

消防用防護服着用時に実施する 運動・バランス能力テストの有効性検討

独立行政法人
労働安全衛生総合研究所
(共同研究者) 九州大学大学院
ソンスヨン
村木里志

Evaluation of the Mobility with Personal Protective Equipment for Firefighters and the Validity of Those Test Methods

by

Su-Young Son
National Institute of Occupational Safety and Health, Japan
Satoshi Muraki
Kyushu University

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of PPE's weight and the harness design of SCBA on mobility of those users and to determine the validity of physical performance test, three functional balance tests, and postural balance test as a standard mobility test method when wearing the PPE. A total of 10 Japanese healthy males (not trained) performed balance tests in this study. Participants were required to wear followed five clothing conditions with different weight and designs, randomly. In CON, participants wore T-shirt and short pants. In ST, they wore PPC without SCBA. In TA and TB, they wore PPC and SCBA with old harness design (TA and TB: 13.1kg and 6.9kg of SCBA, respectively). In TC, they wore PPC and SCBA (6.9kg) with improved harness design. For the physical performance test, participants carried out the following tasks inside the experiment building, (1) Step up; (2) Side jump; (3) Crawl; (4) Object-dragging; (5) Obstacle stride. For the functional balance test, Performance time was measured for 'Wooden plank time' and 'Timed up and go' test. For the

'Functional reach' test, participants extended their right arm forward as far as possible, and the extended distance were measured. We measured COP for postural balance test and from these sway data, measurements of medial-lateral (ML) and anterior-posterior (AP) excursion, sway length, and the area of each test were available. As results, a heavy SCBA limits wearers' mobility, however, we could not determine any difference between harness systems (standard versus improved). It was possible to find significances among clothing conditions using several kinds of motions of physical performance test and functional balance test. Therefore, the test method of present study, especially physical performance and functional balance test is valid and convenient method for evaluating mobility of PPE users, and it shows more statistically different results than postural balance test.

要 旨

本研究は消防用防護服着用時の動作性評価ができる準評価テスト方法を提案するため行われた。個人防護装備の重さとのデザインが、バランス能力に及ぼす影響を検討した。また、運動能力テスト、バランス能力テスト、重心動揺測定方法の有効性を調べ、より判別力が高い方法を提案することに着目した。10名の男子大学生を被験者とし、着衣条件は以下の5条件とした：①0.5kgの運動服、②8.7kgの防護服、③防護服と13.1kg空気呼吸器、④防護服と6.9kg空気呼吸器、⑤防護服と6.9kg空気呼吸器（改善されたハーネス付き）。各条件の着衣後に運動能力とバランス能力テスト、重心動揺測定を行った結果、空気呼吸器の重さが重くなるほど着用者のバランス能力が低下する傾向が認められたが、デザインの違いによる動作性の変化は見られなかった。本研究結果で運動能力とバランス能力テストが、重心動揺測定法より有意な条件間の差異が認められたため、より有効な測定方法になることが示唆された。

緒 言

津波や地震等の自然災害や高層ビルの火災、

SARSなどの危険なウイルス、原子力発電所などの環境で働く作業者の安全を守るため、防護服着用は不可欠である。特に、消防隊員は火災現場などにおいて危険な任務を行うため、身体の安全確保のために、耐熱性、耐炎性、引裂耐性等を重視した防護服を着用しなければならない。しかし、消防隊員には、現場で迅速に働けることが要求されるにもかかわらず、消防用防護服の硬くて厚い素材、容積の大きさ、20Kg以上にもなる個人呼吸器等の隊員防護用消防装備の重さがそれを妨げ、さらに発汗による衣服摩擦力の増加により隊員の疲労増加や作業効率低下などが生じることが報告されている。また、消防用防護服は衣服圧や密閉性が高い衣服であるので着用者に温熱負荷が増大することも事実である。また、消防用防護服と共に個人装備品も装着することによって重くなる衣服重量は着用者に負荷をかけ、さらに作業者の動作性及び作業能率の低下等の身体負担をもたらすことが重大な問題になっている。『次世代防護服の開発に関する研究報告書』によると、消防隊員に「防護性・安全性」、「動作のしやすさ」、「着心地の良さ」の3項目について評価してもらった結果、消防隊員にとって消防用防護服に最も期待する性能は、「動作のしやすさ」であった¹⁾。そ

れは消防隊員の持つ使命感の強さから消防用防護服着用による不快感の軽減といった観点より、活動のしやすさを重視したものと思われる。また、消防隊員を対象とした調査研究では、消防隊員は活動中の発汗や放水によって衣服が濡れた場合や空気呼吸器と呼吸保護具の重量により、大きな動作性の低下を感じていることが報告されている²⁾。

消防活動は重いものを運ぶ動作や、はしご・階段上り動作や救助動作などの関節可動域が広い動作である。しかし、全身の関節可動域は防護服と個人装備品のフル装備装着によって13.7%が低下する³⁾。Sonらのアンケート調査によって、1282名の消防隊員の多数がフル装備装着の消防活動時に、滑りと落下などのバランスを崩した事故による傷害を経験したことが明らかになった²⁾。落下による消防隊員の傷害経験に関する他国からの調査結果も報告されている⁴⁻⁸⁾。National Fire Protection Associationによると、50%以上の消防隊員が落下と滑りによる傷害を経験した⁴⁾。防護服と個人装備品装着は着用者の身体を保護するが、その重量やデザインなどによって着用者の動作性が制限されるし、着用者の事故を誘発する可能性がある。特に、個人装備品全重量の50%以上になる個人呼吸器は消防隊員の動作性に影響を及ぼす。

しかしながら、現在発表されている消防用防護服に関する研究をみると温熱負荷や防護服性能に関する研究⁹⁻¹³⁾及び規格に比べ^{14, 15)}、防護服着用がどの程度作業者の動作性を低下し事故を誘発するかについて、具体的に記述している規格はなく研究は進んでいない。実際のところ、国際的に標準化され使用できる規格がない状態であり、個々の防護服研究グループが異なる防護服や独自のテスト評価法を使用しているため、防護服着用による動作性の相互性能比較は出来ず、再現性試験も不可能である。そのため、防護服のデザイン

や重量、被験者の体力水準、環境温度を考慮する防護服着用時の動作性標準評価ができる標準テスト方法の作成が必要であると考えられる。

本研究では、消防用防護服着用時の動作性評価ができる準評価テスト方法を提案するため、異なる防護服着用による動作性の変化を測定し、テスト方法として活用する運動・バランス能力測定の有効性を検討することを目的とした。

1. 研究方法

1. 1 被験者及び着衣条件

体力トレーニングをしていない健康な一般男子10名(24.2 ± 3.1 yrs, 170.2 ± 5.9 cm, 62.2 ± 9.5 kg, 13.5 ± 5.5 BF%)を対象とした。すべての被験者は慢性疾患がなく、スポーツ競技者は含まれていなかった。着衣条件は以下の5条件とした: ① CON - 0.5 kgの運動服, ② ST - 8.7kgの消防用防護服(作業着, ヘルメット, 手袋, 長靴が含まれている), ③ TA - 消防用防護服(②)と13.1kg空気呼吸器, ④ TB - 消防用防護服(②)と6.9kg空気呼吸器, ⑤ TC - 消防用防護服(②)と6.9kg空気呼吸器(腰と肩のストラップが回転出来るように改善されたハーネス)。被験者一人に対して一日一条件のみテストを行い、着衣条件の順番はランダムにした。

被験者には、本研究の目的、内容などを詳細に口頭と書面で説明をし、研究参加への承認を得た。本研究は、国立大学法人九州大学の倫理委員会の実験倫理審査による承認を得て行われた。

1. 2 実験手順

すべての測定は、空調システムが設置されている広い面積と高さを持つ建物において、環境温度の調節が可能である居住空間実験室で行った。測定中の環境温度は 32.4 ± 2.4 ℃、相対湿度は 73.2 ± 6.3 %であった。

動作性評価の標準評価テスト方法として、運動

能力測定とバランス能力測定を行った。運動能力測定では、以下の5つの動作を行ってもらった。各動作時の測定内容は以下に示す。

- ・踏み台昇降運動 (step up) - 45cm 高さの踏み台を 60 秒間、20 回昇降する。60 秒間の心拍数上昇を測定する
- ・しゃがんで進む (crawling) - しゃがんだ姿勢で 10m 往復時の遂行時間を測る
- ・くぐりと跨ぎ (obstacle stride) - くぐりと跨ぐ動作を 2 回ずつ行いながら 12m を往復する。その遂行時間を測る
- ・反復横とび (repetition side jump) - 20 秒間の反復横とびの遂行回数を記録する
- ・重いものを運ぶ (dragging heavy object) - 20kg のものを引き寄せながら 10m を往復する

テスト開始から終了まで、運動能力測定中に心拍数を連続でモニタリングし、テスト後各動作実施前後の心拍数の比較を行った。

バランス能力測定としては、ファンクショナルリーチ (FR : Functional Reach) テスト、Timed up and go (TUG テスト) テスト、Wooden plank time (WPT テスト) テストを行った。これらのテストは身体重心の移動を伴う動作遂行でバランス機能測定を可能にするものである。FR テストは、両足を左右に開いた直立姿勢になって測定開始にした。被験者は、片腕を肩の高さまで上げて高さを維持したまま、足も動かさずにできるだけ前へ腕を伸ばして、腕が最大に伸びた距離を測った。FR テストでは、3 次元動作解析プログラムを用いて測定及び解析を行った (測定 : EVaRT 5.0.4, 解析 : KineAnalyzer)。TUG テストに関しては、スツールに座った姿勢の被験者が、スツールから立ち上がって 3m の距離を往復しスツールに座る姿勢に戻る時間を測った。WPT テストでは、被験者に 3m の狭い板上を往復してもらう時間を測定した。テスト中にバランスが崩れ、板上

から足が床に接する場合はエラーと記録し、解析時に 1 回エラーは往復時間を 1 秒増やすことにした。

また、静的なバランス能力は重心動揺測定法を用いて測定した。重心動揺測定法は、床反力計を用いて両足と片足支持時の足の側圧を測定、その重心動揺を解析するものである。被験者には床反力計の上に立ち、2m 前にあるカメラをみるように指示した。両足支持時の重心動揺テストでは閉眼と開眼時の 40 秒間測定を行い、前後方向重心動揺幅、左右幅、総軌跡長、軌跡面積を解析した。片足支持時の重心動揺テストでは、閉眼時のバランス維持時間を測定した。すべての各バランステストは 2 回ずつ行い、良い結果を選んで統計処理した。

1. 3 統計処理

本研究結果は平均値 $\pm$ 標準偏差で表した。着衣条件間の比較のため、一元分散分析を行い、Tukey 法を用いて post hoc テストを行った。さらに、着衣条件の重量とテスト結果の関係はピアソンの相関係数によって検討した。本研究の有意水準は $p < 0.05$ とした。

2. 研究結果

2. 1 運動能力テスト結果

運動能力テストでは、空気呼吸器を装着する TA、TB、TC 条件下の動作性が低下する傾向が見られた。踏み台昇降運動とくぐりと跨ぎ動作では、TA、TB、TC 条件は CON に比べ有意な心拍数と動作遂行時間の増加を示した (表 1)。しかし、空気呼吸器を装着する TA、TB、TC 条件間には有意な差は見られなかった。

2. 2 バランス能力テスト

図 1 は FR、TUG、WPT テストの結果を示す。FR テスト実施によって、空気呼吸器まで装着す

表 1 運動能力テスト結果 (mean ± SD)

	Step up (Δ bpm)	Crawling (sec)	Obstacle stride (sec)	Side jump (sec)	Dragging (sec)
CON	17 ± 5	30 ± 9	17 ± 2	39 ± 9	44 ± 10
ST	25 ± 7	30 ± 7	20 ± 3 ^{b**}	35 ± 7	44 ± 7
TA	31 ± 10 ^{a**}	33 ± 8	25 ± 4 ^{a***}	31 ± 6	42 ± 8
TB	30 ± 9 ^{a**}	31 ± 8	22 ± 2 ^{a***}	33 ± 8	44 ± 4
TC	31 ± 10 ^{a**}	30 ± 5	22 ± 2 ^{a***}	33 ± 7	44 ± 5

a : significant difference between CON and others

b : significant difference between ST and wearing SCBA conditions (TA, TB, and TC)

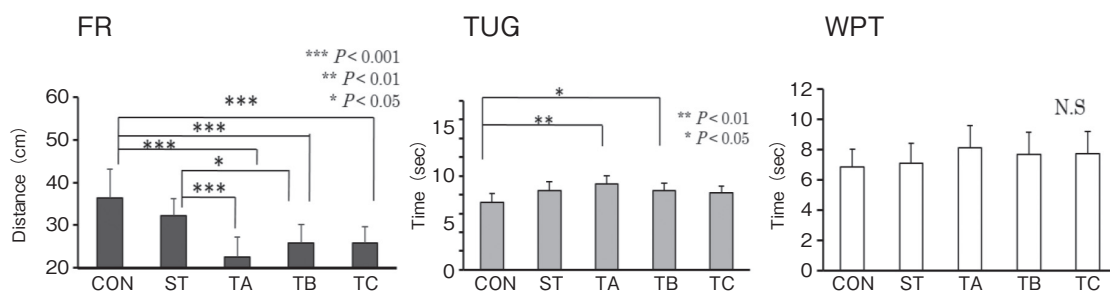
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 

図1 FR, TUG, WPT テストの結果

るフル装備装着は、動作性を有意に低下させることが認められた。空気呼吸器装着条件のTA, TB, TCはCONより有意に低値を示した ($p < 0.001$)。なおかつ、空気呼吸器なしで防護服だけ着用するSTによりもTAとTBは有意に低値を示した (STとTA: $p < 0.001$, STとTB: $p < 0.05$)。なお、TUGテストでは、CON条件と比べ、フル装備を装着したTAとTB条件の動作遂行時間が

有意に増えることが見られた (CONとTA: $p < 0.01$, CONとTB: $p < 0.05$)。しかし、WPTテストでは、TA条件による遂行時間の増加はみられたが、条件間の有意な差は認められなかった。

さらに、バランス能力テストの結果では、各着衣条件の重量との間に有意な相関関係が認められた (図2)。FRテストにおいて、腕を伸ばせる距離は着衣条件の重量が重くなるほど減少した ($r =$

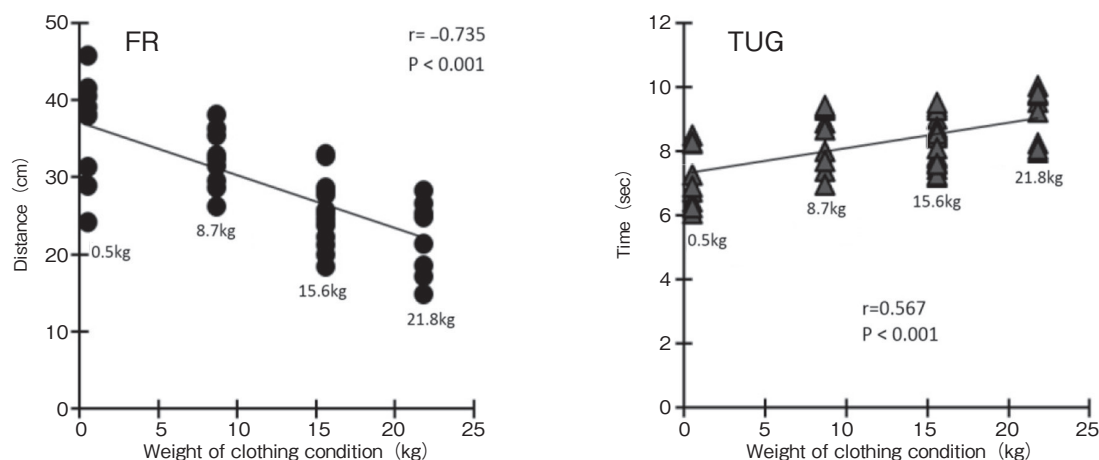


図2 着衣条件の重量とバランス能力テストの相関関係
0.5kg : CON, 8.7kg : ST, 15.6kg : TB and TC, 21.8kg : TA

表2 重心動揺測定結果 (mean ± SD)

	Sway length (cm)		Sway area (cm ²)	
	Eyes close	Eyes open	Eyes close	Eyes open
CON	25 ± 10	20.7 ± 8	2.8 ± 1.9	2.3 ± 2.2
ST	25.3 ± 8.7	19 ± 5.3	3.2 ± 2.9	2 ± 1.5
TA	29.1 ± 9.2	27.7 ± 8.5	4.9 ± 3.7	4.6 ± 3.8
TB	27 ± 7.5	20.3 ± 8.1	3.6 ± 3.5	1.8 ± 1.3
TC	26.8 ± 9.1	20.8 ± 7.3	3.3 ± 1.9	2.5 ± 2.5
	Medial-Lateral (M-L) excursion (cm)		Anterior-Posterior (A-P) excursion (cm)	
	Eyes close	Eyes open	Eyes close	Eyes open
CCON	1 ± 0.4	0.9 ± 0.5	1.9 ± 0.5	1.5 ± 0.4
ST	1 ± 0.6	0.9 ± 0.4	2.3 ± 0.4	1.7 ± 0.8
TA	1.1 ± 0.6	1.2 ± 0.6	3 ± 0.6	2.5 ± 1.1
TB	1.1 ± 0.7	1 ± 0.4	2.4 ± 0.4	1.5 ± 0.6*
TC	1 ± 0.4	1.1 ± 0.8	2.6 ± 0.8	1.7 ± 0.8*

significant difference with TA, $p < 0.05$

-0.735, $p < 0.001$). また, TUG テストでは, 重量が重くなるほど動作遂行時間が有意に増加することが見られた ($r = 0.567$, $p < 0.001$).

2. 3 重心動揺測定法

重心動揺測定の結果は表2に示している. 最も重い重量であるTA条件では他の条件と比べ重心動揺の動きが激しくなることが見られた. 重心動揺幅はTA条件で増加することが見られた. TA条件はTB条件より開眼時の前後方向で広くなることが明らかになった ($p < 0.05$). また, 本研究結果から見ると, 重心動揺は全体的に左右方向より前後方向の幅が広くなることも明らかになった. 重心動揺軌跡長と重心動揺面積も, TA条件で増加する傾向が見られたが, 統計的有意な差は見られなかった.

3. 考 察

3. 1 防護服フル装備の重量とデザインの違い

本研究では, 他の条件に比べTA条件下で得られた運動能力とバランス能力テスト結果が悪くなることが見られた. 運動能力テストでは, 踏み台昇降運動とくぐりと跨ぎ動作において有意な違いが認められたが, 空気呼吸器までのフル装備装着, つまり着衣量の重量が高い場合に限られた結果である. 防護服の動作性と重量・デザインに対する

先行研究の報告でも, 防護服の重量の違いにおいては運動能力テストで有意な差が見られたが, デザインの違いによる有意差は認められなかった¹⁶⁾. 防護服フル装備の重量とデザイン違いに関しては, バランスの能力テストにも類似の傾向が見られた. TUG テストでは, 被験者は重い重量の防護服を装着する場合, 3mの往復時間が長くなり, 特にTAとTB条件で有意に時間が増加することが認められた. TA, TB条件下では, CONに比べ動作遂行時間が29.4%となり, 18.4%増加した (TA: $p < 0.01$, TB: $p < 0.05$). しかし, フル装備装着条件間の有意な差は見られなかったため, デザイン差による動作性変化を明らかにすることはできなかった.

FRテストでは, 他のテストより有意な条件間のバランス能力差が見られた. 防護服装着条件はCONに比べ, 短いFRテスト結果を示した. TA, TB, TC条件はCONより37.1%, 28.2%, 27.5%の有意な動作性低下が見られた. この結果からみると, 重い重量の空気呼吸器まで装着するフル装備装着は, 着用者のバランス能力に影響を与えると考えられる.

本研究では, TA条件が他の条件より重量が重いものであるため, すべてのテストでバランス能力が低下したことが本研究によって明らかになった. 本研究で得られたバランステスト結果を,

CON 条件を基準として相対値に計算してみると、防護服着用 (ST) によって 10%, 空気呼吸器まで装着した TA, TB, TC 条件下では, 28%, 19%, 18% 低下した。また, 着衣条件の重量が重くなるほど, バランステスト結果が悪くなることも認められた (図 2)。本研究結果から, 着衣条件重量が 1kg 増えることで, バランス能力は 1.3% 減ることが示唆された。

今回の実験では, 重心動揺測定において有意な条件間差は認められなかった。しかし, 重心動揺幅と軌跡長は, TA 条件下で他の条件より高い値を見せた。これは, 重い空気呼吸器がもたらす着用者の動作性低下を意味していると考えられる。先行研究でも本研究と類似の傾向が報告されている。バックパックなどの負荷に関して研究している研究グループは, 重い重量の背中負荷により着用者の動きが制限され, さらにバランス能力が低下することを報告した¹⁷⁾。また, ミリタリーバックに関する先行研究によると, 18.1 kg のミリタリーバック装着は重心動揺軌跡長, 幅, 面積において, 各々 64%, 131%, 229% の増加をもたらしている¹⁸⁾。また, 重量とデザインが異なる多種の防護服着用によって, 着用者の重心動揺が有意に変化することを証明したのも発表されている¹⁹⁾。しかし, 本研究では, TB 条件と TC 条件間には有意差が見られなかったため, 空気呼吸器の肩ストラップなどのデザインの違いが動作性に及ぼす影響を明らかにすることは出来なかった。かつ, 防護服だけ着用した場合 (ST) は CON 条件より良いバランス能力を見せる結果も見られ, 防護服より個人呼吸器の装着が着用者のバランスに影響を及ぼすことが示唆された。

3. 2 動作性標準評価テスト方法の有効性

本研究で行われた運動能力テストでは, 踏み台昇降運動とくぐりと跨ぎ動作において有意差が見られた。今回使われた 5 つの運動能力テストプロ

トコールと同様な方法を用いて動作性評価を行った先行研究では, 被験者群によって, 条件間有意差が見られる有効性の差が報告されている¹⁶⁾。一般男性を被験者とした場合, 踏み台昇降運動とくぐりと跨ぎ動作において有意差がみられ, 本研究と同様の傾向を見せた。しかし, 毎日訓練している消防隊員を対象とした場合, すべての運動項目から有意な条件間差が認められた。したがって, 今後標準テスト方法として本研究のテスト方法を使う際には, 体力水準が高い被験者を対象とすれば, テスト方法の有効性が高まり, より正確なテスト結果を得る可能性が示唆される。

バランス能力テストは, 作業者や高齢者や傷害者などを対象とするバランステストで使われている方法である^{20,21)}。特に, FR テストは片腕方法と両腕方法があるが, 両方法とも頻繁に使われている。本研究では, 高齢者と障害者ではなく, 防護服使用者を対象と想定し, FR テスト, TUG テスト, WPT テストによって防護服着用時の動作性を評価した。本研究では, TUG テストと FR テストにおいては条件間の有意差が見られたが, WPT テストにおいては条件間の有意差は見られなかった。FR テストの解析方法では, 片腕を前方方向に伸ばす距離を測る方法と足元から腕までの距離変化を測定する方法がある。しかし, 前者の方が重心動揺測定による動揺幅と有意な相関関係があるので, 本研究では足元から腕までの距離変化に関しては解析しなかった²²⁾。

今回の研究では, 重心動揺測定において有意な差は見られなかった。しかし, 運動能力テストとバランス能力テストにおいては着衣条件の重量による有意な差が認められ, 本研究で使われた運動能力テストとバランス能力テスト方法の高い有効性が示唆された。消防隊員のバランス能力に関する先行研究によると, 閉眼時の重心動揺は年齢と正の相関関係である⁷⁾。本研究の重心動揺測定では, 20 代の成人男性を被験者としたもので, 有

意な差も認められなかった。しかし、防護服を着用し作業を行う労働者にとって、閉眼・開眼時にバランスを維持することは大いに求められることである。したがって、重心動揺測定は、標準テスト方法としては低値の有効性を現すが、防護服着用者のバランストレーニングの一つになるものと考えられる。

4. まとめ

重量が重い個人呼吸器によって、消防用防護服の動作性が低下することが本研究で明らかになり、またその動作性低下が評価できるテスト方法の提案ができた。被験者は平均的に、防護服と重い個人呼吸器をフル装着する場合（TA）に、運動能力とバランス能力が減ることが見られた。特に、バランス能力テストである FR と TUG テストには各条件間の統計的有意差が見られた。

しかし、フル装備装着条件である TA、TB、TC 条件間においては統計的有意差がみられなかった。空気呼吸器のストラップ形状とデザインの違いによる動作性変化は認められなかった。重心動揺テストでも重量が増える個人呼吸器によってバランス能力が低下する傾向があった。しかし、防護服だけ着用した場合（ST）は CON 条件より良いバランス能力を見せる結果も見られ、防護服より個人呼吸器の装着が着用者のバランスに影響を及ぼすと考えられる。

本研究では3つのテスト方法を用いた結果、個人呼吸器の重量差によるバランス能力の変化を解析することが出来た。特に、運動能力とバランス能力テストでは重心動揺テストに比べて有意な条件間の差が見られたので、上記の2つのテスト方法はより簡便で有用な動作性標準テスト方法になると考えられる。

謝 辞

本研究に助成頂いた公益財団法人石本記念デサ

ントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また被験者として参加いただいた方に深く感謝申し上げます。研究全体に関して貴重なコメントをくださった九州大学名誉教授栃原祐先生に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 次世代防火服の開発に関する研究報告書(1), 平成 16年度「消防防災科学技術研究推進制度」, 財団法人日本防災協会., 12-21 (2005)
- 2) Son S.Y., Lee J.Y., Tochihara Y., Occupational stress and strain in relation to personal protective equipment of Japanese firefighters assessed by questionnaire., *Ind. Health.*, 21 (2) :214-222 (2013)
- 3) Son S.Y., Xia Y., Tochihara Y., Evaluation of the effects of various clothing conditions on firefighter mobility and the validity of those measurements made., *J. Human Environ Syst.*, 13: 1524 (2010)
- 4) Heinemann E., F., Shy C.M., Checkoway H., Injuries on the fire ground: risk factors for traumatic injuries among professional fire fighters., *Am. Ind. Med.*, 15 (3) : 267-282 (1989)
- 5) Karter M. J., Patterns of Firefighter Fireground Injuries. Quincy, MA: National Fire Protection Association., (2009) .
- 6) Karter M.J., Molis J.L., U.S Firefighter injuries for 2010. National Fire Protection Association., (2011)
- 7) Punakallio A., Lusa S., Luukkonen R., Functional, postural and perceived balance for predicting the work ability of firefighters., *Int. Arch. Occup. Environ Health.*, 77 (7) : 482-490 (2004)
- 8) Statistics Finland. Statistics for the work- related accidents among professional firefighters in Finland due to slips or falls at the same level. (1996-2001)
- 9) Williford H.N., Duey W. J., Olsen M. S., Howard R., Wang N., Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness., *Ergonomics*, 42 (9) : 1179-1186 (1999)
- 10) Smith D.L; Petruzzello S. J. Manning, T.S. Cardiac responses to firefighting activities., *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 27 (5) : 550 (1995)
- 11) Smith D. L., Petruzzello S. J., Kramer J. M., Misner J. E., The effects of different thermal environments on the physiological and psychological response of firefighters to a training drill., *Ergonomics*, 40 (4) : 500-510 (1997)

- 12) Smith D.L., Petruzzello S.J., Selected physiological and psychological response to live-fire drills in different configurations of firefighting gear., *Ergonomics*, **41** (8) : 1141-1154 (1998)
- 13) Havenith G., Heus R. A test battery related to ergonomics of protective clothing., *Appl. Ergon.*, **35** (1) : 3-20 (2004)
- 14) ISO 11613, Protective clothing for firefighters - Laboratory test methods and performance requirements. International Organization for Standardization. (1999)
- 15) prEN 469, Protective clothing for firefighters - Performance requirements for protective clothing for firefighting, European Standards: Brussels. (2006)
- 16) Son S.Y., Bakri I., Muraki S., Tochiara Y., Comparison of firefighters and non-firefighters and the test methods used regarding the effects of personal protective equipment on individual mobility., *Appl. Ergon.*, **45** (4) : 1019-1027 (2014)
- 17) Birrell S.A., Haslam R.A., The effect of load distribution within military load carriage systems on the kinetics of human gait., *Appl. Ergon.*, **41** (4) : 585-590 (2010)
- 18) Heller M.F., Challis J.H., Sharkey N.A., Changes in postural sway as a consequence of wearing a military backpack., *Gait Posture* **30** (1) : 115-117 (2009)
- 19) Kincl L.D., Bhattacharya A., Succop P.A., Clark C.S., Postural sway measurements: A potential safety monitoring technique for workers wearing personal protective equipment., *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, **17** (4) : 256-266 (2002)
- 20) Duncan P. W., Weinert D. K., Chandler J., Studenski S., Functional Reach: A New Clinical Measure of Balance., *J. Gerontol.*, **45** (6) : 192-197 (1990)
- 21) Punakallio A., Balance abilities of different-aged workers in physically demanding jobs., *J. Occup. Rehabi.*, **13** (1) : 33-43 (2003)
- 22) Kage H., Okuda M., Nakamura I., Kunitsugu I., Sugiyama S., Hobara T., Measuring Methods for functional reach test: comparison of 1-arm reach and 2-arm reach., *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **90** (12) : 2103-2107 (2009)