

東海大学

第19号 **スポーツ医科学雑誌** 2007

The Tokai Journal of Sports Medical Science

東海大学スポーツ医科学研究所



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芽生えたほのかな疑問であつた
しかし揺籃より墓場まで
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

その現実に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

生命の現実に人生を肯定しよう

不屈の精神と逞しき体軀をつくろふ

精神と肉体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奮進しよう

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

身体髪膚これを受敬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

われら肅然として襟を正し現実を正視しよう

昭和四十八年 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芽生えたほのかな疑問であつた
しかし揺籃より墓場まで
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

この現実に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

生命の現実に人生を肯定しよう

不屈の精神と逞しき体軀をつくろふ

精神と肉体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奮進しよう

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

身体髪膚これを受敬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

われら肅然として襟を正し現実を正視しよう

昭和四十八年 初春

松前重義

【研究論文】

女子柔道選手における片脚4方向ジャンプについて

有賀誠司・山田佳奈・白瀬英春・生方 謙 7

〈後方浮き支持回転倒立〉におけるトルクの消長

植村隆志・加藤達郎・小金澤鋼一 17

ハンドボールのシュート技能に関する運動学的考察

—フォワードスイング時のボールの軌跡に着目して—

平岡秀雄・田村修治・栗山雅倫・野口泰博 23

幼児期の運動機能向上のための「運動遊びプログラム」の提案 第二報

—介入幼稚園におけるコントロール測定の結果について—

山田 洋・加藤達郎・知念嘉史・相澤慎太・塩崎知美・三上恭史・長堂益丈 33

高齢化社会における中高年者の健康と疾病に対する高地トレーニング処方の有効性

寺尾 保・小澤秀樹・桑平一郎・三田信孝・伊藤栄治・山並義孝 39

メタボリックシンドロームへの運動効果

中村 豊・植田恭史・相澤慎太・葛 輝子
中山直子・前田昌彦・本間康彦・保坂 隆 47

誘電分光法で用いられる電極の解析による皮膚の水和構造の解釈

橋本美帆・後藤辰也・新屋敷直木・八木原晋 53

野球選手の手指血行障害改善に対する試み

西村典子・中村 豊・恩田哲也・伊藤栄治・甲斐堯介 63

裸足での砂浜トレーニングが足部に与える影響

吉田早織・中村 豊 69

【症例報告】

柔道選手の半月板損傷に対する前十字靭帯損傷の影響について

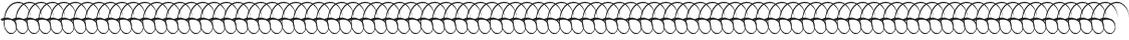
宮崎誠司・中村 豊・佐藤宣践・橋本敏明・白瀬英春
山下泰裕・中西英敏・上水研一朗 75

スポーツ医科学研究所所報	79
--------------	----

編集後記	85
------	----



表紙(画) 東 恵子

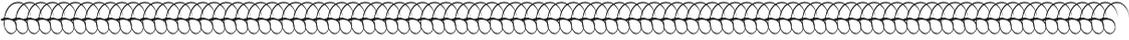


女子柔道選手における 片脚4方向ジャンプについて

有賀誠司 (スポーツ医科学研究所) 山田佳奈 (体育学部非常勤助手)
白瀬英春 (体育学部武道学科) 生方 謙 (体育学部非常勤講師)

A Study on the Training Method for Improving Women Judo Players' Athletic Ability with Regard to their Lower Body-the Single-leg 4-direction Hopping Method

Seiji ARUGA, Kana YAMADA, Hideharu SHIRASE and Ken UBUKATA



Abstract

The purpose of this study is to develop an effective training method for improving female judo players' athletic ability with regard to their lower body by using the single-leg hopping method in order to obtain some basic data on the testing method for determining its effectiveness. The subjects are female collegiate judo players, concerning whom the number of repetitions of single-leg 4-direction hops (hops in four directions: front, back, right and left) for twenty seconds was measured. Also examined was the relationship between its results and the athletes' body shape, weight class, technical characteristics, and other physical strength measurements. The findings are as follows:

- 1) The mean values of single-leg 4-direction hops were 64.4 ± 7.5 (for left hops) and 64.7 ± 6.6 (for right hops). They were nearly equal to those of male players.
- 2) There was a significant negative correlation between the measurements of their single-leg 4-direction hops and their weight and body fat percentage.
- 3) There was a significant positive correlation between the measurements of their single-leg 4-direction hops and their 1 RM weight ratio for squats, which indicates a positive relationship between the single-leg 4-direction hops and the leg-muscular power per weight.
- 4) There was no significant difference in measurements between right hops and left hops.
- 5) The measurements of their single-leg 4-direction hops showed that players whose specialties in judo skills were *seoinage* (or, arm shoulder throw) displayed more significant values than players whose specialties were *uchimatagari* (or, inner thigh throw) and *ohsotogari* (or, major outer throw).
- 6) The measurements of the single-leg 4-direction hops showed a tendency such that higher-ranked players displayed higher measurement values than average players, indicating the usefulness of this method as a field test for judo players.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 07-15, 2007)

I. 緒 言

柔道の立ち技においては、技を掛ける時や相手に技を掛けられた時などに、片脚立ちの状態バランスをとりながら自己や相手の体重を支持する局面が多くみられる¹⁾。柔道には、このような特有の動作特性があることから、近年、柔道選手の体力強化や、体力テスト及び評価の手段として、片脚支持姿勢による動作を採用した事例が増加傾向にある²⁻⁴⁾。この中で、全日本柔道連盟科学研究部は、2001年より、男女強化選手を対象として毎年実施している体力測定において、片脚で前後左右の4方向にすばやく移動する「片脚4方向ジャンプ」を採用し、選手の体力強化や傷害予防対策の資料として活用している⁵⁾。

一方、柔道選手には膝関節傷害が多く発生する傾向がみられ、その要因として、重量級選手において体脂肪率が高いこと⁶⁻⁸⁾、体重当たりの下肢の筋力が低い傾向にあること⁹⁻¹¹⁾などが指摘されている。特に、女子選手においては、男子選手と比較して膝関節傷害が多く発生する傾向があることが報告されており¹²⁻¹⁴⁾、原因として、重量級の女子柔道選手には片脚支持姿勢を伴う技を得意技とする者が多く、技をかけた際に片脚に対して過大な荷重が加わる機会が多いことが挙げられている¹⁵⁾。下肢のスポーツ傷害予防のためには、下肢の体重支持能力の向上が必要であることが指摘されている¹⁶⁾ことから、片脚立ち姿勢における体重支持能力やバランス能力を高めることは、女

子柔道選手の膝関節傷害の予防に対して有効に作用することが推測される。

これらの背景から、筆者ら¹⁷⁾は、片脚支持姿勢における下肢運動能力改善のためのトレーニング法や、その効果を把握するためのテスト法に関する基礎資料を得ることを目的として、男子柔道選手を対象に、片脚4方向ジャンプの測定を行い、体重やスクワット1RM 体重比との間に有意な正の相関関係が認められ、競技成績の優れた選手ほど高い値を示すことを報告したが、現在のところ女子選手を対象とした報告はなされていない。

そこで本研究では、女子柔道選手の片脚立ち姿勢における下肢運動能力改善のためのトレーニング法や、その効果を把握するためのテスト法に関する基礎資料を得ることを目的に、大学女子柔道選手を対象として、片脚4方向ジャンプの測定を行い、形態や階級、柔道の技術特性、他の体力測定項目の結果などとの関連について検討を行った。

II. 方 法

1. 被験者

本研究の被験者は、T大学柔道部に所属する女子選手41名であった。対象となった選手の所属階級の内訳は、48 kg級7名、52 kg級4名、57 kg級7名、63 kg級5名、70 kg級9名、78 kg級2名、78 kg 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。

表1 被験者の身体的特徴
Table 1 Physical characteristics of the subjects

階級	人数(名)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)
-48 kg	7	154.1±3.1	52.7±2.8	18.7±3.0
-52 kg	4	159.1±3.0	54.3±1.4	18.3±1.1
-57 kg	7	162.4±1.8	60.4±1.5	20.0±1.6
-63 kg	5	163.8±1.9	67.2±2.5	21.8±1.4
-70 kg	9	167.4±4.3	72.9±1.7	23.2±2.7
-78 kg	2	162.0±4.0	72.2±0.3	23.7±0.2
+78 kg	7	166.6±4.1	96.1±10.6	28.6±2.7
全体	41	162.6±5.7	68.7±15.3	22.2±4.1

2. 片脚4方向ジャンプの測定

平らな床面上に、外側が40 cm 四方の正方形を十字型になるようにして、19 mm 幅のラインテープにて図1のようにマーキングを施した。被験者は、右足で図中の中央①のエリアに片足立ちになり、支持足のみでできるだけすばやくジャンプしながら、①(中央)→②(前)→①→③(右)→①→④(左)→①→⑤(後)→①の順番で移動し続け、20秒間に各エリアに着地した回数を記録した。各エリアのラインから足が完全に外に出た場合には、回数をカウントしないものとした。また、ジャンプの方向を間違えた場合や、2回連続して各エリアのラインから完全に外に出た場合、反対側の足が床に着いてしまった場合には、2分以上の休息後に再度測定を行った。

右足による測定が終了したら、2分以上の休息後、左足にて同様の測定を行った。測定は、右・左ともに2回ずつ行い、それぞれについて多い方の回数を測定値として採用した。

3. その他の測定項目

1) スクワットの1RM

バーベルの中央部を肩に載せて直立した開始姿勢から、大腿部上端が床面と平行になるところまでしゃがみ、直立姿勢まで立ち上がる動作が遂行できたバーベルの最大挙上重量(1RM)を測定値とした。しゃがむ深さが規定に達しなかった場

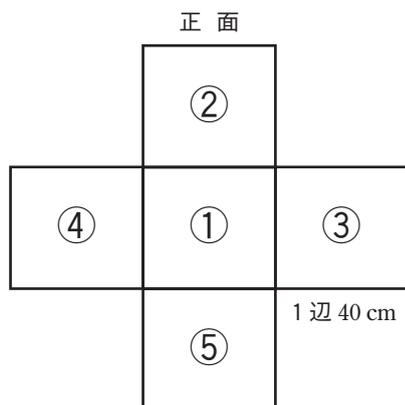


図1 片脚4方向ジャンプの床面マーキング
Fig. 1 Marking for Single leg 4-direction hops

合、バーベルを挙上できなかった場合、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。測定前には、フォームの説明を行うと共に、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わせた。

2) 反復横跳び

文部科学省新体力テストの実施要項に従い、100 cm 間隔の3本のラインを用いて、20秒間の反復横跳び動作を行い、ラインを通過した回数を測定した。測定は2回実施し、多い方の回数を測定値として採用した。

4. 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4方向ジャンプの測定値

表2及び図2に片脚4方向ジャンプの所属階級の平均値を示した。各階級の左脚による片脚4方向ジャンプの平均値及び標準偏差は、48 kg 級 70.7 ± 6.5 、52 kg 級 70.0 ± 2.6 、57 kg 級 64.1 ± 2.1 、63 kg 級 67.4 ± 4.7 、70 kg 級 60.9 ± 9.1 、78 kg 級 59.5 ± 2.5 、78 kg 超級 59.0 ± 8.0 であり、各階級間の平均値については、左右脚ともに、一部を除き統計的な有意差は認められなかったが、48 kg 級及び52 kg 級の平均値は、57 kg 級以上の階級と比べて高い数値を示す傾向がみられた。

2. 片脚4方向ジャンプの測定値と体重及び体脂肪率との関係

図3に、左脚による片脚4方向ジャンプの測定値と体重及び体脂肪率との関係を示した。片脚

4方向ジャンプと体重との相関係数は、左が $r = -0.48$ 、右が $r = -0.46$ であり、左右ともに有意な負の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。また、片脚4方向ジャンプの測定値と体脂肪率との相関

係数は、左が $r = -0.46$ 、右が $r = -0.50$ であり、左右ともに有意な負の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

表2 片脚4方向ジャンプの階級別平均値
Table 2 Result of Single leg 4-direction hops

階級	左	右
48 kg 級	70.7±6.5	68.6±6.0
52 kg 級	70.0±2.6	70.0±7.1
57 kg 級	64.1±2.1	62.1±3.4
63 kg 級	67.4±4.7	68.2±5.1
70 kg 級	60.9±9.1	64.1±6.4
78 kg 級	59.5±2.5	59.5±5.5
78 kg 超級	59.0±8.0	60.1±6.8
全体	64.4±7.5	64.7±6.6

3. 片脚4方向ジャンプの測定値と両脚スクワットの1RMとの関係

図4に、左脚による片脚4方向ジャンプの測定値と両脚スクワットの1RM及び1RM体重比との関係を示した。片脚4方向ジャンプの測定値と両脚スクワットの1RMとの相関係数は、左が $r = -0.23$ 、右が $r = -0.16$ であり、いずれも有意な相関は認められなかった。一方、片脚4方向ジャンプの測定値と両脚スクワットの1RM体重比

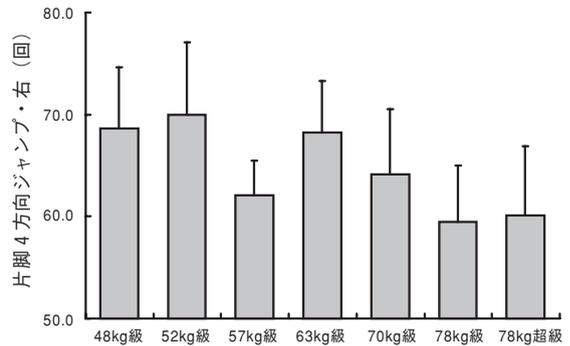
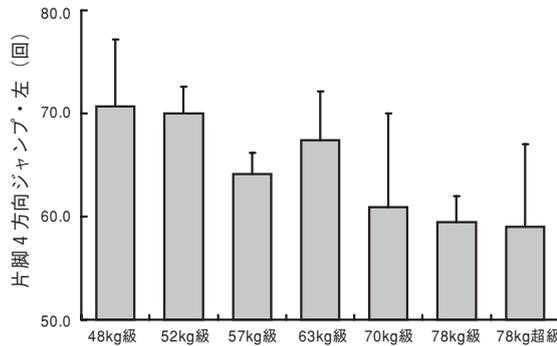


図2 片脚4方向ジャンプの階級別平均値 (左図：左脚、右図：右脚)
Fig. 2 Single leg 4-direction hops in each weight category

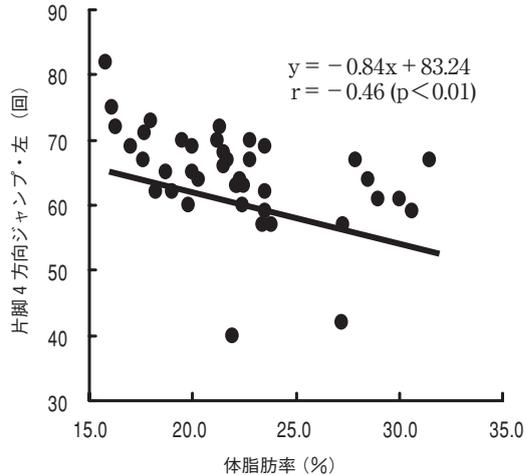
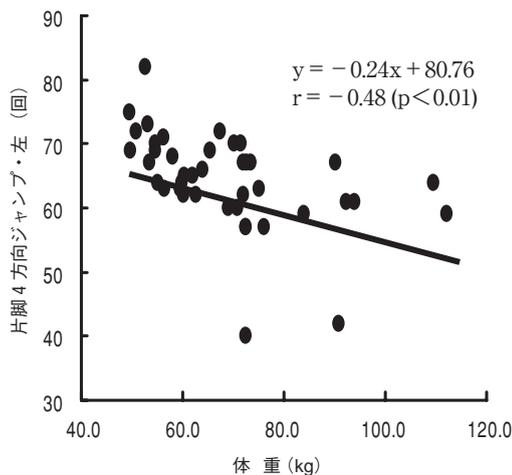


図3 片脚4方向ジャンプの測定値と体重及び体脂肪率との関係
Fig. 3 Relationship between Single leg 4-direction hops and body weight, and between Single leg 4-direction hops and relative body fat

との相関係数は左が $r = 0.38$ 、右が $r = 0.38$ であり、左右ともに有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.05$)。

4. 片脚4方向ジャンプと反復横跳びの測定値の関係

図5に、左脚による片脚4方向ジャンプの測定値と反復横跳びの測定値との関係を示した。片脚4方向ジャンプの測定値と反復横跳びの測定値との相関係数は、左が $r = 0.37$ 、右が $r = 0.31$ であり、左右ともに有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.05$)。

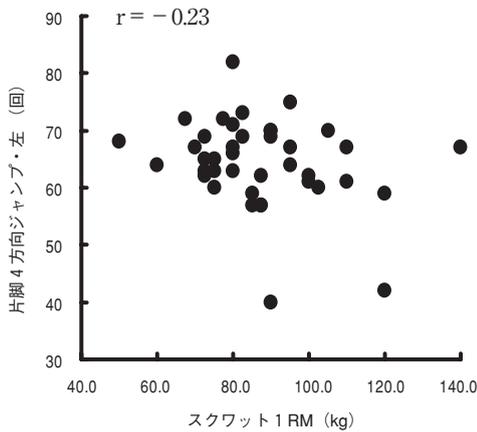


図4 片脚4方向ジャンプの測定値とスクワット1RM及び1RM体重比との関係
Fig. 4 Relationship between Single leg 4-direction hops and squat 1 RM

5. 片脚4方向ジャンプの測定値の左右差

図6に、全被験者を対象とした片脚4方向ジャンプの測定値の左右の平均値を示した。片脚4方向ジャンプの測定値の平均値及び標準偏差は、左が 64.4 ± 7.5 、右が 64.7 ± 6.6 であり、左右の測定値の平均値間には有意な差は認められなかった。

6. 片脚4方向ジャンプの測定値と柔道の軸足との関係

図7に、柔道の軸足と片脚4方向ジャンプの測定値との関係を示した。得意技において左脚を軸足とする群の片脚4方向ジャンプの測定値の平均

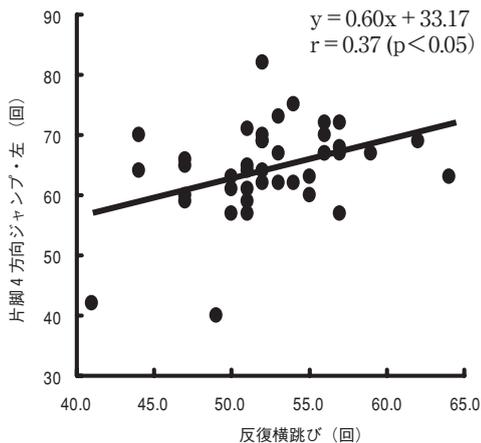
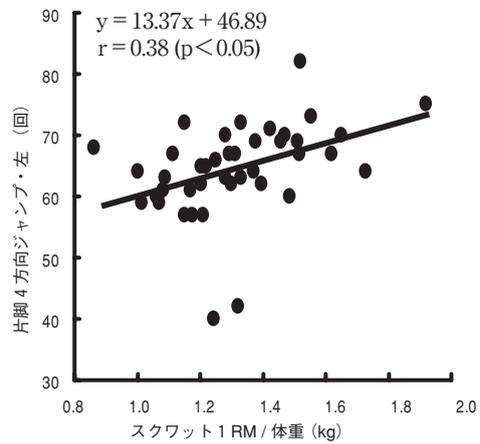


図5 片脚4方向ジャンプの測定値と反復横跳びの関係
Fig. 5 Relationship between Single leg 4-direction hops and side-step

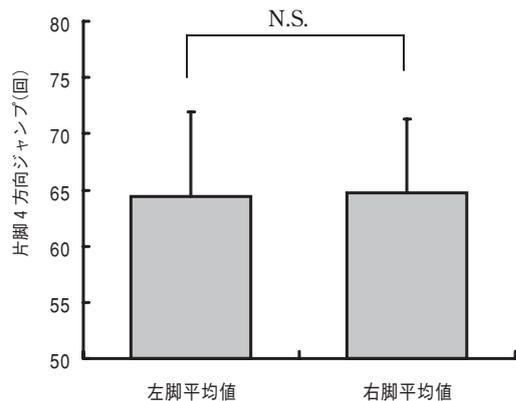


図6 片脚4方向ジャンプの左右の平均値
Fig. 6 Difference of repetition between right and left in Single leg 4-direction hops

値及び標準偏差は、左脚 64.3 ± 7.5 、右脚 63.5 ± 4.9 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、右脚を軸足とする群についても、片脚4方向ジャンプの左右の測定値の平均値間には統計的な有意差は認められなかった。

7. 片脚4方向ジャンプの測定値と柔道の得意技との関係

図8に、片脚4方向ジャンプの測定値と柔道の得意技との関係を示した。片脚4方向ジャンプの左脚測定値の平均値については、「背負投げ」を得意とする群は 69.4 ± 6.2 、「内股及び大外刈」

を得意とする群は 62.8 ± 7.3 であり、「背負投げ」を得意とする群の方が有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。また、右脚測定値の平均値についても、「背負投げ」を得意とする群は 68.4 ± 5.5 、「内股及び大外刈」を得意とする群は 63.5 ± 6.5 であり、「背負投げ」を得意とする群の方が有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

8. 片脚4方向ジャンプの測定値と柔道の競技成績との関係

図9は、大学柔道選手を対象とした主要な全国大会にて3位以内に入賞した実績を持つ被験者

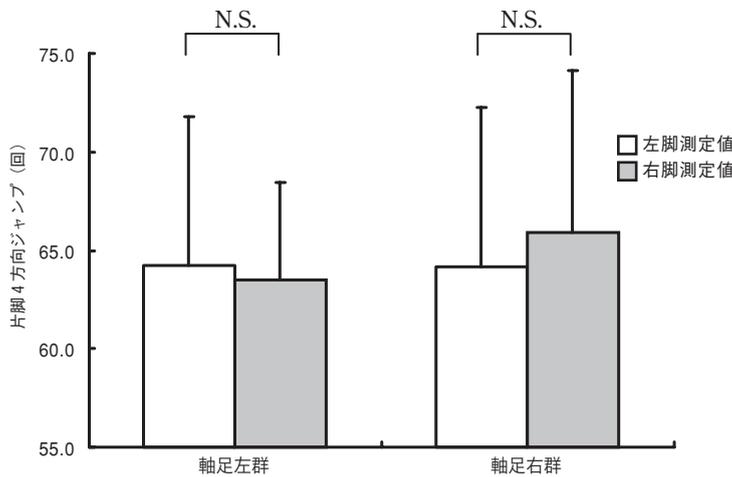


図7 片脚4方向ジャンプと柔道の軸足との関係
Fig. 7 Relationship between Single leg 4-direction hops and Judo pivot foot

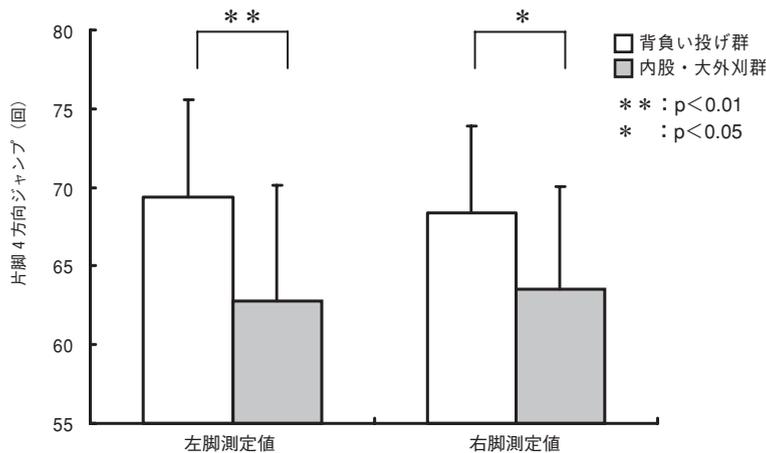


図8 片脚4方向ジャンプと柔道の得意技との関係
Fig. 8 Relationship between Single leg 4-direction hops and Judo technique

(優秀選手群：n = 8) と、それ以外の被験者（一般選手群：n = 33）における、片脚4方向ジャンプ測定値を比較したものである。左脚の測定値の平均値及び標準偏差については、優秀選手群は 66.6 ± 3.5 、一般選手群は 64.1 ± 8.2 であり、両群の間には統計的な有意差は認められなかったが、優秀選手群の方が高い値を示す傾向がみられた。また、右脚についても、優秀選手群は 67.1 ± 4.4 、一般選手群は 64.7 ± 6.4 であり、両群間には統計的な有意差は認められなかったものの、優秀選手群の方が高い値を示す傾向がみられた。

IV. 考 察

本研究における片脚4方向ジャンプの平均値は、左が 64.4 ± 7.5 、右が 64.7 ± 6.6 であった。有賀ら¹⁷⁾は、大学男子柔道選手93名を対象に、片脚4方向ジャンプを行った結果、左が 62.9 ± 7.3 、右が 63.5 ± 7.8 であったことを報告しており、今回の女子柔道選手を対象とした測定値は、男子選手と同程度の数値を示した。階級別で比較してみると、48 kg 級及び52 kg 級の値は、男子の60 kg 級及び66 kg 級の測定値を大きく上回る傾向がみられたのに対し、78 kg 級及び78 kg 超級については、

男子の100 kg 級及び100 kg 超級の測定値をやや下回る傾向がみられた。これらのことから、女子柔道選手の片脚4方向ジャンプの測定値は、男子選手とほぼ同程度の値を示し、軽量級選手の場合には、男子選手を上回る数値を記録する場合があることが明らかとなった。

本研究では、片脚4方向ジャンプの測定値と体重及び体脂肪率との間に、いずれも有意な負の相関が認められた。体重が重く、体脂肪率が高い選手ほど測定値が低い傾向がみられたことから、片脚4方向ジャンプの測定値には、体脂肪量が負荷として影響し、測定値に対してマイナス要因として作用したものと推測された。上述した有賀ら¹⁷⁾による男子柔道選手を対象とした報告では、片脚4方向ジャンプの測定値と体脂肪率との間には有意な相関が認められなかったことを考慮すると、女子柔道選手の場合、片脚4方向ジャンプの測定値には、男子選手よりも体脂肪量の要因が、より大きく関与している可能性が示唆された。

下肢の筋力の指標として測定を行ったスクワットの1RMとの関連について着目すると、片脚4方向ジャンプの左右の測定値とスクワット1RMの絶対値との間には、有意な相関は認められなかったのに対して、スクワット1RMの体重比との間には、左右ともに有意な相関が認められた。男子

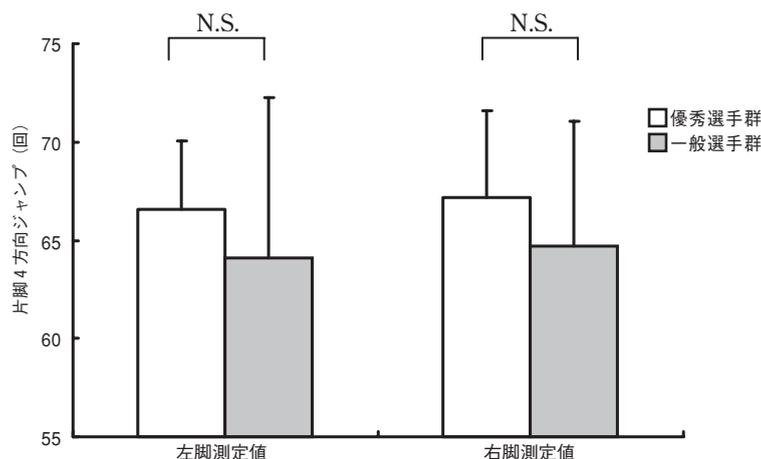


図9 片脚4方向ジャンプと柔道の競技成績との関係

Fig. 9 Relationship between Single leg 4-direction hops and level of competition

柔道選手を対象とした報告においても類似した傾向がみられたことから、女子柔道選手の片脚4方向ジャンプの測定値には、男子同様、下肢の体重当たりの筋力が関連していることが明らかとなった。また、片脚4方向ジャンプと反復横跳びの測定値との間には有意な正の相関が認められ、これについても男子選手を対象とした報告と同様の傾向がみられた。

柔道の技術との関連については、片脚4方向ジャンプの左右の測定値の比較や、柔道の軸足との関係について検討を試みたが、特別な関係を見いだすことはできなかった。一方、得意技との関連について着目したところ、「背負投げ」を得意技とする群の測定値は、「内股及び大外刈」を得意技とする群の測定値よりも有意に大きな値を示した。片脚4方向ジャンプは片脚立ち姿勢で行われることから、動作特性としては、両脚立ち姿勢で行われる「背負投げ」よりも片脚立ち姿勢で行われる「内股及び大外刈」の方が関連が高いと思われたが、本研究ではこれに反する結果となった。この要因として、「背負投げ」は、「内股及び大外刈」と比較して、膝及び股関節を深く曲げて重心位置の低い姿勢をとるために、より大きな下肢の筋力が必要とされる傾向にあることから、片脚4方向ジャンプの測定値には、支持脚の動作特性よりも、下肢の筋力の要因が関与したものと推察された。また、軽量級の選手には「背負投げ」、重量級の選手には「内股及び大外刈」を得意とする選手が多い傾向にあることも関連していると考えられた。なお、男子選手を対象とした報告では、片脚4方向ジャンプの測定値と柔道の得意技との間には関連が見いだせなかったことから、女子選手の方が、男子選手と比べて片脚4方向ジャンプの測定値に対して、柔道の技術的な要因がより深く関与している可能性が示唆された。

柔道の競技成績との関連については、統計的な有意差は認められなかったものの、優秀選手群の方が、片脚4方向ジャンプの測定値が高い値を示す傾向がみられ、柔道の競技パフォーマンスとの

関連とともに、柔道選手のためのフィールドテストとしての有用性が示唆された。

V. 要 約

本研究では、女子柔道選手の片脚支持姿勢における下肢運動能力改善のためのトレーニング法や、その効果を把握するためのテスト法に関する基礎資料を得ることを目的として、大学女子柔道選手を対象に、片脚で前後左右の4方向にジャンプする「片脚4方向ジャンプ」の20秒間の反復回数の測定を行うとともに、形態や階級、柔道の技術特性、他の体力測定結果などとの関連について検討を行い、次のような知見を得た。

- 1) 女子柔道選手の片脚4方向ジャンプの平均値は、左 64.4 ± 7.5 、右 64.7 ± 6.6 であり、男子選手とほぼ同程度の値を示した。
- 2) 片脚4方向ジャンプの測定値と体重及び体脂肪率の間には有意な負の相関が認められた。
- 3) 片脚4方向ジャンプの測定値とスクワット1RM体重比の間には有意な正の相関が認められ、体重当たりの脚筋力との関連が示唆された。
- 4) 片脚4方向ジャンプの左右の測定値間には有意な差は認められなかった。
- 5) 片脚4方向ジャンプの測定値は、「背負投げ」を得意技とする選手の方が、「内股及び大外刈」を得意技とする選手よりも有意に大きな値を示した。
- 6) 片脚4方向ジャンプの測定値は、競技成績に優れた優秀選手群の方が、一般選手群よりも高い値を示す傾向が認められ、柔道選手を対象としたフィールドテストとしての有用性が示唆された。

参考文献

- 1) 田中秀幸, 松浦義行, 飯田穎男, 中島 隼, 武内政幸, 若山英央: 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.

- 2) 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.
- 3) 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：柔道選手における片脚スクワットについて，東海大学スポーツ医科学雑誌，16，34-44，2004.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 金久博昭，近藤正勝，角田直也，池川繁樹，福永哲夫：体重制競技選手の体肢組成，Jpn. J. Sports. Sci，4(9)，699-704，1985.
- 8) 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.
- 9) 有賀誠司，金山浩康，斉藤 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.
- 10) 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.
- 11) 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科学雑誌，2(4)，107，1994.
- 12) 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科学雑誌，9，9-12，1997.
- 13) 戸松泰介，竹内秀樹，山田 成，今井 望：大学柔道選手の膝関節傷害，東海大学スポーツ医科学雑誌，6，63-67，1990.
- 14) 財団法人日本体育協会：アスレティックトレーナーテキストI，184-186，2004.
- 15) 阿部兼之：女子柔道選手の障害に関する研究～大学生を中心として～，別府大学紀要，38，77-84，1997.
- 16) 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.
- 17) 有賀誠司，中西英敏，山下泰裕，恩田哲也，生方 謙：柔道選手の下肢運動能力改善のためのトレーニングに関する研究～片脚4方向ジャンプについて～，東海大学スポーツ医科学雑誌，17，7-15，2005.

〈後方浮き支持回転倒立〉における トルクの消長

植村隆志 (大学院体育学研究科) 加藤達郎 (体育学部体育学科)

小金澤鋼一 (工学部機械工学科)

The Development of Torque in “Free Hip Circle Through Handstand”

Takashi UEMURA, Tatsuro KATO and Koichi KOGANEZAWA

Abstract

The purpose of this study was to examine the development of torque in “Free hip circle through handstand”. The torque was calculated from kinematics data and “Lagrange Method”. The results may be summarized as follows.

- The distance of center of gravity from the axis was getting shorter subsequently getting longer.
- Though shoulder joint was extended, the distance of center of gravity from the axis increased. In this period, hip joint flexion and anteflexion of the trunk was observed. On the other hand, coriolis torque of anti-direction of rotation was also observed.
- It becomes a useful method to apply the elastic pendulum and rotation moment.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 17-21, 2007)

I. 目 的

体操競技の技術指導における術語について金子¹⁾は、体操競技界の人々は当たり前のように術語を使っているため、素人に入り込めない壁を作り上げている、と指摘している。このことは、スポーツに使われる術語が有する一般性の低さを指摘していることに他ならない。このような観点から洪川²⁾は、〈大車輪〉における重要な技術である“ぬき”に関して、振り運動における力学的エネルギーを指標として検討し、これを肩の伸縮であると報告している。このように、感覚的な用

語を一般的な用語で定義することは技術指導にとっても、あるいは初心者が体操競技に取り組むにも有用である点に意義があろう。

本研究は、中学・高校の規定演技の構成にも組み込まれている基礎的な技である〈後方浮き支持回転倒立〉に求められる“胸ふくみ”に注目し、この動作の力学的特徴を求める過程に用いられる‘伸縮する振り子モデルの適用’と‘トルクの算出’の妥当性を提案し、その手法の有用性を示すことを目的とした。このことにより、感覚的な体操競技の用語を一般化するのに寄与すると考える。

II. 方 法

1. 概要

段違い平行棒における〈後方浮き支持回転倒立〉を伸縮する振子とみなし、その映像から得られた Kinematics データに基づいて、動作中に生起するトルクの消長を検討した。

2. 力学的一般式の適用について

1) 動作モデルの規定

Fig. 1には試技のスティックピクチャーを、Fig. 2には重心の軌跡と「回転軸から重心までの距離」を記した。

本試技を、棒を回転軸とした身体の振子運動とみなし、回転軸周りのトルクを算出した。振子運動には単振子・複振子・伸縮する振子の3種類が定義されているが、本試技は各関節角度の変化などによって回転軸から重心までの矢状面における距離が変化するため、伸縮する振子とみなした。また、胴体部分においては“胸ふくみ”などによって慣性半径の伸縮が起こるため、慣性モーメントも変化するものとして捉えた。

2) 関節角度の定義

本試技においての「回転軸から重心までの距離」を変化させ得る関節は、肩・股関節と“胸ふくみ”である。“胸ふくみ”は「背中を丸め、胸をへこませ」と記述されることから、胸椎・腰椎の前屈と上肢帯の外転^{3, 4)}によって成されると

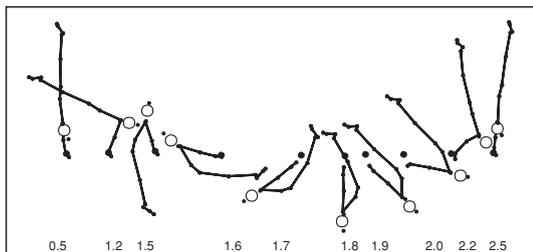


図1 試技のスティック-ピクチャー (被験者 A)

Fig. 1 Stick-Pictures (Subj. A)

考え、肩・肋骨下端・大転子を結んだ線分の成す腹部側の角度とした。

3) 伸縮する振子に生起するトルクの算出

伸縮する振子のエネルギーは一般に以下のように表される。

位置エネルギー (PE) は

$$PE = mgh = mgr(1 - \cos\theta) \quad (1.1)$$

運動エネルギー (KE) は

$$KE = \frac{1}{2}m(r\dot{\theta})^2 + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m\dot{r}^2 \quad (1.2)$$

となる。

伸縮する振子には「慣性トルク」「コリオリのトルク」「慣性モーメントが変化することによって生じるトルク」「重力トルク」の4種類のトルクが発生する^{2, 5)}。各トルクはラグランジアンの方法を用いて算出した。演算式は以下の通りである。

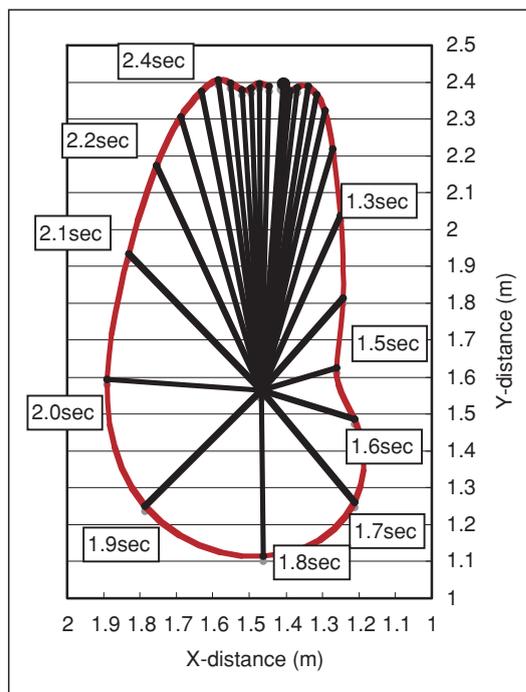


図2 回転軸から重心までの距離の変化 (被験者 A)

Fig. 2 A change of the radius (Distance of Center of gravity from the axis of rotation.). Subj. A

$$L = KE - PE \quad (2.1)$$

であり、式 (1.1) と式 (1.2) を代入すると

$$L = \frac{1}{2}mr^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m\dot{r}^2 - mgr + mgr\cos\theta \quad (2.2)$$

となる。

求められた「L」を運動方程式に代入して各トルクを算出する。

運動方程式は以下の通りである。

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \quad (3.1)$$

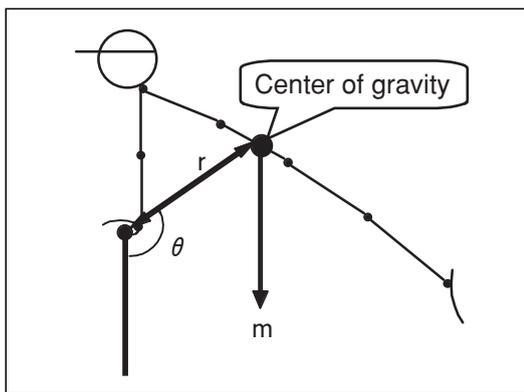
式 (3.1) に式 (2.2) を代入すると、

$$(mr^2 + I)\ddot{\theta} + (2mrr\dot{r} + \dot{I})\dot{\theta} + mgr\sin\theta = 0 \quad (3.2)$$

となる。

この式 (3.2) の左辺の各項がそれぞれ、「慣性トルク」「コリオリのトルク+慣性モーメントが変化することによって生じるトルク」「重力トルク」を表し、右辺は回転軸周りに生じるトルクが0であることを示す。なお、本研究における正の値のトルクは反・回転方向を示す。

本研究では式 (3.2) に下記の値を代入して各トルクを求めた。なお、本実験において「慣性モー



m = 質量及び身体部分量
r = 身体合成重心及び部分重心から回転軸までの距離
I = 慣性モーメント⁶⁾
θ = 振幅

図3 代入した要素
Fig. 3 Substitution element

メントが変化することによって生じるトルク」の値は非常に小さいため無視し、「コリオリのトルク」のみを検討した。

3. 映像の採取及び解析

熟練した体操競技女子選手2名（共に19歳）の動作を解析対象とした。試技を矢状面からビデオカメラを用いて30 frame/secで撮影し、両被験者ともその中から最も優れた各1試技を選出した。なお、被験者および試技の選出に際しては、日本体操協会公認第一種審判員資格保持者の採点を参考にした。

得られた映像は二次元ビデオ動作解析システム（Frame-DIAS II、DKH社製）を用いて解析した。Filterは残差解析（WellsとWinter）により、Bryant：6 Hzとした。

III. 結果及び考察

1. 〈後方浮き支持回転倒立〉の特徴

〈後方浮き支持回転倒立〉は最終的に〈倒立〉に至って成立する。この技に含まれる運動形態である“浮き支持回転”は、前半に肩関節の伸展を

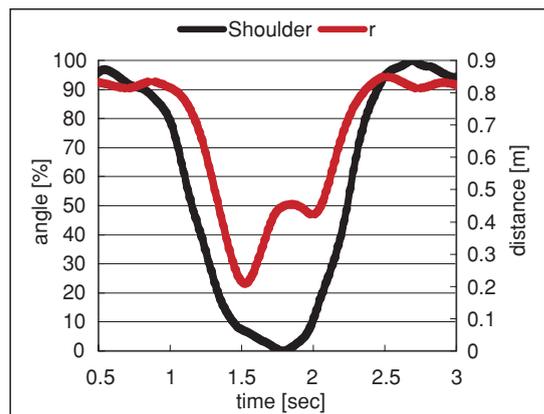


図4 肩関節角度と「回転軸から重心までの距離」(被験者A)
Fig. 4 Change of “r” and angle of shoulder

行い、後半に倒立のため屈曲を行う。この技における「回転軸から重心までの距離」は、肩関節伸展の際には短縮し、屈曲に際しては伸長する。このことは Fig. 4からも見てとれる。

渋川²⁾は鉄棒の〈大車輪〉について「力学的エネルギーは、振り下がってくるにつれて鉄棒から重心までの距離、すなわち、体を伸ばすことによってその一部が吸収され、棒下での運動エネルギーを少なくし、支持力を減らしていると思われる。また、振りあがる時には鉄棒から重心までの距離を縮めることによってエネルギーを増し、棒上に到達しているものと考えられる。」としている。

〈後方浮き支持回転倒立〉と〈大車輪〉は共

に「伸縮する振子」とみなすことが出来る。しかし、〈大車輪〉は前半に「回転軸から重心までの距離」が伸長し、〈後方浮き支持回転倒立〉は短縮する。逆に後半では〈大車輪〉は短縮し、〈後方浮き支持回転倒立〉は伸長する。これらのことから、「伸縮する振子」として捉えられる〈後方浮き支持回転倒立〉の特徴として、前半に短縮し、後半に伸縮することが明らかになった。

2. 「回転軸から重心までの距離」とコリオリのトルクの関係

〈後方浮き支持回転倒立〉は肩関節の伸展・屈曲に併せて「回転軸から重心までの距離」が短縮・伸長する (Fig. 4参照)。しかし、動作開始時

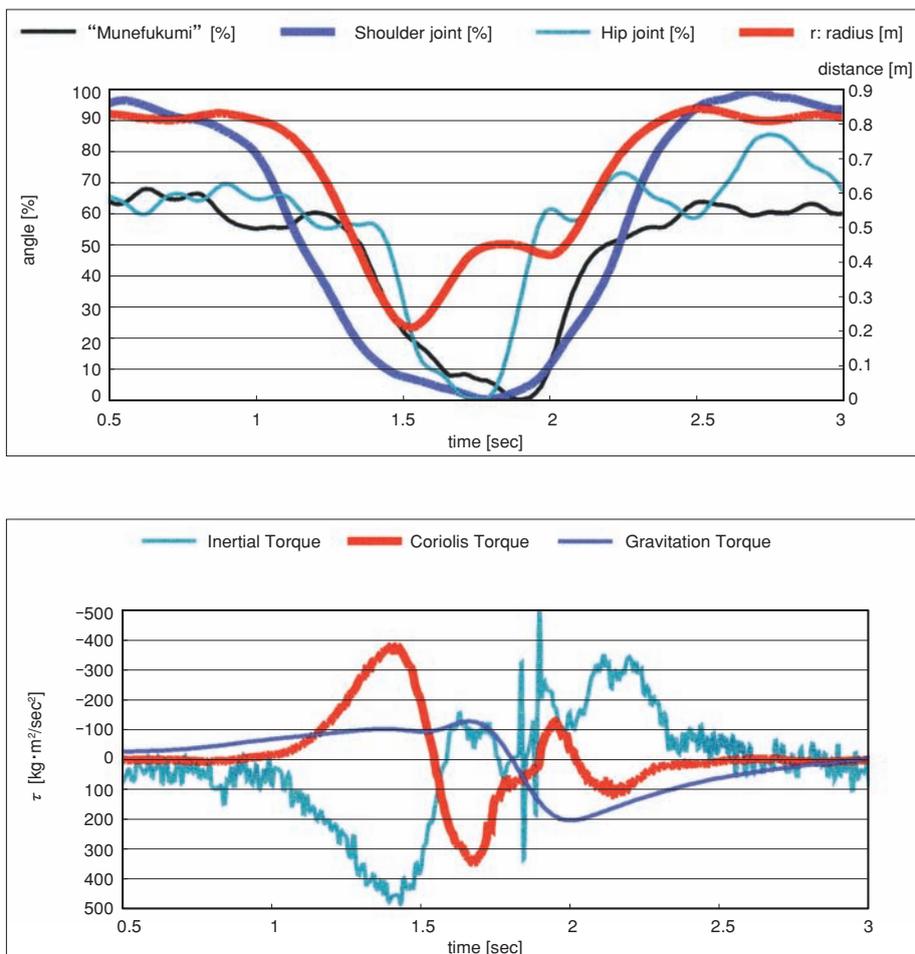


図5 各トルクの変化、並びに各関節角度の変化と「回転軸から重心までの距離」の変化 (被験者A)
Fig. 5 Change of all torques. Change of "r", angle of "Munefukumi", shoulder and Hip

の倒立から肩関節が伸展しているのにも関わらず、「回転軸から重心までの距離」が急激に伸長する時期 (1.5~1.9 sec) がある。この1.5~1.9 secの時期に反・回転方向へのコリオリのトルクが発生している (Fig. 5参照)。反・回転方向へのコリオリのトルクは「回転軸から重心までの距離」の伸長によって生起していることが、II-2-3)の式(3.2)からも見てとれる。また、同時期に股関節屈曲と“胸ふくみ”の増加が起きていることから、これらが肩関節伸展に対抗して「回転軸から重心までの距離」の伸長に貢献していることが示唆された。この反・回転方向へのコリオリのトルクの大きさは、渋川が述べている「棒下での運動エネルギーを少なくし、支持力を減らしている」という役割を担っていることが推察される。つまり、〈後方浮き支持回転倒立〉におけるコリオリのトルクは、回転を維持するために必要なトルクであり、各関節の屈伸が貢献し発生させていることが示唆された。なお、被験者Bについても同様の結果・考察が得られた。

3. 結論

以上のことから、〈後方浮き支持回転倒立〉を成立させるために、“胸ふくみ”の増減と股関節の屈伸による力学的エネルギーの調節を行っていることが示唆された。このことから、〈後方浮き支持回転倒立〉と〈大車輪〉の実施にあたり、試技者が操作できる「回転軸から重心までの距離」の変化が振り運動としての両者の技に大きく影響していることが示唆された。また、〈後方浮き支持回転倒立〉を代表とする体操競技の懸垂振動技の特徴について、伸縮する振子におけるトルクを指標として検討することの有効性が示唆された。

IV. まとめ

本研究は、〈後方浮き支持回転倒立〉におけるトルクの消長を検討することを目的とした。得られた Kinematics データからラグランジャンの方

法を用いてトルクを算出し、以下のことが判った。

- ・〈後方浮き支持回転倒立〉における「回転軸から重心までの距離」は、前半に短縮し後半に伸長するという特徴が見られた。
- ・肩関節が伸展しているにも関わらず、「回転軸から重心までの距離」が増加している時期があった。また、この時期の「回転軸から重心までの距離」の短縮に、股関節屈曲と“胸ふくみ”の増加が貢献していることが示唆された。この時期の反・回転方向へのコリオリのトルクが、回転を維持していると示唆された。
- ・〈後方浮き支持回転倒立〉を代表とする体操競技の懸垂振動技について、伸縮する振子におけるトルクを指標として検討することの有効性が示唆された。

引用・参考文献

- 1) 金子明友：体操競技のコーチング，大修館書店，1974，284-497.
- 2) 渋川侃二：現代保健体育学大系 6，運動力学，大修館書店，1969，125-131.
- 3) 中村隆一，齋藤 宏：基礎運動学 第5版，192-193，医歯薬出版株式会社，2000. 3. 1.
- 4) 齊藤 宏：運動学 第2版，医歯薬出版株式会社，2003，61-63.
- 5) 深代千之，柴山 明：スポーツ基礎数理ハンドブック，朝倉書店，2000. 9. 20，354-363.
- 6) 阿江通良：Kinematics と Kinetics とつなぐ身体部分係数—その測定法と係数の比較—，JJBS Vol. 1 No. 1，51-62，日本バイオメカニクス学会，1997.

ハンドボールのシュート技能に関する 運動学的考察

—フォワードスイング時のボールの軌跡に着目して—

平岡秀雄 (体育学部競技スポーツ学科) 田村修治 (体育学部競技スポーツ学科)
栗山雅倫 (体育学部競技スポーツ学科) 野口泰博 (体育学部競技スポーツ学科)

Kinematical Study on Shooting Skill of Handball
— Pay Attention to the Locus of Ball While a Forward Swing —

Hideo HIRAOKA, Shuji TAMURA, Masamichi KURIYAMA and Yasuhiro NOGUCHI

Abstract

This study was to elucidate a method for successful shooting in handball. Various conditions have effect on the success or failure of a shot. For example, goalkeeper anticipates the direction of shot by analyzing defense position and shooting motion. Therefore it is important to find a method for effective shot that goalkeeper would move adversely against the ball course because of false information shown by the shooter.

There are several reports on shooting skill of handball and most of them were realized based on the scenes especially set for experiments. Though shooting skills/individual tactics, and also the relevant movement played in a world-class match, must be analyzed there are only few chances to take the pictures of shooting skill, because the administration side of world championships holds the picture copyright. Free filming is not permitted often even if it is for a study either. Fortunately, the men's world championships of 1997 were held in Japan, and we were able to film shooting motions during a match and then they were filmed by VTR camera for three-dimensional analysis.

Most of the attackers already knew how to consider the defense position and shooting motion to disappoint the goalkeeper's anticipation of a shooting course. But these factors were not enough to complete the analysis of shooting skill/individual tactics. In this study particular attention was paid to a locus of ball was paid attention as well as a position of defense and a shooting motion of a shooter in this study.

A locus of a ball was inspected at three opportunities: first at the starting period of forward swing, secondly in the middle of forward swing, and thirdly just before the release of the ball. As a result the shot's success rate was found largely improved, if there is a motion given to the ball just before the release of the ball to change its locus.

This study shows the important points for coach when he is aiming at improvement of a shooting skill/individual tactics.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 23-31, 2007)

I. 緒 言

ハンドボール競技は、制限時間内で得点を争う競技である。そのため、得点するための合理的な方法や相手の攻撃を効率よく阻止できるシステムなどを見出すことは、勝利を目指すコーチやプレーヤーにとって最も関心のある事柄である。そこで、有効な技術や戦術を解明すべく、数多くの研究がなされている。

ハンドボールの練習や試合の成果を検証するために、攻撃戦術の種類や攻撃地域別の攻撃成功率などを調べるものも多い¹⁻³⁾。しかし、プレーヤーにとって最も関心のあるテーマは、攻撃の最終場面となるシュート技能に関するものと言える。シュート技能に関する研究は過去においても数多くなされている。石井ら⁴⁾は、ハンドボールのシュート動作を例に、画像による2次元動作解析と3次元解析の測定誤差を検討した。近年、DLT法による画像の動作解析法⁵⁻⁷⁾が開発され、精度の高い画像解析が可能となった。

一方、大西⁸⁾はボールの飛行コースを光刺激に置き換え、ゴールキーパーの選択応答時間を測定した。そして、シューターがシュートコースを最終的に決定する時期を、フォワードスイング開始時期の前後と推察した。平岡⁹⁾はゴールキーパーの動作開始時期に着目し、シューターがフォワードスイングを開始する時期にシュートコースを提示（光刺激）すると、ボール阻止のための動作開始時期に大幅な誤差が生じることを指摘した。これは、ゴールキーパーがシュートコースを先取りできた時期とシュートを阻止するために最低限必要な時期（応答時間）が近接するため、動き出し時期を的確に判断できなかったものと考察した。これらの研究は、ゴールキーパーの応答時間から、ゴールキーパーが、シュートコースを判断（先取り）し、動作開始の時期を推察しようとしたものである。

以上の結果をシューターの立場から、次のように言い換えることができる。キーパーがシュート

コースを先取りして最終的な判断する時期に、シューターが誤った情報を出すことができれば、キーパーの動きの逆をつくシュートも可能となると言える。

また、別の研究では、シュート動作のフォワードスイング開始時期に着目し、シュートコースが左側と右側では、シュートフォームに特徴的な違いがあることを指摘¹⁰⁾している。

以上の結果をもとに、学生1部リーグレベルの選手の、フォワードスイング開始時期のシュート動作を、シュートコース別に分析した。そして、体幹の捻りが大きいと右方向（右利きの場合）にシュートし、体幹の捻りが小さく体幹がゴール面に正対している場合、左方向にシュートするケースが多いと報告¹¹⁾している。

近年の研究では、栗山¹²⁾が、シュート動作に対応した、ゴールキーパーの動き出し時期について分析している。その分析結果からも、ゴールキーパーがシュートコースを判定し、動き出しを開始する時期は、フォワードスイング開始時期の直後であることを示唆している。

田村¹³⁾は、ゴールキーパーがシュートコースを先取りするために最も重要と考えられるフォワードスイング開始時期の状況を、ゴールキーパーとシューターの関係だけでなく、ディフェンスの位置をも加味して分析した。その結果、①ディフェンスの位置、②体幹の捻り具合、③シュート方向の3点を考慮すれば、シュートの成功確率は大幅に増大すると報告している。ところが、上記3点が考慮されたシュート動作でも、ゴールキーパーに阻止されるケースが見られた。

ゴールキーパーは、味方ディフェンスの位置及びシューターによる自己の運動の先取り動作から、シュートコースを先取りしてボールを阻止する。そのため、シューターはクイックシュートなどにより、ゴールキーパーにシュートコースを判断するための時間を充分に与えないようにする。こうして、ゴールキーパーがシュートコースを簡単に先取りできないように工夫し、ボールへの対応を遅らせようとする。また、シューターはシュート

フォームで“ウソ”の情報を見せ、ゴールキーパーがシュートコースと逆の方向に動く（他者の運動の先取りを誤らせる）よう努力する。

そこで本研究は、シュート成功率が高いと考えられるゴールキーパーの動作方向と逆の方向にシュートする方法、言い換えれば“シュートのコツ”を見出すため、3次元動作解析によりシュート動作を比較し検討を加えた。

II. 研究方法

1. 分析対象

世界のトップレベルのシュート技能を分析するには、世界選手権大会やオリンピック大会中に発揮されるシュート動作を分析するのが良い。ところが、このような大会では、映像著作権などの問題から、動作分析のための撮影でも許可されることはまれである。幸いにも、1997年にハンドボール男子世界選手権大会が熊本で開催され、国際連盟からゲーム分析に関わる報告を依頼された。この機に、VTRカメラ撮影による3次元動作解析も加え、分析用の試合撮影を実施した。本研究の分析の対象チームは、決勝トーナメントに出場した、ロシア、スウェーデン、ハンガリー、エジプト、アイスランドとした。

試合映像は撮影後およそ10年を経ているが、そこでプレーしていた選手は最近まで世界で活躍しており、熊本大会で発揮された技能は、現在のものと大差ないと考えた。

2. 分析方法

本研究ではディフェンスの位置、シューターのフォーム、ボールの軌跡、特にフォワードスイング中のボールの軌跡に着目し、合理的なシュート動作の解明を試みた。

1) 実験機材

4台のVTRカメラ(60 Hz)を同期させてコートの中分ずつを撮影し、DKH社製解析装置

(Frame-Dias)を用いて3次元動作解析を実施した。

2) カメラの位置と撮影条件

ハンドボールには、ゴールキーパー以外は進入できないエリアがある。ディフェンスがゴールエリアライン(ゴールから6 m)の外側で守備をするので、シュートはフリースローライン(ゴールから9 m)付近で行われることが多い。そこで、観客席の最上階に4台のカメラを設置し、両攻撃サイドを記録できるようにした。図1は分析に必要なコントロールポイントを撮影している画像である。

3) 分析観点

人は自己の運動をスムーズに行うため、無意識のうちに運動の先取りを行うものである。ハンドボールのシューターも、自分が考える方向へのシュート動作をスムーズに行うべく、先取り動作を行ってしまう。

一方、ゴールキーパーは、シュートボールが手からリリースされた後で動作を開始したのでは、ボールが通過した後でそのコースにたどり着くことになる^{8, 9)}。そこで、ゴールキーパーは、シュートボールが空中にリリースされる以前にそのコースを先取りし、シュートボールを阻止すること



図1 コントロールポイントの撮影風景
Fig. 1 Area analysis and control point

になる。

過去の研究報告を考慮し、シュートコースを先取りするための観点として以下の点に着目した。

(1)シュートフォームを解析する時期

ゴールキーパーがシュートコースを判断する時期は、ゴールキーパーがゴールのコーナーまで達するのに必要な時間（応答時間 約0.45秒）から逆算すると、シューターのフォワードスイング開始時期の前後であると推察できる。そこで、シューターのフォワードスイング開始時期からボールをリリースするまでの時期を中心に分析した。

(2)分析項目

a) ディフェンスの位置

防御側は、シュートを阻止するためにシュートコースを限定し、残りのコースに来るシュートボールをゴールキーパーに阻止させる場合が多い。そこで、シュートコースを先取りする観点として、まず防御者の位置に着目した。

シューターがフォワードスイングを開始する時期に、ディフェンスがシュート可能な位

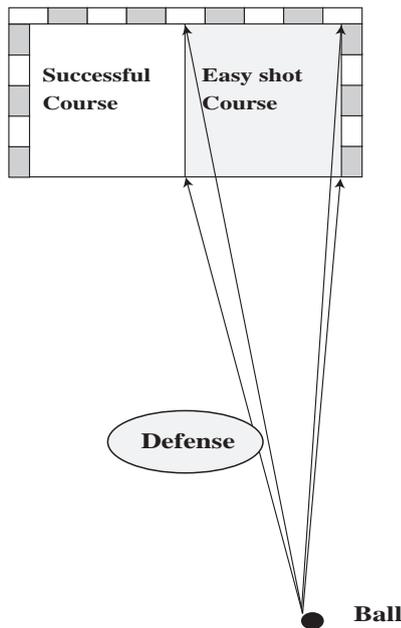


図2 ディフェンスの位置とコースの限定
Fig. 2 A position of defense and limitation of a Shooting course

置にいるかどうかを検証した。平面座標上の座標点から、シューターとディフェンスの左右肩関節の中点を結んだ線が、半分以上重複している場合、シュートコースを限定していると判定した（図2）。

b) シューターによる体幹の捻り

ゴールキーパーがシュートコースを先取りする際に、シューターのフォーム、特に体幹の捻り具合は、最も重要な¹¹⁾ 観点と言われている。そこで、シューターがフォワードスイングを開始する時期の体幹の捻りに着目し分析した。図3に示したように、XY座標上の左右大転子を結んだ線がX軸と交わる角度（腰の角度）と、左右肩関節を結んだ線がX軸と交わる角度（肩の角度）の差を、体幹の捻り角度として捉え、シュートフォームを分類した。

フォワードスイング開始時に腰の角度が-20度以下で肩の角度が腰の角度以下の場合、右方向へのシュート動作と判断した。一方、腰の角度が-20度以上で肩の角度が腰の角度を上回る場合、左方向へのシュート動作と判断した（右利きでのシュートの場合）。

図4、図5は右利きのシューターを例に、右側へのシュート動作の特徴を示す際の腰及び肩角度の経時的变化を示したものである。縦軸が腰及び肩の角度を示している。腰（左右大転子を結んだ線）又は肩（左右肩関節を

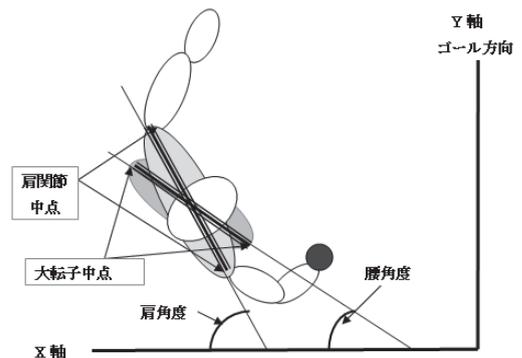


図3 腰角度及び肩角度
Fig. 3 A calculation method of an angle at hip and shoulder

結んだ線)がゴールライン(X軸)に正対する場合、角度がゼロとなるように示し、横軸は時間を示している。図中縦線はフォワードスイング開始時期を示している。

図5は右方向へのシュート動作と判断した場合の、腰及び肩角度の変化を示したものである。フォワードスイング開始時期に、腰角度より肩角度が大きく減少している。右肩を引くようにして体幹に捻りが生じていることが分かる。以上の特徴を示した場合、右方向へのシュート動作と判断した。

図5は図4と同様に角度変化を示したものである。図中中央の縦線で示したフォワードスイング開始時期の腰及び肩角度はほぼ同じで、捻りがなくなっていることが分かる。このような角度変化の特徴を示した場合、右方向へのシュート動作と判断した。

分析評価結果は表1に示したとおりである。

c) ボールの軌跡

フォワードスイング開始時期前後のボールの軌跡は、キーパーがそのシュートコースを先取りする上で重要な情報である。ボールの

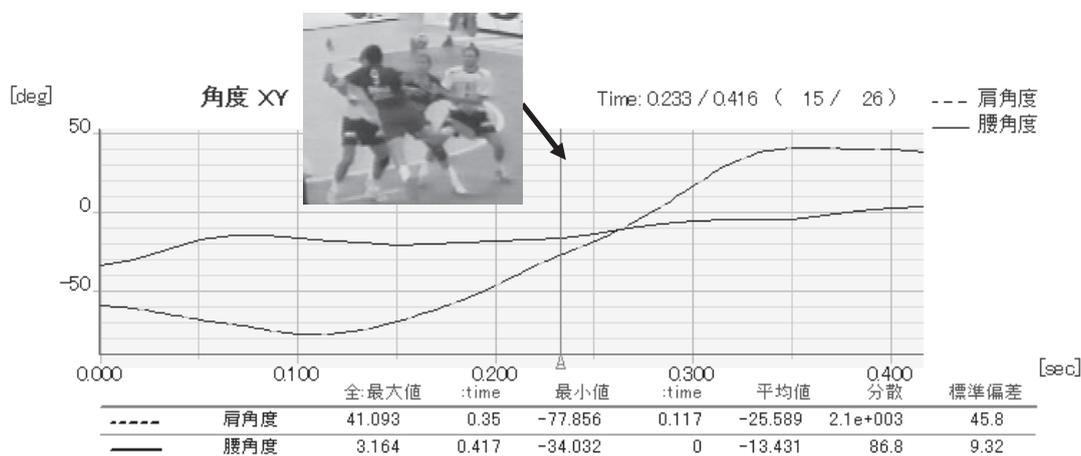


図4 右側へのシュート動作の特徴を示す際の腰及び肩角度の経時的変化(右利きのシューターを例に示す)
Fig. 4 Change of an angle at shoulder and hip with the passage of time shows characteristics of shot to the right-hand side (Example of a right-handed shooter)

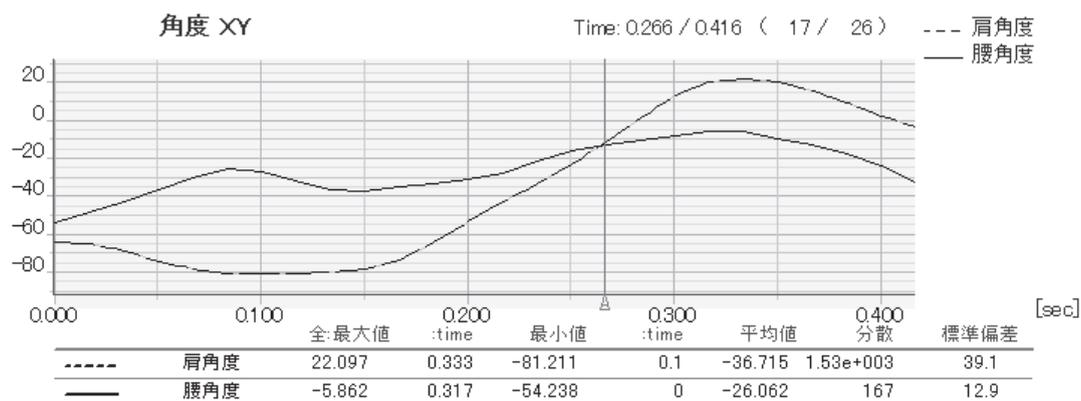


図5 左側へのシュート動作の特徴を示す際の腰及び肩角度の経時的変化(右利きのシューターを例に示す)
Fig. 5 Change of an angle at shoulder and hip with the passage of time shows characteristics of shot to the left-hand side (Example of a right-handed shooter)

軌跡はボールリリース前にボールの移動方向を示すので、本研究では詳細に検証すべきと考えた。そこで、ボールの軌跡が変化する時期を、①フォワードスイング開始時、②フォワードスイング途中、③ボールリリース時、の3つに分類した。

Ⅲ. 結果と考察

男子ハンドボール世界選手権大会の順位決定戦4試合について分析した。本研究では、ディフェンスがシュートコースを限定する場面を分析対象とした。そのため、2方向から撮影された2台のカメラに、分析に必要な動作を撮影できたものは14例であった。

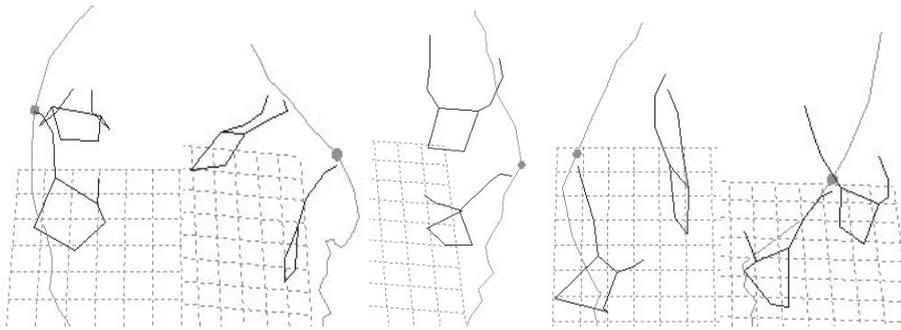


図6 ボールリリース直前にボールの軌跡が変化する場合
Fig. 6 Change of direction on locus of ball just before release of ball

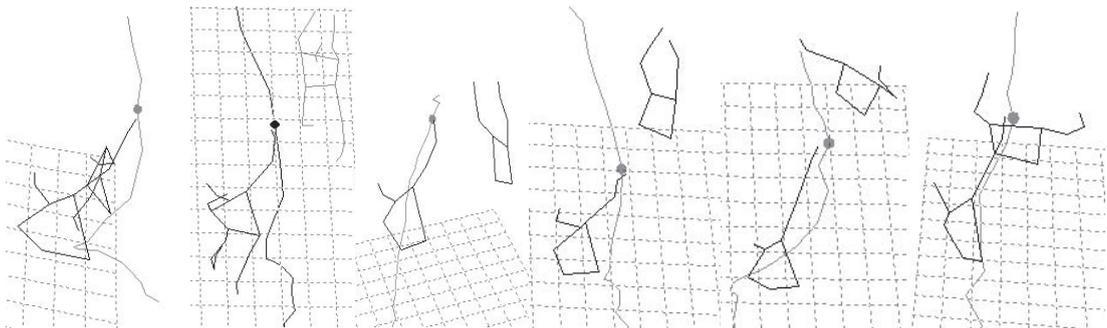


図7 フォワードスイング途中でボールの軌跡に変化
Fig. 7 Case of changing a locus of ball in the middle of forward swing

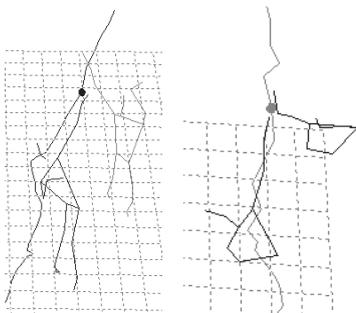


図8 フォワードスイング時の軌跡に変化がない場合
Fig. 8 Direction on locus of ball while a forward swing was not changed

図6、図7、図8はボールの軌跡が変化した時期別に分類したものである。図6はボールリリース時期にその軌跡が変化したことを示している。図7はフォワードスイングの途中でボールの軌跡が変化した場合のもので、図8はフォワードスイング開始時期以降ボールの軌跡が変化せず、ほぼ直進する場合のものである。

図6に示したように、ボールリリースの直前にボールの軌跡が変化する（シュートコースを変化させた）5例は、全てシュート成功となった。フォワードスイング途中でボールの軌跡が変化する7例中3例が、シュート成功となっており、フォワードスイング中ボールの軌跡が変化しない2例はともにシュート不成功となっていた。

本研究ではディフェンスの位置、シューターのフォーム（体幹の捻り）及びフォワードスイング

時のボールの軌跡について分析した。分析観点別にその結果を以下の表1に示した。

ディフェンスの位置は、右側（R）又は左側（L）と示した。シュートフォームの判断は、分析方法で示したように、フォワードスイング開始時期の体幹の捻り（図3参照）から判断し、右方向（R）又は左方向（L）と示した。

フォワードスイング時の軌跡の変化は、X軸（左右）方向への変位を調べた。フォワードスイング開始時期以降の変位がマイナス方向に減少する場合を左方向（←）とし、プラス方向に増加する場合を右方向（→）とした。

フォワードスイング開始時期のボールの軌跡を（Begin）、フォワードスイング途中のボールの軌跡の方向を（Mdl. Swing）、ボールリリース時期に軌跡が変化した場合（End of ball release）と

表1 シュートフォーム及びボールの軌跡
Table 1 Result of analysis on shooting form and locus of ball

No	Player		Locus of ball while forward swing for shoot			Shooting Result
	DF	S.Form	Begin	Middle	End	
1	L	R	→	→	←	○
2	L	R	→	→	←	○
3	R	L	←	←	→	○
4	L	R	←	←	→	○
5	R	L	←	→	→	○
6	R	L	←	→	→	○
7	L	R	→	←	←	○
8	R	R	→	→	←	○
9	R	R	→	←	←	×
10	R	L	←	→	→	×
11	L	R	←	→	→	×
12	R	R	→	→	→	×
13	R	R	→	←	←	×
14	L	R	→	→	→	×

Notes :

DF = Position of defense player. S.Form = Shooting form.

L = left-hand side. R = Right-hand side.

Begin = Direction of locus at the beginning of forward swing for shooting.

Middle = Direction of locus in the middle of forward swing for shooting.

End = Direction of locus at the end of forward swing for shooting.

Shooting case 1 (shown in blue) = The position of defense and the course of ball which seen it from the shooting form is opposite side.

Shooting case 2 (shown in green) = The position of defense and the course of ball which seen it from the shooting form is the same side.

Red arrow (shown in red →) = When the locus of the ball changed just before a ball's release.

Shooting result ○ = Succeeded shot. × = Failed shot.

した。シュートの結果 (Shooting Result) は、○印が得点した場合で、×印がシュートミスの場合を示している。

ディフェンスの位置とシュートフォームから先取りできるシュートコース (以下、シュートフォームとする) が異なる場合が14例中10例で、そのうち7例がシュート成功となった。

一方、ディフェンスの位置とシュートフォームが同じ方向で、シュートが成功したのは3例中1例であった。

このケースでは、ボールリリースの直前にボールの軌跡が変わっていた。表1で示したように、ボールの軌跡がフォワードスイングの最終局面で変化する5例中5例の全てが得点に結びついたことから、ボールの軌跡をフォワードスイングの最終局面で変化させることの意義は大きいと考える。

IV. まとめ

過去の文献でも、シュートを成功させるには、ディフェンスの位置とフォワードスイング時のシュートフォーム (体幹の捻り) を考慮すべきことが指摘されている。しかし、以上の点を考慮したシュートでも、ゴールキーパーに先取りされ、シュートを阻止されるケースが多くある点も指摘されている。

そこで、本研究は上記の点を考慮しつつ、ボールの軌跡に着目して研究を進めた。その結果、フォワードスイングの後半にボールの軌跡を変化させることが、シュート成功率を向上させる上で最も重要であることが示唆された。

本研究で得た知見は、シュート技能の向上を目指す選手や指導者にとって重要なポイントと言える。従来からも経験的に手首のスナップ動作を強調して指導していると思われるが、その重要性はより一層認識できたと考える。

今後どのような練習内容を設定し実践すれば、スナップ動作を強調したシュート動作をより効果

的に修得できるかについて、検証する必要があると考える。

V. 概要

本研究は、ハンドボールのシュート場面において、確実にシュートを成功させる方法を解明しようとした。シュートの成否は、様々な条件が作用して決定される。ゴールキーパーは、味方防御者の位置やシューターの先取り動作を分析して、シュート阻止のための行動を決定すると言われている。そのため、得点力を向上させる上で重要な課題は、ゴールキーパーに偽の情報を伝えて、キープ動作の逆にシュートする方法を見出すことである。

実験場面を設定し、シュート動作を分析した研究は数多くなされている。しかし、実際の試合場面でどのような技術がどのように発揮されているかを検証すべきであると考えた。なぜなら、実験場面でのシュートを分析しても、シュートの成否に関わる要素が制限されると考えたからである。そのため、是が非でも世界のトップレベルの選手がプレーする世界選手権大会などで発揮される技術を分析することが重要であるが、大会運営側が映像著作権を持っているため、研究のためのVTR撮影も許可されない場合が多い。幸いにも、1997年の男子世界選手権大会が日本で開催されたことから、その試合場면을撮影することができた。

そこで、その世界選手権大会でVTRに記録したシュート動作を3次元解析した。過去の研究で、ディフェンスの位置やシュートフォームなどが、シュートを成功させる上で重要であるとの報告がなされている。しかし、シュートを成功させるための決定的な要素を見出すまでには至っていない。

本研究では従来のディフェンスの位置やシューターのフォームに加えて、ボールの軌跡に着目した。ボールの軌跡を①フォワードスイング開始時期、②フォワードスイング途中、③ボールリリース直前の3つの時期に分け検証した。

以上の結果、ボールリリースの直前にボールの軌跡が変わる動作を行うと、シュート成功率が大幅に向上することが分かった。本研究で解明できたポイントは、シュート技能の向上を目指す指導する上で重要であることが分かった。

参考・引用文献

- 1) 土井秀和：球技の戦術トレーニングに関する研究，大阪教育大学紀要，4巻，41-51，1992.
- 2) 長岡雅美，土井秀和：ハンドボールにおけるゲーム分析，大阪教育大学紀要第4部門，第42巻第1号，1993.
- 3) 平岡秀雄，田村修二，木下雅史，栗山雅倫，水上 一：A Meeting in Sports. 東海大学紀要，第33巻，87-95，2003.
- 4) 石井喜八，山崎 武：投球動作の分析—ハンドボール投げの場合—，大阪体育大学紀要，1，23-29，1969.
- 5) Shapiro, R.: Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. Research Quarterly, 49(2), 197-205, 1978.
- 6) 阿江通良：画像データによる動作解析法，Japanese Journal of Sports Science, 3, 196-203, 1991.
- 7) Ikegami, Y., Sakurai, S., Yabe, K.: DLT Method. Japanese Journal of sports science, 10, 3, 191-195, 1991.
- 8) 大西武三：ハンドボールのゴールキーピングに関する運動学的研究，東京教育大学体育学研究科修士論文，1970.
- 9) 平岡秀雄：ハンドボールのゴールキーピングに関する実験的研究，東京教育大学体育学研究科修士論文，1971.
- 10) 平岡秀雄：DLT法によるシュート動作の解析，体育方法専門分科会，7-11，1990.
- 11) 平岡秀雄：ハンドボールのジャンプシュートに関する実験的研究，東海大学紀要，第14巻，43-48，1984.
- 12) 栗山雅倫：ハンドボールのゴールキーパーにおける動き出しとパフォーマンスの関係，東海大学紀要，第35号，135-140，2005.
- 13) 田村修治：ハンドボールのシュート技術に関する3次元解析，東海大学スポーツ医科学雑誌，第18号，36-43，2006.

幼児期の運動機能向上のための
「運動遊びプログラム」の提案 第二報
—介入幼稚園における
コントロール測定の結果について—

山田 洋 (東海大学体育学部) 加藤達郎 (東海大学体育学部) 知念嘉史 (東海大学体育学部)
相澤慎太 (東海大学体育学部) 塩崎知美 (筑波スポーツ科学研究所) 三上恭史 (東海大学大学院)
長堂益丈 (株式会社クリアサイト)

Exercise Program Including Playing Elements to Develop for Motor Ability in Infants

Hiroshi YAMADA, Tatsuro KATO, Yoshifumi CHINEN, Shinta AIZAWA, Tomomi SHIOZAKI,
Yasufumi MIKAMI and Masutomo NAGADOU

Abstract

The purpose of this study is to examine the effects of exercise program including playing elements on development of motor ability in infants. Subjects were 68 healthy infants.(Middle group, n =40; Younger group, n =28). Measurement parameters were 25 m run, dynamic balance, and foot finger gripping. The time of 25 m run were 8.5 ± 0.9 s in younger class (4.3 years old) and 7.2 ± 0.6 s in middle class (5.1 years old). The repeatability of measurement was high in 25 m run and dynamic balance. The time for 25 m run and dynamic balance correlates to aging based on months. Performances for foot finger gripping correlate to aging, but large individual variability were seen. These results suggest that the possibility to examine the effects of exercise program on the development of motor ability in infants. (Tokai J. Sports Med. Sci. No.19 33-37, 2007)

I. はじめに

スキャモンの発育発達曲線にみられるように、神経系の発達は幼児期にとりわけ著しい¹⁾。そして、この神経系の発達と関係が深いのが、運動の「巧みさ」と考えられる。したがって、この時期に「適切に」「多様な」運動を行うことが、より

一層の神経系の発達を促し、将来の運動能力、とくに運動の「巧みさ」を左右すると考えられる。それにも関わらず、これまで幼児期における「運動・遊び」や幼稚園や保育園で行う「体育・運動」は、それほど重要視されてこなかった。その主因は、これまで幼児期における運動、特に継続的に行われる体育が身体の形態や運動能力に及ぼす影響について十分に調べられていなかったこと

が考えられる。さらに、その背景として、幼児期の運動プログラムが十分に体系化されていないこと、およびその効果を評価するための指標がないことがあげられる²⁾。

そこで我々は、幼児の神経系の機能を向上させることを目的とした「運動遊び」プログラムの作成、およびそのプログラムの効果を検証するための指標づくりを目指して研究を始めた。その第一段階として、従来広く用いられている体力測定項目と、新たに考案した測定項目の妥当性について既に報告している³⁾。本研究ではこの測定項目を用いて、運動遊びプログラムを行う前に行ったコントロール測定の結果を報告する。

Ⅱ. 方 法

1. 被験者

神奈川県横浜市の幼稚園で測定を実施した。健康な幼児68名（年少幼児28名、年中幼児40名）を被験児とした。年少幼児（年齢 4.3 ± 0.3 歳、月齢 52.1 ± 3.9 ヶ月）の身長は 102.7 ± 5.1 cm、体重は 17.1 ± 1.9 kgであった。年中幼児（年齢 5.1 ± 0.2 歳、月齢 61.5 ± 0.3 ヶ月）の身長は 106.9 ± 5.1 cm、体



図1 測定項目（25 m 走）
Fig.1 Measurement methods (25m run)

重は 18.4 ± 2.4 kgであった。幼稚園と保護者には予め実験の趣旨を十分に説明し、文書にて同意を得た。

2. 測定

測定に先立ち、幼稚園教諭および体育指導員から測定についての説明がなされた。体力測定項目は、25 m 走、不整地走行、ビー玉掴みであった。

25 m 走は、基本的走力を測定するために行った。スタートラインから合図とともに、ゴールラインまでの25 mの直線を全力で走らせた。原則として1人では走らせないように配慮した。スタート姿勢はスタンディングとした。幼児には試技の開始前に予め練習を行わせた。再現性を検討するために、1人2回計測を行った。タイムは1/10秒単位で記録した（図1）。

不整地走行は、動的バランス能力や対応力、巧緻性を測定するために行った。この不整地走行は、我々が新たに考案した体力テスト項目である。このテストでは、エアーマットをつなげて作った不整地の上をゴールまで駆け抜けるタイムを測定した（図2）。転んでしまったり、コースから飛び出してしまった場合には、やり直しをさせた。再現性を検討するために、1人2回計測を行った。タイムは1/10秒単位で記録した。

ビー玉掴みは、巧緻性を測定するために行った。このビー玉掴みは、我々が新たに考案した体力テスト項目である。このテストでは、足の指を使って、30秒間でビー玉を何個移動できるかを測定した（図3）。ビー玉掴みは左足試技、右足試技を1回ずつ行った。

3. 解析

得られた測定データをコンピュータに入力し、統計処理を行った。相関関係の検討にはピアソンの積率相関分析を用いた。有意水準は5%未満とした。

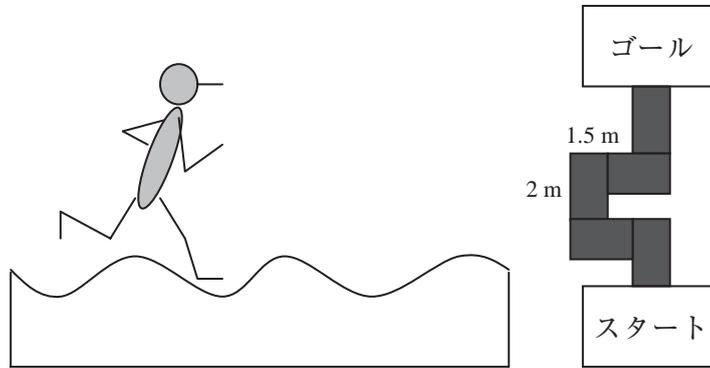


図2 測定項目（不整地走行）
Fig. 2 Measurement methods (dynamic balance)



図3 測定項目（ビー玉掴み）
Fig. 3 Measurement methods (foot finger gripping)

Ⅲ. 結果および考察

1. 25 m 走の記録について

今回の測定における25 m 走の記録は、年少幼児（平均4.3歳）で 8.5 ± 0.9 秒、年中幼児（平均5.1歳）で 7.2 ± 0.6 秒であった。25 m 走は最も一般的な走力の指標であり、その値についても報告されている。宮丸⁴⁾は、幼児体育教室に参加している2～6歳の男児69名に25 m 走を行わせ、16 mm シネ・カメラを用いて撮影・分析を行い、25 m 走の記録を報告している。この報告における25 m 走の記録は、4.0-4.5歳児で 7.81 ± 0.82 秒、5.0-5.5歳児で 6.37 ± 0.32 秒であり、本研究の記録よりも速い。これらの差は、宮丸らの報告では幼

児体操教室に参加している幼児を用いたことに対して、本研究では運動プログラム実施前の幼児の記録であったこと、また、本研究を実施している幼稚園（協力園）が神奈川県横浜市にあり、大都市の中心部に位置していることから日常生活の中で運動する場所、機会が限られていることから生じた可能性が推察される。特に普段の運動という点では、この協力園の園長もその可能性を示唆している。いずれにせよ、25 m 走の値からみた協力園の幼児の走能力は比較的低いために、今後の運動指導により、その向上が大いに期待できる。

2. 測定の再現性について

図4は、25 m 走と不整地走行について、1回目の記録と2回目の記録間の相関関係を示してい

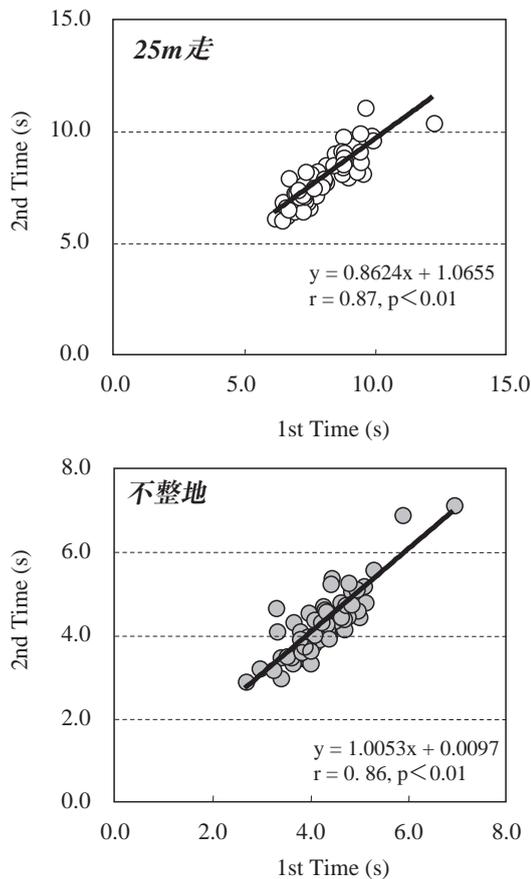


図4 25 m 走と不整地走行における再現性
Fig. 4 Repeatability of measurement for 25m run and dynamic balance

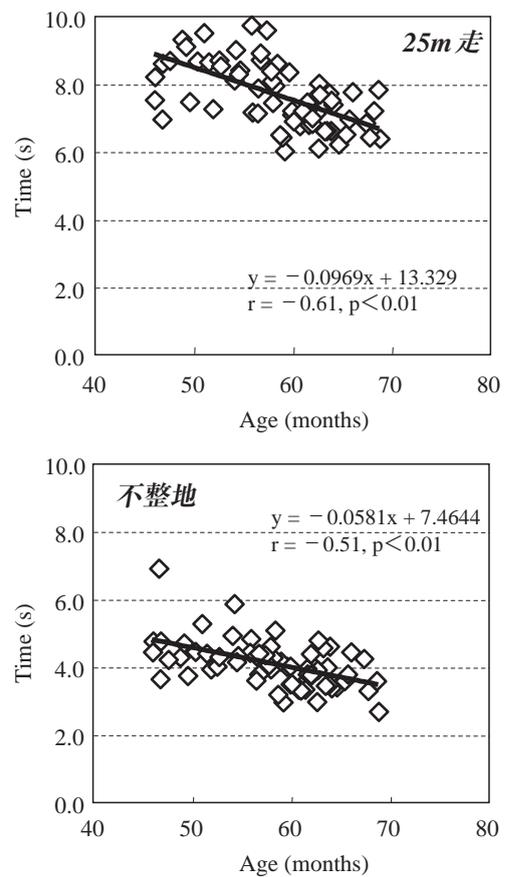


図5 月齢とパフォーマンスの関係
Fig. 5 Correlation between aging and performance

る。上段の25 m 走、下段の不整地走行ともに非常に高い相関を示し、両者ともに再現性が高い様子がわかる。先に述べたとおり、25 m 走のタイムは、幼児の体力測定の際の指標としては従来広く用いられており、その指標としての妥当性は確立されている。不整地走行は我々が考案した動的バランスを加味した走力の指標であるが、これに関しても測定値の再現性は高かった。

3. 月齢と測定値の関係について

図5は、月齢と25 m 走のタイム間の関係、および月齢と不整地走行のタイム間の関係を示している。上段の25 m 走のタイムは月齢と有意な負の相関を示した。すなわち、月齢の増大に伴い、タイムが短縮した。同様に下段の不整地走行のタイムも月齢と有意な負の相関を示し、発育発達に伴いタイムが短縮したことを示していた。

図6は、月齢とビー玉掴みの成績との関係を示している。月齢とビー玉掴みの成績は、有意ではあるが弱い相関関係を示した(右足 $r = 0.37$, $p < 0.01$, 左足 $r = 0.32$, $p < 0.01$)。これらの結果は、巧緻性の発達の個人差が大きい可能性を示唆している。しかしながら、この個人差は運動指

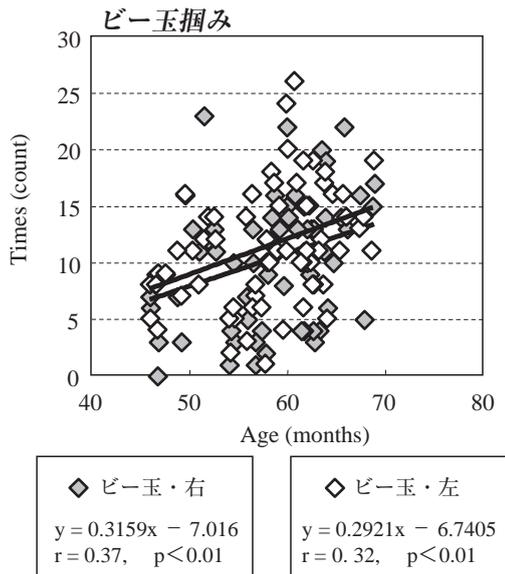


図6 月齢とパフォーマンスの関係
Fig. 6 Correlation between aging and performance

導により改善される可能性もあり、今後も継続して測定していきたいと考える。

4. 今後の展望

今回、運動プログラムを行う前のコントロール測定の結果を報告した。したがって年中幼児と年少幼児が測定の対象であった。今後はこれらのデータを縦断的に検討し、発育発達に伴う変化と、運動プログラムの効果を併せて検討していきたいと考える。

IV. 要 約

本研究の目的は遊び要素を含む運動プログラムが幼稚園児の運動能力に及ぼす影響を調べることであった。被験者は68名(年中幼児40名、年少幼児28名)の幼児であった。測定項目は25 m 走、不整地走行、およびビー玉掴みであった。25 m 走のタイムは年少幼児(平均4.3歳)で 8.5 ± 0.9 秒、年中幼児(平均5.1歳)で 7.2 ± 0.6 秒であった。25 m 走および不整地走行の測定の再現性は高かった。25 m 走および不整地走行のタイムは、月齢と有意な負の相関を示した。ビー玉掴みの回数も月齢と有意な相関を示したが、個人差が大きかった。本研究の結果は、これらの指標を用いて、幼児期の運動プログラムが運動能力の向上に及ぼす影響を検討できる可能性があることを示唆している。

引用文献

- 1) 高石昌弘: 発育発達と子どものからだ, 子どもと発育発達, 1, 9-12, 2003.
- 2) 山田 洋, 長堂益丈, 塩崎知美, 横井孝志: 表面筋電図による幼児の運動機能の評価, 東海大学体育学部紀要, 33, 21-28, 2003.
- 3) 山田 洋, 長堂益丈, 鎌田雄二, 陸川 章, 塩崎知美, 木塚朝博: 幼児期の運動機能向上のための「運動遊びプログラム」の提案, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 17, 72-77, 2005.
- 4) 宮丸凱史: 疾走能力の発達, 杏林書院, 2001, 31-39.

高齢化社会における中高年者の健康と 疾病に対する高地トレーニング処方の 有効性

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 (体育学部生涯スポーツ学科)

伊藤栄治 (体育学部スポーツ・レジャーマネジメント学科) 山並義孝 (体育学部生涯スポーツ学科)

The Effects of Prescription at High Altitude Training on Health and Disease in Middle-aged and Elderly Obese Men in Aging Society

Tamotsu TERAO, Hideki OZAWA, Ichiro KUWAHIRA, Nobutaka MITA, Eiji ITO
and Yoshitaka YAMANAMI

Abstract

The effects of walking exercise in a hypobaric hypoxic environment on peripheral blood circulation and artery stiffness in middle-aged and elderly obese men was studied. For 2-3 days/week for 6 weeks of walking exercise, an experimental group (EG) of subjects exercised 60 minutes on a treadmill at 1500 m simulated altitude. A control group (CG) of subjects walked under a normobaric normoxic environment for 2-3 days/week. The ratio of b/a with accelerated plethysmogram (APG) wave after the training for 6 weeks in EG was significantly lower than that before the training. The ratio of d/a and APG index after the training for 6 weeks in EG were significantly higher than that before the training. The arterial stiffness index (baPWV) after the training for 6 weeks in EG was significantly lower than that before the training. These results suggest that walking exercise in a hypobaric hypoxic environment may be a useful method for improvement of peripheral circulation and artery stiffness in middle aged and elderly men.
(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 39-46, 2007)

I. 緒 言

近年、日本人の平均寿命が急速に伸び、男女とも世界一の長寿国となっている。これに伴い、中高年者の健康維持・増進に対する要求は強く、また、ライフスタイルなども徐々に変化しており、

余暇時間をいかに有効に過ごすかが重要な課題となってきた。この選択肢の一つとして、運動・スポーツによる生き甲斐、楽しみなどを得るとともに、健康維持・増進や疾病予防を求める中高年者が増えてきている。

スポーツに対するトレーニングの分野では、高地トレーニングが平地におけるパフォーマンス向

上の手段として、数多くのアスリートに用いられてきている。一方では、登山やハイキング、トレッキングといった日常生活のレクリエーションにおいても高地環境に触れ合う機会も増加している。近年では、高地トレーニングが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しても、健康増進および体力向上に貢献する可能性のあること^{1, 2)}が指摘されている。高地トレーニングには、従来から行われている自然環境を利用した高地トレーニングと、最近、著しく普及をみせている人工的環境を利用した高地トレーニング（低圧室、低酸素室）とがある。

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^{3, 4)}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⁵⁻⁷⁾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1500 m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謝の亢進および脂質代謝が改善され、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謝の亢進および脂質代謝が改善され、より効果的な減量ができる可能性のあること^{8, 9)}も報告している。

従来、生活習慣病と環境条件との関連から、標高1000~3000 mの高地住民には、冠心疾患や高血圧症などの発生率が低く、また、長寿者の多いこと¹⁾が報告されている。その理由として、高地では基礎代謝（安静時代謝）が平地より高く、冠血管が拡張しやすい¹⁾、平地より高地の方が生

体負担度が大きく、呼吸循環系への刺激が増大する¹⁰⁾、脂質の動員と利用が亢進する¹¹⁾などの要因が考えられている。前述の生体諸機能変化は、高地滞在により低圧低酸素環境下に適応し順化するにより、生活習慣病の発生を抑制している可能性のあることが考えられる。

生活習慣病、特に虚血性心疾患および脳血管疾患などの循環器系疾患に対する身体運動の有効性も多く報告されている。循環器系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の動態や動脈硬化度の検査も重要な生理的意義を有するものと考えられる。血液循環動態および動脈硬化度の良否を判断するものとしては、指尖容積脈波を二次微分した加速度脈波や脈波伝播速度等があり、末梢循環の動態¹²⁻¹⁴⁾や動脈の硬化状態¹⁵⁾を簡便で非侵襲的に測定することが可能である。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¹⁶⁻¹⁸⁾も報告されている。さらに、このような疾患の原因の一つに動脈スティフネスの増加による動脈硬化¹⁹⁾があげられる。動脈の機能は、運動様式、特に運動強度、持続時間に影響を及ぼすこと²⁰⁾が報告されている。

本研究は、その研究の一環として、高地環境の歩行運動がこれまでの研究成果から末梢血液循環や動脈機能の改善を得ることが推測され、肥満や循環器系疾患の予防に対してもより有効であることを非侵襲的な検査から明らかにしようとするものである。低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動が末梢血液循環および動脈の機能（動脈スティフネス）にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

II. 研究方法

本研究では、中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における歩行運動を中心とした6週間のトレーニングが末梢循環の動態および動脈の機能にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

1. 対象者

実験対象は、成人の男子肥満者10名を被験者として、対照群 (CG) 5名 (年齢 50.8 ± 10.2 歳、身長 169.0 ± 8.5 cm、体重 76.4 ± 21.1 kg) と実験群 (EG) 5名 (年齢 46.4 ± 14.8 歳、身長 167.4 ± 8.3 cm、体重 74.4 ± 19.1 kg) に分けて実験を行った。なお、本研究は、ヘルシンキ宣言の精神に則り、被験者には事前に研究の目的、内容について十分な説明を行い、自主的な参加の同意を書面にて得た。

2. 環境条件

低圧低酸素環境下の実験は、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、標高1500 mに相当する低圧低酸素環境下 (気圧、634 mmHg) に調整して行った (室温を 22°C 、相対湿度55%)。

3. 運動負荷テストおよび運動強度の判定

EGにおける運動負荷テストの測定には、トレッドミルを用い、目標心拍数 ($(220 - \text{年齢}) \times 0.75$)、動脈血酸素飽和度 (90~94%) および主観的運動強度 RPE (11~13) の3つの指標からそれぞれの示してある範囲内になるよう歩行速度とトレッドミル傾斜角を求めた。

4. 持久的トレーニング

低圧低酸素環境下における持久的トレーニングのEGは、6週間にわたり、週2~3回の頻度で、1日60分間の歩行運動とした。運動後、被験者は、低圧低酸素環境下で60分間の安静状態を保持した。CGは、日常生活の中で1日最低7000歩を実施するという条件で、被験者の腰部にライフコーダ (スズケン) を装着して1日の総歩行数 (消費カロリー) を計測した。

トレーニング期間中は、摂取エネルギーの制限など強制的な栄養指導は行わず、本人の自主性に任せた。

5. 加速度脈波の測定

トレーニング前後の加速度脈波の測定は、常圧常酸素環境下 (気圧760 mmHg、室温 22°C 、相対湿度55%) で、前日の夕食後12時間以上の絶食状態で午前8時30分~9時に測定を行った。なお、トレーニング後の加速度脈波の測定は、歩行運動終了の2日後に行った。被験者は、座位姿勢で、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。

6. 脈波伝播速度 (baPWV) の測定

トレーニング前後のbaPWVの測定は、加速度脈波の測定と同様に、常圧環境下 (気圧760 mmHg、室温 25°C 、相対湿度55%) で、前日の夕食後12時間以上の絶食状態で午前8時30分~9時に測定を行った。なお、トレーニング後のbaPWVの測定は、歩行運動終了の2日後に行った。被験者は、仰臥位安静時で上腕収縮期血圧、拡張期血圧、脈圧および上腕動脈から足首動脈間のbaPWVの測定²¹⁾を行った。

7. 測定方法

末梢血液循環機能は、加速度脈波を加速度脈波計ダイナパルス (SDP-100、フクダ電子株式会社) およびBCチェッカー (株式会社フューチャー・ウエイブ)、baPWVが血圧脈波検査装置 (form PWV/ABI、日本コーリンメディカル社) 等をそれぞれ用いて測定した。

8. 統計解析

結果は、平均値 \pm 標準偏差で表し、統計学的分析にはトレーニング前後における有意差の検定に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. 研究結果

1. 6週間のトレーニング前後における加速度脈波波高比 (b/a) の変化

図1にトレーニング前後における加速度脈波波高比 (b/a) の変化を示した。EGにおけるトレーニング後のb/a値は、トレーニング前に比較して、有意な低下を示した ($p < 0.05$)。

2. 6週間のトレーニング前後における加速度脈波波高比 (d/a) の変化

図2にトレーニング前後における加速度脈波波高比 (d/a) の変化を示した。EGにおけるトレーニング後のd/a値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。

3. 6週間のトレーニング前後における APG Index の変化

トレーニング前後における APG Index の変化を図3に示した。EGにおけるトレーニング後の APG Index 値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。

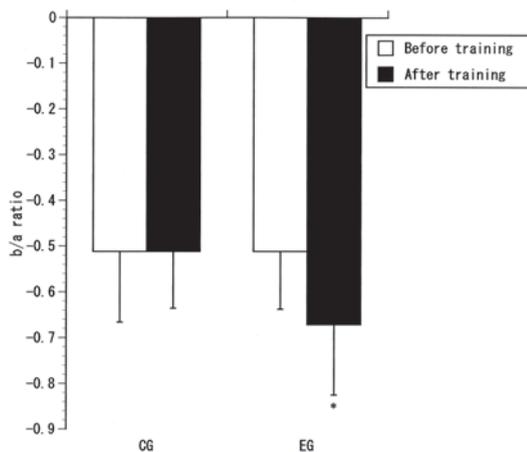


図1 6週間のトレーニング前後における加速度脈波波高比 (b/a) の変化

Fig. 1 Changes in parameter (ratio of b/a) of APG before and after the training for 6 weeks.

Values are expressed as means \pm SD

* $p < 0.05$: significantly different from before value.

4. 6週間のトレーニング前後における動脈スティフネスの変化

6週間のトレーニング前後におけるbaPWVの変化を図4に示した。低圧低酸素環境下のトレーニングを行ったEG群において、トレーニング前に比較して、トレーニング後では有意な低下を示した ($p < 0.05$)。一方、CG群では有意な変化が認められなかった。

Ⅳ. 考 察

本研究では、非侵襲的 (非観血的) に末梢循環動態や動脈の機能を評価する検査法の一つとして加速度脈波や脈波伝播速度があり、これらの検査法を用い、減量・ウエイトコントロールを必要とする肥満者や中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動が末梢血液循環の動態および動脈の機能 (動脈スティフネス) にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

その結果、標高1500 mに相当する低圧低酸素環境下で6週間のトレーニングを行ったEG群では、加速度脈波の波高比について、トレーニング

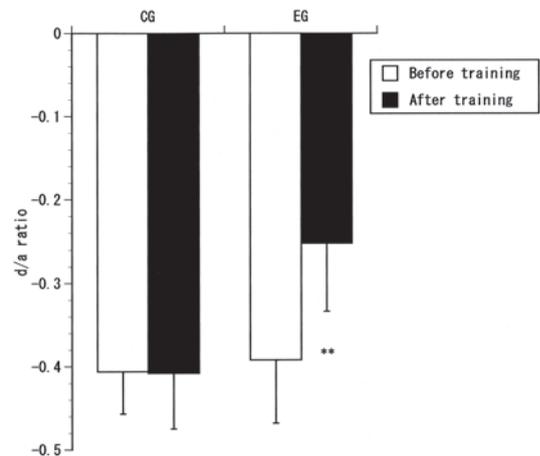


図2 6週間のトレーニング前後における加速度脈波波高比 (d/a) の変化

Fig. 2 Changes in parameter (ratio of d/a) of APG before and after the training for 6 weeks.

Values are expressed as means \pm SD.

** $p < 0.01$: significantly different from before value.

後がトレーニング前に比較して、b/a 値の有意な低下、d/a 値および総合的指標である APG Index の有意な上昇を示した。これらの効果は、私たちが現在までに報告してきている先行研究²²⁻²⁴⁾と一致している。これらの研究成果から高地環境の歩行運動が末梢血液循環の改善を得ることができ、肥満や循環器系疾患の予防に対してもより有効であることが考えられる。従来、平地で長期間(3ヶ月、週3回程度)、持久的トレーニングを継続することによって安静時における加速度脈波の波形も改善(b/a 値が小さくなり、d/a 値および APG Index が大きくなる)され、波形タイプも若年者のタイプへの移行がみられること¹⁸⁾が報告されている。本研究を含めたこれまでの結果から、トレーニング後の安静時における生理応答が平地と高地の違いによって効果の出現時期が異なっていたことが推察される。したがって、平地および本研究の結果を基に考えると、標高1500 m 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、平地での運動よりも低圧低酸素環境である高地での歩行運動の方が末梢循環動態の面でも比較的早期にこれらの効果をもたらすことが考えられる。

本研究では、末梢血液循環の動態とともに、動脈の機能にどのような影響を及ぼすかを検討した。その結果、低圧低酸素環境下のトレーニングを行った EG 群の baPWV は、トレーニング前に比較して、トレーニング後では有意な低下を示した。一方、CG 群では有意な変化が認められなかった。この baPWV は、動脈硬化度(スティフネス)の指標として使用されており、加齢に伴い上昇すること²⁵⁾が報告されている。運動と動脈硬化度に関して、定期的な運動習慣の有無と baPWV の動態は、若年者(女子)を対象に定期的な運動を実施している者は定期的な運動を実施していない者と比較して有意に低い値を示していたこと²⁶⁾が報告されている。また、動脈硬化性疾患の危険因子を有するものを対象に2ヶ月間(週2回、1日60~90分間の有酸素運動と筋力トレーニング)の運動療法を実施した結果、baPWV は改善され、特に、この値の高い者(1400 cm/sec 以上)において、その改善が有意であったこと²⁷⁾も報告されている。定期的な持久的トレーニングで得られる効果には、機能的因子と器質的変化が関与していることが考えられる。そこで、本研究のように比較的短期間のトレーニングで得られた効果は、

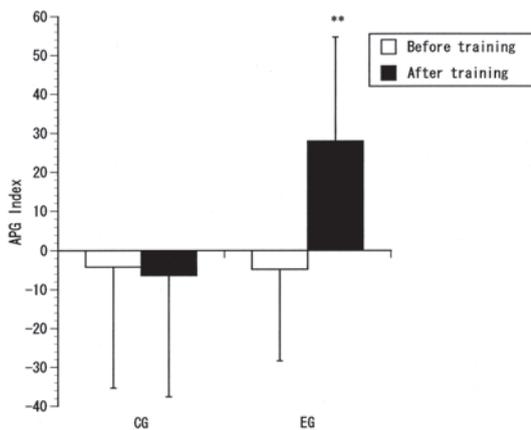


図3 6週間のトレーニング前後における加速度脈波指数の変化

Fig. 3 Changes in APG Index before and after the training for 6 weeks.

Values are expressed as means \pm SD.

** p < 0.01: significantly different from before value.

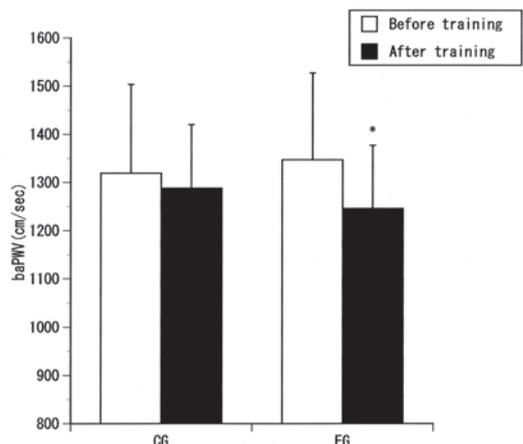


図4 6週間のトレーニング前後における動脈スティフネスの変化

Fig. 4 Changes in baPWV before and after the training for 6 weeks.

Values are expressed as means \pm SD.

* p < 0.05: significantly different from before value.

動脈の機能的因子によるものであり、おそらく血管平滑筋の緊張度などを介するものが主体であると考えられる。血管平滑筋の緊張度は、血管内皮細胞由来の血管作動物質や自律神経に影響される。若年者を対象に8週間の持久トレーニング（自転車こぎ運動）を実施することで大動脈脈波速度の有意な低下²⁸⁾とともに、血管弛緩物質である一酸化窒素（NO）濃度の増加および血管収縮物質であるエンドセリン-1（ET-1）の低下²⁹⁾などが報告されている。中高年者でも同様な成績¹⁹⁾が得られている。運動様式の異なる有酸素性運動競技者および抵抗性運動競技者を対象とした研究でも動脈伸展性適応の違いのメカニズムにET-1が関与する可能性³⁰⁾を示唆している。したがって、先行研究および末梢循環を含めた本研究の結果から推察すると、標高1500 mに相当する低圧低酸素環境下における歩行運動による心拍出量および血流量などの増加に伴って、血管内皮細胞からNOの増加やET-1の低下等による直接的な効果が関与して動脈の機能的因子の変化が生じた可能性が考えられる。さらに、持久的トレーニングは、交感神経活動の低下と副交感神経活動の亢進が血管平滑筋の緊張度を低下させることもbaPWVの低下に関与していたことも考えられる。現在、低圧低酸素環境の運動に対する自律神経の変化に関しては、ストレスメータ（自律神経を瞳孔の対光反応を数値化することで測定）を用い、詳細に検討中である。

以上、本研究の成績から、比較的早期の効果は、単に運動における効果というだけではなく、低圧低酸素という特殊な環境下における歩行運動による効果であることが考えられる。肥満者や中高年者では、低圧低酸素環境条件が比較的低い標高1500 mでも十分に効果が得られること、定期的な歩行運動は、安静時の末梢循環を比較的早期に改善することや動脈硬化の予防や改善に期待できることなどが示唆された。

V. まとめ

本研究では、非侵襲的（非観血的）に末梢循環動態や動脈の機能を評価する検査法の一つとして加速度脈波や脈波伝播速度があり、これらの検査法を用い、減量・ウエイトコントロールを必要とする肥満者や中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動が末梢血液循環の動態および動脈の機能（動脈スティフネス）にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

これらの成績を示すと次のごとくである。

6週間のトレーニングにおける加速度脈波、動脈スティフネスの変化

1. EGにおけるトレーニング後のb/a値は、トレーニング前に比較して、有意な低下を示した ($p < 0.05$)。トレーニング後のd/a値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。EGにおけるトレーニング後のAPG Index値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ($p < 0.05$)。
2. baPWVの変化は、EG群でトレーニング前に比較して、トレーニング後では有意な低下を示した ($p < 0.05$)。一方、CG群では有意な変化が認められなかった。

以上、本研究の成績から、比較的早期の効果は、単に運動における効果というだけではなく、低圧低酸素という特殊な環境下における歩行運動による効果であることが考えられる。肥満者や中高年者では、低圧低酸素環境条件が比較的低い標高1500 mでも十分に効果が得られること、定期的な歩行運動は、安静時の末梢循環を比較的早期に改善することや動脈硬化の予防や改善に期待できることなどが示唆された。

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) 寺尾 保，恩田哲也，中村 豊，有賀誠司：低

- 圧環境下における持続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.
- 3) 寺尾 保, 中村 豊, 松前光紀, 山下泰裕, 張楠, 三田信孝, 新居利広, 岩垣丞恒, 佐藤宣践, 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続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.
- 4) 寺尾 保, 恩田哲也, 中村 豊, 有賀誠司, 松前光紀, 田辺晃久, 山下泰裕, 岩垣丞恒, 佐藤宣践, 齋藤 勝: 低圧環境下における持続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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 寺尾 保, 桑平一郎, 恩田哲也, 有賀誠司, 中村 豊, サンドゥー・アダルシュ, 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.
- 8) 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.
- 9) Terao, T., Miyakawa, C., Yamanami, Y., Saito, M.: The effects of walking exercise in hypobaric and normbaric environments on resting metabolic rate and body composition in obese adults. *Osterreichisches Journal fur Sportmedizin*, 33(2): 26-31, 2003.
- 10) 浅野勝己, 水野 康, 競 達也: 一般中年男性の低圧シミュレーターによる高所トレーニングの有気的作業能に及ぼす影響, 筑波大学体育科学系紀要, 20: 153-158, 1997.
- 11) 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.
- 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) 増田善昭, 金井 寛: 動脈脈波の基礎と臨床, 共立出版株式会社, 2000.
- 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, 労働科学, 61(3): 129-143, 1985.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 松田光生: 4. 脈波速度の臨床治療への応用, 非薬物治療: 運動, 食事, 食塩制限, 禁煙など, 脈波速度, 小澤利男, 増田善昭編集, メジカルビュー社, 2002, 128-135.
- 20) Miyachi, M., Kawano, H., Sugawara, J., Takahashi, K., Hayashi, K., Yazaki, K., Tabata, I. and Tanaka, H.: Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance a randomized intervention study. *Circ.*, 110: 2858-2863, 2004.
- 21) 山科 章: 脈波速度測定法, 脈波速度, 小澤利男, 増田善昭編集, メジカルビュー社, 2002, 26-34.

- 22) 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: 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, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 16: 61-68, 2004.
- 23) 寺尾 保, 伊藤栄治, 小澤秀樹, 桑平一郎, 三田信孝, 山並義孝, 堀江 繁: 中高年者に対する低圧低酸素環境下の歩行運動が末梢循環に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 17: 16-22, 2005.
- 24) 寺尾 保, 小澤秀樹, 桑平一郎, 三田信孝, 山並義孝, 伊藤栄治: 肥満者に対する低圧低酸素環境下における安静時および歩行運動終了後の末梢血液循環に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 18: 54-61, 2006.
- 25) 西村正典, 小澤利男: 2. 脈波速度の臨床 高齢者, 小澤利男, 増田善昭編集, メジカルビュー社, 92-97, 2002.
- 26) 岡本孝信, 増原光彦, 生田香明: 定期的な運動習慣の有無が女子大生の脈波伝播速度に及ぼす影響, 体力科学, 52: 871, 2003.
- 27) 三谷陽子, 須藤美智子, 石川俊次: 脈波伝播速度 (PWV) に及ぼす短期運動療法の影響, 体力科学, 52: 793, 2003.
- 28) Kakiyama, T., Sugawara, J., Yokoyama, N., Murakami, H., Yazawa, K., Maeda, S., Kuno, S., Takaishi, M., Matsuda, M.: Effects of a 8-week exercise training and detraining in young males on aortic distensibility and VO₂ max. Proceedings of the 4th annual congress of the European College of Sport Science, 510, 1999.
- 29) Maeda, S., Miyauchi, T., Kakiyama, T., Sugawara, J., Iemitsu, M., Iukayama-Tomobe, Y., Murakami, H., Kumagai, Y., Kuno, S., Matsuda, M.: Effects of exercise training of 8 weeks and detraining on plasma levels of endothelium derived factors, endothelin-1 and nitrite/nitrate, in healthy young humans. Life Sci., 69: 1005-1016, 2001.
- 30) 大槻 毅, 前田清司, 家光素行, 斉藤陽子, 谷村祐子, 鯨坂隆一, 宮内 卓: 有酸素性運動競技者および抵抗性運動競技者における血漿エンドセリン-1 濃度と動脈伸展性, 体力科学, 54: 492, 2005.

メタボリックシンドロームへの運動効果

中村 豊 (スポーツ医科学研究所) 植田恭史 (体育学部競技スポーツ学科)

相澤慎太 (体育学部競技スポーツ学科) 葛 輝子 (保健管理センター)

中山直子 (保健管理センター) 前田昌彦 (保健管理センター)

本間康彦 (保健管理センター) 保坂 隆 (保健管理センター)

The Effect of Exercise in Metabolic Syndrome

Yutaka NAKAMURA, Yasushi UEDA, Shinta AIZAWA, Teruko KATURA, Naoko NAKAYAMA,
Masahiko MAEDA, Yasuhiko HONMA and Takashi HOSAKA

Abstract

55 University personnel who have at least one or more risk factors for Metabolic Syndrome were extracted by a medical examination. An exercise support program which consists of a nutritional guide and exercise guide was created, and then it inspected effects on the measure of the prevention of Metabolic Syndrome by using blood test and physical examination of before and after the program.

We divided targets into 3 groups; A group, B group, and C group. In A group, only blood test, the nutritional guide and blood test to B group, and C group did the nutritional guide, the exercise guide and blood test. The change in 14 measurement items was examined for 12 weeks.

On the one hand, there was an improvement tendency in 9 items of 14 items in C group which did the exercise guide together with the nutritional guide and blood test. On the other hand, in B group, which did not the exercise guide, was seen the improvement tendency only 4 items of 14 items.

Thus, we thought that the risk factors can be reduced by adding not only the nutritional guide but also the exercise guide.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 47-52, 2007)

I. はじめに

運動が不足することは身体にさまざまなデメリットをもたらすことは周知の事実である。しかしながら運動を実行に移し、その効果を容易に体得できないのが現実である。運動不足病という疾病概念が確立されて久しく、運動の励行が叫ばれてきたが、残念ながら現代社会では依然として運動

不足の状態が続いているのが現状である。運動不足病に代わって生活習慣病という呼び方に変わり、生活習慣を見直し日常生活活動の中でも運動効果が得られるように生活行動を変容させることが提唱された。このような状況で今後いかに日常生活の中に運動習慣を取り入れ、身体活動を増やすかが生活習慣病の予防の鍵と言える。

日本では世界に類のない超高齢社会を迎え、医療費削減のために生活習慣病への予防対策の必要

性に迫られてきた。1998年に WHO が複数リスクで将来に動脈硬化に至り心血管疾患で生命を危うくする状態の定義をメタボリックシンドロームという呼び方に統一し、2005年の4月に診断基準が設定された¹⁾(表1)。今回この新基準に基づきメタボリックシンドロームのリスクを持つ大学職員を対象にし、以下のような介入研究を実施した。運動実践の効果を検証するために健康支援プログラムを作成し、特に運動施行によるメタボリックシンドロームのリスクに対する予防効果を脂肪細胞から分泌されるアディポサイトカインの1つであるアディポネクチンを検査項目に加えて検討した^{2, 3)}。

II. 調査対象及び方法

対象者は、2005年10月の大学職員健康診断を受けた680名の中で、メタボリックシンドロームの予備軍を含めて、BMI 25以上・血圧・中性脂肪・空腹時血糖・HDL コレステロールの5項目中2項目以上の陽性者の245名を抽出した。これらのリスクを有する者へ健康支援プログラムを提示して参加希望の得られた55名を対象とした。

健康支援プログラムにおいてA、B、Cの3グループを設定し、A群は栄養指導や運動などの介

入を行わず、血液検査のみのコントロール群として参加者のグループ分けを行った。

- A グループ (15名) : 血液検査
- B グループ (7名) : 血液検査 + 栄養指導
- C グループ (33名) : 血液検査 + 栄養指導 + 運動指導

1. 血液検査

プログラム開始前と終了後の2回採血し、アディポネクチン、TG、HDL、TC、LDL、UA、GOT、GPT、 γ GTP、血糖の10項目を測定した。

2. 栄養指導

大学病院栄養科で作成した1日当たり1800 kcalの1ヵ月の献立表を参考に、参加者による栄養記録を栄養支援ソフトにて栄養分析を行った。併せて、保健師による直接面接にて月1回(合計3回)の栄養管理を行った。

3. 運動指導

運動前のプレスクリーニングをPAR-Q(身体活動準備質問表)にて行い、医師のメディカルチェックを実施した後に運動プログラムに従って指導を行った。

1) 運動内容は

- (1) ストレッチ (ウォーミングアップ)
- (2) a. トレッドミルにてウォーキング5.0 ~ 6.0 km/h を30~40分
- b. エアロバイク (目標脈拍設定) を30~40分
- c. ステアマスターを30~40分
- (3) ストレッチ (クーリングダウン)

2) 運動強度・頻度: 運動強度の設定は主観的運動強度を事前テストで体験し、「ややきつい」程度の運動強度で行った。頻度は週2回を最低目標として実施した。

3) 運動指導方法: 大学教員によるプログラムの直接指導を月1~2回実施して、ライフコーダーによる1日の歩行数、活動状況もチェックした。

表1 メタボリックシンドロームの診断基準
Table 1 Criteria of Metabolic Syndrome

①内臓脂肪 (腹腔内脂肪) 蓄積	
ウエスト周囲径	男性 \geq 85cm 女性 \geq 85cm
*内臓脂肪面積	男女とも100cm ²
②上記に加え以下のうち2項目以上	
高トリグリセライド (中性脂肪) かつ/または 低HDL コレステロール	\geq 150 mg/dl <40 mg/dl 男女とも
収縮期血圧 かつ/または	\geq 130 mmHg
拡張期血圧	\geq 85 mmHg
空腹時高血糖	\geq 110 mg/dl

4. プログラム実施期間

プログラムの実施は12週（3ヵ月）で最低でも月に1度の直接運動指導および栄養チェックを行いながら、参加者の意欲にしたがいフィットネス室における運動継続を遂行した。

5. 検査項目

- 1) 採血10項目
- 2) BMI
- 3) 血圧測定（収縮期・拡張期）
- 4) ウエスト周径：臍中央部で採測

の14項目についてプログラム開始前と終了後の2回測定した。

Ⅲ. 結 果

運動支援プログラム開始前後のA・B・Cの3グループの測定項目の値の変化はA群をコントロール群として比較を行った。

1) 採血10項目

アディポネクチンはCグループで6.77→6.42 μg/ml、Bグループ6.23→6.26、Aグループ7.18→6.42となりBグループが僅かに上昇し、A・Cグループは低下を示した（図1）。

トリグリセライド（TG）はCグループで149.9→120.4 mg/dl、Bグループ178.3→159.0、Aグループ144.3→137.8となり、いずれのグループにおいても数値の低下を示し、統計学的にはCグループのみ $P < 0.05$ で有意差を認めた。

総コレステロールはCグループで215.0→216.4 mg/dl、Bグループ228.7→227.4、Aグループ228.4→233.5となり、いずれのグループにおいても数値の上昇を示し、統計学的には $P < 0.05$ で有意差を認めなかった。

HDLコレステロールはCグループで53.3→58.4 mg/dl、Bグループ49.7→52.3、Aグループ52.8→60.73となり、いずれのグループにおいても

数値の上昇を示し、統計学的には $P < 0.05$ ですべてに有意差を認めた。

LDLコレステロールはCグループで131.0→125.2 mg/dl、Bグループ136.6→122.0、Aグループ141.3→141.7となり、いずれのグループにおいても数値の上昇を示し、統計学的にはCグループのみに $P < 0.05$ で有意差を認めた。

尿酸（UA）はCグループで6.43→6.24 mg/dl、Bグループ6.55→6.32、Aグループ6.72→6.58となり、いずれのグループにおいても数値の低下を示したが、統計学的には有意差を認めなかった。

GPTはCグループで41.5→28.9 KU、Bグループ30.4→22.6、Aグループ37.9→36.3となり、いずれのグループにおいても数値の低下を示し、統計学的には $P < 0.05$ でB・Cグループに有意差を認めた。

GOTはCグループで27.8→24.1 KU、Bグループ23.6→20.4、Aグループ27.8→23.5となり、いずれのグループにおいても数値の低下を示し、統計学的には $P < 0.05$ でB・Cグループに有意差を認めた。

γ GTPはCグループで67.4→49.1 KU、Bグループ69.3→61.7、Aグループ74.1→68.0となり、いずれのグループにおいても数値の低下を示し、統

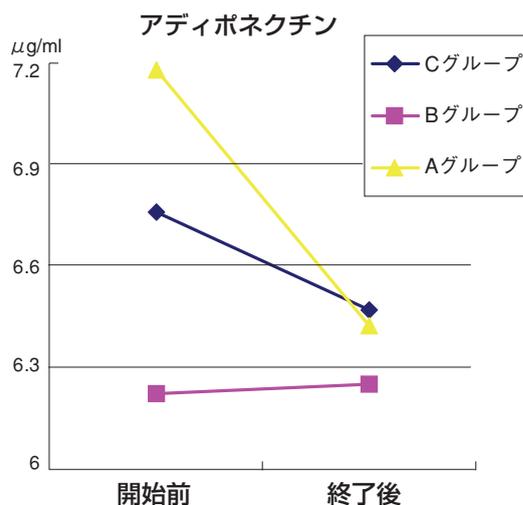


図1 アディポネクチンの血中濃度変化
Fig. 1 The change of concentration of Adiponectin in blood

計学的には $P < 0.05$ で C グループのみに有意差を認めた。

血糖は C グループで $100.8 \rightarrow 97.8$ mg/dl、B グループ $86.6 \rightarrow 87.9$ 、A グループ $99.7 \rightarrow 105.0$ となり、いずれのグループにおいても一定の数値変動を示さず、統計学的にも有意差を認めなかった。

2) BMI (Body Mass Index)

WHO では 30 kg/m^2 以上を肥満とし、日本では 25 kg/m^2 以上として低く設定している。今回のプログラム前後では C グループで $27.1 \rightarrow 26.4 \text{ kg/m}^2$ 、B グループ $26.1 \rightarrow 25.3$ となり、いずれのグループにおいても数値の改善を示し、統計学的にも有意差を認めた (図 2)。

3) 血圧測定 (収縮期・拡張期)

収縮期血圧の変動は C グループで $137.3 \rightarrow 134.0$ mmHg、B グループ $132.8 \rightarrow 131.5$ となり、拡張期血圧では C グループで $89.8 \rightarrow 86.2$ mmHg、B グループ $84.0 \rightarrow 81.5$ となり、いずれのグループにおいても数値の改善を示したが、統計学的には拡張期の C 群にのみ有意差を認めた。

4) ウエスト周径

内臓脂肪を反映するには細部を計測するのではなく、臍中央部の周径の計測が適していると言われ、今回の計測ではプログラム前後の C グループで $92.3 \rightarrow 89.9$ cm、B グループで $91.8 \rightarrow 86.2$ cm と共に数値の改善を認めたが統計的には $P < 0.05$ で有意差を認めたのは C 群のみであった。

5) 歩行数

直接指導時の歩数はライフコーダーによる分析で、1 日当たり 8000 歩以上超えているのが 18 名あり、8000 歩以下のものは 11 名であった。

IV. 考 察

12 週間におよぶ運動支援プログラムの前後において採血項目 10 種類、BMI、血圧、ウエスト周径の項目を合わせて 14 項目の測定値の変化は以下のとおりである。運動指導と栄養指導の両方を行った C グループでは、改善傾向示した項目 (統計的な有意差の得られたもの) は 9 項目みられた。また栄養指導のみを行った B グループでは、改

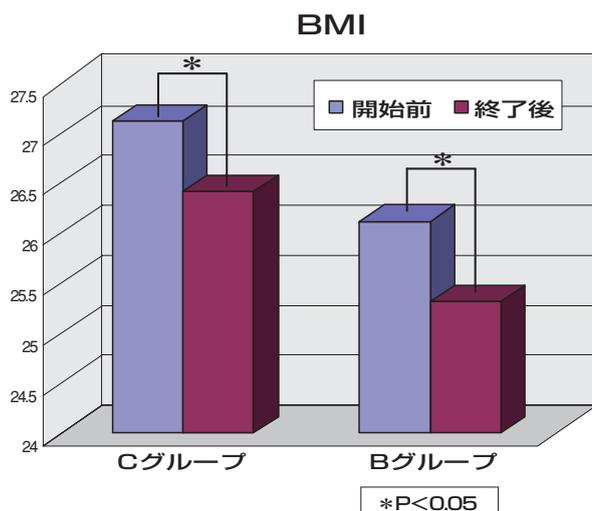


図 2 健康支援プログラム前後の BMI 値の変化

Fig. 2 The change of value in BMI before and after the health support program

善傾向を示したのは4項目であった。これらの改善傾向から考えてみると、運動指導はメタボリックシンドロームのリスク削減に非常に有効に機能すると思われた(表2)。

今回は脂肪細胞から分泌されるアディポサイトカインの1つであるアディポネクチンについても12週間におよぶ運動指導と栄養指導でどのような変化をきたすかを合わせて検討したが、コントロール群では値の低下を示し、栄養指導群と運動指導をさらに付加した群では値の微増と軽度の低下を示した。アディポネクチンの血中濃度は肥満に伴ってその血中濃度が低下することが知られているが、今回の結果から栄養指導を行った群は血中濃度の増加を示しており、運動を付加した群でもコントロール群との比較においては血中濃度の低下は軽度であり有意差は見られないものの運動指導と栄養指導は脂肪細胞に対する抑制的効果があると考えられる⁴⁾。アディポネクチンが他の代謝と独立して作用することも明らかになりつつあるが、まだまだ不明な部分も多くありメタボリックシンドロームの管理に役立てるために更なる研究が待

たれるところである⁵⁾。

運動指導を行った群では、血液検査項目10項目のうち6項目に数値の改善が得られ、BMI、ウエスト周径、拡張期血圧を加えて9項目に改善傾向が見られる結果であった。検査項目別で見るとHDL、LDL、TGと脂質系項目の改善が運動効果として表れていると考えられる。今回の運動プログラムの内容が有酸素系運動を主体としているため、脂質の燃焼に有効であったと考えられる。しかしながらプログラム施行前の体脂肪分布の評価は十分とは言えず、CTスキャンやMRIによる腹部皮下脂肪面積(Abdominal Subcutaneous Fat area: ASF)や内臓脂肪(Abdominal Visceral Fat: AVF)の分布評価が不十分なためにどの部分の脂肪組織にどの程度の効果が得られたのかを検討することは困難であった。BMI(体重kg÷身長cm÷身長cm)の値を見ても平均で26~27程度で、欧米に見られる31を遥かに超える値ではないため、運動効果や栄養指導の効果は出にくいと考えられる^{6,7)}。

今回採血項目では検診項目の中でリスクを見出

表2 健康支援プログラム後の検査項目の有意差結果

Table 2 The significant difference of inspection items after the health support program

	Cグループ 運動指導+ 栄養指導	Bグループ 栄養指導	Aグループ なし 対照群	歩行数	
				8000歩以上	8000歩以下
対象者数	33	7	15	18	11
アディポネクチン	×	×	×	×	×
BMI	○	○	—	○	×
TG	○	×	×	○	○
HDL	○	○	○	○	×
LDL	○	×	×	○	×
TC	×	×	×	×	×
血圧(収縮期)	×	×	—	×	×
血圧(拡張期)	○	×	—	○	×
血糖	×	×	×	×	×
尿酸(UA)	×	×	×	○	×
GOT	○	○	×	○	×
GPT	○	×	×	○	×
γ GTP	○	×	×	○	○
ウエスト周径	○	×	—	○	×
有意差数	9	4	1	10	2
総項目数	14	14	14	14	14

有意差あり：○、有意差なし：×
T検定、有意水準 P<0.05

したが、GOT、GPT、 γ GTPなどの肝臓機能関係の検査値は改善を示し、脂肪肝などによる機能異常が是正されたと考えられる。しかしメタボリックシンドロームにおける内臓脂肪と脂肪肝の関連は当然のことであり、また尿酸に関しても直接的な関連は薄いのではないかと思われる。現代日本におけるメタボリックシンドロームによる影響は今後益々問題になり、いかに予防し動脈硬化性疾患を防いでいくかが重要となり、検診における対費用効果も無視できなくなると思われる。

今後は対費用効果も吟味してメタボリックシンドロームを的確に予見し、高脂血症の合併症を防げるようにし、また国家的要請でもある予防医学を充実させるためにはさらに検診内容も含めて吟味する段階に来ていると思われた。

V. まとめ

1. 大学職員健康診断を受けた中からメタボリックシンドロームの危険因子を2つ以上有する40名に対して運動支援プログラムを作成し、12週間のプログラム前後で危険因子の変化を検討した。
2. 運動指導を行ったグループでは健康支援プログラムの終了後の14項目の検査9項目で数値の改善が得られた。
3. 健康支援プログラムの終了時のアディポネクチンの血中濃度はコントロール群では著明な低下を示し、栄養指導および運動指導群では微増もしくは軽度の低下で、脂肪細胞への肥満抑制効果が示唆された。
4. 介入前の肥満の評価が不十分なため短期の運動が内臓脂肪燃焼にどの程度有効であったかは今後条件の厳密な統一が望まれる。
5. 多くの対象からメタボリックシンドロームを的確に見出すには対費用効果を含めて総合的に判断する必要があると思われた。

参考文献

- 1) メタボリックシンドローム診断基準検討委員会：メタボリックシンドロームの定義と診断基準，日本内科学会誌，94，4，784-809，2005.
- 2) Robinson, L.E., Graham, T.E.: Metabolic syndrome, a cardiovascular disease risk factor: role of adipocytokines and impact of diet and physical activity. *Can. J. Appl. Physiol., DES*; 29(6): 808-829, 2004.
- 3) Schmidt-Trucksass A: The metabolic syndrome and sport. *MMW Fortschr. Med.*, Sep. 21; 148(8): 30-32, 2006.
- 4) Arita, Y., Kihara, S., Ouch, N., Takahashi, M., Maeda, K., Miyagawa, J., Hotta, K., Shimomura, I., Nakamura, T., Miyaoaka, K., Kuriyama, H., Nishida, M., Yamashita, S., Okubo, K., Matsubara, K., Muraguchi, M., Ohmoto, Y., Funahashi, T., Matuzawa, Y.: Paradoxical decrease of an adipose-specific protein, adiponectin, in obesity. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, Apr. 2; 257(1): 79-83, 1999.
- 5) Arita, Y., Kihara, S., Ouch, N., Maeda, K., Kuriyama, H., Okamoto, Y., Kumada, M., Hotta, K., Nishida, M., Takahashi, M., Nakamura, T., Shimomura, I., Muraguchi, M., Ohmoto, Y., Funahashi, T., Matuzawa, Y.: Adipocyte-derived plasma protein adiponectin acts as a platelet-derived growth factor-BB-binding protein and regulates growth factor induced common postreceptor signal in vascular smooth muscle cell. *Circulation*, Jun. 18; 105(24): 2893-2898, 2002.
- 6) 田中茂穂：日本人は内臓脂肪が多いか？，臨床スポーツ医学，Vol.21，No.7，741-745，2004.
- 7) 池田義雄：一無、二少、三多でメタボリックシンドローム予防，*Sportsmedicine*，77，16-19，2006.

誘電分光法で用いられる電極の 解析による皮膚の水和構造の解釈

橋本美帆 (大学院理学研究科) 後藤辰也 (理学部物理学科)
新屋敷直木 (理学部物理学科) 八木原晋 (理学部物理学科)

Interpretation of Hydration Structure of Human Skin from Analysis of Electrodes Used in Dielectric Spectroscopy

Miho HASHIMOTO, Tatuya GOTO, Naoki SHINYASHIKI and Shin YAGIHARA

Abstract

Dielectric measurements for human skin were performed by time domain reflectometry (TDR) method with open-ended coaxial probes in vivo in a frequency range from 100 MHz up to 15 GHz. A relaxation process due to free water was observed in GHz frequency range. We performed dielectric measurements for skin of various parts of a human body by probes with two different outer diameters in order to find basic hydration structure of skin. Larger values of the relaxation strength and the shape parameter and smaller values of the relaxation time were obtained for parts where thickness of epidermis is thinner and also by probes with larger diameters. In addition we also performed dielectric measurement on a double-layer of dielectrics with the upper layer of water and the lower layer of teflon in order to determine a penetration depth of the electric field for four different probes. Using an exponential-like function, we examined to approximate each free water content in epidermis and dermis. Free water content in dermis was larger than that in epidermis. Dielectric measurements for the skin of forefinger soaked in 38°C water during 35 minutes were performed by three different probes, and a time dependency of the water content was clarified.
(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 53-62, 2007)

I. はじめに

皮膚には外傷を防ぎ、細菌の侵入や水分乾燥の防止など様々な役割がある。ヒトの皮膚は表層から表皮、真皮、皮下組織と層構造を成している。皮膚は多くの水を含んでおり、一般に真皮から表皮表層へ向かって水分量が低下している^{1, 2)}。ヒトの皮膚内には、生体高分子と水素結合して束縛されている結合水や、束縛されず高い運動性を示

す自由水など多彩な水構造があるといわれている³⁻⁸⁾。

これまで電気伝導度測定などにより、皮膚などの生体組織の含水量が求められてきた^{9, 10)}。電気伝導度測定は簡便なため、含水量測定に多く用いられてきた。しかし、純水の水構造が有する特性時間・周波数である $8 \text{ ps} \cdot 20 \text{ GHz}$ (25°C)¹¹⁾ の高周波測定を行うことは一般に困難なため、水の動的挙動からの正しい含水量を得ているわけではない¹²⁾。

我々はこれまでマイクロ波域で有効な誘電緩和測定法として Time Domain Reflectometry (TDR) 法 (測定周波数領域: 1 MHz ~ 30 GHz) を開発し、水の分子運動を反映する緩和を 20 GHz のピーク周波数より高い周波数まで観測することを可能にした。自由水が他の生体高分子より小さな緩和時間を有することを利用して、誘電緩和測定では生体内の自由水のみを選択的にとらえることができる³⁻⁸⁾。

本研究室ではこれまで皮膚の誘電分光をスポーツ医学¹³⁾ に適用して、運動時における表皮内自由水の変化を定量的に求め、血液粘度測定や体重測定の結果との比較から運動前後での体内の水の移動の様子を理解することができた。また、臨床的研究^{14, 15)} として、火傷後の皮膚の治癒過程などを皮膚内の自由水量の観測から行った。これらの報告で、自由水を調べることは皮膚の状態を知る重要な手がかりとなり、スポーツ医学を含む広い分野でこれを利用した研究が可能であることが示された。その一方で、深さ方向に構造が異なる皮膚では、皮膚表層から皮膚深部のどこまで

の誘電情報が主に得られるのかを決定する電極特性についてはまだ詳細に解釈されていない。

最近我々は、上層に水、下層にテフロン製の二層から成る誘電体モデルを用いて TDR 用接触式同軸型電極の電極特性を調べて報告した¹⁶⁻¹⁸⁾。また、特性を調べた電極を用いて皮膚の深さ方向における誘電情報についても調べたが、皮膚の表皮と真皮個別の水和構造を解釈するには至っていない。

本研究の目的は、接触式同軸型電極による誘電測定で用いる電場の浸透深さを求め、表皮の厚さが異なる様々な部位の皮膚測定から、電極特性と皮膚の水和構造に関する知見を得ることである。また、外径すなわち電極特性の異なる電極を用いて、温湯に浸漬したヒト皮膚の誘電緩和測定を行い、皮膚水合構造の変化を調べた。

II. 実験方法

1. TDR 法による誘電緩和測定

TDR 法 (図 1 参照) は、水の分子運動を反映

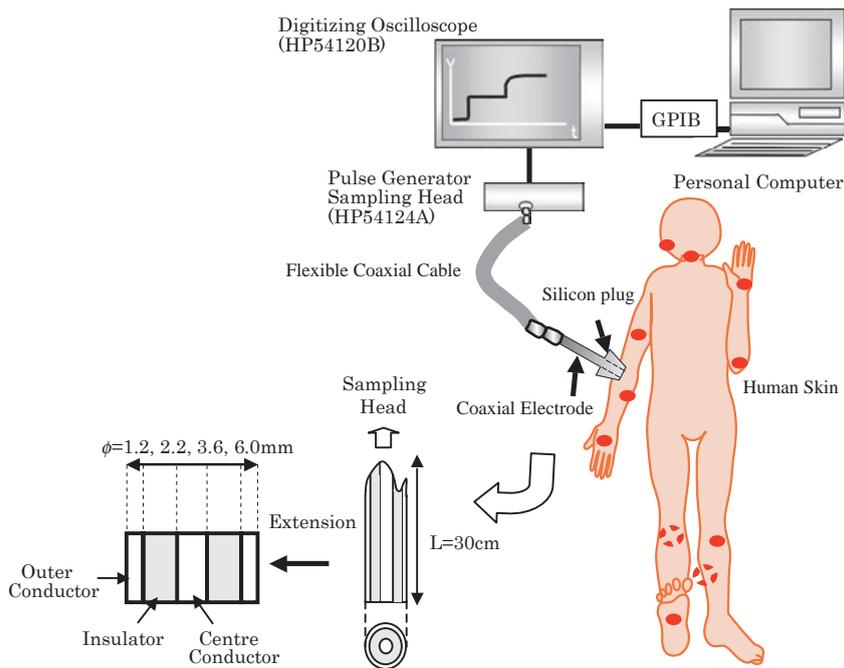


図 1 TDR システムと接触式同軸型電極
Fig. 1 TDR system with an open-ended coaxial probe

する高周波数域（1 MHz～30 GHz）での誘電緩和を観測することが可能な誘電率測定法である^{19, 20}。一般に複素誘電率は次のように定義される。

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega) \quad (1)$$

ここで ω は角振動数、 j は虚数単位、実数部 ϵ' は誘電体の分極に溜め込まれる電気量、虚数部 ϵ'' は1周期当たりの誘電体のエネルギー損失を表し、周波数に依存する²¹。

TDR法では図1のように、同軸ケーブルの先端に試料セルが取り付けられる。この同軸ケーブルを通して、試料へ立ち上がり時間35 psのステップパルスの入射波 $V(t)$ を入射させ、再び同軸ケーブルを戻る反射波 $R(t)$ の応答波形を時間領域で観測し、フーリエ・ラプラス変換を用いた次式から誘電緩和スペクトルを得るものである^{19, 20}。

$$\epsilon^* = \frac{c}{j\omega\gamma d} \cdot \frac{v(s) - r(s)}{v(s) + r(s)} z \cot z \quad (2)$$

ここで、 c は真空中での光速、 d はセルの中心導体の長さ、 $v(s)$ と $r(s)$ は $V(t)$ と $R(t)$ をラプラス変換したもの、 s は $j\omega$ 、 γ は電極の電気長、 $z \cot z$ は電極における多重反射を表し、比誘電率 ϵ^* の物質で満たされたとき、

$$z = \frac{\omega d \sqrt{\epsilon^*}}{c} \quad (3)$$

となる^{19, 20}。TDR法の測定に接触式同軸型電極を用いることで、被測定物に直接接触、あるいは突き刺した状態での測定が可能である。

接触式同軸型電極は、中心導体、絶縁体、外部導体からなり（図1参照）、電極の先端で電気力線が中心導体から被測定物を通り、外部導体へ達する。電極先端周囲の比較的強い電場の分布する範囲で物質の誘電情報を得ていることになる¹⁶⁻¹⁸。

2. 接触式同軸型電極の特性

二層誘電体モデルに用いたテフロン試料は FLON INDUSTRY の厚さ10 mm のシート状 PTFE（静的誘電率 $\epsilon_t = 2.1$ ）、水（静的誘電率 $\epsilon_w = 78.3$ ）¹¹ は脱イオン蒸留水（Milli-Q Labo）を

使用した。

図2に示すように、腰高シャーレ内の上層に水、下層にテフロン（水-テフロン系）を配置した。用いた電極の外部導体の外径は1.2、2.2、3.6、6.0 mm の4種類である。電極先端がテフロン表面に接触したところを距離 $l = 0$ mm（ゼロ点）とした。電極をテフロンから離して電極先端部とテフロン間の距離 l を増減しながら誘電率を測定した。距離 l は、手動で上下させる小型のジャッキを用いて変化させ、デジマチックインジケータ（ID-C112A, Mitutoyo）で計測された。各電極について距離 l を1 mm から最大5 mm までの間で設定して複数回の実験を行った。

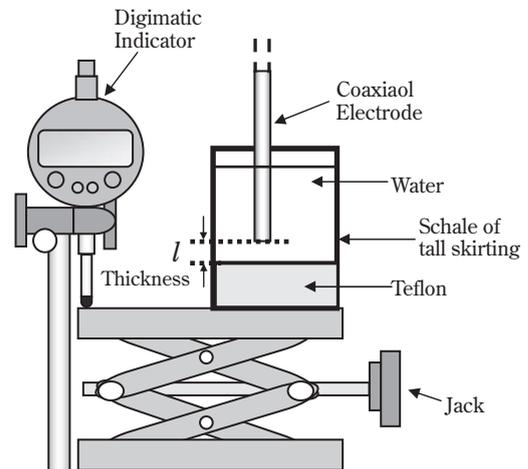


図2 電極による電場の浸透深さを決めるための水-テフロン系実験に用いた装置

Fig. 2 An experimental set up to determine the penetration depth of the field pattern for the water-Teflon model

3. 異なる表皮厚の皮膚の誘電緩和測定

著者の1人（T. G.、25歳、男性）を被験者とし、皮膚上層の表皮厚が異なる唇部、頬部、前腕屈側部、肘部、上腕屈側部、手掌部、手背部、膝部、ふくらはぎ部、膝裏部、足裏部についてそれぞれ3回ずつ誘電緩和測定を行った。電極は外部導体の外径が2.2、3.6 mm の接触式同軸型電極を用いた。電極の先端には皮膚との接触を安定化させるためシリコン栓を取り付けた（図1参照）。

4. 温湯に浸漬した手指部の誘電緩和測定

被験者（23歳の男性）の右手第二指の腹の誘電測定を行った。測定には外部導体の外径がそれぞれ2.2、3.6、6.0 mmの3種類の接触式同軸型電極が用いられた。はじめに、比較として何も処理を行っていない右手第二指の腹を各電極で2回ずつ測定し、次に右手首から先を38℃の温湯に35分間浸漬した直後、皮膚表面の水をキムワイプでふき取り、再び同様に誘電測定を行った。その後さらに温度25℃、湿度49%の実験室で45分にわたり、1セット15分ずつの誘電緩和測定を3セット行った。

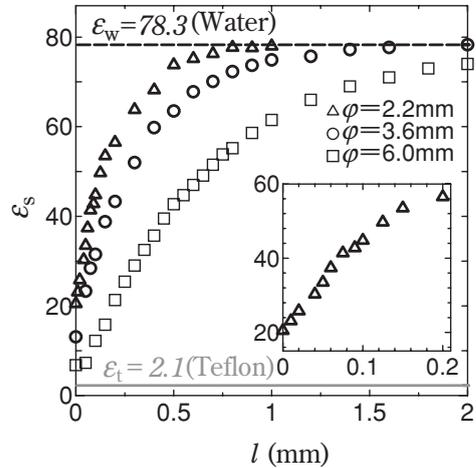


図3 水—テフロン系における距離 l と誘電率 ϵ_s の関係
径2.2 mm (Δ)、径3.6 mm (\circ)、径6.0 mm (\square)

Fig. 3 Relationship between the static dielectric constant and the distance between surfaces of Teflon and electrodes with the outer diameter, 2.2 mm (Δ), 3.6 mm (\circ), and 6.0 mm (\square)

Ⅲ. 結果及び考察

1. 接触式同軸型電極の特性

図3に各電極で得られた誘電率 $\epsilon_s(l)$ と距離 l の関係を示す。 l の増加に伴い、 $\epsilon_s(l)$ は急激に増加し、純水の誘電率 $\epsilon_w = 78.3$ の値に近づいていった。

l に対して $\epsilon_s(l)$ が増加していく様子を、テフロンと水の誘電率、 ϵ_t と ϵ_w を用いて次式のように表した。

$$\epsilon_s(l) = \epsilon_t + (\epsilon_w - \epsilon_t) \left(1 - \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) \right) \quad (4)$$

ここで l_0 は $\epsilon_s(l)$ の値がテフロンからの距離 l に対して指数関数的に変化していくとき、その全体の

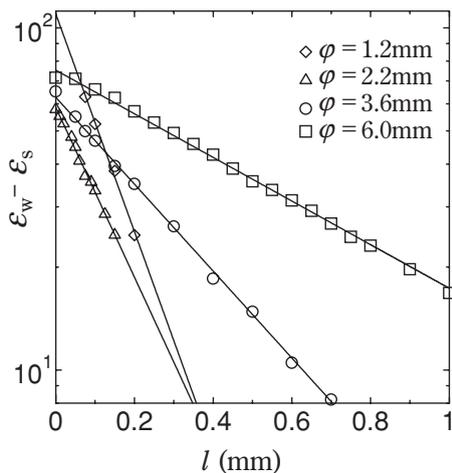
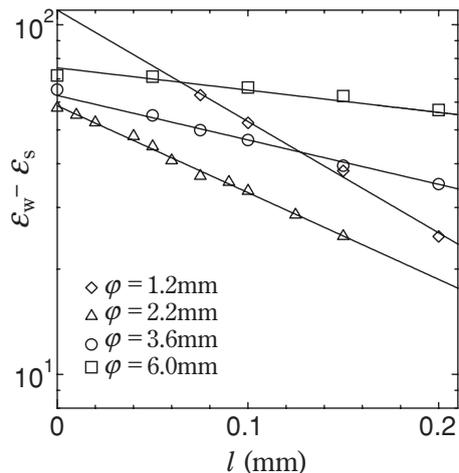


図4 水—テフロン系における距離 l と誘電率 ϵ_s の関係
径1.2 mm (\diamond)、径2.2 mm (Δ)、径3.6 mm (\circ)、径6.0 mm (\square)

Fig. 4 Relationship of the static dielectric constant and the distance between surfaces of Teflon and electrodes with the outer diameter, 1.2 mm (\diamond), 2.2 mm (Δ), 3.6 mm (\circ) and 6.0 mm (\square)



変化量の約63%に達するまでの距離として定義されている。ここでは l_0 を電極による「電場の浸透深さ」と呼ぶことにする。電場の浸透深さは、電場の到達する最深値ではなく(4)式で与えられる特性値のことである。さらに(4)式は

$$\varepsilon_w - \varepsilon_s(l) = (\varepsilon_w - \varepsilon_i) \exp\left(-\frac{l}{l_0}\right) \quad (5)$$

と書き直すことができる。ここで、 l と $\varepsilon_w - \varepsilon_s(l)$ の関係を図4の片対数グラフに表したとき、プロットが直線を示すことから、(4)式が妥当であることが分かる。(5)式を用いた最小自乗法によって決定した図4の直線の傾きから電場の浸透深さ l_0 (水-テフロン)を決定し、表1に示した。径の増加と共に電極による電場の浸透深さ l_0 (水-テフロン)も増加していくことが分かった。また得られた浸透深さから、被測定物の誘電情報などの程度の深さまで得られているかの目安が得られた。従来接触式同軸型電極を用いることで被測定物表面を2次元的に走査していくことは可能であったが、深さ方向についての情報も得られる可能性が新たに示されたことになる。

2. 異なる表皮厚の皮膚の誘電緩和測定

図5(a)に表皮の厚さが異なる部位について径が3.6 mmの電極を用いた誘電緩和測定から得られた誘電分散、吸収曲線を示す。部位により異なる誘電緩和を示すことが分かる。得られた複素誘電率を(6)式のような2つのCole-Cole型の緩和関数の和でうまく記述することができた²²⁾。

$$\varepsilon^* - \varepsilon_\infty = \frac{\Delta\varepsilon_h}{1 + (j\omega\tau_h)^{\beta_h}} + \frac{\Delta\varepsilon_l}{1 + (j\omega\tau_l)^{\beta_l}} \quad (6)$$

ここで $\Delta\varepsilon$ は緩和強度、 τ は緩和時間、 β ($0 <$

$\beta \leq 1$)は緩和時間分布を表すパラメータ、 ε_∞ は光学領域における誘電率を表す。高周波側の緩和を h 過程、低周波側の緩和過程を l 過程として各緩和パラメータの添字で示しCole-Cole式は元々誘電緩和曲線を表す経験式として導入されたもので、その物理的意味は必ずしも明確にされてこなかったが、密度揺らぎによる緩和時間分布や、物質のフラクタル構造による自己相似的階層構造を表すパラメータとして捉えられることが分かってきている。図5(a)の右に、各部位の表皮の厚さを示した²³⁾。図5(b)に前腕屈側部について得られた(6)式による誘電緩和過程のフィッティング結果を示す。 h 過程は自由水の配向に起因するもの、 l 過程は結合水やイオンの挙動など様々な要因の複合的なものと考えられる。

本研究では h 過程として観測された自由水に注目する。図5では h 過程の緩和強度 $\Delta\varepsilon_h$ が小さいほど、緩和時間 τ_h が大きい値を示し、緩和時間分布 β_h は小さい値を示す。この小さな $\Delta\varepsilon_h$ の値は、含水量が少ない表皮部分の誘電率測定への寄与が大きいことを示し、表皮では真皮に比べてより束縛された水和構造をとり、水がスローダイナミクスを伴う秩序形成を引き起こしていることが分かる。 $\Delta\varepsilon_h$ の値からは、皮膚に含まれる自由水量を次式によって求めることができる。

$$c_f = \frac{\Delta\varepsilon_h}{\Delta\varepsilon_r} c_p \quad (7)$$

ここで C_f は単位体積当たりの自由水の質量、 C_p は純水の密度でここでは37°Cの値、0.991 g/cm³、 $\Delta\varepsilon_r$ には37°Cの純水の緩和強度、71.7を用いた¹⁶⁾。

図6(a)に文献値から得られた各部位の表皮

表1 水-テフロン系から求めた l_0 と皮膚測定から得られた l_0
Table 1 l_0 obtained from measurements for water-Teflon system and for human skin

電極径 /mm	l_0 (水-テフロン) /mm	l_0 (皮膚) /mm
1.2	0.16	
2.2	0.17	0.09
3.6	0.34	0.16
6.0	0.71	

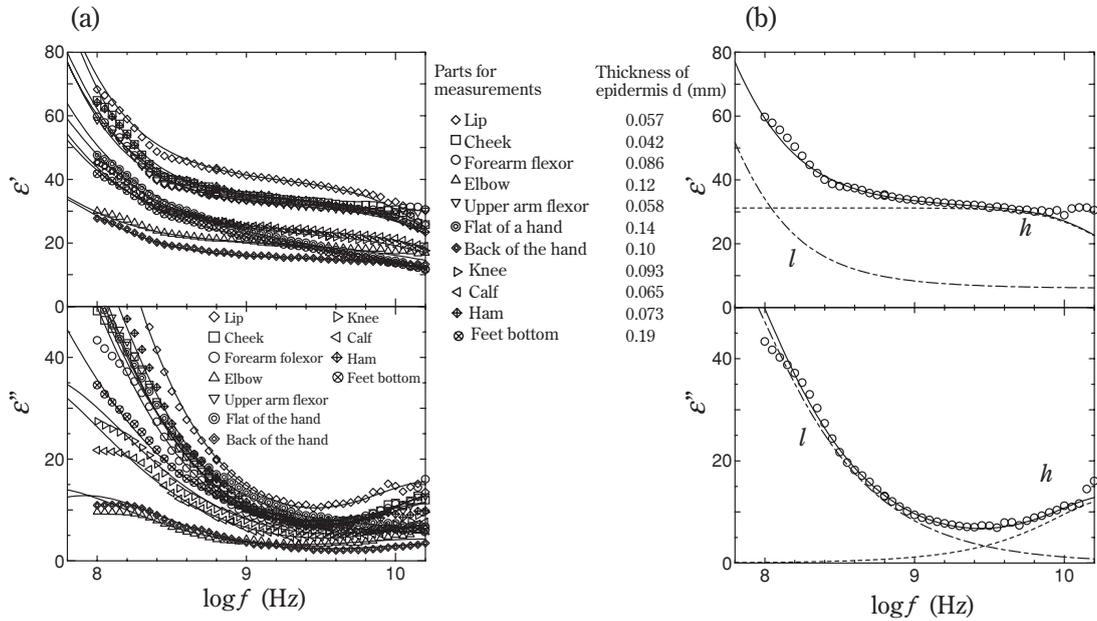


図5 (a): 径3.6 mmの電極で様々な部位の皮膚を測定したときの誘電分散および吸収曲線。また、図5(a) 右側に各部位の表皮の厚さを示す
 (b): 図5(b)の前腕屈折部における(6)式によるパラメータフィティングの結果
 Fig. 5 (a): Dielectric dispersion and absorption curves for human skin of various parts measured by electrode with the outer diameter with 3.6 mm. In addition thickness of epidermis in right of Fig. 5(a)
 (b): Result of parameter fitting by eq. (6) for the Forearm flexor of Fig. 5(a)

厚 $d^{21)}$ と $\Delta\epsilon_h$ 、 C_f の関係を示す。黒色のプロットは径が2.2 mmの電極を用いた結果、灰色のプロットは径が3.6 mmの電極を用いた結果を示す。表皮の厚さが薄い部位ほど $\Delta\epsilon_h$ 、 C_f が大きいことが分かる。これは表皮が薄い部位ほど、より水分の多い真皮までを測定する割合が増したためだと考えられる。また、電極の径が大きいくほど観測される $\Delta\epsilon_h$ 、 C_f の値が大きくなった。電場の浸透深さは電極の径と共に増加することが分かったので、径が大きな電極では水分を多く含む真皮を測定する割合が増したためと考えられる。水-テフロン系の実験から得られた電場の浸透深さを考慮すると、測定では表皮と真皮の一部までの自由水量を計測していることになる。ここで、水-テフロン系の実験において電極とテフロン間の距離 l を変化させて測定することは、皮膚測定において表皮の厚さ d が異なる部位を測定することと同等となる。そこで、 ϵ_s と l の関係式である(4)式を各電極で観測した $\Delta\epsilon_h$ と d に適用することにし、

(8) 式のように表した。

$$\Delta\epsilon_h = \Delta\epsilon_d + (\Delta\epsilon_e - \Delta\epsilon_d) \left(1 - \exp\left(-\frac{d}{l_0}\right) \right) \quad (8)$$

ここで、 $\Delta\epsilon_e$ は表皮の緩和強度、 $\Delta\epsilon_d$ は真皮の緩和強度、 $\Delta\epsilon_h$ は実験で得られた h 過程の緩和強度である。図6(a)を片対数表示させたものを図6(b)に示す。図6(b)には頬部、前腕屈側部、手掌部、足裏部で得られた値をプロットした。プロットが直線で表せることから、 d に対する $\Delta\epsilon_h$ を(8)式で表すことが妥当であることを示している。(8)式をもとに最小自乗法によって決定した図6(b)の直線の傾きから、 l_0 (皮膚) を決定した。表1に各電極で得られた l_0 (皮膚) の値を示した。径の大きさの増加と共に l_0 (皮膚) も増加していくことが分かった。水-テフロン系の実験から得られた l_0 (水-テフロン) と皮膚測定から得られた l_0 (皮膚) の値を比較すると、 l_0 (皮膚) の方が小さな値を示した。水-テフロン系の実験では、上層に大きい誘電率の水、下層に小さい誘電率の

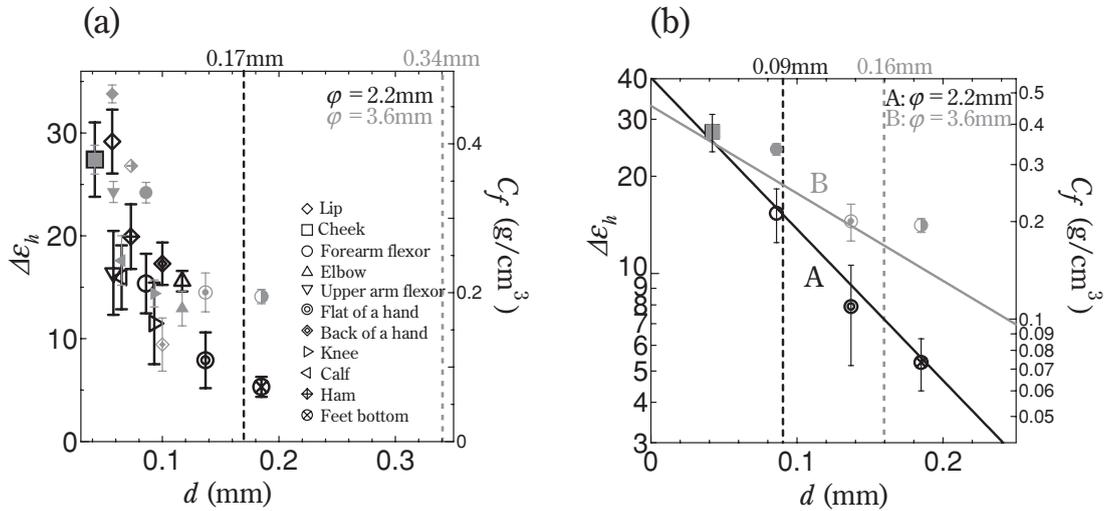


図6 (a): 径2.2 (黒色)、3.6 mm (灰色) の電極で様々な部位の皮膚を測定したときの h 緩和の緩和強度 $\Delta\epsilon_h$ と表皮の厚さ d の関係
 (b): 図6(a) を片対数表示し、代表的なプロットのみを示した。直線は (8) 式によるパラメータフィッティングの結果を示す
 Fig. 6 (a): Relationship between thickness of epidermis and the relaxation strength of free water measured by electrodes with the outer diameter, 2.2 (black) and 3.6 mm (gray)
 (b): Fig. 6 (a) with a single logarithm and showed only a representative plot. A straight line shows a result of parameter fitting by eq. (8)

テフロンを用いた二層誘電体モデルで測定を行ったのに対し、皮膚は上層に小さい誘電率の表皮、下層に大きい誘電率の真皮の層構造を有し、さらに表皮は何層もの層構造から成り立っているため、電場分布が異なり、浸透深さが小さくなったと考えられる。しかし、各電極による相対的な変化は同じ挙動をとっている様に見える。これを利用し、径が1.2、6.0 mm の電極の l_0 (皮膚) を決定したところ、それぞれ0.08、0.31 mm であることが分かった。今後、より皮膚に近い層モデルで同様な実験を行い、電極特性を調べていくことは興味深い。

ここでは、皮膚測定から得られた l_0 (皮膚) を用いて解析を行うことにする。(8) 式に図6(b) の直線上の任意の l と実験から得られた $\Delta\epsilon_h$ を代入することにより、平均の $\Delta\epsilon_e = 6.82$ 、 $\Delta\epsilon_d = 27.5$ が求まり、(7) 式から表皮に含まれる平均の自由水量 $C_{fe} = 0.094$ (g/cm^3) と真皮に含まれる平均の自由水量 $C_{fd} = 0.38$ (g/cm^3) が得られた。平均の $\Delta\epsilon_e = 6.82$ 、 $C_{fe} = 0.094$ の値と、径が2.2 mm

の電極で足裏部を測定したときの $\Delta\epsilon_h = 5.31$ 、 $C_f = 0.074$ (g/cm^3) を比較すると $\Delta\epsilon_h$ 、 C_f の値の方が小さい。これは、径が2.2 mm の電極で測定した足裏部では、表皮のみの緩和強度、自由水量を観測していることを意味する。また、径が2.2 mm の電極で足裏よりも表皮厚 d が大きい部位の測定を行った場合に、表皮のみを観測していることになると考えられる。

3. 温湯に浸漬した手指部の誘電緩和測定

38℃の温湯に右手第二指を35分間浸漬した後、誘電緩和測定して得られた緩和強度、自由水量の経時変化を図7に示す。自由水量は、(7) 式を用いて求めた。電極の径が大きい方が自由水量が大きいことが分かる。また温湯に浸漬したことにより、電極の径に関わらず自由水量が増加し、その後45分にわたり自由水量は時間と共に減少していった。この減少は、浸漬によって皮膚組織中で増加した水がその後体内組織に拡散したり、表皮から体外に蒸散していったためと考えられる。45分

経過したときの皮膚内の自由水量は、何も処理をしていない皮膚内の自由水量の値に近づく傾向がみられた。さらに浸漬前よりも水分量の減少が見られることもあるのは、皮脂量の低下による乾燥と考えられ、同様の傾向は林等に報告されている¹⁴⁾。

水—テフロン系で求めた l_0 (水—テフロン) と皮膚測定から得られた l_0 (皮膚) が異なる値を示すことが前章でわかったが、この章の温湯に浸漬した手指部温湯実験については同じ測定対象物から求められた l_0 (皮膚) を用いて解析を行うことにする。ただし、前章の実験とこの章の実験では被験者は異なる。前章で求めた l_0 (皮膚) をこの章でも用いることの妥当性を調べるために、(8) 式に前章で求めた $\Delta\epsilon_e = 6.82$ 、 $\Delta\epsilon_d = 27.5$ とこの章の実験で得られた $\Delta\epsilon_h = 7.74$ (径が2.2 mm)、10.3 (径が3.6 mm) をそれぞれ代入すると、径2.2、3.6 mm の電極でそれぞれ $d = 0.28$ mm が得られた。文献値の d が 0.24 mm²¹⁾ であったことから、 l_0 (皮膚) を用いることの妥当性が確かめられた。皮膚の誘電測定を行うことで自由水量だけ

でなく、表皮厚の解釈も行うことができると期待される。

次に図7の径2.2 mm の電極で測定した浸漬処理前の皮膚の緩和強度 $\Delta\epsilon_h = 7.74$ に注目する。前章で得られた平均の表皮の緩和強度 $\Delta\epsilon_e = 6.82$ を考慮すると、径2.2 mm の電極で測定した処理前の第二指は、13%誤差を含みながらもほとんど表皮のみを測定していると考えられる。また文献値によると第二指の表皮厚 d は足裏よりも大きく 0.24 mm²¹⁾ であり、この程度の誤差範囲で表皮のみの値が得られていると解釈しても大きな間違いにはならないことが示唆される。したがって、処理前の第二指の真皮の緩和強度 $\Delta\epsilon_d$ 、自由水量 C_f は前章で求めた平均の $\Delta\epsilon_d = 27.5$ 、 $C_f = 0.38$ 程度であると考えられる。図7で温湯に35分間浸漬した後、径2.2 mm の電極で測定した $\Delta\epsilon_h$ 、 C_f は、温湯に浸漬したことによる表皮の $\Delta\epsilon_e$ 、 C_{fe} の変化を示していることになる。表皮の $\Delta\epsilon_e$ 、 C_{fe} は浸漬直後をピークに急激に減少している。これに伴って d 、 $\Delta\epsilon_d$ の値も同様に変化していると考えられる。 d 、 $\Delta\epsilon_d$ の値を定量的に求めるためにまず、(8) 式に浸漬した直後の径3.6、6.0 mm の電極で得られたそれぞれの $\Delta\epsilon_h$ 、径2.2 mm の電極で得られた浸漬した直後の表皮の $\Delta\epsilon_e$ 、 l_0 (皮膚) を代入し、次式に表す。

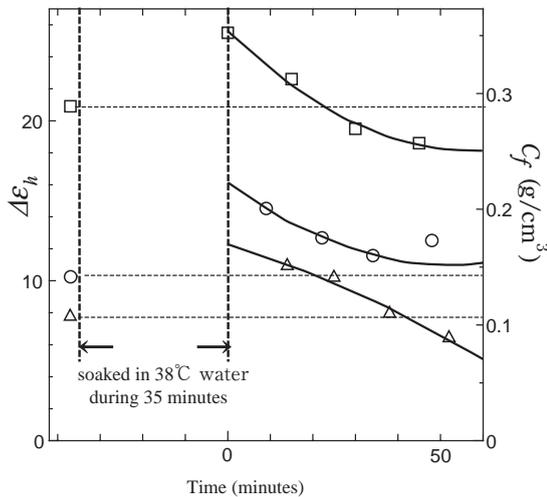


図7 径2.2、3.6、6.0 mm の電極を用いて温湯に浸漬した第二指の腹を誘電測定して得られた緩和強度、自由水量の経時変化

径2.2 mm (Δ)、径3.6 mm (\circ)、径6.0 mm (\square)
 Fig. 7 The time dependence of the relaxation strength of the forefinger soaked in hot water.
 The outer diameter: 2.2 mm (Δ), the outer diameter: 3.6 mm (\circ), the outer diameter: 6.0 mm (\square).

$$16.0 = \Delta\epsilon_d + (10.9 - \Delta\epsilon_e) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{d}{0.16}\right) \right\} \quad (9)$$

$$25.5 = \Delta\epsilon_d + (10.9 - \Delta\epsilon_e) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{d}{0.31}\right) \right\}$$

(9) 式の1行目の式が径3.6 mm、2行目の式が径6.0 mm の電極を用いた場合を示す。(9) 式の連立方程式を解いて $d = 0.41$ mm、 $\Delta\epsilon_d = 61.6$ が求められた。同様に、浸漬して15分、30分、45分後の d 、 $\Delta\epsilon_d$ としてそれぞれ $d = 0.47$ 、 0.45 、 0.37 mm、 $\Delta\epsilon_d = 62.3$ 、 53.6 、 45.0 が求められた。このように得られた浸漬後の $\Delta\epsilon_e$ 、 $\Delta\epsilon_d$ 、 d の値と処理前の値 $\Delta\epsilon_e = 6.82$ 、 $\Delta\epsilon_d = 27.5$ 、 $d = 0.24$ との比をとると、浸漬直後の $\Delta\epsilon_e$ 、 $\Delta\epsilon_d$ 、 d はそれぞれ1.8、2.2、1.7倍、15分後はそれぞれ1.6、2.3、2.0倍、30分後は1.4、2.0、1.9倍、45分後は1.1、1.6、1.5倍とな

った。また表皮と真皮について上記の $\Delta\epsilon_e$ と $\Delta\epsilon_d$ の比をとると、浸漬直後は1.2、15分後は1.4、30分後は1.4、45分後は1.5倍であった。

これらの結果から、上述の表皮だけではなく、浸漬により $\Delta\epsilon_d$ も増加して45分にわたり時間と共に減少していくことが分かる。また、浸漬により d は大きな値を示したが、水分量のように明確な時間依存性を示しておらず、あまり変化していないように見える。浸漬してふやけた状態というのは薄い表皮に留まらず、真皮部分の膨張も伴うことを示している。また、真皮の水分量の減少は表皮の水分量の減少に比べ遅いことが分かる。浸漬によって真皮で増加した水が周囲の組織に拡散して平衡に戻るよりも、表皮から体外への蒸散の方が速いためと考えられる。

皮膚の水分量や状態の評価のために誘電分光が有効であることを示した最近の報告に加え、本報告ではさらに皮膚の深さ方向の水和情報を新たに加えられる可能性を示した。皮膚の不均一構造を表現するより適切なモデルを今後検討していくことで、より正確な水和機構に関する知見が得られると考えられ、スポーツ医科学の分野でもさらに新たな適応が可能になると期待される。

謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な議論をして頂きました林義人博士に厚くお礼申し上げます。また、実験の一部をご協力頂いた東海大学物理学科の島田篤史氏、浅野恵美氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kaatze, M., Poulsen, B. J.: Concepts in Biochemical Pharmacology. B.B. Brodie, J. R. Gillette(ed.), Springer-Verlag, 1971, 117.
- 2) Tagami, H.: Medicine of skin. Thyuuoukouronshinsya, 1993, 2-32.
- 3) Umehara, T., Kuwabara, S., Mashimo, S., Yagihara, S.: Dielectric Study on Hydration of B-, A-, and Z-DNA. Biopolymers, 30, 649-656, 1990.

- 4) Shinyashiki, N., Asaka, N., Mashimo, S., Yagihara, S., Sasaki, N.: Microwave dielectric study on hydration of moist collagen. Biopolymers 29, 1185-1191, 1990.
- 5) Miura, N., Asaka, N., Shinyashiki, N., Mashimo, S.: Microwave dielectric study on bound water of globule proteins in aqueous solution. Biopolymers 34, 357-364, 1994.
- 6) Miura, N., Hayashi, Y., Shinyashiki, N., Mashimo, S.: Observation of unfreezable water in aqueous solution of globule protein by microwave dielectric measurement. Biopolymers 36, 9-16, 1995.
- 7) Miura, N., Hayashi, Y., Mashimo, S.: Hinge-bending deformation of enzyme observed by microwave dielectric measurement. Biopolymers 39, 183-187, 1996.
- 8) Hayashi, Y., Miura, N., Isobe, J., Shinyashiki, N., Yagihara, S.: Molecular dynamics of hinge-bending motion of IgG vanishing with hydrolysis by papain. Biophys. J. 79: 1023-1029, 2000.
- 9) 内藤 智: 日本香化粧品科学会誌, 22(1), 1-7, 1998.
- 10) Tagami, H., Ohi, M., Iwatsuki, K., Kanamaru, Y., Yamada, M., Ichijo, B.: J. Invest. Dermatol 75, 500-507, 1980.
- 11) Kaatze, U., Uhlendorf, V.: Z. Phys. Chem. Neue Folge, 126, 151-165, 1981.
- 12) 八木原晋, 新屋敷直木: 生体内水構造のダイナミクスと広帯域誘電分光, 生物物理, 44(1), 4-9, 2004.
- 13) Hashimoto, T., Yamamura, M., Yagihara, S., Shinyashiki, N., Kazami, M., Uchida, I., Sudou, C., Kouno, K., Arai, T., Osaki, S., Iwagaki, S.: J. sports medical science of tokai, 15, 67-72, 2003.
- 14) 林 義人, 原本泰雅, 新屋敷直木, 八木原晋, 栗田太作, 灰田宗孝, 塩谷壽美恵, 篠原幸人, 福崎 稔: 生体組織のマイクロ波誘電分光と含水量測定, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 13, 76-84, 2001.
- 15) Hayashi, Y., Miura, N., Shinyashiki, N., Yagihara, S.: Phys. Med. Biol. 50, 599-612, 2005.
- 16) 内藤 智: 東海大学大学院平成13年度博士論文, 1998.

- 17) Hashimoto, M., Goto, T., Shinyashiki, N., Yagihara, S., Hayashi, Y.: The Penetration Depth of Electric Field by The Open-Ended Coaxial Probe for Microwave Dielectric Spectroscopy. Proceedings of the School of Science, Tokai University, 41, 113-120, 2006.
- 18) Goto, T., Hashimoto, M., Shinyashiki, N., Yagihara, S., Hayashi, Y.: Dielectric study on distribution of water in human skin. Transactions of the Materials Research Society of Japan 31(3) , 771-774, 2006.
- 19) Cole, R. H.: J. Chem. Phys. 79, 1459-1469, 1975.
- 20) Cole, R. H.: J. Chem. Phys. 79, 1469-1474, 1975.
- 21) フレーリッヒ, 誘電体論, 株式会社吉岡書店, 1963, 6.
- 22) Cole, K. S., Cole, R. H.: J. Chem. Phys. 9, 341, 1941.
- 23) Yazawa, S.: Med. Research, 7, 1805-1834, 1933.

野球選手の手指血行障害改善に 対する試み

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)

恩田哲也 (体育学部スポーツ・レジャーマネジメント学科)

伊藤栄治 (体育学部スポーツ・レジャーマネジメント学科)

甲斐堯介 (株式会社ブロードミル)

Trial for Circulatory Disturbances in the Fingers of Baseball Players

Noriko NISHIMURA, Yutaka NAKAMURA, Tetsuya ONDA, Eiji ITOH
and Tohsuke KAI

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of artificial carbon dioxide-rich water for peripheral circulatory improvement on fingers of baseball players with circulatory disturbances catching hands with index fingers suffering from repetitive ball impact. A trial therapy of bathing in artificial carbon dioxide-rich water and fresh water for following the nine university baseball players having symptoms of circulatory disturbances graphic evaluation of thermograph and analysis of temperature on fixed point was done. Results suggest circulatory improvement of fingers: two players of the artificial carbon dioxide-rich water tended toward increased temperature on their catching hands, indicating improved blood flow in the index finger and center-point of the palm area.

The measurement conditions were not always ideal because there were some variance in this trial therapy, for example environmental temperatures, degrees of circulatory disturbances, problem progress of bathing and so on; nevertheless treatments for circulatory disturbances in the fingers under the condition of low temperature don't currently exist. The therapy of bathing in artificial carbon dioxide-rich water seems to be useful on the sports field.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 63-68, 2007)

I. はじめに

野球選手における上肢の血行障害には、捕球動作の繰り返しによるものや投球動作そのものもたらす指の過伸展ストレスによるものなどが散見されるが、低温環境下における手指血行障害につ

いては、その認知度は低く、障害に対する予防や治療について不明な点も多い¹⁻⁵⁾。反復する捕球ストレスにより、低温環境下では皮膚温が下がり、手指のひりひりとした痛みやしびれ感などが出現する。またこのような環境は手指の巧緻性に対しても大きな影響を及ぼすといわれており、スポーツにおける捕球動作などでは手指の作業能力その

ものがパフォーマンスにおけるスキルと直接関係すると推察される。

今回、捕球ストレスによって捕球側示指にしびれ感や疼痛などの手指血行障害を訴える野球選手に対し、手指の末梢循環を改善させる目的で人工炭酸泉による浸水浴を試み、浸水浴によって手指血行障害の症状に与える影響とその有用性について検討を行った。

II. 捕球ストレスによる手指血行障害

1. 発生要因

捕球ストレスによる手指血行障害は、捕球動作による手掌部への反復ストレスが原因となり、指の中手動脈から固有動脈にかけて血行が障害されるものである。野球選手の約25%の選手は手指血行障害による何らかの症状を呈するといわれており⁶⁾、低温環境下での競技に支障をきたす場合がある。

野球における基本動作としては、ボールを示指の付け根（MP 関節）付近で捕球することが要求され⁷⁾、示指をクラブ外挿入しないなどのクラブ装着条件や指導方法も手指血行障害の一因となる。さらにポジション特性が顕著であり、捕球頻度が他のポジションに比較して高い捕手や一塁手は、衝撃予防対策を考慮したミットを使用するが、反復ストレスによってやがて阻血症状を伴った手指血行障害へと症状が進行する場合がある。捕手、一塁手のほかにボールの取り扱いやすさを重視した薄手のクラブを好む遊撃手にも比較的多くみられる⁶⁾。

2. 症状

血行障害を呈している手指は冷感、しびれ感、疼痛、チアノーゼ、血色不良などがみられる²⁾。これらの症状は手指のもつ巧緻性に影響を及ぼし、捕球動作に支障をきたす場合がある。症状が進行すると指先の蒼白が顕著にみられるものや、指の浮腫による可動制限がみられることもある(図1)。

また反復する捕球ストレスによって痛めた手指の創傷、擦過傷などは治癒が遅れやすい。これには末梢血液循環の不良がその一因と考えられる。

III. 対象および方法

1. 対象

大学硬式野球部に所属し、低温環境下において、捕球側示指に手指血行障害と思われる症状を訴える選手9名を対象とした(表1)。

2. 評価

対象となる選手の手指血行障害における評価条件として、低温環境下における痛み、しびれ感、冷感、知覚障害などの阻血症状があり、サーモグラフィ画像による手指欠損パターンの存在(図2)、捕球時におけるパフォーマンス低下の自覚症状があり、明らかな外傷を除外したものとした。

またサーモグラフィによる皮膚温の定点測定を行い、捕球側示指の先端部分と掌側中央部の温度比率を算出した(図3)。掌側中央部には動脈アーチが存在し、末梢循環ながらも比較的皮膚温が安定していると考えられる。

3. 方法

捕球側示指に痛みやしびれ感などを訴える野球選手に対し、サーモグラフィ画像による評価および定点温度分析による手指の皮膚温評価を行った後、9名を無作為に人工炭酸泉浴群5名、真水浴群4名に分け、水温を40℃に設定した人工炭酸泉水および真水による浸水浴を行い、浸水浴前後で手指の循環状態の変化を比較した。1回の浸水浴

表1 手指血行障害調査の対象

Table 1 Subjects of our investigation about circulatory disturbances on fingers

身長	178.6±5.2 (cm)
体重	76.4±5.7 (kg)
年齢	20.1±0.8 (歳)
競技歴	12.4±1.8 (年)



図1 捕球側示指（左）の可動域制限
Fig. 1 Limitation of ROM in the catching hand (left) with index finger



図2 捕球側示指（左）の欠損パターン
Fig. 2 Defective pattern in the catching hand (left) with index finger



図3 サーモグラフィによる定点測定部位
Fig. 3 Fixed points on measurement with thermography

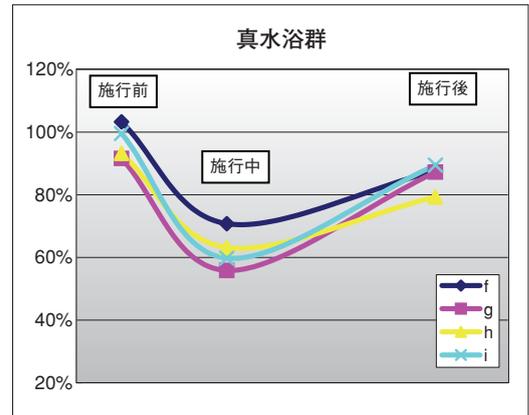
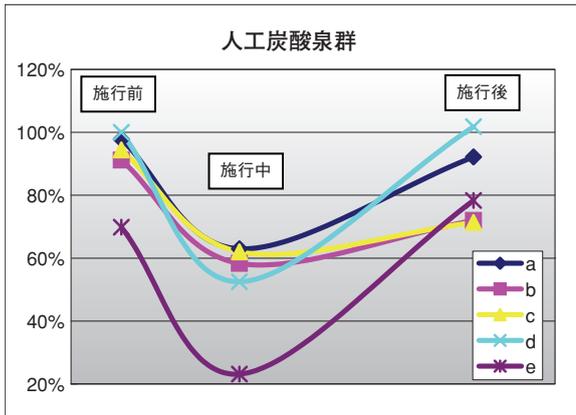


図4 捕球側示指と掌側中央部の温度比率
Fig. 4 Percentages of temperature on the catching hand with index finger and center point of the palmer

時間は15分とし、1日2回3ヶ月180回を目標とした。評価をもとにした9名の手指血行障害の程度は症状、手指欠損パターン、パフォーマンス低下の自覚症状ともに差がみられなかった。

サーモグラフィによる手指の皮膚温評価は、捕球側示指の先端部分と掌側中央部の定点温度を浸水浴施行前、浸水浴施行中、浸水浴施行後の3回にわたって測定し（表2）、温度比率を算出した。

4. 使用機材

赤外線サーモグラフィ Handy Thermo TVS-200（日本アビオニクス株式会社製）および人工炭酸泉製造装置スパークリンカーボ（三菱レイヨン・エンジニアリング（株）製）を使用した。

IV. 結 果

人工炭酸泉および真水による浸水浴は、冬期休み、遠征、帰省などにより実際は目標回数の60～70%程度であった。

人工炭酸泉浴を行った5名のうち2名は浸水浴施行後に掌側中央部と捕球側示指の温度比率がそれぞれ69.8%から78.3%、100.0%から101.8%と上昇がみられた。

他方、真水浴を行った4名は、浸水浴施行後のサーモグラフィによる定点測定において皮膚温の温度比率が施行前を上回る傾向はみられなかった（表3）。

V. 考 察

捕球側示指に阻血症状を訴える選手の手指血行障害の程度は個人差があるため、競技におけるパフォーマンスの巧緻性や、不便さはそれぞれの選手の主観的見解に委ねられるが、人工炭酸泉浴群には浸水浴後の定点温度測定から算出された温度比率が、浸水浴前を上回る例が5例中2例みられ、浸水浴実施中から浸水浴終了時にかけての温度曲線における回復度を示すグラフ傾斜が真水浴群に比べて大きい（図4）。真水浴群では温度比率が

表2 手指の皮膚温測定時の環境

Table 2 Environmental situation at measurement of finger temperature

	施行前 (2005/10)	施行中 (2005/12)	施行後 (2006/4)
天気	曇時々雨	晴れ	雨のち時々曇
最低気温	14.9℃	0.9℃	11.7℃
最高気温	23.2℃	9.7℃	17.3℃
背面板の温度	25.3±0.6℃	-2.6±1.2℃	16.5±0.3℃

表3 捕球側示指と掌側中央部の温度比率

Table 3 Percentages of temperature on the catching hand with index finger and center point of the palmar

		施行前 (2005/10)	施行中 (2005/12)	施行後 (2006/4)
C O 2 浴 群	a	97.8%	63.0%	92.2%
	b	91.2%	58.4%	72.0%
	c	94.4%	62.0%	71.3%
	d	100.0%	52.5%	101.8%
	e	69.8%	23.1%	78.3%
真 水 浴 群	f	103.3%	70.8%	87.6%
	g	91.6%	55.9%	87.2%
	h	93.2%	63.2%	79.3%
	i	99.6%	59.8%	89.5%

浸水浴前を上回る例がみられなかったことから、人工炭酸泉浴は浸水浴終了時での温度回復が大きく、手指の循環促進効果に影響を及ぼす可能性が示唆された。

人工炭酸泉浴は皮膚を介在して吸収することが可能である炭酸ガス (CO₂) を人工的に作り出し、入浴をすることによって本来代謝の最終産物である CO₂ を組織中で作為的に増大させ、化学受容体 (chemical receptor) を刺激して、血管の拡張と血流量を増大させることが可能である。炭酸泉浴によって付加的に加えられた CO₂ は肺を通してガス交換されるため、呼吸気中の CO₂ 濃度は変化するものの、血中 CO₂ 濃度の変化はみられないことが知られており、末梢血流障害をもつ患者への応用例があげられている⁸⁾。

血管の拡張と血流量の増加をもたらす物理療法としては、主に温熱療法が用いられるが、末端である手指を効率的に温める方法としては温浴が適していると考えられ、その中でも人工炭酸泉浴は真水浴よりもさらに血流増加をもたらすことが期待できるものである。このことは血行障害の症状である阻血性疼痛の軽減や血圧の減少、また疲労物質としての乳酸値の減少などが、手指血行障害を有する野球選手の症状を軽減させるのではないと思われる。

一方、皮膚温評価を行う上で環境温、手指血行障害の程度、浸水浴の進捗状況、ポジション、競技歴、喫煙歴などさまざまな影響因子が想定される。今回の測定においても測定条件を完全に整えることは困難であり、測定結果に少なからず影響したと考えられる。手指血行障害の多くは、選手の自覚的症状などから秋・冬などの低環境温時に多く自覚され、低温であればあるほどその症状が進行することが予想されるが、ポジション特性や競技歴、喫煙歴などの要因がもたらす手指血行障害への影響を無視することはできないため、今後さらに条件の統一を試みたいと考えている。

野球選手の捕球ストレスによる手指血行障害の試みとしては、その原因となる捕球ストレスを回避することであり、その他には疼痛緩和や血流促

進のための薬物療法、禁煙などの推奨にとどまるのみである。競技の不便さに対する有効な治療法が確立されていないのが現状であり、評価条件の違いに関わらず手指血行の回復傾向がみられた人工炭酸泉による浸水浴は、スポーツ現場においてその循環促進効果が期待できると考えられる。

VI. まとめ

- ① 捕球ストレスによって捕球側示指にしびれ感や疼痛などの手指血行障害を訴える野球選手に対し人工炭酸泉による浸水浴を試みたところ、浸水浴後に皮膚温評価において、温度比率が上昇した選手が2名みられた。
- ② 環境温、選手個人の手指血行障害の程度、浸水浴の進捗状況などに違いがみられるため、皮膚温評価を行う上での測定条件は必ずしも一致せず、さらに検討を要すると思われる。
- ③ 手指血行障害の予防・管理に関しては、薬物療法、禁煙など以外に比較的簡易に行える人工炭酸泉浴は、スポーツ現場で有用性が高いと思われる。

参考文献

- 1) Lowrey, C.W., Chadwick, R.O., Waltman E.N.: Digital vessel trauma from repetitive impact in baseball catchers. *J. Hand Surg.*1, 236-238, 1976.
- 2) Sugawara, M., Ogino, T., Minami, A., Seiichi, I.: Digital ischemia in baseball players. *Am. J. Sports. Med.* 14, 329-334, 1986.
- 3) 宮本俊和: スポーツ領域のサーモグラフィの応用. *Biomedical Thermology*, 21(2), 45-51, 2001.
- 4) Itoh, Y., Wakano, K., Takeda, T., Murakami, T.: Circulatory disturbances in the throwing hand of baseball pitchers. *Am. J. Sports. Med.* 15, 264-269, 1987.
- 5) 伊藤恵康, 久保井二郎, 鶴飼康二, 綾部敬生, 奥山訓子, 平野圭司: 投球による手および指の障害—その治療と予防—, *臨床スポーツ医学*18号2巻, 143-148, 2001.

- 6) 西村典子, 中村 豊, 恩田哲也, 伊藤栄治: 野球選手の手指血行障害の実態, 東海大学スポーツ医科学研究所雑誌, 18, 100-106, 2006.
- 7) 池田浩之: 野球選手の血行障害. 臨床スポーツ医学, 5号8巻, 891-896, 1988.
- 8) 鎚木 誠, 東 祐二, 下沖 晋, 松本哲郎, 藤元登四郎, 遠藤宏和, 森反俊幸, 辻 隆之: 高濃度人工炭酸泉の全身温浴による褥瘡治癒効果の検討, 人工炭酸泉研究会雑誌, 3(1), 15-19, 2000.

裸足での砂浜トレーニングが 足部に与える影響

吉田早織 (スポーツ医科学研究所研究員) 中村 豊 (スポーツ医科学研究所)

The Effect to the Foot by Training on Sand with a Bear Foot

Saori YOSHIDA and Yutaka NAKAMURA

Abstract

The purpose of this study is to examine the training effect to the foot by having three-week training period on sand with a bear foot. Footprints were taken before and after the training period. From footprints, the number of toes that was contacting to the ground and the development of medial arch were compared. 53 male college American football players who were not having injury to lower extremities participated in this study. The findings are as follows: 1) There was an increase of the number of toes contact to the ground after the training period. 2) There was a tendency of the development of the medial arch. 3) There was a larger improvement in left foot with both the number of toes contact to the ground and the development of medial arch.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 69-74, 2007)

I. はじめに

裸足生活の減少、履物の変化、利便性の高い生活など、様々な要因から現代人の足部機能は低下の一途を辿っている¹⁾。それに伴い、扁平足や外反母趾などの障害の増加は著しく、その傾向は低年齢層にも広がりを見せている。これらの障害は後天的な要素が大きいと言われ、それを裏付けるように「はだし教育」を実践している幼稚園・保育園・小学校と、実践していない同年齢の子供では、土踏まずの形成、ジャンプやバランスなどの運動能力の発達、反射機能の発達による転倒の減少などに差があるという事例はいくつも報告されている²⁻³⁾。

足部機能の低下傾向は例外なくアスリートにも見られ、慢性障害が足部のアライメントに起因しているケースも多い。傷害予防だけではなくパフォーマンス向上の観点からも、アスリートにとって足部機能の強化は重要、かつ不可欠な要素であると考えられる。足部強化のエクササイズとして紹介される代表的なエクササイズは、タオルを足趾で手繰り寄せるタオルギャザーやビー玉を足趾で掴むピックアップなどであるが、これらのエクササイズだけでは運動時に必要な足部機能の獲得は難しいと思われる。

アスリートにとってより効果的な足部機能トレーニングとして、裸足での砂浜トレーニングが考えられ、実際に砂浜トレーニングは多くのアスリートに取り入れられている。しかし、その効果は

明確には検証されておらず、また砂浜トレーニング効果に関する報告は渉猟し得た範囲では見られないため、砂浜トレーニングは経験的に“良い”とされているが、どのような効果があるのかを検証することを目的として研究を実施し、若干の知見を得たので述べることとする。

Ⅱ. 対象と方法

1. 対象

被験者は東海大学湘南校舎体育会アメリカンフットボール部男子部員53名で、下肢に傷害のない選手を選出した。選手には事前に研究の目的と方法を十分に説明し、同意を得た上で測定を行った。

2. 方法

3週間のトレーニング期間内に計6回の砂浜トレーニングを実施し、その前後でフットプリントを採取した。フットプリントから読み取れる項目の中から、接地している足趾数と土踏まずの形成度合いに着目し、トレーニング効果を足底マップの変化から検証した。

1) 測定方法

3週間のトレーニング期間の前後にD-Works社製の足裏バランス測定装置FootLookを用い、

足底を専用スキャナーでスキャンしてフットプリントを採取した(図1)。そのデータを専用ソフトで解析し、接地足趾数と土踏まずの形成度合いの変化の比較を行った。

(1) 接地足趾数

「白→ピンク→赤→オレンジ→黄色→黄緑→水色→青」とサーモグラフィーのようにカラー表示されている圧力分布図から、容易に識別しやすい“赤”を基準として、それ以上の色がついている足趾を接地していると判断し、接地足趾数を数えた(図2)。足趾が接地している総数と、どの足趾の設置率が高いかを中心にトレーニング前後で比較を行った。足の裏全体で体を支えている理想的なフットプリントでは、全10趾が接地しており、荷重バランスや足底の接地比率を考えると、より多くの足趾が接地しているほうが良いと判断した。

(2) 土踏まずの形成度合い

内足線と外足線の交点に向けて各趾の腹部中心点から直線を入れ、土踏まずがどの趾の線まで来ているかを測定した。土踏まずが母趾からの線上に達している場合はA、第2趾からの線上に達している場合はB、以降、C、D、Eとレポートに表記された(図3)。通常、第2趾から伸びている線“B”を境に土踏まずがあるかないかを判断するが、D、Eまで土踏まずがある場合はハイアーチと判断されるため、B、Cが理想の土踏まずの形成度とした(図4)²⁾。



図1 フットルック：足底用スキャナーと専用ソフト入りパソコン
Fig. 1 FootLook: The Scanner for Taking Footprints and PC for Analyzing Data

トレーニング前後のフットプリントの比較で、AからB、BからCのように、より外側に土踏ますがあると評価された場合、内側縦アーチの形成において改善傾向が見られるとした。また、土踏ますの形成度をAからEで分別した後に、Aは1点、Bは2点、以降3、4、5点とし、平均値をもとめて全体の傾向を比較した。

2) トレーニング方法

週2回で3週間、計6回のトレーニングセッションを設けた。トレーニングプログラムは表1に記しているが、砂浜で足趾の運動や歩行などのウォームアップを行い、その後、距離やスピードを変更しながらの直線ダッシュを行った。フィードバックを目的として、砂浜の側にあるアスファル

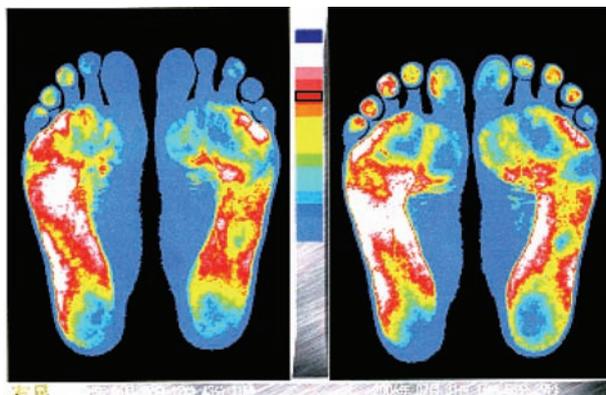


図2 接地足趾数改善例 トレーニング前(左)、トレーニング後(右)
Fig. 2 The Sample Picture of Improved Footprint in Increasing the Number of Toes Contact to the Ground; Pre-Training (Left), Post-Training (Right)

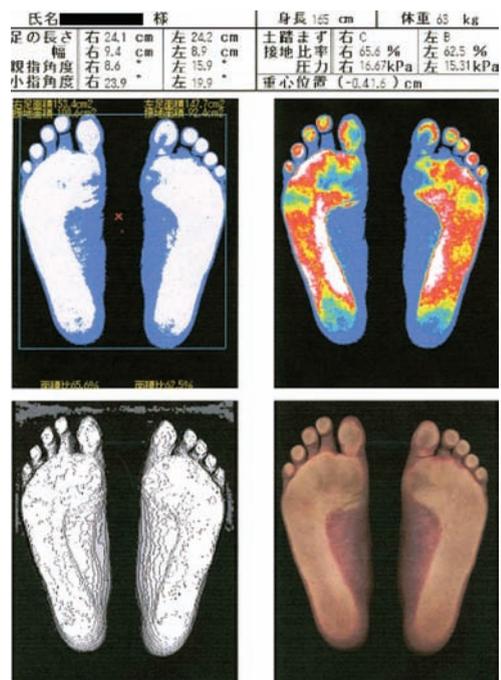


図3 フットルックによるレポートの例
Fig. 3 The Sample of Summary Sheet from the FootLook

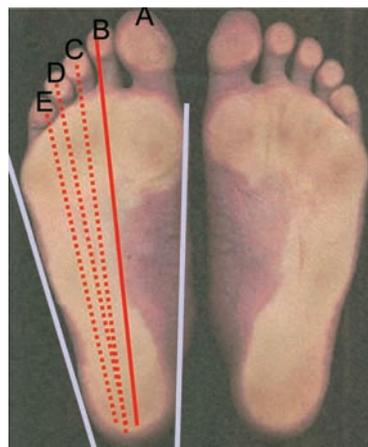


図4 土踏ます形成度合いの評価基準
Fig. 4 The Datum Line for Evaluation of the Medial Arch Development

トの遊歩道でもダッシュを行い、最後に再び砂浜へ戻り反復横跳びを行った。アスファルトでのトレーニングのみシューズ着用とし、それ以外は裸足でトレーニングを行った。1回のトレーニングセッションはウォームアップも含め60分程度であった。

Ⅲ. 結 果

1. 接地足趾数について

図5は接地足趾数の変化 (Post-Pre) を示しているが、右足では接地足趾の総数が増加し、いわゆる“浮き指”症状の改善が見られたものが全

表1 トレーニングプログラム

Table 1 Training Program

	内容	回数	サーフェス
ウォームアップ	足趾でグー・チョキ・パー	20回	砂浜
	ウォーキング	3分	砂浜
トレーニング	40ヤード Jog	10本	波打ち際
	20ヤード 80%	10本	砂浜
	20ヤード 100%	10本	砂浜
	5ヤード 100%	10本×2	砂浜
	5ヤード 100% ※	6本	アスファルト
	20ヤード 100% ※	6本	アスファルト
	反復横跳び	20秒×3	砂浜

※アスファルトでのトレーニングのみシューズ着用

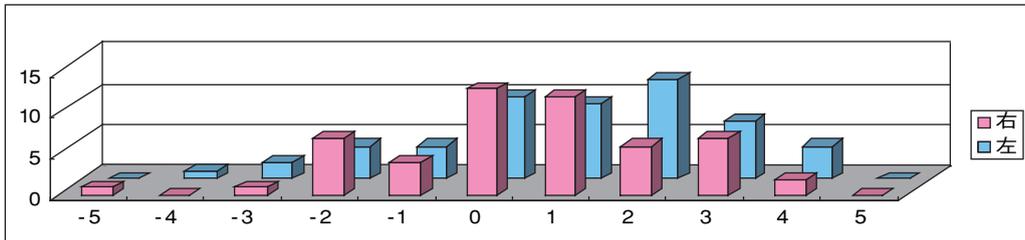


図5 砂浜トレーニング前後の接地足趾数における変化

Fig. 5 Changes in Number of Toes Contact to the Ground Before and After the Training on Sand

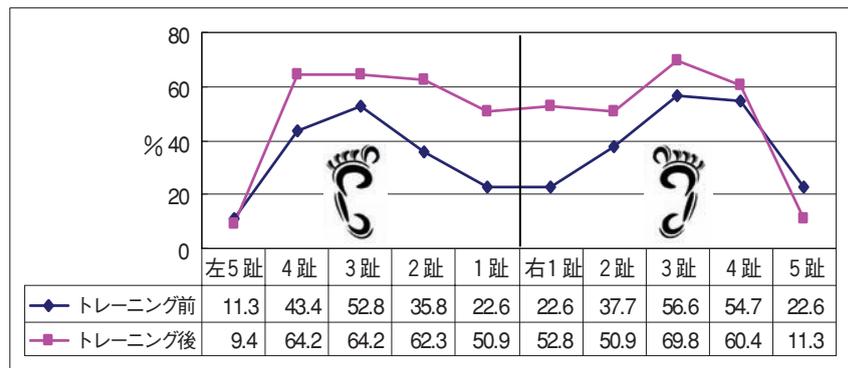


図6 各足趾の接地度の変化

Fig. 6 Changes in Ratio of Each Toe Contacts to the Ground Before and After the Training on Sand

53名中27名 (51.0%)、変化なしが13名 (24.5%)、減少したものが13名 (24.5%) であった。一方左足では、32名 (60.4%) が増加し、10名 (18.9%) が変化なし、11名 (20.8%) が減少したという結果であった。

更に図6から各足趾の接地率の変化を見てみると、右の母趾は12名 (22.6%) から28名 (52.8%)、第2趾は20名 (37.7%) から27名 (50.9%)、第3趾は30名 (56.6%) から37名 (69.8%)、第4趾は29名 (54.7%) から32名 (60.4%)、第5趾は12名 (22.6%) から6名 (11.3%) となった。左足では母趾は12名 (22.6%) から27名 (50.9%)、第2趾は19名 (35.8%) から33名 (62.3%)、第3趾は28名 (52.8%) から34名 (64.2%)、第4趾は23名 (43.4%) から34名 (64.2%)、第5趾は6名 (11.3%) から5名 (9.4%) となった。

2. 土踏まずの形成度合いについて

全53名中、右足は7名、左足は11名において土踏まずの形成改善が示唆された。反対にアーチの低下傾向を示す選手も左右ともに2名ずつ見られた。表2から、理想とされる2趾、3趾上に土踏まずがある選手は、右は48名から50名、左は51名から49名となり、大きな変化は見られなかった(表2)。

全体の平均値では、右が2.70から2.79 (+0.09) に、左が2.45から2.62 (+0.17) に値の変化が見られた。

IV. 考 察

多くのアスリートに支持されていながら科学的根拠の乏しい砂浜トレーニングは、今回の結果から足部機能の改善において有効であると考えられた。

トレーニング期前後のフットプリントから接地足趾数と土踏まずの発達度合いを調査し、どちらも改善傾向が示唆された。ただし、今回使用したFootLookのスキナーのサイズが小さかったため、体格の大きな選手にとってはスキャン中の立位は自然体ではなく、良好な再現性が得られない可能性もある。

接地足趾数では、トレーニング実施前に10趾すべてが接地していた選手は1名のみであったが、事後調査では3名に増えていた。また、両足の接地足趾数の総数では、33名 (62.3%) に改善傾向が見られ、9名 (17.0%) が変化なし、減少していたのは11名 (20.8%) であった。左右別で見ても、総数で見ても、半数以上の選手に接地足趾数の改善が見られた。

また各趾の接地率は、トレーニング前では左右ともに第2～4趾に比べ母趾や小趾の接地度が低かったが、トレーニング後では両足とも第5趾以外の4趾の接地率が高まっていた。特に、母趾の接地率の改善が顕著に現れ、右は12名 (22.6%) から28名 (52.8%)、左は12名 (22.6%) から27名 (50.9%) に増加した。本研究では土踏まずの形成度合いも発達傾向が示唆され、母趾の接地足趾数の改善は土踏まずの強化に起因し、一方小趾に

表2 土踏まずの形成度合いの変化
Table 2 Changes in Development of Medial Arch

	左					右				
	4趾 D	3趾 C	2趾 B	1趾 A	平均	1趾 A	2趾 B	3趾 C	4趾 D	平均
トレーニング前	0	26	25	2	2.45	3	12	36	2	2.70
トレーニング後	3	28	21	1	2.62	1	11	39	2	2.79
変化	3	2	-4	-1	+0.17	-2	-1	3	0	+0.09

変化が見られなかったのは、母趾よりも小趾のほうに運動時に使われにくいことや、外側アーチが内側アーチよりも元来低いため、影響が現れにくかったと考えられる。

本研究では接地足趾数と土踏まずの形成度合いの両方で、右足よりも左足により高い改善傾向が見られた。足は手ほど“利き足”というものは存在しないといわれているが、今回の測定ではトレーニング前の接地足趾数や土踏まずの形成度合いから、もともと右足の方が左足より発達していると思われる選手が多く見られた。砂浜では床半力が少なく、選手は地面を強く蹴ったり、踏ん張ったりすることができず、不安定な砂浜を足趾も使ってしっかりと捉えながら大腿の引き上げを強調することで走動作を行っていたと考えられる。その結果、前足部の使用が増え各趾もより刺激され、足趾の神経系からの運動刺激に対する反応の改善や足趾力強化が起こったと考えられる。足趾の強化が結果的に土踏まずの形成にもつながり、足底マップの変化を引き起こしたと考えられる。また、裸足でトレーニングを行ったため、日頃はシューズの着用であまり使用されていなかった足底のメカノレセプターも刺激されたと考えられる⁴⁾。日頃十分な刺激を受けておらずより改善の余地があったと思われる左足に、改善傾向が強く現れる結果になったと考えられる。

本研究では1時間程度のトレーニングを計6回しか実施できず、トレーニング効果を得るために十分とは言えないのではないかと懸念もあったが、結果からは砂浜トレーニングは足部機能の改善に適していることが示唆され、足部機能の改善によるパフォーマンス向上や、足部機能の低下やアライメント異常などに起因する障害の予防にも有効であると考えられた。この効果は短期間で得たものであり、短期間で失われてしまうと考えるため、今後も継続的に砂浜トレーニングを実施し、長期的な効果を検証していきたい。同時に、砂浜まで行きトレーニングを行うことは時間的な制約があるので、もう少し身近で代用できるトレーニング方法や用具の開発なども望まれる。

V. まとめ

- 1) 裸足での砂浜トレーニングが足部に与える影響をトレーニング期前後のフットプリントから検証した。
- 2) 接地足趾数は左右ともに半数以上の選手に増加傾向が見られ、特に母趾の接地率はトレーニング前後で2割から5割に増加した。
- 3) 土踏まずの発達度合についても、発達傾向は示唆された。
- 4) 接地足趾数と土踏まずの発達度合い、どちらも左足により高いトレーニング効果が示唆された。

参考文献

- 1) 近藤四郎：ひ弱になる日本人の足, 第1刷, 草思社, 1993.
- 2) 野田雄二：足の裏からみたからだ, 月刊スポーツメディスン, No. 82, 6-10, 2006.
- 3) 山崎信也, 川島佳千子, 清水敦彦：裸足教育による幼児の運動能力の発達, 足利短期大学研究紀要, 18(1), 19-25, 1998.
- 4) 河合辰夫, 長谷川陽三, 井原秀俊：鼻緒式シューズがバランス能力に及ぼす効果, 日本整形外科学会雑誌, 18(1), 38-45, 1998.

柔道選手の半月板損傷に対する 前十字靭帯損傷の影響について

宮崎誠司 (体育学部武道学科) 中村 豊 (スポーツ医科学研究所)

佐藤宣践 (体育学部武道学科) 橋本敏明 (体育学部武道学科) 白瀬英春 (体育学部武道学科)

山下泰裕 (体育学部武道学科) 中西英敏 (体育学部武道学科) 上水研一郎 (体育学部武道学科)

The Influences of Anterior Cruciate Ligament Injury for Meniscal Injuries of Judo Athletes

Seiji MIYAZAKI, Yutaka NAKAMURA, Nobuyuki SATOU, Toshiaki HASHIMOTO,
Hideharu SHIRASE, Yasuhiro YAMASHITA, Hidetoshi NAKANISHI and Kenichirou UEMIZU

Abstract

The influence of Anterior Cruciate Ligament (ACL) for meniscal injury in 486 judo athletes was examined. Meniscal injury in judo athletes is 5.2%.

ACL insufficiency is made medial meniscal injury easy to cause, however, significant differences between medial and lateral meniscal injury is not seen because ACL insufficiency was not presented. The probability of meniscal injury is high because there is ACL insufficiency (13.8%) in female. On the other hand, in male the presence of ACL insufficiency doesn't influence meniscal injury.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.19, 75-78, 2007)

I. はじめに

前十字靭帯 (ACL) 損傷による合併損傷に半月板損傷がある。半月板損傷を防ぐために再建術を薦める意見もある¹⁾が、実際のところ詳細は明確でない。一方、柔道選手においては ACL 損傷の有無にかかわらず、半月板断裂による手術症例も少なくない。今回の調査で大学柔道選手の半月板損傷に対する ACL 損傷の影響を検討した結果を

報告する。

II. 対象および方法

調査開始時に整形外科的検診を行い、その後 1 年以上の経過観察が可能であった柔道選手 486 人 (男性 403 人、女性 83 人)、961 膝 (男性 810 膝、女性 151 膝) について検討した。なお、入学前に ACL 再建を行った 15 人 15 膝 (すべて片膝

のみ)は省いた。調査開始時の平均年齢は $18.5 \pm \text{SD } 0.6$ 歳 (18-19)、平均身長 $171.7 \pm \text{SD } 7.9$ cm (149-193) 平均体重 $82.4 \pm \text{SD } 20.1$ kg、(48-175)、調査期間は $3.5 \pm \text{SD } 1.0$ 年 (1-8)であった。

III. 方 法

調査開始時に Anterior Drawer Sign (ADS: 前方引き出しテスト)、Lachman test、pivot shift test、および KT-1000 Knee-arthrometer により前十字靭帯の動揺性の有無を確かめた。ADS、lachman test、pivot shift test すべてが陽性で、加えて KT1000 の数値が片側単独で 5 mm 以上、健康側差で 3 mm 以上のものを前十字靭帯不全膝とした。

半月板損傷の有無は、McMurray テスト陽性で MRI 上断裂が確認でき、手術を行ったものを陽性とした。

IV. 結 果

半月板損傷は全961膝中50膝 (5.2%)、内側半月板損傷29膝、外側21膝であった。調査開始時に前十字靭帯不全膝と診断されたものは73膝、されなかったものは888膝であった。ACL 損傷のあった73膝のうち半月板損傷があったものは8膝、なかったものは65膝であった。半月板損傷のあった8膝のうち ACL 不全に伴う不安定感や捻挫を繰り返したものは1例であった。この症例は調査期間以降に再建術を行った。ACL 不全群で半月板損傷のない65膝のうち ACL 不安定性の自覚を繰り返したものの、捻挫の再受傷が存在したものは13膝、これらの症状がなかったものは52膝であった。調査開始時に前十字靭帯不全膝でないと診断された888膝のうち ACL 損傷を調査期間に受傷したものは50膝で、そのうち半月板損傷のないのは41膝、ACL 損傷も半月板損傷もあるものは9膝であった。この9膝のうち、半月板損傷が先で半月板手術のときに ACL は損傷なしと確認されたもの6

膝、ACL 損傷後に半月板損傷を起こしたものの3膝であった。

これらの結果をまとめると、ACL 損傷がなくて半月板損傷を起こしたもの(非 ACL 群)は844膝中39膝 (4.6%)であった。そのうち内側半月板損傷は17膝、外側半月板損傷は21膝であった。ACL 損傷があり半月板損傷を起こしたものは (ACL 群) 117膝中11膝 (9.4%)であり非 ACL 群と比べては有意に差を認めた ($P < 0.05$)。また ACL 群はすべて内側半月板損傷であった。男女に分けると男子では非 ACL 群713膝中34膝 (4.8%) ACL 群は88膝中7膝 (7.8%)であった。一方、女子では非 ACL 群では131膝中5膝 (3.8%) ACL 群は29膝中4膝 (13.8%)であった。ACL 群、非 ACL 群での男女差と男子での ACL 群と非 ACL 群での有意差は認めなかったが、女子での ACL 群、非 ACL 群間に優位な差を認めた ($P < 0.05$) (表1)。

今回の調査の中で ACL 再建術を行った例は、入学前・後を合わせて32例認められ、そのうち術後に半月板損傷をきたしたものは2例 (6.3%)で、ACL 群、非 ACL 群と比べてもともに有意差を認めなかった。

V. 考 察

柔道選手の ACL 損傷は比較的多い膝関節外傷の一つで半月板損傷を伴うか、2次的に半月板損傷を受傷することも多い。今回の結果では、頻度的には5.2%の割合で受傷しており、単独損傷としても4.6%と比較的多い数字であった。ACL 損傷に伴う半月板損傷としても9.4%と有意に差を認めたことより、ACL 不全膝は半月板損傷を起こしやすいといえる。過去の報告では新鮮例では外側半月板損傷を、陳旧例では内側半月板損傷を起こしやすいという報告がある^{2,3)}。今回の結果では ACL 不全の場合ほとんど内側半月板損傷を伴っていたが、ACL 不全がない場合は内側・外側半月板の頻度の差を認めないことから、陳旧性

前十字靭帯不全膝の内側半月板に対する負荷が大きいことがわかる。

全体では半月板の受傷頻度が ACL 損傷の有無に差は認められないが、女子に限定した場合、ACL 損傷膝の半月板損傷の割合は有意に高かった。また半月板損傷に男女差はないことから、女子の ACL 不全膝での問題が重要であることがわかる。つまり、女子では不安定性をなくし半月板損傷の合併を防ぐため再建術が望まれる。男子では受傷頻度に ACL 損傷の有無に差は認められないため、半月板損傷防止を目的とするわけではな

く、不安定性が自覚されれば再建を考えるべきといえるかもしれない。現在の ACL 再建術は有効なため再建術を躊躇することはないと思われる⁴⁾。

また ACL 術後の半月板損傷の頻度は、ACL 群・非 ACL 群ともに差はないが、術後にもありうるということがわかった。実際には数が少ないので推測に過ぎないが、不安定性の残存に関係しているかもしれない。

表1 結果のまとめ
Table 1 Summary of result

調査開始前 ACL 不全	調査期間に おける ACL 損傷	調査期間に おける 半月板損傷		ACL 群症例数 〔 〕内は 女性の数	非 ACL 群症例数 〔 〕内は 女性の数	半月板損傷に おける内側、 外側の頻度
(-)	(-)	(+)	非 ACL 群		33 [4]	内側10、外側19
(-)	(+)	(+) 半月板損傷が ACL 損傷より先	非 ACL 群		6 [1]	内側7、外側2
(-)	(+)	(+) 半月板損傷は ACL 損傷の後	ACL 群	3 [3]		内側2
(-)	(+)	(-)	ACL 群	41 [8]		
(-)	(-)	(-)	非 ACL 群		805 [126]	
(+)	(+)	(+)	ACL 群	1 [1]		内側2
(+)	(-)	(+)	ACL 群	7 [0]		内側6
(+)	(+)	(-)	ACL 群	13 [4]		
(+)	(-)	(-)	非 ACL 群		52 [13]	

(ACL : Anterior Cruciate Ligament 前十字靭帯)

左から調査開始前の ACL 不全は (+) が73膝、(-) が888膝になる。

調査期間における ACL 損傷は (+) が64膝、(-) が897膝になる。

調査期間における半月板損傷は (+) が50膝、(-) が911膝になる。

ACL 群での半月板損傷の割合は117膝中11膝 (9.4%)、非 ACL 群では844膝中39膝 (4.6%) である。

VI. まとめ

大学柔道選手の半月板損傷に対する前十字靭帯 (ACL) 損傷の影響を検討した。ACL 損傷があると内側半月板損傷を起こしやすく、ACL 損傷がない場合は内側外側の差は認められなかった。女子では ACL 損傷があるほうが半月板損傷の頻度が有意に高いが、男子では ACL 損傷の有無に半月板損傷の頻度の差は認められなかった。

参考文献

- 1) Bellabarba C., Bush-Joseph, C.A., Bach, B.R.Jr.: Patterns of meniscal injury in the anterior cruciate-

deficient knee: a review of the literature. *Am. J. Orthop.* 26(1), 18-23, 1997.

- 2) 黒田良祐, 吉矢晋一, 松井允三, 柴沼 均, 松本彰生, 松下雄彦, 黒坂昌弘: 合併する関節内病変から見た膝前十字靭帯損傷のメカニズム, *臨床スポーツ医学*, 19(9), 1021-25, 2002.
- 3) Irvine G.B., Glasgow, M.M.: The natural history of the meniscus in anterior cruciate insufficiency. *Arthroscopic analysis: J. Bone Joint Surg. Br.* 74(3), 403-5, 1992.
- 4) 宮崎誠司, 佐藤宣踐, 橋本敏明, 白瀬英春, 中西英敏, 上水研一朗, 恩田哲也, 中村 豊, 有賀誠司: 骨付き膝蓋腱を用いて行った柔道選手に対する前十字靭帯再建術の中・短期成績, *体育学部紀要* (印刷中), 2006.

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

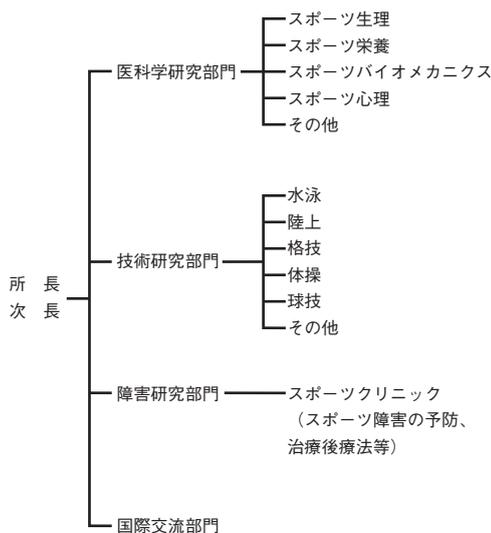
昭和62年10月1日

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4月1日 改訂

第1章 総則

(定義)

第1条 この規程は、東海大学研究所規程第3条に基づき、東海大学（以下「本学」という。）付置研究所である、スポーツ医科学研究所（以下「本研究so」という。）の適正な運営と組織について定めるものとする。

(目的)

第2条 本研究所は、本学の総合大学としての特性を活かし、研究活動は広く学際的な視点からスポーツの実践と科学を融合させることを重要な基盤とし、スポーツにおける心身の効果的な育成と競技力向上のための基礎的・応用的研究及び、スポーツ障害の予防・治療技術の開発等、実践的研究を中心に推進する。また、その研究による成果は、単に本学の発展のみに留まらず、広く社会に還元し、人類の福祉と繁栄に貢献していくことを目的とする。

(事業)

第3条 本研究所は、前条の目的を達成するために次の事業を行う。

- (1)調査及び研究
- (2)調査及び研究の結果の発表
- (3)研究資料の収集、整理及び保管
- (4)研究会、講演会及び講習会等の開催
- (5)調査、研究の受託または指導
- (6)大学院レベルの学外機関研究者・研修員の教育及び研究指導
- (7)外部研究資金によるプロジェクト研究チームの公募及び支援
- (8)プロジェクト研究の支援
- (9)学内スポーツ振興のためのスポーツ医科学にかかわる支援

(10)地域住民を対象としたスポーツ医科学にかかわる支援

(11)その他、本研究の目的を達成するために必要な事項

(調査研究)

第4条 本研究所における調査研究の分野を次のとおり定める。

(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・体力研究分野

バイオメカニクス、心理学、運動技術の向上と指導法、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、理学及び作業療法、その他

(4)その他の分野

国際交流及び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、スポーツ競技に関する器具、機械、施設等の開発とその安全性、その他

(位置)

第5条 本研究所は、本学湘南校舎内に置く。

第2章 組織

(所長・次長)

第6条 本研究所の所長に関しては、本学研究所規程第4条によるものとする。

第7条 本研究所の次長に関しては、本学研究所規程第5条によるものとする。

第8条 本研究所の事業経過及び事業計画に関しては、本学研究所規程第6条によるものとする。

(研究所員)

第9条 本研究所の研究所員に関しては、本学研究所規程第8条によるものとする。

(研究員)

第10条 本研究所の研究員に関しては、本学研究所規程第9条によるものとする。

(嘱託)

第11条 本研究所の嘱託に関しては、本学研究所規程第10条によるものとする。

(職員)

第12条 本研究所の事務職員に関しては、本学研究所規程第11条によるものとする。

(審査委員会)

第13条 本研究所に所員の研究活動、教育活動、学内活動、社会的活動等を多面的に評価審査することを目的として審査委員会を置くことができる。

2 審査委員会の委員は、学内外の学識経験者・有職者から構成するものとし、学長の承認を得て委託する。

3 審査委員会の規程については、別にこれを定める。

(プロジェクト研究チーム)

第14条 本研究所のプロジェクト研究チームを構成するものとする。チームメンバーは公募により選出し、審査委員会で審査を行い学長の議を経て選定されるものとする。

第3章 運営

(研究所員会議)

第15条 本研究所の研究所員会議に関しては、本学研究所規定第12条・第13条によるものとする。

2 ただし、本研究所の研究所員会議は、本学研究所規程第13条第2項により次の事項について審査する。

(1)人事に関する事項

(2)研究生及び研修員に関する事項

第4章 経理

(会計)

第16条 本研究所の経理に関しては、本学研究所規程第14条によるものとする。

第17条 本研究所の会計年度に関しては、本学研究所規程第15条によるものとする。

(外部研究費)

第18条 本研究所の外部研究費の受け入れに関しては、本学研究所規程第16条によるものとする。

(予算)

第19条 本研究所の予算に関しては、本学研究所規程第17条によるものとする。

(決算)

第20条 本研究所の決算に関しては、本学研究所規程第18条によるものとする。

第5章 知的財産

第21条 本研究所の事業において発生した知的財産に関しては、本学研究所規程第19条によるものとする。

第6章 補足

第22条 この規程を改訂又は変更する場合には、研究所所員会議、本学研究所運営委員会の議を経て学長の承認を得るものとする。

付則

この規程は、昭和63年4月1日から施行する。

付則（2004年4月1日）

この規程は、2004年4月1日から施行する。

「東海大学スポーツ医科学雑誌」 寄稿規程

2004年4月1日

I. 和文規程

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た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・カラーとわなないが、仕上がりは白黒のみとする。(但し、仕上がりカラーを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、欧文規程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. 欧文規程

1. 2. 3. 4. は、和文規程に同じ

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、和文規程に同じ。

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、和文規程に同じ。

附則 この規程は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 (2005. 4. 1)

- 1 委員長 寺尾 保
- 2 委員 山村 雅一
- 3 委員 山並 義孝
- 4 委員 小澤 秀樹
- 5 委員 平岡 秀雄

2006年度スポーツ医科学研究所 所員・研究員名簿

1. 所長 寺尾 保 スポーツ医科学研究所
2. 次長 山村 雅一 医学部（医学科基礎医学系）
3. 専任 中村 豊 スポーツ医科学研究所
4. 専任 有賀 誠司 スポーツ医科学研究所
5. 研究員 佐藤 宣践 体育学部（武道学科）
6. 研究員 堀江 繁 体育学部（生涯スポーツ学科）
7. 研究員 平岡 秀雄 体育学部（競技スポーツ学科）
8. 研究員 山下 泰裕 体育学部（武道学科）
9. 研究員 吉川 政夫 体育学部（生涯スポーツ学科）
10. 研究員 加藤 達郎 体育学部（体育学科）
11. 研究員 山並 義孝 体育学部（生涯スポーツ学科）
12. 研究員 三田 信孝 体育学部（生涯スポーツ学科）
13. 研究員 新居 利広 体育学部（競技スポーツ学科）
14. 研究員 内山 秀一 体育学部（体育学科）
15. 研究員 大崎 栄 体育学部（競技スポーツ学科）
16. 研究員 高妻 容一 体育学部（競技スポーツ学科）
17. 研究員 恩田 哲也 体育学部（スポーツ・レジャーマネジメント学科）
18. 研究員 山田 洋 体育学部（体育学科）
19. 研究員 宮崎 誠司 体育学部（武道学科）
20. 研究員 伊藤 栄治 体育学部（スポーツ・レジャーマネジメント学科）
21. 研究員 保坂 隆 医学部（基盤診療学系）
22. 研究員 桑平 一郎 医学部（内科学系呼吸器内科）
23. 研究員 小澤 秀樹 医学部（内科学系総合内科学）
24. 研究員 東福寺規義 医学部（リハビリテーシ

- ヨシコ)
25. 研究員 松木 秀明 健康科学部 (看護学科)
26. 研究員 森久保俊満 健康科学部 (社会福祉学
科)
27. 研究員 曲谷 一成 工学部(電気電子工学科)
28. 研究員 八木原 晋 理学部 (物理学科)
29. 研究員 諏訪 正典 学外 (非常勤講師)
30. 研究員 吉田 早織 学外 (非常勤講師)
31. 研究員 相澤 慎太 学外 (非常勤講師)

2006年度スポーツ医科学研究所 プロジェクト研究課題

コアプロジェクト

- 運動・スポーツにおける健康・体力と競技力向上のための総合的研究

個別プロジェクト

- 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
- 幼児の運動機能の評価に関するバイオメカニクス的研究

編集後記

本年度の東海大学スポーツは、東海大学 K2登山隊の登頂成功（男子；世界最年少登頂者、女子；日本人初登頂者）、全日本学生バスケットボール選手権大会優勝（男子；2年連続）、全日本バレーボール大学男子選手権大会優勝、出雲全日本大学選抜駅伝競走大会優勝（2年連続）、全日本学生ライフセービング選手権大会（女子）優勝、更に、個人の部でも（柔道部、水泳部、陸上競技部等）全日本およびインカレでの優勝等、学園に明るい話題を提供してくれました。選手および監督・コーチの方々に、改めて、深く感謝申し上げます。本研究所では、今後も独自のスポーツサポートシステム（トレーニング部門、科学サポート部門、メディカル部門、メンタルサポート部門、栄養サポート部門）により、総合的立場から各競技団体や選手強化に関する支援活動の更なる充実を図り、その成果がスポーツ現場により多く活かされるよう努力していかねばならないと考えています。

さて、東海大学スポーツ医科学雑誌は、本年度で第19号となりました。本号には、前号と同様に上記の重点活動から得られた研究成果を含めて、運動生理学、バイオメカニクス、トレーニング方法学、臨床スポーツ医学などの広範囲なスポーツ医科学の領域で、水分代謝に関する基礎的研究から、スポーツ選手の競技力向上に関する実践的研究、幼児期における運動指導に対する基礎的研究、中高年者の健康維持・増進と疾病に対する高地トレーニング処方、メタボリックシンドロームに対する運動効果、スポーツ障害関連の応用的および実践的研究等に至るまで幅広いテーマの論文が掲載されています。今後も基礎的な研究は勿論、競技力向上や社会還元に貢献できるような実践的な研究も投稿されることを期待しています。編集委員会では、本誌の発展のために、より一層の努力を行うとともに、皆様方の益々のご協力と積極的なご意見をお寄せ頂きますようお願い致します。

最後に第19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。

編集委員長 寺尾 保

「東海大学スポーツ医科学雑誌」

編集委員

委員長 寺尾 保

委員 山村 雅一

〃 山並 義孝

〃 小澤 秀樹

〃 平岡 秀雄

東海大学スポーツ医科学雑誌 第19号 2007

発行日 2007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 寺尾 保
〒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