自給式呼吸器の重さとハーネスデザインが着用者の 関節可動域に及ぼす影響

○孫 秀英（九州大学芸術工学院）

村木 里志（九州大学芸術工学院）

栃原 裕（放送大学、九州大学芸術工学院）

Effects of the weight and harness design of a self-contained breathing apparatus on range of motion

Su-Young SON (Kyushu University, Faculty of Design)

Satoshi MURAKI (Kyushu University, Faculty of Design)

Yutaka TOCHIHARA (The Open University of Japan, Kyushu University, Faculty of Design)

1. はじめに

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、身体的安全確保のために、耐熱性、耐炎性、引裂耐性等を重視した消防服の着用が不可欠である。しかしながら、消防服の着用は、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、あるいは発汗による衣服摩擦力の増加により、隊員の消火・救命活動の動作性を制限する可能性がある。

消防隊員を対象として行ったアンケート調査によると消防活動中の「活動中の発汗」、「放水によって衣服が濡れた場合」、「マスク着用による視野不良」さらには「自給式呼吸器の重量」によって動作性が大きく低下することも明らかになった¹⁾。そして、その3項目によって低下する動作性に関する研究発表では、動作性の指標として関節可動域を測定項目とした²⁾。その結果、関節可動域は10kgの自給式呼吸器装着によって、消防服のみに着用した条件に比べ10%低下した。また、濡れた活動服の上に消防服を着用する場合は、関節可動域の9.5%低下が報告された。関節可動域は動作性の測定指標として用いられる^{3), 4)}。しかし、関節可動域測定方法は簡単な測定方法である反面、測定装置や実験者によって結果が異なる場合があるので、測定時にさらに注意する必要がある。

先行研究では、関節可動域とバランス能力等の動作性において自給式呼吸器装着による低下が他の着衣条件より大きく見られた^{2), 5)}。消防服と個人装備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。主に、全重量の50%以上になる自給式呼吸器は消防隊員の動作性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

本研究では、自給式呼吸器の重量とハーネスデザインが異なる各着用条件が動作性、主に関節可動域に及ぼす影響を調べることを目的とした。

2. 方法

被験者は訓練されていない健康な一般男子大学生10名(Mean $\pm$ SD: Age 25.7 ± 3.9 yrs, height 170.4 ± 6.1 cm, Body mass 64.3 ± 10.1 kg, Body mass index 22.1 ± 3.0 kg $\cdot$ m⁻²)にした。着用条件は以下の4つの条件であった；1) ST-防火服と防火帽と長靴、2) TA-ST+13.1kgのスタンダードストラップの個人呼吸器、3) TB- ST+6.9kgのスタンダードストラップの個人呼吸器、4) TC- ST+6.9kgの改善されたストラップの個人呼吸器（図1）。実験動作は肩の内転・外転、肩の屈曲・伸展、肩の水平屈曲・伸展、体幹屈曲・伸展、体幹側屈、胸部の回旋とした。

図1 着衣条件

消防服とヘルメット と手袋とブーツ (呼吸器なし) (8.7kg)	ST+		
	スタンダードハーネスの 呼吸器(13.1kg)	スタンダードハーネスの 呼吸器(6.9kg)	改善ハーネスの 呼吸器(6.9kg)
ST	TA	TB	TC

関節可動域は三次元動作解析システムを用いて測定した。本システムでは、9台の赤外線デジタルカメラを用いて人体の動きを表面に貼り付けた光学式マーカーによってリアルタイムで計測できる。関節可動域測定後、補足データとして床反力系を用いて各着衣条件の重心動揺も計測した。

3. 結果

関節可動域の結果、コントロールとした ST 条件（消防服着用）と重い重量の自給式呼吸器の TA 条件間に有意差が認められた（表 1）。肩の内転と外転、肩の屈曲、体幹伸展、胸部の回旋時にハーネス重量による有意な差が見られる。しかし、他の条件間では有意な差が見られなかった。

表 1 消防服着用と自給式呼吸器装着条件の関節角度比較 (n = 6)

	ST(9kg)	TA(22kg)	
肩の内転	47(16)	15(2)	*
肩の外転	117(8)	100(23)	*
肩の屈曲	123(7)	111(10)	NS
肩の伸展	42(12)	40(15)	*
肩の水平屈曲	55(12)	50(12)	NS
肩の水平伸展	101(39)	102(9)	NS
体幹屈曲	104(40)	71(23)	NS
体幹伸展	73(27)	45(10)	*
体幹側屈	59(12)	49(21)	NS
胸部の回旋	91(18)	57(6)	*

*p<0.05, NS は有意差ない

重心動揺の結果は表 2 に示している。最も重い重量である TA 条件では他の条件に比べ重心動揺の動きが激しくなることが見られた。重心動揺幅の前後方向では、開眼時の TA 条件は TB 条件より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。重心動揺奇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、統計的な有意な差は見られなかった。

4. 考察

重量が重い自給式呼吸器によって、消防服と個人装備着時の動作性が低下することか本研究で明らかになった。消防服と重い自給式呼吸器をフル装着する場合 (TA) に関節可動域とバランス能力の有意な低下が見られた。動作性は衣服着用より、自給式呼吸器等の重い装備の重量によって動作性が低下することか明らかになった。しかし、ハーネスデザインによる統計的有意差 (TB と TC) は本研究で認められなかった。このことによって、ハーネスデザイン（スタンダードタイプと改善タイプ）による動作性変化を証明するためには客観的指標

のみでは難しいことが示唆される。重心動揺測定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見られた。本研究では動作性を測定した結果、自給式呼吸器の重量差によるバランス能力の変化を測定することが出来た。

表2 閉眼 (EC) と開眼時 (EO) の重心動揺の重心動揺奇跡長 (a) と重心動揺面積 (b) と左右方向幅 (c) と前後方向幅 (d), 平均値 (標準偏差)

		ST	TA	TB	TC
(a)Sway Length	EC	23.9(9.4)	27.9(9.5)	25.8(7.9)	25.6(9.4)
	EO	18.1(5.6)	26.3(9.1)	19.5(8.1)	19.7(7.7)
(b)Sway area	EC	2.9(2.8)	4.5(3.7)	3.3(3.5)	3.1(2.5)
	EO	1.8(1.5)	4.2(3.8)	1.7(1.3)	2.3(2.5)
(c)ML Excursion	EC	1.0(0.6)	1.2(0.7)	1.2(0.7)	1.1(0.4)
	EO	0.9(0.4)	1.3(0.8)	1.0(0.4)	1.1(0.8)
(d)AP excursion	EC	2.3(1.1)	3.0(1.4)	2.4(1.1)*	2.7(0.9)
	EO	1.7(0.8)	2.7(0.7)	1.6(1.2)	1.7(0.8)

*は TA と TB 間有意差を示す (p<0.05)

7kg の自給式呼吸器重量差 (TB) とハーネスデザイン差 (TC) では動作性の有意な変化を測定することは出来なかった。今後の課題としては、自給式呼吸器のみの動作性評価を行うことを検討している。

参考文献

- 1) Son SY, Lee JY, Tochihara Y: "Occupational stress and strain in relation to personal protective equipment of Japanese firefighters assessed by a questionnaire", Industrial Health, Vol. 51, No. 2, pp. 214-222, 2013.
- 2) Son SY, Xia Y, Tochihara Y: "Evaluation of the effects of various clothing conditions on firefighter mobility and the validity of those measurements made", Journal of the Human-Environment System, Vol. 13, No. 1, pp. 15-24, 2010.
- 3) Coca A: "Ergonomic comparison of a chem/bio prototype firefighter ensemble and a standard ensemble", Eur J Appl Physiol, Vol. 104, No. 2, pp. 351-359, 2007.
- 4) Coca A, Williams WJ, Roberge RJ, Powell JB: "Effects of fire fighter protective ensembles on mobility and performance", Appl Ergon, Vol. 41, No. 4, pp. 636-641. 2010.
- 5) Son SY, Tochihara Y: "The effects of the weight and strapping system of a self-contained breathing apparatus on postural balance", Proceedings of the 2nd Asian Protective Clothing Conference 2011 in Ueda, Japan, 2011