Abstract: This study analyzed and compared wearer mobility for different types of clothing that also included the potential to develop firefighter station uniforms using range of motion (ROM) and electromyography (EMG). This study focused on a comparison of wearer mobility affected by different materials and shapes of the station uniforms worn under firefighter turnout gear. Japanese standard uniform (UNI), stretch-wear (ST), and compression-wear (CP) were used as station uniforms for the experiment. This study analyzed wearer movements and quantified ROM and EMG. In addition, the subjective evaluation of wearer mobility and comfort were assessed for comparisons. Nine healthy male students participated in the experiment. Wearer mobility was analyzed using ROM and EMG data obtained by measuring five motions; in addition, subjective evaluations were also obtained. As compared with the standard station uniform, ROM increased 6.8 % and 7.2 % due to stretch-wear and compression-wear. The benefits of wearing stretch material or compression material to improve muscle performance (such as reduced percent of maximum voluntary contraction) were not proven. Differences between materials and designs influenced subjective wearer comfort. In particular, the wearing of compression materials was shown best in terms of wearer comfort that may also allow greater wearer mobility.

Keywords: wearer mobility, range of motion, subjective evaluation, firefighter station uniform, compression wear

این مطالعه تحرک پوشیدگان را برای انواع مختلفی از لباس که همچنین شامل پتانسیل توسعه لباس ایستگاه آتش نشانی با استفاده از دامنه حرکت (ROM) و الکترومیوگرافی (EMG) است ، مورد مقایسه و مقایسه قرار داد. این مطالعه به مقایسه تحرک پوشیدگان متأثر از مواد و شکل های مختلف لباس ایستگاه پوشیده از چرخ دنده مشارکت آتش نشانان متمرکز شده است. از لباس استاندارد ژاپنی (UNI) ، کشش (ST) و لباس (فشرده سازی) (CP) به عنوان لباس ایستگاه برای آزمایش استفاده شد. این مطالعه حرکات پوشیدنی و ROM و EMG کمی را مورد بررسی قرار داد. علاوه بر این ، ارزیابی ذهنی تحرک و راحتی استفاده کننده برای مقایسه انجام شد. نه دانش آموز پسر سالم در این آزمایش شرکت کردند. تحرک پوشه با استفاده از داده های ROM و EMG به دست آمده با اندازه گیری پنج حرکت انجام شد. علاوه بر این ، ارزیابی های ذهنی نیز به دست آمد. در مقایسه با یکنواخت ایستگاه استاندارد ، ROM 6.8٪ و 7.2٪ به دلیل کشش و فشردگی افزایش یافته است. فواید پوشیدن مواد کششی یا مواد فشرده سازی برای بهبود عملکرد عضلات (مانند کاهش درصد حداکثر انقباض داوطلبانه) اثبات نشده است. تفاوت بین مواد و طرح ها بر راحتی پوشیدگان ذهنی تأثیر می گذارد. به طور خاص ، پوشیدن مواد فشرده سازی از نظر راحتی پوشیدنی بهتر نشان داده می شود که ممکن است امکان تحرک بیشتر پوشنده را نیز فراهم کند.

کليدواژگان: تحرك پوشنده ، دامنه حركت ، ارزيابي ذهني ، يكنواخت ايستگاه آتش نشاني ، سوزش فشرده سازي

# Introduction

Due to the physical demands when firefighting in hot areas with insufficient rest periods, firefighters are exposed to fatigue and risk of injury (Gregory et al., 2008). The fatigue also occurs due to the need for firefighting activities such as forcible entry, ceiling breaches and pull-down components, mannequin drags, and stair climbing. The performance of such motions when fatigued can negatively alter spine posture and trunk muscle activation patterns during highly demanding firefighting tasks (Gregory et al., 2008).

Firefighter turnout gear is designed and manufactured to protect workers from the extreme heat and occupational hazards present when firefighting. Additionally, this gear consists of a solid fabric that undergoes chemical treatment to endure high temperature. However, the firefighter turnout gear also causes physiological strain and discomfort due to its weight and poor ventilation. To reduce such problems with the firefighter turnout gear, over the last

several years, research on personal protective clothing has been done to improve worker safety and health regarding occupational hazards.

First, study results about physiological responses during firefighting activities in high temperature, humid environments were obtained (Chou et al., 2008; Eglin et al., 2004; Holmer, 1995; McLellan & Sellirk, 2004). Second, the results from many studies were used to investigate the physiological strain caused by wearing firefighter turnout gear and other personal protective equipment, as well as the strain that occurs due to the weight and heat insulating properties of the protective clothing (Graveling & Hanson, 2000; White et al., 1989). Moreover, research about the physiological and psychological effects of self-contained breathing apparatus (SCBA) was also reviewed (Hooper et al., 2001; Bakri et al., 2012).

به دلیل تقاضای جسمی هنگام اطفاء حریق در مناطق گرم و با دوره استراحت کافی ، آتش نشانان در معرض خستگی و خطر آسیب دیدگی قرار دارند (گرگوری و همکاران ، 2008). این خستگی همچنین به دلیل نیاز به فعالیت های آتش نشانی مانند ورود اجباری ، شکستن سقف و اجزای کشویی ، کشیدن مانکن و بالا رفتن از پله ها اتفاق می افتد. عملکرد چنین حرکاتی در هنگام خستگی می تواند حالت منفی ستون فقرات و الگوهای فعال سازی عضله تنه را در حین انجام کارهای آتش نشانی بسیار طاقت فرسا تغییر دهد (گرگوری و همکاران ، 2008).

چرخ دنده مشعل آتش نشانی برای محافظت از کارگران در برابر گرمای شدید و خطرات شغلی موجود هنگام آتش سوزی ، طراحی و ساخته شده است. علاوه بر این ، این چرخ دنده از پارچه ای جامد تشکیل شده است که برای تحمل درجه حرارت بالا تحت درمان شیمیایی قرار می گیرد. با این وجود ، دنده خروج آتش نشانان نیز به دلیل وزن و تهویه نامناسب باعث فشار و ناراحتی فیزیولوژیکی می شود. برای کاهش چنین مشکلی در زمینه دفع مشعل آتش نشان ، بیش از گذشته

چندین سال ، تحقیقات در مورد لباس های محافظ شخصی برای بهبود ایمنی و سلامتی کارگران در مورد خطرات شغلی انجام شده است.

اول ، نتایج مطالعه در مورد واکنشهای فیزیولوژیکی در حین انجام فعالیت های آتش نشانی در دمای بالا ، در محیط های مرطوب به دست آمد (Chou et al.، 2008؛ Eglin et al.، 2004؛ Holmer، 1995؛ McLellan & Sellirk، 2004). دوم ، نتایج حاصل از مطالعات بسیاری برای بررسی فشار فیزیولوژیکی ناشی از پوشیدن وسایل دفع مشعل آتش نشانی و سایر تجهیزات محافظ شخصی ، و همچنین سویه ای که به دلیل وزن و خاصیت عایق بندی حرارتی لباس محافظ ایجاد می شود (Graveling & Hanson ، 2000 ؛ وایت و همکاران ، 1989). علاوه بر این ، تحقیقات در مورد اثرات فیزیولوژیکی و روانی دستگاه تنفس خودمختار (SCBA) نیز مورد بررسی قرار گرفت (هوپر و همکاران ، 2001 ؛ باکری و همکاران ، 2012).

There were also studies that discussed the comfort of firefighter turnout gear. According to survey results from Tochihara et al.(2005), the half of Japanese firefighters answered that they realized restricted movement while firefighting (41%) with full set of firefighter gear. More than that, the respondents answered that what they want the most for working with full set of firefighter turnout gear is the ease of movement and comfort. Many firefighters from all over the world desire lighter and more comfortable next-generation firefighter turnout gear. However, it is not easy to improve and develop new materials that are light and capable of fully protecting firefighters from thermal and chemical harm. Firefighters from the United States of America, Korea, and Japan have commented that wearer mobility and thermal stress issues occur when wearing the current combinations of firefighter turnout gear. This includes a station uniform, firefighter jacket and pants, and personal protective equipment (Lee et al., 2015). Japanese prefectures have chosen different types of firefighter turnout gear to satisfy the needs of their firefighters. The aluminized and non-aluminized firefighter jackets were compared for wearer satisfaction, and the physical and physiological responses to wearing these two types of fire jackets were compared as well. Currently used firefighter uniforms are made of aramid fibers that lack elasticity and decrease wearer comfort (Japanese Fire Disaster Management Agency, 2005). The Japanese Fire Disaster Management Agency initiated the project of improving firefighter turnout gear, including the station uniform and firefighter jacket and pants. However, large improvements to the station uniform and firefighter jacket/pants were not suggested; thus, the commonly used gear have been employed so far. It may be necessary to improve these through new function of the materials or by novel design of the clothing. Although new aramid fibers have been developed with enhanced elasticity, they have not been applied to firefighter station uniforms. Therefore, it is felt to be necessary to provide an improved station uniform to be worn between a worker’s body and firefighter turnout gear.

همچنین مطالعاتی صورت گرفته است که در مورد راحتی تجهیزات دفع مشارکت آتش نشانان بحث شده است. با توجه به نتایج بررسی Tochihara و همکاران (2005) ، نیمی از آتش نشانان ژاپنی پاسخ دادند که در حین آتش نشانی (41٪) با مجموعه کامل وسایل آتش نشانی ، حرکات محدودی را انجام داده اند. علاوه بر این ، پاسخ دهندگان پاسخ دادند كه آنچه بیشترین تلاش را برای كار با مجموعه كامل وسایل مشاركت آتش نشان می كنند ، سهولت جابجایی و راحتی است. بسیاری از مأموران آتش نشانی از سراسر دنیا تجهیزات سبک تر و راحت تری برای تجهیزات آتش نشانی نسل بعدی می خواهند. با این حال ، بهبود و توسعه مواد جدیدی که سبک و قادر به محافظت کامل از آتش نشانان در برابر صدمات حرارتی و شیمیایی هستند ، کار آسانی نیست. مأموران آتش نشانی ایالات متحده ، کره و ژاپن اظهار داشتند که هنگام پوشیدن ترکیب های فعلی دنده مشارکت آتش نشانان ، تحرک پوشیدگان و مشکلات استرس حرارتی رخ می دهد. این شامل یک لباس ایستگاه ، ژاکت و شلوار آتش نشانی ، و تجهیزات محافظ شخصی (لی و همکاران ، 2015). بخشدارهای ژاپنی انواع مختلفی از تجهیزات آتش نشانی را برای برآوردن نیازهای آتش نشانان خود انتخاب کرده اند. برای جلب رضایت از لباس ، کاپشن های آتش نشانی آلومینیومی و غیر آلومینیومی مقایسه شد و پاسخ های جسمی و فیزیولوژیکی در پوشیدن این دو نوع کاپشن آتش نشانی نیز مقایسه شد. در حال حاضر لباس های آتش نشانی استفاده شده از الیاف آرامی هستند که فاقد قابلیت ارتجاعی هستند و باعث کاهش راحتی لباس می شوند (آژانس مدیریت بحران آتش نشانی ژاپن ، 2005). آژانس مدیریت بحران آتش نشانی ژاپن پروژه بهبود تجهیزات دفع مشارکت آتش نشانی از جمله لباس ایستگاه و ژاکت و شلوار آتش نشان را آغاز کرد. با این حال ، پیشرفت های بزرگ در لباس ایستگاه و ژاکت / شلوار آتش نشان پیشنهاد نشده است. بنابراین ، دنده های متداول تاکنون استفاده شده اند. ممکن است لازم باشد این کارها از طریق عملکرد جدید مواد یا با طراحی جدید لباس انجام شود. اگرچه الیاف آرامید جدید با ارتجاعی افزایش یافته اند ، اما آنها در لباس ایستگاه آتش نشانی کاربردی ندارند. بنابراین ، احساس می شود تهیه یک ایستگاه بهبود یافته که بین بدن یک کارگر و چرخش مشعل آتش نشانی پوشیده شود ، ضروری است.

Several studies have been published about firefighter turnout gear that involve such as the surface characteristics of the innerlayer fabrics suitable for firefighter turnout gear (Troynikove et al., 2012), phase change material in firefighter turnout gear (McCarthy & Marzo, 2012), and performance tests of firefighter turnout gear (Watanabe, 2010). However, those studies focused only on the exterior firefighter jacket and pants, which have multiple flameresistant layers. So far, only a few studies have reported effects from different designs of the firefighter station uniforms worn under the jacket and pants. Those studies reported on the physiological responses from wearing different designs of firefighter station uniforms. For example, by wearing short pants and T-shirts under the turnout gear, it was possible to reduce the thermal stress of firefighters (Chou et al., 2008; Malley et al., 1999; McLellan & Selkirk, 2004). Moreover, Mugie et al.(2014) contributed a report on the effects of undershirts that consisted of different materials, but found that there were no physiological or psychological differences when wearing cotton shirts, Merino wool blended shirts, and sport compression shirts. Moreover, previous studies also reported on the following subjects: mechanical and comfort performance of materials, a satisfaction survey, and proposal of a new design for a firefighter station uniform (Kim & Kim, 2014; Kwon et al., 2007; Seok et al., 2006). However, it was difficult to find studies that measured wearer mobility when using firefighter station uniforms.

There have been several studies on the measurement and analysis of wearer mobility. In these previous studies, wearer mobility was evaluated by measuring range of motion (ROM) with video cameras or goniometer, by subjective evaluation, using sensory evaluation, and dress/undress time (Ishigaki & Inomata, 2007; Iwasaki et al., 2006; Nakahashi et al., 2003; Shimosaka et al., 2008a; Shimosaka et al., 2008b; Watanabe et al., 2009). The human body had to use significantly more muscular effort when the clothing was poorly designed (Nakahashi et al., 2003), and this effort was measured by electromyography (EMG). For the analysis of wearer mobility due to the difference of design, certain elements such as crotch ease, sleeve cap height, and ease of clothing were measured using ROM. The results indicated that low sleeve cap height had an influence on increased wearer mobility of the shoulder and arm. The difference in wearer mobility due to the use of different materials was also presented in relation to increase and decrease in the ROM (Huck, 1991; Kim, 2002, 2009).

مطالعات متعددی در مورد دنده خروج آتش نشانان منتشر شده است که شامل خصوصیات سطح پارچه های داخلی لایه مناسب برای چرخش مشعل آتش نشانی است (Troynikove و همکاران ، 2012) ، مواد تغییر فاز در چرخ دنده مشغول آتش نشانی (مک کارتی و مارزو ، 2012) ، و تست عملکرد دنده مشارکت آتش نشانان (واتانابه ، 2010). با این حال ، این مطالعات فقط روی ژاکت و شلوار آتش نشان بیرونی متمرکز شده اند که دارای چندین لایه شعله ور هستند. تاکنون فقط چند مطالعه اثرات طرح های مختلف لباس ایستگاه آتش نشان را که در زیر ژاکت و شلوار پوشیده شده است ، گزارش کرده است. این مطالعات در مورد پاسخ های فیزیولوژیکی از پوشیدن طرح های مختلف لباس ایستگاه آتش نشان گزارش شده است. به عنوان مثال ، با پوشیدن شلوار کوتاه و تی شرت در زیر چرخش مشارکت ، می توان استرس گرمایی آتش نشانان را کاهش داد (Chou et al.، 2008؛ Malley et al.، 1999؛ McLellan & Selkirk، 2004). علاوه بر این ، موگی و همکاران (2014) گزارشی در مورد تأثیر لباسهای زیر شلواری که متشکل از مواد مختلف بود ، کمک کردند ، اما دریافتند که هنگام پوشیدن پیراهن نخی ، پیراهن مخلوط پشم Merino و پیراهن فشرده سازی ورزشی هیچ تفاوت فیزیولوژیکی یا روانی وجود ندارد. علاوه بر این ، مطالعات قبلی همچنین در مورد موضوعات زیر گزارش داده اند: عملکرد مکانیکی و راحتی مواد ، بررسی رضایتمندی و پیشنهاد طرح جدید برای لباس ایستگاه آتش نشانی (کیم و کیم ، 2014 ؛ کوون و همکاران ، 2007 ؛ سوک و همکاران . ، 2006). با این حال ، یافتن مطالعاتی که میزان تحرک پوشنده را هنگام استفاده از لباس ایستگاه آتش نشانی اندازه گیری کند ، دشوار بود.

مطالعات زیادی در مورد اندازه گیری و تجزیه و تحلیل تحرک پوشیدگان انجام شده است. در این مطالعات قبلی ، میزان تحرک پوشنده با اندازه گیری دامنه حرکت (ROM) با دوربین های فیلمبرداری یا گونیومتر ، با ارزیابی ذهنی ، استفاده از ارزیابی حسی و زمان لباس / لباس پوشیدن (Ishigaki & Inomata، 2007؛ Iwasaki و همکاران ، 2006) مورد بررسی قرار گرفت. Nakahashi et al.، 2003؛ Shimosaka et al.، 2008a؛ Shimosaka et al.، 2008b؛ Watanabe et al.، 2009). بدن در هنگام طراحی ضعیف لباس مجبور بود از عضلات بیشتر استفاده کند (ناکاهاشی و همکاران ، 2003) و این تلاش با استفاده از الکترومیوگرافی (EMG) اندازه گیری شد. برای تجزیه و تحلیل تحرک پوشنده به دلیل تفاوت در طراحی ، عناصر مشخصی از قبیل سهولت در شکاف ، ارتفاع کلاه آستین و سهولت لباس با استفاده از ROM اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که ارتفاع درپوش آستین کمکی در افزایش تحرک پوشنده شانه و بازو تأثیر دارد. تفاوت در تحرک پوشنده به دلیل استفاده از مواد مختلف نیز در رابطه با افزایش و کاهش ROM ارائه شده است (هاک ، 1991 ؛ کیم ، 2002 ، 2009).

According to a previous questionnaire study (Son et al., 2013), Japanese firefighters were using compression-wear for their wearer mobility benefits. Compression-wear is widely used in sports and rehabilitation fields to improve muscle function. The compressionwear employed functional fabrics (providing such as elasticity, resilience, permeability, water resistance, etc.) and the Kinesio taping method (muscle activation and ergonomic design). The use of compression wear was effective in increasing muscle performance for male users during high-intensity exercise (Koo, 2011). Beneficial effects from using compression wear, such as injury prevention and performance enhancement, were reported (Argus, 2005; Doan et al., 2003). It may be that not only physiological effects from compression wear but also a psychological placebo effect might be expected to increase exercise performance. Therefore, evaluation of the application of compression-wear to firefighter turnout gear as a station uniform might also involve the positive effect of better wearer mobility. The use of compression-wear is considered an alternative option for a firefighter station uniform.

The Japanese firefighters had their own countermeasures that would improve wearer mobility when they working at the fire scene with firefighting turnout gear (Son et al., 2013). They answered that changing a firefighter jacket and pants, and station uniform for their preference fit, using compression wear, and so on. However, the studies related to the evaluation of those countermeasures for improving wearer mobility were not performed sufficiently. It was also pointed out that the current station uniform is inferior in wearer mobility since its low elasticity. Therefore, improvement project regarding firefighter station uniform has been processing (Fire prevention news, 2018). The firefighter station uniform typically should have worn under the firefighter jacket and pants as the inner layer (Park & Langseth-Schmidt, 2016), the increase of friction caused by multiple layers of station uniform with firefighter jacket and pants burdens the firefighters’ movement (Son et al., 2010).

The aim of this study was to analyze and compare the wearer mobilities of different types of clothing; further, the possibility for developing firefighter station uniforms using ROM and EMG information was suggested with focus on improving wearer mobility.

. طبق یک مطالعه قبلی پرسشنامه (سون و همکاران ، 2013) ، آتش نشانان ژاپنی برای مزایای تحرک پوشیدنی خود از لباس فشرده سازی استفاده می کردند. فشرده سازی برای بهبود عملکرد عضلات به طور گسترده در زمینه های ورزش و توانبخشی استفاده می شود. لباس های فشرده سازی از پارچه های کاربردی (تهیه کننده هایی مانند کشش ، مقاومت ، نفوذ پذیری ، مقاومت در برابر آب و غیره) و روش ضربه زدن Kinesio (فعال سازی عضلات و طراحی ارگونومی) استفاده می کنند. استفاده از سایش فشرده سازی در افزایش عملکرد عضلات برای کاربران مرد هنگام ورزش با شدت زیاد مؤثر است (Koo، 2011). اثرات سودمند ناشی از استفاده از سایش فشاری ، مانند پیشگیری از آسیب و تقویت عملکرد گزارش شده است (Argus، 2005؛ Doan et al.، 2003). ممکن است انتظار می رود که نه تنها اثرات فیزیولوژیکی ناشی از سایش فشرده سازی بلکه یک اثر دارونما روانشناختی باعث افزایش عملکرد ورزش شود. بنابراين ، ارزيابي كاربرد فشرده سازي به دنده هاي شركت آتش نشاني به عنوان يك لباس ثابت نيز مي تواند اثر مثبت تحرك بهتر پوشنده را در بر بگيرد. استفاده از لباس فشرده سازی گزینه ای جایگزین برای لباس ایستگاه آتش نشانی در نظر گرفته شده است.

آتش نشانان ژاپنی اقدامات متقابل خاص خود را داشتند که باعث می شود هنگام کار در صحنه آتش نشانی با وسایل مشارکت آتش نشانی مشغول به کار باشند و تحرک آنها را بهبود بخشد (Son et al.، 2013). آنها پاسخ دادند كه تعویض یك كفش و شلوار آتش نشان و یك ایستگاه به دلیل ترجیح آنها ، استفاده از سایش فشاری و غیره. با این حال ، مطالعات مربوط به ارزیابی از آن اقدامات متقابل برای بهبود تحرک لباس به اندازه کافی انجام نشده است. همچنین خاطرنشان شد که لباس ایستگاه فعلی از نظر کشش پایین از تحرک پوشیدنی پایین تر است. بنابراین ، پروژه بهسازی در مورد لباس ایستگاه آتش نشانی در حال پردازش است (اخبار جلوگیری از آتش سوزی ، 2018). یکنواخت ایستگاه آتش نشانی به طور معمول باید زیر ژاکت آتش نشان و شلوار پوشیده شود زیرا لایه داخلی (Park & ​​Langseth-Schmidt، 2016) ، افزایش اصطکاک ناشی از لایه های چندگانه یکنواخت ایستگاه با ژاکت آتش نشانی و شلوار را تحت تأثیر قرار می دهد. سون و همکاران ، 2010).

هدف از این مطالعه ، تحلیل و مقایسه تحرکات پوشیدنی انواع مختلف لباس بود. علاوه بر این ، امکان توسعه لباس ایستگاه های آتش نشان با استفاده از اطلاعات ROM و EMG با تمرکز بر بهبود تحرک پوشیدگان پیشنهاد شده است.

# Methods

## Subjects and anthropometric data

Basic data was collected for the nine healthy male students that participated in this study as subjects: (M(SD): Age 26 (1) yr, Height 174 (2.8) cm, Weight/Mass 67.3 (4.5) kg, Body fat 18.9 (2.8) %). All subjects were functionally right-handed. Before they participated in the experiments, the details of the experiments and recording processes were explained to the subjects. Body fat was automatically calculated using a bioelectrical impendence analyzer and digital weight scale (KARADA Scan 362, HBF-362). This experimental protocol was approved by the Institutional Review Board of the Kyushu University.

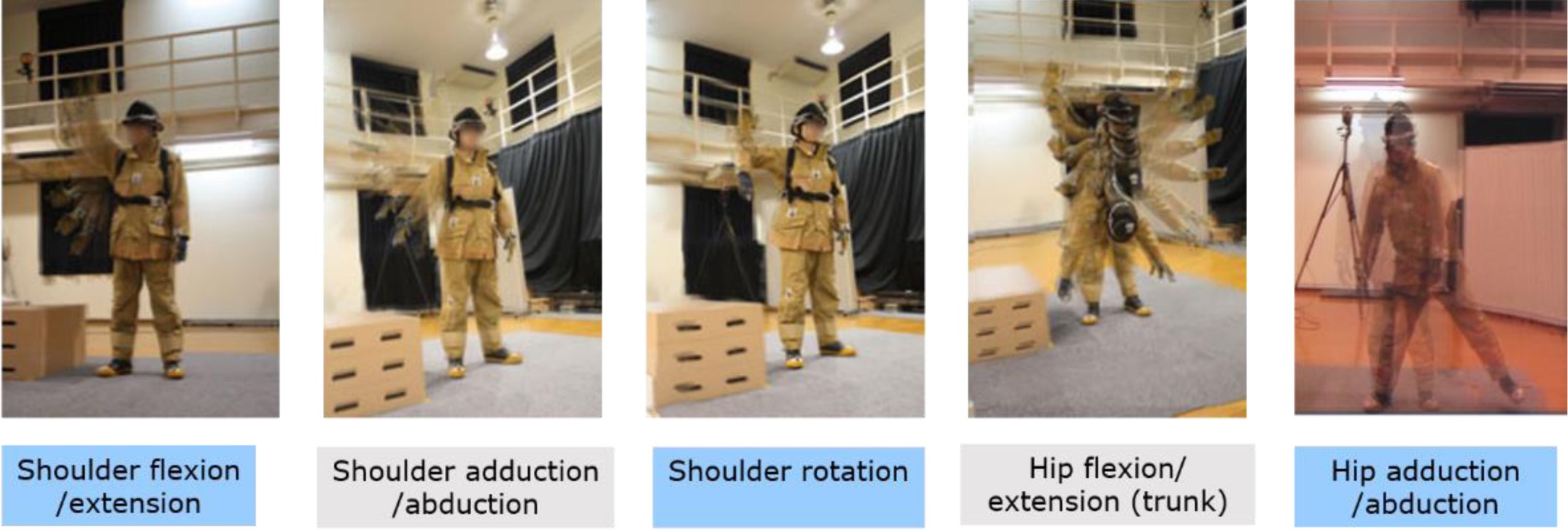
## Experimental ensembles

Three clothing conditions were created for this experiment (Fig. 1) and were labelled UNI, ST, and CP. For the UNI condition, the subjects wore firefighter turnout gear (3 kg) with personal protection equipment that consisted of self-contained breathing apparatus (SCBA, 11.0 kg), helmet (1 kg), boots (2.2 kg), gloves (0.1 kg), and belt (0.1 kg). As used in Japan, there was also underwear (0.1 kg) and Japanese station uniforms (short sleeved undershirt and long trousers, 0.4 kg). For the ST condition, subjects wore firefighter turnout gear, SCBA, helmet, boots, gloves, belt, underwear, socks, and stretch-wear (short sleeves shirts and long trousers from ®Wacoal, 0.3 kg). For the CP condition, subjects wore firefighter turnout gear, SCBA, helmet, boots, gloves, belt, underwear, socks and compression wear (long sleeves tops and long tights from ®Skins, 0.2 kg). Three measurements of each clothing condition were performed on same day, randomly. The present study primarily focused on the ergonomic analysis and comparison of wearer mobility, and not on proposing the prototype station uniform. Therefore, existing manufactured goods were chosen for ST and CT as a firefighter station uniform.

## Data collection and processing

This study was conducted using a 3D motion Analysis system. Joint-angle and surface EMG data were obtained for the calculation of ROM and percent maximum voluntary contraction (%MVC). Infrared reflective markers (26) and a motion analysis program were used for data collection. All of the markers were attached to the firefighter protective jacket and pants, helmet, gloves, and boots instead of to human skin. For analysis of the ROM data, a method was used that involved establishment of two vectors for the shoulder motions and hip joint motions. To obtain a ROM measure, an active joint angle had to be acquired.

Surface EMG sensors were placed at five muscle points: middle deltoids, biceps brachialis, triceps, rectus femoris, and semitendinosus. Subjects wore short pants and a sleeveless shirt during the measure of MVC. The MVC data were recorded five times and the three most consistent data were selected and used to calculate the average %MVC. The ROM and EMG data were acquired as absolute values; however, the aim of this experiment was to clarify the distinction between UNI and the other conditions. Therefore, all data was converted to relative values with the UNI condition as the



2. روشها

2.1. موضوعات و داده های آنتروپومتریک

داده های اصلی برای 9 دانش آموز پسر سالم که در این مطالعه به عنوان افراد شرکت کردند ، جمع آوری شد: (M (SD): سن 26 سال (1 سال) ، قد 174 (2.8) سانتی متر ، وزن / جرم 67.3 (4.5) کیلوگرم ، چربی بدن 18.9 (2.8)٪) همه افراد از لحاظ عملکردی دست راست بودند. قبل از شرکت در آزمایش ها ، جزئیات آزمایش ها و فرآیندهای ضبط برای افراد توضیح داده شد. چربی بدن به طور خودکار با استفاده از آنالایزر مقاومت به بیوالکتریک و مقیاس وزن دیجیتال (KARADA Scan 362، HBF-362) محاسبه شد. این پروتکل تجربی توسط هیئت بازنگری نهادی دانشگاه کیوشو تصویب شد.

2.2. گروههای آزمایشی

سه شرط لباس برای این آزمایش ایجاد شده است (شکل 1) و دارای برچسب UNI ، ST و CP هستند. برای شرایط UNI ، افراد مشکوک به تجهیزات آتش نشانی (3 کیلوگرم) با تجهیزات محافظت شخصی که شامل دستگاه تنفس خودران (SCBA ، 11.0 کیلوگرم) ، کلاه ایمنی (1 کیلوگرم) ، چکمه (2.2 کیلوگرم) ، دستکش (0.1 کیلوگرم) بود ، پوشیدند ) ، و کمربند (0.1 کیلوگرم). همانطور که در ژاپن استفاده می شد ، لباس زیر (0.1 کیلوگرم) و لباس ایستگاه ژاپنی نیز وجود داشت (لباس زیر آستین کوتاه و شلوار بلند ، 0.4 کیلوگرم). برای شرایط ST ، افراد مشمول مشارکت آتش نشانی ، SCBA ، کلاه ایمنی ، چکمه ، دستکش ، کمربند ، لباس زیر ، جوراب و لباس کششی (پیراهن آستین کوتاه و شلوار بلند از ®Wacoal ، 0.3 کیلوگرم) بودند. برای شرایط CP ، افراد مشمول مشارکت آتش نشانی ، SCBA ، کلاه ایمنی ، چکمه ، دستکش ، کمربند ، لباس زیر ، جوراب و لباس فشرده سازی بودند (تاپ آستین بلند و لباس تنگ از kinsSkins ، 0.2 کیلوگرم). سه اندازه گیری از هر شرایط لباس در همان روز ، به طور تصادفی انجام شد. مطالعه حاضر در درجه اول بر روی تجزیه و تحلیل ارگونومیک و مقایسه تحرک پوشنده متمرکز شده است ، و نه بر ارائه لباس ایستگاه نمونه اولیه. بنابراین کالاهای تولیدی موجود برای ST و CT بعنوان لباس ایستگاه آتش نشانی انتخاب شدند.

2.3 جمع آوری و پردازش داده ها

 این مطالعه با استفاده از سیستم تحلیل حرکت سه بعدی انجام شد. داده های زاویه مشترک و سطح EMG برای محاسبه ROM و درصد حداکثر انقباض داوطلبانه (٪ MVC) بدست آمد. برای جمع آوری داده ها از نشانگرهای بازتاب دهنده مادون قرمز (26) و یک برنامه تحلیل حرکت استفاده شد. همه نشانگرها بجای پوست انسان به جلیقه و شلوارهای محافظ آتش نشانی ، کلاه ایمنی ، دستکش و چکمه متصل شدند. برای تجزیه و تحلیل داده های ROM از روشی استفاده شد که شامل ایجاد دو بردار برای حرکات شانه و حرکات مفصل ران است. برای به دست آوردن یک اندازه گیری ROM ، زاویه مفصل فعال باید به دست می آمد.

سنسورهای سطح EMG در پنج نقطه عضلانی قرار گرفتند: دلوئیدهای میانی ، دو سر بریشیال ، عضله سه سر ، مفصل ران و شکاف عضله. افراد در هنگام اندازه گیری MVC از شلوار کوتاه و پیراهن آستین بلند استفاده می کردند. داده های MVC پنج بار ثبت شده و سه داده ثابت ترین انتخاب و برای محاسبه میانگین MVC٪ استفاده شده است. داده های ROM و EMG به عنوان مقادیر مطلق بدست آمد. با این حال ، هدف از این آزمایش مشخص کردن تمایز بین UNI و سایر شرایط بود. بنابراین ، تمام داده ها با شرایط UNI به عنوان مقادیر نسبی تبدیل شدند

Fig. 1. The five experimental motions studied.

Table 1. Photographs and detail information of each clothing condition

The detail information used the L size of each clothing as a criterion.

baseline (the UNI value was 100 %). After measuring five motions, subjects answered a set of questionnaires. The questionnaires used were the same as those used by Son et al.(2010). A part was added about the donning and doffing. The questionnaires were constructed with two parts: wearer mobility and wearing comfort. The mobility section included nine inquiries about the head & neck, arms, elbows, wrists, waist, thighs, knees, ankles, and hip & pelvis. For these subjective responses, a seven point scale was used. The questionnaire for the wearer comfort section included eight questions: Fit - How does the clothing fit?, Bending body- How well can you bend your body with this ensemble?, Moving well- How about the mobility of movement in this ensemble? Was it comfortable?, Moving feet- How well can you lift your legs?, Moving arms: How well can you lift your arms?, Bulky- How about your thinking? Was this ensemble bulky?, Heavy- How about your thinking? Was this ensemble heavy?, Donning and doffing- How did you feel the donning and doffing of this ensemble?. A seven point scale was also used for the subjective evaluation of the wearing comfort. Participant responses closer to one indicated that the subject perceived discomfort and difficulty in moving. Conversely, a score closer to seven indicated greater comfort and ease of movement.

## Procedures

The experiments were conducted at the Experimental House for Living Space Design at Kyushu University (Fukuoka, Japan) during summer. The experimental conditions were maintained at 26 oC and 50 % RH. Three measurements of each clothing condition were performed on the same day and the execution sequence of clothing conditions was random. Participants were asked to perform five motions: shoulder flexion/extension, shoulder adduction/ abduction, shoulder rotation, hip flexion/extension (trunk), and hip adduction (Fig. 1). The participants came to the experimental location, and then had some time to relax and adapt to the experimental environment. In advance of starting to measure the experimental motions, the MVC tests were performed. After the MVC tests, the subjects wore the experimental ensembles and the firefighter turnout gear to which were attached the 26 infrared markers. Participants practiced two cycles of experimental motions. An audial metronome set at 70 beats per minute (BPM) was used to synchronize the speed of motion performance and decrease difference among individuals. Participants were asked the posing three times per one experimental motion. The mean values of those three data were used for analysis of ROM and %MVC. After the motions were performed, subjective evaluations of the mobility and wearing comfort were obtained from each subject. Every participant was asked to answer the subjective evaluation every time they finished a different clothing condition.

شکل 1. پنج حرکت آزمایشی مورد مطالعه.

جدول 1. عکس ها و اطلاعات دقیق از هر شرایط لباس

اطلاعات جزئیات از اندازه L هر لباس به عنوان معیار استفاده می کردند.

سطح پایه (مقدار UNI 100٪ بود). پس از اندازه گیری 5 حرکت ، افراد به مجموعه ای از پرسشنامه ها پاسخ دادند. پرسشنامه استفاده شده همان سؤالات مورد استفاده Son و همکاران (2010) بود. بخشی در مورد دون و دفن اضافه شد. پرسشنامه‌ها با دو بخش ساخته شد: تحرک پوشیدنی و راحتی پوشیدن. بخش تحرک شامل نه سؤال درباره سر و گردن ، بازوها ، آرنج ، مچ ، کمر ، ران ، زانو ، مچ پا و لگن و لگن بود. برای این پاسخهای ذهنی از مقیاس هفت نقطه ای استفاده شد. پرسشنامه بخش راحتی پوشاک شامل هشت سؤال بود: متناسب بودن - لباس چگونه مناسب است ؟، بدن خمشی- چقدر می توانید بدن خود را با این گروه خم کنید؟ راحت بود ؟، پاهای متحرک- چقدر می توانید پاهای خود را بلند کنید؟ ، بازوهای متحرک: چقدر می توانید بازوهای خود را بلند کنید؟ ، حجیم - در مورد فکر شما چطور؟ آیا این گروه سنگین بوده است؟ ، سنگین - در مورد فکر شما چطور؟ آیا این گروه سنگین بود؟ همچنین از یک مقیاس هفت نقطه ای برای ارزیابی ذهنی راحتی پوشیدن استفاده شد. پاسخ های شرکت کنندگان نزدیکتر به یکی نشان داد که موضوع احساس ناراحتی و مشکل در حرکت می کند. در مقابل ، نمره نزدیک به هفت نشانگر راحتی بیشتر و سهولت در حرکت است.

2.4 رویه ها

این آزمایشات در تابستان در خانه تجربی برای طراحی فضای زندگی در دانشگاه کیوشو (فوکووکا ، ژاپن) انجام شد. شرایط آزمایش در دمای 26 درجه سانتیگراد و 50٪ RH حفظ شد. سه اندازه گیری از هر شرایط لباس در همان روز انجام شد و توالی اجرای شرایط لباس تصادفی بود. از شركت كنندگان خواسته شد كه پنج حكم را انجام دهند: خميدن شانه / پسوند ، اضافه كردن شانه / آدم ربايي ، چرخش شانه ، انعطاف پذيري / پسوند لگن (تنه) و تجويز مفصل ران (شكل 1). شرکت کنندگان به مکان آزمایشی آمدند ، و سپس مدتی برای استراحت و سازگاری با محیط آزمایشی داشتند. قبل از شروع اندازه گیری حرکات آزمایشی ، آزمایشات MVC انجام شد. پس از آزمایش MVC ، افراد گروههای آزمایشی و تجهیزات آتش نشانی را که 26 نشانگر مادون قرمز به آنها وصل شده بودند ، پوشیدند. شرکت کنندگان دو چرخه حرکات آزمایشی را تمرین کردند. برای همگام سازی سرعت عملکرد حرکتی و کاهش اختلاف بین افراد از مترونوم شنیداری 70 ضربه در دقیقه (BPM) استفاده شد. از شرکت کنندگان خواسته شد که سه بار در هر حرکت آزمایشی مطرح کنند. میانگین مقادیر این سه داده برای تجزیه و تحلیل ROM و٪ MVC استفاده شد. پس از انجام حرکات ، ارزیابی های ذهنی از تحرک و راحتی لباس پوشیدن از هر آزمودنی بدست آمد. از هر شرکت کننده خواسته می شد هر بار که شرایط لباس متفاوت را تمام کرد ، به ارزیابی ذهنی پاسخ دهد.

## Statistical analysis

Statistical analysis was undertaken using the Statistical Package for the Social Science (SPSS version 17.0). The effects by means of uniform material differences to ROM and %MVC were examined using one-way analysis of variance (ANOVA). A nonparametric test (Kruskale–Wallis test) was used to analyze the subjective evaluation results. Tukey post-hoc tests were used to assess significant main effects using ANOVA. Statistical significance was set at p<.05.

# Results and discussion

## Range of motion

In this experiment, the ROM results for the ST and CP condi-

Table 2. Summary of the ROM data

tions did not reveal any striking differences from the UNI condition. The ROM results of the three conditions were compared, for which the UNI condition was established as the control. The ROM results for all motions and the values of relative increase are summarized in Table 2. All data were converted to relative values with the UNI condition as the baseline (the relative value of the UNI condition was 100 %). Except for the shoulder flexion/extension, most of the ROM values for the ST and CP conditions were higher than for the UNI condition. For three of the five motions (shoulder adduction/abduction, hip flexion/extension (trunk), and hip adduction/abduction) the ST and CP results were significantly higher than for the UNI condition. Fig. 2 shows the time course graph of the shoulder adduction/abduction and hip flexion/extension (trunk). As shown the Table 2, the relative values of ROM were greater for the ST and CP conditions than for the UNI condition. All the motion results for the ST and CP conditions were 6.8 % and 7.2 % higher, respectively, than for the UNI condition. According this

3. نتایج و بحث

3.1 دامنه حرکت

در این آزمایش ، ROM برای شرایط ST و CP نتایج

جدول 2. خلاصه داده های ROM

روابط هیچ اختلاف چشمگیری از شرایط UNI نشان نداد. نتایج ROM از سه شرط مقایسه شد ، که برای آن شرط UNI به عنوان شاهد تعیین شد. نتایج ROM برای کلیه حرکات و مقادیر افزایش نسبی در جدول 2 خلاصه می شود. کلیه داده ها به عنوان مبدأ به مقادیر نسبی با شرایط UNI تبدیل شدند (مقدار نسبی شرط UNI 100٪ بود). به غیر از خمش / پسوند شانه ، بیشتر مقادیر ROM برای شرایط ST و CP بالاتر از شرایط UNI بود. برای سه مورد از پنج حرکات (افزونه / ربودن شانه ، خم شدن لگن / پسوند (تنه) و تجویز مفصل ران / آدم ربایی) نتایج ST و CP به طور قابل توجهی بالاتر از شرایط UNI بود. شکل 2 نمودار دوره زمانی افزونه / ربودن شانه و انعطاف پذیری لگن / پسوند (تنه) را نشان می دهد. همانطور که در جدول 2 نشان داده شده است ، مقادیر نسبی ROM برای شرایط ST و CP نسبت به شرایط UNI بیشتر بود. تمام نتایج حرکتی برای شرایط ST و CP به ترتیب 6.8٪ و 7.2٪ بالاتر از شرایط UNI بود. طبق این

and CP) had similar effects.

For the shoulder flexion/extension, the UNI condition had the highest ROM value compared to the ST and CP conditions. The ROM variation from that of UNI was observed to be lowest in the ST condition. However, there were no significant differences. For this motion, the right arm was located upwards as far as possible (shoulder flexion) and pushed backwards as far as possible (shoulder extension). For the flexion section, the variation of ROM had similar values among the three conditions (UNI: 32.7±13.3º, ST: 27.7±13.0º, CP: 31.6±11.4º). Also, similar variation of ROM was found for the shoulder extension section (UNI: 132.3±23.3 degree, ST: 138.4±21.6º, CP: 130.8±18.3º). For the results of shoulder flexion/extension, the UNI condition had the most increased ROM value. In the experimental ensemble, the elements of shirts design (e.g., short sleeve and round neckline) had differences among the three conditions. The uniform shirt (UNI condition) had the widest armholes and sleeve circumference. From those design elements, it was considered that the ROM result of the UNI condition was higher than the other conditions for shoulder flexion/extension. This was based on the opinion that a wider armhole increased the ease of clothing and thereby, the ROM (Huck, 1991; Kim, 2009).

For the shoulder adduction/abduction, the results for the ST and CP conditions were significantly higher than for the UNI condition (p<.05). Relative to that for UNI, the ROM increased 8.9 % and 7.5 % with stretch-wear and compression-wear, respectively (Table 2). Time course result of shoulder adduction/abduction revealed minuscule differences until 40 % of the cycle phase (Fig. 3). After 40 %, the variation of values in the ST and CP conditions show intense increase in the ROM. From 80 % of motion performance time to 100 %, the results for the UNI condition are significantly lower than for the other conditions (p<.05). For the shoulder adduction/abduction, the right arm was at shoulder height in the 40 % motions. After 40 %, in other words, when the right arm was raised up more than 90 degrees, significant differences among the three materials were revealed in the ROM results. In this motion, the values of the stretch-wear (ST) and compression-wear (CP) were higher than for the normal station uniform (UNI). It is concluded that the materials with softer tactile sensations (stretch and compression wear) increased arm mobility. Moreover, the fitted sleeve of the undershirt design for ST and decline of frictional resistance due to the skintight clothing design for CT, might lead to increase in ROM (Doan et al., 2003; Im et al., 2011). Due to the results of the shoulder motions, it was regarded that the circumference of the armhole and sleeve had influence on the shoulder flexion/extension. In contrast, differences in the materials were more effective for allowing greater ease in raising the arm on the frontal plane, as in shoulder adduction/abduction. The significant differences in the ROM according to the three conditions were not shown for shoulder rotation, despite that ROM was relatively increased when participants wore stretch-wear and compression-wear (8.9 % and 7.5 %).

For the hip flexion/extension (trunk), the ROM results for the ST and CP conditions were significantly higher than for the UNI condition (p<.05): 8.1 % and 8.8 %, respectively. Fig. 2 indicated the time course graph of the UNI, ST, and CP conditions for hip flexion/extension (trunk). From the time of 20 % of motion, the ROM variation values of the ST and CP conditions increased more extremely than did the UNI rate. After 60 % of motion, the UNI condition was significantly lower than for the ST and CP conditions. The 60 % point was when a subject bent his upper body forward at 90 degrees. For the three kinds of experimental clothing, the ease of clothing had different values even when the size was the same. The ease of clothing value of the ST and CP condition was lower than that of the UNI condition, because of the fitted design. Compression wear had the least ease of clothing value. Ease of clothing is necessary for the comfort and thermal insulation of the wearer; however, too much of it can occasionally interfere with the wearer mobility (Yamato et al., 2010). In cases of too much ease of clothing, when the upper body bent forward, multiple layers were formed. Those multiple layers caused the reduction of ROM. Therefore, it was considered that the slightly fitted undershirt which is worn under the firefighter turnout gear is required for the trunk. The ROM data for hip adduction/abduction had trends similar to that of hip flexion/extension (trunk). When the participants wore compression-wear, the ROM was significantly higher than for the UNI condition; however, there was no significant difference between UNI and ST conditions.

و CP) اثرات مشابهی داشت.

برای انعطاف پذیری / پسوند شانه ، شرایط UNI بالاترین مقدار ROM را نسبت به شرایط ST و CP داشت. تغییرات ROM از UNI در شرایط ST کمترین مشاهده شد. با این حال ، تفاوت معنی داری وجود ندارد. برای این حرکت ، بازوی سمت راست تا آنجا که ممکن بود (خم شدن شانه) قرار داشت و تا آنجا که ممکن است به عقب رانده شد (کشش شانه). برای بخش خمشی ، تغییرات ROM دارای مقادیر مشابهی در بین سه شرط بود (UNI: 3/13 º 32.7 º ، ST: 13.0 ± 27.7 ، CP: 11.4 ± 31.6 º). همچنین ، تنوع مشابهی از ROM برای بخش پسوند شانه یافت شد (UNI: 3/23 degree 3/132 درجه ، ST: 6/21 º 138.4 ، CP: 18.3 ± 130.8 º). برای نتایج خمش / پسوند شانه ، شرایط UNI بیشترین مقدار ROM را داشت. در گروه آزمایشی ، عناصر طراحی پیراهن (به عنوان مثال ، آستین کوتاه و گردنبند گرد) بین سه شرط تفاوت داشتند. پیراهن یکنواخت (شرط UNI) وسیع ترین بازوها و دور آستین را داشت. از بین این عناصر طراحی ، در نظر گرفته شد که نتیجه ROM از شرایط UNI بالاتر از سایر شرایط برای خمش / پسوند شانه است. این بر اساس این عقیده بود که یک بازوی وسیع تر سهولت لباس را افزایش می داد و از این طریق ، ROM (هوک ، 1991 ؛ کیم ، 2009).

برای اعتیاد / ربودن شانه ، نتایج مربوط به شرایط ST و CP به طور قابل توجهی بالاتر از شرایط UNI بود (P <0.05). نسبت به آن برای UNI ، ROM به ترتیب با 8.9 and و 7.5 with با کشش و فشردن پوشیدن افزایش یافته است (جدول 2). نتیجه دوره زمان اضافه شدن شانه / آدم ربایی اختلاف معقول تا 40٪ مرحله چرخه را نشان داد (شکل 3). پس از 40٪ ، تغییر مقادیر در شرایط ST و CP افزایش شدید در ROM را نشان می دهد. از 80٪ زمان عملکرد حرکتی تا 100٪ ، نتایج برای شرایط UNI به طور قابل توجهی پایین تر از سایر شرایط است (05 / 0P <). برای اعتیاد به شانه / آدم ربایی ، در حرکات 40٪ بازوی راست در ارتفاع شانه بود. بعد از 40٪ ، به عبارت دیگر ، هنگامی که بازوی راست بیش از 90 درجه بالا آمد ، اختلاف معنی داری بین سه ماده در نتایج ROM نشان داد. در این حرکت ، مقادیر کشش (ST) و فشرده سازی (CP) سایش (CP) بالاتر از لباس ایستگاه معمولی (UNI) بود. نتیجه گیری شده است که مواد با احساس لمس نرم تر (کشش و سایش فشرده سازی) باعث افزایش تحرک بازو می شوند. علاوه بر این ، آستین مناسب طراحی زیر شلوار برای ST و کاهش مقاومت در برابر اصطکاک به دلیل طراحی لباس پوشاک برای CT ، ممکن است منجر به افزایش ROM شود (Doan et al.، 2003؛ Im et al.، 2011). با توجه به نتایج حرکات شانه ، در نظر گرفته شد که محیط بازو و آستین در خمش / پسوند شانه تأثیر داشته است. در مقابل ، تفاوت در مواد برای سهولت بیشتر در بالا بردن بازو در صفحه جلو ، همانطور که در افزونه / ربودن شانه ، موثرتر بود. تفاوت معنی داری در ROM با توجه به سه شرط برای چرخش شانه نشان داده نشده است ، با وجود این که ROM وقتی شرکت کنندگان لباس کششی و فشرده سازی پوشیدند (8.9 8. و 5.5) نسبتا افزایش یافته است.

برای خم شدن لگن / پسوند (تنه) ، نتایج ROM برای شرایط ST و CP به طور قابل توجهی بالاتر از شرایط UNI بود (P <0.05): به ترتیب 8.1٪ و 8.8٪. شکل 2 نمودار دوره زمانی UNI ، ST و CP را برای انعطاف پذیری / پسوند لگن (تنه) نشان می دهد. از زمان 20٪ حرکت ، مقادیر تغییرات ROM از شرایط ST و CP بسیار شدیدتر از میزان UNI افزایش یافته است. پس از 60 درصد حرکت ، شرایط UNI به طور قابل توجهی پایین تر از شرایط ST و CP بود. 60٪ امتیاز زمانی بود که یک فرد بدن بالای بدن خود را به 90 درجه خم کرد. برای سه نوع لباس آزمایشی ، سهولت لباس حتی وقتی اندازه یکسان بود ، مقادیر مختلفی داشت. سهولت ارزش لباس شرایط ST و CP پایین تر از شرایط UNI بود زیرا به دلیل طراحی مناسب. سایش فشرده سازی کمترین میزان سهم لباس را داشت. سهولت لباس برای راحتی و عایق بندی حرارتی پوشنده ضروری است. با این حال ، بیش از حد آن گاه به گاه در تحرک پوشنده دخالت می کند (Yamato و همکاران ، 2010). در موارد راحتی بیش از حد لباس ، هنگامی که بدن فوقانی خم شده به جلو ، چند لایه تشکیل شد. این لایه های متعدد باعث کاهش ROM شد. بنابراین ، در نظر گرفته شد که زیر لباس زیر اندکی که زیر دنده مشعل آتش نشانی پوشیده شده است برای تنه لازم است. داده های ROM برای اعتیاد و ربودن باسن روند مشابهی با خمش / پسوند لگن (تنه) داشتند. هنگامی که شرکت کنندگان پوشیدند فشرده سازی ، ROM به طور قابل توجهی بالاتر از شرایط UNI بود. با این حال ، تفاوت معنی داری بین شرایط UNI و ST وجود ندارد.

The ROM result considered how the different designs, materials, and functions of station uniform affect wearer mobility. The stretch-wear and compression-wear will have positive effects on mobility, especially when fulling up the arm and bending or folding at the waist.

## Percent MVC determined using electromyography

All the experimental motions were performed in the standing position. Therefore, the EMG results showed no noticeable differences for the lower body muscles. Fig. 3 shows the EMG results for the upper muscles during the three shoulder motions. Table 3 indicates the percent MVC of the upper body muscles during the shoulder motions.

For the shoulder flexion/extension and shoulder rotation, the UNI condition had a slightly higher %MVC value than for the ST and CP conditions. However, differences in the results for the shoulder joint motions showed no statistical significance. Moreover, no trends in muscle reaction were demonstrated for the different uniform materials and designs.

Table 3. Percent MVC results\* for shoulder motions

According to Ishigaki and Inomata (2007), the EMG amplitude decreased in clothing of stretch material and this was reported many times by the younger subjects. However, in the present stretch-wear group, EMG was similar or slightly decreased. This was due to decrement of muscle activity according to the decreased ROM for the non-stretch clothing (UNI). It was considered that the variation of ROM increased in the stretch-wear condition and that the experimental motions were too static for effective analysis of EMG. Nakahashi and Yoshida (1997) described how mobility when wearing clothing was affected by the material, ease of clothing, and design. For an experiment with cotton jeans and training pants, there were differences of amplitude when comparing two conditions. The cotton jeans had ease of clothing close to zero. In contrast, training pants had sufficient ease of clothing even though the size of clothing used in the two conditions was the same.

The compression-wear was expected to provide an improvement in wearer mobility according to its softness and function. The effects of compression-wear, such as injury prevention and performance enhancement, have been reported many times (Argus, 2005; Doan et al., 2003). Doan et al.(2003) reported that the skin temperature warm-up speed increased more and at a faster rate when wearing compression shorts. Moreover, muscle oscillation decreased significantly in jump-and-landing exercise. The time to reach the muscle warm-up temperature was also decreased when the compression-wear was on. It was described that wearing fitted compression shorts might have an effect on long-jump distances. The lower-body compression garment might provide benefit in terms of reduced tissue injury and enhanced performance in jump exercises (Doan et al., 2003). Born et al.(2014) reported increased exercise performance and improved muscle activity due to the use of compression-wear. Reduced EMG with compression-wear was also mentioned (Koo, 2011). Moreover, Tamura (2004) mentioned that compression clothing or compressive belts decreased the burdens of wearers. In active exercise, muscle activity decreased with compression-wear compared to without it. On the other hand, increase in EMG was reported in passive exercise. In this study, those physiological effects were not demonstrated, and compression-wear showed results similar to those with stretchwear. The present result of personal EMG data had wide variation in each condition. Accordingly, the analysis of muscle activity was difficult in the shoulder motions: flexion, extension, rotation, adduction, and abduction. The unrecognized burden or fatigue due to wearing 20 kg of firefighter turnout gear and equipment influenced wearer mobility, as indicated by measures such as ROM and EMG.

نتیجه ROM در نظر گرفت که چگونه طرح های مختلف ، مواد و عملکرد لباس ایستگاه بر تحرک پوشیدگان تأثیر می گذارد. کشیدگی و فشردگی ، تأثیرات مثبتی بر تحرک خواهد داشت ، به خصوص هنگام پر کردن بازو و خم شدن یا تاشو در کمر.

3.2 MVC درصد با استفاده از الکترومیوگرافی تعیین می شود

تمام حرکات آزمایشی در حالت ایستاده انجام شد. بنابراین ، نتایج EMG اختلاف معنی داری را برای عضلات تحتانی بدن نشان نداد. شکل 3 نتایج EMG را برای عضلات فوقانی در طی سه حرکت شانه نشان می دهد. در جدول 3 درصد MVC عضلات بالای بدن در حین حرکت شانه نشان داده شده است.

برای خمش / پسوند و چرخش شانه ، شرایط UNI مقدار MVC کمی بالاتر از شرایط ST و CP داشت. با این حال ، تفاوت در نتایج مربوط به حرکات مفصل شانه معنی داری آماری نشان نداد. علاوه بر این ، هیچ روند در واکنش عضلات برای مواد و طرح های مختلف یکنواخت نشان داده شد.

جدول 3. نتایج MVC درصد \* برای حرکات شانه

به گفته ایشیگاکی و اینوماتا (2007) دامنه EMG در لباس مواد کششی کاهش یافته و این مورد بارها توسط افراد جوان گزارش شده است. با این حال ، در گروه کشش فعلی ، EMG مشابه بود یا کمی کاهش یافته است. این امر به دلیل کاهش فعالیت عضلات با توجه به کاهش ROM در لباسهای بدون کشش (UNI) بود. در نظر گرفته شد که تغییرات ROM در شرایط کشیدگی افزایش یافته و حرکات آزمایشی برای تجزیه و تحلیل مؤثر EMG بسیار استاتیک هستند. ناکاهاشی و یوشیدا (1997) توضیح دادند که چگونه تحرک هنگام پوشیدن لباس تحت تأثیر مواد ، سهولت لباس و طراحی قرار می گیرد. برای آزمایش با شلوار جین پنبه ای و شلوار تمرینی ، اختلاف دامنه هنگام مقایسه دو شرط وجود دارد. شلوار جین پنبه ای سهولت لباس نزدیک به صفر داشت. در مقابل ، شلوار آموزش سهولت کافی در لباس را داشت حتی اگر اندازه لباس مورد استفاده در دو شرط یکسان باشد.

فشرده سازی سایش انتظار می رود با توجه به نرمی و عملکرد آن ، بهبودی در تحرک پوشیدگان ایجاد کند. اثرات ساییدگی فشرده سازی ، مانند جلوگیری از آسیب دیدگی و تقویت عملکرد ، بارها گزارش شده است (Argus، 2005؛ Doan et al.، 2003). دوان و همكاران (2003) گزارش دادند كه سرعت گرم شدن دمای پوست هنگام پوشیدن شورت فشرده سازی بیشتر و با سرعت بیشتری افزایش یافته است. علاوه بر این ، نوسانات عضلات در ورزش پرش و فرود به طور قابل توجهی کاهش یافته است. زمان رسیدن به دمای گرم شدن عضلات نیز هنگامی که فشردگی پوشانده شد کاهش یافت. توصیف شده است که پوشیدن شورت فشرده سازی مناسب ممکن است در مسافت های پرش تأثیر داشته باشد. پوشاک فشرده سازی بدنه پایین از نظر کاهش آسیب بافتی و عملکرد بهتر در تمرینات پرش می تواند سودمند باشد (Doan et al.، 2003). بورن و همکاران (2014) از افزایش عملکرد ورزش و بهبود فعالیت عضلات به دلیل استفاده از سایش فشرده سازی گزارش دادند. EMG کاهش یافته با فشرده سازی نیز ذکر شد (Koo، 2011). علاوه بر این ، تامورا (2004) ذکر کرد که لباس های فشرده سازی یا کمربندهای فشاری باعث کاهش بار پوشیدگان می شوند. در ورزش فعال ، فعالیت عضلانی با ساییدگی فشاری نسبت به بدون آن کاهش یافته است. از طرف دیگر ، افزایش فعالیت EMG در ورزش منفعل گزارش شده است. در این مطالعه ، آن اثرات فیزیولوژیکی به اثبات نرسید ، و سایش فشرده سازی نتایج مشابه با کفش های کششی را نشان داد. نتیجه فعلی داده های EMG شخصی در هر شرایط تنوع گسترده ای داشت. بر این اساس ، تحلیل فعالیت عضلات در حرکات شانه دشوار بود: خم شدن ، پسوند ، چرخش ، جمع شدن و آدم ربایی. بار یا خستگی ناشناخته ناشی از پوشیدن 20 کیلوگرم تجهیزات و تجهیزات مشارکت آتش نشانان بر تحرک پوشیدگان تأثیر گذاشت ، همانطور که با اقداماتی مانند ROM و EMG نشان داده شده است.

## Subjective evaluation

For the subjective evaluation results for mobility, the CP condition (with a long sleeved fitted shirt and tights) had the highest value in most arrangements. In particular, participants felt high wearer mobility with compression-wear on arm, elbow, waist, and thigh. These results demonstrated that the soft fabric and fitted design of compression-wear improved the perception of greater wearer mobility. On the other hand, the UNI condition provided better mobility than the other two conditions did for the mobility of head and neck. For the wrists, the three conditions got similar evaluations of mobility. Overall, the CP condition had the lowest evaluations for head and neck, and wrists. Those low evaluation values of the CP condition were due to the long sleeves and a too tightly fitted neckline designed with a small hem. However, these differences in evaluation values were not significant (Fig. 4). For the perception of wearer mobility, participants responded that they did not feel good mobility with stretch-wear, but the ST condition had a slightly better evaluation for waist motion. It seems that the subjective evaluation of waist mobility reflected better ROM of hip flexion/extension (trunk).

The UNI condition had the lowest evaluation values in most of the wearing-comfort arrangements. The CP condition also had high

evaluations in most arrangements except “wearing”. The bottom graph in Figure 4 presents the results of subjective evaluation for wearing comfort. For some of the questions (fit, moving feet, moving arm, bulky, and heavy), the results of the UNI condition were significantly lower than for the other two conditions. In contrast, for the questions about changing the clothes (donning and doffing), the compression were worn in the CP condition had the lowest value. It was considered that CP condition have a skintight design for whole body such as long sleeves, and too fitted neckline which was designed a small hem. For the wearing comfort evaluations, the normal station uniform had the lowest values when compared with the other two conditions. The compression wear also had high values in most arrangements for wearing comfort. These results demonstrate why clothing of relatively rough fabrics and clothing with an ease of clothing factor that is too high, are not recommended.

The differences of uniform material had no obvious differences for the physical responses among these three conditions. However, this study verified that the softer the clothing material is, the more comfortable and easier to move wearer realized more comfortable and easier for movement. The differences of uniform design affected to the wearers’ subjective evaluations. Therefore, it is necessary to consider changing uniform fabrics and design to consider stretch ingredients; also it is important to change the uniform design to fitted to the body and to have an easy to move design. Those effects are likely to provide stability and satisfaction to the firefighters that wear them.

ارزیابی ذهنی

برای نتایج ارزیابی ذهنی برای تحرک ، شرایط CP (با پیراهن آستین بلند و جوراب شلواری) بالاترین ارزش را در بیشتر تنظیمات داشته است. به طور خاص ، شرکت کنندگان احساس تحرک پوشیدگی بالایی با سایش فشاری بر بازو ، آرنج ، کمر و ران داشتند. این نتایج نشان می دهد که پارچه نرم و طراحی متناسب از فشرده سازی ، درک تحرک پوشیدگی بیشتر را بهبود می بخشد. از طرف دیگر ، شرایط UNI تحرک بهتری نسبت به دو شرط دیگر برای تحرک سر و گردن فراهم کرده است. برای مچ دست ، سه شرط ارزیابی مشابهی از تحرک داشتند. به طور کلی ، وضعیت CP کمترین ارزیابی را برای سر و گردن و مچ داشت. این ارزش ارزیابی پایین از وضعیت CP ناشی از آستین های بلند و یک گردنبند خیلی تنگ است که با یک سجاف کوچک طراحی شده است. با این حال ، این اختلافات در مقادیر ارزیابی معنی دار نبود (شکل 4). برای درک تحرک پوشیدگان ، شرکت کنندگان پاسخ دادند که آنها تحرک خوبی با کشش ندارند ، اما شرایط ST ارزیابی کمی بهتر از حرکت کمر دارد. به نظر می رسد که ارزیابی ذهنی تحرک کمر ، بازتاب ROM بهتر از خمش / پسوند ران (تنه) را نشان می دهد.

 شرط UNI کمترین ارزش ارزیابی را در بیشتر شرایط راحتی پوشیدن داشت. شرایط CP نیز زیاد بود

ارزیابی ها در بیشتر تنظیمات به جز "پوشیدن". نمودار پایین در شکل 4 نتایج ارزیابی ذهنی را برای پوشیدن راحتی نشان می دهد. برای برخی از سؤالات (مناسب ، پاهای متحرک ، بازوی متحرک ، حجیم و سنگین) ، نتایج وضعیت UNI به طور قابل توجهی پایین تر از دو شرط دیگر بود. در مقابل ، برای سؤالاتی که در مورد تغییر لباس (دونینگ و doffing) وجود دارد ، فشرده سازی در شرایط CP پوشیده شده کمترین مقدار را داشت. در نظر گرفته شد كه شرايط CP براي كل بدن مانند آستين هاي بلند ، و گردنبند بسيار متناسبي كه براي يك سينك كوچك طراحي شده است ، از طراحي اسكينتيت استفاده مي كند. برای ارزیابی راحتی پوشیدن ، لباس فرم عادی در مقایسه با دو شرط دیگر کمترین مقدار را دارد. سایش فشرده سازی نیز در اکثر شرایط برای راحتی پوشیدن دارای مقادیر بالایی بود. این نتایج نشان می دهد که چرا لباس پارچه و لباس نسبتاً خشن با سهولت ضریب پوشاک که خیلی زیاد است ، توصیه نمی شود.

تفاوت مواد یکنواخت برای پاسخهای بدنی بین این سه شرط تفاوت واضح ندارد. با این حال ، این مطالعه تأیید کرد که هر چه مواد لباس نرم تر باشد ، راحت تر و راحت تر پوشیدن لباس می تواند راحت تر و راحت تر حرکت کند. تفاوت طراحی یکنواخت بر ارزیابی ذهنی پوشیدگان تأثیر دارد. بنابراین ، در نظر گرفتن تغییر پارچه های یکنواخت و طراحی در نظر گرفتن مواد کششی لازم است. همچنین مهم است که طراحی یکنواخت را متناسب با بدنه تغییر دهید و طراحی ساده ای داشته باشید. این اثرات به احتمال زیاد باعث ایجاد ثبات و رضایتمندی آتش نشانان آتش نشانی می شود.

# Conclusions

In this study, the focus was the comparison of effects on wearer mobility from different types of clothing of the station uniforms worn under firefighter turnout gear. The present study focused on the ergonomic analyzing and comparing the wearer mobility, not for proposing the prototype of station uniform. The main approach used in the study was to analyze wearer movements quantitatively using ROM and EMG. In addition, subjective evaluations of wearer mobility and comfort were performed for comparison.

Relative to the standard station uniform, ROM increased 6.8 % and 7.2 % using stretch-wear and compression-wear, respectively. It is concluded that ROM variations depend on design elements such as the ease of clothing, and the circumference of armholes and sleeves under different conditions. Wider armholes and sleeve circumference result in wider ROM at the shoulder flexion/ extension. This result was based on the opinion that wider armholes provided greater ease of clothing and increased ROM. Form most of the experimental motions, the ROM values of stretch-wear and compression-wear were higher than for the normal station uniform. The differences in materials made some more effective for raising the arms in the frontal plane. It is concluded that the materials that provide soft tactile sensation and compress the body, also increase arm mobility, and that the stretchwear and compression-wear will have positive effects on mobility. This is especially so when raising the arms in the frontal plane and with bending or folding of materials at the waist. The multiple layers of the firefighter turnout gear plus station uniform cause reduction of ROM. Therefore, relatively tight fit clothing is required for better wearer mobility. In the present study, no benefits from stretch-wear and compression-wear for improving muscle performance (such as reduced %MVC) were proven.

The differences between materials and designs influence subjective wearer comfort. Because the uniform made from stretchwear and compression-wear are soft and comfortable, those options are preferred over general station uniforms. In particular, compressionwear was found to be the best in terms of wearer comfort in the present experiment. Compression-wear may allow better wearer mobility for firefighters, resulting in more efficient performance during actual firefighting. For this reason, compression-wear is proposed as an alternative to the current general station uniforms.

There are some limitations to the present study. First, the wearer mobility depends on the type of clothing that is worn under the firefighter turnout gear. However, the manufactured goods were chosen for ergonomic analysis and comparison of wearer mobility, and each clothing condition was not fully controlled with respect to the design or materials used. Second, actual firefighting environment was not simulated in this study. Actual firefighting tasks in hot environments, especially during rescue activities and firefighter training, involve a wide range of shoulder motions, and improved muscle performance may be necessary. Therefore, the results of this study should be interpreted carefully only about wearer mobility, and the analysis of wearer mobility while doing active movements with a full set of firefighter turnout gear is required for future studies.

# Acknowledgements

Author would like to express thank to members of Environmental Ergonomics, Kyushu University for their technical and academic support.

4. نتیجه گیری

در این مطالعه ، تأثیر تأثیر بر تحرک لباس پوشیدن از انواع مختلف لباس لباس ایستگاه پوشیده شده در زیر چرخ های مشعل آتش نشانی مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه حاضر به تجزیه و تحلیل ارگونومیک و مقایسه تحرک پوشنده متمرکز شده است ، نه برای ارائه نمونه اولیه لباس ایستگاه. رویکرد اصلی مورد استفاده در مطالعه ، تجزیه و تحلیل حرکات پوشنده کمی با استفاده از ROM و EMG بود. علاوه بر این ، ارزیابی ذهنی از تحرک و راحتی استفاده کننده برای مقایسه انجام شد.

نسبت به لباس ایستگاه استاندارد ، ROM با 6.8٪ و 7.2٪ با استفاده از کشش و فشرده سازی ، افزایش یافته است. نتیجه گرفته می شود که تغییرات ROM به عناصر طراحی از جمله سهولت لباس و دور بازوها و آستین ها در شرایط مختلف بستگی دارد. بازوبندهای وسیع تر و دور آستین منجر به ROM گسترده تر در خمش / پسوند شانه می شود. این نتیجه بر اساس این عقیده بود که بازوهای بزرگتر سهولت بیشتری در لباس و افزایش ROM ایجاد می کردند. از اکثر حرکات آزمایشی ، مقادیر ROM کشش و فشردن پوشیدن بیشتر از لباس ایستگاه معمولی بود. اختلاف در مواد باعث شده تا برای بالا بردن بازوها در هواپیمای جلو مقداری مؤثر باشد. نتیجه گرفته می شود که موادی که باعث ایجاد احساس لمس نرم و فشرده سازی بدن می شوند ، باعث افزایش تحرک بازو نیز می شوند ، و اینکه لباس های کششی و سایش فشرده سازی اثرات مثبتی بر تحرک خواهد داشت. این به خصوص در هنگام بالا بردن بازوها در هواپیمای جلویی و خم شدن یا تاشو مواد در کمر است. لایه های مختلف چرخ دنده مشعل آتش نشانی به همراه یکنواخت ایستگاه باعث کاهش ROM می شود. بنابراین ، برای تحرک بهتر پوشیدن لباس ، لباس مناسب نسبتاً محکم لازم است. در مطالعه حاضر ، هیچ فایده ای از سایش و سایش و سایش برای بهبود عملکرد عضلات (مانند کاهش٪ MVC) اثبات نشده است.

تفاوت بین مواد و طرح ها بر راحتی پوشیدگی ذهنی تأثیر می گذارد. از آنجا که یونیفرم ساخته شده از لباس های کششی و پوشیدن فشرده سازی نرم و راحت است ، این گزینه ها نسبت به لباس ایستگاه های عمومی ارجح هستند. به طور خاص ، آزمایش فشرده سازی از نظر راحتی لباس در آزمایش حاضر بهترین است. فشرده سازی ممکن است تحمل پوشیدگی بهتری برای آتش نشانان داشته باشد ، و در نتیجه عملکرد واقعی تر در حین آتش نشانی واقعی داشته باشد. به همین دلیل ، سایش فشرده سازی به عنوان جایگزینی برای لباس ایستگاه عمومی فعلی ارائه شده است.

محدودیت هایی برای مطالعه حاضر وجود دارد. اولاً ، تحرک پوشنده به نوع لباسی که تحت لباس مشارکت آتش نشانان پوشیده می شود بستگی دارد. با این حال ، کالاهای تولیدی برای آنالیز ارگونومیک و مقایسه تحرک پوشیدگان انتخاب شدند و هر شرایط لباس با توجه به طرح و یا مواد مورد استفاده کاملاً کنترل نمی شد. دوم ، محیط واقعی آتش نشانی در این مطالعه شبیه سازی نشده است. کارهای آتش نشانی واقعی در محیط های گرم ، به ویژه در هنگام نجات و آموزش آتش نشانان ، طیف گسترده ای از حرکات شانه را در بر می گیرد و ممکن است بهبود عملکرد عضلات ضروری باشد. بنابراین ، نتایج این مطالعه فقط در مورد تحرک پوشیدگان باید با دقت تفسیر شود و تجزیه و تحلیل تحرک پوشنده در حین انجام حرکات فعال با یک مجموعه کامل از تجهیزات مشارکت آتش نشانان برای مطالعات بعدی مورد نیاز است.

سپاسگزاریها

نویسنده می خواهد از اعضای ارگونومی زیست محیطی ، دانشگاه کیوشو بخاطر فنی و دانشگاهی خود تشکر کند