76

【症例報告】

多発難治性疲労骨折の治療経験

中村 豊・麻生 敬・有賀誠司・恩田哲也
寺尾 保・堀江 繁・成田明彦 81

TFCC 損傷に対する尺骨短縮術後の握力低下について 西村典子・中村 豊・池田全良・宮崎誠司・伊藤栄治	89
--	----

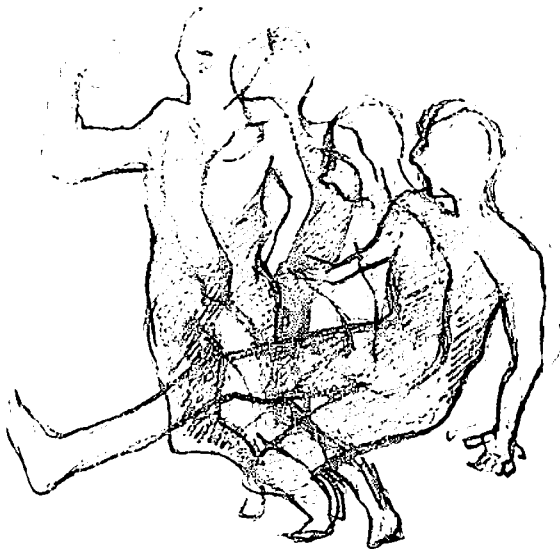
中年男性のアキレス腱断裂に対する着脱式アンクルブーツを用いた 保存療法によるリハビリテーション：A Case Report 麻生 敬・中村 豊・安部総一郎・有賀誠司・吉田早織	96
---	----

【事例報告】

高齢者のための音楽療法におけるストレッチ活動 —指示を工夫したことによる参加状態の変化— 志水哲雄・荒川聡子・田澤美由紀・阿部知子・吉岡千夏	103
--	-----

スポーツ医科学研究所所報	111
--------------	-----

編集後記	117
------	-----



表紙(画) 東 恵子

モータースポーツ研究プロジェクト 活動レポート

—レーシングドライバーを対象としたスポーツ医科学サポート—

2000年、東海大学研究プロジェクト推進委員会の中に、モータースポーツ研究プロジェクト実行委員会が設置された。スポーツ医科学研究所及び協力団体のメンバーは、2002年度までの3年間にわたって、本プロジェクトの人間科学研究部門・フィジカル研究の担当として関与し、専門的知見を活かした実践的活動を推進した。本レポートでは、本学出身のレーシングドライバーである密山祥吾氏を対象として実践した各種サポート活動について紹介する。

レポート1：レーシングドライバーに試行した専門的筋力トレーニングの事例

有賀誠司（東海大学スポーツ医科学研究所）、湯浅康弘（立命館大学スポーツ強化センター）、池田道生（東海大学スポーツサポートスタッフ）

レポート2：心拍数からみたレーシングドライバーの体力特性

恩田哲也（東海大学スポーツ医科学研究所）

レポート3：レーシングドライバーの視覚能力

真下一策（スポーツビジョン研究会）

レポート4：レーシングドライバーに対する食事サポート

目加田優子（スポーツ栄養学研究会）、加藤暁子（森永製菓株式会社健康事業部）

レポート5：スポーツ医科学サポートを受けて

密山祥吾（レーシングドライバー）

レポート1

レーシングドライバーに試行した専門的筋力トレーニングの事例

有賀誠司（スポーツ医科学研究所） 湯浅康弘（立命館大学スポーツ強化センター）

池田道生（スポーツサポートスタッフ）

本報告では、カーレースの競技動作や必要とされる身体能力に基づいて考案し、F3ドライバー密山祥吾氏が実施した専門的な筋力トレーニング法の具体例について紹介する。なお、今回紹介した筋力トレーニング法は、試行段階のものであり、具体的な効果の解明には、さらなる検証を必要とする。

1. レーシングドライバーの動作と 要求される筋力レベル

レーシングドライバーがレース中に行う動きは、主としてハンドル操作とペダル動作の2つであるが、高速走行中に発生する大きな重力加速度に打ち克ちながら姿勢を支持することが要求されるため、外見上の動きは見られなくても想像以上に強

い筋活動を行っている。

レーシングカーの場合、スピードが速くなればなるほど、空気抵抗によって車体を下方向に押さえつける力（ダウンフォース）が働くことや、幅の広いタイヤを使用することなどから、タイヤと路面との摩擦が大きく、ハンドルを回す際には30kg程度の力が必要であるといわれている。また、ペダル動作についても、一般車に比べてより大きな力を必要とし、クラッチの踏力は20kg程度必要であるといわれている。

コーナリングの際には、約5秒の間、横方向へ最大4Gもの重力加速度が加わる。ドライバーの胴体は、シートベルトによって前後方向への力や衝撃に対しては安定性が図られているが、横方向についてはシートベルトの効力が不十分なため、自分自身の筋力で正しい姿勢を支持することが要求される。特に、シートベルトで固定することができない頭部については、コーナリングの際に、横方向への大きな重力加速度とヘルメットの重さが負荷として作用し、頸部の筋肉が20~30kg以上の力を発揮しなければ、頭部を固定することができないといわれている。

走行中に頭部がしっかり固定できないと、眼の位置や視点の不安定化を引き起こし、ドライビングテクニックの低下にも影響すると考えられている。また、頭部が正しいポジションを維持できずに動いてしまうと、首の筋群へのダメージや筋損傷が懸念され、レース後半のスタミナ低下にもつながると考えられている。

2. レーシングドライバーの専門的筋カトレーニング

レーシングドライバーの動作や要求される筋力レベルをふまえた上で、対象となった選手の技術や体力の課題等を考慮して、具体的な筋力トレーニングの方法を考案した。

レーシングドライバーのための専門的な筋力トレーニングのプログラムにおいては、まず第一に、走行中に加わる重力加速度への対応のために、横

方向からの負荷に対して頭部や体幹部の姿勢を保持する筋力の強化に重点を置いた。第二には、運転に必要な代表的動作であるハンドル操作やペダル動作の機能改善を図るため、実際の動きをシミュレートしたトレーニング動作を採り入れた。また、これらのトレーニングの条件設定にあたっては、レース中に加わる負荷の大きさや、姿勢支持の持続時間の特性を十分考慮した。

以下に、レーシングドライバー・密山選手を対象として考案・試行したエクササイズの代表例を紹介する。

3. 走行中の姿勢保持能力改善のためのエクササイズ

1) 体幹の姿勢保持のためのトレーニング

① トランク・サイド・フレクション (写真1)

コーナリングの際に横方向から加わる負荷に対し、胴体を固定する力を高めることを目的としたエクササイズである。横向きの姿勢になり、骨盤より下部を高さのあるベンチに固定し、骨盤と胸郭の側面が一直線上になるように支持した状態で10~20秒静止したり、上半身をゆっくりと上下させる動作を行う。

② バランスボード上での座位姿勢支持 (写真2)

バランスボードの上に膝関節と股関節を軽く曲げた姿勢で座り、20~30秒間、一定の姿勢を保持する。補助者がバランスボードを左右に傾け、これに対して姿勢をコントロールする方法も採用した。

2) 頭部の姿勢保持のためのトレーニング

① シーテッド・ネック・サイド・フレクション (写真3)

ベンチに座った姿勢で、パートナーが頭部の横方向から負荷をかけ、これに対して一定姿勢を支持する。コーナリングの所要時間を考慮して、5秒間静止して5秒休む方法を10回3セット行った。頭部の筋力トレーニングは、通常ベンチに横向きに寝た姿勢で行うが、レーシングドライバーの場

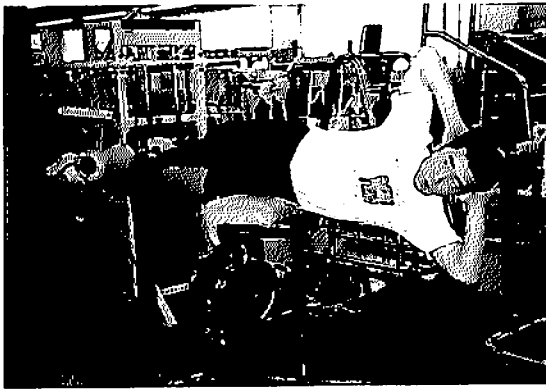


写真1 トランク・サイド・フレクション



写真2 バランスボード上での座位姿勢支持



写真3 シーテッド・ネック・サイドフレクション

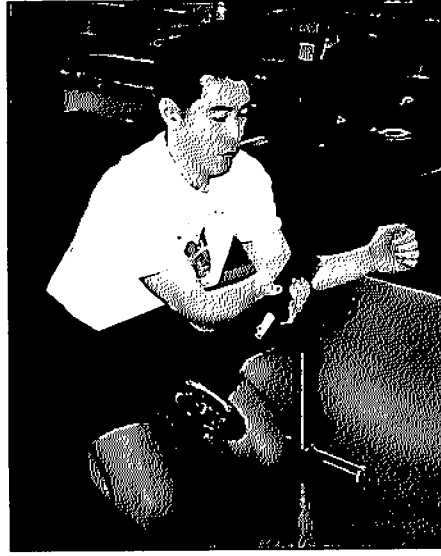


写真4 前腕の回内動作

合には、動作特性を配慮し、あえて座位姿勢にて行った。

4. 運転動作の機能改善のためのエクササイズ

1) ハンドル操作改善のためのトレーニング

①前腕の回内・回外動作の筋力強化(写真4)

ハンドル操作において見られる前腕の回内・回外動作を強化するためのエクササイズである。専用の器具(レバレッジバー)を用いて、ベンチに前腕部を固定し、バーを外側から内側または内側から外側へと動かし、前腕を回旋する動作を行う。

身体の姿勢や肘の位置は、できるだけ実際に近い姿勢になるように配慮した。実施条件は、15~20回を2~3セットとした。

②ハンドル操作のシミュレーション(写真5)

回す動作に負荷を加えることができる筋力トレーニングマシンにハンドルを取り付け、ハンドル操作をシミュレートしたトレーニングを行った。実際のハンドル操作で加わる負荷よりもやや重めの30kg以上の負荷を用いて、10~15回、3セット実施した。

2) ペダル動作改善のためのトレーニング

①水平・レッグプレス(写真6)



写真5 ハンドル動作のシミュレーション



写真6 ホリゾンタル・レッグプレス

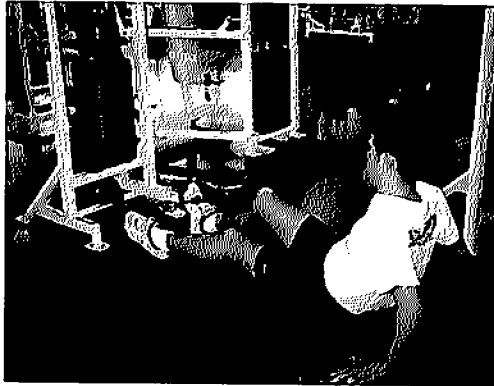


写真7 レッグ・プル



写真8 股関節の内旋・外旋

レッグプレスマシンに座り、上半身の角度や膝および股関節の角度を実際の運転姿勢にできるだけ近いポジションになるように調整し、片足をペダルに載せて構えた姿勢から、ペダル動作をシミュレートした動きを行った。実際に加わる負荷よりもやや重めの20kg以上の負荷を用いて、10～15回、3セット実施した。

②レッグ・プル (写真7)

踏み込んだペダルを戻す動作の強化と動作の安定性を高めることを目的としたエクササイズである。実際の運転姿勢にできるだけ近いポジションになるようにして、片足のつま先をプーリーのアタッチメントに固定し、股関節と膝関節を使って引く動作を行った。15RM程度 of 負荷にて12回、

3セット実施した。

③股関節の内旋・外旋 (写真8)

専用のトレーニング器具(レッグローテーター)を用い、2つの円盤上に直立した姿勢から股関節を内旋及び外旋する動作を行った。ペダル動作の安定性やペダルの踏み替え動作の改善を目的としたエクササイズである。20RM程度 of 負荷にて15回、3セット実施した。

参考文献

- 1) 有賀誠司：競技スポーツに活かすウエイトトレーニング, 第3回, レーシングドライバーのための専門的トレーニング, 月刊ボディビルディング, No 6, 2001.

心拍数からみたレーシングドライバーの体力特性

恩田哲也 (スポーツ医科学研究所)

モータースポーツにおいて、ドライバーの身体的能力が競技としてのパフォーマンスに影響を与える割合は、他の道具を使用しない運動競技よりはるかに少ないと考えられる。言い換えれば、良い車が良い結果を出す傾向が強い。しかしながら、科学や技術の発達においてモータースポーツにおける道具の部分の進歩は著しく、ドライバーにおいてはそれらの道具に対しての適応能力が必要となる。そこで、運転中のドライバーにおける身体的負荷を心拍数より推測し、それに伴うドライバーとしての必要とされる体力的な一要素について報告する。

ドライバー：S.M (資料1参照)

車両：フォーミュラー (F3用)

測定機器：Polar Vantage NVHRM

測定場所 (モータースポーツイヤーズブック参照)

：① SUGO インターナショナルレーシングコース

全長3704.256m 幅員10.0~12.5m

最大直線長 704.5m

最大曲線半径 20m

最大縦断勾配 10.0%

最大横断勾配 10.0%

最大標高差 69.83m

路面特殊アスファルト舗装

資料1 体力・形態測定

形態	
身長	179.2cm
体重	66.5kg
フル装備	71.2kg
体脂肪率	10.7%
胸囲	95.0cm
腹囲	75.5cm
臀囲	91.5cm
大腿囲 (右)	54.0cm
大腿囲 (左)	53.8cm
下腿囲 (右)	37.0cm
下腿囲 (左)	37.0cm
上腕囲 (右) 伸	28.0cm
上腕囲 (右) 屈	31.5cm
上腕囲 (左) 伸	27.5cm
上腕囲 (左) 屈	30.0cm
前腕囲 (右)	26.8cm
前腕囲 (左)	26.0cm
頸囲	38.5cm

F3レーシング・ドライバー M.K

測定日：2001/ 4/24

体力	
ベンチプレス	70.0kg
スクワット	100.0kg
握力 (右)	49.5kg
握力 (左)	51.8kg
背筋力	128.0kg
サイドステップ	40.0回
垂直跳び	59.0cm
立位体前屈	52.0cm
全身反応時間	0.295秒

②仙台ハイランドレースウエイ

全長4063m 幅員12.0~15.0m

最大直線長 584.34m

最大曲線半径 20m

最大縦断勾配 9.2%

最大横断勾配 5.0%

最大標高差 37.3m

路面特殊アスファルト舗装

測定日：SUGO テスト走行 2001/Jul/16

レース SUGO 2001/Jul/29

レース仙台 2001/Aug/26

資料2 (a・b) は、SUGO におけるテスト走行中の心拍数を表している。3回のテスト走行を行い、1回目の走行では平均心拍数 152.4 ± 14.9 bpm、最大心拍数は走行開始後6分30秒から40秒に示した161bpmであり、最小はスタート直後に示した106bpmであった。2回目では平均 $156.3 \pm$

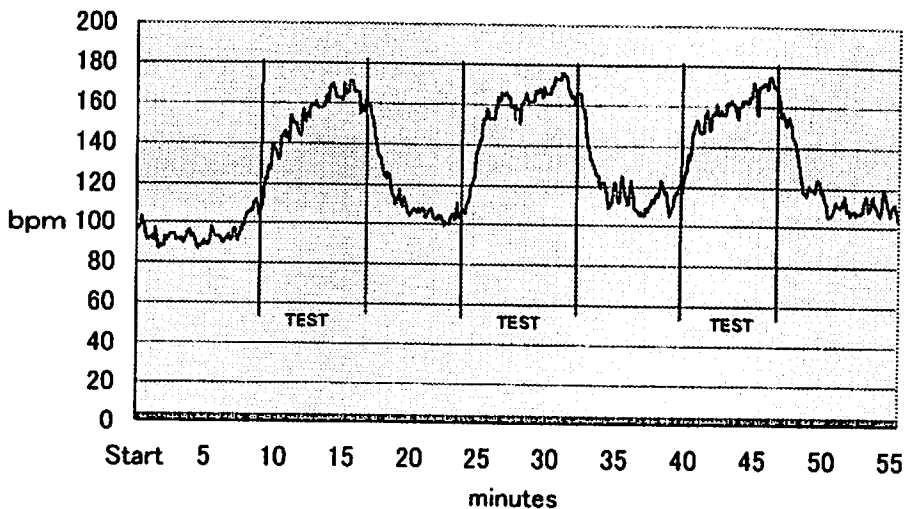
17.9bpmであり、最大心拍数においては7分25秒から30秒に示した161bpm、最小においてはスタート開始15秒時の106bpmであった。3回目の走行においては平均 152.4 ± 14.9 bpm、最大心拍数は6分15秒から25秒に示した161bpm、最小心拍数においては1回目同様にスタート直後に106bpmの値を示した。3回のテスト走行を通じては、平均で最も高かったのは3回目の走行であるものの、最大心拍数においては2回目の値が3回中で最も高くなっている。

資料3 (a・b) は、SUGO におけるレース走行中の心拍数を表している。レース前のフォーメーションラップからレースのスタートまでは、平均心拍数 112.6 ± 10.5 bpmであり、最大心拍数は123bpm、最小心拍数は80bpmであった。本レース中においては、平均で 160.4 ± 17.9 bpmであり、最大心拍数においてはレーススタート後24分55秒

資料2a テスト走行心拍数

bpm (SUGO)

	1回目	2回目	3回目
AVE	152.44	156.27	157.85
S.D	14.88	17.91	11.38
MAX	171	176	175
MIN	106	105	124
走行時間	8'00	8'40	6'40



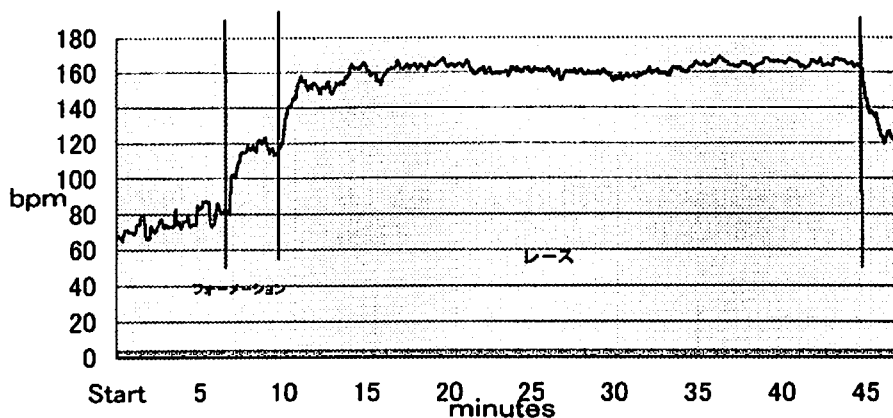
資料2b テストSUGO心拍数

心拍数からみたレーシングドライバーの体力特性

資料 3a レース中心拍数

bpm (SUGO)

	フォーメーション	レース
AVE	112.61	160.40
S.D	10.50	7.78
MAX	123	169
MIN	80	113
走行時間	2'40	33'20

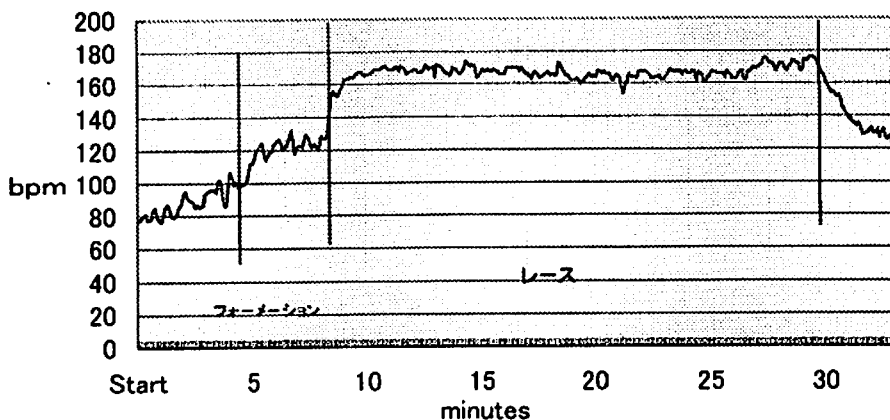


資料 3b レース中心拍数 (SUGO)

資料 4a レース中心拍数

bpm (仙台)

	フォーメーション	レース
AVE	119.00	166.83
S.D	7.55	4.36
MAX	130	176
MIN	101	140
走行時間	3'25	21'55



資料 4b レース中心拍数 bpm (仙台)

に示した169bpm、最小においてはスタート開始時の113bpmであった。

資料4 (a・b) は、仙台におけるレース走行中の心拍数を表している。フォーメーションラップでは、平均心拍数 119.0 ± 7.6 bpmであり、最大心拍数は130bpmであった。一方、最小心拍数は101bpmであった。レース中においては、平均で 166.8 ± 4.4 bpmであり、最大心拍数においてはレーススタート後21分5秒から15秒にかけて169bpmを示した、最小においてはスタート開始時の113bpmであった。

これらのことから、レースカーの走行中にはドライバーに相当な身体的な負荷が長時間加わっていると考えられる。最大心拍数(220bpm - 年齢)が、今回のドライバーでは196bpmであるが、SUGOのレース中では最大心拍数の約81%状態が30分以上続き、仙台におけるレース中では約85%の状態が20分以上続いていることになる。また、最大心拍数においてはそれぞれのレースで86.2%(SUGO)、89.8%(仙台)と非常に高く、健康増進レベルの運動が最大心拍数の70%前後を20~30分の継続と言われていることから、その高さが理解できる。

心拍数の上昇する理由においては、緊張などによる精神的なストレスと、運動などによる肉体的なストレスの理由が考えられる。精神的なストレスにおいては最高速度300kmの中での多車との駆け引はもとより、身体の前運動では想像できないスピードからの緊張、そして能の世界でも顕著に見られている確実性の演技、レース中では正確なライン取りなどと言ったものからくるものが上げられよう。それが勝敗はもとより場合によっては生死を左右することもある。一方、肉体的な面ではレース車両においては、公道での一般車両とは異なり、パワーステアリングはもとよりエアコンなどの付属部品は全てはずされており、フォーミュラーカーでは頭部が外部に露出したままである。これらの状況の中で確かなコントロールを行うための数百回に及ぶような瞬時的な行動、より多くの反応に対応できるための姿勢の維持と言っ

たものが上げられよう。多くの場合、レーシングドライバーにおいては、精神的な緊張による心拍数の上昇が注目されるケースが多いように思われるが、今回の測定で用いられた、2カ所のサーキットにおいて平均心拍数は仙台の方が高いのは、最大横断勾配(バンク)が5.0%とSUGOの最大値(10.0%)の半分である事が、横Gに耐えるために身体姿勢を維持するIsometric Contractionといった筋収縮が必要とされるため、これらの心拍数の違いに表れている可能性も十分にある。また、精神的なストレスが少ないと想像されるテスト走行においも、約78~81%の心拍数のレベルで走行をしており、最大では約87~90%となっている。この要因として、精神的なストレスのみならず肉体的なストレスも関与していることが考えられる。

心拍数は精神的緊張及び肉体的緊張などの双方の緊張に対して、身体ホルモン及び神経系の分泌物のアドレナリン、ノルアドレナリンによりコントロールされている。よってこれらレーシングドライバーにおいては、心肺機能の向上が必要であり、同じ条件下でも心肺機能が高まることで、長時間のレース及び他車との攻防の間でも体力及び集中力を切らすことなく確実な対応が出来るのではないかと推測される。また、筋力面においても特にIsometric Contraction(静的筋収縮)の面で、シートで支えられていない頸部から肩部を中心にバランスよく鍛える必要があると考える。

参考文献

- 1) 今宮雅子: 勝つための身・心トレーニング, F1速報, ニューズ出版, No 10, 36-39, 1995.
- 2) 今宮雅子: 勝つための身・心トレーニング, F1速報, ニューズ出版, No 11, 38-41, 1995.
- 3) 鈴木脩己: F1ってそんなにすごいのか?, AUTO SPORTS, 三栄書房, No 11, 1995.
- 4) 鈴木脩己: トップドライバーになるための生理学研究, AUTO SPORTS, No 710, 1996.
- 6) NHK取材班: 驚異の小宇宙・人体—人体しなやかなポンプ—, 日本放送出版会, 1989.

レーシングドライバーの視覚能力

真下一策 (スポーツビジョン研究会)

はじめに

カーレース、特にプロトタイプのカーレースは、時速200～300kmのハイ・スピードで行われるため、レーサーには強靱な肉体とともに優秀な視覚能力が要求される。

カーレーサーの密山祥吾選手のスポーツビジョン (SVと略す) 検査を2年3カ月にわたり追跡したので、その結果を報告する。

SV検査

1) 視覚能力の検査として、SV研究会による8項目の検査を行った。検査結果は実測値と、同研究会による5段階評価で判定した。

なお、SV検査項目は以下の8項目である。

- ①静止視力 (SVA) ②KVA 動体視力 (KVA) ③DVA 動体視力 (DVA) ④コントラスト感度 (CS)
- ⑤眼球運動 (OMS) ⑥深視力 (DP) ⑦瞬間視 (VRT)
- ⑧眼と手の協応動作 (E / H)

また、各項目の詳しい説明及び5段階の評価方

法については「スポーツビジョン」(第2版、ナッブ社、2002)を参考にしてほしい。

2) 検査日は以下の如くである。

- ①2000年8月7日 ②2000年10月12日
- ③2000年12月20日 ④2002年4月5日
- ⑤2002年11月28日

検査の間隔は、①～②～③はほぼ2カ月であるが、③～④は1年4カ月、④～⑤は7カ月であった。これは密山選手が出場する国内・外のレース・スケジュールによる。

なお、①、②は裸眼による測定、③以降は視力矯正用のコンタクトレンズを装着した測定である。

結果

1) SV合計点 (5段階評価による)

図1は①2000年8月7日から⑤2002年11月28日まで、順にSV合計点を比較したグラフである。SV合計点は回を追うごとに高くなっており、特に①-②の間で9点、③-④の間で4点の上昇が



写真1 測定風景 (DVA 動体視力)

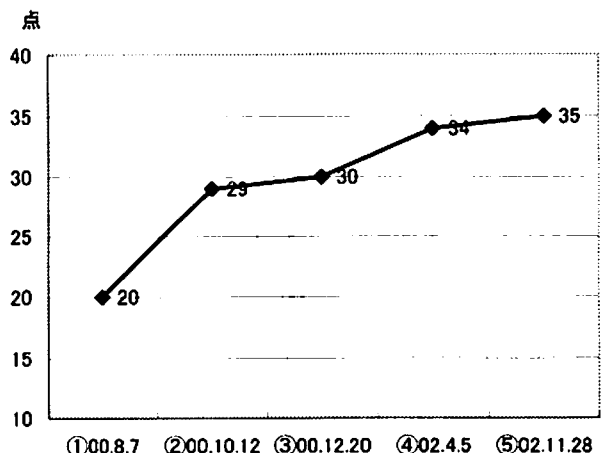


図1 SV検査合計点



写真2 測定風景 (眼と手の協応動作)

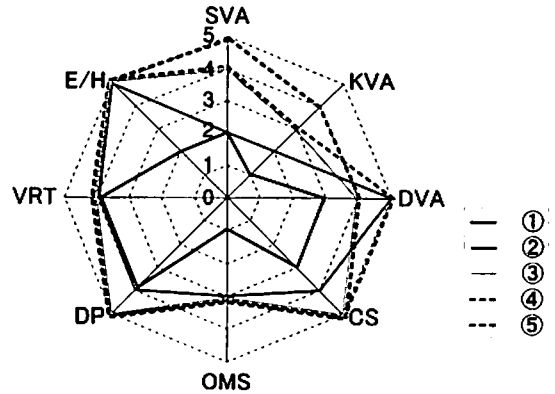


図2 項目別成績 (5段階評価)

見られるが、③-④間は1年4カ月の間隔があるため急激な上昇とは言えない。SV研究会の評価基準によると、①は20点でC評価と低いが、②以降は全て29点以上のA評価である。特に③以降は、優秀なスポーツ選手に望まれている30点以上を維持しており、④、⑤の34点、35点は過去の一般のスポーツ選手を対象にした測定と比べてもトップクラスに入る。

2) 項目別成績 (5段階評価と実測値)

図2は①から⑤までの検査結果を5段階評価のレーダーチャートであらわしたグラフで、各項目とも5点満点である。このグラフで各項目のおよその変化を捉えることができるが、印象として次の点が挙げられる。

- (1) SVAとKVAは①から⑤になるに従い良くなっている
- (2) DVAは①-②で急激に上昇し、その後は4点、5点を維持している
- (3) CSも回を追うごとに良くなり、③以降は5点を維持している
- (4) OMSは測定ごとの変動があるが、③を除くと、中程度の成績である
- (5) DPは常に4点、5点を示す
- (6) VRTは毎回4点で変動はなかった
- (7) E/Hは①は低い成績であったが、②以降は5点である

次に上記(1)～(7)のうち、特徴的な幾つ

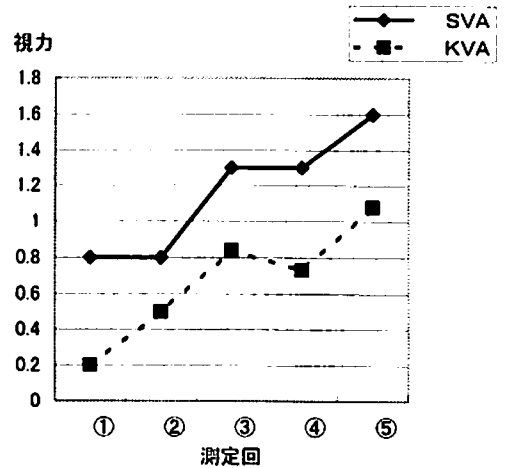


図3 SVAとKVA

かを実測値のグラフで検討する。

- (1) 図3はSVAとKVAの変化である。②と③の間にはコンタクトレンズ装用による視力の改善があり、③以降は矯正視力値が検査成績に関係している。KVAとSVAの間には高い相関があるが、図3でもそれが認められるようである。図4のCSの変化も視力矯正による効果と考えられる。
- (2) 図5はDVAの変化を示す。DVAはSVAとの相関はないため、②以降の成績の向上はトレーニングによる効果の可能性がある。
- (3) 図6はOMSで、③以外は少しずつではあ

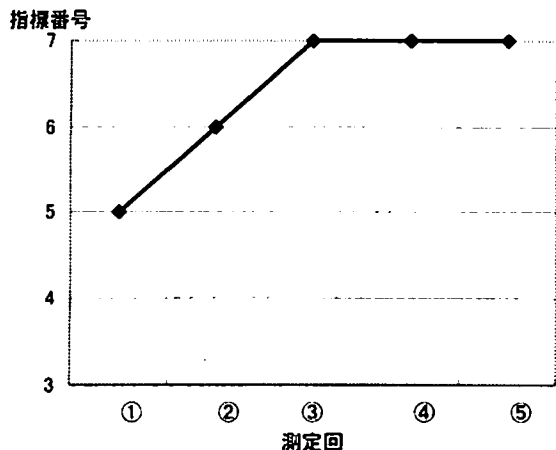


図4 CSの変化

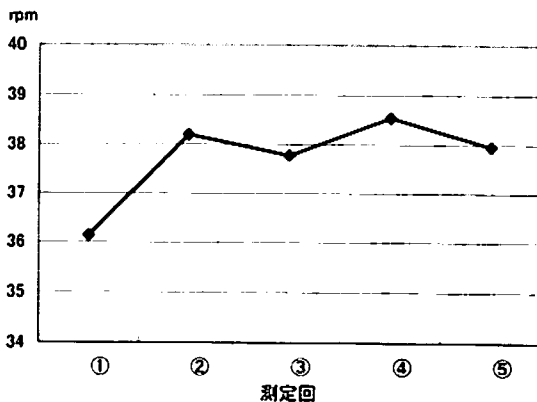


図5 DVAの変化

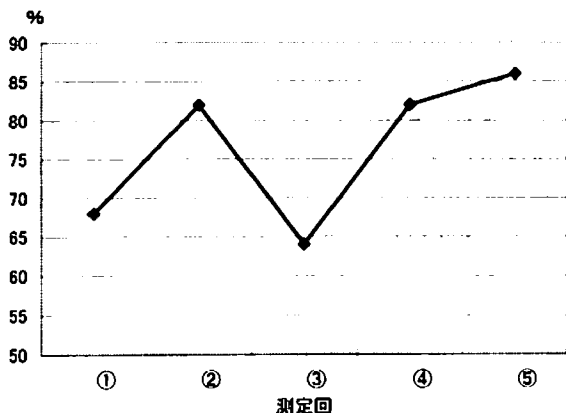


図6 OMSの変化

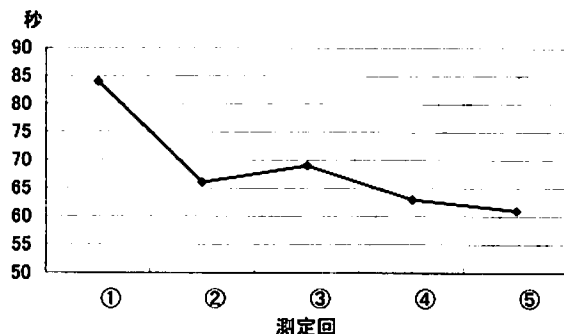


図7 E/Hの変化

るが向上している。OMSはDVAのメカニズムを構成する一つの要素でもあり、一般にOMSとDVAの間にある程度の相関が認められている。

- (4) 図7はE/Hの実測値(秒)のグラフで、数値が低いほど良い成績である。①では84秒と、5段階評価では2点であったが、②以降は全て60秒台で、評価は5点と優秀である。

まとめ

密山選手のSV検査成績は回を追うごとに良くなっており、現在、彼は極めて優秀な視覚能力を持っていると判定される。

視機能向上の原因として、SVA、KVA及びCSの向上には視力矯正が影響していると考えられるが、その他の視機能向上には日頃のトレーニングやレース出場が関係している可能性がある。眼でとらえた目標に対する反応の素早さと正確さを検査するE/Hは、2回目以降著明に向上している。これも普段のトレーニングの効果であろうか。

レーシングドライバーに対する食事サポート

目加田優子 (スポーツ栄養学研究会) 加藤暁子 (森永製菓株式会社健康事業部)

はじめに

レーシングドライバーの食事指導の必要性はあまり認識されていない。

その理由として、勝因に車の性能が大きく関わっていることや、レース中の肉体的負荷がどのようなものか、実情が知られていないことがあげられる。しかし、より早いスピードや耐久性を追求するレースになるほど、ドライバーにかかる肉体的な負荷は大きくなる。負荷に対抗しうるドライビングを發揮するためには、相応の体力が必要であり、そのためにはトレーニングを恒常的に実施しなければならない。競技力向上を目的としたトレーニング・練習を日々十分に行うためには、どれくらい食べなければならないのか、エネルギー・栄養素量の消費に見合った食事内容を選手自身が把握する必要がある。このことは競技種が異なっても、また非鍛錬者においても同様である。

今回、東海大学モータースポーツ研究プロジェクトにおいて、レーシングドライバーに食事指導する好機に恵まれた。食事指導の経過を報告する。

日常生活における食事指導

対象者の身体特性と複数の優勝経験があるF1ドライバーの身体特性を表1に示す。

初回面談時の体格指数 (Body Mass Index = BMI) によれば、対象者は痩せ気味であった。F1ドライバーの体格指数を参照すると、対象者はもう少し増量してもよいと考えられた。

食事調査はスポーツ栄養学研究会で用いている食習慣調査を実施し、後日、これをエクセル栄養君「食物摂取頻度調査表 FFQg」に転記し、摂取栄養素量を推測した (表2)。エネルギー摂取量は当時の体重・活動量から推測したエネルギー摂取基準の約70%しか満たされておらず、全体の食事量不足からくる栄養素の摂取不足がみられた。



写真1 栄養相談風景

西山選手の食生活アドバイス

スポーツ栄養学研究会
目加田優子

< 年間スケジュールを踏まえて >

オフシーズン

トレーニングにおいて「土曜日の夜型」「夜更かし」の習慣と体力低下

トレーニングの継続と、確実に必要な **エネルギー** とたんぱく質の摂取

シーズン中
(初夏から晩秋にかけて)

サーキットへ遠征頻度での疲労の解消
体力の増える「自分にとって最適な食事摂取方法」を知る
体調・体力の維持

サーキット外で
必要な栄養素を満たした「西山選手の日常の食事」とは？
サーキットに帰ってからの水分と糖質の補給方法

写真2 栄養アドバイスの資料

食習慣・食嗜好の質問では、欠食の頻度が高く、「食べることにあまり興味がない」「食が細い」「貧血気味だと思う」など、食事に対する意識の低さが示唆された。

今後は、走行中の重力加速度 (G) に対抗しう

る「最大筋力向上を目的とした体力強化トレーニング」が実施されることになったため、除脂肪量 (筋肉量) が増加することが考えられた。

食事指導では標準体重である70kg弱 (BMI 22) まで増量することを想定し、毎日の活動量に

表1 対象者の身体特性の変化

	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)
2000.9	179.2	60.3	18.8
2001.6	179	68	21.2
2001.11	179.2	70	21.8
F1ドライバー*	170.6	71.4	24.5

*92年シーズンまで複数回の優勝経験がある現役ドライバー5名の平均値

表2-1 食事調査結果の推移 (栄養素量) と摂取基準

	エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g) (FAT%)	カルシウム (mg)	鉄 (mg)	ビタミンB1 (mg)	ビタミンB2 (mg)	ビタミンC (mg)
2000.9*	1678	60.2	58.6 (31.9)	415	7.1	0.92	0.92	46
2001.6**	2642	98.3	59.2 (20.2)	483	11.6	0.84	0.84	138
2001.11***	2772	102	94.8 (30.8)	579	8.3	1.37	1.37	13
2003.1*	2455	91	65.2 (23.9)	367	9.8	0.94	1.27	82
摂取基準	2600~3000	105~140	(30%以下)	700	10.0	1.1~1.4	1.2~1.5	100

表2-2 食事調査結果の推移 (食品群) と摂取基準

単位 g

	穀類	油脂類	いも類	砂糖・清涼飲料	豆類・豆製品	野菜類	果物	魚・肉類
2000.9*	181	15	14	361	40	134	0	160
2001.6**	780	11	23	296	35	187	0	240
2001.11***	605	13	0	780	0	119	0	315
2003.1*	218	12	29	706	52	171	86	132
摂取基準	510	25以下	120	155	80	360以上	240	160

卵類	乳類・乳製品	酒・嗜好品
21	73	110
24	43	313
13	265	350
57	54	200
40	400	

* エクセル栄養君 食物摂取頻度調査 FFQg (吉村幸雄・高橋啓子 製作、(株)建帛社)

** 森永製菓株式会社健康事業部 簡易分析結果

*** 森永製菓株式会社健康事業部 詳細分析結果

表3 2600~3000kcal/日の食事内容(食材の目安量)

主食	ごはん	280g (どんぶり軽く1杯 or 普通茶碗2杯)	
	パン	200g (6枚きり食パン約3枚)	
	めん	280g (大盛り1杯)	
主菜	肉類	90~120g	
	魚介類	120~150g	
	卵	2個	
	豆腐	2/3~1丁	
副菜	野菜・海藻・きのこ	300g以上	
	いも、かぼちゃ	150g以上	
	果物	150g以上	
牛乳・乳製品	牛乳	400cc以上	ヨーグルト 250~300g

対し不足がないような食事(約3000kcal)を対象者に意識づけるようにした。表3に食品・食材の摂取基準(目安量)を示す。その他、食生活に関するアドバイスとして①今までより1.5~2倍は食べるように意識すること②欠食はしない③いつでも食べられるように常に食品を携帯する④できれば捕食することなどを指導した。3000kcal程度の食事ならば、必要な栄養素を十分に食事からとることができるが、レースに伴う外泊等で食生活が乱れがちであったことも考慮し、サプリメント利用も視野にいたれた。

指導後、連絡をとると「とにかくなんでも食べています。」という返事ではあった。2001年は3月~11月の間にF3が10レース、全日本GTレースが6レース、スーパー耐久3レースが入っている上に、その合間にはテスト走行のためにサーキットに向かうという過密スケジュールであった。そのため、心理的・肉体的なストレスを強く感じていたようで、休日に友人と集まっては過食してストレス解消していたこともあった。

1年後の身体特性データによれば、体重は8~10kg増量し、BMIは目標値であった22に近い状態となった。食事調査結果によれば、「なんでも食べる」ことで必要なエネルギー量は満たされ、プロテインパウダーの利用やたんぱく質源となる肉・魚介類は十分に摂取していたものの、ビタミンやミネラルが豊富に含まれる野菜類・果物など

はあまり食べていなかった。レース時には、重力加速度に対抗するため、無酸素的なパワーによって筋力を発揮する。そのために生じた血中乳酸は体内のミネラルによって緩衝される。また、大量の発汗によるミネラル損失も考慮すると日常の食事によって、体内にミネラルを十分に蓄えておく必要がある。新鮮な野菜・果物をたっぷり食べる習慣を身につけるように、十分な栄養指導がなされるべきであった。

■ レース前の食事と水分摂取

耐久レース、またはフォーミュラレースのシーズンは3~11月が主であり、暑熱期にわたって展開される。夏季には路面付近で約50℃、車内は40℃近い高温となる。一人のドライバーが車内にいる時間はGT選手権の場合、約1時間強であり、水分は無補給となる場合が多い。クールスーツを着用する場合もあるが、レース中に機能不全となり、熱中症で倒れるドライバーも少なくない。従って、予選、決勝日の暑熱対策と栄養補給を考慮する必要がある。

本対象者のレース時(予選日、決勝日)の食事調査結果を表4に示す。

食事はサーキット内の売店で購入したものや食堂で簡単に済ませる場合が多く、「サーキットに入ってから、行動パターンをほぼ決めており、

表4 レース前の熱量素の摂取比率と水分摂取量

	P:F:C (%) *	穀類エネルギー比 (%)	水分摂取量 (g)
2000.7.28	17.3 : 16.9 : 65.6	55.7	1800
7.29	36.4 : 16.4 : 47.3	43.2	2080
7.30	10.9 : 12.6 : 76.5	49.9	1700
摂取基準	15 : 25以下 : 60以上	55~60	

*熱量素であるP(たんぱく質)、F(脂質)、C(糖質)のエネルギー摂取量に占める比率

○本格的な食事(定食・弁当など)はレースの2、3時間前までに

○食事できなかったとき - 軽食をとろう

レース30分前までに、軽食をとります。少し食べればOK。

*何も食べないのはエネルギー切れをおこしやすく、集中力を維持しづらくなります

*目安量通りではなく、自分に合った食品・量を自分で見つけること。

軽食例

ごはんモノ - おにぎり1個 磯辺やきなど餅モノ2個

パン - アンパン・ジャムパンなど菓子パン、ハムと野菜のサンドイッチなどを小1個くらい

*カレーパンなど油で揚げたものは避ける。胃もたれしやすいから。

めん類 - 冷麺、冷やしうどん・そば、あっさり系のラーメン 半分くらい

*天ぷらが入った麺類、油っぽいものは避ける

フルーツ - スイカ、メロン、ナシなどジュースであればよりOK。

できればカットフルーツをクーラーにいれてパドックにおけるといいですね。

図1 レース時の食事(糖質補給の面から)

集中が欠けるようなことは極力さけている。」とのことであった。調査結果によれば、スポーツドリンクや清涼飲料水の摂取による糖質エネルギー比の割合は高いが、でんぷん・食物繊維を多く含む穀類の摂取は少なかった。また、暑熱期にも関わらず、水分補給量が非常に少なかった。以上を踏まえ、下記の指導を行った。

1. 糖質中心の食事・捕食を心がける

レース中は無酸素的なパワーを断続的に発揮することが考えられたため、食事・捕食は糖質中心になるように食品の選び方をアドバイスした。(図1)

2. 暑熱期の水分補給と体温調節

暑熱時の適応として、発汗現象があげられる。汗の水分が気化する際に体表面のエネルギーを奪

うことで、体温低下を促進させる。従って、汗が乾きやすい着衣・環境条件でなければ、発汗による体温調節は意義をなさない。ドライバーの場合、レーシングスーツを着用し、フルフェイスのヘルメットをかぶっているため、体熱を放散させる条件が非常に悪く、無効発汗の割合が高い。そのため、レース時にはミネラル・水分補給と同時に、なるべく体温上昇を抑える方法を考慮した。

1) 水分補給に関するアドバイス内容

①サーキットに入る前日は禁酒する。

暑熱期に十分な水分補給を行うためにはサーキットに入る前日から意識することを説明した。アルコールには利尿作用があり、脱水を招きやすいため、レース前夜には避けた方がよい。やむを得ず飲酒した場合には十分に水分を補給した方がよい。

②朝食では水分を多く含んだメニューを積極的にとる。

果物（柑橘類、すいか、メロンなどジュージーなもの）を食べたり、牛乳・フルーツジュースなど飲めるときに少しずつ飲むように指導した。

③サーキットでは、自由にたくさん飲める環境をつくる

パドック内にクーラーボックス等を準備し、自分専用のボトルを置くなど、水分補給しやすい環境を作るよう奨めた。

また、2001年のシーズン開始時には体重が約8kg増加し、トレーニングによる骨格筋量の増大が考えられたため、昨シーズンよりも多く水分を摂らなければ、脱水しやすい状況にあることを説明した。軽度の脱水症状を呈しているかどうかの判断材料として、「就寝前にはレース前の体重に回復していること」「尿量、排尿の回数が普段と変わらないか?」「身体が熱っぽく感じないか?」等を挙げ、セルフチェックするように奨めた。

2) 体温上昇を抑えるためのアドバイス

- ①レース前は肉・魚・卵類などは控える。
- ②食事はレース2時間前までには終わらせる
- ③野菜類など、たくさん噛まなくては飲み込めないような料理は避ける。
- ④熱い食べ物・飲料は避ける。
- ⑤身体の一部を冷却する。

①②③は、食後約2時間までは体温が上昇し、エネルギー消費量が亢進する、食事誘発性産熱(DIT)または特異動的作用(SDA)の影響を考慮している。この現象は、たんぱく質の多量摂取や咀嚼によって亢進するとされているため、上記のようなアドバイスを行った。また、暑さに順応することで、発汗によるミネラル損失が抑えられる適応が働くことから、日常生活でも冷房の利かせすぎに注意するなどの工夫が必要なことを説明した。

■ おわりに

2003年1月に最終面談を実施した結果、体重65kg、体脂肪率11%、簡易調査による摂取エネルギー量が2450kcalであった。対象者は「65~68kgぐらいが身体を動かしやすい、一番調子がよい。」ということであった。また、シーズン中の体力消耗を考慮し、体脂肪率は10~15%レベルを維持した方がよいと思われた。今後はトレーニングを実施しながら現体重・体組成を維持するような約2500kcalの食事内容が望まれる。

栄養指導を開始する前と現在の体調等を比べてもらったところ、「カゼをひかなくなった。」「食事の時間をキープするようになった。」「たくさん食べることに慣れた。」「レース中の疲労感が軽減され、その結果、集中力が維持されるようになった。」等が挙げられた。

モータースポーツではドライバーのコンディショニングがそのまま競技結果に影響することは考えにくい。しかし、ドライバーの体力を必要なレベルに高めておくことはレースをリタイアする可能性を少なくする一助ではある。このような点から、レーシングドライバーが正しい食の知識を身につけることは有意義であると思われた。

参考文献

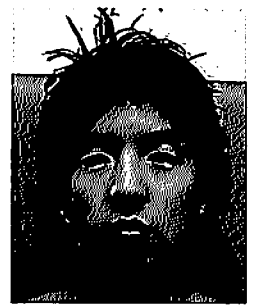
- ・万木良平：環境適応の生理衛生学，朝倉書店，1987。
- ・津久部茂明：モータースポーツガイド，(株)新紀元社，1996。
- ・鈴木篤己：トップドライバーになるための生理学研究，AUTO SPORTS, No. 710, 1996。
- ・健康・栄養情報研究会編：第6次改定 日本人の栄養所要量—食事摂取基準，第一出版，1999。
- ・(財)日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会：アスリートのための栄養・食事ガイド，第一出版，2001。
- ・木村修一，小林修平：最新栄養学 第8版，建帛社，2002。

スポーツ医科学サポートを受けて

密山祥吾 (レーシングドライバー)

プロフィール

- 1999年 東海大学文学部卒、全日本F3選手権参戦
- 2000年 全日本F3選手権参戦、スーパー耐久レース最終戦出場
- 2001年 デイトナ24時間 (完走)、スーパー耐久レース (入賞3回)
全日本F3選手権 (全戦出場、表彰台獲得)、全日本GT選手権 (入賞4回)
- 2002年 全日本GT選手権 (ポールポジション4回、優勝3回)、POKKA1000km 鈴鹿 (クラス優勝)



1. 体カトレーニングのサポートについて

私は18歳からレースを始め、今日までに様々なカテゴリーのレースに参戦してきました。最初のうちはエンジンパワーや車の形状から、あまりスピードの出ない身体的にも楽なレースでしたが、ステップアップをしていくうちにコーナーリング速度や加減速も徐々にハイレベルのものになっていきました。97年に全日本F3に参戦した頃からは身体トレーニングが必要だと思いましたが、学生とアルバイトを両立していたため、若干トレーニングらしいことをしていた程度でした。しかし、2000年に東海大学のモータースポーツ研究プロジェクトが発表され、大学側よりスポーツ医科学研究所でのトレーニングを勧められてから、初めて本格的なトレーニングを開始しました。大学の専門知識を持ったトレーナーに正しいトレーニング方法を指導してもらいながらトレーニングを繰り返しました。

トレーニングを開始した初年度は、体つきこそ変わりましたが、実戦での効果はあまり感じる事ができませんでした。2001年になり、出場するカテゴリーも前年度同様の全日本F3選手権に加え全日本GT選手権、スーパー耐久レースと3つのカテゴリーに出場しました。この年から自分の身体がとても疲れにくくなっているのに気が付くようになりました。それまではレース中に疲れることもたまにあり、更にレース後の疲れがなかなか取れませんでした。しかし、この年は3つのカ

テゴリーに参戦していた為、体を休める暇も無いくらいに忙しかったのですが、疲れを引きずる事もかなり少なくなっていたと思います。

東海大学で身体トレーニングの指導を受け、実戦で最も効果を実感したのはレース中に他車からプレッシャーを受けた時です。前年までと比べると、体力的に余裕ができたせいか、外部からのプレッシャーに耐えられるようになりました。また、冷静でいられる時間がとても長くなった気がします。実際に成績も徐々に向上しました。

そして、2002年はとても良い車に出会ったこともあり、チャンピオン争いも経験できました。しかし、この成績は単純に車に助けられただけではなく、間違いなく身体トレーニングによって得た“粘り強さ”も大きく貢献してくれたと思っています。東海大学スポーツ医科学研究所でのご指導により、全体的な体力向上は勿論、いかに正しいトレーニングがモータースポーツの世界でも必要なのかを気付くことができました。

2. ビジョントレーニングについて

ビジョントレーニングでは、主に動体視力を養うトレーニングを指導していただきました。それまで自分の動体視力等がどの程度なのか知りませんでした。実際に測定を行ったところ、自分が思っているほど高い値ではありませんでした。しかし専門家の方からアドバイスを受けたことを意識して行くと、測定値はすぐに良くなっていきま

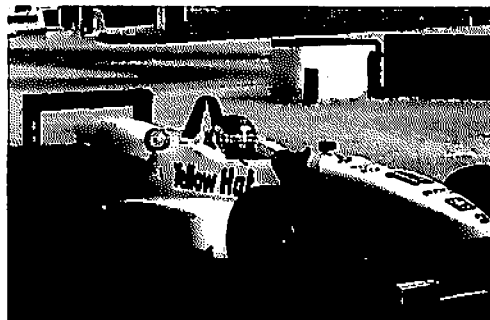
した。この成果には、私自身のトレーニングへの慣れということもあると思いますが、一番の要因は“見る”という事を強く意識し始めた事にあると思います。それまでは全ての物事をただ漠然と視野に入れていた感がありましたが、ビジョントレーニングを始めてからは一つ一つの物事に対する“見る”意識が強くなり、積極的に目を動かすようになりました。

実戦においてビジョントレーニングの成果を体感した事はあまりありませんが、強いて言うなら高速走行中やコーナーリング中にバックミラーで後方確認が楽にこなせるようになった事です。それまではミラーをみるごとに首を動かしていましたが、トレーニングを受けてからは眼球を動かすのが自然になったと思います。

3. 栄養サポートについて

私は、これまで栄養サポートを経験した事はありませんでした。それまでは自分なりに栄養管理をしていたつもりだったのですが、実際に専門家の方から指導して頂いた内容は、細かくとても勉強になることばかりでした。

今回のサポートでは、特に、バランスを考えてトレーニング量に見合った量を食べること、できるだけたくさんの種類の食品を摂取することが重



要であることが理解できました。また、具体的には、レース前に炭水化物を中心に摂取すること、肉類は消化に時間がかかるため控えること、果物や水分は多めに摂取すること、レース前の適正な食事摂取時間（何分前に食べるのが良いか）、前日のアルコール摂取禁止、等を指導していただきました。

特に印象に残っているのは、灼熱のマレーシアでのレースにおいて、「茄子を多めに取ると体温が下がりやすい」とアドバイスを受けたことでした。また、練習期やレースウィークにおけるサプリメントの上手な摂取方法を指導していただいたことは大変役に立ちました。今回受けたサポートは、体調の改善に役立ったのはもちろんのこと、精神的な自信の向上にもつながったと考えています。

スポーツ医科学研究所のデータベースシステム開発について

諏訪正典 (都立航空高専) 堀江 繁 (スポーツ医科学研究所) 山村雅一 (スポーツ医科学研究所)
寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 中村 豊 (スポーツ医科学研究所) 有賀誠司 (スポーツ医科学研究所)
恩田哲也 (スポーツ医科学研究所) 麻生 敬 (スポーツ医科学研究所)

I. はじめに

東海大学スポーツ医科学研究所とスポーツ教育センターでは、共同事業として、主に体育系クラブ所属の学生を対象に「メディカルチェック」、「フィットネスチェック」などを行っている^{1,2)}。これらの測定の目的は(1)障害有無の確認・リスク発見・障害予防と、(2)効果的なトレーニングの計画を立てるためにトレーニングの効果を確認することである。したがって、測定結果を基に(1)リスク要因の強調表示や、(2)前回の測定との差異の計算・表示などのデータ処理を施した後、速やかに被験者にフィードバックする必要がある。そのためには、スムーズに測定値の入力ができ、要求に応じたデータ処理が可能で、重要な情報を抽出して出力できるデータベースシステムが必要である。

本報告では(1)これまでスポーツ医科学研究所で行われていたデータ処理方法の経緯、(2)現在稼働中のデータベースシステムの概要、(3)データベースシステムの内部構造の概要について報告する。

II. データ処理方法の経緯

各チェックのデータ処理を現在までどのような方法で行ってきたかを説明する。(図1)

1. 1997年頃まで

表計算ソフトを使用し各測定の結果を整理していた。クラブごとに各測定値の平均値を出す程度のデータ処理が可能であった。前回の測定値との差異を認識するためには、前回の測定値が記入された表と最新の測定値が記入された表を見比べる方法しかなく、一目瞭然と言う訳にはいかなかった。また、リスク要因の提示については、測定値の意味がわかる者が測定値を判断し、コメントを加える方法で行うしかなく大変手間がかかった。さらに管理・保存する表の数が膨大な量になる問題を抱えていた。例えばフィットネスチェックの場合、測定回数を年3~4回、対象クラブ数を20クラブ前後、1クラブあたり測定対象者を20人とすると、1年間あたりの表数は1,200枚~1,600枚となり、表計算ソフトで管理する方法は将来破綻が生じることが予想された。

2. 1998年

そこで、まずフィットネスチェックの測定値をリレーショナルデータベースで管理することにした。このシステムについては後述するが、フィットネスチェックの目的である「トレーニング効果の確認」を容易に把握できるシステムになった。また単一のファイルで管理するシステムであるので、測定数が増えることによるシステムの破綻は回避された。ただし、1台のコンピュータに構築されたシステムなので、入力作業を一人で行わな

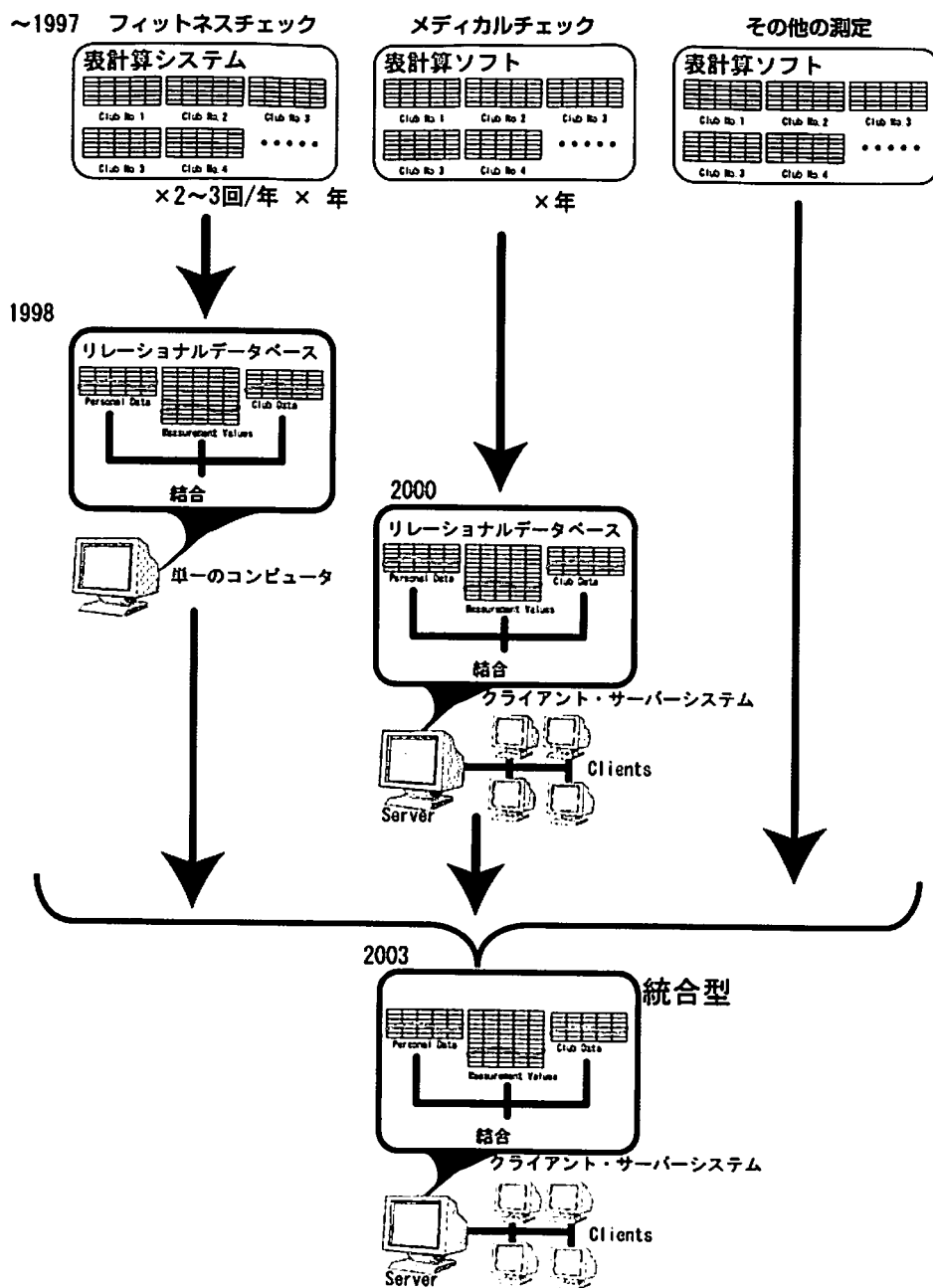


図1 東海大学スポーツ医科学研究所の定期測定におけるデータベースシステム開発履歴

ければならない問題を抱えていた。複数の作業
者で同時にデータ入力できる分散処理シ
ステムの開発が必要という新たな課題が
発生したので、分散処理型のフィット
ネスチェック用データベースシステムの
開発を開始した。

3. 2000年

フィットネスチェック用に開発していた
分散処理システムを、試験運用的にメ
ディカルチェックの測定値管理に用
いることにした。これはメディカル
チェックが1日に数百人の測定を行
うものであり、当然、複数人でデー
タを入力するべき測定であったこと
と、開発中のシステムの耐性を計る
のに都合がよかったからである。こ
のシステムについても後述するが、
メディカルチェックで得た測定値を
20名程度で分担して入力し、測定
日当日に数百人分の測定値を入力し
終えることができた。また、メディ
カルチェックの主目的である、傷害
の有無・リスク要因の把握を容易に
確認できるよう、傷害の有無等を
自動的に強調する機能も実装する
ことができ、その情報をスムーズに
被測定者に提供することができた。

4. 2002年

フィットネスチェックもメディカル
チェックも測定ごとに測定項目の
変更が行われることがある。この
ことには分散処理システムを開発し
始めた頃

からシステム内の表構造を工夫する
ことで対応している。この表構造
を応用し、2003年度末を目処に、
スポーツ医科学研究所で行ってい
るすべての測定のデータを管理で
きる汎用的なシステム（統合型
データベースと呼ぶ）へのアップ
グレードを開始した。

III. 現在稼働中のデータベースシステム

1. フィットネスチェック用データベース

東海大学スポーツ医科学研究所
での測定管理に初めてデータベー
スシステムを用いたものである。
Microsoft Access を用いて実装
した。

図2は入力画面である。フィット
ネスチェックで測定する項目を1
画面で全て入力できる。被測定
者ごとにこの画面が表示される
ので、異なる被測定者のデータ
を入力してしまうミス、異なる
測定項目の値を入力してしまう
ミスなどを防ぐことができる。ま
た、過去の測定値を瞬時に呼び
出すことが可能で修正も容易
である。データ量が増加しても
検索速度が極端に遅くなること
はなく、破綻の生じないシステ
ムである。

図3は出力結果の例である。前
回の測定結果と最新の測定結果
を一覧することが可能であり、
前回の測定結果との差も表示さ
れるのでトレーニング効果の
把握が容易である。特に体重と
体脂肪率についてはグラフ表示
することでさらに測定値の

図2 フィットネスチェック用データベース：入力画面

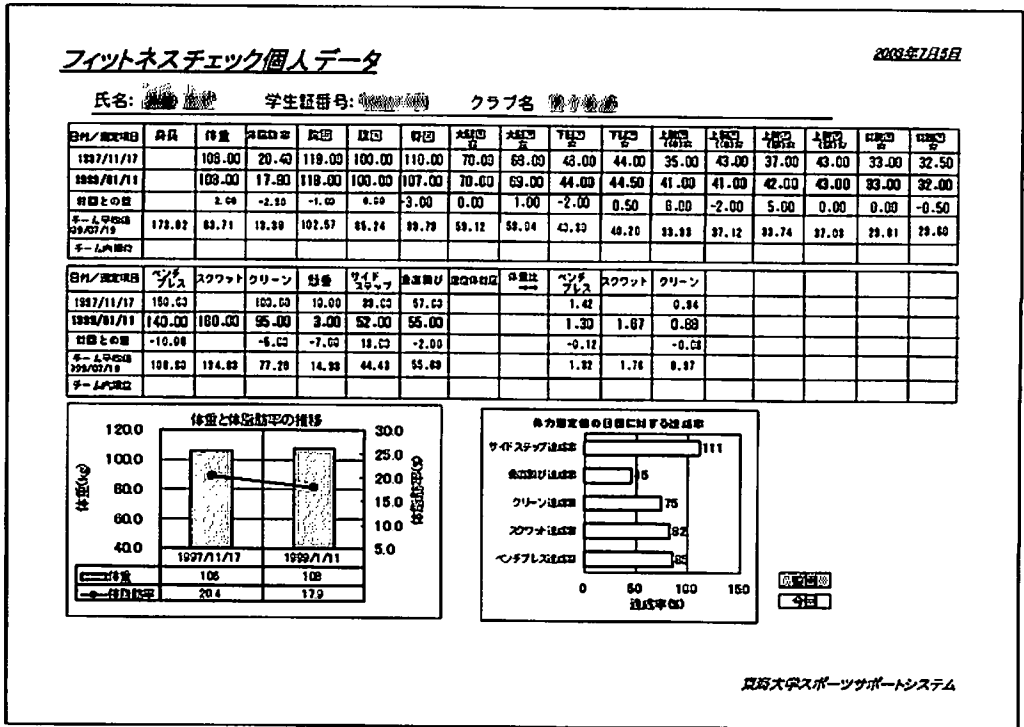


図3 フィットネスチェック用データベース：出力画面（フィードバックシート）

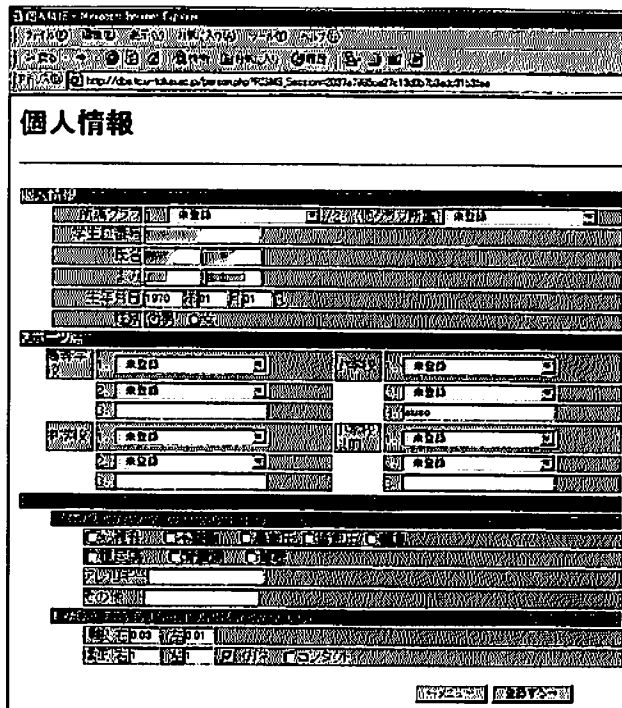


図4 メディカルチェック用データベース：Web ブラウザで表示した入力画面

S/N: 2000-804
 2000年度 新入生対象 整形外科的 メディカルチェック (1)
 選手 (男) (100) アメリカンフットボール (1) 2000年05月27日 測定

部位	測定項目	測定値	コメント
身体組成	身長	177.0cm	
	体重	122.4kg	
	脂肪厚 (上腕部)	26.0mm	
	脂肪厚 (肩胛骨下野)	43.0mm	
	脂肪厚 (腰部)	46.0mm	
	体脂肪率 (キャリバー)	30.4%	
	体脂肪率 (インピーダンス)	23.4%	
	体脂肪体重 (インピーダンス)	85.2kg	
	胸囲	131.5cm	
	腹囲	120.0cm	
足関節	大転子	67.0cm	
		67.0cm	
	弛緩性	-	異常なし
	前脛痛	-	異常なし
肩関節	仰臥位	22.0回	[リスク有]: かなり筋力不足、肩筋力強化の必要あり
	柔軟性 (圧痛身体測定)	44.0cm	異常なし
	弛緩性	-	異常なし
	柔軟性	13.0cm	[リスク有]: 柔軟性が無いと肩への負担が大きくなるため、外傷予防として肩関節部のストレッチが必要
肘関節		12.0cm	[リスク有]: 柔軟性が無いと肩への負担が大きくなるため、外傷予防として肘関節部のストレッチが必要
	外転痛	-	異常なし
	不安定テスト	-	異常なし
	弛緩性 (尺骨肘)	0.0度	異常なし
手関節	外反肘 (さる科)	-	異常なし
	弛緩性	-	異常なし
	尺骨テスト (荷重テスト)	-	異常なし
	弛緩性 (尺骨腕)	1.0Pd	異常なし
股関節	測定項目	測定値	コメント
	柔軟性	0.0Pd	異常なし
		20.5cm	[リスク有]: 柔軟性が無いと膝への負担が大きくなるため、外傷予防として十分なストレッチが必要
		25.0cm	[リスク有]: 柔軟性が無いと膝への負担が大きくなるため、外傷予防として十分なストレッチが必要
	Q-angle	11.0度	異常なし
	伸力	69.0kg	異常なし
	伸力	kg	異常なし
	WBI	0.6	[リスク有]: 筋力不足、スポーツ種目発生時の可塑性大筋筋力強化が必要
		-	異常なし
		-	異常なし
		80.0度	[リスク有]: 内股れ・内股れ・内股れ・内股れ・内股れとしてハムストリングスのストレッチが必要
		80.0度	[リスク有]: 内股れ・内股れ・内股れ・内股れとしてハムストリングスのストレッチが必要
		8.0度	異常なし
		13.0度	異常なし
足関節	弛緩性	46.0度	[リスク有]: 弛緩予防として足関節部の筋力強化が必要
	弛緩性	41.0度	異常なし
	弛緩性	36.0度	異常なし
	N・O脚	-1.0Pd	[リスク有]: やや内傾傾向だが、問題ない
	扁平	-	-
	甲高	-	-
	扁平・甲高 (判定)	-2.0	[リスク有]: 扁平傾向が強い
	回内	-	[リスク有]: 扁平傾向が強い
	回外	±	-
	回内・回外 (判定)	-2.0	[リスク有]: 回内傾向が強い
	判定	-1.0	[リスク有]: やや回内傾向
	最終子エック	2.0	コンディショニング指導の必要あり
	弛緩性	0.5 / 7	
	リスク値	14	

図 5 メディカルチェック用データベース：出力画面

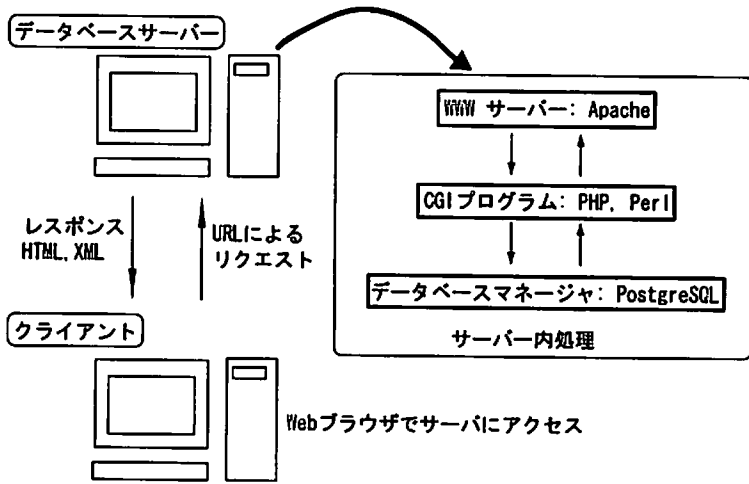


図6 システムの構成

変動が把握しやすくなっている。また、クラブごとにトレーニングの目標値を設定することが可能で、クラブの目標値に対する達成率を表示することで、今後のトレーニング指針を立てる目安になる。フィットネスチェックについては現在もこのシステムで運用しており、統合型データベース完成まで稼働予定である。

2. メディカルチェック用データベース

メディカルチェック用データベースは「サーバークライアント」形式（1台のコンピュータにデータベースを置き、このコンピュータにその他複数のコンピュータがネットワークを通じてアクセスする形式）のシステムで、分散入力可能なシステムである。具体的にはWebを通じてサーバーのデータベースにアクセスし、入力作業などを行う（図4）。Webを通じてアクセスすることで複数人の同時作業が可能で、大量のデータ入力を速やかに完了させることが可能である。

図5は出力結果の例である。各測定値についてリスクが有ると判断される場合、自動的に解説コメントをつけて出力するようになっている。今後のトレーニングやコンディショニングの指針を立

てる目安になる。

図6に示すシステムで実装しており、主要なプログラムは企業のデータベースシステムでも多く使われている実績のあるものである。現在このシステムをベースに統合型データベースを開発中である。

IV. データベースシステムの構造

1. 典型的なデータベース構造

身体測定のように個人データと複数の測定値が組になっているデータの管理は、図7のような表構造で行うのが一般的である。この構造は表計算ソフトでデータを管理した場合の構造と似ており、これを操作するプログラムも簡潔に記述できる。しかし、「フィットネスチェック」、「メディカルチェック」など長期間に渡り継続的に行う測定では、測定項目の変更が生じる場合があり、このような状況のデータを図7の構造で管理した場合、様々な不具合が生じる。

例えば、ある年度から「項目A」の測定を行わなくなった場合、それ以降「項目A」は常に空欄として存在することになり、無駄の多いシステム

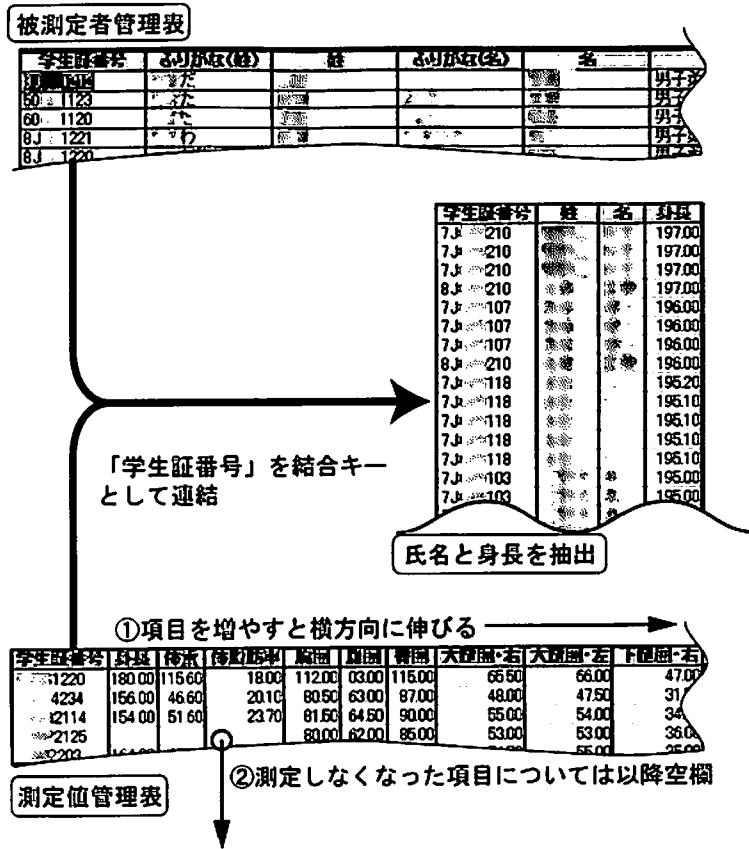


図7 典型的なデータベースのリレーションシップ

になってしまう。さらに、新規に測定項目が追加されるたびに横方向に表が伸びることになり、必要な測定値を検索する際（たとえコンピュータがプログラムに従って検索するにしても）、大変手間のかかる処理になる。また、稼働中のデータベースシステムに対し、個々の表の構造を変更することは好ましくない。

2. 本システムのデータベース構造

本システムでは測定項目を別の表で管理することにし、その表では、

- ・測定項目 id
- ・部位（頭部、頸部、肩関節など、どの部位に関する測定値なのか）
- ・カテゴリー（痛み、弛緩性、柔軟性、筋力など、

何を目的とした項目なのか）

- ・項目名（長座位体前屈、プレステストなど、測定時に使う通称）
 - ・測定単位
- などを管理している。一方、測定値を管理する表では
- ・被験者 id
 - ・測定項目 id
 - ・測定値
- などを管理し、両者を結合することで、データの参照を可能にしている。（図8）

このように測定項目を別表で管理することにより

- (1) 測定項目の追加がいくらでも可能になった。
- (2) 各測定項目の意味、測定箇所、測定単位な

作業は、被測定者情報の入力と測定値の入力のみである。新規測定項目の設定、結果の出力などの操作は専任のオペレータでなければならない。このシステムの利用率を高めるためにも、エンドユーザーが全ての操作を行えるようにインターフェースを充実させることが早急に解決しなければならない課題である。

参考文献

- 1) 有賀誠司：東海大学における総合的なストレングス&コンディショニングによる選手強化システム, NSCA ジャパンジャーナル, Vol.6, No.8, pp. 22-25, 1999.
- 2) 有賀誠司：東海大学における総合的なストレングス&コンディショニングによる選手強化システム②, NSCA ジャパンジャーナル, Vol.6, No.9, pp. 24-27, 1999.

柔道選手における 片脚スクワットについて

有賀誠司 (スポーツ医科学研究所) 芝本幸司 (メガロス神奈川) 中西英敏 (体育学部武道学科)
山下泰裕 (体育学部武道学科) 白瀬英春 (体育学部武道学科) 恩田哲也 (スポーツ医科学研究所)
麻生 敬 (スポーツ医科学研究所) 生方 謙 (体育学部非常勤講師)

Single Leg Squat in Judo Players

Seiji ARUGA, Koji SHIBAMOTO, Hidetoshi NAKANISHI, Yasuhiro YAMASHITA,
Hideharu SHIRASE, Tetsuya ONDA, Kei ASO and Ken UBUKATA

Abstract

The purpose of this study is to comprehend the ability of the one leg squat by judo players and to acquire guidelines for the training method. The subjects are 47 collegiate judo players, and 1RM of the one leg squat is measured. The findings are as follows;

- 1) There was no significant correlation between 1RM of the one leg squat and body weight. On the other hand, there was a significant negative correlation between the ratio of body weight to 1RM of the one leg squat and body weight. ($p < 0.01$)
- 2) There was no significant correlation between 1RM of the one leg squat and 1RM of both legs.
- 3) As for 1RM of the one leg squat, the right leg significantly indicates a higher scale than the left leg.
- 4) There was no further correlation between 1RM of the one leg squat and one's strong techniques and the knee injury record.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 34-44, 2004)

I. 緒 言

柔道競技においては、立ち技を掛ける時や相手に技をかけられてバランスを崩した時などに、片脚支持の姿勢になる局面が多くみられる。特に「内股」では、片脚のみで相手の体重を支持するため、片脚支持姿勢における脚筋力の発揮能力が必要であるといわれている¹⁾。

一方、日本の柔道男子重量級選手は、中・軽量級の選手や他のスポーツ競技の選手と比べて体脂肪率が高く²⁻⁴⁾、体重あたりの脚筋力が低い傾向にあることが報告されている⁵⁻⁷⁾。これらは、下肢の運動能力に対してマイナス要因として作用するばかりでなく、柔道選手に多くみられる膝や足首の傷害⁸⁾のリスクファクターにもなっていると考えられており、対策として体重当たりの脚筋力を向上させることの必要性が指摘されている⁹⁾。

これらのことから、近年、柔道選手の競技力向上や傷害予防を目的とした下肢の筋力トレーニングの手段として、片脚支持の状態でしゃがんで立つ動作を行う「片脚スクワット」が実践される機会が増えている¹⁰⁻¹¹⁾。

柔道選手の下肢筋力に関する報告は多くみられるが、等尺性脚伸展力を測定したもの¹²⁾、等速性筋出力測定装置を用いて膝関節の屈曲伸展動作の筋出力を測定したもの¹³⁻¹⁵⁾、両脚スクワットのバーベル挙上重量を測定したもの¹⁶⁻¹⁸⁾など、単関節運動や、一般的動作の筋力を測定したものがほとんどである。片脚支持動作に関する報告としては、一般人を対象としたもの¹⁹⁻²⁰⁾は比較的多くみられるが、柔道選手を対象としたものは少なく、片脚での平衡能力²¹⁾やジャンプ能力²²⁻²³⁾に関する報告がみられるものの、片脚支持姿勢における筋力について検討を行ったものは見当たらない。

本研究では、近年柔道選手の専門的筋力トレーニングとして導入されるようになった片脚スクワットに関する基礎資料や、今後のトレーニング方法の指針を得ること目的に、大学柔道選手を対象として、片脚スクワットの最大挙上重量の測定を行い、形態や階級、柔道の組み手、両脚スクワットの筋力などとの関連について検討を行った。

Ⅱ. 方 法

1. 対象

本研究の対象は、T大学柔道部に所属する男子選手47名であった。全ての対象は、筋力トレーニングを週2～3回定期的実践していたが、片脚スクワットについては未経験であった。

対象となった選手の所属階級の内訳は、60kg級9名、66kg級6名、73kg級5名、81kg級6名、90kg級9名、100kg級5名、100kg超級7名であり、階級ごとの身体的特徴は表1の通りである。対象には測定の内容および危険性について説明し、測定参加の同意を得た。

2. 最大挙上重量の測定

全ての対象に対し、ダンベルを支持脚側の片手に保持して行う片脚スクワット(右脚、左脚)とバーベルを肩にかついで行う両脚スクワットの最大挙上重量(以下1RM)の測定を行った。

1) 片脚スクワット

片脚スクワットの1RM測定に先立ち、1カ月前に動作についての説明とフォーム指導を実施し、その後測定までの期間に週2回のフォーム練習を行わせた。

表1 対象の身体的特徴

Table 1 Physical characteristics of the subjects

階級	人数(名)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)
-60kg	9	164.3±3.0	62.2±2.0	8.7±0.9
-66kg	6	168.8±4.2	68.5±2.3	9.7±1.0
-73kg	5	173.4±4.4	74.9±2.2	11.3±1.1
-81kg	6	173.8±4.2	81.1±2.1	12.9±2.4
-90kg	9	175.3±6.5	87.1±4.5	14.8±0.8
-100kg	5	178.8±4.6	95.6±2.2	15.2±2.2
+100kg	7	183.0±5.4	113.2±5.4	20.0±2.3
全体	47	173.5±7.5	82.7±17.0	13.4±4.0

測定前には、ダンベルの重量を漸増させながら左右それぞれについて2セットずつのウォームアップを行い、3セット目に1RMと思われる重量を用いて試技を行った。この試技の挙上に成功した場合には、2kgずつ増量しながら試技を継続し、挙上に失敗した直前の試技における使用重量を1RMと規定した。試技は、右脚の測定が全て終了した後に左脚の測定を実施し、試技間には3～4分の休息をとって、疲労の影響を除外するように配慮した。測定者は、試技者の動作が明確に確認できる真横に位置し、挙上動作や試技の成功及び失敗の確認を行った。

片脚スクワットの動作の規定は次の通りである(写真1)。片脚立ちになり、支持脚と反対側の膝を曲げて足部を床から浮かせた姿勢をとり、支持脚側の片手のみに1個のダンベルを保持してぶら下げ、開始姿勢をとる。次に、支持脚側の膝と股関節を同時に曲げ、臀部を後方に突き出すようにして、支持脚のみでしゃがむ動作を行い、膝関節角度が90度になったら、開始姿勢まで立ち上がる動作を行わせた。膝の角度が90度になるまでしゃがむ動作ができなかった場合、規定の膝角度までしゃがんだ後に膝と股関節を完全に伸ばした直立姿勢まで立ち上がれなかった場合、支持脚と反対

側の足やダンベルが床に触れた場合には、その試技を失敗とみなした。

2) 両脚スクワット

測定前には、日常のトレーニングにて用いている重量及び反復回数を考慮して、バーベルの重量を漸増させながら3セットのウォームアップを行い、4セット目に1RMと思われる重量を用いて試技を行った。この試技の挙上に成功した場合には、2.5kgずつ増量しながら試技を継続し、挙上に失敗した直前の試技における使用重量を1RMと規定した。試技間には3～4分の休息をとり、疲労の影響を除外するように配慮した。

測定者は、試技者の動作が明確に確認できる場所に位置し、挙上動作や試技の成功及び失敗の確認を行った。また、試技者の安全を確保するため、熟練した補助者をバーベルの両端に2名配置し、挙上動作が途中で止まったり、フォームが乱れたりした際には、測定者の合図により補助を行った。

両脚スクワットの動作の規定は次の通りである(写真2)。スクワット用ラックにのせたバーベルを、肩幅より広めの手幅で握って肩にかつぐ。次いで、ラックからバーベルをはずし、バランスをとりながら後方に下がり、両足を肩幅または肩幅

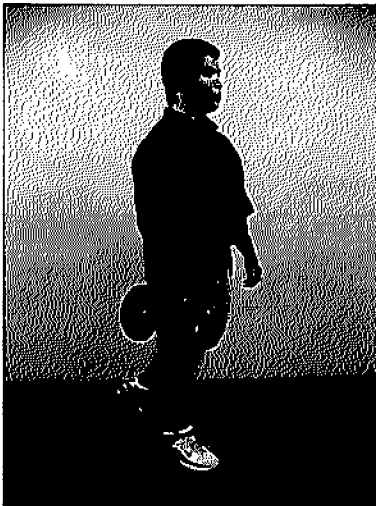


写真1 片脚スクワット
Photo 1 Single leg squat

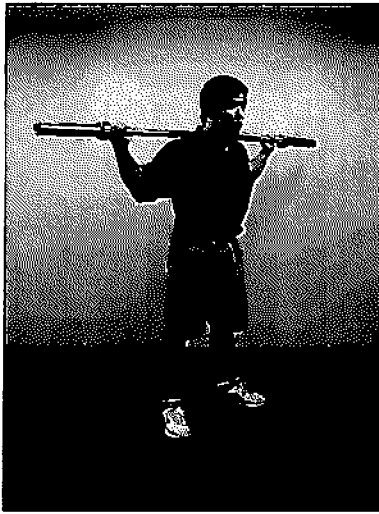


写真2 両脚スクワット
Photo 2 Double leg squat with barbell

表2 片脚スクワットと両脚スクワットの1RM
Table 2 1RM of Single leg Squat, and Barbell Squat

階級	片脚スクワット右		片脚スクワット左		両脚スクワット	
	1 RM (kg)	1 RM/ 体重	1 RM (kg)	1 RM/ 体重	1 RM (kg)	1 RM/ 体重
60kg 級	42.5 ± 7.2	0.68 ± 0.11	40.4 ± 5.6	0.65 ± 0.08	131.0 ± 9.6	2.08 ± 0.16
66kg 級	41.6 ± 9.8	0.60 ± 0.13	37.3 ± 10.0	0.54 ± 0.13	136.0 ± 11.9	1.97 ± 0.15
73kg 級	41.2 ± 7.1	0.55 ± 0.10	39.2 ± 6.0	0.53 ± 0.10	128.0 ± 10.4	1.71 ± 0.17
81kg 級	43.2 ± 8.0	0.53 ± 0.10	40.6 ± 7.8	0.50 ± 0.10	158.8 ± 23.2	1.96 ± 0.23
90kg 級	36.2 ± 11.8	0.41 ± 0.13	33.8 ± 13.0	0.39 ± 0.14	141.0 ± 31.1	1.61 ± 0.34
100kg 級	36.6 ± 17.9	0.38 ± 0.18	38.1 ± 17.0	0.40 ± 0.18	166.7 ± 15.3	1.73 ± 0.18
100kg 超級	43.2 ± 12.1	0.38 ± 0.11	37.9 ± 15.0	0.34 ± 0.13	192.5 ± 30.0	1.70 ± 0.33

よりやや広めに開いて直立して静止し、開始姿勢をとる。次に、膝と股関節を同時に曲げて、臀部を後方に突き出しながら上半身を前傾させ、大腿部の上端面が床と平行になるところまでしゃがみ、腰背部の姿勢を崩さずに、膝と股関節を同時に伸展させ、上体を起こしながら開始姿勢まで立ち上がる動作を行わせた。バーベルが挙上できなくなった場合、しゃがむ深さが規定に達しなかった場合、動作中に腰背部の姿勢が保持できなかった場合、バーベルのバランスが崩れた場合には、その試技を失敗とみなした。なお、両脚スクワットの試技の際には、腰背部の傷害予防のためにトレーニング用のベルトを着用させた。

3. 統計処理

測定値相互の関係は、ピアソンの相関係数を用いて求めた。また、階級間の平均値の差の検定には unpaired t-test を用いた。統計処理の有意水準は 5%未満とした。

III. 結 果

1. 片脚スクワットと両脚スクワットの1RM測定値

表2及び図1に所属階級別の片脚スクワットと両脚スクワットの1RM及び1RM体重比を示し

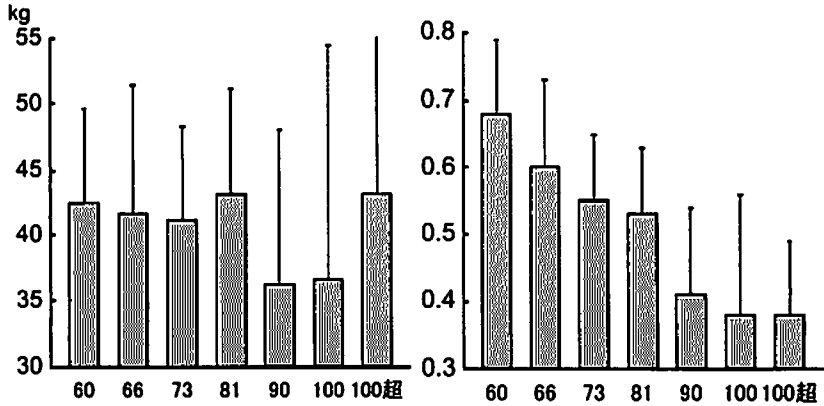


図1 階級別の右片脚スクワットの1RM (左) と1RM体重比 (右)
Fig. 1 1RM and 1RM/body weight of single leg squat in each weight category

表3 片脚スクワット1RM 体重比の階級間の差
Table 3 Differences of single leg squat 1RM/body weight in each categories

右1RM/BW

	60kg 級	66kg 級	73kg 級	81kg 級	90kg 級	100kg 級	100kg 超級
60kg 級	-	N.S.	*	**	**	**	**
66kg 級		-	N.S.	N.S.	**	*	**
73kg 級			-	N.S.	*	N.S.	**
81kg 級				-	N.S.	N.S.	**
90kg 級					-	N.S.	N.S.
100kg 級						-	N.S.
100kg 超級							-

左1RM/BW

	60kg 級	66kg 級	73kg 級	81kg 級	90kg 級	100kg 級	100kg 超級
60kg 級	-	N.S.	*	**	**	**	**
66kg 級		-	N.S.	N.S.	*	N.S.	**
73kg 級			-	N.S.	*	N.S.	**
81kg 級				-	N.S.	N.S.	*
90kg 級					-	N.S.	N.S.
100kg 級						-	N.S.
100kg 超級							-

* :p < 0.05 ** :p < 0.01

た。また、表3に、左右の片脚スクワット1RM 体重比の階級間の差の検定結果を示した。各階級の片脚スクワットの右1RM 平均値と標準偏差は、60kg 級42.5±7.2、66kg 級41.6±9.8、73kg 級41.2±7.6、81kg 級43.2±8.0、90kg 級36.2±11.8、100kg 級36.6±17.9、100kg 超級43.2±12.1であり、

階級間には統計的な有意差はみられなかった。各階級における片脚スクワットの右1RM 体重比の平均値と標準偏差は、60kg 級0.68±0.11、66kg 級0.60±0.13、73kg 級0.55±0.10、81kg 級0.53±0.10、90kg 級0.41±0.13、100kg 級0.38±0.18、100kg 超級0.38±0.11であり、重い階級ほど低い

値を示す傾向がみられた。階級間の差については、60kg 級と73kg 級から100kg 超級までの5階級の間、66kg 級と90kg 級から100kg 超級までの3階級の間、73kg 級と90kg 級及び100kg 超級の2階級の間、81kg 級と100kg 超級との間にそれぞれ統計的な有意差が認められた。(p < 0.05)

2. 片脚スクワットの1RMと体重との関係

図2に、片脚スクワットの右1RM及び1RM体重比と体重との関係を示した。片脚スクワットの1RMと体重との相関係数は、右が $r = 0.003$ 、左が $r = -0.025$ であり、左右どちらについても

有意な相関関係は認められなかった。一方、片脚スクワットの1RM体重比と体重との相関係数は、右が $r = -0.625$ 、左が $r = -0.623$ であり、左右いずれについても有意な負の相関関係が認められた(p < 0.01)。

3. 片脚スクワットの1RMと体脂肪率との関係

図3に、片脚スクワットの右1RM及び1RM体重比と体脂肪率との関係を示した。片脚スクワット1RMと体脂肪率との相関係数は右が $r = 0.095$ 、左が $r = 0.038$ であり有意な相関関係は認められなかった。一方、片脚スクワットの1RM

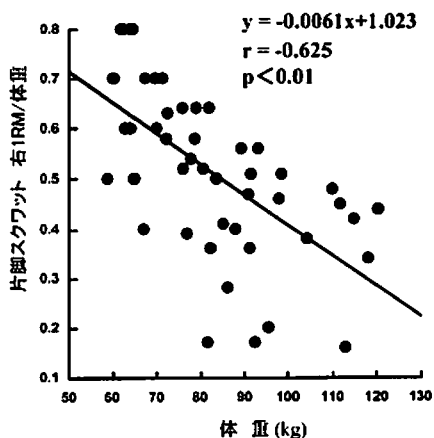
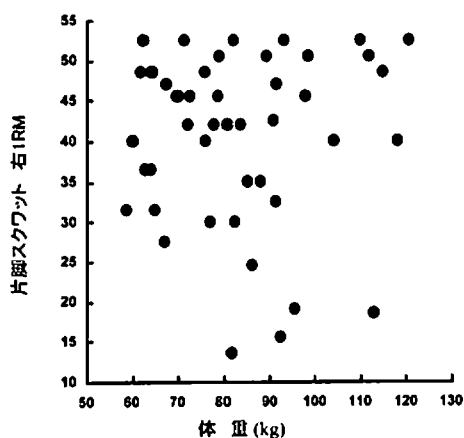


図2 片脚スクワット1RMと体重の関係(右図:絶対値、左図:体重比)

Fig. 2 Relationship between body weight and single leg squat 1RM, and between body weight and single leg squat 1RM/body weight

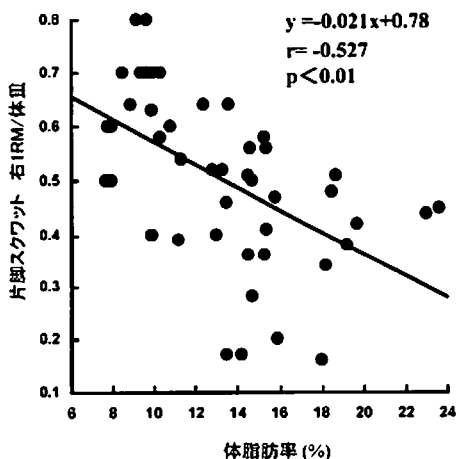
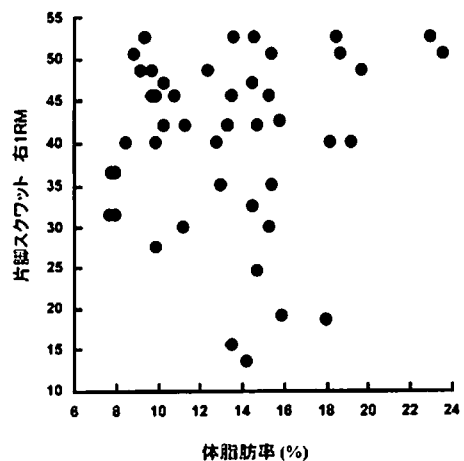


図3 片脚スクワット1RMと体脂肪率の関係(左図:絶対値、右図:体重比)

Fig. 3 Relationship between single leg squat 1RM and %body fat

体重比と体脂肪率との相関係数は、右が $r = -0.527$ 、左が $r = -0.557$ であり、左右いずれについても有意な負の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

4. 片脚スクワットの1RMと両脚スクワットの1RMとの関係

図4に、片脚スクワットの右1RMと両脚スクワットの1RM及び、片脚スクワットの右1RM体重比と両脚スクワットの1RM体重比との関係を示した。片脚スクワット1RMとスクワット1RMとの相関係数は、右が $r = 0.101$ 、左が $r = 0.183$ であり、有意な相関は認められなかった。

一方、片脚スクワット1RM体重比とスクワット1RM体重比との相関係数は、右が $r = 0.500$ 、左が $r = 0.479$ であり、左右いずれについても有意な正の相関が認められた ($p < 0.01$)。

5. 片脚スクワット1RMの左右差

図5に、片脚スクワット1RMの左右の平均値を示した。片脚スクワット1RMの平均値及び標準偏差は、左が 38.0 ± 10.8 、右が 40.6 ± 10.5 であり、右の1RMは左に比べて有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。

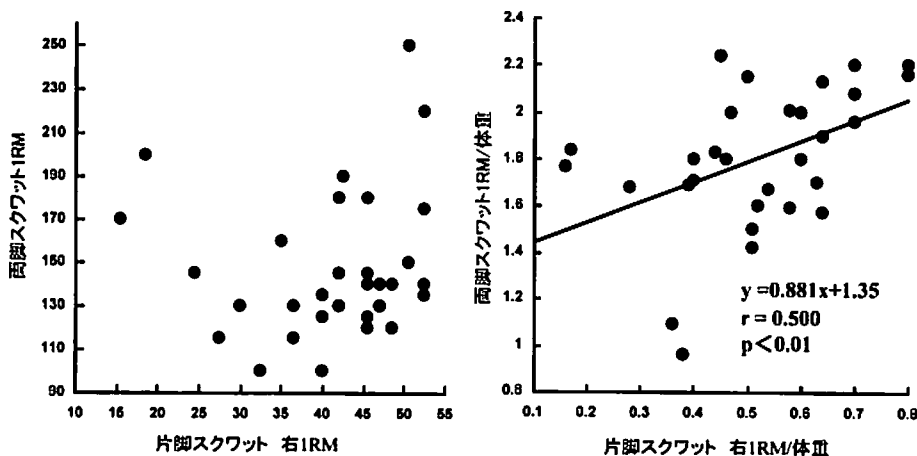


図4 片脚スクワット1RMと両脚スクワット1RMの関係(左図:絶対値、右図:体重比)
Fig. 4 Relationship between single leg squat 1RM and double leg squat 1RM

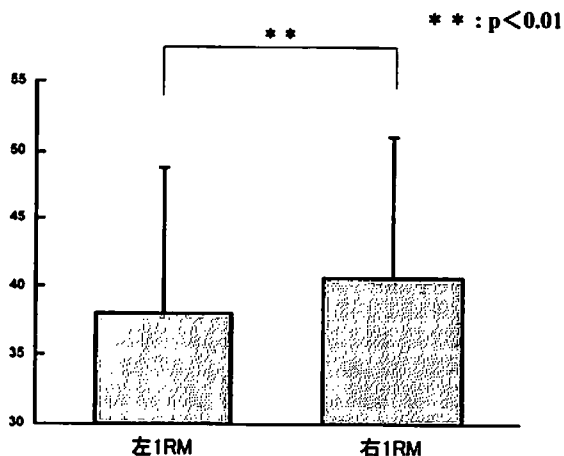


図5 片脚スクワットの1RM平均値の左右差
Fig. 5 Difference of 1RM between right and left in single leg squat

柔道選手における片脚スクワットについて

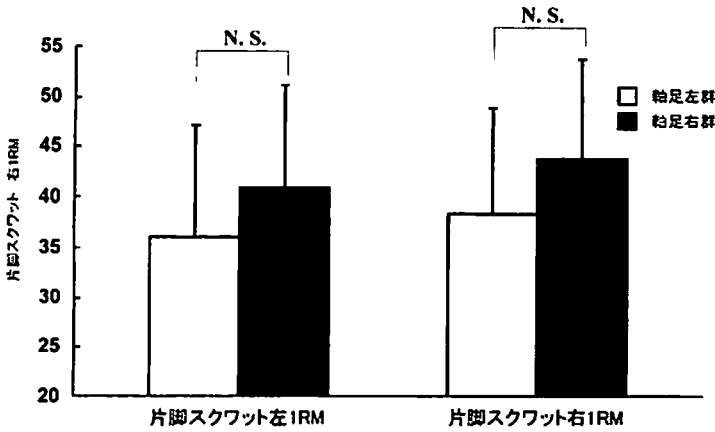


図6 片脚スクワット1RMと柔道の軸足との関係
Fig. 6 Relationship between single leg squat 1RM and Judo JIKUASHI

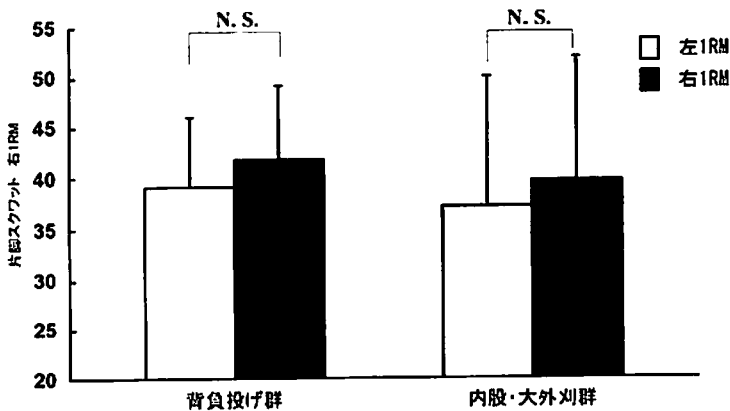


図7 片脚スクワット1RMと柔道の得意技との関係
Fig. 7 Relationship between single leg squat 1RM and Judo technique

6. 片脚スクワット1RMと柔道の軸足との関係

図6に、柔道の軸足と片脚スクワット1RMの関係を示した。片脚スクワット左1RMの平均値及び標準偏差については、軸足右群 40.9 ± 10.19 、軸足左群 36.1 ± 10.95 であり、両者の間に統計的な有意差は認められなかった。また、片脚スクワット右1RMの平均値及び標準偏差は、軸足右群が 43.8 ± 9.97 、軸足左群が 38.4 ± 10.46 であり、両者の間に有意な差は認められなかった。

7. 片脚スクワット1RMと柔道の得意技との関係

図7に柔道の得意技と片脚スクワット1RMと

の関係を示した。背負投げを得意とする者の片脚スクワットの1RMの平均値及び標準偏差は、左が 39.2 ± 6.86 、右が 41.9 ± 7.28 であり、左右間に有意な差は認められなかった。また、内股及び大外刈を得意とする者の片脚スクワットの1RMの平均値及び標準偏差は、左が 37.3 ± 12.73 、右が 39.8 ± 12.13 であり、左右間に有意な差は認められなかった。

8. 片脚スクワット1RMと膝の傷害経験との関係

図8に、過去に膝の傷害によって練習を休んだ経験の有無と、片脚スクワット1RMの体重比と

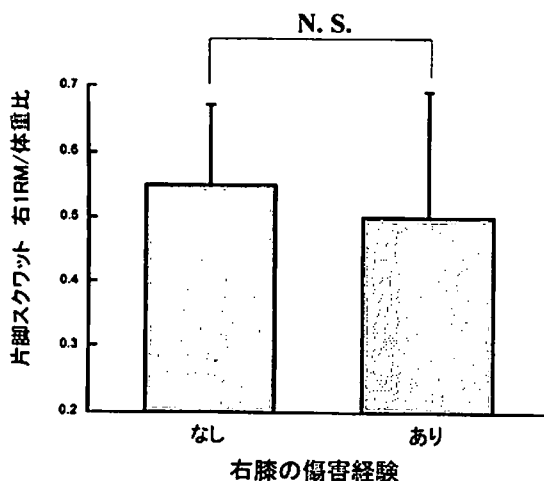


図8 片脚スクワットの1RM 体重比と膝の傷害経験
Fig. 8 Relationship between single leg squat 1RM and knee injury

の関係を示した。片脚スクワット右1RMの体重比の平均値及び標準偏差は、右膝の傷害経験の有る群が 0.50 ± 0.19 、傷害の経験が無い群が 0.55 ± 0.12 であり、傷害経験の無い群の測定値が高い傾向にあったが、両者の間には有意な差は認められなかった。また、片脚スクワット左1RMの体重比の平均値及び標準偏差は、左膝の傷害経験の有る群が 0.47 ± 0.15 、傷害の経験が無い群が 0.58 ± 0.16 であり、右側と同様、傷害経験の無い群の測定値が高い傾向にあったが、両者の間には有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

1. 測定方法について

片脚スクワットの測定において、しゃがんだ時の膝角度にはばらつきがあり、規定の膝角度(90度)に到達せず、再測定を要する者が比較的多くみられた。今後は、測定に先だってフォームの習得を行う期間や、しゃがみ込みの深さや膝角度を規定する方法(関節角度計等の導入など)について、さらに検討を行う必要があると思われる。また、しゃがみ込みの深さの規定についても、今後

の検討課題とすべきであろう。

今回の測定では、片脚スクワットの1RMが50kgを越える者が多くみられた。国内で市販されている固定式ダンベルの上限は60kg程度であることことから、今後は、1個のダンベルを片手に保持するのではなく、2個のダンベルを両手に保持し、1個あたりのダンベルの重量を軽減する方法についても検討する必要があると思われる。

2. 体重や所属階級との関連

有賀ら^{18, 23)}は、大学柔道選手及び国内トップレベルの柔道選手を対象に、バーベルによる両脚スクワットの1RM測定を実施し、1RMと体重との間には有意な正の相関を、1RM体重比と体重との間には有意な負の相関を認め、所属階級との関係については、1RMは重い階級ほど高い値を、1RM体重比は重い階級ほど低い値を示す傾向がみられたことを報告している。一方、本研究における片脚スクワットの1RMの測定結果においては、1RMと体重との間には有意な相関は認められず、1RM体重比との間において有意な負の相関が認められた。また、所属階級との関係については、1RM体重比においてのみ重い階級ほど低い値を示す傾向がみられた。このような相違は、片脚スクワットにおいて、自分の体重をバランスをとりながら支持する能力が、両脚スクワットより高いレベルで要求されたことに起因するものであると推測された。

3. 片脚支持姿勢による他のトレーニングとの関連

有賀ら^{22, 23)}は、柔道選手を対象に、片脚にて前後左右の4方向に20秒間にできるだけすばやくジャンプして移動する「片脚4方向ジャンプ」の回数を測定した結果、体重及び体脂肪率との間に有意な負の相関が認められ、両脚スクワット1RMとの間には有意な相関が認められなかったことを報告している。本研究における片脚スクワットにおいては、1RM体重比と体重との間に有意な負の相関が認められ、両脚スクワット1RMと

の間には有意な相関が認められなかった点において、同様の結果がみられた。

また、有賀ら¹⁷⁾は、片手にダンベルを保持して一気に頭上まで挙上する動作を行うダンベルスナッチの1RMを測定し、被験者の利き手側である右の測定値が左に比べて有意に高い値を示し、組み手側とは特別な関係が認められなかったことを報告している。本研究における片脚スクワットの1RMについても、右の1RMが左に比べて有意に高い値を示すとともに、柔道における軸足との間には特別な関係は認められず、同様の結果となった。

今後、片脚スクワットの1RMの左右差や、利き手及び軸足との関連についてさらに検討を進めるためには、支持脚と反対側の片手でダンベルを保持する方法や、両手にてダンベルを保持する方法についても検討することが必要であると考えられる。

4. 柔道の技術との関連

本研究では、両脚支持の状態で相手をかついで投げる背負い投げを得意とする群と、片脚支持で行われる内股や大外刈りを得意とする群に分け、片脚スクワットの左右の1RMとの関連について検討を行ったが、得意技との関連は認められなかった。柔道の実際の動きにおいて、片脚支持姿勢で静止する局面はごく僅かであり、技のスキルには片脚支持姿勢における脚筋力以外にも非常に多くの要素が関与している。今後、片脚スクワットと技との関連について考察するにあたっては、実際の柔道の動作の中で片脚に加わる負荷の大きさや方向など、柔道の技術との関連についてより深く検討することが必要であろう。

V. 要 約

本研究では、柔道選手における片脚スクワットの能力を把握し、トレーニング方法の指針を得ることを目的として、大学柔道選手47名を対象に、

片脚スクワットの最大挙上重量(1RM)を測定し、次のような知見を得た。

- 1) 片脚スクワットの1RMと体重との間には有意な相関は認められなかった。一方、片脚スクワットの1RM体重比については、体重との間に有意な負の相関が認められた($p < 0.01$)。
- 2) 片脚スクワットの1RMと両脚スクワット1RMとの間には有意な相関は認められなかったが、片脚スクワットの1RM体重比と両脚スクワット1RM体重比との間には有意な正の相関が認められた($p < 0.01$)。
- 3) 片脚スクワットの1RMについては、右側が左側よりも有意に高い値を示した($p < 0.01$)。
- 4) 片脚スクワットの1RMと柔道の得意技との間には特別な関係は認められなかった。
- 5) 片脚スクワットの1RMと膝の傷害との間には特別な関係は認められなかった。

参考文献

- 1) 有賀誠司：柔道選手の専門的筋力トレーニング、月刊トレーニング・ジャーナル、23(6)、69-75、2001。
- 2) 福永哲夫：筋出力からみたスポーツ選手の体力的特性、Jpn. J. Sports Sci., 6(11)、684-691、1987。
- 3) 金久博昭ほか：体重制競技選手の体組成、Jpn. J. Sports Sci., 6(11)、684-691、1987。
- 4) 高橋邦郎ほか：柔道強化選手の身体特性について～日本選手と韓国選手の比較～、1986年度日本体育協会スポーツ科学研究報告集、15-21、1986。
- 5) 有賀誠司、金山浩康、齊藤 仁、松井 勲、山下泰裕、村松成司、木村昌彦：全日本男子柔道選手の脚筋力の発揮特性、柔道科学研究、2、15-20、1994。
- 6) 金久博昭、福永哲夫、池川繁樹、角田直也：スポーツ選手の単位筋断面積当たりの脚伸展力、Jpn. J. Sports Sci., 5(6)、409-412、1986。
- 7) 山本利春：障害予防の観点からみた柔道選手の脚筋力と身体組成の評価、日本臨床スポーツ医学雑誌、2(4)、107、1994。
- 8) 宮崎誠司、中村 豊、山路修身、内山善康、戸松泰介：大学柔道選手における傷害の現状、東海大学スポーツ医学雑誌、9、9-12、1997。

- 9) 黄川昭雄, 山本利春: 体重支持力と下肢のスポーツ障害, *Jpn. J. Sports Sci.*, 5(12), 837-841, 1986.
- 10) 有賀誠司: 柔道選手のための専門的トレーニング, *月刊ボディビルディング*, 34-3, 19-24, 2001.
- 11) Santana, C.: Single-Leg Training for 2-Legged Sports: Efficacy of Strength Development in Athletic Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 23-3, 35-37, 2001.
- 12) 金久博昭: 武道系選手の体力特性, *Jpn. J. Sports Sci.*, 4, 690-696, 1990.
- 13) 木村昌彦, 山本洋祐, 佐藤宣践, 中西英敏, 柏崎克彦, 野瀬清喜, 山崎俊輔: 等速性筋出力からみた大学生柔道選手の筋力特性, *柔道科学研究*, 1, 25-29, 1993.
- 14) 北田晃三, 古谷嘉邦, 佐藤宣践, 小河原慶太, 有賀誠司: 男子柔道選手の等速性筋力に関する研究, *東海大学スポーツ医科学雑誌*, 8, 41-46, 1995.
- 15) 今泉哲雄, 野瀬清喜, 有賀誠司, 柳沢 久, 森脇保彦, 稲田 明: 一流柔道選手における脚筋力の特性, *柔道科学研究*, 3, 35-39, 1995.
- 16) 有賀誠司, 寺尾 保, 中村 豊, 恩田哲也, 山下泰裕, 中西英敏, 佐藤宣践, 白瀬英春, 橋本敏明, 古谷嘉邦: 柔道競技におけるトレーニング方法に関する研究～一流柔道選手の階級増を目的としたトレーニングの実践例とその効果～, *東海大学スポーツ医科学雑誌*, 10, 60-70, 1998.
- 17) 有賀誠司, 寺尾 保, 恩田哲也, 中村 豊, 山下泰裕, 中西英敏, 生方 謙: 柔道選手におけるダンベルを用いたクイックリフト・エクササイズについて, *東海大学スポーツ医科学雑誌*, 14, 23-33, 2002.
- 18) 有賀誠司, 恩田哲也, 麻生 敬, 山下泰裕, 中西英敏, 白瀬英春, 生方 謙: 大学柔道選手におけるバーベル挙上能力の測定と評価表作成の試み, *東海大学スポーツ医科学雑誌*, 15, 7-17, 2003.
- 19) 北出一平, 鶴田誠一郎, 佐々木伸一, 野瀬恭代, 小川真裕美, 水上保孝, 堀 秀昭, 川原英夫, 馬場久敏: 片脚スクワット時の脛骨回旋の変化, 第18回東海北陸理学療法学会誌, 31, 2002.
- 20) 笠原美千代, 山崎裕司, 青木詩子, 横山仁志, 大森圭貢, 平木幸治: 高齢患者における片脚立位時間と脚伸展筋力の関係, *体力科学*, 50, 369-374, 2001.
- 21) 田中秀幸: 大学柔道選手の平衡能力について, *日本武道学会第30回記念大会研究発表抄録*, 13, 1997.
- 22) 有賀誠司, 宮崎誠司, 岡泉 茂, 恩田哲也: 柔道選手の下肢運動能力を把握するための専門的テストの検討, *柔道科学研究*, 6, 13-18, 2000.
- 23) 有賀誠司, 小山勝弘, 射手矢岬, 中村波雄, 小田千尋, 田村尚之: 柔道選手の体力測定に関する研究～全日本男子強化選手に実施した新測定項目について～, *柔道科学研究*, 7, 2001.

大学女子柔道選手の体組成における研究

—右組と左組を比較して—

恩田哲也 (スポーツ医科学研究所) 麻生 敬 (スポーツ医科学研究所)

有賀誠司 (スポーツ医科学研究所) 中村 豊 (スポーツ医科学研究所)

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 中西英敏 (体育学部武道学科) 松本秀夫 (体育学部武道学科)

The study on the body composition of women students Judo players

– The comparison between right handed grip and left handed grip –

Tetsuya ONDA, Kei ASOU, Seiji ARUGA, Yutaka NAKAMURA, Tamotu TERAU,
Hidetoshi NAKANISHI and Hideo MATSUMOTO

Abstract

This study will attempt to analyze the body composition of the differences between right handed grip and left handed grip on Judo players.

Nineteen female Judo student players with right handed grip (R-group) and thirteen female Judo student players with left handed grip (L-group) were participated in this study. The following measurements were used the Hologic QDR-4500 such as weight, muscle volume, fat volume, bone volume in several body parts (R-arm, L-arm, R-leg, L-leg, R-rib, L-rib). The results showed were as follows;

The significantly difference were found the weight and the bone volume between R-arm and L-arm in the R-group. It would be caused by the difference movement of TSURITE and HIKITE. There were not the significantly differences in the other body parts on these two groups. But the left handed grip Judo player had a heavier right leg compare to her left leg. This is the reason why there were some difference between the right handed Judo players and the left handed Judo players especially in the lower limb. However it will be our future issue to study on this survey since there isn't enough information regarding above matter.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 45-53, 2004)

1. 序 論

競技スポーツの現場においてそれぞれの競技者の身体組成は、その競技におけるエネルギー供給システムや主となる活動部位における筋肉の発達等に影響され、パフォーマンスの向上に関連さ

せ、それらの点をより効率よく活動できるようトレーニングや練習が行われる。よって、特定の競技に関連したトレーニング、練習等を長期に渡って行うことにより、その競技者はそれぞれの競技に適應した特有の身体的変化が生じてくると言える^{1,2)}。種目によって運動形態や活動様式などが異なる為に、それぞれの競技によって形成された

身体組成及び身体的特徴は異なり、一般には、筋力やパワーなどが勝負を左右するような競技では、絶対的な筋量の多さを必要とするものの、マラソン等のように長時間にわたる持続的な運動においては、脂肪量が少ないことがよいとされる。

通常、身体組成においては、主に筋肉、脂肪、骨の三つに分けることができ、それぞれの役目も異なる。筋肉は実際に出力する役目を担い、脂肪はエネルギー供給、骨は体を支えたり保護したりする役目と同時に筋肉からの出力を伝達している。そして、筋肉を中心とした除脂肪量と骨量には密接な関係があり、骨量は除脂肪量の大きさに比例すると言われている^{3,4)}。また、骨量や骨密度の維持や増加においては、大きな筋力の発揮や、重力的負荷により刺激が重要な要素とされている^{4,5)}。これらに関連して2000年から本雑誌において、女子柔道選手における体組成についての特徴を、体重調整の影響、競技レベルによる身体的変化、他競技との比較について報告⁶⁻⁹⁾を行った。そこで今回は、学生女子柔道競技者における右組、左組による体組成に着目し、同一種目競技者の中での身体的左右の違いについて把握することを目的とし、上肢、下肢、肋骨における重量、筋肉量、脂肪量、骨量における影響を観察し検討を行った。

Ⅱ. 方 法

対象は東海大学女子柔道部員32名(身長161.3±6.4cm、体重61.0±7.18kg)を、柔道競技における右組19名(右組群:身長162.7±5.7cm、体重61.7±5.4kg)、左組13名(左組群:身長158.9±6.0cm、体重60.0±9.1kg)に分け、それぞれをHologic社製、QDR-4500Aを用い二重エネルギーX線吸収法(DXA法)を用い測定を行った。

測定項目は左右対称部位が生じる、上肢(R & L arm)、下肢(R & L leg)の二部位においては重量、筋肉量、脂肪量、また、骨量においては上記の二部位に肋骨(R & L rib)を加えて測定を行い、それらの値を体重1kgあたりに換算し比較検討を行った。検定はT検定を用い5%水準で、その差の有無を判定した。

表1は右組群、左組群における、左右対称部位の重量・筋肉量・脂肪量・骨量での平均値を表している。

Ⅲ. 結 果

表2と図1「は右組群・左組群における左右対称部位における、体重1kg当たりの重量を示している。重量における上肢においての左右差は、

表1 身体部位における重量・脂肪量・筋肉量・骨量の両群の平均値(g)
Table 1 The average volume (weight, fat, muscle and bone) of the each handed grips (g)

		L-arm	R-arm	L ribs	R ribs	Trunk	L-leg	R-leg	Totals
重量	Right	3741.3	3938.1			28175.6	10593.3	10702.9	61668.9
	Left	3625.8	3762.1			27403.4	10203.5	10659.9	59980.4
	差	116.5	176			772.2	389.8	43	1688.5
脂肪量	Right	753.6	781.9			4562.6	2629.2	2698.7	12315.5
	Left	796.2	842.6			4825.4	2580	2725.3	12616.9
	差	42.6	60.7			262.8	49.1	26.6	301.4
筋肉量	Right	2796.7	2952.6			22866.6	7528.5	7583.7	46787.9
	Left	2644.2	2742.1			21820.2	7185.3	7477.9	44802.8
	差	152.5	210.5			1046.4	343.2	105.8	1985.1
骨量	Right	184.3	202	97.2	98	753.1	452.6	451.6	2600.8
	Left	185.4	177.4	102.9	98.4	757.7	438.2	456.7	2560.6
	差	-1.1	24.6	-5.7	0.3	-4.6	14.4	-5.1	40.2

右組群では今回対象者の19名中の16名がR-armの方がL-armの重量より多く、最大差は9.25gで、最小は0.91gであった。一方、3名のみがL-armの方が高い値を示し、その範囲は3.61gから6.21gであった。左右上肢における差の平均は3.12g(±4.02)で、重量においてはR-armがL-armより有意に多かった(T=2.06 P<0.05)。左組群においては13名中9名が、R-armの方がL-armの重量より多く、最大差は11.56gであり、逆に最

小差は0.78gであった。L-armの方が高い値を示したのは、4名であり差における範囲は最大3.83g、最小0.16gであった。差の平均では1.87g(±2.42)右組群同様にR-armの方がL-armより多いが、有意差は認められなかった。下肢においては、右組群のほぼ半数に当たる10名がR-legの方がL-legより多く、9名が反対の傾向を示した。それらの差における範囲は、それぞれ13.73gから1.99g、9.28gから0.79gとなった。左右下肢の差

表2A 右組群：上肢と下肢における体重1kg当たりの重量・筋肉量・脂肪量(g)
Table 2A The right handed grip: The volume (weight, fat, and muscle) per kg of arms and legs (g)

Subject	重量				脂肪量				筋肉量				
	L-arm	R-arm	L-leg	R-leg	L-arm	R-arm	L-leg	R-leg	L-arm	R-arm	L-leg	R-leg	
1R	A	62.74	68.13	169.04	172.17	17.75	18.79	51.82	51.73	41.92	45.82	110.61	113.86
2R	B	60.51	63.94	165.73	163.75	12.53	11.59	38.77	35.56	44.83	48.73	118.78	120.30
3R	C	65.15	58.94	176.80	167.52	8.35	8.36	38.80	36.41	53.62	47.37	130.03	123.62
4R	D	56.37	64.24	176.61	188.12	11.42	11.99	49.98	53.73	42.29	49.10	119.91	127.47
5R	E	54.15	70.08	170.09	166.28	10.09	10.06	40.20	39.20	50.84	56.07	122.68	118.38
6R	F	66.44	68.54	173.05	167.08	12.77	12.38	41.67	41.69	50.36	52.48	123.72	117.91
7R	G	55.25	59.73	170.66	180.94	15.06	15.28	52.23	56.15	37.85	41.85	112.10	118.17
8R	H	64.17	67.64	180.45	183.89	15.70	13.43	47.72	50.58	45.33	50.52	125.25	125.85
9R	I	66.12	62.51	169.37	166.58	12.97	11.86	35.98	37.71	49.95	47.47	126.15	124.21
10R	J	61.42	62.89	167.69	176.22	10.14	11.74	34.82	39.18	47.97	47.87	124.68	128.84
11R	K	56.92	63.93	168.22	165.97	12.79	12.43	38.24	39.46	41.29	48.20	122.67	119.48
12R	L	63.34	64.25	172.67	170.94	12.52	12.18	42.50	43.69	47.65	48.78	122.81	120.64
13R	M	55.99	61.36	166.62	168.80	8.23	8.75	29.00	30.67	44.91	49.54	129.99	131.01
14R	N	56.44	60.42	163.79	177.52	12.82	13.59	43.18	43.88	41.03	43.96	113.81	126.50
15R	O	58.42	62.43	162.53	176.28	10.03	10.09	41.87	46.28	48.35	48.03	132.47	121.79
16R	P	62.22	65.41	166.91	163.28	12.00	13.09	46.44	44.33	44.83	48.88	118.12	114.77
17R	Q	73.93	70.26	171.99	175.76	12.06	12.61	36.05	37.47	58.49	53.81	128.44	130.57
18R	R	55.04	60.90	174.43	183.66	11.54	14.62	49.06	51.21	40.70	43.18	118.47	125.31
19R	S	49.81	59.07	176.52	178.52	13.65	16.36	51.60	51.70	33.93	39.90	117.84	124.11
	Av	60.81	63.98	171.75	173.44	12.23	12.64	42.64	43.72	45.48	47.98	122.03	122.86
	S.D	5.53	3.59	5.10	7.38	2.36	2.47	6.59	7.15	5.75	3.94	6.12	4.95

表2B 左組群：上肢と下肢における体重1kg当たりの重量・筋肉量・脂肪量(g)
Table 2B The left handed grip: The volume (weight, fat, and muscle) per kg of arms and legs (g)

Subject	重量				脂肪量				筋肉量				
	L-arm	R-arm	L-leg	R-leg	L-arm	R-arm	L-leg	R-leg	L-arm	R-arm	L-leg	R-leg	
1L	A	58.88	59.65	158.89	171.41	12.38	12.11	35.58	37.92	43.19	44.43	115.90	125.18
2L	B	71.95	71.79	170.97	172.36	15.47	16.80	47.25	46.79	52.08	51.13	115.41	116.97
3L	C	56.96	53.41	186.24	192.44	7.91	7.48	35.01	38.18	46.19	43.25	143.78	146.53
4L	D	67.50	64.49	151.65	184.99	12.08	12.74	32.27	35.43	52.06	48.65	112.00	121.94
5L	E	58.12	59.86	166.75	189.78	11.55	11.43	39.89	42.21	43.64	40.18	116.44	120.74
6L	F	58.05	54.22	163.78	170.52	7.78	8.55	32.13	33.73	43.50	47.18	129.29	136.56
7L	G	54.55	58.83	168.83	177.94	17.59	17.67	43.91	44.33	48.25	50.12	113.46	118.65
8L	H	69.84	71.23	165.20	171.08	15.38	14.38	47.02	48.79	39.97	42.83	112.08	113.23
9L	I	60.05	61.61	170.63	167.63	14.49	16.17	43.44	46.86	42.46	42.65	119.74	112.86
10L	J	64.36	60.36	175.24	184.40	13.68	15.59	45.26	50.52	48.02	50.00	123.25	137.09
11L	K	49.56	57.85	168.12	179.27	14.66	16.08	51.34	54.61	32.50	38.96	110.24	117.91
12L	L	56.60	68.16	171.26	179.53	13.51	16.61	42.08	43.61	40.62	48.97	123.12	129.26
13L	M	61.48	62.75	187.09	192.02	13.91	13.74	55.09	57.90	44.40	45.83	124.12	125.96
	Av	60.61	62.48	169.59	177.18	13.10	13.80	42.33	44.88	44.37	45.71	119.91	124.84
	S.D	6.33	8.02	9.67	9.87	2.82	3.21	7.15	7.27	5.25	3.98	9.15	10.13

における平均値は1.69g (±6.57) でR-legの方がL-legより重量において多いが、有意差は認められなかった。左組群においては、1名以外すべての対象者がR-legの重量がL-legより大きく、最大でその差は19.16g、最小で1.39gであり、1名のみの逆の傾向を示した対象者は、L-legの方がR-legより3.00g多かった。全体の平均における差は、7.59g (±5.71) でありR-legの方がL-legが多いが、左組群における下肢の左右の有意差は認められなかった。

体重1kg当たりの脂肪量に関して、上肢における左右差は、右組群では19名中13名がR-armの脂肪量がL-armより多く、最大で3.08gの差がみられ、最小ではわずか0.01gであった。一方、

残りの6名に関しては、逆に、脂肪量がL-armの方がR-armより多く、その差において最大2.28g、最小0.04gの範囲であった。右組群における上肢の差は平均0.409g (±1.27) でR-armの脂肪量がL-armより多いが、有意差は認められなかった。左組群における、上肢における体重1kg当たりの脂肪量では、13名中8名が最大差3.11gから最小差0.69gの範囲でR-armがL-armより多く、反対の傾向を示したのは5名であり、最大1.00gの差から最小0.12gの差において、L-armの脂肪量が多くなった。差の平均は0.69g (±1.16) でR-armがL-armより脂肪量が多く、有意な差は認められなかった。下肢における体重1kg当たりの脂肪量については、右組群にお

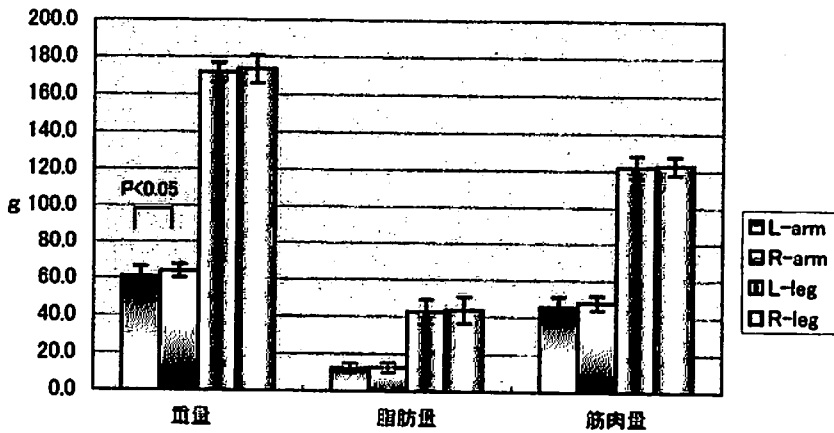


図1A 右組群：重量・脂肪量・筋肉量/kg
Fig. 1A The right handed grip: The volume /kg of weight, fat and muscle

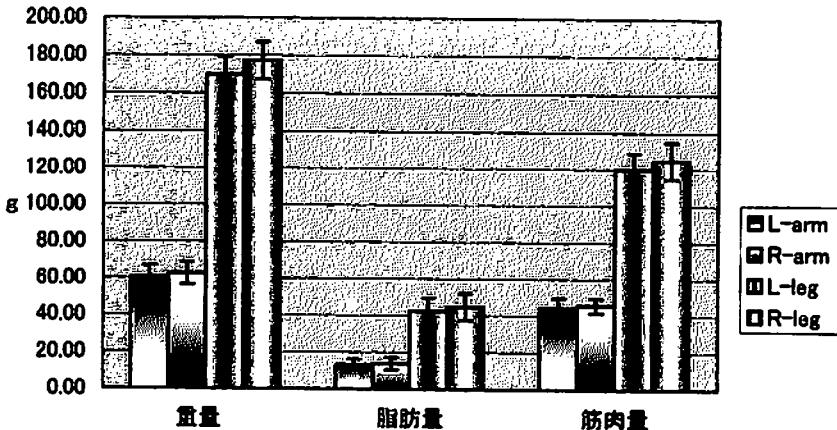


図1B 左組群：重量・脂肪量・筋肉量/kg
Fig. 1B The left handed grip: The volume /kg of weight, fat and muscle

いて14名がR-legの方が多く、その差は最大で4.31gであり最小は0.02gであった。一方、L-legの脂肪量が多かったのは5名であり、最大3.21g、最小0.09gとなった。左右の差の平均は1.08g(±2.23)でR-legの方がL-legより多いが、その差は認められなかった。左組群においては、重量同様に1名以外すべての対象者がR-legの脂肪量がL-legより多く、その差は最大5.27gであり、最小は0.42gであった。逆の傾向を示した1名の対象者はL-legの方が0.46g R-legより脂肪量が多かった。差における平均は2.35g(±1.45)で右組群同様にR-legの脂肪量がL-legより多い。しかしながら、下肢の左右の有意差は認められなかった。

体重1kg当たりの筋肉量については、右組群では19名中15名がL-armよりR-armが多く、最大差は6.91gで、最小は1.13gであった。L-armの方が大きい値を示したのは4名であり、差における範囲は6.25gから0.10gであった。左右差の平均は2.50g(±3.65)でR-armにおける筋肉量がL-armより多いものの、有意な差は認められなかった。左組群の左右上肢における筋肉量の差

については、13名中9名が最大8.35g、最小0.20gでR-armの方がL-armより多く、一方で4名がその反対傾向を示しL-armが3.46gから0.94gの範囲で多かった。平均では1.33g(±3.58)の差でR-armの筋肉量がL-armより多いが有意差は認められなかった。下肢についての筋肉量は、右組群では11名の対象者がR-legの方がL-legより多く、その差は12.69gから0.59gの範囲であった。逆のL-legの筋肉量が多かった8名における差の範囲は、10.68gから1.94gであった。差における平均では0.833g(±5.73)とR-legの筋肉量がL-legより多いが、有意差は認められなかった。左組群においては、重量、脂肪量同様に、13名中12名がR-legの筋肉量がL-legより多く、その差は最大13.84gから最小1.15gであった。唯一の逆の傾向である1名は6.88gのL-legの筋肉量が多かった。左右差における平均は4.93g(±5.15)で右組同様にR-legの体重1kg当たりの筋肉量がL-legより多くなっているが、有意差は認められなかった。

表3と図2 体重1kg当たりの骨量を左右対称

表3A 右組群：上肢と下肢における体重1kg当たりの骨量(g)
Table 3A The right handed grip: The bone volume per kg of arms, libs and legs (g)

		骨 量					
Subject		L-arm	R-arm	L-ribs	R-ribs	L-leg	R-leg
1R	A	3.06	3.52	1.37	1.25	6.61	6.58
2R	B	3.16	3.62	1.84	1.68	8.18	7.88
3R	C	3.18	3.22	1.44	1.75	7.98	7.49
4R	D	2.66	3.15	1.86	1.37	6.71	6.92
5R	E	3.22	3.93	1.35	1.45	7.21	7.19
6R	F	3.31	3.69	1.51	1.43	7.65	7.49
7R	G	2.34	2.60	1.44	1.49	6.33	6.62
8R	H	3.13	3.70	1.47	1.40	7.48	7.46
9R	I	3.19	3.17	1.33	1.54	7.24	6.66
10R	J	3.30	3.28	1.89	1.60	8.09	8.20
11R	K	2.84	3.29	1.57	1.56	7.31	7.03
12R	L	2.55	2.84	1.65	1.64	6.72	7.06
13R	M	2.86	3.07	1.80	1.75	7.63	7.12
14R	N	2.58	2.87	1.43	1.49	6.80	7.14
15R	O	3.04	3.30	1.91	1.90	8.10	8.21
16R	P	2.81	2.81	1.60	1.53	6.58	6.43
17R	Q	3.38	3.84	1.27	1.85	7.50	7.72
18R	R	2.80	3.09	1.62	1.59	6.91	7.14
19R	S	2.23	2.80	1.74	1.88	7.08	6.99
	Av	2.93	3.25	1.58	1.60	7.27	7.22
	S.D	0.34	0.38	0.21	0.19	0.57	0.52

表 3B 左組群：上肢と下肢における体重 1 kg 当たりの骨量 (g)
 Table 3B The left handed grip: The bone volume per kg of arms, ribs and legs (g)

		骨 量					
Subject		L-arm	R-arm	L-ribs	R-ribs	L-leg	R-leg
11	A	3.31	3.11	2.11	2.20	7.43	8.32
21	B	4.41	3.86	1.46	1.43	8.31	8.60
31	C	2.87	2.68	1.77	1.91	7.45	7.72
41	D	3.38	3.10	1.65	1.61	7.39	7.62
51	E	2.88	2.60	1.67	1.70	7.36	7.57
61	F	3.27	3.10	1.95	1.80	7.40	7.85
71	G	3.99	3.44	1.44	1.45	7.84	8.09
81	H	2.77	2.65	1.78	1.78	7.64	7.76
91	I	3.10	2.79	1.89	1.61	7.44	7.90
101	J	2.68	2.78	1.71	1.98	6.74	6.79
111	K	2.40	2.81	1.64	1.62	6.54	6.75
121	L	2.47	2.58	1.81	1.50	6.08	6.65
131	M	3.17	3.18	1.48	1.56	7.89	8.16
Av		3.13	2.97	1.72	1.66	7.35	7.66
S.D.		0.57	0.37	0.20	0.22	0.59	0.61

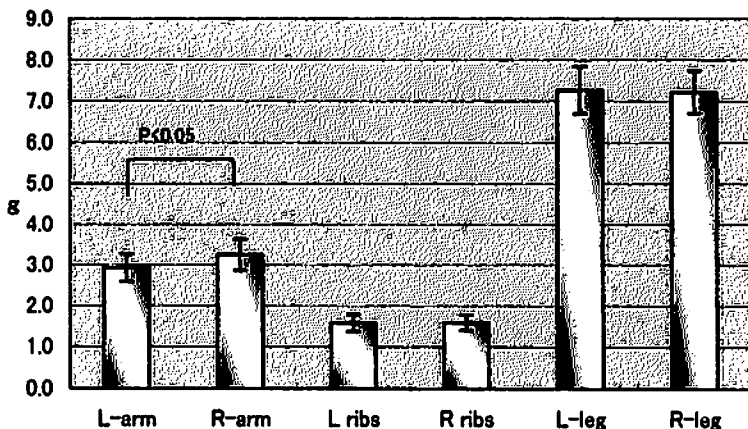


図 2A 右組群：骨量/kg
 Fig. 2A The right handed grip: The bone volume /kg

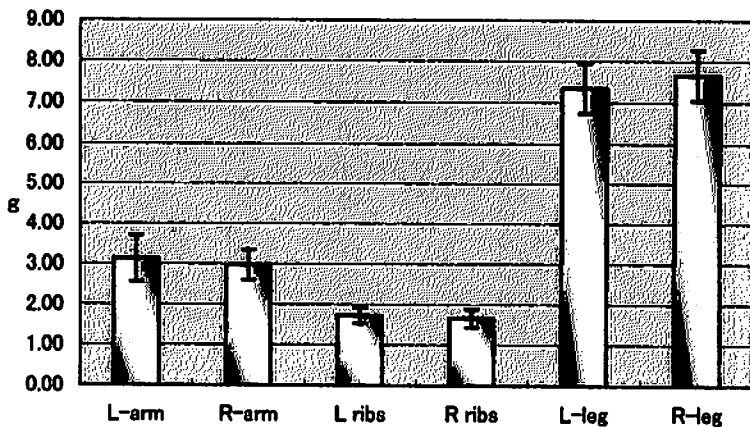


図 2B 左組群：骨量/kg
 Fig. 2B The left handed grip: The bone volume /kg

部位の右組群、左組群で表している。右組群での上肢における骨量の左右差は、19名中1名が左右同量であったが、16名がL-armよりR-armが多い値を示し、その差における範囲は最大差0.71g、最小は0.21gであった。L-armの骨量が多い傾向を示した2名においては、双方ともその差は0.02gと僅かであった。左右上肢における差の平均は3.12g (± 4.02)で、骨量においてはR-armがL-armより有意に多かった ($T = 2.75$ $P < 0.05$)。左組群では、右組群とは逆の傾向を示し13名中9名において0.56gから0.12gの差の範囲でL-armの方がR-armより骨量が多く、4名が右組群の多数と同様にR-armが0.41gから0.01gの範囲で多かった。平均では0.16g (± 0.27)で右組群とは反対にL-armにおける骨量がR-armより多いが、有意差は認められなかった。肋骨での右組群における骨量の左右差は、右組群では19名中12名においてL-ribがR-ribの骨量が多い。その差においては最大0.16gから最小0.01gの範囲であった。R-ribの骨量が多い傾向を示したのは7名であり、その差の範囲は0.57gから0.05gであった。右組群の左右肋骨における差の平均は0.013g (± 0.21)でR-ribがL-ribより多いが、有意差は認められなかった。左組群においては、1名に関して左右同じ値であったものの、L-ribの骨量が多いのは13名中6名であり、その範囲は最大0.33g、最小は0.02gであった。一方、R-ribの骨量が多かった6名で、最大0.14gから最小は0.02gの範囲での差であった。左右差の平均は0.064g (± 0.16)でL-ribの骨量がR-ribより多いが、有意差は認められなかった。下肢に関する骨量においては、右組群では19名中11名がR-legの方がL-legより0.58gから0.02gの範囲で多い。L-legの骨量が多かった8名に関しては、最大差0.34gから最小差の0.11gであった。左右差における平均は0.044g (± 0.29)であり、L-legの骨量がR-legより多い傾向を示したが有意な差は認められなかった。左組群においては、すべての対象者13名がL-legよりR-legの方において骨量が多い傾向を示した。その範囲は最大0.88gから最小0.05gの範囲

であり、左右差の平均は0.314g (± 0.22)であり、R-legの骨量が多い傾向を示したものの有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

柔道には利き腕、利き足が有り、それぞれの組み方にその役割も異なってくる。手においては相手の前後のバランスを崩す動きを中心とする「引手」、相手を上下に崩す動きが中心となる「釣手」、足に関しても同様に、技をかける上で自分の身体を支える「軸足」と技を直接試みる「刈足」等に分かれている。また、柔道は直接組み合う対人競技であるために、相手が自分と同じ組手であれば「相四ツ」になるし、異なる組手であれば「喧嘩四ツ」になり、それぞれの上肢下肢の使い方や負担も異なってくる。よって、左右どちらの組手であっても、柔道競技における身体的な各部位における負担が異なるため、当然のことながら左右における部位での身体組成的な違いが生じると考えられる。

本研究の結果より、統計的に有意な差が認められた部位としては、右組群の上肢における重量と骨量であった。左組群では統計的に差が認められた部位はなかった。右組群においては19名中16名、(約84%)が右上肢の重量が多い。一方で統計的な差が認められていないものの、左組群においても13名中9名(約69%)が同様に右上肢の重量が多い。また、これらの重量の最も大きな割合を占めている、筋肉量においても統計的な差が出ていないものの、右組群では19名中15名(約79%)が、左組群では13名中9名(約69%)において同様な結果を示している。しかしながら、脂肪量に関しては、同じような結果を示していない。このことは、筋肉においてはその部位による活動により変化を伴うが、脂肪に関してはエネルギーとしての運動の関与である為に、筋肉のように部分的な変化が少ない為であると思われる。しかしながら、筋肉量と比例すると言われている骨量に関しては、

統計において差が認められない範囲であるものの、右組群においては、19名中17名（約89%）の今回の対象者が右上肢における骨量が多いのに対して、左組群では、13名中9名（約69%）が反対に左上肢の骨量が多く、体重が軽い対象者にその傾向が現れている。このことは、右組群、左組群に関わらず、柔道競技における左右上肢の運動形態の違いを示唆するものであり、筋肉量に関しては、運動形態が異なるが共に筋肥大等の発達がみられ、引手に関しては釣手より、重力的負荷など外的負荷がかかりやすい為、骨量においてこのような結果になったと推測する。

下肢では、両群において統計的な差は、重量、脂肪量、筋肉量、骨量とすべての項目でみられていない。しかしながら、下肢においては右組群で、左下肢、右下肢が均等にわかれているのに対して、左組群は13名中12名（約92%）が右下肢の重量が多い。それに関連して、筋肉量、骨量でも同様の傾向を示しており、右組群に関しては両下肢において筋肉量が多い人数が約半数であるのに対し、左組群では筋肉量でも13名中12名（約92%）であった。骨量に関しては全員が右下肢においての量が多くなっている。このことは、柔道では先に述べたように、それぞれの下肢における役割が異なるものの、右組群に関しては、個人レベルによりその部位に掛かる負荷などは異なり、言い換えれば、両下肢においての体重を支えている割合が一定せず、本来「軸足」の役割を主として行っているとされる足であっても、状況によっては「軸足」のような役割も果たすことも多いと推測される。一方で、左組群では左右の下肢における役割がどの選手においても、ある程度明確であるように思われその負荷の違いにより、統計的には今回の結果では示されていないものの、左組群のほぼ全対象者が右下肢の重量、そしてそれに関連して、筋肉量、骨量において多い傾向を示したのではないかと推測する。又、脂肪量に関しても、右組群では19名中5名（約26%）が右下肢の方が大きな値を示しているものの、左組群では1名を除いた13名中12名（約92%）が右下肢の脂肪量が多い。

このことは、下肢における重量の左右における相違は、左組群においては、今回の測定項目の筋肉、脂肪、骨のすべてにおいて多いことになり、左右下肢においては左組群の柔道選手はその役割が、右組群よりより明確であるのではないかと思われる。また、一方で今回の結果でも、阿部・福永の報告¹⁰⁾にもあるように、部位における筋肉の発達はその部位における、脂肪量の減少に関して直接は関係が無いことが示唆される。

骨量のみ測定を行った、肋骨に関しては、統計的にも差がみらず、右組群では19名中12名（約63%）、左組に關しても13名中7名（約54%）とほぼ半数に左右の肋骨における量が異なっている。柔道において技を試みる上で、身体回転動作が多く含まれる。そして、右組においては、ほとんどの技が左回転で上体に捻りが生じる、左組においては右回転が主流となり、右組群では反対の捻りが生じる。このような観点から、肋骨においても左右における差が、各組手においてあらわれるのではないかと推測したが、今回の結果では、あらわれなかった。人体的に、身体捻れが生じるような場合は、肋骨において片側のみ捻れるようなことは少なく、常に左右連動してそれらの動作に関わっているために、このような結果になった。

これらのことより、柔道選手における組手による左右の身体組成の違いは、「引手」「釣手」により異なり、双方で筋肉の発達はみられるものの、骨量において違いが生じていると考えられる。一方で、統計的な差がみられなかったものの、人数的な傾向から推測すると、下肢において特に左組選手は、相手と組み合った状態や、技を試みる段階において、体重など両下肢における配分などに差があり、「軸足」「軸足」などの役割が、右組選手より明確に行っているために、人数において差があらわれたと考えられる。よって個人差はあるものの右組選手は、比較的両足が同じ位置となる自然体に近い状態で、構えたり技を試みているように推測するが、左組選手に置いては左変形といった、左足を右足よりやや出した状態で構えたり技を試みているように思われる。今後の課題と

して今回の研究に、人数、競技レベル、得意技等の条件を加味し検討、評価する必要があるであろう。

V. まとめ

本研究では、柔道競技者の右組、左組における体組成面における左右差について把握することを目的とし、上肢、下肢、肋骨における重量、筋肉量、脂肪量、骨量における影響を観察し検討を行った。対象は東海大学女子柔道部員32名を、柔道競技における右組19名(右組群)、左組13名(左組群)に分け、それぞれの群をHologic社製、QDR-4500Aを用い二重エネルギーX線吸収法(DXA法)で測定を行い、以下のような結果を得た。統計的に有意な差が認められた点としては、右組群における上肢の、重量と骨量において右上肢が多かった。これは、「引手」「釣手」による運動形態の違いにより、このような結果であったと推測する。統計的には明確にならなかったものの、人数的な割合として左組においても類似した傾向が窺えた。下肢においても、左組群ではすべての項目で右下肢の量が左下肢よりも人数的に多かったものの、右組群ではそれと類似した傾向は窺えず、下肢における、右組柔道競技者と左組柔道競技者との柔道スタイルの違いが示唆されるのではないだろうか、しかしながら、統計的には現時点では明確になっておらず今後の条件を加味し、更に検討、評価の必要性があると考えられる。

参考文献

- 1) 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫, 近藤正勝, 池川繁樹: 大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特性, 体力科学, Vol. 35, pp. 192-199, 1986.
- 2) 福永哲夫: 運動の種目特性と体脂肪—スポーツ

パフォーマンスに及ぼす身体組成—, 臨床スポーツ, Vol. 17, No. 1, pp. 35-44, 2000.

- 3) 阿部 孝, 福永哲夫: 日本人の体脂肪と筋肉分布, 杏林書院, pp. 50, 1995.
- 4) 石井直方: 筋と筋力の科学—筋・骨格系の仕組みとトレーニング—, フィジーク, No. 110, Feb, 1999.
- 5) 福林 徹: 骨の代謝とトレーニング・運動との関係, コーチングクリニック, pp. 6-11, 10. 1999.
- 6) 恩田哲也, 有賀誠司, 寺尾 保, 中村 豊, 宮崎誠司, 白瀬英春, 中西英敏: 女子柔道選手の体重調整による体組成の変化, 東海大学スポーツ医学雑誌, 第12号, pp. 36-41, 2000.
- 7) 恩田哲也, 有賀誠司, 寺尾 保, 中村 豊, 宮崎誠司, 白瀬英春, 中西英敏, 北田晃三: 女子柔道選手の体脂肪分布の特性について, 東海大学スポーツ医学雑誌, 第13号, pp. 34-39, 2001.
- 8) 恩田哲也, 有賀誠司, 寺尾 保, 中村 豊, 宮崎誠司, 白瀬英春, 中西英敏: 女子柔道選手における大学柔道部入部後の身体的変化の特性について, 東海大学スポーツ医学雑誌, 第14号, pp. 41-47, 2002.
- 9) 恩田哲也, 有賀誠司, 寺尾 保, 中村 豊, 吉村哲夫, 大塚真由美, 松本秀夫: 大学女子柔道選手と大学女子剣道選手における身体組成の違いについて, 東海大学スポーツ医学雑誌, 第15号, pp. 26-31, 2003.
- 10) 阿部 孝, 福永哲夫: 日本人の体脂肪と筋肉分布, 杏林書院, pp. 84-85, 1995.
- 11) 坂本孝子, 高橋勝美, 谷代一哉, 中野正一: 形態および体組成からみた剣道選手の四肢の左右差, 運動とスポーツの科学, 第7巻 第1号, pp. 44-55, 2001.
- 12) 服部由季男, 阿部真男, 杉山文宏, 植田恭史, 村川俊彦, 原島三郎: スポーツ種目と骨密度に関する研究, 東海大学紀要 体育学部, 第26号, pp. 47-53, 1996.

等速性筋力測定装置による 国内一流陸上競技者の力発揮特性の評価

山田 洋 (体育学部)

金子公宏 (明治大学理工学部) 木塚朝博 (筑波大学体育科学系)

塩崎知美 (筑波スポーツ科学研究所) 横井孝志 (産業技術総合研究所)

Muscle strength in Japanese top athlete evaluated by using isokinetic machine

Hiroshi YAMADA, Kimihiro KANEKO, Tomohiro KIZUKA, Tomomi SHIOZAKI, Takashi YOKOI

Abstract

The purpose of this study is to evaluate muscle strength in Japanese top athlete using by isokinetic machine (Cybex). Subjects were 8 healthy male (Top group, $n = 3$; Control group, $n = 5$). Angular velocity was set 30, 90, 180, 300, 500 degree per second in Cybex machine. The torque of knee joint during extension and flexion was larger in top group than control subjects all through the angular velocity. The torque of knee joint during extension and flexion decreased with increase of angular velocity. The ratio of decrease was smaller in the top group than in the control group significantly. The ratio of extension torque to flexion torque was 2.0 during low angular velocity in both subject groups. The extension/flexion ratio became small with increase of angular velocity. The extension/flexion ratio was smaller in the top group than in the control group. The extension/flexion ratio at high angular velocities (300 and 500 degree/s) was 1.0 in the top group. These results suggest that top athlete has muscle property suitable to sprint performance.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 54-60, 2004)

I. はじめに

陸上競技のスプリント走においては、古くから大腿の後面、つまり膝関節の屈筋群の働きが重要であることがいわれてきた^{1, 2)}。この膝関節の屈筋群の筋力を定量化するために、CybexやBiodexのような等速性筋力測定装置が用いられ、ジュニア期の陸上競技選手の動的筋力^{3, 4)}、短距離・跳躍トップ選手の動的筋力^{5, 6)}、トレーニン

グが動的筋力に及ぼす影響⁷⁾等が調べられている。

しかしながら、これらの研究では、筋力計測装置の角速度が300度/秒までしか用いられておらず、実際のスプリント場面を想定すると、より高速度での検討が必要となってくる。さらに、これらの報告は比較的古く、近年における検証が行われていない。周知のとおり、近年の陸上競技におけるパフォーマンス向上は著しく、これらのデータの定期的なバージョンアップは、さらなるパフォーマンス向上のために不可欠である。とりわけ、一流競技者のデータ計測、およびそのデータ

の蓄積は、体育・スポーツ科学分野における最重要課題のひとつであるといえる。本研究では、等速性筋力測定装置を用いて、2000年のシドニーオリンピックに出場した国内一流陸上競技者を対象に、高速度の動的筋収縮時における膝関節伸展・屈曲力の発揮特性の評価を行った。

その後、膝関節の力発揮特性の指標として、等速性筋力測定器 (Cybex NORM 770, Cybex) を用いて等速性最大筋トルクを測定した^{8,9)}。最大筋トルクの測定においては、膝関節伸筋群、屈筋群の短縮性筋収縮による伸展トルク、屈曲トルクを、角速度30度、90度、180度、300度、500度/秒での全力3回連続試技をランダムに行った。測定は、被験者を椅子に座らせ、胸の前で腕をクロスさせた姿勢で行った。関節可動範囲は、被験者の膝関節への負担を軽減させるため、解剖学的0度 (膝関節完全伸展位) を基準として、屈曲15度から80度とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者はシドニーオリンピックに出場した陸上競技者3名 (トップ群) であった。なお現在では引退した被験者もいるが、実験当時は現役選手であった。また、コントロール群として日常定期的にスポーツを行っていない男子大学生5名を被験者とした。表1に被験者のプロフィールを示す。

2. 計測方法

被験者にはあらかじめ実験の趣旨を説明した上で了承を得た。十分なウォーミングアップを行っ

3. 解析方法

Cybexからの出力 (トルク、速度、角度、方向) をデータレコーダ (SONY) に収録した。収録したデータは、オフラインでAD変換後、波形解析ソフト (スーパースコープ、東洋テクニカ) を用いて等速収縮時のピークトルクを算出した (図1)。二群間の差の検定には対応のないT検定を用い、有意水準は5%未満とした。

表1 被験者身体特性およびトップ群の競技成績
Table 1 Physical property in all subjects and performance of top group

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)
トップ群 (n=3)	182.5±2.4	72.2±4.5	28.0±2.9
コントロール群 (n=5)	172.6±3.0	64.6±4.6	21.2±2.9

トップ群	種目	記録		
Sub.A	110H	13.55	元日本記録	シドニーオリンピック代表
Sub.B	走高跳	2m31	元日本記録	シドニーオリンピック代表
Sub.C	400m	45.57		シドニーオリンピック代表
	400H	48.34	元日本記録	



測定風景

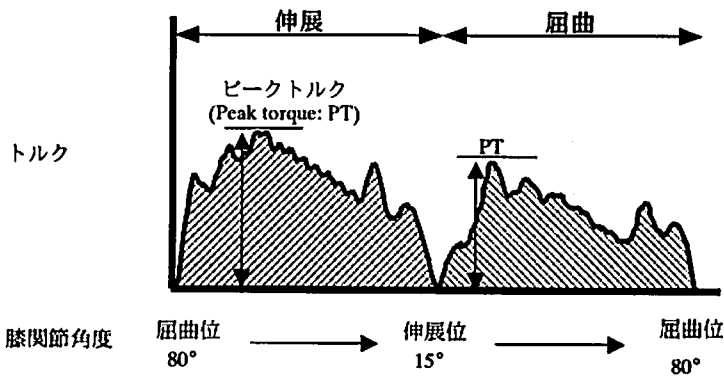


図1 計測項目
Fig. 1 Parameter of measurement

Ⅲ. 結 果

1. 力発揮の特徴

図2にトルク曲線の一例を示す。上段が膝伸展の試技、下段が膝屈曲の試技である。図中の濃細線がトップ群の被験者、薄太線がコントロール群のデータを示している。横軸は角速度、縦軸は発揮トルクである。当然のことながら、トップ群の発揮トルクは、コントロール群と比較して大きい。また、発揮トルクは膝伸展・屈曲とも、角速度の増大に伴って低下している様子がわかる。このようにトルクの絶対値は、トップ群とコントロール群で異なるものの、力発揮曲線の様相については

あまり差がないようであった。

図3は、膝関節伸展・屈曲トルクのピーク値の平均±標準偏差を示している。トップ群の膝伸展トルクは、コントロール群の値と比較して、すべての角速度において有意に大きかった。トップ群の膝屈曲トルクについても、コントロール群の値と比較して、すべての角速度で大きく、90、300、500度/秒の試技でその差は有意であった。角速度の増大に伴う発揮トルクの低下率を比較すると、膝伸展試技では、トップ群、コントロール群ともに高速度の試技で低速度試技(30度/秒)の値のほぼ2分の1程度に低下している。膝屈曲試技では、コントロール群の高速度(500度/秒)におけるトルクが、低速度(30度/秒)の値のほぼ半分に低下しているのに対して、トップ群の高速度

等速性筋力測定装置による国内一流陸上競技者の力発揮特性の評価

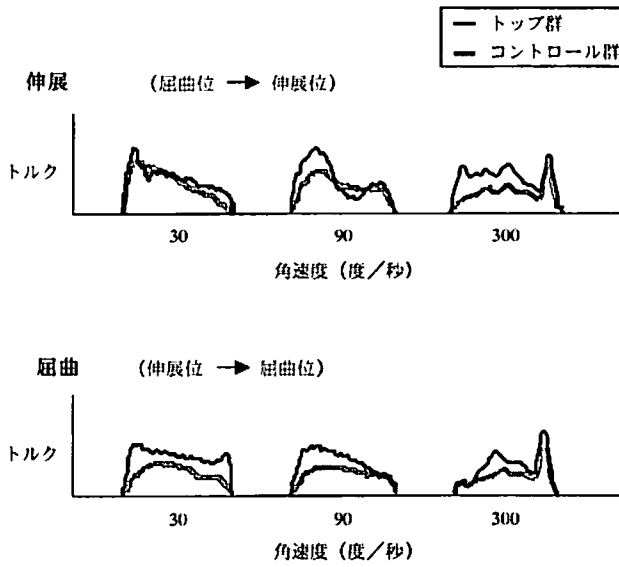


図2 力発揮曲線の一例
Fig. 2 Typical example for force curve

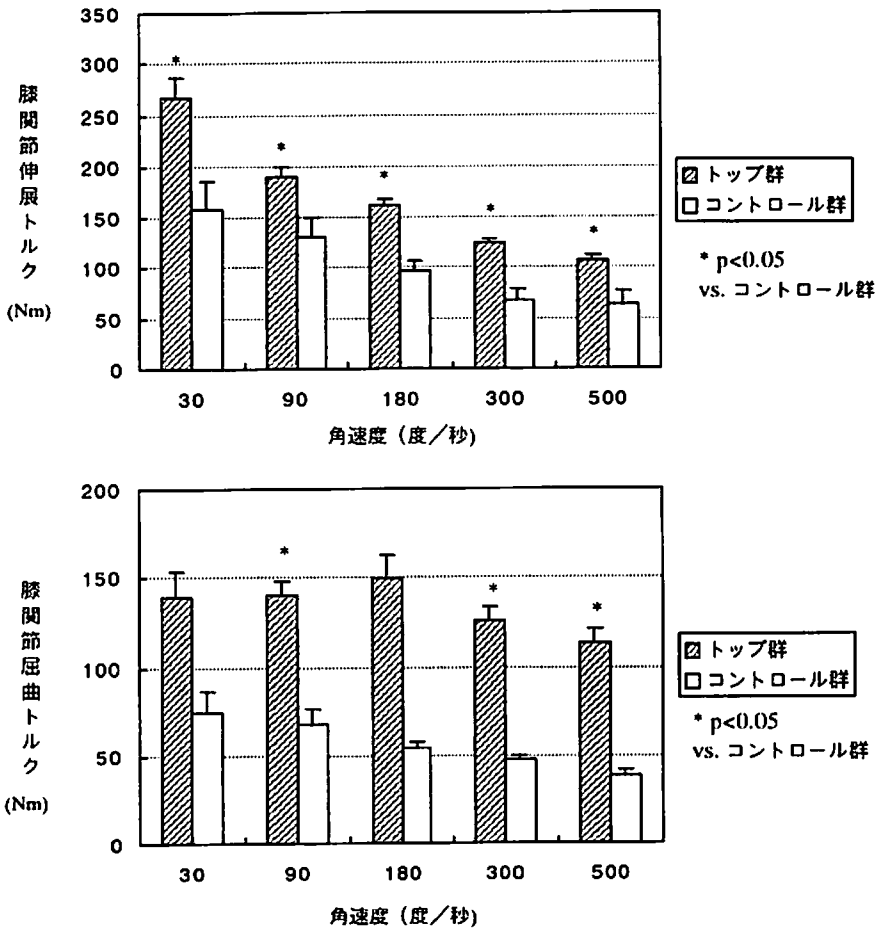


図3 膝関節伸展・屈曲力
Fig. 3 Extension torque and flexion torque of knee joint

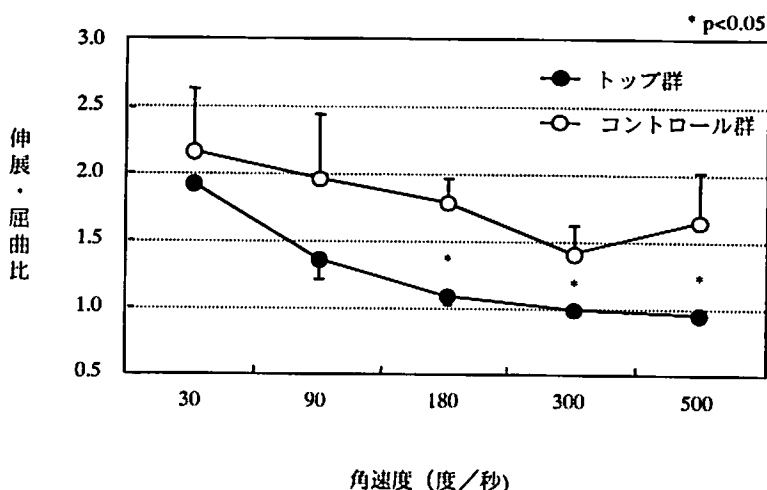


図4 膝関節伸展・屈曲比

Fig. 4 Ratio for extension to flexion of knee joint

(500度/秒)における発揮トルクはあまり低下せず、最低速試技のやや低値を示すにとどまった。

2. 伸展・屈曲比

膝関節発揮トルクの絶対値の違いや、角速度の増大に伴うトルク低下の要因を除去し、伸展・屈曲の関係をより明確化するために、膝関節の伸展トルクと屈曲トルクの比(伸展・屈曲比)を算出した(図4)。伸展・屈曲比は、低速度(30度/秒)において両群ともにおよそ2.0と、伸展筋群の働きが強いことを意味していた。この伸展・屈曲比は角速度の増大に伴って小さくなり、コントロール群の300度/秒と500度/秒ではおよそ1.5、同様の時のトップ群の値はおよそ1.0であった。

IV. 考 察

1. 本研究の意義と計測の妥当性

本研究では、Cybexを用いて、2000年シドニーオリンピックに出場した国内一流陸上競技者の膝関節伸展・屈曲力の発揮特性の評価を行った。このときCybexの角速度の設定は、30度、90度、180度、300度、500度/秒の5段階であった。先

述したように、先行研究において等速性筋力測定装置を用いた研究が行われているものの、これらの報告では等速性筋力測定時の角速度の設定が、最も速いものでも300度/秒であった。本研究では、実際のスプリント場面を想定して、500度/秒の角速度で計測を行った。もし競技者が100mを10~11秒で走ったとすると、実際の脚の角速度は300度/秒を大きく上回ることになる。したがって、500度/秒の角速度において脚の筋力(トルク)を測ることは、トップ競技者の力発揮特性を知るうえで非常に重要な意味を持つと思われる。この試みの結果、図3のような結果を得ることができた。方法で述べたように、本研究ではトルク他に、速度、角度、方向の情報をCyexよりアナログ出力し、その値をコンピュータに再入力して詳細な処理・検討を行った。ピークトルクの値は、等速収縮時、つまり速度が一定であるところのピークを検出している。しかしながら、500度/秒の試技に関しては、コントロール群はもちろん、トップ群においても完全なる速度一定期間が認められなかった。したがって、値は得られているものの、厳密な意味での等速性筋力とはいえない。これら500度/秒を超える角速度における等速性筋力の計測、およびその解釈については、

今後の検討課題であると考える。

2. 一流競技者の力発揮特性

トップ群の膝伸展トルクと屈曲トルクは、コントロール群と比較して大きかった。これらの結果は、先行研究と同様であった^{2,7)}。等尺性収縮においては、出力レベルが高くなると、速筋線維が動員される。同様に、等尺性最大筋力発揮時には、速筋、遅筋の両者が動員されることが知られている¹⁰⁾。周知の通り、速筋線維は収縮力が大きく、瞬発力に富んでいる。したがって、トップ群では最大筋力発揮時に、1) 動員できる運動単位の絶対数が多い、2) 動員される運動単位の中に速筋線維が多く含まれている、のどちらか、もしくは両者の可能性が高い¹¹⁻¹³⁾。

このトップ群とコントロール群の発揮トルクの差は、Cybexの角速度の増大に伴って大きくなった。つまり、トップ群では、速い収縮中でも高い力を発揮できていた(図3)。ヒトを対象として高速度の動的筋収縮中に、運動単位の動員度を正確に調べた研究はみられないが、動的収縮時にも、上述した筋収縮の生理学的・力学的な機構が適用できると考えられる。

3. スプリントにおける膝関節伸筋群および屈筋群の役割

コントロール群における膝関節の伸展・屈曲比は全ての角速度においておよそ1.5以上の値を示したのに対して、一流競技者では、300度/秒を超える試技において、ほぼ1.0に近づいた(図3)。これは、コントロール群の高速度におけるトルクが、低速度(30度/秒)の値のほぼ半分に低下しているのに対して、トップ群の高速度(500度/秒)における発揮トルクはあまり低下せず、最低速試技のやや低値を示すにとどまったためである。10年ほど前の報告であるが、小林ら²⁾も、オリンピック代表短距離選手を対象に、伸展筋力に対する屈曲筋力の割合をもとめ、300度/秒時に、その比がおよそ1.0になることを報告している。

膝関節の屈筋群は、大腿二頭筋、半膜様筋、半

腱様筋によって構成され、ハムストリングスとよばれる。これまで、スプリントにおけるハムストリングスの役割については、1) 下腿の前方への振り出しを抑える(エキセントリック収縮)、2) 股関節伸筋として地面に大きな力を加える、3) 離地後に素早く膝を屈曲し、脚の後方への「流れ」を抑制する、および回転半径を小さくして前方へのスイングを速くする等が報告されてきた^{8,9,14)}。

また、小林²⁾らは、「スプリントでは、股関節、膝関節、足関節の働きに係わる全ての筋の強力な働きが必要であるが、膝関節については膝関節伸筋群の働きが大切だとされ、トレーニングのうえでの配慮も多く行われてきたことに比較し、一般的には膝関節屈曲筋群の強化はおろそかにされてきた傾向が強い」と述べている。さらに、膝関節の伸展筋力と屈曲筋力のバランスの重要性に着目し、トレーニングのうえでも膝関節屈曲筋力の強化が、スプリント能力を高めるうえで非常に重要なファクターであることを指摘している。

本研究の結果から、トップ群は、高速度でも力を発揮できること、特に、高速での屈曲時に大きな力を発揮できることが確認された。このことに加え、高速度の筋収縮時には伸展と屈曲筋力のバランスが良く、脚を効率的に動かせることが推察された。したがって、コントロール群のスプリントのパフォーマンス向上のためには、これらの能力が必要不可欠であり、トップ群は、そのパフォーマンス遂行のために最適な筋出力特性を有しているといえる。これらのことから、等速性筋力測定装置を用いた動的筋力測定が、陸上パフォーマンス向上のための一指標として有効利用できる可能性が示唆された。

V. まとめ

本研究では、競技パフォーマンス向上のための基礎的資料の収集をねらいとして、等速性筋力測定装置(Cybex)を用いて、2000年シドニーオリンピックに出場した国内一流陸上競技者の膝関節

の屈曲・伸展トルクを一般成人被験者（コントロール群）と比較し、力発揮特性の評価を行った。Cybexの角速度は、30、90、180、300、500度/秒であった。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 一流陸上競技者（トップ群）の膝関節の屈曲・伸展トルクは、すべての角速度において、コントロール群と比較して有意に大きかった。
- 2) 膝関節の屈曲・伸展トルクは、角速度の増大に伴い低下したが、トップ群の低下率は、コントロール群と比較して小さかった。
- 3) 伸展トルクと屈曲トルクの比（伸展・屈曲比）は、低速度では両群ともにおよそ2.0であり、角速度の増大に伴って小さくなった。
- 4) トップ群の伸展・屈曲比は、コントロール群と比較して有意に小さく、高速度においてはおよそ1.0であった。

これらのことから、一流陸上競技者は、そのパフォーマンス遂行に適した筋力発揮特性をもつことが明らかになるとともに、等速性筋力測定装置を用いた動的筋力測定が、陸上パフォーマンス向上のための一指標として有効利用できる可能性が示唆された。

引用・参考文献

- 1) 小林寛道：スポーツタレントへの条件—陸上競技—, J. J. SPORTS SCI., 190-192, 1989.
- 2) 小林寛道：走る科学, 第1版, 大修館書店, 1990, 128-141.
- 3) 小林寛道, 松井秀治：強化選手の体力（下）, 陸上競技マガジン, 5, ベースボールマガジン社, 170-173, 1988.
- 4) 深代千之：無酸素パワーの測定と評価法, スポーツ医・科学, 4, 25-35, 1990.
- 5) 深代千之, 若山章信, 原田康弘：トップアスリートの体力とパフォーマンス—陸上・短距離選手について—, 体育の科学, 41, 262-268, 1991.
- 6) 深代千之：走高跳選手に対する科学的サポート—選手の体力特性から競技力の向上を探る—, スポーツ医・科学, 5, 5-11, 1991.
- 7) 金久博昭, 宮下充正：アイソキネティック・トレーニング—トレーニング速度とトレーニング効果—, J. J. SPORTS SCI., 147-151, 1982.
- 8) 金子公宏, 山田 洋, 木塚朝博：国内一流陸上競技者の膝関節伸展及び屈曲動作における力発揮特性, 第54回日本体力医学会大会抄録集, 1999.
- 9) 金子公宏, 山田 洋, 木塚朝博：国内一流陸上競技者の膝関節伸展及び屈曲動作における力発揮特性（第二報）, 第55回日本体力医学会大会抄録集, 2000.
- 10) 勝田 茂：運動生理学20講, 朝倉書店, 1993.
- 11) Komi, V. and Tesch, P.: EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. Eur. J. Appl. Physiol., 42, 41-50, 1979.
- 12) Sadoyama, T., Masuda, T., Miyata, H. and Katsuta, S.: Fibre conduction velocity and fibre composition in human vastus lateralis. Eur. J. Appl. Physiol., 57, 767-771, 1988.
- 13) 山田 洋, 木塚朝博, 増田 正, 木竜 徹, 岡田守彦：Twitch interpolation techniqueを応用した筋の随意的動員度と疲労耐性に関する研究, 体力科学, 49, 315-328, 2000.
- 14) 大山圭悟：スタートダッシュと加速能力向上のための複合／対照トレーニング, Training Journal, 12, 64-67, 1997.

肥満者に対する低圧低酸素環境下の 歩行運動が運動終了後の 末梢血液循環に及ぼす影響

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 小澤秀樹 (医学部内科学系総合内科学)
桑平一郎 (医学部内科学系呼吸器内科学) 三田信孝 (体育学部社会体育学科)
恩田哲也 (スポーツ医科学研究所) 中村 豊 (スポーツ医科学研究所)
山並義孝 (体育学部社会体育学科) 堀江 繁 (体育学部社会体育学科)

The effects of walking exercise in a hypobaric hypoxic environment on peripheral
blood circulation of post-exercise in obese adults

Tamotsu TERAO, Hideki OZAWA, Ichiro KUWAHIRA, Nobutaka MITA,
Tetsuya ONDA, Yutaka NAKAMURA, Yoshitaka YAMANAMI and Shigeru HORIE

Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effects of walking exercise based on the lactate threshold (LT) in a hypobaric hypoxic environment on peripheral blood circulation with accelerated plethysmogram (APG) in obese adults. Five obese male adults aged 44 to 61 years volunteered for the present study. The subjects walked for 60 minutes on a treadmill in two environments : a hypobaric hypoxic environment (HE) at 1500 m simulated altitude, and normobaric environment (NE) at sea level. According to APG findings, five waves (a-e) were discriminated in APG Shape. The area (a and e wave) above the baseline of APG was defined as positive area (+). The area (b, c, and d wave) below the baseline of APG was defined as negative area (-). Before (at rest) and post exercise in HE and NE, the following parameters were measured : APG Index, the ratios of b/a and d/a. APG Index was formulated as $(-b + c + d)/a \times 100$. The ratio of b/a at rest and 60 minutes post-exercise in HE were significantly lower than those in NE ($p < 0.05$, $p < 0.05$). The ratio of d/a at rest and 60 minutes post-exercise in HE were significantly higher than those in NE ($p < 0.01$, $p < 0.05$). APG Index at rest and 60 minutes post-exercise in HE were significantly higher than those in NE ($p < 0.05$, $p < 0.01$). APG can be temporarily improved by acute walking exercise in HE. These results suggest that walking exercise in a hypobaric hypoxic environment may be a useful method for improvement of peripheral circulation and exercise treatment in obese adults.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 61-68, 2004)

I. 緒 言

近年、高地トレーニングは、一部のエリートスポーツ選手の競技力向上のみならず、幅広い年齢層のヒトに対する肥満の予防・改善および健康増進に貢献する可能性のあること¹⁾が指摘されている。

そこで、肥満は、心臓病、糖尿病、高脂血症、高血圧症など多くの生活習慣病の危険因子の一つとしてあげられている。したがって、肥満の予防・改善は、生活習慣病を予防する一つの手段であり、その予防・改善を目的として、身体運動の必要性が論じられている。肥満者に対する運動実施に関しては、安全の面から運動の種目や強度設定が重要な意義を有することにもなり、重度の走行運動よりも軽度の歩行運動の効果^{2,3)}が注目されている。しかし、歩行運動は、脂質代謝の改善が認められるが、脂質燃焼のために長時間の運動を行わなければならない、さらに、減量に長期間を必要とする。この早期的改善には、平地よりも高地での運動がエネルギー消費量の増大および脂質代謝の亢進^{4,5)}などが認められていることから、肥満者の減量・ウエイトコントロールにより有効であろうと考えられる。

事実、私たちは、人工的高地環境システムの低圧室を用い、低圧低酸素環境下における血中乳酸濃度を指標とした持続的トレーニングに対する負荷強度の方法、低圧トレーニングと運動能力に関する研究^{6,7)}を基に、肥満者およびウエイトコントロールを必要とするスポーツ選手を対象に、身体組成およびエネルギー代謝の面から歩行運動と減量・ウエイトコントロールに関する研究^{8,9)}について検討を行っている。これらの結果、スポーツ選手および肥満者の減量に対する標高1500mに相当する低圧環境下で週3回の歩行運動は、身体的にも安全で安静時代代謝の亢進および脂質代謝の改善が行われ、より効果的な減量ができる可能性のあることを認めている。さらに、肥満者を対

象に、トレーニング頻度を週3回とした場合、1回の低圧低酸素環境下(高地)と残り2回に常圧常酸素環境下(平地)の併用による歩行運動は、単に、常圧常酸素環境下の歩行運動(週3回の頻度)に比較して、長期間にわたって継続することで安静時代代謝の亢進および脂質代謝の改善が行われ、より効果的な減量ができる可能性のあること^{10,11)}も報告している。

一方、生活習慣病、とくに脳卒中や心不全などの循環器疾患に対する身体運動の有効性も多く報告されている。循環器疾患に関する評価法としては、心電図および血圧の検査とともに血液循環動態の検査も重要な生理的意義を有するものと考えられる。血液循環動態の良否を判断するものとして、指尖容積脈波を二次微分した加速度脈波は、非観血的な末梢循環動態の一つの指標になること¹²⁻¹⁴⁾が報告されている。さらに、身体運動と加速度脈波からみた末梢の血液循環動態とに密接な関係があること¹⁵⁻¹⁷⁾も報告されている。

本研究では、その研究の一環として、これまでの成績を踏まえ、減量・ウエイトコントロールを必要とする肥満者を対象に、低圧低酸素環境下における一過性の歩行運動が運動終了後の末梢循環の動態にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

II. 実験方法

1. 対象者

実験対象は、成人の男子肥満者5名(身長 166.4 ± 6.2 cm、体重 74.3 ± 10.6 kg、体脂肪率 $25.2 \pm 2.2\%$)を被験者とした。肥満者は、常圧常酸素環境と低圧低酸素環境に分け、それぞれに歩行運動を行わせた。なお、被験者には、研究の目的、内容を十分に説明し、実験参加への同意を得た。

2. 環境条件

常圧常酸素(NE)および低圧低酸素環境(HE)下の実験は、東海大学スポーツ医科学研究所に設

置されている低圧（高地トレーニング）室を使用した。

本研究では、NE（気圧、760mmHg）およびHE（標高1500mに相当する気圧、634mmHg）にそれぞれ調整して行った（室温を20℃、相対湿度55%）。

3. 運動負荷テストおよびLTの判定

NEおよびHEにおける運動負荷テストの測定には、トレッドミル（速度を6 km/hに固定）を用い、4～5種類の異なった傾斜角を選んで、低角度からそれぞれ10分間の歩行運動を行わせた。各運動の間には、10分間の休息时间を入れた。

血中乳酸濃度は、各10分間の運動終了直後に指先から微量の採血を行って測定した。LTの判定は、運動強度と血中乳酸濃度との関係から、LTに相当するトレッドミル傾斜角を求めた。

4. 歩行運動実験

実験は、HEにおける安静時および歩行運動終了30分、60分後（常圧常酸素環境下）に加速度脈波を測定した。NEも同様に安静時および歩行運動終了30分、60分後に加速度脈波を測定した。なお、同一被験者の実験は、少なくとも1週間の間隔をあげ、2つの実験の順序はランダムとした。

5. 加速度脈波の測定

安静時（通常10分以上の安静をとらせた後に測定）および運動終了後の加速度脈波は、被験者を座位姿勢にて、測定部位の右手第2指の指尖部を心臓レベルに保持して測定を行った。加速度脈波は、佐野らの方法^{15, 16)}により、波形を構成する波をa～eに分類し、基線から上の部分をプラス（+）、下の部分をマイナス（-）と定め、これよりb/a値（ $b/a \times 100$ ）、d/a値（ $d/a \times 100$ ）および加速度脈波の総合的指標としてAPG Index = $(-b + c + d)/a \times 100$ により求めた。このIndexは、5拍の脈波の平均値をその代表値とした。さらに、加速度脈波の波形パターン分類とその評価も行った。

6. 測定方法

末梢血液循環機能の測定は、BCチェッカー（株式会社フューチャー・ウェイブ、日本）、血中乳酸濃度がグルコース・ラクテートアナライザー2300STAT（米国、YSI社）、体脂肪率が体組成計Model BC-118（タニタ、日本）をそれぞれ用いて測定した。

7. 統計解析

結果は、平均値±標準偏差で表し、統計学的解析にはHEとNE（安静時、運動終了30および60分後）の有意差の検定にpaired t-testを用いた。統計的有意水準は、すべての検定において5%未満とした。

Ⅲ. 実験結果

1. 一過性の歩行運動前後における加速度脈波波形比（b/a）の変化

図1にNEおよびHEの歩行運動前後における加速度脈波波形比（b/a）の変化を示した。安静時のb/a値は、HEがNEに比較して、有意な低下を示した（ $p < 0.05$ ）。運動終了後のb/a値は、30分後において両環境間に有意な差がみられなかったが、60分後ではHEがNEに比較して、有意な低下を示した（ $p < 0.05$ ）。

2. 一過性の歩行運動前後における加速度脈波波形比（d/a）の変化

NEおよびHEの歩行運動前後における加速度脈波波形比（d/a）の変化を図2に示した。安静時のd/a値は、HEがNEに比較して、有意な増加を示した（ $p < 0.05$ ）。運動終了後のd/a値は、30分後において両環境間に有意な差がみられなかったが、60分後ではHEがNEに比較して、有意な増加を示した（ $p < 0.01$ ）。

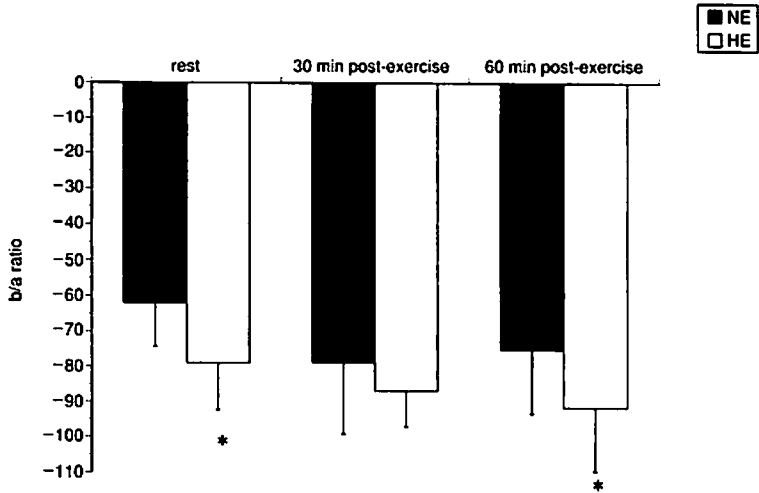


図1 一過性の歩行運動前後における加速度脈波波形比 (b/a) の変化
 Fig. 1 Changes in parameter (ratio of b/a) of APG before (at rest) and post exercise in NE and HE.
 Values are expressed as means \pm SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment * $p < 0.05$

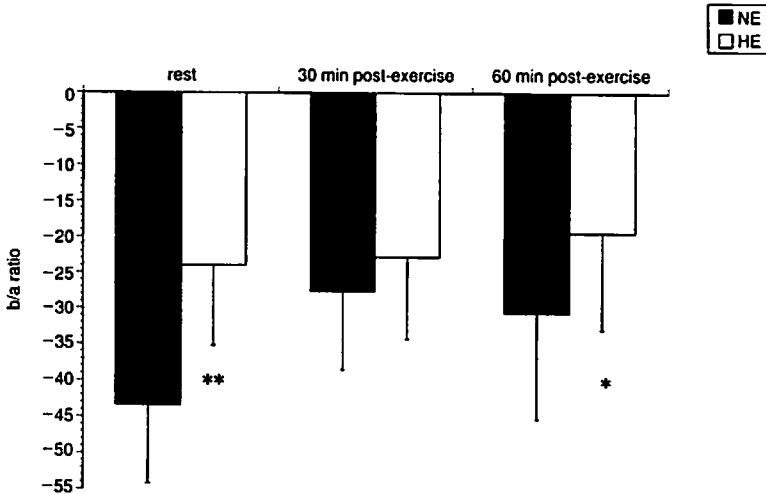


図2 一過性の歩行運動前後における加速度脈波波形比 (d/a) の変化
 Fig. 2 Changes in parameter (ratio of d/a) of APG before (at rest) and post exercise in NE and HE.
 Values are expressed as means \pm SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3. 一過性の歩行運動前後における APG Index の変化

図3にNEおよびHEの歩行運動前後におけるAPG Indexの変化を示した。安静時のAPG Index値は、HEがNEに比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。運動終了後のAPG Index値は、30

分後において両環境間に有意な差がみられなかったが、60分後ではHEがNEに比較して、有意な増加を示した ($p < 0.01$)。

4. 加速度脈波波形パターンとその評価

NEおよびHEにおける歩行運動前後における

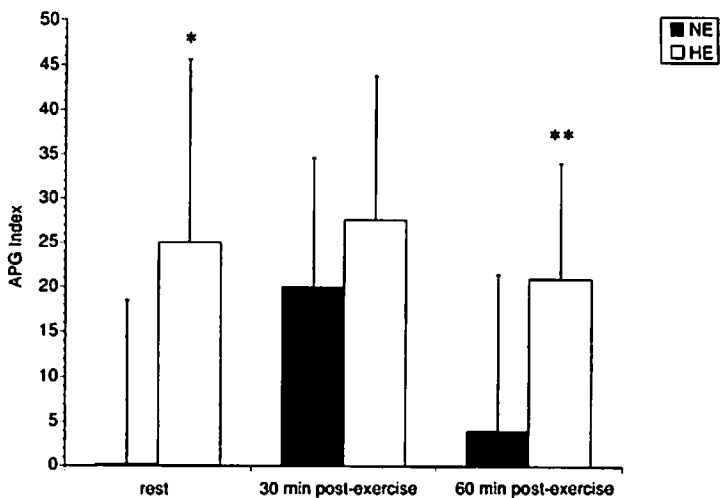


図3 一過性の歩行運動前後における加速度脈波指数の変化
 Fig. 3 Changes in APG Index before (at rest) and post exercise in NE and HE. Values are expressed as means \pm SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

表1 加速度脈波波形パターンとその評価
 Table 1 The wave pattern of APG and its evaluation

標高	安静時	運動終了30分後	運動終了60分後
NE	標準的機能 B + X: 1名, B -: 3名 C -: 1名	高い機能 B + : 1名, B: 2名 BX: 1名, C: 1名	標準的機能 B + X: 1名, B: 1名 B -: 2名, C -: 1名
	高い機能 B + : 4名, C: 1名	高い機能 B + : 3名, B + X: 1名 B -: 1名	高い機能 B + : 3名, B + X: 1名 B -: 1名

末梢血液循環 (高い機能、標準機能、機能低下に分類)

加速度脈波の波形とその評価を表1に示した。波形パターンは、HEがNEに比較して、安静、運動終了30および60分後でB+パターンの割合が高くなった。その評価では、HEが安静、運動終了30および60分後のいずれも高い機能を維持していたのに対して、NEでは運動終了30分後においてのみ高い機能を示した。

IV. 考 察

非観血的に末梢循環動態を評価する検査法の一つとして指尖容積脈波を二次微分した加速度脈波

があり、本研究では、この検査法を用い、減量・ウエイトコントロールを必要とする肥満者を対象に、低圧低酸素環境下における乳酸性閾値 (lactate threshold, LT) 強度で一過性の歩行運動を行わせた場合、運動終了後の末梢血液循環の動態にどのような影響を及ぼすかを検討した。

その結果、加速度脈波の波高比であるb/a値は、HEがNEよりも安静および運動終了60分後で有意な減少を示したのに対して、逆に、d/aおよびAPG Indexは有意な上昇を示した。なお、運動終了30分後の各計測値は、両環境間に有意な差がみられなかった。また、波形パターンは、HEがB+パターンの割合が高く、末梢循環の評

価も安静および運動終了後のいずれも高い機能を維持していた。

従来、一過性の持久的運動（平地）は、加速度脈波の波形が一時的に改善され、若年者にみられる波形に近づく方向に変化し、この効果が運動終了後30分程度は維持されていたこと¹⁵⁾が報告されている。本研究においても、NEの結果で波形パターンとその評価からも運動終了30分程度は高い機能を維持していたことと一致している。一方、HEでは、さらに、その効果が運動終了60分後でも高い機能を維持していた。これらの結果から、安静時および運動終了後の生理応答が標高の違いによっても影響の異なっていたことが推察される。したがって、従来のエネルギー代謝の成績¹⁹⁾と同様に、平地での運動よりも低圧低酸素環境である高地での運動の方が末梢循環動態の面でもより効果をもたらすことが考えられる。

次に、加速度脈波の波高比である b/a 値は、血管の伸展性、すなわち、血管の柔らかさを示すもので、 d/a 値は機能的血管壁の緊張や動脈硬化による器質的硬化を反映すると考えられている¹²⁻¹⁴⁾。一般的に、加齢とともに b/a 値は上昇し、 d/a 値は低下すること¹⁵⁾が知られている。また、虚血性心疾患の患者を対象に末梢血管収縮剤であるアンジオテンシン投与による昇圧時には b/a 値が増大し、 d/a 値は減少するのに対して、末梢血管拡張剤であるニトログリセリン投与による降圧時には b/a 値が減少し、 d/a 値は上昇すること^{12, 13)}が認められている。したがって、血管拡張に伴う加速度脈波の変化として、とくに、顕著に現れるのは d/a の変化である。そこで、本研究の結果、HEはNEよりも、この d/a 値の上昇、 b/a 値の減少が比較的長時間にわたって維持され、加速度脈波の総合的評価である APG Index の上昇もみられた。すなわち、標高1500mに相当する低圧低酸素環境下で一定強度の運動を一定時間負荷すると、低圧低酸素刺激と運動刺激の相乗作用が運動終了後にも生理応答を維持させ、末梢血管の拡張、血流量の確保等から、末梢循環を一時的に改善することが示唆される。従来、長期間、持久

的トレーニングを継続することによって安静時の波形が改善され、 b/a 値が小さくなり、 d/a 値および AGP Index が大きくなり、波形タイプも A ~ B 波形の割合が高くなること^{17, 18)}も報告されている。したがって、本研究の結果を基に考えると、標高1500mに相当する低圧低酸素環境下で歩行運動を継続的に実施した場合、比較的早期にこれらの効果の現れることが推測される。

これらの効果は、私たちが現在までに報告してきている研究^{8, 9, 20)}で、週3回の標高1500mに相当する低圧環境下の歩行運動が身体的に安全で、短期間で乳酸処理能力を向上させ、基礎代謝（安静時代謝）および脂質代謝の改善が行われ、より効果的な減量ができることに関連づけることができる。すなわち、本研究のような低圧低酸素環境下（高地）の歩行運動を一定期間トレーニングを継続すると、常圧常酸素環境下（平地）の歩行運動よりも慢性的なエネルギー代謝量の増加、脂質代謝の亢進、さらには、体脂肪量の減少とともに血液循環動態の改善にも大きく関与することが示唆される。

そこで、近年、女性や中高年者が週末を利用してトレッキングなどでの高地登山（標高1000m ~ 2000m）の増加は、運動能力の改善は基より、登山後の長時間にわたるエネルギー代謝の亢進とともに、末梢循環の改善もみられ、肥満の予防および健康増進の観点から推奨されるであろうと考えている。

以上、本研究の成績から、肥満者に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における歩行運動は、運動終了後にも、末梢血管の拡張、血流量の確保等から、末梢循環を一時的に改善することが示唆された。

V. まとめ

本研究は、減量・ウエイトコントロールを必要とする肥満者を対象に、低圧低酸素環境下における乳酸性閾値 (lactate threshold, LT) 強度を指標

とした一過性の歩行運動が運動終了後の末梢血液循環の動態にどのような影響を及ぼすか検討した。

その成績を示すと次のごとくである。

- 1) 安静時の b/a 値は、HE が NE に比較して、有意な低下を示した ($p < 0.05$)。運動終了後の b/a 値は、30分後において両環境間に有意な差がみられなかったが、60分後では HE が NE に比較して、有意な低下を示した ($p < 0.05$)。
- 2) 安静時の d/a 値は、HE が NE に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。運動終了後の d/a 値は、30分後において両環境間に有意な差がみられなかったが、60分後では HE が NE に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.01$)。
- 3) 安静時の APG Index 値は、HE が NE に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。運動終了後の APG Index 値は、30分後において両環境間に有意な差がみられなかったが、60分後では HE が NE に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.01$)。
- 4) NE および HE における歩行運動前後における加速度脈波の波形とその評価において、波形パターンは、HE が NE に比較して、安静、運動終了30および60分後で B + パターンの割合が高くなった。その評価では、HE が安静、運動終了30および60分後のいずれも高い機能を維持していたのに対して、NE では運動終了30分後においてのみ高い機能を示した。

以上、本研究の成績から、肥満者に対する標高1500mに相当する低圧環境下における歩行運動は、運動終了後にも、末梢血管の拡張、血流量の確保等から、末梢循環を一時的に改善することが示唆された。

参考文献

- 1) 浅野勝己：高所トレーニングの生理的意義と最近の動向，臨床スポーツ医学，16(5)：505-516，1999。
- 2) 佐藤祐造，押田芳治：糖尿病・肥満治療としてのウォーキング，臨床スポーツ医学，9(2)：149-152，1992。

- 3) 甲田道子，宮下充正：運動実践が肥満に及ぼす影響，J. J. Sports Sci.，14(1)：79-83，1995。
- 4) Terrados, N., Melichna, J., Sylven, C., Jansson, E. and Kaijiser, L.: Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. Eur. J. Appl. Physiol. 57: 203-209, 1988.
- 5) 寺尾 保，恩田哲也，中村 豊，有賀誠司：低圧環境下における持久的トレーニングがスポーツ選手の形態，身体組成および脂質代謝に及ぼす効果，体力科学，46(6)：916，1997。
- 6) 寺尾 保，中村 豊，松前光紀，山下泰裕，張楠，三田信孝，新居利広，岩垣承恒，佐藤宣哉，齋藤勝：低圧環境下における血中乳酸濃度4 mM レベルを指標とした持久的トレーニング負荷強度についての検討，東海大学スポーツ医科学雑誌，8：65-72，1996。
- 7) 寺尾 保，恩田哲也，中村 豊，有賀誠司，松前光紀，田辺見久，山下泰裕，岩垣承恒，佐藤宣哉，齋藤 勝：低圧環境下における持久的運動負荷時に気圧変動をさせた場合の血中乳酸濃度および心拍応答に及ぼす影響，東海大学スポーツ医科学雑誌，9：28-33，1997。
- 8) 寺尾 保，木村季由，湯浅康弘，袋館龍太郎，恩田哲也，有賀誠司，中澤一成，山並義孝，中村豊，齋藤 勝：スポーツ選手の減量に対する低圧環境下の歩行運動が身体組成およびエネルギー代謝に及ぼす影響，東海大学スポーツ医科学雑誌，11：22-29，1999。
- 9) 寺尾 保，木村季由，恩田哲也，有賀誠司，中村 豊，サンドゥー・アダルシュ，山並義孝，齋藤 勝：肥満者およびスポーツ選手の減量に対する低圧環境下における歩行運動の有効性，東海大学スポーツ医科学雑誌，13：15-23，2001。
- 10) 寺尾 保，桑平一郎，宮川千秋，恩田哲也，中村豊，三田信孝，山並義孝，齋藤 勝：肥満者の減量に対する低圧環境下および常圧環境下における歩行運動の有効性，東海大学スポーツ医科学雑誌，15：32-38，2003。
- 11) Terao, T., Miyakawa, C., Yamanami, Y., Saito, M.: The effects of walking exercise in hypobaric and normobaric environments on resting metabolic rate and body composition in obese adults.

- Osterreichisches Journal für Sportmedizin, 33(2): 26-31, 2003.
- 12) 高沢謙二, 伊吹山千春: 加速度脈波, 現代医療, 20: 948-955, 1988.
- 13) 高沢謙二, 伊吹山千春: 加速度脈波の有効性, 臨床検査, 33: 858-862, 1989.
- 14) 鈴木明裕, 山川和樹, 藤沼秀光, 須藤秀明, 小川研一: 弾性動脈の伸展度 (Distensibility) と, 加速度脈波との関係についての検討, 日本臨床生理学雑誌, 20: 113-123, 1990.
- 15) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山 匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博: 加速度脈波による血液循環の評価とその応用, 労働科学, 61(3): 129-143, 1985.
- 16) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山 匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博: 加速度脈波による血液循環の評価とその応用 (第2報) — 波形の定量化の試み —, 体力研究, 68: 17-25, 1988.
- 17) 佐野裕司, 片岡幸雄, 小山内博: 身体トレーニングが加速度脈波に及ぼす影響 (その2) — 長期トレーニングの影響 —, 千葉体育学研究, 16: 47-53, 1993.
- 18) 西村千尋, 今村裕行, 森脇千夏, 二神友美, 城田知子, 今村英夫, 嶋田良子, 内田和宏: 運動療法が中高年女性の加速度脈波に及ぼす効果について, 日本運動生理学雑誌, 5(2): 145-152, 1998.
- 19) 寺尾 保, 桑平一郎, 恩田哲也, 有賀誠司, 中村 豊, サンドゥー・アグルシュ, 宮川千秋, 山並義孝, 齋藤 勝: 肥満者に対する低圧環境下の歩行運動が運動終了後のエネルギー消費量に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 14: 14-22, 2002.
- 20) Terao, T., Onda, T., Aruga, S., Yamanami, Y.: Effects of walking exercise in a hypobaric environment on the body composition and energy metabolism of obese subjects. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 4(4): 161, 1999.

BALB-DTNB 法の改良によるラットの 各種リパーゼ活性の測定

河乃建仁 (医学部分子生命科学) 岩垣丞恒 (体育学部)
叶 順美 (中国福建省立病院検験科) 新居利広 (体育学部)
大崎 栄 (体育学部) 山村雅一 (医学部分子生命科学)

Assays of rat lipases activity based on a modification of the BALB-DTNB method

Kenji KOHNO, Suketsune IWAGAKI, Shunmei YE, Toshihiro ARAI, Sakae OHSAKI, Masaichi YAMAMURA

Abstract

In this study, we developed a method of assaying rat lipase activities, such as pancreatic lipase (PL, EC3.1.1.3), lipoprotein lipase (LPL, EC3.1.1.34), hepatic triglyceride lipase (HTGL), hormone-sensitive lipase (HSL) and adipose tissue total lipase (ATTL) using BALB-DTNB method with modifications. A 0.0335% BALB (2,3-dimercaptopropan-1-ol tributylretate) water solution was used as a substrate, that of 0.01% DTNB (5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid)) as a chromogenic reagent and that of 0.0287% SDS (sodium dodecyl sulfate) as a lipase activator to revitalize each lipase. Especially, 0.15 mole of NaCl Tris-HCl buffer was used to revitalize LPL activity, while 1 mole of the same buffer was used to inhibit. A water solution of 0.1 mole of SDS and 0.2 mole of Tris-HCl (pH8.2) was used to inhibit HTGL activity. The activity value of LPL or HTGL was calculated by subtracting the inhibited value from the revitalized value. PMSF (phenylmethylsulfonyl fluoride) ethanol solution was used as an esterase inhibitor. A solution of 0.74% PMSF was used for LPL and HTGL assay, that of 1.8% for HSL and ATTL and that of 3.6% for pancreatic tissue PL. One mole of Tris-HCl was used as a reaction buffer (at pH8.8 for HTGL assay, pH8.5 for PL, pH8.2 for LPL and ATTL and pH7.0 for HSL). A one percent SDS water solution was used as a reaction stopper (at pH2.8 to stop HTGL reaction, pH3.0 for PL, pH3.2 for LPL and ATTL and pH5.8 for HSL). PL and HSL activity reaction was carried out at $30 \pm 1^\circ\text{C}$ and for the other lipases at $28 \pm 1^\circ\text{C}$ for 30 minutes. Under these conditions, two linear standard curves of each lipase were obtained using sample values of 20 to 80 μl and a reactive time of 5 to 50 minutes. However, HSL showed stable values after reaction for 20 to 60 minutes. Each lipase showed a CV value less than 5% in ten tests. These results suggest that the present method is possible to assay rat PL, LPL, HTGL, HSL and ATTL activity.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 69-75, 2004)

I. はじめに

持久性運動のエネルギー源は主に遊離脂肪酸であり、トリグリセリド (triglyceride; TG) の水解

反応から供給される。TG の水解反応はリパーゼ活性に依存するため、エネルギー代謝、脂肪の動員並びに利用の研究では、リパーゼ活性の定量は不可欠である。

TG を水解するリパーゼは主に膵リパーゼ (pancreatic lipase; PL, EC3.1.1.3)、リポプロテイン

ンリパーゼ (lipoprotein lipase; LPL, EC3.1.1.34)、肝性トリグリセリドリパーゼ (hepatic triglyceride lipase; HTGL)、ホルモン感受性リパーゼ (hormone sensitive lipase; HSL) と脂肪組織に存在する LPL、ジグリセリドリパーゼ、モノグリセリドリパーゼ (adipose tissue total lipase; ATTL) がある。

これらのリパーゼ活性の測定方法には、放射性同位元素測定法^{1,2)}、油脂を基質とする滴定法³⁾、比色法⁴⁾、比濁法⁵⁾、蛍光法^{6,7)}、BALB を基質とする BALB-DTNB 法⁸⁾、免疫化学法⁹⁾ などがあるが、放射性同位元素測定法、蛍光法、免疫化学法は高感度で測定できるが、高価な設備や複雑な操作方法が要求される。一方、滴定法、比色法、比濁法などの油脂を基質とする方法は感度が低く、改良の必要が指摘されている¹⁰⁾。

これらのうち、BALB-DTNB 法は感度が高く、微量な検体 (50 μ l 血漿) と短い時間 (30分) で定量できる。しかし、BALB-DTNB 法はヒトの臍リパーゼ (EC3.1.1.3) 活性を測定するために開発され、LPL、HTGL、HSL 等のリパーゼ、また、ラットへの応用については検討されていない。

リパーゼはその種類により組成・構造・活性部位などの理化学的な性質が異なっている。ヒトの場合、臍リパーゼと LPL との相同性は36%、LPL と HTGL との相同性は47%である。ラットではさらに理化学的な差異が存在し、各種リパーゼは各々異なった反応条件 (特に反応温度、pH、界面活性剤濃度、塩濃度) を有している。従って、臍リパーゼの測定条件は LPL、HTGL、HSL の測定には適応せず、改良を加える必要がある。

そこで、本研究は各リパーゼの特徴を考慮し、BALB-DTNB 法を改良し、ラットの PL、LPL、HTGL、HSL と ATTL 活性の測定の可能性について検討した。

II. 方 法

1. 試薬:

基質 BALB (2,3-dimercaptopropan-1-ol tributyrate; 三酪酸ジメルカプロール) は大日本製薬株式会社より入手した。発色剤 DTNB (5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid); ジチオビス (2-ニトロ安息香酸)) とトリス塩酸は「リパーゼキット S」(大日本製薬社、大阪) 内のものを用いた。エステラーゼ阻害剤 PMSF (phenylmethylsulfonyl fluoride)、リパーゼ活性化剤 SDS (sodium dodecyl sulfate)、無水エタノール、クエン酸、水酸化カリウムは和光純薬株式会社から購入した。

2. 試薬の調製

リパーゼを測定する試薬は基質溶液と発色液、反応緩衝液、リパーゼ活性化溶液、エステラーゼ阻害溶液、反応停止溶液である。

- 1) 基質溶液: 0.0335%の BALB トリス塩酸水溶液を用いた。
- 2) リパーゼ活性化溶液: リパーゼ活性化には 0.0287%の SDS トリス塩酸水溶液を用いた。
- 3) 発色溶液: 0.01%の DTNB トリス塩酸水溶液を用いた。
- 4) 反応緩衝液: 1 M のトリス塩酸水溶液を用いた。基質溶液とリパーゼ活性化溶液、発色溶液はいずれもこの緩衝溶液を溶媒とした。リパーゼキット S の緩衝液の pH は 8.5 であり、PL 活性測定にはそのままを用いた。LPL と ATTL 活性の測定には飽和クエン酸水溶液で pH を 8.2 に、HTGL 活性測定には飽和 KOH 水溶液で pH を 8.8 に、HSL 活性測定には飽和クエン酸水溶液で pH を 7.0 に調製した。
- 5) エステラーゼ阻害溶液: 生体内各組織に存在するエステラーゼは BALB に対し水解する活性を有している。このため、リパーゼ活性測定に当たり、エステラーゼの活性を阻害する必要がある。血漿検体には 0.7%の PMSF

エタノール溶液、脂肪組織抽出液検体には1.8%のPMSFエタノール溶液、脾組織抽出液には3.6%のPMSFエタノール溶液を用いた。

- 6) 反応停止溶液：1%のSDS水溶液 (pH3.0) を用いた。PLにはpH3.0、HTGLにはpH2.6、LPLにはpH3.0、HSLにはpH5.8とした。pHの調製に飽和クエン酸水溶液と飽和KOH水溶液を用いた。これらのpH測定には「pH Indicator Papers」(Whatmen, Germany) を用いた。

3. サンプルング

12週齢のWistar系オスラットを浅いエーテル麻酔下とし、頸静脈から200IU/kgのヘパリンを投与した。ヘパリンの投与量はヒトの場合一般的に30~100IU/kgとされているが、LPLとHTGLを十分に遊離するため、200IU/kgの用量とした。15分後、深いエーテル深麻酔下で開胸し、右心室から血液を採取した。その後、副腎丸脂肪組織と脾臓を摘出し、ホモジネイトするまで 2 ± 1 ℃に保存した。

4. リパーゼ検体の調製

1) PL 酵素源の調製：

脾組織 PL 酵素源は、摘出した脾臓に PBS (phosphate buffer serine, pH7.4) 溶液を加え (脾臓組織 : PBS = 1 : 10, w/v)、 2 ± 1 ℃下でホモジネイトし、4℃、 $18000 \times g$ で60分間遠心分離し、上清を PL の酵素源として、 -20 ℃以下に保存し、活性測定時に2000倍に希釈した。

2) LPL と HTGL 酵素源の調製：

LPL と HTGL の酵素源の調製は Baginsky¹⁾の方法により、採取した血液を4℃、 $480 \times g$ で30分間遠心分離し、上清を取り出し、再び $755 \times g$ で30分間遠心分離し、上清 (post-heparin plasma; PHP) を調製した。この PHP は LPL と HTGL の酵素源として、 -20 ℃以下に保存し、測定に用いた。

3) HSL 酵素源の調整：

HSL は失活しやすいため、酵素抽出液 (0.25mol/l の sucrose - 10mmol/l の トリス (pH7.0)) を用いた。摘出した副腎丸脂肪組織に酵素抽出液を加え (副腎丸脂肪組織 : 酵素抽出液 = 1 : 1; w/v)、 2 ± 1 ℃下でホモジネイトし、4℃、 $18000 \times g$ で60分間遠心分離し、中間層の溶液を HSL の酵素源として、活性測定に用いた。また、ATTL もこの抽出液を酵素源とした。

5. リパーゼ活性の測定：

リパーゼ活性の測定方法は Kurooka⁸⁾の方法を用いた。

- 1) 1検体につき2本の5mlガラス試験管を用意し、1本は検体用 (A)、1本は盲検用 (B) とした。
- 2) A、B 両試験管に各々1mlの発色溶液を入れ、50 μ lの検体を添加し、次に20 μ l エステラーゼ阻害剤を加え、攪拌した。
- 3) 恒温水槽 (PL と HSL の場合は 30 ± 0.5 ℃、LPL と HTGL、ATTL の場合は 28 ± 0.5 ℃) で5分間インキュベートし、エステラーゼ活性を阻害した。なお、PL、HSL、ATTL の場合、インキュベート時間は10分とした。
- 4) 恒温水槽に入れたまま、A 試験管に100 μ l の BALB 基質溶液を添加混合し、遮光下で精確に30分間インキュベートした。
- 5) 30分になった時点で、直ちに2mlの反応停止液を A、B 両試験管に添加混合し、反応を停止した。
- 6) 試験管 B に100 μ l の BALB 基質溶液を添加混合し、遮光下で置き、1時間以内で測定した。
- 7) 測定には、精製水を対照として、層長1cmで、A と B の412nm における吸光度を用いた。

盲検を差し引いた吸光度 (A - B) が0.001を示した場合を1BALB単位と定義される。BALB単位は0.147を乗ずることにより国際単位 IU/ml (遊離 SH 基 μ mole/分/ml) に換算することができる¹¹⁾。

6. LPL と HTGL 活性の求め方：

本研究での活性測定は、ポストヘパリン血漿 (PHP) を酵素源として用いた。この血漿には LPL、HTGL と PL が混在している。LPL の活性値を求めるには、0.15M の NaCl 酵素反応溶液で LPL を活性化し (この時の値には LPL と HTGL、PL が混在)、1.0M の NaCl 酵素反応溶液で LPL 活性を抑制し (この時の値には HTGL、PL のみ)、これらの差から LPL の活性値を求めた¹⁾。

HTGL の測定でも、LPL や PL などの酵素の活性を除く必要がある。このため、等量の PHP と HTGL 活性抑制溶液 (100mM の SDS - 0.2M トリス塩酸溶液、pH8.2) を混合し、27℃ で 90 分間インキュベートし、HTGL の活性を阻害し、逆に HTGL 活性化下との差から、HTGL の活性値を求めた¹⁾。

Ⅲ. 結 果

1. 検体添加量による測定値への影響

リパーゼ含有検体の添加量による測定値への影響について図 1 に示した。ラットの LPL、HTGL、脾組織 PL、副睪丸脂肪組織 HSL 及び ATTL の添加量は 20~80 μl 範囲内であれば、測定値と検体添加量との間にいずれも直線的正の比例関係が得られた。

2. 反応時間による測定値への影響

測定値への反応時間による影響について図 2 に示した。LPL、HTGL、脾組織 PL と ATTL は 5~60 分間の間で、測定値と反応時間の間にいずれも直線的正の比例関係が成立した。HSL の反応時間は 12 分のところで活性値のピークを示し、

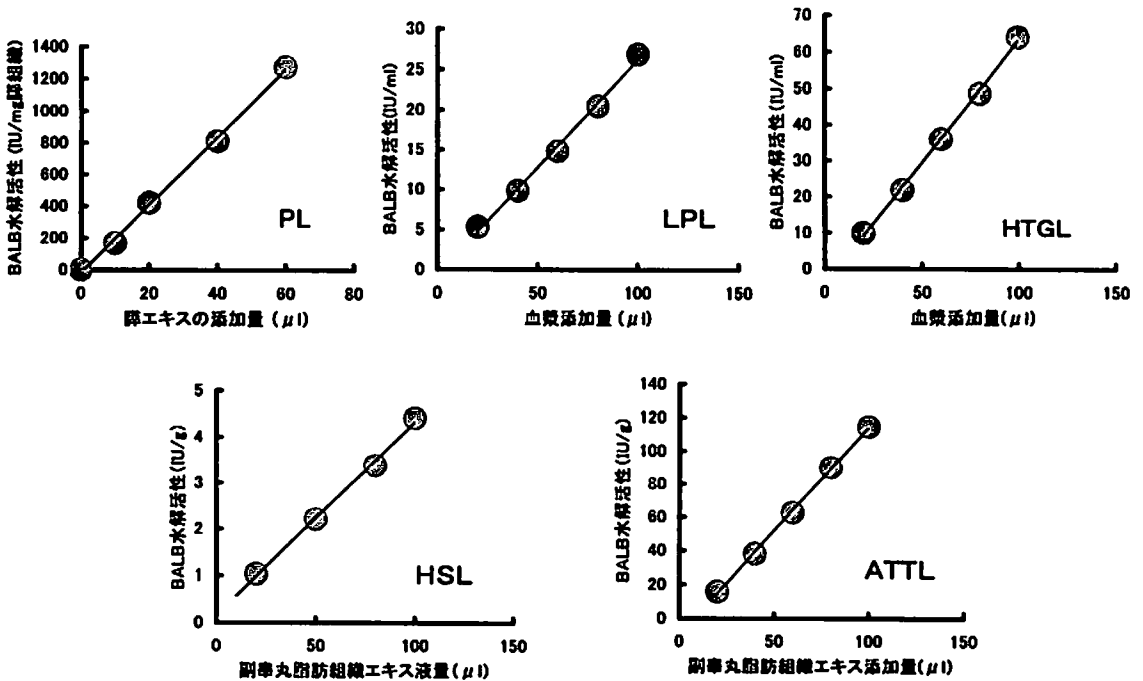


図 1 検体の添加量によるリパーゼ測定値への影響

Fig. 1 Effect of sample sizes on the hydrolysis of BALB by each lipase

LPL、HTGL の測定には、post-heparin plasma を用いた。脾組織 PL の測定には 2000 倍に希釈した脾組織 PBS 抽出液を用いた。HSL と ATTL の測定には無希釈副睪丸脂肪組織抽出液 (副睪丸脂肪組織：酵素抽出液=1：1、w/v) を用いた。

HSLの律速性が認められた。その後、低下現象が起きたが、20~60分間で安定した値を示していた。

3. 定量方法の再現性

同じ検体を用い、同時に10テストを行った時の変動係数 (CV 値) は表1に示した。いずれのリパーゼにおいても CV 値は5%以下で、定量方法の再現性が認められた。

4. Wistar 系ラットを用いての測定成績

10匹12週齢のWistar系ラットを用い、各リパーゼの活性を測定した。その結果を図3に示した。LPLの平均値と偏差値 (Mean \pm SD) は 1.2 ± 0.8 IU/ml, HTGLは 3.4 ± 0.5 IU/ml, 膵組織 PLは 992.8 ± 376.8 IU/mg, HSLは 2.1 ± 1.9 IU/g, ATTLは 8.2 ± 2.0 IU/g であった。

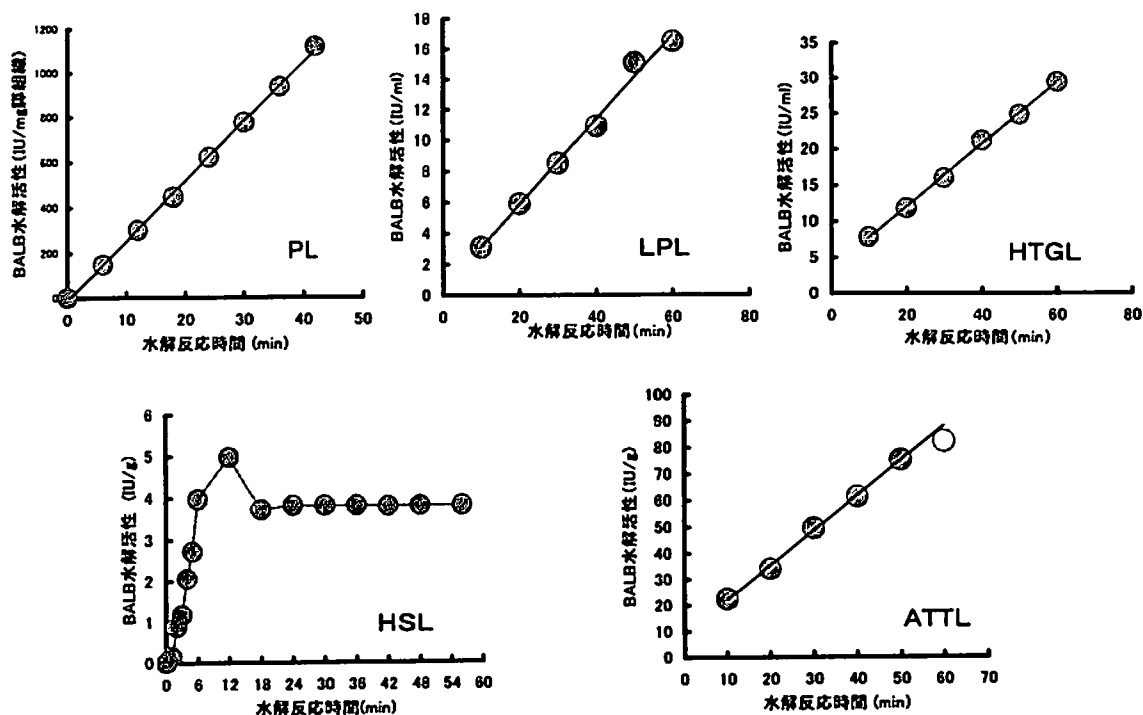


図2 反応時間によるリパーゼ測定値への影響

Fig. 2 Effect of reaction times on the hydrolysis of BALB by each lipase

各検体の添加量はいずれも50 μ lであった。2 mlの反応停止液の添加により酵素反応を停止し、反応槽から取り出し、測定するまで室温・避光静置した。HSLは20分から少なくとも60分まで水解活性値と反応時間間に安定な直線関係を示した。ATTLは50分まで直線性を示した。

表1 同じ検体を10テストした時の変異係数 (CV, %)

Table 1 The coefficient value of each lipase in ten tests (C.V., %)

LPL	HTGL	Tissue PL	HSL	ATTL
0.7	2.9	1.7	4.6	2.2

1検体を同時に10テストの水解反応試験を行った変異係数 (CV) であった。検体の添加量はいずれも50 μ lであり、反応時間は30とした。

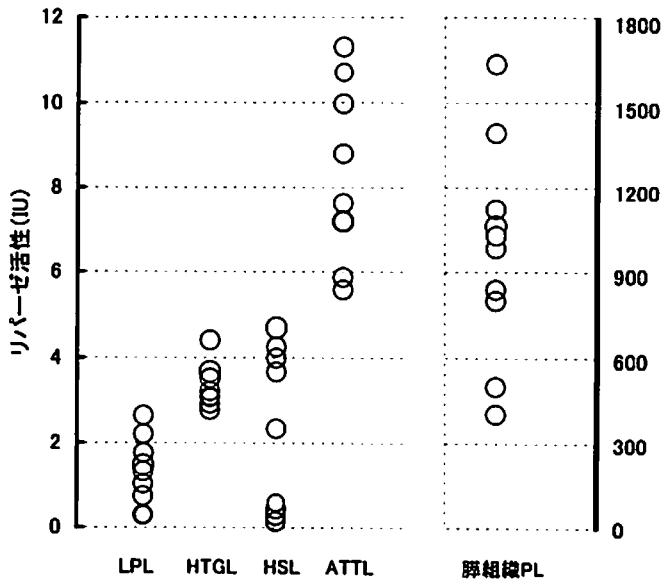


図3 各リパーゼ活性値の測定成績

Fig. 3 Each lipase activity in ten Wistar rats

本研究での BALB-DTNB 法の変法を用い、12週齢の Wistar 系雄性ラット (n = 10) を測定した成績である。LPL と HTGL の単位は IU/ml PHP、HSL と ATTL の単位は IU/g 脂肪組織、PL の単位は IU/mg 膵組織である。

IV. 考 察

BALB-DTNB 法では、基質 BALB がリパーゼにより特異的に水解され、酪酸と BAL (2,3-dimercaptopropan-1-ol、ジメルカプロール) になる。DTNB は BAL と反応し、リパーゼ活性に比例して黄色の TNB (5-thio, 2-nitrobenzoate、トリニトロベンゼン) アニオンが生成する。生成した TNB アニオンの吸光度を測定することで、検体中のリパーゼ活性を定量することができる。従って、リパーゼ活性の発現があれば、全てこの原理に基づいて測定できるはずである。

ラットの LPL、HTGL、HSL、膵組織 PL、ATTL の測定においては、酵素源の調製法、反応の温度、反応緩衝液の pH、エステラーゼ阻害剤の濃度、リパーゼ活性剤の濃度、反応停止液の pH などを表 2 のように改良することで、LPL、HTGL、膵組織 PL、HSL、ATTL の定量に BALB-DTNB 法が有効であった。測定値と反応

時間 (図 1)、測定値と検体添加量 (図 2) との間に良好な直線性が得られ、再現性も高かった (表 1)。従って、本研究で用いた BALB-DTNB 法の変法はラットの LPL、HTGL、PL、HSL と ATTL の測定に応用できることが明らかとなった。

検体量が 20~80 μ l 範囲内で直線性が得られることから、本法での至適検体添加量は 50 μ l であった。反応時間が 5~60 分では、PL、LPL、HTGL、HSL と ATTL は直線性を、HSL は 20~60 分間では安定した値を示していることから、本法での至適反応時間はいずれの酵素においても 30 分とした。

本法は、簡便性と再現性が高く、1 セットの試薬で各リパーゼの活性を測定できる特徴をもっている。

謝辞

本研究を進めるに当たり、大日本製薬研究所からのご助言と BALB の無償ご提供に深く感謝申し上げます。

表2 各リパーゼの主な反応条件

Table 2 The condition of hydrolysis reaction of each lipase

リパーゼ	酵素源 (希釈倍率)	エステラーゼ阻害 剤 PMSF の濃度	リパーゼ活性化剤 SDS の濃度	反応温度	反応緩衝液 の pH	反応停止液 の pH
膵リパーゼ (PL, EC3.1.1.4)	膵組織抽出液 (2000)	3.6%	0.029%	30℃	8.5	3.0
リポプロテインリパーゼ (LPL, EC3.1.1.34)	PHP (無希釈)	0.7%	0.029% SDS に 0.15M NaCl	28℃	8.2	3.0
肝性リパーゼ (HTGL)	PHP (無希釈)	0.7%	0.029%	28℃	8.8	2.6
ホルモン感受性リパーゼ (HSL)	膵組織抽出液 (無希釈)	1.8%	0.029%	30℃	7.0	5.8
脂肪組織総リパーゼ活性 (ATTL)	膵組織抽出液 (無希釈)	1.8%	0.029%	28℃	8.2	3.0

参考文献

- 1) Marietta L. Baginsky: Measurement of lipoprotein lipase and hepatic triglyceride lipase in human postheparin plasma. *Methods in Enzymology*, 72(21): 181-189, 1981.
- 2) John C. Khoo and Daniel Steinberg: Hormone-sensitive triglyceride lipase from rat adipose tissue. *Methods in Enzymology*, 72(23): 181-189, 1981.
- 3) Roe, J.H. and Byler, R.E.: Serum lipase determination using a one hour period of hydrolysis. *Anal. Biochem.* 6: 451-460, 1963.
- 4) Dirstine, P.H., Sobel, C. and Henry, R.J.: A new rapid method for the determination of serum lipase. *Clin. Chme.* 14: 1097-1105, 1968.
- 5) Vogel, W.C. and Zieve, L.: A rapid and sensitive turbidimetric method for serum lipase of normal and pancreatitis serum. *Clin. Chme.* 9: 168-181, 1963.
- 6) Voysey, J.E., and Wilton, D.C.: Rapid, sensitive fluorometric determination of serum triglyceride by measuring lipase-liberated fatty acids. *Clin. Chem.* 40(1): 14-17, 1994.
- 7) Richieri, G.V., Ogata, R.T., and Kleinfeld, A.M.:

The measurement of free fatty acid concentration with the fluorescent probe ADIFAB: a practical guide for the use of the ADIFAB probe. *Mol. Cell Biochem.* 192(1-2): 87-94, 1999.

- 8) Shigeru Kurooka, Setsuko Okamoto and Masahisa Hashimoto: A novel and simple colorimetric assay for human serum lipase. *J. Biochem.* 81: 361-369, 1977.
- 9) Yasuyuki Ikeda, Atsuko Takagi, Yasuhiko Ohkaru, Ken-ichi Nogi, Taketoshi Iwanaga, Shigeru Kurooka and Akira Yamamoto: A sandwich-enzyme immunoassay for the quantification of lipoprotein lipase and hepatic triglyceride lipase in human postheparin plasma using monoclonal antibodies to the corresponding enzymes. *J. Lipid. Res.* 31: 1911-1924, 1990.
- 10) 北村次男, 黒岡 繁: ヒト血清リパーゼの膵疾患診断指標としての意義. *医学のあゆみ*, 109(11), 587-598, 1979.
- 11) 北村次男, 黒岡 繁, 江原 学, 田中幸子, 吉岡潔子: 膵リパーゼ, 肝胆膵, 4(5): 699-705, 1982.

皮質骨の破壊じん性に及ぼす ひずみ速度の影響に対する一考察

菊川久夫 (第二工学部機械工学科) 浅香 隆 (工学部応用化学科)
粕谷平和 (工学部動力機械工学科) 中村 豊 (スポーツ医学研究所)

A Study on Effect of Strain Rate on the Fracture Toughness of Bovine Cortical Bone

Hisao KIKUGAWA, Takashi ASAKA, Hirakazu KASUYA and Yutaka NAKAMURA

Abstract

To establish a preventive method against injuries caused by sports, it is necessary to clarify impact fracture characteristics of bone tissues. Fracture toughness tests were performed using compact tension specimens prepared from bovine bones under the strain rate ranging from the quasi-static to the high-speed. Fracture mechanisms of bone were studied using fracture mechanism models made of fiber-reinforced composite material. We found the two following hypotheses. Fiber reinforcement mechanisms of wet bone specimens can be divided into three stages, which are bridging, pull-out, and ineffective fiber reinforcement, according to strain rate. The microcrack reinforcement mechanism works to the parent phase in the range of strain rate on the high-speed.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 76-80, 2004)

I. はじめに

スポーツ選手は極限の関節機能を要求されるため、骨格や関節に加わる負荷は極めて大きく、関節障害や骨折を生じる機会も多い。これら骨格や関節を構成する組織を材料力学的観点から見た場合、スポーツ外傷による骨折の発生に関与する因子として、骨の圧縮、引張、ねじり、曲げ外力などが挙げられる。特にスポーツ活動中には、これらの外力が複合的かつ衝撃的に骨や関節に加わる場合が多く、骨折予防のためには骨の破壊抵抗を十分に考慮しておくことが大切である。

著者らは現在までに、骨折の予防やメカニズムを解明する目的で、骨折(き裂)が骨中を進展しにくい性質である、骨の破壊じん性の測定・評価を行ってきた¹⁻³⁾。

第8回スポーツ医学研究会⁴⁾においては、ウシ皮質骨より作成したコンパクトテンション試験片を用い、準静的から高速負荷荷重による破壊じん性の試験結果について報告した。特に、破壊じん性値の荷重速度依存性については興味深い結果であるが、高速負荷荷重下における皮質骨の破壊挙動については不明な点が多い。

そこで、本論文では高速負荷における皮質骨の破壊メカニズムについて、破壊力学的に考察を加えたので報告する。

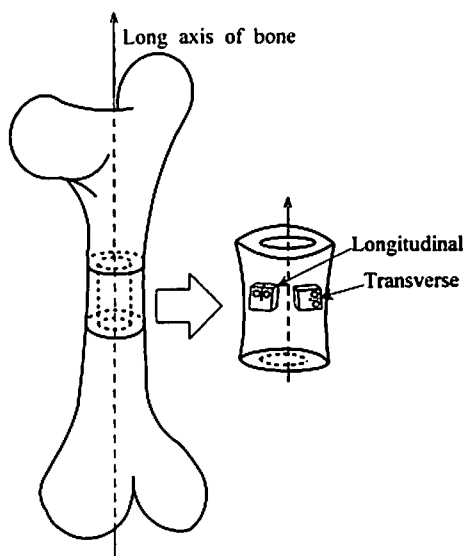


図1 試験片の採取部位
Fig. 1 Specimen preparation

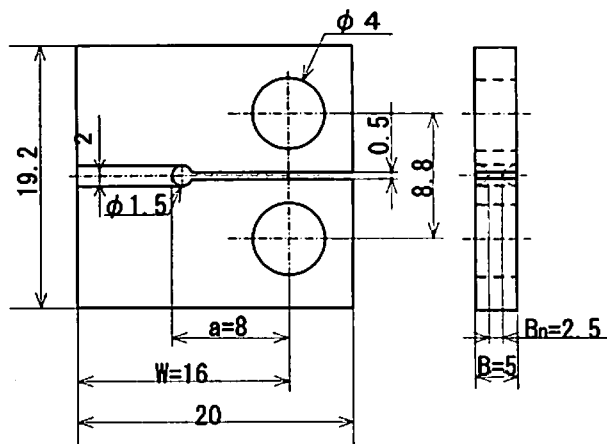


図2 コンパクトテンション試験片の外観と寸法 (単位 mm)
Fig. 2 Compact tension specimen and dimensions (in mm)

II. 実験方法の概略^{5,6)}

前節で述べたように、本論では前報⁴⁾に示した高速負荷領域における皮質骨の破壊挙動のひずみ速度依存性を説明するための仮説を提案するものである。したがって、実験方法については既報^{5,6)}において明記されているが、本節ではその概略について述べる。

実験に用いた皮質骨であるハバース骨は、図1に示すように、約 -30°C で冷凍保存された新鮮なウシの大腿骨骨幹部より採取した。これらから図2に示すようなコンパクトテンション試験片を機械加工により作成した。

骨軸方向にスリットを導入した試験片をL方向試験片、骨軸に直交する方向にスリットを導入した試験片をT方向試験片とした。

準静的破壊じん性試験にはインストロン材料試験機 (Model 1000) を、高速負荷試験にはインストロンダイナミック試験装置 (Model 8500) を用いた。

これらの実験は自作のチャックに試験片を固定

し、破断に至るまで荷重を負荷し、このとき得られた荷重-変位曲線の最大荷重を用いて破壊じん性値^{5,6)}を算出した。

III. 皮質骨の構造

図3は実験に用いたウシ大腿骨骨幹部横断面の骨組織の光学顕微鏡写真である。ヒトの骨組織と同様に、血管であるハバース管の周囲を骨層板が取り巻く構造の骨単位、オステオンが確認できる。オステオンは骨軸方向に配向しており、空孔部分であるハバース管を含んでいる。また、オステオンとオステオンの間にも、介在する層板が観察できる。

IV. 実験結果および考察

図4⁶⁾に湿潤試験片における破壊じん性値 K_c (平均値 \pm 標準偏差) とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ との関係を示す。ここでは図を見やすくするために片側の標

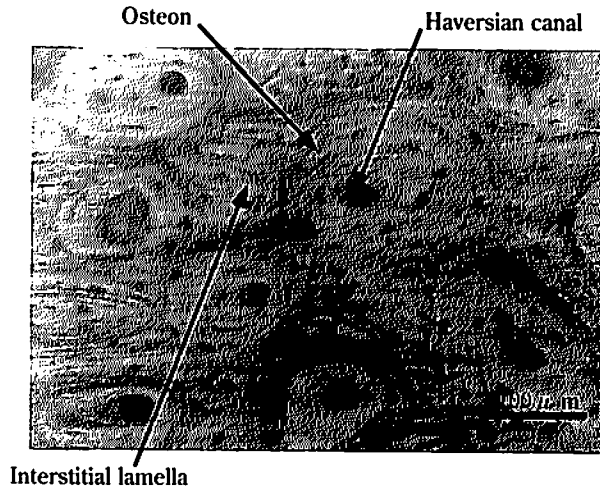


図3 長骨骨横断面の微視的構造

Fig. 3 Photomicrograph of polished section perpendicular to long bone

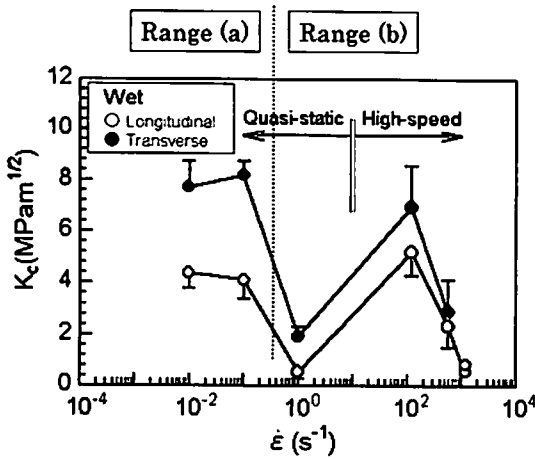


図4 湿潤骨試験片の破壊じん性値とひずみ速度の関係

Fig. 4 Relation between fracture toughness and strain rate in wet specimen

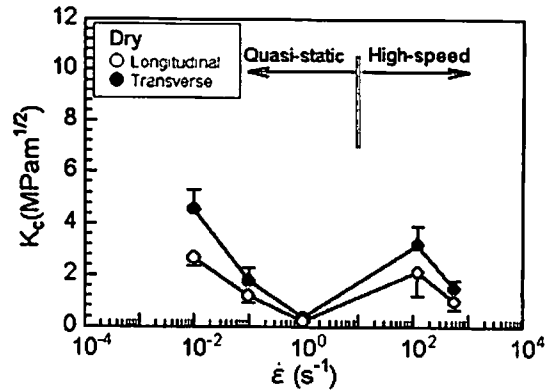


図5 乾燥骨試験片の破壊じん性値とひずみ速度の関係

Fig. 5 Relation between fracture toughness and strain rate in dry specimen

準偏差のみを示してある。

図5⁶⁾には乾燥骨に対する図4と同様の結果を示す。乾燥骨は湿潤試験片を一週間以上天日で乾燥させた試験片で、骨中に含まれている液性成分の影響を検討するために用いたものである。

なお、ひずみ速度は負荷速度を無負荷時における試験片のピン穴の中心間距離、つまり、初期荷重点間距離で除したものである。

図4の湿潤試験片において、各ひずみ速度でT方向試験片の破壊じん性値 K_c^T の方がL方向試験片の K_c^L を上回っている。これは、T方向試験

片において、骨軸方向に配向するオステオンを横切つてき裂が進展しなくてはならなかったため、T方向試験片の破壊じん性値が高い値を示したと考えられる。

いま、T方向試験片とL方向試験片の破壊じん性値の差を ΔK_c とすれば、(1)式は湿潤骨のオステオンあるいは線維による強化の度合いを表す指標となる。

$$\Delta K_c = K_c^T - K_c^L \quad (1)$$

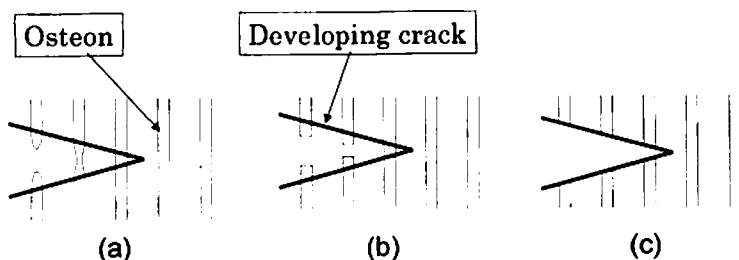


図6 オステオンの切断機構

- (a) 線維が塑性変形、つまりオステオンがブリッジング後延性破断
- (b) オステオンとその周囲間骨組織の間におけるすべり、つまり、線維がプルアウト後脆性破断
- (c) 線維強化無効

Fig. 6 Cutting mechanism of Osteon

- (a) Osteons underwent plastic deformation or ductile fractures after bridging
- (b) Osteons were broken due to brittle fractures after a gap between fibers and the parent phase or pull-out of fiber occurred
- (c) Brittle fracture of Osteons appears

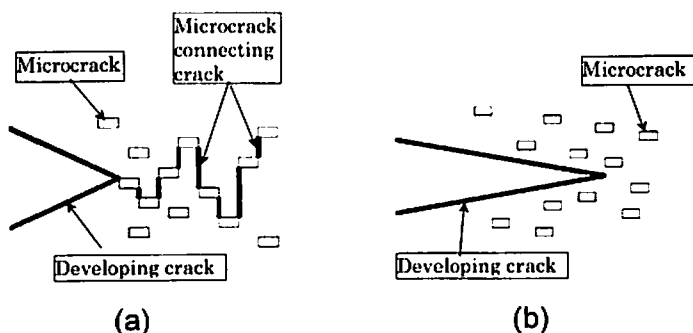


図7 クラック進展機構

- (a) 破壊はマイクロクラックの連結により進展
- (b) 破壊はマイクロクラックが連結しないで進展

Fig. 7 Crack propagation model

- (a) Fracture develops due to linkage of microcracks
- (b) Fracture does not connect with microcracks

(1) 式により ΔK_{Ic} を算出すると、湿潤骨では負荷速度の増加にしたがい概ね減少傾向を示す。つまり、低ひずみ速度域で ΔK_{Ic} が高値を示す領域 (a)、ひずみ速度の増加とともに ΔK_{Ic} が小さくなる領域 (b)、そして ΔK_{Ic} がほとんどゼロに近くなる領域 (c) に分類できる。

ここで、図3の皮質骨の構造を参考に、オステオンを線維、介在層板を母相と考えれば、皮質骨は一種の繊維強化複合材料と見なすことができる。そして、複合材料の強化機構を用いると骨の強化機構についても以下のように考察することができる。

領域 (a) においては線維が塑性変形 (図6 (a))、つまりオステオンがブリッジング (母相間を線維が架橋) した後に延性破断、一方、領域 (b) では、オステオンとその周囲間骨組織の間におけるすべり (図6 (b))、つまり、線維がプルアウトした後に脆性破断すると考えた。もちろん、さらにひずみ速度を増加させれば線維による強化が無効となり、領域 (c) が現れるはずである (図6 (c))。

また、前述では言及しなかったが、高速負荷領域 ($\dot{\epsilon} = 1.2 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$) における破壊じん性値の増加の原因は母相の強化、すなわちマイクロクラックタフニング強化機構の発現のためであると予想

される。

図5より、乾燥試験片は湿潤骨に比べ線維による強化の度合いが顕著に減少していることは明白である。乾燥骨の ΔK_{Ic} の減少は、線維による強化の消失と考えられる。すなわち、骨の有機成分であるコラーゲン線維の影響が消失し、無機成分のハイドロキシアパタイトのみの性質が際だった母相の機械的特性が優位の試験片であると考えられる。しかし、図5のひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 1.2 \times 10^2 \text{s}^{-1}$ の高ひずみ速度域においても、 K_{Ic} 値は増加を示している。

以上のことを総合して考察すると、領域(a)においては、骨中にもともと存在する、あるいは負荷によって生じたマイクロクラックが連結することにより破壊が進展すると考えられる(図7(a))。一方、領域(b)においては、ひずみ速度の増加により、連結クラックが発生する時間が確保できず、その際、マイクロクラックは多少成長するが応力緩和に寄与することになる(図7(b))。その結果、マイクロクラックタフニング強化機構が生ずると予想される。

そのため乾燥骨においても、湿潤骨同様、ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 1.2 \times 10^2 \text{s}^{-1}$ において破壊じん性値の増

加を生じたものと考えられる。当然、湿潤骨の母相においても乾燥骨と同様のマイクロクラックタフニング強化機構が発現したと推測できる。

参考文献

- 1) 菊川久夫, 福田宏明, 康井義明: 皮質骨の破壊靱性について, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第12号, 62-66, 2000.
- 2) 菊川久夫, 福田宏明: 皮質骨の破壊じん性評価, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第13号, 61-66, 2001.
- 3) 菊川久夫, 持田譲治: 保存による皮質骨の破壊じん性の変化に関する一考察, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第14号, 48-52, 2002.
- 4) 菊川久夫: 皮質骨の破壊じん性に及ぼすひずみ速度の影響について, 東海大学スポーツ医科学雑誌(スポーツ医科学研究会抄録), 第13号, 86-88, 2001.
- 5) Kikugawa, H., Tomatsu, T., Yasui, Y.: The Fracture Characteristics of Bovine Cortical Bone, Journal of Japanese Society for Clinical Biomechanics and Related Research, Vol. 20, 193-196, 1999.
- 6) 菊川久夫, 康井義明, 戸松泰介: 皮質骨の破壊じん性に及ぼすひずみ速度の影響, 日本材料学会誌「材料」, 第49巻, 第3号, 327-333, 2000.

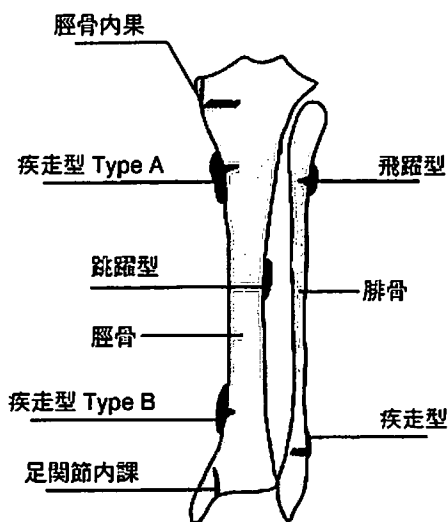


図5 下腿脛骨疲労骨折の好発部位
Fig. 5 The part generated well of fatigue fracture in lower leg

報告をみると外科的治療を積極的に勧めるものが多い³⁻⁵⁾。

2. 脛骨内果疲労骨折 (図6)

脛骨内果の疲労骨折は脛骨における全体の疲労骨折のなかで2~4%を占めるに過ぎない⁶⁾。この内果部の疲労骨折は大腿骨頸部、膝蓋骨、第5中足骨などとならんで完全骨折に至るリスクを伴うハイリスクの骨折に分類される。

発生機序はランニングサイクルで接地時に足部

の回内に伴う脛骨の回旋が引き起こすと言われ、足関節の内反ストレスに加えてアライメント異常や筋力低下がストレスを増強させて引き起こすとも言われている^{7,8)}。X線上に骨折線を認める場合は内果とプラフォンダの接合部から垂直に近い形で認められるが、骨シンチグラフィのRI集積で診断される場合もある。

治療法はX線上に骨折を認め、早期に復帰を望む場合は外科的治療の適応となるが、これ以外は保存的治療で概ね良好な成績が得られている。

3. 足部舟状骨疲労骨折 (図7)

足部の舟状骨疲労骨折は疲労骨折全体からみれば、決して多いものではなく9%前後との報告がある⁹⁾。発生競技は相対的に長距離系などの持久性種目に比べて瞬発系やジャンプ系種目に発生することが多いと言われており、診断までに時間を要する場合が多いと言われている。

発症には舟状骨の解剖学的位置から足部内側縦アーチの中心にあり、足が接地する際に荷重と回内により内側縦アーチが低下し、舟状骨自体も回旋し沈下することにより衝撃緩衝の働きを担っている。これらの機構が機能しない硬い足では舟状骨が内側縦アーチの中で距骨と楔状骨の間で圧迫を受け、疲労骨折へつながる機械的ストレスとなると考えられている (図8)。

治療は固定と免荷が有効との報告¹⁰⁾があるが、

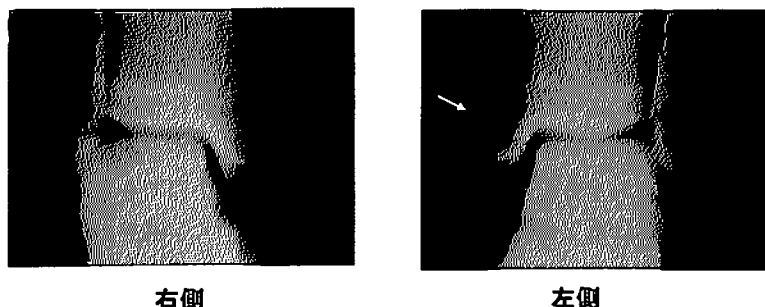


図6 脛骨内果疲労骨折
X線所見で左右の内果に差がなく、骨折線は見られない。

Fig. 6 Fatigue fracture of medial malleolus of tibia
There is no difference in both medial malleolus with an X-ray examination, and a fracture line is not seen.

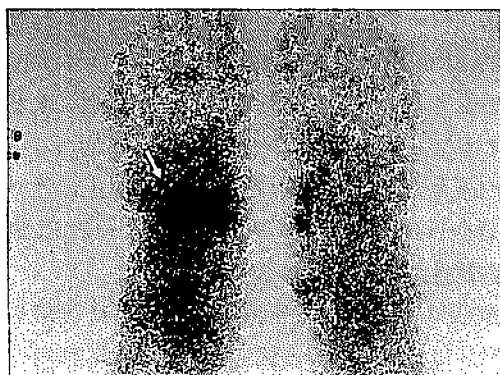
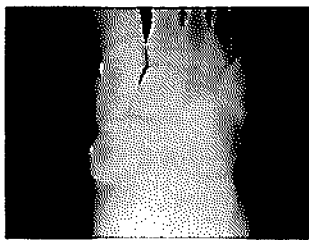


図7 右足舟状骨疲労骨折
Fig. 7 Fatigue fracture of right navicular bone of foot



右側

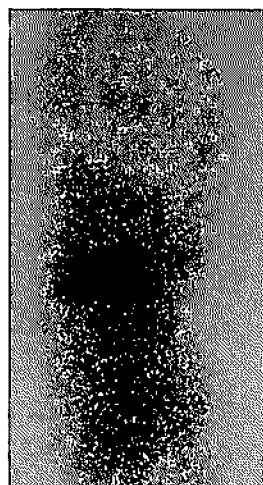


図8 右足舟状骨疲労骨折
X線所見に異常なく、骨シンチグラムにRI集積が見られる。
Fig. 8 Fatigue fracture of right navicular bone of foot
There are no abnormalities in an X-ray findings, and RI accumulation is looked at by the bone scintigram.

保存的治療に抵抗し骨折部が偽関節型になったような場合には外科的治療の適応となる。

IV. 考 察

今回、経験された症例は両側の跳躍型脛骨疲労骨折に端を発し、同一個体で5カ所に疲労骨折を併発した希なケースであり、しかもいずれの疲労骨折も難治性疲労骨折やハイリスク骨折と言われるタイプのものであり、足部の舟状骨の疲労骨折を除き両側性であった⁶⁾。このように骨折の治療に約2年にわたる経過があり、疲労骨折部位の拡大がみられたことは治療方針が不適切であったという反省の見解もあれば、反面として本人の強い希望に沿ったスポーツ継続の方針の結果で、時間的経過は長くなったが結果的にはそれぞれの疲労骨折は治療に向い、本人はユニバーシアード代表選手に選出され、実業団チームからのオファーを受けて就職も内定できたことは医学的側面からは少し離れて評価できる結果であり、結果的に治療方針の選択は妥当であったと考えられる。

通常ならば跳躍型脛骨疲労骨折を管理治療する場合は、当然のことながら患部の負荷軽減を図り、競技からの撤退を促して早期復帰を計画するのが

妥当と考えられる。しかし今回の場合は幾つかの方針決定に影響する要素が考えられ、その1つが大学スポーツ選手という特殊性である。大学スポーツ選手の場合は競技レベルが高ければセミプロ的存在であり、社会人スポーツの担い手として会社企業からの求人対象になることである。またプロ社会のある種目ではその準備段階とも言えるのが大学スポーツである。このため大学スポーツは単なる趣味や学問対象のみならず将来設計へ関わる職業として重要な要素になり得るのである。さらに時間的制約があり大学生活は通常は4年間という制約があるため、この間にスポーツを行うのであれば戦績や記録を出す必要性があり、この成績で社会とのつながり方が決定される点である。もう1つは疲労性骨折治療のもつ不明瞭さが挙げられ、治療期間が不明瞭であることである。このことは外科的治療でも保存的治療でも同じことが言えるため、大学選手のように時間的制約がある場合は判断に困ることになる。このケースでは大学2年の終わり頃の疲労骨折であり、しかも両側性の難治性跳躍型骨折であるため外科的治療を選択したとしても少なくとも完全復帰には1年以上かかる見通しであった。結果的には保存的治療で2



図9 骨シンチグラム（2年後）
新たなRI集積が左脛骨下部に見られる。
Fig. 9 Bone scintigram (after two years)
New RI accumulation is seen by the lower part of tibia.

年を要した。

疲労骨折が発症するには武藤¹¹⁾らはその要因として①個体の要因、②方法の要因、③環境の要因があると述べている。この観点から今回のケースに個体要因の特別な点があるかであるが、日本人に多いと言われる内反下腿はなく、扁平足傾向も診られず、膝部顆部で3横指のO脚傾向を認めた。しかしこれらのアライメントはトップレベルのアスリートの中で特別なケースではなく、柔軟性の欠如や筋力不足など発症につながる他の要因も考えにくいものであった。方法要因としてトレーニングや練習量などが考えられるが、トップレベルの選手にとって試合期に練習量が増加することは止むを得ないことであり、これが罹患期間の延長につながったことは否定できない点と思われる。また疼痛部位を抱えながらの競技継続が身体のもつ代償機能の使い過ぎにつながり、結果的に骨折部位の拡大につながった点も同様のことと思われる(図9)。

しかしこのような練習を継続しながらの厳しい状況下で病巣部の疲労骨折が治癒に傾けられた背景には、生体もっている修復能力に加えて、補完療法の有効性が考えられる。補完療法として幾つかの治療法が加えられているが、継続的に行われたものは超音波治療であり、インソール処方な

どの他の療法は継続されずこの超音波療法の有効性が最も考えられる^{12, 13)}。自覚的疼痛の推移で見ると低出力超音波パルスを開始して2~3カ月で疼痛の軽減が得られており、保存療法のみで疼痛軽減に要する期間としては非常に短いと考えられる。萬納寺¹¹⁾らは脛骨跳躍型疲労骨折に対する保存療法の予後調査を報告しているが、疼痛を発症後3カ月から7年、平均で2.7年、スポーツ活動を中止してから1カ月~6年、平均1.6年で消失したと報告している。

このように1つの個体に疲労骨折が多発することは希であるが、逆に医療スタッフが知りえない領域であって、スポーツの現場では珍しくはないこととも考えられる。このような事例は単に負荷がつよく負荷時間も長いための障害とだけでは済まされず、その背景にある発症要因を今後細かく分析する必要があると考えられた。

V. 結 語

- 1) 同一人物で5カ所の疲労骨折を併発したスポーツ選手を治療する機会を得た。
- 2) 両側性の跳躍型脛骨疲労骨折を含めた5カ所の疲労骨折に対して、競技を継続しながら保

存療法のみではほぼ治癒に導くことが可能であった。

- 3) 跳躍型疲労骨折、足部舟状骨疲労骨折および脛骨内果疲労骨折などの難治性骨折やハイリスク骨折を併発したにもかかわらず保存的治療で寛解できた背景には低出力超音波パルス(SAFHS)の補助的療法の有効性が考えられた。
- 4) 競技続行の意向を尊重しながら保存療法を選択したことが罹病期間を延長させ、障害範囲の拡大を招いた可能性も否定はできないが、大学生活という限られた期間において結果的には適切な選択と考えられた。

参考文献

- 1) 岩崎弘志：脛骨疲労骨折（1），臨床スポーツ医学臨時増刊号，20，137-144，2003.
- 2) 三木英之：脛骨疲労骨折（2），臨床スポーツ医学臨時増刊号，20，145-149，2003
- 3) Boden, B. P., et al.: High-risk stress fractures ; evaluation and treatment. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 8, 344-353, 2000.
- 4) 萬納寺毅智ら：脛骨跳躍型疲労骨折の観血的治療，臨床スポーツ医学，10(8)，879-904，1993.
- 5) 内山英司：脛骨跳躍型疲労骨折，臨床スポーツ医学臨時増刊号，18，291-295，2001.
- 6) 村瀬研一：脛骨疲労骨折（1），臨床スポーツ医学臨時増刊号，20，157-162，2003.
- 7) Shelbourne, K. D., et al.: Stress fractures of the medial malleolus. *Am. J. Sports Med.* 16, 60-63, 1988.
- 8) 杉浦保夫ら：スポーツ選手に認められた疲労骨折，整形外科，30，675-682，1979.
- 9) 鳥居 俊：舟状骨（足部）疲労骨折，臨床スポーツ医学臨時増刊号，20，166-172，2003.
- 10) Khan, K. M., et al.: Outcome of conservative and surgical management of navicular stress fracture in athletes. *Am. J. Sports Med.* 20, 657-665, 1992.
- 11) 武藤芳照ら：スポーツと疲労骨折，南光堂，1990.
- 12) Wang S.-J., et al.: Low intensity ultrasound treatment increase strength in a rat femoral fracture model. *J. Orthop. Res.* 12, 40-47, 1994.
- 13) 水野耕作ら：超音波療法の現状，整・災外，43，213-223，2000.
- 14) 萬納寺毅智：脛骨跳躍型疲労骨折に対する保存療法—その長期的予後—，臨床スポーツ医学，11(3)，349-352，1994.

TFCC 損傷に対する尺骨短縮術後の 握力低下について

西村典子 (スポーツ教育センター) 中村 豊 (スポーツ医学研究所)

池田全良 (医学部整形外科) 宮崎誠司 (医学部整形外科)

伊藤栄治 (硬式野球部監督)

Grip fall in Ulnar Shortening Procedure for Triangular Fibrocartilage Complex Tear

Noriko NISHIMURA, Yutaka NAKAMURA, Masayoshi IKEDA, Seiji MIYAZAKI, Eiji ITOH

Abstract

The purpose of this study is to report the case of falling grip power in Ulnar Shortening Procedure for Triangular Fibrocartilage Complex Tear in university baseball player and to investigate from structure, mechanism of injury, operating method of TFCC. Main factors of falling grip power are expected by pain, the lesion of TFCC degeneration, the changing pressure of ulna caused Ulnar Shortening Procedure and the atrophy in not using wrist. Especially for baseball players much using wrist the functional damage of TFCC has a possibility for reducing the movement of hand joint. The taping for wrist joint keeping the position of ulnar deviation made a certain effect for falling grip power and instability of distal radioulnar joint.
(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 89-95, 2004)

I. はじめに

スポーツにおいて手関節の傷害は決して多くはないが、競技によってはその頻度が多いものがある。手関節における外傷・障害にはさまざまなものがあり、その中には三角線維軟骨複合体 (triangular fibrocartilage complex : TFCC) 損傷例もしばしばみられる。しかしその判断は難しく、専門医に受診し初めて診断されるケースが多い。TFCC 損傷は手を突いて転倒した場合やバット、ラケット、ゴルフクラブなど何かを握った状

態で手関節尺側部に異常な衝撃が加わって発生する。また慢性的には、スイング動作を繰り返すことによって TFCC の微細損傷が、疼痛や炎症をおこすものと考えられる¹⁾。TFCC 損傷は手関節尺側に限局した疼痛が特徴的であるゆえに捻挫と診断されやすい。尺屈を強制しない限り疼痛は誘発されないことが多いため、判断を誤ることも多い。また通常の日常生活よりもスポーツ活動での障害が大きいのも特徴の一つである²⁾。

今回は大学野球選手の TFCC 損傷術後の握力低下によるスポーツ活動の制限に対して、手関節へのテーピングを行うことで握力が回復し、その後のスポーツ活動に復帰した症例をあげて、その

効果について検討を加える。

Ⅱ. 症 例

18歳、男性、身長176cm、体重75kg、左投左打。
練習時間 約4～5時間/日 6日/週

1. 現病歴

主訴は左手関節尺側部の疼痛である。平成11年7月の試合において疼痛を訴えたが、その後競技を行わない時期が5カ月あり、翌平成12年2月時には通常練習に参加可能となった。しかし練習を再開した3カ月後に疼痛が出現し、競技に支障がみられた。当初は左手関節炎および不安定症と診断されたが、8週間の安静後も疼痛の軽減がみられないため、専門医の受診となった。

2. 理学所見

手関節尺側に疼痛を認め、前腕の回内外にて疼痛は増強した。遠位橈尺関節 (DRUJ) に圧痛がみられた。尺骨頭ストレステスト陽性であった。

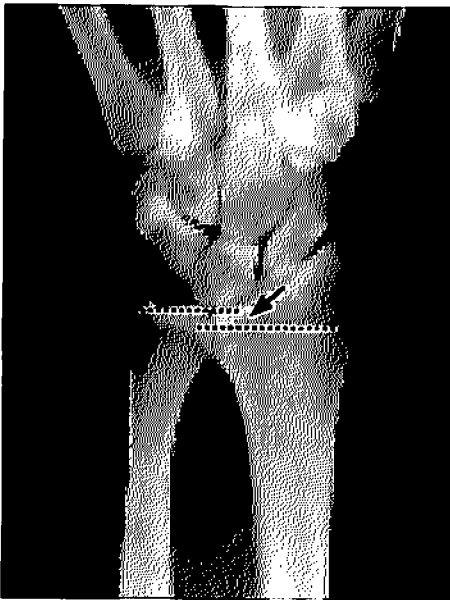


図1 Ulnar plus variance
Fig. 1 Ulnar plus variance

3. X線所見

単純X線検査の骨性的変化はなく、ulnar plus variance がみられた (図1)。関節造影検査においては漏出によるTFCCの穿孔がみられた (class 2 type C) (表1)。

4. 治療内容

まず早期競技復帰を目的としてTFCC部分切除術を行う。その後8週間にわたり可動域回復と筋力強化のリハビリテーションを行ったが疼痛および手首の抜ける感覚が残存するため、TFCC部分切除術から10週間後、尺骨短縮術を行う。

5. 経過

尺骨短縮術後8カ月でグラウンドでの練習復帰が可能となる。しかし捻りを伴った動作では疼痛が残り、手首の違和感はその時々で訴えていた。またボールを打つことよりも投げることのほうがより早く回復した。術後1年で握力は左51kg (右48kg) であった。術後1年3カ月ののちもバッティング動作に疼痛が伴うため、遠位橈尺関節 (DRUJ) の制動目的でテーピングを行い練習に参加するが、前腕筋群にはりがみられ練習に支障をきたすようになる。またこの頃頻繁に手首が抜ける感覚が出現し、ボールを後ろにそらせてしまうこともあった。この原因として尺骨短縮術の際に

表1 TFCC損傷の分類 (Palmer)
Table 1 classification of TFCC tear (Palmer)

class 1	外傷性断裂
	A: central (中央部)
	B: distal (遠位部)
	C: ulnar (尺側)
	D: radial (橈側)
class 2	変性性断裂
	A: 磨耗
	B: 磨耗+月状骨軟骨軟化
	C: 穿孔
	D: 穿孔+月状骨軟骨軟化 /and/or 月状骨三角骨間靭帯断裂
	E: さらに変性の進んだ状態

使用しているプレートによる影響が考えられたため、尺骨短縮術から約1年7カ月後、プレート除去手術を受けた。

プレート除去後2週間より軽いティーバッティングからはじめ、およそ4週間で練習に参加でき

るまでに回復した。しかし8週間後より手首の違和感及びぬける感覚が再度出現し、ボールを投げることに恐怖感を覚えるようになる。一日を通した練習の際は午前の練習で明らかな握力低下の感が感じられ、午後の練習では満足のいく練習が出

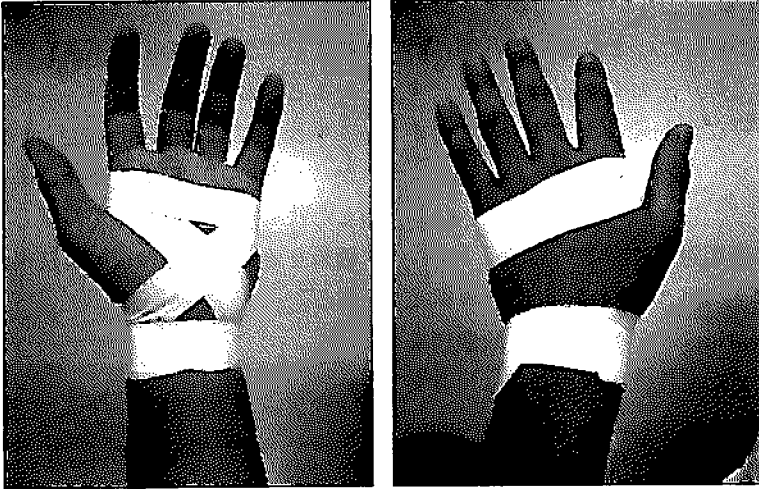


図2 手関節のテーピング
Fig. 2 Taping for wrist joint

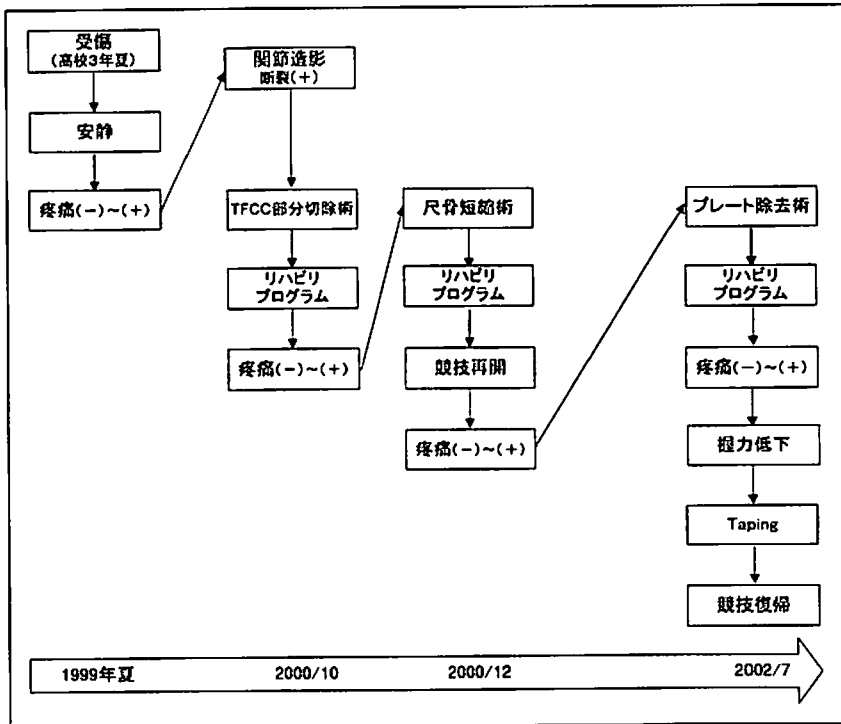


図3 TFCC 損傷から競技復帰までのフローチャート
Fig. 3 The Flowchart of returning to game from TFCC tear

来なくなってきていた。術後12週時に、握力低下の主たる原因は度重なる手術によって前腕の筋持久力が低下しているものと診断される。このような状態では練習復帰もままならず、ホワイトテープを用いて手関節背屈制限および尺骨手根骨間固定のテーピング(図2)を行ったところ、テーピング前に28kgまで低下していた握力がテーピング後は40kgまで回復した。その後1カ月間にわたり、練習時にはこのテーピングを行うようすることで特にプレーには問題なく参加することが出来た(図3)。

6. 尺骨短縮術の適用意義

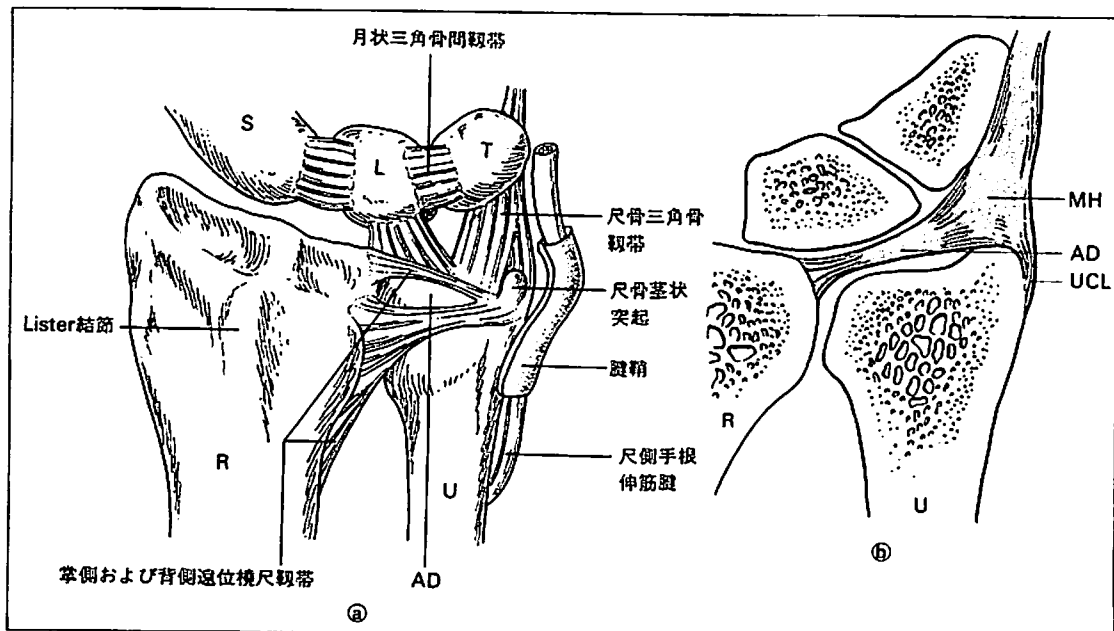
TFCC 損傷後にしばしば行われる尺骨短縮術は、尺骨が plus variance を伴う変性性断裂による適応例である。また変性性断裂の際には尺骨突き上げ症候群 (ulnocarpal abutment syndrome : UCAS) を伴うことがあり、尺骨を引き下げることで手関節にかかる負荷による UCAS 様の症状を緩和し、TFCC 周辺部の安定性を増大させると

考えられる。また除痛の要因としては、TFCC で受ける軸圧が減少すること、尺側支持機構を緊張させること、手根尺骨間の関節適合性が向上することなどがあげられる。ただし尺骨短縮術では確実な骨切り部分の密着と、正確な尺骨短縮量が要求される。また尺骨短縮術後に DRUJ に生じる関節症様変化については術後経過期間の長短、手術によって生じる DRUJ 不適合性の大小が関係していると思われる³⁾。

本症例では variance の程度がさほど大きくなかったものの、TFCC 穿孔による部分切除術を施した後も疼痛や違和感が軽減しないため、尺骨短縮術を適応してその後の競技復帰に至ったものである。

III. TFCC の構造と損傷モデル

TFCC は手関節尺側に位置する三角線維軟骨とその周囲の靭帯を含めた靭帯—線維軟骨



R : 橈骨、U : 尺骨、L : 月状骨、TQ : 三角骨、AD : 三角線維軟骨(固有部)、MH : メニスクス類似体、UCL : 尺側副靭帯 (bは手の臨床、p167より引用、改変)。

図4 TFCCの構造(文献6より引用)
Fig. 4 Structure of TFCC (it quotes from reference 6)

複合体である⁴⁾。Palmerによると、背側橈尺靭帯、掌側橈尺靭帯、disc proper、meniscus homologue、尺側手根伸筋 (ECU) 腱鞘床、尺骨月状骨 (UL) 間靭帯、尺骨三角骨 (UT) 間靭帯から構成される (図4)⁵⁾。また中村らはTFCCの三次元的構造から遠位はhammock structure、近位は三角靭帯とし、尺側副靭帯を含めたこの三者が相互につるしあい、支持していると提唱している⁶⁾。TFCCは尺骨手根骨間関節、DRUJの支持性、尺骨手根間の荷重伝達・吸収・分散など衝撃を和らげるクッションの役割を果たす。神経はdisc proper掌背側と尺側の一部には認められるが中心部には分布がみられない。また血行もdisc proper辺縁に認められるが橈側から中央部にかけては無血管野である。このことは一度TFCCを損傷すると治癒過程における血流の乏しさが回復の困難さを助長すると言い換えることも出来る。

TFCC損傷は外傷性断裂(class 1)か、変性性断裂(class 2)か、またそれに損傷部位を加えたものによって分類することが可能である(表1)。外傷性断裂はslit損傷の形態をとり、disc properの橈側縁から1~2mm尺側にみられることが多い。一方変性性断裂ではdisc全体のmalaciaや線維化からdisc proper中央部のperforationへと進行する。変性性断裂の症状ではUCASを合併していることが多い⁷⁾。

TFCC損傷の主訴は手関節尺側部痛である。疼痛は手関節尺屈時や前腕回内外時に強く出現する。回内外可動域の制限、握力の低下、DRUJの不安定性を訴えることもある。手関節造影による橈骨手根関節からDRUJへの造影剤の漏出やMRIでのdisk slitや穿孔、変性像が確定診断の要因となる。

TFCC損傷時には患部の安静、尺屈制限などを行い疼痛の軽減をはかるが、数カ月経過しても疼痛が伴う場合は外科的治療適用の対象となる。外科的治療方法としては鏡視下部分切除、鏡視下または直視下でのTFCC縫合術、鏡視下尺骨頭切除術(Wafer手術)、尺骨短縮術などがある。

IV. 握力低下に対する考察

野球において握力はボールを投げる、バットを振るといったごく一般的な動作に不可欠なものであり、これらが低下すると競技動作が十分に行えなくなってしまう。今回のTFCC損傷術後による握力低下には様々な要因が考えられる。第一に患部の疼痛によるものである。術後しばらくは疼痛のために可動域の制限や満足のいくグリップ動作ができなかったことから握力低下の一因としてまず考えられる。第二にTFCCそのものの変性と機能低下によるものである。このケースのTFCC損傷ではClass 2 Type Cであり、TFCCの変性が認められる。TFCCのもつ尺骨手根間にかかる荷重伝達などの衝撃吸収としての機能が低下し、その結果本来の手関節運動機能が低下してしまったことによって握力が低下したものと考えられる。また第三の要因として尺骨短縮術による尺骨の引き下げがもたらしたulnar plus variance過矯正による可能性があげられる。術前と術後の写真(図5)では過矯正としてのulnar plus varianceに大きな有意差は認められないものの、軸圧負荷の変化によってその影響が出現している可能性は考えられる。そして第四に廃用性萎縮によるatrophyである。術後の固定期間や疼痛による患部の安静が筋力低下をもたらしたといえる。これらの要因が複雑に関連することで前腕筋群を主とした筋力の低下がみられるのではないかと推察する。

このような状況下で行った手関節テーピングが一定の効果あげたことについて、DRUJの不安定性を解消したことはもちろんであるが、手関節尺屈位が自然ととられていたことと考えられる。尺骨短縮術によってTFCCそのものにかかる軸圧は減少し、安定性は増大したと考えられるが、その間も関節不安定性や握力低下は残存した。このことは手術によって不慣れな肢位を強要されたことにより、前腕屈筋群がうまく筋力発揮でき

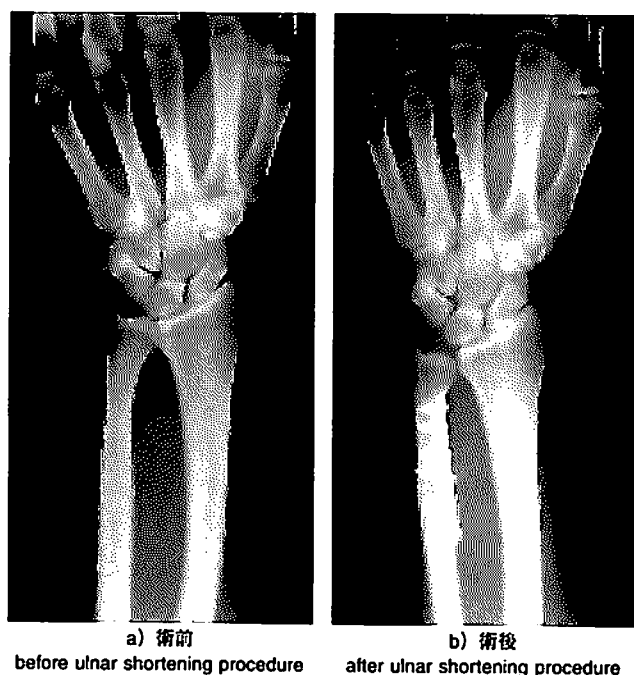


図5 単純X線検査
Fig. 5 Plane X-rays examination

なかったと言い換えることができる。今回試行したテーピングはDRUJの固定とともにXサポートを併用し、尺屈位をとりやすくしたことが自然なアライメント矯正となってtrainabilityを高め、グリップ動作である握力の回復に貢献したのではないかと考えられる。このことから逆にグリップ動作はニュートラルから尺屈位の肢位が自然な動作と考えることもできる。テーピングは手関節のアライメントを一定の肢位で習慣づけ、固有感覚を強化したという点で一定の効果があると思われる。

本症例ではプレートを除去した後に顕著な握力低下がみられたが、尺骨短縮術後にもこのような握力低下は起こりえるものと考えられる。選手本人が感じる手首の違和感は関節不安定性や握力低下を訴えるものであり、日常より前腕屈筋群の筋力トレーニングで筋力強化を行っているものの、競技動作における不安を解消するまでには時間がかかることを示している。TFCC損傷術後の握力低下を最小限にとどめるためには疼痛の除去はも

ちろんであるが、選手本人の手関節不安定性の解消と尺屈位のアライメントを維持することが非常に重要である。この点においてDRUJ固定力強化および尺屈位のテーピングは一定の効果が認められた。また心理的な面から考慮しても不安感を取り除く効果が期待できるものであり、選手のテーピングに対する信頼度は決して少なくない。今後TFCC損傷と握力低下に対するアプローチとしてのテーピングについて、さらなる検討を重ねる必要があると思われる。

V. まとめ

- ①大学野球選手にみられたTFCC損傷に対する尺骨短縮術後の握力低下について、臨床経過を報告するとともにTFCCの構造、損傷のメカニズム、手術法から握力低下に対する考察を行った。
- ②術後の握力低下に対する要因はTFCCの変性

による機能障害や尺骨短縮術による軸圧の変化などが考えられ、リストワークの多い野球選手はTFCCの機能障害そのものが手関節運動機能を制限することがある。

- ③ DRUJ 不安定性および握力低下を抑制するための尺屈位の手関節テーピングは、前腕屈筋群の筋力回復に一定の効果がみられた。

参考文献

- 1) 中村 豊ら：テニス選手にみられた手関節尺側部痛，東海大学スポーツ医科学雑誌15：39-44，2003.
- 2) 土井一輝：三角線維軟骨複合体（TFCC）損傷，スポーツ外傷・障害の理学診断・理学療法ガイド，281-288，2003.
- 3) 水関隆也ら：TFCC 損傷／尺骨突き上げ症候群に対する尺骨短縮術の成績，日手会誌 vol. 19 no. 3：73-76，2002.
- 4) 中村俊康ら：手関節 TFCC の機能解剖，手関節部の外科，15-19，1997.
- 5) Palmer AK et al.: The triangular fibrocartilage complex of the wrist - anatomy and function - . J Hand Surg, 6: 153-162, 1990.
- 6) 中村俊康：手関節三角線維軟骨複合体の機能解剖および組織学的研究，日整会誌69：168-180，1995.
- 7) 和田卓郎ら：手関節靭帯の再建法のノウハウ，関節外科 vol. 19 no. 10：54-62，2000.

中年男性のアキレス腱断裂に対する 着脱式アンクルブーツを用いた 保存療法によるリハビリテーション： A Case Report

麻生 敬 (スポーツ医科学研究所) 中村 豊 (スポーツ医科学研究所)
安部 総一郎 (あへ整形外科) 有賀 誠司 (スポーツ医科学研究所)
吉田 早織 (㈲アスレティック・リファレンス)

The Non-operative Rehabilitation of an Achilles Tendon Rupture in a Middle-age Male with the Removable Walking Boot: A Case Report

Kei ASOU, Yutaka NAKAMURA, Souichirou ABE, Seiji ARUGA and Saori YOSHIDA

Abstract

One of the common injuries in the middle-age who hardly do exercise regularly is Achilles tendon rupture. Achilles tendon rupture can be treated by operation or non-operative treatment. Which treatment is more effective is still under investigation. With either treatment it is hard for patients to go to the hospital for rehabilitation without missing work.

This is the case study of Achilles tendon rupture with a recreational volleyball player treated by non-operative rehabilitation. The subject is the middle-age male. The subject used the removable walking boot instead of using regular splint and did rehabilitation at home. The study follows the three months rehabilitation which the subject returned to ADL.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 96-102, 2004)

I. はじめに

普段定期的に運動していない中高年の人が、いきなりスポーツを行った際に発生するケガの中で、最も頻度の高いケガの一つにアキレス腱断裂がある。断裂と同時に足に力が入らなくなり歩行困難

に陥る。スポーツはもちろん日常生活においても足首の安定した上での動作は必須要素であり、一日も速い回復が望まれる。

アキレス腱断裂に対するリハビリテーションプロトコルは古くから確立され、現在もさらなる研究や発表、それに伴う器具や装具などの開発が次々と行われている。それらの対処方法は手術を用いる方法とギブスなどを用いて固定する保存療

法の2種類がある。受傷からスポーツ復帰までに必要とされるリハビリテーション期間は前者の場合は約2～3カ月、後者は3～4カ月前後とされている¹⁻⁵⁾。

忙しい日常勤務をこなしながら理想的なリハビリテーションを行うための病院への定期的な通院はむずかしい。こういう状況下で理想的なリハビリテーションメニューを実施するためには臨機応変に対応する必要がある、本人の自己管理が非常に重要な要素となる。

今回はレクリエーションバレーボールを行っていた中年男性がレシーブの際右アキレス腱断裂を受傷。仕事のため定期的な通院が不可能な環境の中で、着脱可能なリハビリテーション装具を使用し、日常生活の動作をリハビリテーションメニューに用い3カ月後に日常生活に復帰できたケースを報告する。

Ⅱ. 対象者

対象者は中年男性(43歳)会社経営者。レクリエーション的に週1～2回ほどバレーボールを行う程度であった。仕事の都合上リハビリテーションの為に定期的に通院する事は不可能であり、日常生活において自分自身で行う事の可能なリハビリテーション方法を望んだ。

Ⅲ. 受傷状況と応急処置

バレーボールをプレイ中、右前方方向にきたボールに対しレシーブを試みた際、右アキレス腱において誰かに蹴られたような感覚が生じた。痛みはなかったが、発生直後から足首に力がうまく入らなくなり部位を触ってみると陥没が感じられた。直ちにRICE(Rest:安静、Ice:冷却、Compression:圧迫、Elevation:挙上)処置を施し、スポーツ整形外科を受診、Thompson test(写真1)及び超音波画像の結果から右アキレス腱停

止部より約5cm上方における「アキレス腱断裂」と診断された。

本人が手術ではなく保存療法を望んだため、腓腹筋(Gastrocnemius)とヒラメ筋(Soleus)に対するミルクング処置を行った後、足首を底屈させた状態でギブス処置を施した。その際、アイシングを継続できるようにするため損傷部位付近のギブスに切り込みを入れ着脱可能な小窓を作り、取り外しが出来るようにした(写真2)。歩く際はクラッチを使用し右足に体重を一切かけないようにし、就寝までRICE⇔RCEを継続した。

Ⅳ. リハビリテーション方法と経過

受傷翌朝(2日目)の評価では、右アキレス腱全体において多少の腫れが認められた。ギブスの小窓を用いて一日5回のアイシングを続ける。7日目においてギブスを外し、足関節角度を調整できる着脱式ブーツ(Removable walking boot:以降RWB、写真3)を底屈37.5度の角度に固定し着用した。その後、一日2度RWBを取り外し過度な背屈状態にならないように細心の注意を払いながら温冷療法やセルフマッサージを行った。

定期的な病院への通院が難しいため、基本的に日常生活動作をリハビリテーションメニューとして用い、RWBの角度は一週間に7.5度ずつさらに背屈可能なようにセットしなおし、RWBを使用しなくなるまでこの方式を12週間続けた。5週目以降は足関節の可動角度を完全固定ではなく底屈37.5～7.5度の角度に可動可能な方法にセットした。この後、リハビリテーションが終了するまではほぼ一週間に7.5度ずつ足関節背屈可動域を拡げ、12週目においては底屈37.5度～背屈37.5度の範囲で足関節を動かすことが可能であった。

筋力低下を防ぐため受傷後3日目よりIsometric exercisesを用いて足関節背屈や足関節を固定状態のまま中足趾節間関節(Metatarsophalangeal joint:以後MPJ)において伸展/屈曲を行った。歩く際、クラッチを用い四点法を適用し下肢の



写真1 トンプソンテスト
Photo 1 Thompson test



写真2 ギプス固定
Photo 2 Cast



写真3 履脱式ブーツ
Photo 3 Removable walking boot

筋力低下を最小限に抑えた。3週目より痛みのない範囲において足関節の底屈／背屈を Active stretch を用いて行った。

5週目から下肢全体の Active 及び Passive stretch や階段の昇り降りを積極的に取り入れ、6週目以降はクラッチの使用を必要時以外は控えた。8週目より早歩きを積極的に取り入れ10週目からは階段の昇りを一段飛ばしで歩くように心がけた。12週目終了時においてRWBの使用を中止、この時点でリハビリテーションの終了とした。(表1)。

V. 考 察

アキレス腱は腓腹筋、ヒラメ筋、足底筋(Plantaris)が共通の腱になり踵骨後方上部に付着している人体最大の腱で足関節を底屈する役割を担う。これらの筋肉が急激に収縮しアキレス腱を介して足首の底屈を行おうとした際に、ジャンプ、ダッシュ、ターンなどの動きで足関節に底屈とは逆の背屈する力が加えられアキレス腱の力学的限界を超えた際に断裂が生じる。特に普段あまり運動しない中高年の人がいきなり運動に参加し

表1 受傷直後から復帰までの主なリハビリテーションメニュー

Table 1 Rehabilitation menu

日付	応急処置とリハビリテーションメニュー
受傷日	受傷直後 RICE、小窓付ギプス固定、クラッチ（体重免荷）、就寝まで RICE ⇄ RCE を30分単位で継続
2～6日目	アイシング（20min）、中足趾節間関節（以後 MPJ）における伸展／屈曲（3 sets × 10）、マッサージ（5 min）、アイシング（20min）、クラッチ
7日目	ギプスを外し底屈37.5度に設定した RWB を装着、MPJ における伸展／屈曲（3 sets × 10）、ストレッチ（痛みがない範囲内の足関節の能動的底屈／背屈）、マッサージ（5 min）、アイシング（20min）、クラッチ
2週間後	RWB を底屈30度に設定、MPJ における伸展／屈曲（3 sets × 10）、ストレッチ（痛みがない範囲内の足関節の能動的底屈／背屈、他動的底屈／背屈）、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、マッサージ（5 min）、クラッチ
3週間後	RWB を底屈22.5度に設定、MPJ における伸展／屈曲（3 sets × 10）、ストレッチ（痛みがない範囲内の足関節の能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈（背屈は痛みがない範囲内で 3 sets × 10）、マッサージ（10min）、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、クラッチ
4週間後	RWB を底屈15度に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈、内反／外反（背屈は痛みがない範囲内で 3 sets × 10）、マッサージ（10min）、クラッチを使用しながらの階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min）必要な際はクラッチ使用
5週間後	RWB を底屈37.5～7.5度の可動域に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈、内反／外反（背屈は痛みがない範囲内で 3 sets × 10）、マッサージ（10min）、階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min、必要な際はクラッチ使用
6週間後	RWB を底屈37.5～0度の可動域に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈、内反／外反（背屈は痛みがない範囲内で 3 sets × 10）、マッサージ（10min）、階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、歩行
7～8週間後	RWB を底屈37.5～背屈7.5度の可動域に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈（Calf raise）・内反／外反（3 sets × 10）、マッサージ（10min）、階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、早歩き（15min）
9週間後	RWB を底屈37.5～背屈15度の可動域に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈（Calf raise）・内反／外反（3 sets × 10）、マッサージ（10min）、階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、早歩き（20min）
10週間後	RWB を底屈37.5～背屈22.5度の可動域に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈（Calf raise）・内反／外反（3 sets × 10）、マッサージ（10min）、階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、早歩き
11～12週間後	RWB を底屈37.5～背屈37.5度の可動域に設定、ストレッチ（能動的・他動的底屈／背屈）、足関節底屈／背屈（Calf raise）・内反／外反（3 sets × 10）、マッサージ（10min）、階段昇降エクササイズ、温熱療法（10min）、アイシング（20min）、ジョギング
13週間後	RWB を使用中止、それ以外同上

た際にアキレス腱断裂は発生しやすい。その原因は腱組織の年齢によるコラーゲンの減少からくる柔軟性の低下や不十分なウォーミングアップなどが挙げられる（表2）。

アキレス腱断裂に対する対処方法は手術療法と保存療法に大別される。前者の場合は直接切

れたアキレス腱を手術により縫合し、後者は切れたアキレス腱の両端を出来るだけ近づけた状態でギプスを用いて固定する。古くからどちらの対処方法がより有効であるかの研究は今も続けられている^{1, 2, 6, 7)}。手術の技法としては Augmented tendon repair や End-to-end suture 技法などがあ

表2 アキレス腱断裂の主な原因
Table 2 Causes of the Achilles tendon rupture

- | | |
|---|-----------------------------|
| ① | アキレス腱組織のコラーゲンのしめる割合の年齢による低下 |
| ② | 不十分なウォーミングアップ |
| ③ | 過度な運動負荷 |
| ④ | 疲労、寝不足の蓄積、etc. |

表3 保存療法の主な利点
Table 3 Advantages of the nonoperative treatment

- | | |
|---|--------------------------|
| ① | 自然治癒によるものである |
| ② | 新しく傷口を作る必要がないため感染の可能性が低い |
| ③ | 薬による副作用、後遺症が少ない |
| ④ | 入院が不要であり経済的である |

るが Nyssonen や Rantanen らによれば両技法による結果の差はほとんど無く簡単な End-to-end suture 技法を奨励している^{4,5)}。また、Therbo らによると手術療法を用いた側の Femur や Tibia において一年後にミネラルの減少 (Femur: 2.5~6.8%, Tibia: 6.4%) が認められた事から、栄養バランスを考えた食事の摂取を勧めている⁸⁾。

保存療法を用いる場合は断裂部における腱細胞の再生と結合組織の増生により癒合するが、中高年では後者が主体である。Majewski らは、手術・保存いずれの療法を用いても約4週間後に Remarkable regeneration が見られたと報告している⁹⁾。

最近では復帰を急ぐ人は手術療法を用いる傾向が強いが、保存療法も復帰までの期間が多少長引く事を除けば自然治癒によるものであり傷も残らないなど利点も多い(表3)。Weber らはアキレス腱断裂に対する処方では手術、保存療法のいずれを用いても結果はほとんど同じであると指摘している¹⁾。保存療法を用いる際に注意すべきことは、早期において過度な運動や負荷をかけたことによる再断裂を起こさないようにする事である。いずれの対処療法を用いるにしても、リハビリテーションプログラムはリハビリテーションの原則に沿いながらそれぞれ個別のメニューが計画されるべきである。

アキレス腱断裂では通常かなりの内出血や腫れが見られるが、今回はギプスで固定した際に患部を冷やすため着脱可能な部分を設けこまめにアイシングを行った。その結果として腫れが最小限に抑えられ、Knight らの示唆する「二次的外傷性損

傷」(Secondary traumatic damage: 酵素の作用と低酸素症のメカニズムによるさらなる損傷)を最小限に抑制したと考えられ、アイシングの生理的効果を最大限に活用したことが順調な治癒を促した大きな要因の一つであったと考えられる¹⁰⁾。

アキレス腱断裂に対し保存療法を用いる場合、通常日本では膝下のギプス固定(ヒールつき)を6週間行うのが定石であるが、今回は受傷1週間後にギプスを外し底屈37.5度の状態に設定したRWBを右下肢に装着した。今回のリハビリテーションメニューの運動療法的なメニューは足関節のストレッチ、中足趾節間関節(以後MPJ)と足関節における伸展/屈曲、内反/外反、階段の昇降エクササイズとし、物理療法的な内容はシャワーによる温熱とアイシング、及びセルフマッサージのみとした。Costa や Matsumoto らはこの外傷の早期リハビリテーション時期において適切な負荷をかける事は非常に有効であると指摘しているが、Maffulli らの研究では早期において足裏全面をつけて歩くことによりリハビリテーションの日程を短くは出来るが筋力の低下は防げなかったと報告されている¹¹⁻¹³⁾。

受傷後3日目から筋肉の神経-筋の促進低下を防ぐために足首の背屈、MPJにおける伸展/屈曲を Isometric exercise を用いて行い、3日目より痛みのない範囲において足首底屈/背屈の Active stretch も取り入れた。5日目より下肢の Active/Passive stretch や足首底屈/背屈、内反/外反の Isotonic exercises 等を追加、さらにRWBの角度を完全固定式ではなく可動可能な方法にセットし、日常生活における歩行、階段の昇り降り

などの動作をそのままリハビリテーションメニューとして利用した。痛みが誘発しない範囲における日常生活動作をリハビリテーションメニューとして取り入れた事が傷害部位に無理をしいることなく非常に有効な方法であったと推測できる。

VI. まとめ

中年男性が右アキレス腱断裂を受傷後、一週間のギブス固定の後RWBを使用しながら、日常生活動作を基本としたシンプルなりハビリテーションメニューをこなし、12週間後に日常生活へ復帰した。病院への定期的な通院もなく日常生活へ復帰する事に成功した主な理由は以下の要素であると考えられる。

- ① 受傷直後の適切な処置やギブス固定期間中もアイシングを行い患部の腫れが最小限に抑えられたこと。
- ② ギブス固定及びRWBの使用期間中、神経-筋促進メニューや関節可動域 (Range of Motion: 以降ROM) の回復メニューを痛みの無い範囲ですぐに始めた。結果として筋力やROMの低下が最小限に抑えられたこと。
- ③ RWBの可動域を可動可能な方式に設定し日常生活に用いる動作をそのままリハビリテーションメニューとして利用し、食事の栄養バランスにも注意したこと。
- ④ RWBを取り外した際、過背屈にならないように細心の注意を払ったこと。

中高年の人にとってリハビリテーションを行うための頻度の高い定期的な通院は時間的・経済的にかかなりの負担である。しかし、受傷後早期からRWBを活用し日常生活動作を主としたリハビリテーションメニューを用いることにより時間的・経済的負担を大幅に軽減することが可能である。今後、RWBの活用方法を検討し、より安全かつ短期間において日常生活に復帰可能なりハビリテーションプロトコルのさらなる研究が望まれる。

参考文献

- 1) Weber M, Niemann M, Lanz R, Muller T: Nonoperative treatment of acute rupture of the Achilles tendon: results of a new protocol and comparison with operative treatment. *Am J Sports Med*, Sep-Oct; 31(5): 685-91, 2003.
- 2) Lo IK, Kirkley A, Nonweiler B, Kumbhare DA, Operative versus nonoperative treatment of acute Achilles tendon ruptures: a quantitative review. *Clin J Sports Med*. July; 7(3): 207-11, 1997.
- 3) Arnheim D, Prentice W: *Modern Principle of Athletic Training*. McGraw Hill Co., 2000, 482-514.
- 4) Nyssonen T, Saarikoski H, Kaukonen JP, Luthje P, Hakovirta H: Simple end-to-end suture versus augmented repair in acute Achilles tendon ruptures: a retrospective comparison in 98 patients. *Acta Orthop Scand*, Apr; 74(2): 206-8, 2003.
- 5) Rantanen J, Hurme T, Paananen M: Immobilization in neutral versus equines position after Achilles tendon rupture. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, June; 64(3): 333-5, 1993.
- 6) Takao M, Ochi M, Naito K, Uchio Y, Matsusaki M, Oae K: Repair of neglected Achilles tendon rupture using gastrocnemius fascial flaps. *Arch Orthop Trauma Surg*, Nov; 123(9): 471-4, 2003.
- 7) Cetti R, Christensen SE, Ejsted R, Jensen NM, Jorgensen U: Operative versus nonoperative treatment of Achilles tendon rupture: A prospective randomized study and review of the literature. *Am J Sports Med*, Nov-Dec; 21(6): 791-9, 1993.
- 8) Therbo M, Petersen MM, Nielsen PK, Lund B: Loss of bone mineral of the hip and proximal tibia following rupture of the Achilles tendon. *Scand J Med Sci Sports*, Jun; 13(3): 194-9, 2003.
- 9) Majewski M, Lehmann M, Dick W, Steinbruck K: Value of sonography to monitor the course of Achilles tendon rupture after treatment-comparison of conservative therapy, percutaneous tendon adaptation, and open suture. *Unfallchirurg*, Jul; 106(7): 556-60, 2003.
- 10) Knight, K: クライオセラピー, 初版, ブックハウスHD, 1997, 31-43.
- 11) Costa ML, Shepstone L, Darrah C, Marshall

- T, Donell ST: Immediate full-weight-bearing mobilization for repaired Achilles tendon ruptures: a pilot study. *Injury*, Nov; 34(11): 874-6, 2003.
- 12) Matsumoto F, Frudai G, Uhthoff HK, Backman DS: Mechanical effects of immobilization on the Achilles tendon. *Arch Phys Med Rehabil*, May; 84(5): 662-7, 2003.
- 13) Maffulli N, Tallon C, Wong J, Lim KP, Bleakney R: Early weightbearing and ankle mobilization after open repair of acute midsubstance tears of the Achilles tendon. *Am J Sports Med*, Sep-Oct; 31(5): 692-700, 2003.

高齢者のための音楽療法における 身体運動

—指示を工夫したことによる参加状態の変化—

志水哲雄 (教養学部芸術学科音楽学課程)

荒川聡子 (教養学部芸術学科音楽学課程4年) 田澤美由紀 (教養学部芸術学科音楽学課程3年)

阿部知子 (教養学部芸術学科音楽学課程科目等履修生) 吉岡千夏 (教養学部芸術学科音楽学課程科目等履修生)

The Physical Exercise in the Music Therapy

—The Change of Clients' Participating Degree by Devising the Instructions of the Therapist—

Tetsuo SHIMIZU, Satoko ARAKAWA, Miyuki TAZAWA, Tomoko ABE and Chinatsu YOSHIOKA

Abstract

Since 1999 we have made the group music treatment for one year — one hour weekly — in a special protection home for the aged continuously. From the 1st week of April in that year to the last week of next year's March, we have taken the stretch activity to our music treatment program trying to add some devices or improvements for the way of instruction and the music used. These brought considerable effects to the clients(?) and made them easier to participate in our program. We report these process and effects with the mental growth of students who have participated in the practice.

The evaluation was made by a student recording an appearance of clients from three stages of their participation. And, their participating degree in the stretch activity were studied based on this.

Dividing the stretch activity which had been continuously executed for one year into four stages according to the modification in the method of instruction of the therapist (usage of the wording and music), a certain change was observed in their participating degree.

Such condition might have been caused by the following factors.

- (1) To have increased an imitative instruction reducing an instruction with language.
- (2) The more appropriate usage of music planed by considering of the condition in the activity.
- (3) Endurance of therapist who can wait the participation of clients.

Thus, we can say that the stretch activity became a very comprehensible, significant stretch activity for the aged introducing music and the instruction method appropriately devised.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.16, 103-110, 2004)

I. はじめに

音楽の多様な表現や影響を基本とする音楽療法の対象はきわめて広い。日本音楽療法学会では音楽療法を次のように定義している。「音楽療法とは、音楽の持つ生理的、心理的、社会的働きを用いて、心身の障害の回復、機能の維持改善、生活の質の向上、行動の変容などに向けて、音楽を意図的、計画的に使用すること」¹⁾。

実際の音楽療法では、対象者に対して全人的に関わる。高齢者の場合でも、一つ一つの活動は、音楽の機能を対象者のどこに、あるいは何に働きかけるか、それによって対象者の何の変容を願うか、明確な意図を持って組み立てられる。すなわち、

- ①身体機能に働きかける…身体機能の回復・維持
- ②情緒に訴える…心理面の変容
- ③集団活動を促す…社会性の賦活ないしは回復

東海大学教養学部音楽学課程では、1996年より音楽療法の教育の一環として、実習を重要視し、実施している。学生が実践で得ることは非常に多く、またきわめて深い。しかしながら学生のための実習といえども、対象者にとっても何らかの有意義なものが見出されるものでなければ、施設側に学生たちの音楽療法セッションを受け入れてもらい、長期にわたって継続させてもらえるものではない。

セッションは、4月から翌年3月までの1年間、同一メンバーが同じ場所で実践することを原則とする。セッションチームは、1チームあたり3～5人程度で構成。2年生から4年生までの混成チームとし、科目等履修生の希望者も加える。未熟な学生たちにとっては、単独でセッションを担当することはまだ荷が重い。お互いアイデアを出し合うことで内容を豊富にすることができ、チーム

として活動することで彼らの社会性も培われていく。

II. 目的

高齢になれば誰しも身体運動能力やADLの低下は免れない。施設に入居されている方々にとって施設側の手厚い介護があったとしてもそれは同じである。

高齢者にとっても、散歩や身体のストレッチ活動^{*}は、残存機能を維持、機能の低下を予防するために大変重要な要素で、施設側でも常々関心があり、日常のプログラムでも取り上げて実施にも力を入れているところは多い。

数年前からA特別養護老人ホームにおいて、週1回、1時間程度の集団音楽療法を継続、実施している。その中で、X年4月第1週より翌年3月最終週までの1年間、音楽療法のプログラムの中にストレッチ活動を取り入れ、セラピストの指示の仕方と、その際に使用する音楽とにそれぞれ工夫と改善を試みたところ、対象者の活動への参加がよりスムーズになり効果が見られたので、実習に参加した学生たちの成長も含めて報告する。

III. 対象者

A特別養護老人ホーム長期入居者

平均参加人数：23.8人（男性6.5人、女性17.3人）

平均年齢：86.1歳（男性80.4歳、女性88.7歳）

痴呆症状のある方や、身体的不自由を来たして車椅子の方も多く見受けられる。

*ストレッチ 音楽活動においてストレッチとは、普段使っていない部分に刺激を与えたり、ほぐしてあげる。いうなればあなたの「からだ」とあなたの対話のようなもの。（鴻上尚史著：発声と身体のレッスン—魅力的な「声」と「からだ」を作るために—、白水社、2002年）

Ⅳ. 方 法

毎回、対象者のストレッチ活動への参加度をポイント化し、ストレッチ活動中のセラピストの指示の工夫や変化との相関を検討するとともに、使用する音楽にも工夫を加え、その影響をも考察する。

ストレッチ活動について

時間：セッションの時間45分の内、毎回約10分。
活動の内容：肩たたき／肩の上げ下げ／首の上下左右／腕の上下左右 指のグーパー／指折り／さすり／手拍子／深呼吸など、主に上半身を中心とした座ったままでできる活動。

セッションへの参加も、途中入退室も参加者の自由。

ポイント化と記録の方法について

音楽療法スタッフの内1名が記録係りとして専念。

- ①参加している対象者の印象その他を記述式で記入。
- ②ストレッチ活動の時の対象者の動きや反応などを次の3段階で記入。
A……セラピストの指示通り、体を動かしている。
B……セラピストの指示通りではないが、体を動かしている。
C……体を動かしていない。

尚この方法は、記録者が瞬時に判断できるようにと、我々が相談して決めた独自の評価法である。

Ⅴ. セッションの概要

実施場所：A 特別養護老人ホーム食堂兼娯楽室
実施期間：X年4月第1週～翌年3月最終週の1年間、計50回。

実施日時：毎週月曜日 14：00～14：50

実施者：メインセラピスト 1名
コセラピスト（伴奏者含む）3名
補助として施設職員 2～3名

長期目標：施設側と協議して以下の3点を今年度の目標に設定し、それに即して活動内容を設定。

- ①残存機能の賦活と活用
- ②楽しみ、安心できる場の提供
- ③生きがいへの貢献

セッションの構造：基本的な構造は下記の通り。

（資料1プロトコル参照）

- ①「こんにちは」の歌……セッションの開始の認識
- ②歌唱Ⅰ……童謡や唱歌を中心
- ③ストレッチ……キーボードによる伴奏付き
- ④合奏……打楽器やトーンチャイム
- ⑤歌唱Ⅱ……歌謡曲中心
- ⑥鑑賞……セラピスト等による生演奏
- ⑦「さようならの歌」……セッション終結の認識

Ⅵ. 経 過

セラピストの指示の方法（言葉遣い・音楽の使い方）の変化ないしは特徴をもとに、1年間継続して実施したストレッチ活動を4期に分ける。その時々々の我々セラピストの心境に基づき、第1期「昏迷期」、第2期「摸索期」、第3期「浸透期」、第4期「定着期」とした。

（第1期：昏迷期）

第1回（4月1日）～第11回（6月10日）

A…55%、B…16%、C…29%

今年度の新たな活動としてこのストレッチ活動を取り入れた4月頃は、セラピスト側の説明が稚拙のせいもあり、この活動の理解が良く得られていなかったようで、活動に参加していない対象者もあり、あまり喜んでいる風でもなかった。嫌だ

表1 ストレッチ活動の経過一覧表

Table 1 Physical exercise

	指示の方法	音楽の使用法	動作持続時間	対象者の様子
<第1期> 「迷い」 第1回～第11回 (A) 55% (B) 16% (C) 29%	右、上、伸ばすなど言葉による指示が多い。	常に1曲のみ使用。一定の伴奏形。テンポは、参加者の動きから決められていない。	動作は短い。	参加率は低く身体を動かしている人は少ない。比較的痴呆の症状が重い人はあまり身体を動かしていない。表情は硬く楽しんで活動を行っているようには見受けられない。
<第2期> 「模索」 第12回～第17回 (A) 63% (B) 20% (C) 17%	言葉による指示が多いが、第1期ほどではない。	キーボードの自動伴奏機能や、伴奏のテンポの変化(遅く⇒速く⇒遅く)など、動きよりも音楽が先行した試み。逆に、動きの先行したBGM的伴奏も試した。	様々な動作の長さを試みる。	参加率が時折向上。音楽が激しくなると動作をやめてしまう人が目立つ。表情は少し和らいだが笑顔はあまり見られない。
<第3期> 「浸透」 第18回～第27回 (A) 74% (B) 13% (C) 13%	言葉による指示は減少。「真似して下さい」という言葉を入れ、模倣の度合いを高める。	参加者のテンポに合わせることを試みる。曲と伴奏系を動きに対応させて変化させることを試みる。	参加者の動きのテンポに合わせてられるようになり長めとなる。	参加率が更に向上。表情が和らぎ笑顔が見られる。
<第4期> 「定着」 第28回～第50回 (A) 72% (B) 12% (C) 16%	言葉による指示は更に減少。「真似して下さい」という言葉を入れ模倣の度合いを徹底。	参加者のテンポに合わせて。曲と伴奏系は動きと対応させて変化させる。参加者のなじみの曲を使用。	参加者の動きのテンポに合わせてより長くなり、動作の表現に沿った伴奏を工夫。	参加率は少し低下。表情が和らぎ、笑顔が多く見られる。歌いながら身体を動かす人もいる。

表2 参加状況

Table 2 Participating degree

	A (%)	B (%)	C (%)
第1期	55	16	29
第2期	63	20	17
第3期	74	13	13
第4期	72	12	16

からというよりも、何をやるのか分からないという雰囲気であった。

指示の方法:「右」「左」「腕を上」など、言葉による指示が多い。

音楽の形態:ストレッチの活動中1曲しか使用せず、テンポは対象者の動きに合わせてというより、伴奏者の任意であった。

動作の展開:各動作の持続時間は短く、すぐに次へと展開していった。そのため、耳が遠くなく、

かつ言葉での指示を理解でき、すぐに体を反応させることのできる対象者しか参加できていなかった。

痴呆の症状が重いと思われる方はほとんど活動に参加できなかった。体を動かしている方も、ついて行くのに「一生懸命」という感じで、表情は固く、楽しんで活動しているようには見受けられなかった。もっと楽しく、多くの方が参加できる活動にしなければならぬと思いつつ、ミーティングを重ねてもどうすればよいのか見つからず、まさに全員昏迷の状態であった。

(第2期:模索期)

第12回(6月17日)～第17回(7月22日)

A…63%、B…20%、C…17%

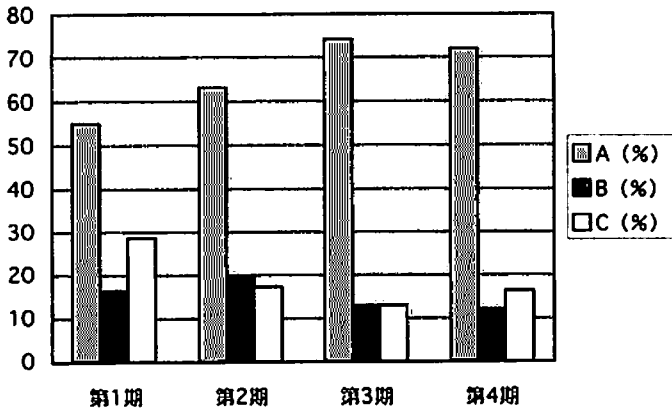


図1 参加状況グラフ
Fig. 1 Participating degree

指示の方法：第1期ほどではないが、いまだ言葉による指示は多い。

音楽の形態：キーボードの自動伴奏機能を活用し、ドラム音がミックスされたビートの激しい音楽で、対象者の動きを意識的に導こうと試みた。あまりに音楽が激しい時には、途中で動作をやめてしまう方が多く見られた。

時には落ち着いた雰囲気づくりをするべく、ソフトでムーディな伴奏も試みた。このような伴奏では、落ち着いた雰囲気は得られたが、動きを導いたり指示する力が弱いのか、参加している対象者の集中力が得られたとは言えず、あまり多くの参加は見られなかった。動きに合わせて伴奏のテンポや曲を変化させるということも試みた。

動作の展開：ストレッチ活動の際、各動作の持続時間は、すぐに次の動作に展開していく場合もしばしばあったが、一つずつ時間をかけられるようになり、様々な長さの動作を試みることができるようになった。

一つ一つの動作をじっくりと何度も繰り返して行くと、他の方より遅れてではあるが、参加できる方があらわれた。

模倣や、あるいは認識できてから活動するのに時間がかかる方の場合、できるようになった時の対象者の方の嬉しそうな表情を見るにつけ、我々セラピストは、その時間を待つことが大切であることを理解するようになった。

この第2期は本当に様々な方法を試み、まさに試行錯誤、模索の時期であった。しかし模索する中で、伝わりやすい指示の仕方のコツを見出してきたようにも実感している。

(第3期：浸透期)

第18回(7月29日)～第27回(9月30日)

A・・・74%、B・・・13%、C・・・13%

指示の方法：「右」、「左を向く」、「腕を伸ばして」などの言葉による指示の代わりに、「真似してください」という呼びかけで、言葉を理解してもらいよりも目の前のセラピストの動きをそのまま模倣してもらう方法を試みた結果、痴呆症状の重い方でも、比較的動きについてこられるようになったように見受けられた。

音楽の形態：曲のテンポは、対象者の自然な動きのテンポにセラピスト側が合わせるようにし、無理やり音楽で誘導しないよう心がけた。その結果、途中で動きをやめてしまう方も減少して、参加が多くなってきたことから、対象者にとって参加しやすい心地よい流れと雰囲気になってきたように思われる。

また、動きの変化に対応して、使用する曲や、即興の際のメロディ、伴奏型、選択する音色、テンポなどを変化させるなど音楽も変化させたところ、動作の変化も伝わりやすいようだった。

動作の展開：新たな指示の方法を取り入れたと

ころ、活動への参加が多くなり、痴呆症状の重い方でも参加しやすくなったのではないだろうか。何よりも以前にもまして皆さんの笑顔が増え、楽しそうに参加されている様子を見て、一番喜んだのは我々セラピストたちのような気がする。

今までの中でこの方法が一番対象者の反応が良かったので、さらにより多くの対象者の方々に参加していただけるようこの方法をしばらく意図的に集中して使った。

(第4期：定着期)

第28回(10月7日)～第50回(3月31日)

A・・・72%、B・・・12%、C・・・16%

指示の方法：第1期～第2期に試行錯誤しながら方法を探ってきたが、「模倣してもらう」方法に行着いた第3期に引き続き、第4期もこの方法を徹底して活用し定着させた。

音楽の形態：さらに伴奏の音楽を、対象者のなじみの曲(うさぎとかめ、鉄道唱歌など)を多用したところ、自ら歌いながら元気に活動される方も多く見受けられた。表情も笑顔も多くなり、会話ははずむようになった。

動作の展開：回数を重ねたことにより、動作やそれらの活動の順番を記憶し、積極的に参加され方が多くなり、ストレッチ活動を定着してきていることを実感している。

この時期の参加率は、第3期より若干参加率が低下しているが、それは1月に痴呆症状の重い新入居者を多く迎え入れたためと考えられる。経験の長くなってきた参加者と、新しく入居された参加者の、理解と参加度に著しく差が生じた。

Ⅷ. 考 察

1年間の活動を通して見ると、ストレッチ活動への対象者の参加が徐々に増加し、第4期で少々低下したとはいえ、第3期以降の活動への参加の増加と何よりも対象者の方の楽しそうな様子は、施設の職員の方の感想の中にも伺うことができた。

回数を重ねるうちに、参加している対象者の方と、セラピストの間の関係性が密になってきたことも大きな要因であろうが、ストレッチ活動への参加の増加と連動して、歌唱や合奏などの他の活動でもより活発、より熱心な参加が見られるようになった。

ストレッチ活動への参加をより促した要因として、セラピストの指示の仕方と音楽、特に伴奏の扱い方等での変化を以下の通りあげることができよう。

- (1) 言語的指示を減らし、模倣的指示を増やしたこと。
- (2) 場の流れや雰囲気考慮し、音楽の使い方がより適したものになるように工夫したこと。
- (3) 対象者の反応を把握し、対象者の参加をあせらず待つことができるようになったこと。

指示の方法の変化

言語的指示を極力少なくし、模倣的指示で参加を促すということで、参加の度合いが増した。

人間は、加齢とともに、前頭葉、側頭葉を中心に脳回は萎縮し、脳溝は開き、脳室は徐々に拡大するといわれている。高齢者(特に痴呆症の方)にとって、「聞く」→「理解」→「指示」→「行動」という脳の複雑な働きのプロセス、すなわち「他者の言葉での指示を理解して行動を起こす」というのは非常に難しい行動であろう。

それに対し、反射的に真似するという模倣は、痴呆の進んだ高齢者にとっても取り組みやすい。この模倣という方法は、音楽療法の他のプログラムであるトーンチャイム奏などでも活用している。

実はストレッチ活動で模倣的指示の方法を思いついたのは、ある日の合奏で、トーンチャイムを叩くタイミングを指示していたセラピストの動きだけをひたすら真似して、セラピストが左側に向いて手で合図すると、そちら側の方向に動かし、右側に合図するとそちら側に動かすという対象者に出会ったのがきっかけである。

集団での活動で、模倣といえども大人数の高齢者に内容や動きを適確に伝えるにはさらに、①指

表3 プログラム
Table 3 Program

年度 第38回		プロトコル		
実施日： 年 12月16日 月曜日		(今日の記念日) 電話の日		
実施時間：自14時00分 ~ 至14時45分				
実施場所：A 特別養護老人ホーム				
参加人数：男性 () 名・女性 () 名 計 () 名				
実施者：メインセラピスト(荒川聡子)、コセラピスト(吉岡千夏)・(阿部知子)・(田澤美山紀)・指導(志水哲雄)				
長期目標 (Long Goal)：残存機能の賦活と活用・楽しみ、安心できる場の提供・生きがいへの貢献				
項目	目的	活動内容	分担	留意点
導入・挨拶	構造の認識 ウォーミングアップ	「こんにちはの歌」	指示：荒川 伴奏：吉岡 記録：田澤	
展開, 1 歌唱Ⅰ	季節の認識 情動の発散 回想 発言	「雪山賛歌」 「母さんの歌」	指示：吉岡 伴奏：荒川 記録：田澤	答え易い質問内容とする
展開, 2 運動	身体運動 模倣 意識の集中	上半身ストレッチ	指示：阿部 伴奏：荒川 記録：田澤	
展開, 3 合奏	意識の集中 一体感 他者意識 情動の安定	トーンチャイム合奏 「母さんの歌」	指示：田澤 Vn：阿部 記録：吉岡	雰囲気演出
展開, 4 歌唱Ⅱ	情動の発散 回想 発言	「影を慕いて」 Hさんリクエスト	指示：荒川 伴奏：田澤 記録：吉岡	答え易い質問内容とする
展開, 5 演奏(鑑賞)	クールダウン	バイオリン独奏 「ゴンドラの唄」	Vn：阿部 P：荒川 記録：吉岡	質の高い演奏をする
終結・挨拶	構造の認識	「さようならの歌」	指示：荒川 伴奏：阿部 記録：吉岡	リクエストを促す

示者への注目、②集中力の持続ということが大切な要素となる。今回、音楽の様々な特性がそれらに重要な役割を果たしたと考えられる。

ストレッチ活動の際の音楽の使い方

・キーボードの音と、指示する声が同じ前方から伝わるので、対象者は前方に注目しやすい。(方

向の暗示)

- ・音楽が続けて流れているということは、無意識に運動の中断を妨げ、対象者の集中の持続を助ける。(集中の暗示)
- ・動きの変化に対応して旋律、伴奏、音色やテンポも変える。(変化の暗示)
- また、体を動かし、ストレッチ活動を助けるだ

けでなく、音楽そのものが雰囲気や、気分的にも楽しむことのできる活動であり、リズムをとったり楽器を叩いたり歌ったりすることは、心的・身体的発散となる²⁾。

さらに音楽は、人間個々の知力や状態に関わり無く、音刺激として直接人間の心身にはたらきかける。したがって音楽は諸感覚を刺激し、気分や感情を喚起し、生理的精神的の反応を引き出し、心身に活気を与える³⁾。

いろいろな場面で使用する音楽は、対象者の馴染みの曲の時が最も反応がよく⁴⁾、馴染みのある音楽を耳にすると、対象者は思わず口ずさんだり、手を叩いたり、知らず知らず体が動いていることがしばしばあった。

「同質の原理」(アルトシュラー)の通り、その場の自然な動きや雰囲気に合わせたテンポおよび曲想の音楽は、対象者にとって心地よく、リラックスしながら楽しく活動ができるだろう。

対象者の理解

ストレッチ活動の場合、対象者のADLを考慮して、活動の中の各動きを吟味しなければならない。当然ながら年齢相応の身体の動きがあるし、体力も当然低くなっている。決して無理な要求はしないよう心がけている。また、身体的にいろいろ不具合も出てくるので、集団で行なう時には対象者個々で、できる可能な範囲が違うことを注意深く観察し、嫌な気持ちを与えないよう留意しなければならない。

しかし実際にストレッチ活動を実施してみて、例え十分に手が上に挙がらなくとも、例え力強く動けなくとも、嬉々として参加して下さっている皆さんの顔を見ているとたまたまなく我々も嬉しくなる。

Ⅷ. 終わりに

高齢者にとって、楽しみながら身体を動かせるストレッチ活動は、有意義な活動であり、模倣的

指示はそのための効果的な方法であるといえる。

ともあれ体を動かすということは、多くの場合「快」の刺激であり、参加者の表情が明るくそして柔らかくなり、時には笑い声さえ起こり、その活動中も、終了直後もおおいに会話がはずむ。

我々がセッションを行なったこの1年の間に、施設側としては入居者のために身体運動やストレッチのような活動は意識的には取り入れられておらず、職員の方から「音楽療法の時間に利用者の皆さんが体を動かすことができ、良い運動になっていて助かります」とのコメントがあった。

今回は、我々が音楽療法のセッションの中での活動の一環としてストレッチを取り上げたが、その活動の内容が適切であったかどうか確信はない。

しかし素人の我々が提供する活動でさえ対象者の方々はとても喜んでくださり、「ありがとう」の声をかけてくださる謙虚な人生の大先輩方に、我々こそ感謝しないではいられない。

今後は、スポーツ医科学研究所や体育学部と共同で、音楽と運動が結びついた高齢者のための健康維持のための研究ができればと願っている。

引用文献

- 1) 日本音楽療法学会 会則検討委員会：日本音楽療法学会会則，日本音楽療法学会誌，2001，95-96.
- 2) 鹿島清五郎監修，大湊幸秀執筆：実践 音楽療法 あの日・あの時・こんな歌，2001，131-132.
- 3) 谷口高士編著：音は心の中で音楽になる，北大路書房，2000，189-190.
- 4) 篠田知璋，高橋多喜子：高齢者のための実践音楽療法，中央法規，2001，120-137.

スポーツ医科学研究所要覧

1. 研究機関名

和文名：東海大学スポーツ医科学研究所

英文名：Research Institute of Sport Medical Science,
The Tokai University

2. 所在地

東海大学湘南校舎

3. 設置年月日

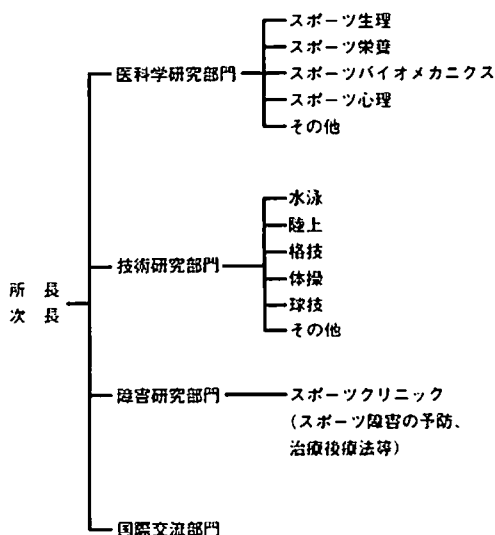
昭和62年10月1日

4. 設置目的

本研究所の設置の目的は、スポーツ・運動および、それに関連する健康の維持向上等に関する基礎的、応用的研究を行うとともに、競技力の向上、スポーツ障害の予防、対策等の新手法、新技術の開発とその応用の具体化、発展を期するところにある。

このために総合大学としての特性を生かし、学際的知識を結集、総合的視野の上に立った研究を推進する。

5. 研究所組織



東海大学スポーツ医科学研究所規程

1987年10月1日 制定

(2004年改訂予定)

第1章 総則

第1条 本規程は学校法人東海大学の総合研究機構規程第10条および第11条に基づき、東海大学（以下「本学」という）付属のスポーツ医科学研究所（以下「本研究所」という）の運営の適性を期し、もって本研究所設置の使命を果たすために定めるものとする。

第2条 本研究所の設置目的は、スポーツ・運動および、それに関連する健康の維持、向上等に関する基礎的、応用的研究を行うとともに、競技技術の向上、スポーツ障害の予防、対策等の新手法、新技術の開発とその応用の具体化、発展を期するところにある。

このために総合大学としての特性を生かし、学際的知識を結集、総合的視野の上に立った研究を推進する。

第3条 本研究所は前条に定められた目的を達成するためにつぎの事業を行う。

- (1) 調査・研究および試作
- (2) 調査・研究の結果の発表
- (3) 資料の収集整理および保管
- (4) 研究会・講演会および講習会等の開催
- (5) 調査・研究の受託または指導
- (6) 大学院学生の教育
- (7) その他、本研究所の目的を達成するために必要な事項

第4条 本研究所における調査研究の分野をつぎの通りに定める。

- (1) 医科学研究分野
運動の効用、健康の維持と向上、運動生理学、栄養学、メディカルチェックと運動処方、その他
- (2) 技術研究分野
バイオメカニクス、心理学、運動技術の向上と

その指導、トレーニング方法、その他

(3)障害研究分野

スポーツ・運動障害の予防、治療、競技復帰の指導、理学および作業療法、その他

(4)その他の分野

各分野を統合した学際的研究、生涯スポーツの実施と指導、スポーツおよび運動器具、機械、施設等の開発と、その安全性、その他

第5条 本研究所につきの研究部門を置く。

(1)医科学研究部門

(2)技術研究部門

(3)障害研究部門

(4)国際交流部門

第6条 本研究所は、本学湘南校舎に置く。

第2章 組織

第1節 所長・次長

第7条 本研究所に所長を置く。所長は本研究所を代表し、第1章に定められた本研究所の機能を果たすべく努めるとともに、その運営および事務的責任に任ずる。

第8条 本研究所に複数の次長を置くことができる。次長は所長を補佐し、所長が不在のとき、または事故のあったときその任を代理する。

第9条 所長は毎年度、当該年度の事業経過および年度の事業計画を作成し、総合研究機構運営会議の議を経て理事長の承認を得るものとする。

第2節 職員

第10条 本研究所に専任の教授・助教授・講師・助手・技術職員および事務職員等を置くことができる。

その定員は別に定める。

第3節 研究所員

第11条 本研究所に研究所員若干名を置き、研究に従事し、かつ研究所の運営にあたる。

2 研究所員は原則として本学の専任教職員のうちから総合研究機構運営委員長が任命するものとし、その任期は1ヵ年度とする。ただし、再任を妨げない。

第4節 研究員

第12条 本研究所に研究員若干名を置き、付託された研究事項に従事する。

2 研究員は原則として本学の教職員が兼務するものとし総合研究機構運営委員長の承認を得て研究所長が任命するものとし、その任期は1ヵ年度とする。ただし、再任を妨げない。

第5節 嘱託

第13条 本研究所は事業計画の実施に必要なときは、理事長の承認を経て当該事項に関する学識経験者を嘱託とし、調査・研究に参画させることができる。

第6節 研究生

第14条 本研究所は調査・研究に関する教育、または訓練を希望する者を研究生とすることができる。

第7節 委託研究および派遣員

第15条 本研究所は、学校法人東海大学以外の第三者の委託に基づく調査・研究を行うことができる。

2 委託調査、研究の受託に関しては、そのつと学務局研究計画部を通じて理事長の承認を経なければならぬ。

第16条 委託に基づく調査、研究の実施上必要のあるときは、委託者またはその派遣する者（以下派遣員と称する）を、所定の手続きを経たうえで調査、研究に参画させることができる。

第3章 運営

第17条 本研究所の運営は研究所員会議の議を経て行う。

第18条 研究所員会議は以下の者をもって構成する。

(1)研究所長

(2)研究所次長

(3)研究所専任および兼任の教授・助教授・講師

(4)必要に応じて他の者を出席させることができる。

第19条 研究所員会議はつぎの事項を審議する。

(1)事業計画に関すること。

(2)運営に関すること。

(3)予算及び決算に関すること。

- (4)人事に関すること。
- (5)研究委託に関すること。
- (6)研究生に関すること。
- (7)その他必要な事項。

第4章 経理

第20条 本研究所の経理は研究機関会計として処理する。

第21条 本研究所の会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日をもって終わる。

第22条 本研究所の経常経費は、総合研究機構からの交付金のほか、研究補助金・寄付金・委託研究費・研究調査費および、その他の収入をもって充当する。

ただし、総合研究機構からの交付金以外の経費の受託ならびに用途については事前に理事長の承認を必要とし理事長名をもって行う。

第23条 所長は毎年度の終わりに次年度の予算を編成し、総合研究機構運営会議の議を経て理事長の承認を得なければならない。

第24条 所長は毎年度始めに前年度の決算書を作成し、総合研究機構運営会議の議を経て理事長の承認を得なければならない。

第5章 特許および著作権

第25条 本研究所における調査、研究に基づく発明・考案または著作権の帰属およびその利用についての規程は別に定める。

第6章 付則

第26条 本規程を、改訂または変更する場合は、研究所員会議の議を経て総合研究機構運営会議の承認を必要とする。

第27条 本研究所の適切な運営をはかるために、本規程に定めるところのほか必要な諸規程を設けることができる。

付則 この規程は、昭和62年10月1日よりこれを施行する。

「東海大学スポーツ医科学雑誌」 寄稿規定

2004年4月1日

I. 和文規定

1. 本誌に寄稿できるのは原則として東海大学スポーツ医科学研究所所員及び研究員に限る。ただし編集委員会が必要と認めた場合には、所員以外でも寄稿できる。
2. 寄稿内容は、スポーツ医科学の研究領域における総説、原著論文、研究資料、書評、内外の研究動向、研究上の問題提起など、その他とし、完結したものに限る。
3. 原稿の取捨および掲載の時期は、本誌編集委員会において決定する。
4. 本誌に掲載された原稿は、原則として返却しない。
5. 原稿は原則としてワードプロセッサを用いA4版横書き、25字30行としフロッピーを添えて提出とする。外国語、外国固有名詞、化学物質名などは原語。外来語、動植物名などはカタカナ、数詞は算用数字を使用する。単位及び単位記号は国際単位系、メートル法を基準とする。項目わけは、……Ⅰ、……Ⅱ、……1、2、……1)、2)、……(1)、(2)、……a)、b) ……(a)、(b)、とする。
6. 総説、原著論文、研究資料の原稿は、原則として1篇につき、図表、抄録等を含めて刷り上がり10ページ以内、書評、内外研究動向、研究上の問題提起の場合は、刷り上がり1ページ以内とする。このページ数を超過した場合、あるいは、特別な印刷を要した場合には、その実費を寄稿者が負担する。
7. 図表は8枚以内とし、そのまま印刷できるような鮮明なものとする。写真は白黒・カラーとわないが、仕上がりは白黒のみとする。(但し、仕上がりをカラーで希望する場合及び特別な費用を要

した場合は寄稿者の負担とする。)

8. 図や表には、それぞれに必ず通し番号と、タイトル(表の場合、上方に、図の場合、下方に、和文を上として、和欧両文で記入)をつけ、1枚ずつ台紙か原稿用紙に貼り、本文とは別の番号順に一括する。図表の挿入箇所は、本文原稿の欄外に、赤インクでそれぞれの番号によって指示する。
9. 引用・参考文献は、原則として、本文の最後に引用順に一括し、雑誌の場合には、著者・題目・雑誌名・巻号・ページ・西暦年号の順とし、単行本の場合には、著者・書名・版数・発行所・西暦年号・ページの順に記載する。著者連名の場合は、省略しないで氏名を全部掲げて下さい。なお、引用及び注記は本文中文献引用箇所の右肩に、1)、2)のごとく、引用文献数字を挿入する。
10. 総説、原著論文、研究資料の原稿には、必ず別紙として、欧文規定5. a), b), c) に従った欧文(原則として英語)による300語以内の抄録を添える。なお、同時に欧文抄録の和訳文を添付することを原則とする。
11. 掲載論文の別刷りを希望するときは、その必要部数を、あらかじめ編集委員会に申し込み、原稿第1ページに「別刷り何部」と朱書する。なお、50部を越える別刷りの費用は寄稿者負担とする。
12. 寄稿論文は下記に送付する。

〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117

「東海大学スポーツ医科学研究所」編集委員会

II. 欧文規定

1. 2. 3. 4. は、和文規定に同じ
5. a) 原稿は、欧文(原則として英語)とし、A4版の不透明なタイプ用紙(レターヘッド等のあるものを除く)に、通常の字体を使い、ダブルスペースでタイプ書きにするが、写真図版にある文字についてはこの限りではない。また、図表説明のスペースはシングルとする。
b) 用紙の上端、下端および左端は約3センチ、

右端は約2.5センチの余白を置き、ほぼ27行にわたって書く。ページ番号は下端余白中央に書く。

c) 欧文による題目の下に著者名(ローマ字)、更に著者名の下に所属する機関名を正式英語名称に従って書く。

6. 原稿は原則として1篇につき、図表抄録を含めて刷り上がり10ページ以内とするが(刷り上がり1ページは、おおよそ600語である)、ただし、このページ数を超過した場合、あるいは特別な印刷を要した場合には、その実費を寄稿者が負担する。
 7. 8. 9. は、和文規定に同じ。
 10. 原稿には、必ず別紙として、和文による題目・著者名・所属機関および抄録(600字以内)を添える。
 11. 12. は、和文規定に同じ。
- 附則 この規定は2004年4月1日から適用する。

東海大学スポーツ医科学研究所

スポーツ医科学雑誌編集委員名簿 (2003. 4. 1)

- 1 委員長 堀江 繁
- 2 委員 山村 雅一
- 3 委員 寺尾 保
- 4 委員 小澤 秀樹
- 5 委員 吉川 政夫
- 6 委員 山並 義孝

2003年度スポーツ医科学研究所 所員・研究員名簿

1. 所長 堀江 繁 体育学部(社会体育学科)
2. 次長 山村 雅一 医学部(医学科基礎医学)
3. 専任 寺尾 保 スポーツ医科学研究所
4. 専任 中村 豊 スポーツ医科学研究所
5. 専任 有賀 誠司 スポーツ医科学研究所
6. 専任 恩田 哲也 スポーツ医科学研究所
7. 特任 麻生 敬 スポーツ医科学研究所
8. 特任 田中 誠一 スポーツ医科学研究所

9. 特任 齊藤 勝 スポーツ医科学研究所
10. 研究員 吉川 政夫 体育学部(社会体育学科)
11. 研究員 佐藤 宣践 体育学部(武道学科)
12. 研究員 山下 泰裕 体育学部(武道学科)
13. 研究員 高野 進 体育学部(体育学科)
14. 研究員 山並 義孝 体育学部(社会体育学科)
15. 研究員 三田 信孝 体育学部(社会体育学科)
16. 研究員 内山 秀一 体育学部(体育学科)
17. 研究員 曲谷 一成 電子情報学部(電気電子工学科)
18. 研究員 桑平 一郎 医学部(医学科内科学)
19. 研究員 小澤 秀樹 医学部(医学科内科学)
20. 研究員 加藤 達郎 体育学部(体育学科)
21. 研究員 高妻 容一 体育学部(体育学科)
22. 研究員 志水 哲雄 教養学部(芸術学科)
23. 研究員 八木原 晋 理学部(物理学科)
24. 研究員 大崎 栄 体育学部(体育学科)
25. 研究員 宮崎 誠司 医学部(医学科外科学)
26. 研究員 森久保俊満 健康科学部(社会福祉学科)
27. 研究員 東福寺俊義 リハビリテーション科
理学療法士

28. 研究員 岩垣 丞恒 体育学部(社会体育学科)
29. 研究員 諏訪 正典 学外
30. 研究員 柿原奈央子 学外

2003年度スポーツ医科学研究所 コアプロジェクト研究課題

健康・体力と競技力向上のための総合的研究

- 肥満者の減量および体力向上に対する高地トレーニング処方の研究
- 足趾力の足関節機能に及ぼす影響
- スポーツ選手の競技力向上のための筋力トレーニング法に関する研究
- 運動競技選手及び一般人の体組織に関する研究
その2
- 大学スポーツ選手におけるスポーツ傷害とその対策に関する研究

編集後記

「東海大学スポーツ医科学雑誌」は今回で第16号の刊行となりました。

本年度から私が本誌編集委員長を拝命致しましたがこの間、数多くの研究者から貴重な論文が刊行され、各方面により評価を得、着実に基盤を固められました。今年度からはこれらの基盤を礎とし、新たな方向性を打ち出しております。一つは、日本最大規模のトレーニングセンターを拠点に東海大学スポーツ医科学研究所独自のスポーツサポートシステムの更なる充実、具体的には学内30クラブ（約1300名）のスポーツ選手を対象にトレーニング部門、科学的部門、メディカル部門、栄養部門、メンタル部門の5部門を、二つ目には、これら運動選手から得られたデータを基にして特に多くの疾病の原因となり得る肥満に関して、多角的な視点から検討し、運動・栄養・休養に関するプログラムの開発や予防対策などの研究を行い、その成果を地域の人達に還元する。三つ目は、全学的規模での取り組みを行い多角的な視点から研究開発を行う。その具体例として、本研究所（低圧室を利用した競技力向上および健康維持増進に関する研究）と企業がタイアップし外部資金導入を図る産学協同プロジェクト。本年度はすでに企業から研究資金を得、着々と研究が進んでいます。

今後、この三本柱が三位一体としてバランスを保ちながら質の高い論文が刊行されて行くように、努力を惜しむことなく前に進んでいきたい。また、時代の変化に合わせて寄稿規程のあり方を慎重かつ十分な論議を重ねて検討を加えていきたい。

最後になりましたが、第16号刊行にあたってご寄稿を頂きました皆様方に厚くお礼申し上げます。

2004年2月

編集委員長 堀江 繁

「東海大学スポーツ医科学雑誌」

編集委員

委員長 堀江 繁

委員 山村 雅一

◇ 寺尾 保

◇ 小澤 秀樹

◇ 吉川 政夫

◇ 山並 義孝

東海大学スポーツ医科学雑誌 第16号 2004

発行日 2004年3月31日

編集 東海大学スポーツ医科学雑誌編集委員会

発行者 東海大学スポーツ医科学研究所 堀江 繁
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117 TEL 0463-58-1211

製作 東海大学出版会

印刷・製本 港北出版印刷株式会社

組版・装丁 株式会社テイクアイ