Journal of Health and Safety at Work 2022; 12(2): 259-273

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The effect of using cervical exoskeleton on the neck and shoulder muscles electrical activity during overhead work

Ehsan Garosi[1,2], Adel Mazloumi[2,3*], Amir Homayoun Jafari[4], Ahmadreza Keihani[4], Ali Sharifnezhad[5], Mansour Shamsipour[6,7], Ramin Kordi[3]

[1] Department of Ergonomics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3] Sports Medicine Research Center, Faculty of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[4] Medical Physics & Biomedical Engineering Department, School of Medicine, Tehran University of Medical Sciences. Tehran, Iran
[5] Department of Sport Biomechanics and Technology, Sport Science Research Institute, Tehran, Iran
[6] Department of Research Methodology and Data Analysis, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[7] Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2021-03-24 Accepted: 2022-01-12

ABSTRACT

Introduction: The use of exoskeletons as a new ergonomics intervention to reduce musculoskeletal disorders risk factors and increase human performance has emerged in the fourth-generation industrial revolution. The aim of this study was to assess the cervical exoskeleton effect on the neck and shoulder muscles electrical activity.

Material and Methods: In this experimental study, 14 male participants were asked to perform the simulated overhead work with and without using the cervical exoskeleton at two neck postural angles randomly. During the task, electromyography of the target muscles in the neck and shoulders was recorded. In addition, at the end of each task, participants completed a perceived discomfort questionnaire. Electromyographic signals were processed with Matlab 2017b software and the level of the electrical activity of the target muscles was normalized to the maximum muscle activity. Data analysis was performed using Random intercept mix model in STATA 14 software.

Results: Mean perceived discomfort in the neck and shoulders regions significantly reduced by the exoskeleton device, but there was no statistically significant difference in other areas. Also, the mean activity level of sternocleidomastoid and splenius capitis muscles on the right and left was significantly decreased during the use of the cervical exoskeleton. However, this difference showed a significant increase in trapezius muscles.

Conclusion: The use of the neck exoskeleton was associated with a reduction of muscle electrical activity and the perceived discomfort in the neck area. These results may be related to transferring neck and head weight by the exoskeleton retaining jack during the neck extension to other areas of the body. The exoskeleton design did not provide support for the shoulder and arm area, which explains the reason for the non-significant results in the shoulder area. Using the exoskeleton with the additional support in shoulder area could be considered as an ergonomic intervention in such overhead works.

Keywords: *Exoskeleton, Design, EMG, Overhead work*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Garosi E, Mazloumi A, Jafari AH, Keihani A, Sharifnezhad A, Shamsipour M, Kordi R. The effect of using cervical exoskeleton on the neck and shoulder muscles electrical activity during overhead work. J Health Saf Work. 2022; 12(2): 259-273.

* Corresponding Author Email: *amazlomi@tums.ac.ir*

Copyright © 2022 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

1. INTRODUCTION

Overhead work or performing tasks above the acromion height is associated with upper limb musculoskeletal disorders (MSDs). This physically demanding work is implemented in various occupational tasks, including overhead assembling, monitoring painting, etc. In order to facilitate overhead work implementation, researchers have been proposed several ergonomic inventions. For instance, using a mirror to keep indirect observation of task sit, changing work/rest cycle time, using a holder for hand tool devices and, recently, exoskeletons are among such interventions. Wearable technologies (exoskeletons) are emphasized in Fourth industrial revolution.

Exoskeletons are categorized in the active and passive forms. Active exoskeletons use an actuator to support human body parts and the passive ones use spring and fabric belt to conserve energy during body movement and recycling that energy when needed. exoskeletons previously used to military and rehabilitation applications. Recently, the occupational application is of interest by many ergonomic researchers.

Exoskeleton augmentation for overhead work has been documented in several studies, but there is a gap in published research to assess exoskeleton effects in the neck region. Therefore, this study aimed to ergonomically assess the cervical exoskeleton effectiveness during overhead work implementation.

2. MATERIAL AND METHODS

In this experimental study, 14 male participants were asked to perform the simulated overhead work with and without using the cervical exoskeleton at two neck postural angles, randomly. All participants signed an informed consent form. Institutional Review Board of Tehran University of Medical Sciences (approved the research methodology No.IR.TUMS.SPH.REC.1399.103). During the task implementation, electromyography of the target muscles including right and left sternocleidomastoid, splenius capitis, trapezius, and deltoid muscles were recorded by a surface bipolar EMG (g-USBamp, made in Austria). In this case, passive Ag/AgCl electrodes, with a center-to-center distance of 20 mm, were placed on the skin. Electrode placement was done as proposed by the surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles protocols.

The recorded EMG signals were bandpass filtered (Butterworth) with the cutoff frequencies of 20 and 400 Hz. On the way to normalize EMG signals, isometric maximal voluntary contractions (MVCs) were performed bilaterally before performing the overhead work. The maximum of each muscle was found from peak signal during MVCs, and considered 100% MVC.

In addition, at the end of each task, participants were asked to complete the perceived discomfort questionnaire in the neck, shoulders, upper arms, hands and back regions. Electromyographic signals were processed with Matlab 2017b software and the level of the electrical activity of the target muscles was normalized to the maximum muscle activity. Data analysis with a random intercept mix model was implemented in STATA 14 software and $P < 0.05$ was considered as significant level.

3. RESULTS AND DISCUSSION

All 14 male participants completed the overhead nut fastening task. Fig. 1 shows that the mean perceived discomfort in the neck and shoulders was significantly reduced when the cervical exoskeleton is used. However, there was no statistically significant difference for other investigated regions. The highest mean score for discomfort was found in the shoulder regions (without exoskeleton condition), this result is in line with previous researches that exoskeleton effectiveness was investigated in a simulated overhead work.

According to Table 1, the mean activity level of the neck anterior and posterior muscles was significantly decreased during the use of the cervical exoskeleton, but the trapezius muscles activity was associated with a significant increase. To the best of our knowledge, this study is the first research with the focus on neck angle change concerning with/whiteout using exoskeleton during overhead work implementation. Several studies have been approved the upper limb exoskeletons effectiveness for overhead work and some consider a tradeoff between discomfort and biomechanical advantages.

4. CONCLUSIONS

The use of the neck exoskeleton augmentation was associated with a reduction of muscle electrical activity and the perceived discomfort in the neck regions. These results may be related to transferring neck and head weight by the exoskeleton-retaining

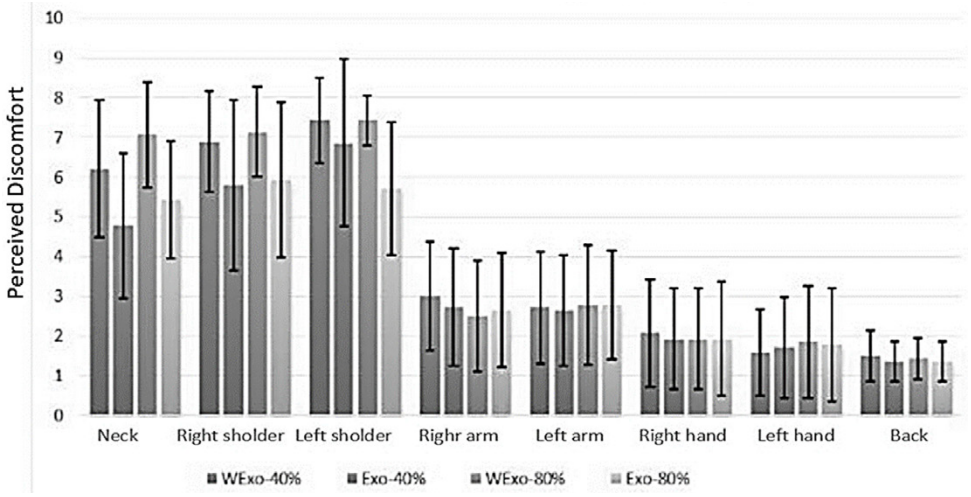


Fig. 1. The mean level of perceived discomfort during performing overhead work.

Table 1. The main effect of exoskeleton for LPD during overhead work. The negative sign in the percentage of changes indicate reduction. (N=14)

Body regions	Interventions	Changes %	P-Value
Sternocleidomastoid (Right)	Exo	-6.98	**<0.001**
	Neck angle	1.73	0.160
Sternocleidomastoid (Left)	Exo	-7.10	**<0.001**
	Neck angle	3	**0.032**
Splenius Capitis (Right)	Exo	-3.79	**0.04**
	Neck angle	.603	0.743
Splenius Capitis (Left)	Exo	-3.56	**0.023**
	Neck angle	-0.56	0.720
Trapezius (Right)	Exo	8.37	**<0.001**
	Neck angle	.35	0.830
Trapezius (Left)	Exo	8.70	**<0.001**
	Neck angle	.830	0.593
Deltoid (Right)	Exo	-2.27	0.104
	Neck angle	-.36	0.794
Deltoid Left	Exo	-1.38	0.32
	Neck angle	-.47	0.73

jack during the neck extension to other areas of the body. The exoskeleton design did not provide support for the shoulder and arm area, which explains the reason for the non-significant results in the shoulder area. Therefore, the use of cervical exoskeletons in combination with more support in shoulder regions can be used as an ergonomic intervention for overhead work.

5. ACKNOWLEDGMENT

The study was founded by Tehran University of Medical Sciences (TUMS). The authors thank all participants for their kind corporation in this study and Kavian Teb orthopedic clinic for fabricating the exoskeleton prototype. We also appreciate Dr Zaniar Karimy for technical assistance in the exoskeleton fabrication.

تأثیر استفاده از اگزواسکلتون گردنی بر روی سطح فعالیت الکتریکی عضلات ناحیه گردن و شانه هنگام انجام کار در ارتفاع بالاتر از سر

احسان گروسی[۲،۱]، عادل مظلومی[۳،۲*]، امیرهمایون جعفری[۴]، احمدرضا کیهانی[۴]، علی شریف نژاد[۵]، منصور شمسی پور[۷،۶]، رامین کردی[۳]

[۱] گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران
[۳] مرکز تحقیقات پزشکی ورزشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران
[۴] گروه فیزیک و مهندسی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۵] گروه بیومکانیک و تکنولوژی ورزشی، پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران
[۶] گروه روش‌شناسی مطالعات و تحلیل داده‌ها، پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران
[۷] مرکز تحقیقات کیفیت آلودگی هوا، پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

چکیده

مقدمه: استفاده از اگزواسکلتون ها به‌عنوان یک مداخله ارگونومیک نوین جهت کاهش ریسک فاکتورهای اختلالات اسکلتی عضلانی و افزایش عملکرد انسان در انقلاب صنعتی نسل چهارم نمود پیدا کرده است. هدف مطالعه حاضر ارزیابی استفاده از اگزواسکلتون گردنی هنگام کار در ارتفاع بالای سر از نقطه‌نظر سطح فعالیت الکتریکی عضلات و میزان ناراحتی درک شده در ناحیه گردن و شانه بود.

روش کار: در این مطالعه تجربی از ۱۴ شرکت‌کننده مرد خواسته شد تا وظیفه شبیه‌سازی شده بستن پیچ و مهره در ارتفاع بالای سر را در دو حالت استفاده و بدون استفاده از اگزواسکلتون گردنی (مداخله ارگونومیکی) و دو زاویه پوسچرال گردن به‌صورت تصادفی انجام دهند. حین اجرای وظیفه، فعالیت الکتریکی عضلات هدف در ناحیه گردن و شانه با روش الکترومیوگرافی سطحی ثبت می‌شد. علاوه بر این، در پایان اجرای هر وظیفه، شرکت‌کنندگان پرسشنامه میزان ناراحتی درک شده را تکمیل می‌کردند. پردازش سیگنال‌های الکترومیوگرافی با نرم‌افزار Matlab 2017b انجام شد و میزان سطح فعالیت الکتریکی عضلات هدف نسبت به حداکثر فعالیت عضلانی نرمال‌سازی شد. آنالیز داده‌های با مدل Random intercept mix در نرم‌افزار STATA 14 انجام شد.

یافته ها: استفاده از اگزواسکلتون گردنی سبب کاهش معنادار میانگین ناراحتی درک شده در ناحیه گردن و شانه‌ها شد ولی در ناحیه سایر نواحی، تفاوتی آماری معناداری وجود نداشت. نتایج میانگین سطح فعالیت عضلات استرنوکلیدوماستوید و اسپلینوس کاپیتیس سمت راست و چپ در حین استفاده از اگزواسکلتون گردنی به‌صورت معنی‌داری کاهش‌یافته بودند؛ اما این اختلاف برای عضلات ذوزنقه‌ای افزایش معنی‌داری را نشان داد.

نتیجه گیری: استفاده از اگزواسکلتون گردنی سبب کاهش سطح فعالیت الکتریکی عضلات و میزان ناراحتی درک شده در ناحیه گردن شد که علت آن مربوط به توزیع وزن سر و گردن توسط جک نگه‌دارنده اگزواسکلتون در هنگام خمش رو به عقب گردن بود. در طراحی اگزواسکلتون گردنی برای ناحیه شانه و بازو حمایتی در نظر گرفته نشده بود که دلیل وجود نتایج غیر معنادار در ناحیه شانه‌ها را توجیه می‌کند؛ بنابراین استفاده از اگزواسکلتون گردنی با اضافه کردن حمایت بیشتر در نواحی شانه‌ها می‌تواند به‌عنوان یک مداخله ارگونومیکی برای کار در ارتفاع بالای سر توصیه گردد.

کلمات کلیدی: *اگزواسکلتون، طراحی، الکترومیوگرافی، کار بالای سر*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *amazloumi@tums.ac.ir*

مقدمه

اختلالات اسکلتی و عضلانی اندام فوقانی در ایستگاه‌های کاری مدرن به‌عنوان یک چالش مهم ارگونومیک برشمرده می‌شود (۱)؛ به‌طوری‌که در آمریکا، ۱۳ درصد اختلالات اسکلتی-عضلانی ناشی از کار (WMSDs[1]) مرتبط با اندام فوقانی، در رتبه دوم بعد از کمردرد قرار دارد. بر اساس گزارش‌ها در آمریکا سال ۲۰۱۶، اختلالات اسکلتی عضلانی اندام فوقانی عامل از دست رفتن ۲۳ روز کاری بوده است و این در حالی است که میانگین این آمار برای سایر بخش‌های بدن ۸ روز می‌باشد (۲, ۳). علاوه براین، در مطالعه‌ای مربوط به صنعت خودروسازی ایران، با بررسی ۱۴۳۸۴ کارمند گزارش شده است که ۲۲ درصد از کارمندان از درد گردن یا شانه رنج می‌برند (۴). یکی از دلایل عمده اختلالات اسکلتی-عضلانی اندام فوقانی در صنعت، مربوط به انجام کار در وضعیت بالای سر می‌باشد که علت اصلی آن انجام وظیفه کاری در پوسچر نامناسب شامل خمش رو به عقب گردن و بالا بودن دست نسبت به سطح شانه‌ها گزارش شده است (۱, ۵-۷).

کار کردن در وضعیت بالای سر سبب ایجاد بار استاتیک بر روی سیستم اسکلتی عضلانی و درنتیجه بروز اختلالات اسکلتی و عضلانی مخصوصاً در نواحی گردن و شانه می‌گردد (۸). بیشترین شیوع اختلالات اسکلتی-عضلانی اندام فوقانی نسبت به سایر بخش‌های بدن در بین افرادی است که ابزارها و وسایل دستی را به مدت طولانی در دست نگه می‌دارند و این شیوع در کشورهای مختلف بین ۱۷/۳ تا ۶۷/۸ درصد متفاوت گزارش شده است (۹). همچنین تخمین زده شده است که حدود ۶۷ درصد از افراد جامعه در دوره‌ای از طول زندگی خود از گردن درد رنج می‌برند (۱۰). با توجه به آمار و گزارش‌ها در خصوص اختلالات اسکلتی عضلانی گردن و شانه مشخص‌شده است که در دو دهه اخیر، شیوع درد مزمن ناحیه گردن به‌صورت معنی‌داری از ۲۰ به ۳۴ درصد افزایش یافته است. به‌طوری‌که می‌توان پیش‌بینی کرد که اختلالات اسکلتی-عضلانی اندام فوقانی مخصوصاً گردن درد در دهه‌های بعدی بیشترین شیوع را به خود اختصاص خواهد داد (۱۱). طیف گسترده‌ای از مشاغل وجود دارند که در آن انجام کار در وضعیت بالای سر اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این میان باغداران، کارگران ساختمان و مونتاژکاران ازجمله مشاغلی هستند که نیاز به انجام کار در ارتفاع بالای سر دارند (۱۲, ۱۳).

در انجام وظایف در وضعیت بالای سر، فرد برای مشاهده محل انجام کار می‌بایست پوسچر خمش رو به عقب گردن داشته باشد. چندین مطالعه نشان داده‌اند که پوسچر خمش رو به عقب سر و گردن در هنگام کارکردن در ایستگاه‌های کاری سبب بروز خستگی و تنش در عضلات گردن می‌شود (۱۴-۱۷). بااین‌وجود در هیچ‌کدام از مطالعات به رابطه بین میزان خمش و تنش وارده به عضلات پرداخته نشده است. علاوه براین، در تکنیک‌های ارزیابی مشاهده‌ای ارگونومی مانند RULA یا REBA، بدترین حالت پوسچر گردن، قرار گرفتن گردن در وضعیت خمش رو به عقب نشان داده شده‌اند (۱۸, ۱۹).

یکی از اهداف ارگونومی ارائه راه‌کارهای مداخله‌ای به‌منظور کاهش ریسک فاکتورهای اختلالات اسکلتی-عضلانی و همچنین بهینه‌سازی عملکرد کلی سیستم می‌باشد. به همین منظور برای انجام کار در وضعیت بالای سر مداخلات مختلفی مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند. در این میان می‌توان به استفاده از دید غیرمستقیم جهت مشاهده موضع کاری (۱) و تغییر در فرآیند کاری (۲۰) اشاره کرد. یکی از جدیدترین مداخلاتی که در انقلاب صنعتی نسل چهارم نمود پیدا کرده‌اند استفاده از اگزواسکلتون ها می‌باشد (۲۱).

اگزواسکلتون ها یکی از تکنولوژی‌های هستند که در جهت کاهش اختلالات اسکلتی و عضلانی و کمک به انجام وظایفی که نیازمند مداخله مستقیم انسان است طراحی شده‌اند (۲۲, ۲۳). اگزواسکلتون ازنظر لغوی از دو بخش اگزو[2] به معنای خارجی و اسکلتون[3] به معنای اسکلتی تشکیل شده است. اگزواسکلتون ها به دو صورت

1- Work musculoskeletal disorders

2- Exo
3- Skeleton

اکتیو[1] و پسیو[2] وجود دارند. در فرم اکتیو برای حمایت از موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود؛ اما در فرم پسیو از فنر، تسمه‌های کشی، جک‌های فنری یا پنوماتیک استفاده می‌شود (۲۴). در واقع فلسفه اگزواسکلتون اضافه کردن یک قدرت مکانیکی به سیستم اسکلتی-عضلانی بدن می‌باشد و از این نظر، به‌عنوان یک رویکرد مناسب جهت کاهش ریسک استرس فیزیکی و ریسک فاکتورهای اختلالات اسکلتی و عضلانی در انجام وظایف شغلی استفاده می‌شود (۲۵).

با توجه به مطالب فوق، با افزایش زاویه خمش رو به عقب گردن هنگام انجام کار در ارتفاع بالای سر، تنش وارده به عضلات گردن و شانه افزایش می‌یابد. علاوه براین، اکثر مطالعاتی که از اگزواسکلتون به‌عنوان یک مداخله ارگونومیک در کار بالای سر استفاده کرده‌اند بیشتر بر روی اندام فوقانی (شانه، بازو) تمرکز داشته‌اند و در خصوص استفاده از اگزواسکلتون برای حمایت ناحیه گردن همراه با در نظر گرفتن زاویه خمش گردن خلأ مطالعاتی مشهود می‌باشد؛ بنابراین هدف این مطالعه ارزیابی اثربخشی استفاده از اگزواسکلتون گردنی با بررسی سطح فعالیت عضلات ناحیه گردن و شانه‌ها مبتنی بر داده‌های الکترومیوگرافی است.

روش کار

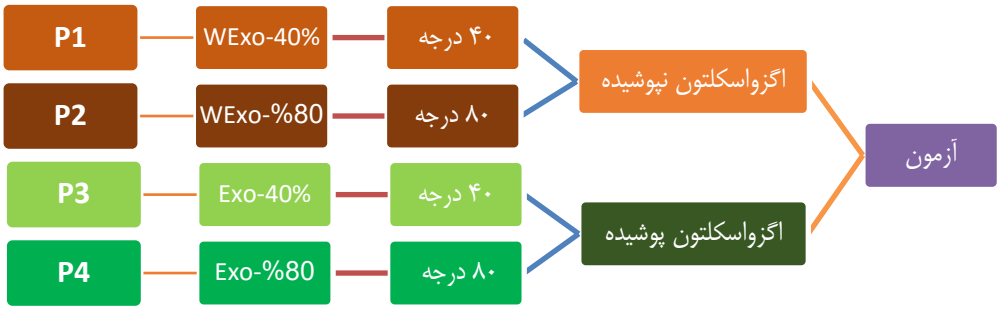
پروتکل اجرای مطالعه

مطالعه حاضر به‌صورت تجربی در آزمایشگاه ارگونومی دانشگاه علوم پزشکی تهران اجرا گردید. پروتکل مراحل کلی روش اجرا در شکل ۱ نشان داده شده است. برای انجام این آزمون از ۱۴ شرکت‌کننده مرد (سالم و بدون سابقه اختلالات اسکلتی عضلانی، راست‌دست) خواسته شد تا وظیفه کاری شبیه‌سازی‌شده در ارتفاع بالای سر را انجام دهند. پس از ورود شرکت‌کننده‌ها به محیط پژوهش ابتدا پرسشنامه اطلاعات دموگرافیک و رضایت‌نامه آگاهانه توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد. سپس با استفاده از یک گونیامتر و بر اساس استاندارد گونیامتری از زاویه خمش رو به عقب گردن (۲۶)، حداکثر زاویه اکستنشن گردن اندازه‌گیری شد. در ادامه از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا وظیفه کاری شبیه‌سازی‌شده در ارتفاع بالای سر (بستن پیچ و مهره) در دو حالت بدون استفاده از اگزواسکلتون (WExo)[3] و استفاده از اگزواسکلتون (Exo)[4] را به‌صورت تصادفی در زاویه‌های ۴۰ و ۸۰ درصد از حداکثر خمش رو به عقب گردن انجام دهند. ارتفاع انجام کار بالای سر برای هر شرکت‌کننده به‌صورت درصدی از حداکثر ارتفاع دسترسی (ارتفاع A) و ارتفاع دست در حالتی که شانه و آرنج زاویه ۹۰ درجه دارند (ارتفاع B) با فرمول $A+0/4(A-B)$ محاسبه شد تا اثر مداخله‌گر ارتفاع کار کاهش یابد (۲۷, ۲۸). در این مطالعه از پروتوتایپ اگزواسکلتون گردنی به‌عنوان مداخله ارگونومیکی استفاده گردید تا اثرات آن مورد ارزیابی قرار گیرد. در طول اجرای وظیفه کاری در ارتفاع بالای سر میزان ناراحتی درک شده توسط شرکت‌کنندگان و سطح فعالیت الکتریکی عضلات ثبت و ضبط شد. وظیفه بستن پیچ‌مهره در ارتفاع بالای سر تا زمانی ادامه داشت که شرکت‌کنندگان قادر به ادامه فعالیت نبودند و پایان وظیفه را (احساس ناراحتی بیشتر از ۸ با استفاده از مقیاس درک ناراحتی ۱۰ آیتمی) به‌صورت کلامی اعلام می‌کردند. وظیفه باز و بستن پیچ و مهره در ارتفاع بالای سر به همراه ایستگاه کاری در شکل ۲ نشان داده شده است.

اگزواسکلتون گردنی

در این مطالعه به‌منظور بررسی نقش اگزواسکلتون در کاهش تنش عضلات هدف، از فرم پسیو اگزواسکلتون با قابلیت حمایت از سر و گردن استفاده شد. با توجه به طراحی این اگزواسکلتون، نیروی وزن سر توسط یک اهرم به سایر اندام‌ها منتقل می‌شود. در این اگزواسکلتون، برای حمایت از سر از یک پد حلالی شکل جهت تکیه‌گاه گردن استفاده شده است تا فرد هنگام خستگی به‌صورت

1- Active
2- Passive
3- Without Exoskeleton
4- Exoskeleton

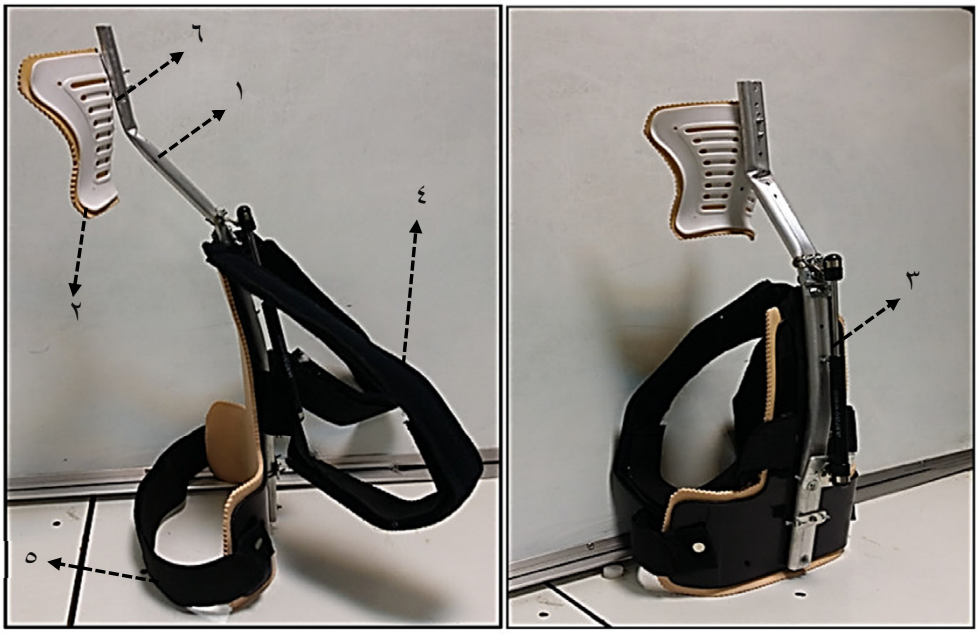


شکل ۱. پروتکل اجرای مطالعه در چهار وضعیت انجام کار در ارتفاع بالای سر

شکل ۲. انجام وظیفه در ارتفاع بالای سر، سمت راست بدون استفاده از اگزواسکلتون، سمت چپ با استفاده از اگزواسکلتون

ارادی وزن سر را روی این بخش تکیه دهد. بدین‌صورت نیروی وزن سر توسط یک جک پنوماتیک (حد تحمل ۶ کیلوگرم، ساخت کشور چین) توسط بندهای متقاطع به ناحیه کمر توزیع می‌شد. این نمونه در سامانه مالکیت معنوی و ثبت اختراع ملی، به شماره ۱۰۰۸۰۲ در تاریخ ۱۳۹۸/۹/۲۴ به ثبت رسیده است.

جزییات طراحی اگزواسکلتون گردنی در شکل ۳ نشان داده شده است. ساختار اسکلت اصلی اگزواسکلتون از فلز آلومینیوم به دلیل سبک بودن ساخته شده است و بخش‌های دیگر با ساختار ترموپلاستیک پروپیلن و فوم پلی‌اتیلن برای پوشش داخلی (قسمت‌هایی که با بدن تماس داشتند) استفاده شده است. وزن این اگزواسکلتون ۱۰۰۰ گرم و ابعاد آن شامل ارتفاع 70cm، عرض 45cm و عرض ناحیه نگه‌دارنده گردن 17cm می‌باشد. در طراحی این اگزواسکلتون در محل اتصال نگه‌دارنده گردن و محل‌ها اتصال جک با اسکلت اصلی، آزادی حرکت (مفصل از نوع hinge با یک درجه آزادی حرکت) استفاده شده است. علاوه براین، ارتفاع نگه‌دارنده گردن (شکل ۳) دارای قابلیت تنظیم (از طریق پیچ و مهره) در ناحیه اتصال آن با اسکلت اصلی را دارد. برای فیکس شدن اگزواسکلتون



شکل ۳. نمونه اگزواسکلتون گردنی استفاده شده در مطالعه. سمت راست: نمای خلفی، سمت چپ: نمای جانبی. ۱: اسکلت آلومینیومی اصلی، ۲: نگه‌دارنده گردن، ۳: جک پنوماتیک، ۴: بند ناحیه شانه‌ها، ۵: بند کمری، ۶: محل تنظیم ارتفاع نگه‌دارنده گردن

هنگام پوشیدن آن از ۳ بند پارچه‌ای استفاده شده است. یک جفت بند در ناحیه شانه‌ها و یک بند دیگر به‌صورت کمربند در ناحیه کمری استفاده شده است.

ارزیابی میزان ناراحتی درک شده

برای ارزیابی ناراحتی درک شده از مقیاس بصری میزان ناراحتی درک شده استفاده شد. شرکت‌کنندگان احساس ناراحتی خود به‌صورت اصلاً احساس ناراحتی ندارم نمره صفرتا ۱۰ احساس ناراحتی خیلی شدید بعد از اتمام وظیفه کاری امتیاز می‌دادند. این مقیاس برای بخش‌های مختلف بدن شامل گردن، شانه‌ها، بازوها، ساعد، دست و انگشتان و کمر ارزیابی شد. روایی و پایایی این مقیاس در مطالعات مختلف بررسی و تائید شده است (۲۹, ۳۰).

ارزیابی سطح فعالیت الکتریکی عضلات هدف با الکترومیوگرافی سطحی

برای ثبت فعالیت الکتریکی عضلات از الکترومیوگرافی سطحی استفاده شد. ثبت داده‌ها با فرکانس ۱۲۰۰ هرتز و اعمال فیلترهای آنلاین بالاگذر ۰/۵ هرتز و پایین گذر ۵۰۰ هرتز انجام شد. سپس برای حذف نویزهای اضافی از فیلتر Butterworth filter با فرکانس‌های قطع ۲۰ تا ۴۰۰ هرتز در نرم‌افزار متلب (MATLAB R2017b) استفاده شد. در این مطالعه از الکترودهای پسیو به‌صورت دوقطبی بافاصله مرکز تا مرکز دو سانتی‌متر برای ثبت استفاده گردید. برای ثابت نگه داشتن الکترودها در محل از چسب دوطرفه استفاده شد. با توجه به مطالعات مربوط به سر و گردن و نوع وظیفه بالای سر عضلات هدف در این مطالعه شناسایی و بر اساس پروتکل سنیام[1] الکترود گذاری شد (۳۱). عضلات سطحی فلکسور و اکستنسوری گردن شامل عضله استرنوکلیدوماستوید و اسپلینوس کاپیتیس، بخش بالارو عضله ذوزنقه‌ای و بخش قدامی عضله دلتوید به‌عنوان عضلات هدف شناسایی شدند. قبل از نصب الکترودها مرحله آماده‌سازی شامل زدودن موها در ناحیه با تیغ یک‌بارمصرف و پاک کردن سطح پوست با پد الکلی به صورتی که یک‌لایه نازک از سلول‌های مرده پوست

1- SENIAM

جدول ۱. اطلاعات توصیفی مرتبط با متغیرهای کمی دموگرافیک شرکت‌کنندگان (تعداد ۱۴ نفر)

متغیر	میانگین (انحراف معیار)	بیشترین	کمترین
سن (سال)	۲۸/۰۷ ±(۲/۸)	۳۴	۲۴
قد (سانتی‌متر)	۱۷۶/۹۲ ±(۳۸/۵)	۱۸۴	۱۶۳
وزن (کیلوگرم)	۷۱/۶۴ ±(۱۲/۲۵)	۹۰	۴۷
محیط گردن (سانتی‌متر)	۳۹/۲۸ ±(۱/۶۷)	۴۲	۳۶
ارتفاع بیشترین حد دسترسی (ارتفاع A سانتی‌متر)	۲۰۷/۵۷ ±(۲۶/۲۹)	۲۲۵	۱۱۹
ارتفاع حد دسترسی پایین (ارتفاع B سانتی‌متر)	۱۸۴/۶۴ ±(۵/۱)	۱۹۲	۱۷۳
ارتفاع بهینه کار بالای سر (سانتی‌متر)	۲۰۲/۵۲	۲۱۱	۱۹۳
حداکثر خمش رو به عقب گردن (درجه)	۴۹/۲۱ ± (۳/۸)	۴۲	۵۵
۴۰ درصد از حداکثر خمش رو به عقب گردن (درجه)	۱۹/۶۹ ±(۱/۵)	۱۶	۲۲
۸۰ درصد از حداکثر خمش رو به عقب گردن (درجه)	۳۹/۱۷ ±(۳/۱)	۳۳	۴۴

از بین رود انجام شد (۳۲). برای بررسی سطح فعالیت عضلات از شاخص دامنه‌ای سیگنال‌های الکترومیوگرافی (میانگین مجذور ریشه سیگنال RMS[1]) با پنجره گزاری به‌صورت ۳ ثانیه و پوشش ۵۰ درصدی در طول سیگنال استفاده شد.

حداکثر قدرت انقباضی ارادی

با توجه به اهداف مطالعه برای مقایسه سطح فعالیت عضلات شرکت‌کنندگان حداکثر قدرت انقباضی عضلات برای هرکدام از شرکت‌کنندگان ثبت شد تا سطح فعالیت الکتریکی عضلات نسبت به حداکثر قدرت انقباضی عضلات نرمال‌سازی شود. آزمون حداکثر قدرت انقباض ارادی با توجه به پروتکل ذکرشده در کتاب الکترومیوگرافی (اصول، مبانی و کاربردهای آن در ارگونومی) اجرا شد (۳۲). به این منظور از آزمون‌شونده‌ها خواسته شد تا بر روی صندلی بنشینند و سپس حرکات مخصوص برای هر عضله را که طبق پروتکل تعیین شده بود انجام دهند. هم‌زمان با اعمال بیشترین قدرت عضلانی با ایجاد مقاومت در برابر حرکت مخصوص آن عضله طی مدت‌زمان ۳ ثانیه سیگنال‌های الکترومیوگرافی از عضله هدف ثبت می‌شد. به‌منظور پایایی و افزایش توان آماری آزمون حداکثر قدرت انقباضی عضلات برای هر عضله سه بار ثبت شد و بین هر ثبت یک دقیقه استراحت در نظر گرفته شد.

آنالیز آماری

برای مقایسه اثرات استفاده از اگزواسکلتون گردنی در دو زاویه کاری (متغیر مستقل مطالعه) بر متغیرهای وابسته که شامل ناراحتی و سطح فعالیت نرمال شده عضلات بود از آزمون Mix intercept model در نرم‌افزار STATA 14 استفاده شد. سپس نتایج به‌صورت توصیف‌های کمی (میانگین و انحراف معیار) و با در نظر گرفتن سطح معنی‌دار کمتر از ۰/۰۵ به‌صورت جدول و نمودار ارائه شده است.

یافته ها

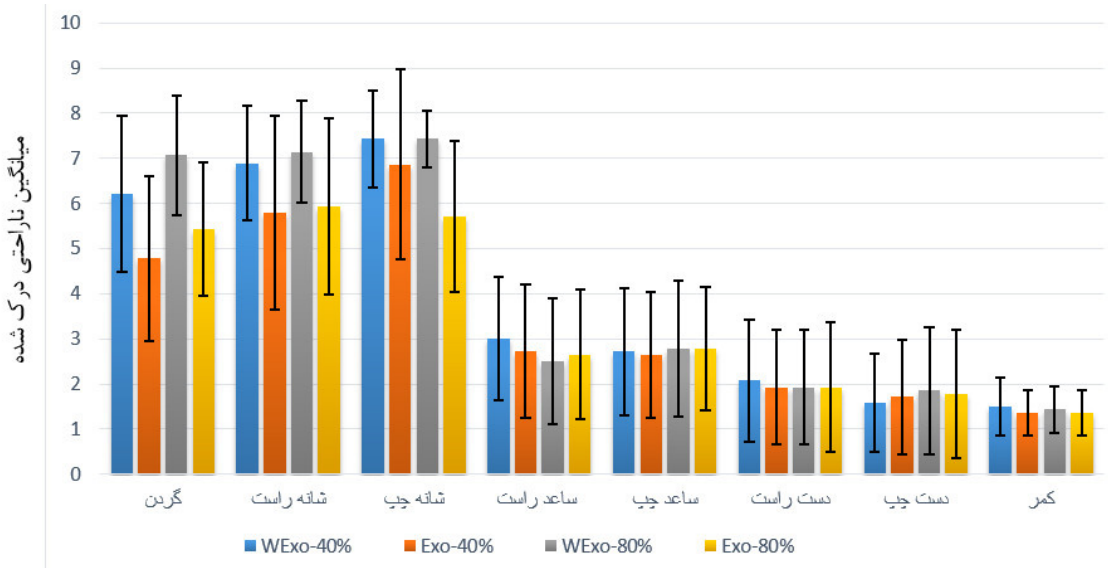
جدول شماره یک اطلاعات توصیفی متغیرهای دموگرافیک و آنتروپومتری ۱۴ شرکت‌کننده در مطالعه را نشان می‌دهد. میانگین سنی شرکت‌کنندگان ۲۸ سال بود که کمترین سن ۲۴ سال و بیشترین سن ۳۴ سال بود. میانگین قد و وزن شرکت‌کنندگان به ترتیب برابر ۱۷۶/۹۲ سانتی‌متر و ۷۱/۶۴ کیلوگرم بود. بیشترین ارتفاع دسترسی (ارتفاع A) هنگامی‌که فرد دست غالب خود را

1- Root Mean Square

حداکثر بالا نگه‌داشته بود با متر نواری اندازه‌گیری شد و ارتفاع B در هنگامی‌که فرد بازو و ساعد خود را در وضعیت فلکشن ۹۰ درجه قرار داده بود اندازه‌گیری شد. میانگین ارتفاع A و B به ترتیب برابر ۲۰۷/۵۷ و ۱۸۴/۶۴ اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین ارتفاع بهینه برای کار در وضعیت بالای سر طبق فرمول استاندار کار کردن در وضعیت میانه بالاسر برابر با ۲۰۲/۵۲ به دست آمد. بیشترین زاویه خمش رو به عقب گردن ۵۵ و کمترین ۴۲ درجه اندازه‌گیری شد.

نمودار ۱، نتایج توصیفی میانگین ناراحتی درک شده در بخش‌های مختلف بدن را بر اساس چهار حالت وضعیت انجام کار در ارتفاع بالای سر بین ۱۴ نفر شرکت‌کننده در مطالعه نشان می‌دهد. بیشترین میزان ناراحتی مربوط به ناحیه گردن در پوسچرهای ۲ و ۳ مشاهده شد که مربوط به عدم استفاده از مداخله اگزواسکلتون می‌باشد. میانگین نمره ناراحتی در حالت استفاده و یا عدم استفاده از اگزواسکلتون گردنی در زاویه ۴۰ درصد از حداکثر اکستنشن گردن کمتر از زاویه ۸۰ درصد از اکستنشن گردن بود. میانگین نمره درد در ناحیه‌های ساعد، دست و کمر کمتر از نواحی گردن و شانه بود نمره کمتر از ۴ و بین پوسچرهای مختلف تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود. نمره ناراحتی از صفر به معنی عدم ناراحتی تا ۱۰ ناراحتی خیلی شدید و آزاردهنده تقسیم بندی شده است.

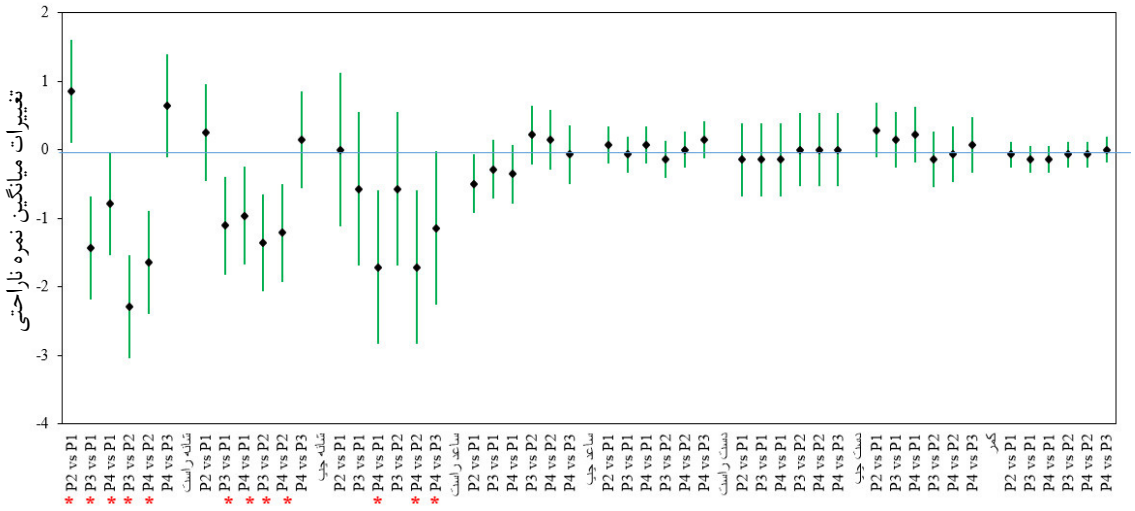
پس از مشخص شدن رابطه غیر معناداری اثر تعاملی (زاویه و اگزواسکلتون) برای متغیر ناراحتی بخش‌های مختلف بدن، اثر اصلی متغیرهای مستقل مطالعه شامل اثر زاویه و اثر اگزواسکلتون به‌صورت جداگانه بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که بین میانگین نمره ناراحتی در نواحی گردن و شانه چپ و راست تفاوت آماری معنی‌دار وجود دارد؛ بنابراین، استفاده کردن از اگزواسکلتون سبب کاهش ناراحتی درک شده در نواحی گردن شانه راست و چپ به ترتیب ۱/۵۳ و ۱/۱۶ و ۱/۱۴ می‌شود که حالات مقایسه دوتایی در نمودار شماره ۲ ارائه شده است (علامت منفی نشان‌دهنده کاهش می‌باشد). علاوه بر این، کارکردن با زاویه بیشتر زاویه ۸۰ درصد نسبت به ۴۰ درصد از حداکثر اکستنشن گردن به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش ۰/۷۵ و ۰/۱۸ واحد از نمره ناراحتی در ناحیه گردن و شانه راست می‌گردد. بیشترین کاهش نمره درد مربوط به استفاده از مداخله اگزواسکلتون و ناحیه گردن بود. متغیرهای مستقل شامل زاویه و اگزواسکلتون



نمودار ۱. میانگین و انحراف معیار ناراحتی درک شده در ۸ ناحیه از بدن هنگام انجام کار در ارتفاع بالای سر

برای سایر نواحی اثر معنی‌داری نداشتند.

نتایج مربوط به اثر اصلی سطح فعالیت عضلات برای هرکدام از حالات اجرای کار در ارتفاع بالای سر در جدول ۲ ارائه شده است. یافته‌های این جدول نشان می‌دهد که استفاده کردن از اگزواسکلتون گردنی نسبت به عدم استفاده از آن سبب کاهش سطح فعالیت عضلات



نمودار ۲. میانگین میزان تغییرات ناراحتی درک شده در بخش‌های مختلف بدن حین کار در ارتفاع بالای سر. حد بالا و پایین میزان دامنه اطمینان ۹۵٪ می‌باشد. (P1:WEXO 40%, P2 WEXO 80%, P3: EXO 40%, P4:EXO 80%)

جدول ۲. نتایج ارزیابی اثر اصلی سطح فعالیت نرمالایز شده عضلات هدف هنگام کار در ارتفاع بالای سر بر اساس آزمون (Mix intercept)

عضله هدف/ سمت بدن		اثر اصلی (نوع مداخله)	ضریب بتا	دامنه اطمینان (۹۵٪)	P-Value
استرنوکلیدوماستوئید	راست	اگزواسکلتون	-۶/۹۸	-۹/۴۱,-۴/۵۵	<۰/۰۰۱
		زاویه	۱/۷۳	-۰/۶۸, ۴/۱۶	۰/۱۶۰
	چپ	اگزواسکلتون	-۷/۱۰	-۹/۸,-۴/۳۶	<۰/۰۰۱
		زاویه	۳	۰/۲۵, ۵/۷۴	۰/۰۳۲
اسپلینوس کاپیتیس	راست	اگزواسکلتون	-۳/۷۹	-۷/۴۰,-۰/۱۸	۰/۰۴
		زاویه	۰/۶۰۳	-۳/۰۰, ۴/۲۱	۰/۷۴۳
	چپ	اگزواسکلتون	-۳/۵۶	-۶/۶۳۸,-۰/۴۸	۰/۰۲۳
		زاویه	-۰/۵۶	-۳/۶۳, ۲/۵۱	۰/۷۲۰
ذوزنقه‌ای	راست	اگزواسکلتون	۸/۳۷	۵/۱۶, ۱۱/۵۷	<۰/۰۰۱
		زاویه	۰/۳۵	-۲/۸۵, ۳/۵۵	۰/۸۳۰
	چپ	اگزواسکلتون	۸/۷۰	۵/۶۵, ۱۱/۷۵۳	<۰/۰۰۱
		زاویه	۰/۸۳۰	-۲/۲۱, ۳/۸۷	۰/۵۹۳
دلتوبید قدامی	راست	اگزواسکلتون	-۲/۲۷	-۵/۰۱, ۰/۴۶۶	۰/۱۰۴
		زاویه	-۰/۳۶	-۳/۱۰, ۲/۳۷	۰/۷۹۴
	چپ	اگزواسکلتون	-۱/۳۸	-۴/۱۵, ۱/۳۸	۰/۳۲
		زاویه	-۰/۴۷	-۳/۲۴, ۲/۲۹	۰/۷۳

استرنوکلیدوماستوید و اسپلینوس کاپیتیس سمت راست و چپ به‌صورت معنی‌داری شده بود. بااین‌حال، سطح فعالیت برای عضله ذوزنقه‌ای به‌طور معناداری افزایش یافته است. علاوه بر این، استفاده از اگزواسکلتون سبب کاهش سطح فعالیت عضلات دلتوید شده بود ولی این میزان کاهش معنادار نبود. در بررسی اثر اصلی کار کردن در زاویه‌های مختلف، کارکردن در زاویه ۸۰ درصد نسبت به ۴۰ درصد از حداکثر اکستنشن گردن، سبب افزایش سطح فعالیت عضلات هدف شده بود. میزان این افزایش تنها برای عضله استرنوکلیدوماستوید سمت چپ رابطه معناداری را نشان داد؛ اما برای سایر عضلات تفاوت معناداری به دست نیامد.

بحث

در مطالعه حاضر اثر مداخله استفاده از اگزواسکلتون گردنی برای کاهش تنش وارده به ناحیه گردن با استفاده میزان ناراحتی درک شده و ارزیابی سطح فعالیت عضلات (الکترومیوگرافی سطحی) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مداخله موردنظر در هر دو زاویه ۴۰ و ۸۰ درصد از حداکثر زاویه خمش رو به عقب گردن اثربخش می‌باشد. جزییات نتایج در ادامه به تفکیک توصیف‌شده‌اند.

بیشترین میزان میانگین ناراحتی در ناحیه گردن گزارش شده بود. میزان این ناراحتی در وضعیت‌های انجام کار هنگام عدم استفاده از اگزواسکلتون در زاویه ۸۰ درصد از زاویه خمش رو به عقب گردن مشاهده شد. میانگین نمره ناراحتی در حالت استفاده از اگزواسکلتون گردنی در ناحیه شانه‌ها و گردن کاهش یافته بود. این کاهش در دو زاویه خمش رو به عقب کاملاً معنادار بود. استفاده از مداخله اگزواسکلتون سبب می‌شود تا در هنگام خمش رو به عقب گردن، وزن سر و گردن توسط پشت سری قابل‌انعطاف این سیستم حمایت شود و فرد به‌منظور رسیدن به‌راحتی بیشتر سر خود را بر روی اگزواسکلتون تکیه دهد. این عامل سبب احساس راحتی بیشتر در این ناحیه و حتی ناحیه شانه‌ها شده بود. در سایر مطالعاتی که به بررسی میزان ناراحتی درک شده هنگام استفاده از اگزواسکلتون برای سایر نواحی بدن صورت گرفته است نتایجی همسو با مطالعه حاضر گزارش شده است (۳۳, ۳۴). احساس راحتی و کاهش درد در نواحی از بدن که تحت حمایت اگزواسکلتون قرار می‌گیرد از مشخصه‌های این مداخله ارگونومیک می‌باشد که سبب شده است میزان پذیرش آن بین کاربران صنایع مختلف افزایش یابد (۲۲, ۳۵). بر اساس مطالعات طراحی که ریسک فاکتورهای اختلالات اسکلتی عضلانی را کاهش دهد می‌تواند عملکرد کاربران را بهبود ببخشد (۳۶-۳۸). بااین‌حال در این گزارش نتایج عملکرد گزارش نشده است.

در بررسی‌های سطح فعالیت نرمالایز شده عضلات مشخص گردید که استفاده از اگزواسکلتون گردنی سبب کاهش ۶/۹۸ و ۷/۱۰ درصد از میانگین فعالیت عضله استرنوکلیدوماستوئید راست و چپ شده است و همچنین این کاهش برای عضلات اسپلینوس کاپیتیس راست و چپ برابر با سه درصد بود. میزان کاهش میانگین سطح فعالیت نرمال شده عضلات هنگام استفاده از اگزواسکلتون برای این دو عضله نام برده شده کاملاً معنی‌دار بود و دلیل اصلی آن باربرداری از روی عضلات گردن و متعاقب آن کاهش تنش این عضلات است. سایر مطالعاتی که به بررسی اثرات اگزواسکلتون پرداخته‌اند تائید می‌کنند که استفاده از اگزواسکلتون تا ۵۰ درصد هم میزان تنش وارد به عضلات هدف را کاهش می‌دهد (۳۳, ۳۹, ۴۰). بااین‌حال، این کاهش برای بخش عضلات شانه‌ای نتایج عکس را نشان داد. استفاده از اگزواسکلتون گردنی سبب افزایش ۸ درصد از سطح فعالیت عضلات ذوزنقه‌ای راست و چپ شده بود. با توجه به اصول مکانیکی طراحی اگزواسکلتون، با کاهش فشار در ناحیه گردن این نیرو در بخش‌های دیگر همچون بخش کمری و ناحیه شانه‌ها توزیع می‌شود که این یافته زیاد دور از انتظار نبود. در این راستا نتایج سایر مطالعات مشخص شده است که استفاده از اگزواسکلتون سبب کاهش نیروی وارد به بخش موردحمایت شده می‌گردد، اما در جبران آن شاهد افزایش نیرو و تنش در سایر نقاط بدن خواهیم بود (۴۱, ۴۲).

علاوه بر نتایج مداخله اگزواسکلتون، کار کردن در

ارتفاع بالای سر در زاویه ۸۰ درصد از حداکثر خمش رو به عقب گردن نسبت به خمش ۴۰ درصدی؛ میانگین سطح فعالیت عضلات استرنوکلیدوماستوئید به‌صورت معناداری افزایش را نشان داد. با توجه به ساختار آناتومیکی و فیزیولوژیکی بدن هرچقدر اکستنشن گردن بیشتر شود عضلات تحت بار و تنش بیشتری قرار می‌گیرند (۴۳) و این یافته در دو حالت استفاده و یا عدم استفاده از اگزواسکلتون گردنی یکسان بود. ین و همکاران گزارش دادند که با افزایش ارتفاع هنگام انجام کار بالای سر، سطح فعالیت عضلات ذوزنقه‌ای افزایش معنی‌داری می‌یابد (۲۸) که همسو با مطالعه حاضر بود؛ بنابراین وقتی ارتفاع انجام کار افزایش یابد برای مشاهده سطح انجام‌وظیفه، گردن و سر در وضعیت اکستنشن بیشتری قرار خواهند گرفت و متحمل تنش بیشتری می‌گردند.

از محدودیت‌های تحقیق حاضر این بود که از نمونه‌های خانم برای ارزیابی استفاده نشد، استفاده از نمونه‌های با جنسیت مؤنث می‌تواند نتایج متفاوتی داشته باشد که به دلیل سختی انجام کار افراد با جنسیت مذکر انتخاب شدند. از محدودیت‌های دیگر تحقیق عدم استفاده از سیستم صفحه نیرو بود که می‌توانست نیروی واکنش نسبت به زمین را برای افراد تعیین کند. بااین‌حال به شرکت‌کننده‌ها در مطالعه آموزش داده می‌شد که هنگام انجام کار در ارتفاع بالای سر در یک پوسچر صاف و بدون جابه‌جایی، وظیفه کاری را انجام دهند.

نتیجه گیری

استفاده از اگزواسکلتون گردنی ساخته شده سبب کاهش میزان ناراحتی درک شده و سطح فعالیت عضلات قدام و خلف گردن شد که علت آن مربوط به توزیع وزن سر و گردن توسط جک نگه‌دارنده اگزواسکلتون در هنگام خمش رو به عقب گردن بود. در طراحی اگزواسکلتون گردنی برای ناحیه شانه و بازو حمایتی در نظر گرفته نشده بود که دلیل وجود نتایج غیر معنادار و افزایش تنش در عضلات ذوزنقه‌ای را توجیه می‌کند؛ بنابراین، استفاده از اگزواسکلتون گردنی با در نظر گرفتن حمایت بیشتر برای ناحیه گردن و شانه‌ها می‌تواند به‌عنوان یک مداخله ارگونومیکی حین کار در ارتفاع بالای سر توصیه گردد.

REFERENCES

1. Shin S-j, Yoo W-g, Kim T-y. Effects of different overhead work conditions on the neck and shoulder muscles. J Phys Ther Sci. 2012;24(2):197-9.
2. Statistics BoL. Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work, 2010. US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics Washington, DC; 2011.
3. Nonfatal Occupational Injuries and Illnesses Requiring Days Away from Work [Internet]. bls.gov. 2016. Available from: https://www.bls.gov/news.release/archives/osh2_11102016.pdf.
4. Alipour A, Ghaffari M, Shariati B, Jensen I, Vingard E. Occupational neck and shoulder pain among automobile manufacturing workers in Iran. Am J Ind Med. 2008;51(5):372-9.
5. Ng D, McNee C, Kieser J, Farella M. Neck and shoulder muscle activity during standardized work-related postural tasks. Appl Ergon. 2014;45(3):556-63.
6. Shin S-j, An D-h, Oh J-s, Yoo W-g. Changes in pressure pain in the upper trapezius muscle, cervical range of motion, and the cervical flexion–relaxation ratio after overhead work. Industrial health. 2012;50(6):509-15.
7. Grieve JR, Dickerson CR. Overhead work: Identification of evidence-based exposure guidelines. Occupational Ergonomics. 2008;8(1):53-66.
8. Huysamen K, Bosch T, de Looze M, Stadler KS, Graf E, O'Sullivan LW. Evaluation of a passive exoskeleton for static upper limb activities. Appl Ergon 2018;70:148-55.
9. Xie Y, Szeto G, Dai J. Prevalence and risk factors associated with musculoskeletal complaints among users of mobile handheld devices: A systematic review. Appl Ergon 2017;59:132-42.
10. Côté P, van der Velde G, Cassidy JD, Carroll LJ, Hogg-Johnson S, Holm LW, et al. The burden and determinants of neck pain in workers. Eur Spine J. 2008;17(1):60-74.

11. Hagen K, Linde M, Heuch I, Stovner LJ, Zwart J-A. Increasing prevalence of chronic musculoskeletal complaints. A large 11-year follow-up in the general population (HUNT 2 and 3). Pain Medicine. 2011;12(11):1657-66.
12. Hansson G-Å, Balogh I, Ohlsson K, Granqvist L, Nordander C, Arvidsson I, et al. Physical workload in various types of work: Part II. Neck, shoulder and upper arm. Int J Ind Ergon 2010;40(3):267-81.
13. Nimbarte AD, Unnikrishnan A, Aghazadeh F, editors. Loading of cervical spine during isometric overhead exertions. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
14. Dowler E, Kappes B, Fenaughty A, Pemberton G. Effects of neutral posture on muscle tension during computer use. Int J Occup Saf Ergon. 2001;7(1):61-78.
15. Harbourne R, Kamm K. Upper extremity function: What's posture got to do with it? J Hand Ther
. 2015;28(2):106-13.
16. Finsen L. Biomechanical aspects of occupational neck postures during dental work. Int. Int J Ind Ergon. 1999;23(5-6):397-406.
17. Szeto GP, Straker L, Raine S. A field comparison of neck and shoulder postures in symptomatic and asymptomatic office workers. Appl Ergon. 2002;33(1):75-84.
18. McAtamney L, Corlett EN. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Appl Ergon. 1993;24(2):91-9.
19. Hignett S, McAtamney L. Rapid entire body assessment (REBA). Appl Ergon. 2000;31(2):201-5.
20. Rempel D, Star D, Barr A, Blanco MM, Janowitz I. Field evaluation of a modified intervention for overhead drilling. J Occup Environ Hyg. 2010;7(4):194-202.
21. Matthew RP, Mica EJ, Meinhold W, Loeza JA, Tomizuka M, Bajcsy R, editors. Introduction and initial exploration of an active/passive exoskeleton framework for portable assistance. In2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2015 Sep 28 (pp. 5351-5356). IEEE.
22. De Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O'Sullivan LW. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics. 2016;59(5):671-81.
23. Romero D, Stahre J, Wuest T, Noran O, Bernus P, Fast-Berglund Å, et al., editors. Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. Inproceedings of the international conference on computers and industrial engineering (CIE46), Tianjin, China 2016 Oct 29 (pp. 29-31)
24. Grazi L, Trigili E, Proface G, Giovacchini F, Crea S, Vitiello N. Design and experimental evaluation of a semi-passive upper-limb exoskeleton for workers with motorized tuning of assistance. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2020;28(10):2276-85.
25. Iranzo S, Piedrabuena A, Iordanov D, Martinez-Iranzo U, Belda-Lois J-M. Ergonomics assessment of passive upper-limb exoskeletons in an automotive assembly plant. Appl Ergon. 2020;87:103120.
26. Norkin CC, White DJ. Measurement of joint motion: a guide to goniometry: FA Davis; 2016.
27. Sood D, Nussbaum MA, Hager K. Fatigue during prolonged intermittent overhead work: reliability of measures and effects of working height. Ergonomics. 2007;50(4):497-513.
28. Yin P, Yang L, Qu S, Wang C. Effects of a passive upper extremity exoskeleton for overhead tasks. J Electromyogr Kinesiol. 2020;55:102478.
29. Borg G. An Introduction to Borg's RPE-Scale. Ithaca: Movement Publications; 1985.
30. Mekhora K, Liston C, Nanthavanij S, Cole JH. The effect of ergonomic intervention on discomfort in computer users with tension neck syndrome. Int. Int J Ind Ergon. 2000;26(3):367-79.
31. Seniam. SENIAM project 2016 [Available from: http://www.seniam.org/].
32. Mazloumi A, Garosi E. Electromyography principle and application in ergonomics. Iran: Jahad Daneshgahi; 2019. p. 270
33. Alabdulkarim S, Nussbaum MA. Influences of different exoskeleton designs and tool mass on physical demands and performance in a simulated overhead drilling task. Appl Ergon. 2019;74:55-66.
34. Kim S, Nussbaum MA, Esfahani MIM, Alemi MM, Alabdulkarim S, Rashedi E. Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I–"Expected" effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance. Appl Ergon. 2018;70:315-22.

35. Garosi E, Mazloumi A, Kalantari R, Vahedi Z, Shirzhiyan Z. Design and ergonomic assessment of an infusion set connector tool used in nursing work. Appl Ergon. 2019;75:91-8.
36. Garosi E, Mazloumi A, Kalantari R. Design and ergonomic evaluation of serum set connector device to the medical solution. J Health Saf Work. 2017;7(4):307-18.
37. Zare A, Malakouti Khah M, Garosi E, Gharib S, Zakerian SA. The effect of increased light intensity on workload, sleepiness, eye fatigue, and the degree of satisfaction of individuals from the light conditions in the control room of a power plant. J Health Saf Work. 2018;8(3):237-50.
38. Naeini BB, Ghomsheh FT, Divani R, Danesh MK, Garosi E. Ergonomic design and evaluation of a novel laptop desk for wheelchair users. Work. 2021:1-9.
39. Huysamen K, de Looze M, Bosch T, Ortiz J, Toxiri S, O'Sullivan LW. Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks. Appl Ergon. 2018;68:125-31.
40. Koopman AS, Kingma I, Faber GS, de Looze MP, van Dieën JH. Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks. J Biomech. 2019;83:97-103.
41. Almenara M, Cempini M, Gómez C, Cortese M, Martín C, Medina J, et al. Usability test of a hand exoskeleton for activities of daily living: an example of user-centered design. Disabil Rehabil Assist Technol. 2017;12(1):84-96.
42. Kim S, Nussbaum MA, Esfahani MIM, Alemi MM, Jia B, Rashedi E. Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II–"Unexpected" effects on shoulder motion, balance, and spine loading. Appl Ergon. 2018;70:323-30.
43. Ghosh BD. Human Anatomy for Students: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2007.