

放水器具の違いによる放水時の身体的負荷の比較に関する検証

小笠原 儀彦*, 佐藤 建司*, 玄海 嗣生*

概 要

東日本大震災の経験を踏まえ、消防団の充実強化が課題となっており、消防団員が効果的に活動できるよう、活動しやすい資機材の整備が必要となっている。そこで本検証では、新たな資機材導入へ向けた基礎資料を作成することを目的とし、現在特別区消防団に配置されている放水器具（以下「団N」という。）と未配置であるガンタイプノズル（以下「GN」という。）を使用した際の、筒先保持者にかかる身体的負荷を測定し、比較検証した。

検証の結果、団Nの方がGNよりも放水時の身体的負荷が大きいことが分かった。しかし、特別区消防団の災害活動要領では、筒先は2名以上で確保することになっており、団Nにおいても二人保持で放水をした場合、長時間の放水も可能であると考えられる。

1 はじめに

消防団は防災上極めて重要な組織であり、東日本大震災の経験を踏まえ、消防団への期待がますます高まってきている。東京では「2020年の東京」へのアクションプログラム2013において、東京都全体として消防団の充実強化に係る事業が新たに追加され、さらに東京都地域防災計画や特別区消防団運営委員会の答申においても、消防団の災害活動能力の向上、迅速な初期消火活動や延焼拡大防止活動等を主眼とした活動の実施が求められており、消防団員が効果的に活動できるよう、活動しやすい資機材の整備が必要となっている。

そこで本検証では、消防団員の負担軽減を目的とした新たな資機材の導入へ向けた基礎資料を作成するために、放水器具の違いによる放水時の筒先保持者にかかる身体的負荷について比較検証を行うことを目的とする。

2 検証方法

各放水器具について、二人保持及び一人保持で放水を実施した際の筒先保持者にかかる身体的負荷について測定を行い、比較検証を行った。

(1) 被験者

被験者は、活動安全課及び消防団課に所属する健康な男性8名（活動安全課員4名、消防団課員4名）とし、被験者の特性については表1のとおりである。

なお、表面筋電図の測定については、活動安全課員1名を被験者とした。

表1 被験者の特性

	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）
平均	35.9	175.6	69.5
標準偏差	±5.7	±4.7	±6.3

(2) 検証手順

被験者は、二人保持を模擬するため脚立とロープで補助を行う方法（以下「二人保持」という。）（写真1）で各放水器具について放水を実施した後、一人保持で同様に放水を実施した（写真2）。同一被験者の放水の実施間隔は疲労回復を考慮して30分間以上とし、放水器具の実施順序は慣れを考慮して無作為とした。

なお、表面筋電図の測定は筒先保持者にかかる負担が大きい一人保持のみとし、別に実施した。



写真1 二人保持での放水

*活動安全課



写真2 一人保持での放水

(3) 検証日

平成 26 年 10 月 17 日(金)、20 日(月)

(4) 検証場所

東京消防庁第三消防方面訓練場

(5) 放水器具

団N及びGNの2種類を使用し、GNでは、50 mmホースに結合した場合（以下「50GN」という。）及び65 mmホースに結合した場合（以下「65GN」という。）で実施した（表2）。

なお、GNの流量切替ダイヤルは、いずれも 450（流量 450 L/min 相当）に設定した。

表2 放水器具の種類及び重さ

呼称	団N	GN	
		50GN	65GN
重さ	2.7kg	2.3kg	2.6kg (媒介金具含む。)
写真			

(6) 放水条件

筒先に左右への反動力が生じないように、ホースを筒先から 10m まで直線状に配置した。ノズル元圧は、団Nでは 0.3MPa、GNでは 0.5MPa になるようにポンプ車のポンプ圧を調節した。放水時間は、二人保持では 10 分間、一人保持では 5 分間とし、疲労により基本の放水姿勢を保持できなくなった場合は自己判断で中止するように指示をした。放水は屋外での延焼阻止をイメージしてストレート注水とし、放水角度は上方 30 度とした。

(7) 測定項目

ア 表面筋電図

多チャンネルテレメータシステム WEB7000（日本光電工業社製）を使用し、右大胸筋、右上腕二頭筋、右上腕三頭筋、右橈側手根屈筋、左上腕二頭筋及び左橈側手根屈筋について、放水中の筋活動量を測定した。

なお、測定筋については、放水時に筋活動量が高いと思われる箇所を事前に測定し選定した（写真3）。



写真3 筋電計センサ貼付状況

イ 心拍数

ポラール RX800（ポラール社製）を使用し、放水中連続して測定した。

ウ 血中乳酸濃度

ラクテートプロ（アークレイ社製）を使用し、放水終了直後に測定した。採血場所は右手第四指に統一した。

エ 握力

グリップ-D（竹井機器工業社製）を使用し、放水終了直後に測定した。被験者は立位で右手について 2 回測定し、最高値を握力値とした。

オ VAS（Visual Analogue Scale）

放水終了直後に、右胸、右上腕、右前腕、左上腕及び左前腕の部位別疲労感並びに放水の継続可否並びに放水時の危険性についての主観的な状態を、VAS を用いて測定した。

VAS とは、「疼痛評価」の指標として古くから用いられているものであり、現在ではその用途は多岐に及んでいる。本検証では、100 mm の直線を使用して、左端が「まったく疲れていない」「まだまだ継続できる」「まったく危険を感じなかった」右端が「これ以上ないくらい疲れた」「これ以上の継続が困難であった」「活動上かなりの危険を感じた」として、主観的な疲労や危険性の程度を線上に×印を記すように指示をした（図1）。左端を 0 とし、×印までの距離を mm 単位まで計測した。

なお、主観的判断への影響を避けるため、被験者がそれまでに記したものを参照しないように指示をした。

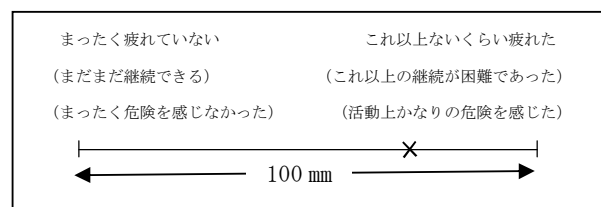


図1 VASの例

(8) 統計方法

表面筋電図を除くデータはすべて平均値±標準偏差で表した。統計処理は、エクセル統計 2010（社会情報サービス社）を使用した。心拍数、血中乳酸濃度及び握力の

各放水器具群間での比較について、対応のある一元配置の分散分析を行った。また、VAS 値の各放水器具群間の比較について、Friedman 検定を行い、多重比較には Scheffe の方法を用いた。有意水準は全て 5 % とした。

3 結果

(1) 放水の中止

基本の放水姿勢を保持できなくなり、自己判断で放水を中止した被験者は、一人保持の団 N で 3 名、一人保持の 65GN で 1 名であった。自己判断で放水を中止した被験者の放水継続時間は表 3 のとおりであった。

表 3 放水中止者の放水継続時間

被験者	放水器具	放水継続時間
A	団 N	2 分 0 0 秒
A	65GN	2 分 2 1 秒
B	団 N	1 分 5 6 秒
C	団 N	2 分 1 0 秒

(2) 表面筋電図

各部位の筋活動量は、波形の面積 (Area) とし、団 N で放水したときの筋活動量を基準 (100%) とし、課題間比較法で正規化した (表 4、図 2)。右上腕二頭筋及び左上腕二頭筋の活動量では、団 N の方が GN と比べて顕著に大きく、右大胸筋及び右上腕三頭筋の活動量では GN の方が団 N と比べて顕著に大きかった。

表 4 放水時の筋活動量 (%)

部位	団 N	50GN	65GN
右大胸筋	100	556.2	479.3
右上腕二頭筋	100	16.8	9.0
右上腕三頭筋	100	194.8	634.5
右橈側手根屈筋	100	58.7	79.1
左上腕二頭筋	100	49.1	39.3
左橈側手根屈筋	100	72.1	117.9

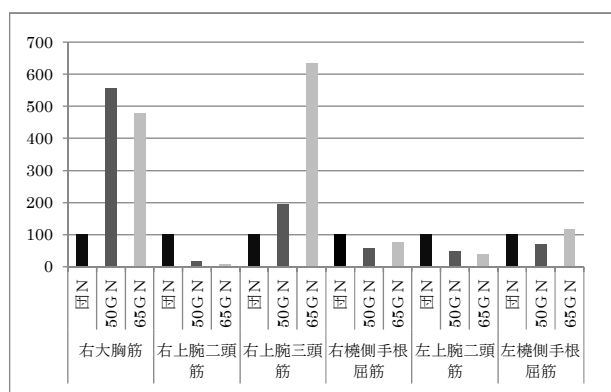


図 2 放水時の筋活動量 (%)

(3) 心拍数

測定データから放水中における平均心拍数を算出し、各群の平均値を比較した。二人保持及び一人保持において、各放水器具群間に有意な差は認められなかった (表 5、図 3)。

表 5 平均心拍数 (拍/分)

	団 N 群	50GN 群	65GN 群
二人保持	94.0 (± 9.7)	93.8 (± 11.9)	95.0 (± 11.0)
一人保持	113.8 (± 20.0)	103.1 (± 14.8)	110.0 (± 14.5)

N.S. (Not significant)

N.S. (Not significant)

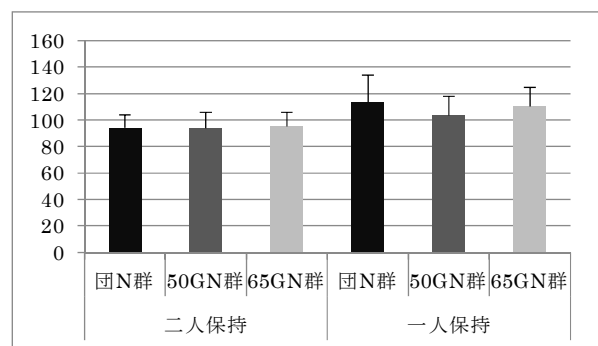


図 3 平均心拍数 (拍/分)

(4) 血中乳酸濃度

二人保持及び一人保持において、各放水器具群間に有意な差は認められなかった (表 6、図 4)。

表 6 血中乳酸濃度 (mmol/l)

	団 N 群	50GN 群	65GN 群
二人保持	1.6 (± 1.2)	2.0 (± 1.0)	1.5 (± 0.6)
一人保持	2.6 (± 0.8)	1.8 (± 0.6)	3.3 (± 3.9)

N.S. (Not significant)

N.S. (Not significant)

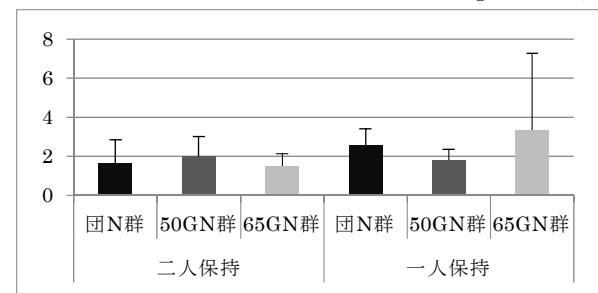


図 4 血中乳酸濃度 (mmol/l)

(5) 握力

二人保持及び一人保持において、各放水器具群間に有意な差は認められなかった（表 7、図 5）。

表 7 握力 (kg)

	団 N 群	50 G N 群	65 G N 群
二人保持	50.6 (±7.6)	49.8 (±6.5)	52.0 (±7.5)
一人保持	48.1 (±6.5)	47.8 (±6.7)	47.7 (±6.9)

N. S. (Not significant)

N. S. (Not significant)

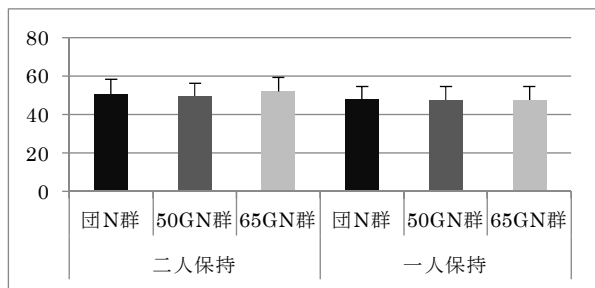


図 5 握力 (kg)

(6) VAS

ア 部位別疲労感

二人保持において、左上腕及び左前腕で、団 N 群が 65 G N 群に対して有意に高かった。一人保持において、右上腕で、団 N 群が 50 G N 群に対して有意に高かった（表 8、表 9、図 6、図 7）。

表 8 二人保持での部位別疲労感 (VAS 値)

部位	団 N 群	50 G N 群	65 G N 群
右胸	14.6 (±15.2)	23.6 (±28.7)	13.6 (±18.7)
右上腕	27.5 (±14.8)	28.6 (±27.8)	23.0 (±21.8)
右前腕	23.5 (±13.4)	25.0 (±29.1)	7.9 (±4.7)
左上腕	45.6 (±30.2)	13.4 (±18.6)	10.5 (±14.9)
左前腕	40.3 (±23.7)	11.5 (±18.7)	3.9 (±2.5)

* : p<0.05

表 9 一人保持での部位別疲労感 (VAS 値)

部位	団 N 群	50 G N 群	65 G N 群
右胸	49.0 (±31.4)	35.9 (±30.7)	40.8 (±26.2)
右上腕	78.0 (±24.5)	45.4 (±35.0)	52.9 (±33.9)
右前腕	64.5 (±21.4)	53.8 (±34.1)	57.3 (±26.2)
左上腕	31.3 (±17.9)	29.4 (±26.0)	43.8 (±29.8)
左前腕	30.4 (±18.5)	31.6 (±35.7)	43.9 (±29.1)

** : p<0.01

* : p<0.05

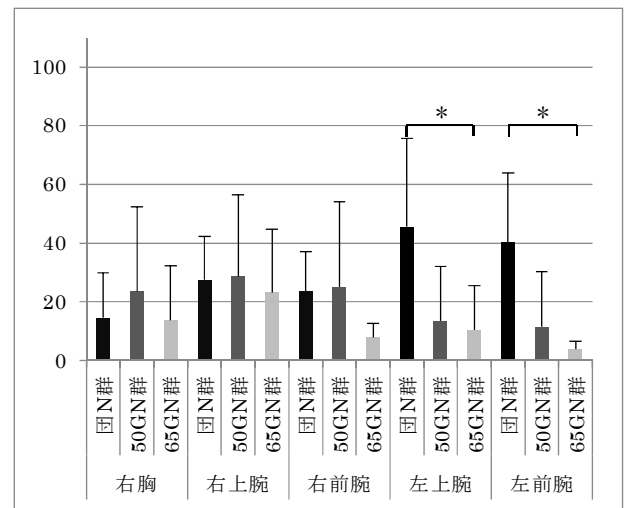


図 6 二人保持での部位別疲労感 (VAS 値)

** : p<0.01

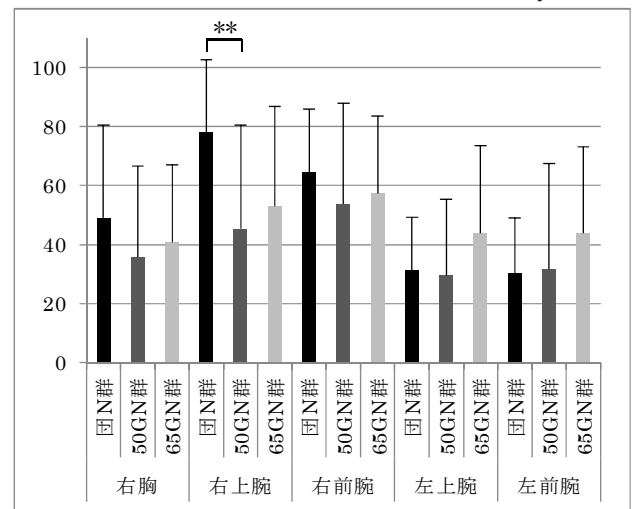


図 7 一人保持での部位別疲労感 (VAS 値)

イ 継続可否

二人保持において、団N群が 65GN 群に対して有意に高く、一人保持において、団N群が 50GN 群に対して有意に高かった（表 10、図 8）。

	団N群	50GN 群	65GN 群
二人保持	35.8 (±19.0)	14.3 (±17.8)	5.3 (±5.8)
一人保持	78.8 (±26.9)	43.8 (±31.7)	52.5 (±32.3)

表 10 継続可否 (VAS 値)

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

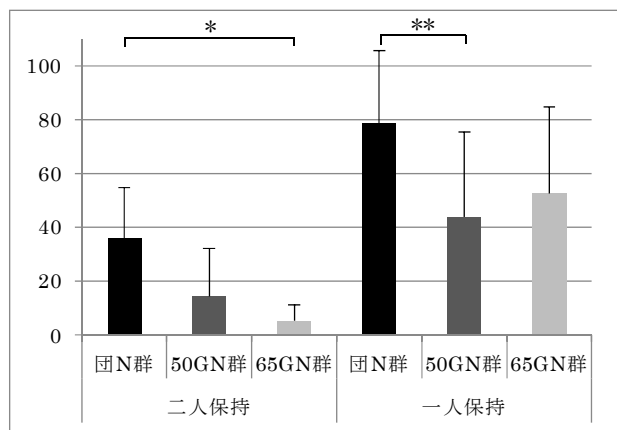


図 8 継続可否 (VAS 値)

ウ 危険性

二人保持において、放水器具群間に有意な差は認められなかった。一人保持において、団N群が 50GN 群に対して有意に高かった（表 11、図 9）。

	団N群	50GN 群	65GN 群
二人保持	22.3 (±25.2)	12.0 (±18.7)	2.9 (±2.5)
一人保持	64.1 (±28.7)	35.1 (±33.0)	45.6 (±38.3)

表 11 危険性 (VAS 値)

** : $p < 0.01$

** : $p < 0.01$

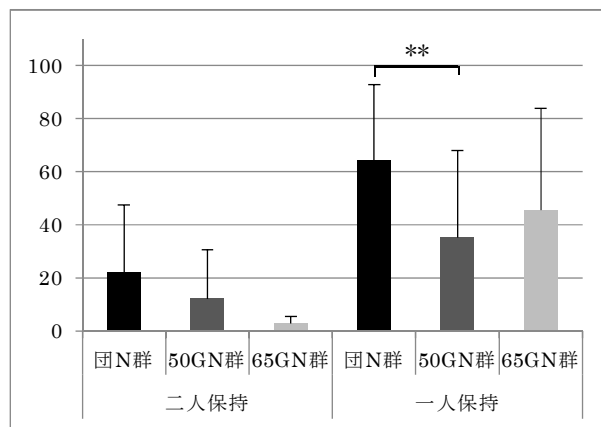


図 9 危険性 (VAS 値)

4 考察

(1) 筒先保持者に作用する力と保持姿勢

消防技術安全所の過去の検証によると、放水時のホースにおいて地面と接する部分ではホースに作用する力と地面との摩擦力が釣り合っているため、筒先保持者に対して力を及ぼすのは地面から立ち上がっている部分のホースとノズルである。また、水平方向に放水した場合に筒先保持者に作用する力は、ホースとノズルを上方に回転させる方向に作用するモーメントであり、ホースの立ち上がり角度が大きいほどモーメントが大きくなる。さらに、ノズルを水平ではなく立ち上がり部分からホースとノズルが一直線になるように放水すれば回転モーメントがなくなり、筒先保持者は単純にノズルとホースと水の重さのみを支えれば良いと示唆している¹⁾。

本検証では屋外からの延焼阻止をイメージし、上方 30 度方向に向けて放水したが、団Nではホースとノズルがほぼ一直線になっているのに対し、GNにおいてはなだらかな曲線になっている（写真 4、5）。そのため、団Nでは重力の影響が大きく、GNでは回転モーメントと重力の双方が影響していると推察される。



写真 4 団Nでの放水



写真5 GNでの放水

また、団Nの保持姿勢では、両腕が体幹部から離れており、保持する際は腕の力のみを頼らなければならないのに対して、GNでは、体の中心に近い位置で保持できるため、腕と体幹の筋肉を使って保持することができ、腕にかかる負荷が軽減されと考えられる。

(2) 表面筋電図

団Nでは上腕二頭筋の活動量が大きいのに対して、GNでは右大胸筋と右上腕三頭筋の活動量が大きいことが分かった。

上腕二頭筋の機能は肘関節の屈曲であり、団Nでは重力に対して管そうを上方に持ち上げる力が必要であったと考えられる。一方GNでは、肩関節を屈曲させる大胸筋や肘関節を伸展させる上腕三頭筋により、重力と回転モーメントの合力に対して、ノズルを前方に押し出す力及び上から押さえつける力が必要であったと考えられる。

(3) 心拍数

各群間における有意な差は認められなかった。心拍数は全身運動における運動強度の目安として、(220-年齢)を最高心拍数(HRmax)としたときの%HRmaxで表すことが多い。本検証における放水時の運動強度を平均心拍数から算出すると、各群とも二人保持で概ね50%HRmax、一人保持で概ね60%HRmaxと比較的低い値であった。しかし、本検証における放水のように動きのない静的な運動時では、動的な運動時と比べて、同一酸素摂取量時における心拍数が低くなるといわれている。また、静的な運動時における筋力の発揮の仕方である、等尺性収縮の最高心拍数は、筋の発動状況にもよるが約125~140回/分であるという報告もある²⁾。したがって、本検証における心拍数の値を、全身運動における心拍数と比較することは避けなければならない。

また、同一酸素摂取量の運動において、活動筋の部位が異なると心拍数も異なることが分かっており、団NとGNでは放水時における主な活動筋が異なるため、身体

的負荷の差が心拍数に表れなかった可能性がある。

(4) 血中乳酸濃度

各群間における有意な差は認められなかった。乳酸は、強度の高い運動で糖が多量に分解されたときに産生されるものであり、強度が低いときは安静時と変わらない1~2mmol/l程度である³⁾。指先や耳たぶから採血する方法は、簡便で一般的に行われている方法であり、ランニング等の全身運動時の測定に用いられることが多い。野坂ら⁴⁾によると、局所的運動に伴う血中乳酸濃度について、2kgのダンベルでどちらか一方の腕でリストカール運動を継続不能となるまで行った直後において、活動筋側の肘静脈血中では安静時の4~6倍になったが、非活動筋側の肘静脈血中では、1.5倍程度上昇したにすぎなかったと示唆している。したがって、局所的な運動の場合、運動後の血中乳酸濃度は採血場所に大きく影響すると考えられる。本検証では、放水中止者のように局所的に筋力を使い切っているケースがみられたため、放水時の活動筋において乳酸が蓄積された可能性はあるが、指先から採血した静脈血には反映されなかったと考えられる。

(5) 握力

握力は右前腕部の疲労の指標として測定を行ったが、各群間における有意な差は認められなかった。本検証では、被験者の放水後の握力の平均値を各放水器具別に比較することで疲労度の推定を試みたことから、放水前後の握力に差があったかどうかは分からないが、いずれの放水器具においても右手でグリップ部を強く握る必要があるため、各群とも同様に疲労したものと考えられる。

(6) VAS

VAS(部位別疲労感)では、二人保持において、左上腕及び左前腕で団N群が65GN群に対して有意に高く、一人保持において、右上腕で団N群が50GN群に対して有意に高かった。また、VAS(継続可否)では、二人保持において、団N群が65GN群に対して有意に高く、一人保持において、団N群が50GN群に対して有意に高かった。さらに、VAS(危険性)では、一人保持において、団N群が50GN群に対して有意に高かった。この結果から、二人保持では左上腕及び左前腕、一人保持では右上腕の局所的な疲労の差が、自己判断での放水中止、VAS(継続可否)及びVAS(危険性)の結果に表れたと考えられる。しかし、二人保持において、団N群のVAS(継続可否)の平均値は35.8であり、65GN群に対して有意に高かったものの、「これ以上の継続が困難である」を100としたときの数値であることから、二人保持では、団Nにおいてもまだまだ継続して放水を行うことができたと考えられる。

50GN群と65GN群の比較では、いずれの項目においても有意な差は認められなかったが、媒介金具の重さで約0.3kg、ホースとホース内の水の重さで1mあたり約1.5kg違うことから、身体的負荷が変わらないといえ

ず、さらに検討する余地がある。

5 おわりに

団N、50GN及び65GNで上方30度方向へ向けた放水時における身体的負荷について検証した結果、一人保持において、基本の放水姿勢を保持できなくなり自己判断で中止した被験者が、団N群では3名いたのに対して、65GN群では1名、50GN群では0名であった。また、VAS（継続可否）の結果、団N群の平均値が50GN群及び65GN群を大きく上回っており、二人保持では65GN群に対して、一人保持では50GN群に対して有意に高い値を示した。したがって、二人保持と一人保持のいずれにおいても、団Nの方がGNよりも放水時の身体的負荷が大きいと考えられる。

しかし、特別区消防団の災害活動要領では、筒先は2名以上で確保することになっているため、4(6)で述べたとおり、団Nにおいても二人保持で放水すれば、長時間の放水も可能であると考えられる。

[参考文献]

- 1) 中川英二ほか：放水活動時の消防隊員が受ける反動力についての流体力学的考察、消防技術安全所報第44号、43-46、2006
- 2) 山路啓司：運動処方のための心拍数の科学、大修館書店、1981
- 3) 八田秀雄：エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング、講談社、2004
- 4) 野坂和則ほか：局所的運動に伴う血中乳酸濃度と血清酵素活性の変動について、体力科学32(6)、405、日本体力医学会、1983

Study Comparing Physical Load during Water Discharge Using Different Equipment

Yoshihiko OGASAWARA*, Kenji SATO*, Tsuguo GENKAI*

Abstract

Based on the experience from the Great East Japan Earthquake, and in response to the challenge of improving and strengthening volunteer fire corps, it has become necessary to review equipment so that volunteer firefighters can effectively and easily use their gear. With the goal of creating basic data regarding the introduction of new equipment, this comparative study measured the physical load placed on the holders of the water discharge tool (nozzle) currently allocated to Tokyo's special ward volunteer fire corps (Corps N) as well as on the holders of a gun-type nozzle (GN) that has not yet been allocated.

The study showed that the physical load was greater in the case of Corps N than when GN was used. According to the operations procedures for Tokyo special award volunteer fire corps, two or more firefighters are to handle one nozzle during operations. And it is thought that two members, with Corps N, can work at water discharge for a longer time.

*Operational Safety Section